



International World Energy Conference **FULL TEXT BOOK**

EDITORS

Mustafa Serdar GENÇ

Gamze GENÇ

Saltuk Buğra SELÇUKLU

Şükrü Taner AZGIN



ISBN: 978-625-8423-01-3

International World Energy Conference

December 3-4, 2021 / Kayseri, Turkey



FULL TEXT BOOK

EDITORS

Prof. Dr. Mustafa Serdar GENÇ
Prof. Dr. Gamze GENÇ
Assist. Prof. Saltuk Buğra SELÇUKLU
Assist. Prof. Şükrü Taner AZGIN

by

IKSAD GLOBAL PUBLISHING HOUSE®

All rights of this book belong IKSAD Publishing House
Authors are responsible both ethically and juridically

IKSAD Publications – 2021©

Issued: 27.12.2021

ISBN: 978-625-8423-01-3



IWEC

CONFERENCE ID

CONFERENCE TITLE

International World Energy Conference

DATE and PLACE

December 3-4, 2021 / Kayseri, Turkey

ORGANIZATION

Energy Conversions Research and Application Center, Kayseri, Turkey
IKSAD-Institute of Economic Development and Social Research, Turkey
Mohammed First University, Oujda, Morocco

ORGANIZING COMMITTEE

Prof. Dr. Mustafa Serdar GENÇ

HEAD OF CONFERENCE

Erciyes University, Director of the Energy Conversions Research and Application Center

Assist. Prof. Saltuk Buğra SELÇUKLU

HEAD OF ORGANIZING COMMITTEE

Erciyes University, Vice Director of the Energy Conversions Research and Application Center

Assist. Prof. Şükrü Taner AZGIN

HEAD OF ORGANIZING COMMITTEE

Erciyes University, Vice Director of the Energy Conversions Research and Application Center

Prof. Dr. Gamze GENÇ

HEAD OF THE SCIENTIFIC BOARD

Erciyes University, Faculty of Engineering, Department of Energy Systems Engineering

Prof. Dr. Farid Falyouni

INTERNATIONAL SCIENCE COUNCIL HEAD

Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco

Prof. Dr. Hicham Bouali

INTERNATIONAL SCIENCE COUNCIL DEPUTY HEAD

Mohammed First University, Superior School of Technology, Oujda, Morocco

COORDINATORS

Atabek MOVLYANOV

Erciyes University, Faculty of Engineering Energy Systems Eng. department, Turkey

Dr. Mohamed El Malki

Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco

Fatih KARIPOĞLU

Erciyes University, Faculty of Engineering Energy Systems Eng. department, Turkey

Khalida SEKHOUNE ÖZDEN

Erciyes University, Faculty of Engineering Energy Systems Eng. department, Turkey

NUMBER of ACCEPTED PAPERS-153

NUMBER of REJECTED PAPERS-32

PARTICIPANTS COUNTRY

Turkey (69), Morocco (51), Algeria (15), India, Kosovo, Brazil, Colombia, Nigeria, Hungary, Saudi Arabia, Vietnam, United Kingdom, France, Iraq, USA (Other Countries-18)



IWEC

HONORARY BOARD

Prof. Dr. Y. Zarhloule

President of Mohammed First University, Oujda, Morocco

Prof. Dr. A. Beril TUĞRUL

Istanbul Technical University, Energy Institute, Department of Nuclear Research, Turkey

Prof. Dr. David W. Coit

Rutgers University, Industrial & Systems Engineering Department, USA

Prof. Dr. S. RADI

Dean of Faculty of Sciences, Mohammed First University, Oujda, Morocco

Prof. Dr. Ercüment KARAKAŞ

Kocaeli University, Faculty of Technology, Energy Systems Engineering, Turkey

Professor Harpreet Kaur

Principal Mata Sundri College for Women, University of Delhi, India



IWECE

ORGANIZING BOARD MEMBERS

- Prof. Dr. A. Alami Merrouni** - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco
Prof. Dr. A. Ghadban - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco
Prof. Dr. A. Ouariach - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco
Prof. Dr. A. Mazari - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco
Prof. Dr. Enise AYYILDIZ – Erciyes University, Faculty of Science, Department of Physics
Prof. Dr. H. Zahboune - Mohammed First University, Superior School of Technology, Oujda, Morocco
Prof. Dr. K. Hachami - Mohammed First University, Superior School of Technology, Oujda, Morocco
Prof. Dr. K. Hirech - Mohammed First University, Higher School of Education and Training, Oujda, Morocco
Prof. Dr. M. Grari - Mohammed First University, Superior School of Technology, Oujda, Morocco
Prof. Dr. M. Jeyar - Mohammed First University, Superior School of Technology, Oujda, Morocco
Prof. Dr. M. Lahfaoui - Mohammed First University, Superior School of Technology, Oujda, Morocco
Prof. Dr. M. Seddik - Abdelmalek Essaadi University, Faculty of Sciences and Technologies, Al Hoceïma, Morocco
Prof. Dr. Şaban PATAT – Erciyes University, Faculty of Science, Department of Chemistry
Prof. Dr. Y. Ben-Ali - Multidisciplinary Faculty, Taza, Morocco
Assoc. Prof. Ahmet Turan ÖZDEMİR – Erciyes University, Faculty of Engineering Electrical-Electronics Eng. department
Assist. Prof. Dr. Uzma Nadeem - University of Delhi, Mata Sundri College for Women, Department of Environmental Studies
Assist. Prof. Gülşah ELDEN – Erciyes University, Faculty of Engineering Energy Systems Eng. department, Turkey
Dr. A. Bakdid - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco
Dr. M. Arabi - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco
Dr. M. ELHadi - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco
Dr. Malki Siham - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco
Dr. Mohamed El Malki - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco
Dr. Y. Bouchafra - Paris-Est Créteil University, Faculty of Sciences and Technology, France
Dr. O. Mommadi - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco
F. Z. Elamri - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco
I. El Kadmiri - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco
I. Antraoui - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco
Y. Errouas - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco
R. Boussetta - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco
L. Belamkdem - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco
M. Elaoui - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco
M. Chnafi - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco
A. Hachmi - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco
R. Essaadaoui - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco
H. Sadeq - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco
A. Zerrouki - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco
M. Hbib - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco
A. Baidri - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco
A. Bria - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco
Latifa Mechkirrou - Ibn Tofail University, Faculty of sciences, Kenitra - Morocco
M. R. Qasem - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco



SCIENTIFIC BOARD MEMBERS

Prof. Dr. Nesrin KAYATAŞ DEMİR – Erciyes University, Faculty of Engineering Energy Systems Eng. department

Prof. Dr. A. Aziz - Mohammed First University, Superior School of Technology, Oujda, Morocco

Prof. Dr. A. El Moussaouy - Mohammed First University, Regional Center for Education and Training, Oujda, Morocco

Prof. Dr. A. Essahlaoui - Multidisciplinary Faculty, Taza, Morocco

Prof. Dr. A. El Allati - Abdelmalek Essaadi University, Faculty of Sciences and Technologies, Al Hoceïma, Morocco

Prof. Dr. A. El Ghoulbzouri - Abdelmalek Essaadi University, National School of Applied Sciences, Al Hoceïma, Morocco

Prof. Dr. A. Kerkour El Miad - Mohammed First University, Superior School of Technology, Oujda, Morocco

Prof. Dr. A. Khaled - Abdelmalek Essaadi University, National School of Applied Sciences, Al Hoceïma, Morocco

Prof. Dr. A. Khettabi - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco

Prof. Dr. A. Moussa - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco

Prof. Dr. A. Nasser - Mohammed First University, Superior School of Technology, Oujda, Morocco

Prof. Dr. A. Nougauoui - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco

Prof. Dr. Alper ASLAN – Erciyes University, Faculty of Aviation and Space, Aviation Management Department

Prof. Dr. Bilal DEMİREL – Erciyes University, Faculty of Engineering, Materials Eng. department

Prof. Dr. D. Bria - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco

Prof. Dr. David W. Coit - Rutgers University, Industrial & Systems Engineering Department

Prof. Dr. E. Chaabelasri - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco

Prof. Dr. F. Abdi - Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Faculty of Sciences and Technologies, Fez, Morocco

Prof. Dr. F. Falyouni - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco

Prof. Dr. F. Jeffali - Mohammed First University, Superior School of Technology, Oujda, Morocco

Prof. Dr. F. Tayeboun - Djillali Liabes University, Sidi-Bel-Abbes, Algeria

Prof. Dr. Faik Bilgili – Erciyes University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Economics

Prof. Dr. Fatih DUMAN – Erciyes University, Faculty of Science, Department of Biology

Prof. Dr. Ferhat DALDABAN – Erciyes University, Faculty of Engineering Electrical-Electronics Eng. department

Prof. Dr. H. Bekkay - Mohammed First University, National School of Applied Sciences, Oujda, Morocco

Prof. Dr. H. BOUALI - Mohammed First University, Superior School of Technology, Oujda, Morocco

Prof. Dr. I. Zorkani - Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Faculty of Sciences Dhar El Mahraz, Fez, Morocco

Prof. Dr. J. Barkani - Multidisciplinary Faculty, Taza, Morocco

Prof. Dr. Khalil KASSMI - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco

Prof. Dr. J. Bouchnaif - Mohammed First University, Superior School of Technology, Oujda, Morocco

Prof. Dr. K. A. Meradi - University of Ain Temouchent, - Institute of Technology, Algeria

Prof. Dr. K. Ghoumid - Mohammed First University, National School of Applied Sciences, Oujda, Morocco

Prof. Dr. K. Sellami - Military Technological College Muscat, Sultanate of Oman

Prof. Dr. M. Abarkan - Multidisciplinary Faculty, Taza, Morocco

Prof. Dr. M. El Ghorba - Hassan II University, National School of Electricity and Mechanics, Cassablanca, Morocco

Prof. Dr. M. Elouariachi - Mohammed First University, Superior School of Technology, Oujda, Morocco

Prof. Dr. M. GHARBI – Mohammed V University, Faculty of Sciences, Rabat, Morocco

Prof. Dr. M. Gherbaoui - Moulay Ismail University, Superior School of Technology, Meknès, Morocco

Prof. Dr. M. Zerfaoui - Mohammed First University, Faculty of Sciences, Oujda, Morocco

Prof. Dr. Mehmet ARI – Erciyes University, Faculty of Science, Department of Physics

Prof. Dr. N. El Akchioui - Abdelmalek Essaadi University, Faculty of Sciences and Technologies, Al Hoceïma, Morocco



Prof. Dr. O. El Abouti - Abdelmalek Essaadi University, Faculty of Sciences and Techniques, Al Hoceïma, Morocco
Prof. Dr. Oktay ÖZKAN – Erciyes University, Faculty of Engineering Environmental Eng. department
Prof. Dr. Orhan TÜRKÖĞLU – Erciyes University, Faculty of Science, Department of Chemistry
Prof. Dr. R. Aboutni - Mohammed First University, Superior School of Technology, Oujda, Morocco
Prof. Dr. R. Benkaddour - Mohammed First University, Superior School of Technology, Oujda, Morocco
Prof. Dr. R. Malek - Mohammed First University, National School of Applied Sciences, Oujda, Morocco
Prof. Dr. S. Amraqui - Mohammed First University, Superior School of Technology, Oujda, Morocco
Prof. Dr. T. Ouchbel - Mohammed First University, Superior School of Technology, Oujda, Morocco
Prof. Dr. Z. Rhou - Multidisciplinary Faculty, Taza, Morocco
Prof. Dr. Z. Tahri - Abdelmalek Essaadi University, National School of Applied Sciences, Al Hoceïma, Morocco
Assoc. Prof. Zülküf KAYA – Erciyes University, Faculty of Engineering Civil Eng. department
Assoc. Prof. İlyas KARASU - Adana Science and Technology University, Aviation Eng. department
Assoc. Prof. İsmail SOLMAZ - Ataturk University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering department
Assist. Prof. Nurettin ÜSTKOYUNCU – Erciyes University, Faculty of Engineering, Electrical-Electronics Eng. department
Assist. Prof. Abdülaziz ATABANI – Erciyes University, Faculty of Engineering Mechanical Eng. department
Assist. Prof. Mark Rodgers - Rutgers Business School, Supply Chain Management, USA
Assist. Prof. Serkan BAHÇECİ – Erciyes University, Faculty of Engineering Electrical-Electronics Eng. department
Assist. Prof. Muhammet ÇELİK - Aksaray University Mechanical Eng. department
Assist. Prof. Hacımurat DEMİR - Aksaray University Mechanical Eng. department
Assist. Prof. Dr. Uzma Nadeem - University of Delhi, Mata Sundri College for Women, Department of Environmental Studies
Assist. Prof. Doğan ERDEMİR – Erciyes University, Faculty of Engineering Mechanical Eng. department
Assist. Prof. Halil Hakan AÇIKEL – Erciyes University, Faculty of Engineering Energy Systems Eng. department
Assist. Prof. Hatice Sinem ŞAŞ ÇAYCI - Sabancı University, Department of Materials Engineering
Assist. Prof. Mehmet Fatih KAYA – Erciyes University, Faculty of Engineering Energy Systems Eng. department





IWEC



International World Energy Conference

DECEMBER 3-4, 2021 / Kayseri, Turkey

Conference Program

Meeting ID: 787 585 7978
Passcode: 010101



جامعة عrcييس
UNIVERSITY OF ERCIYES
+903622410000



Energy Conversions
Research and Application Center



كلية العلوم
Faculté des Sciences
+903622410000



Wind Engineering and Aerodynamics Research Group



Multi Science Gate



Laboratoire des Matériaux Ondes Energie et Environnement

IMPORTANT, PLEASE READ CAREFULLY

- To be able to make a meeting online, login via <https://zoom.us/join> site, enter ID instead of “Meeting ID
- or Personal Link Name” and solidify the session.
- The presentation will have **15 minutes** (including questions and answers).
- The Zoom application is free and no need to create an account.
- The Zoom application can be used without registration.
- The application works on tablets, phones and PCs.
- Speakers must be connected to the session **10 minutes before** the presentation time.
- All congress participants can connect live and listen to all sessions.
- During the session, your camera should be turned on at least %70 of session period
- Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session.

TECHNICAL INFORMATION

- Make sure your computer has a microphone and is working.
- You should be able to use screen sharing feature in Zoom.
- Attendance certificates will be sent to you as pdf at the end of the congress.
- Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session.

Before you login to Zoom please indicate your name surname and hall number, exp. Hall-1, Fatih KARİPOĞLU

ÖNEMLİ, DİKKATLE OKUYUNUZ LÜTFEN

- Kongremizde Yazım Kurallarına uygun gönderilmiş ve bilim kurulundan geçen bildiriler için online (video konferans sistemi üzerinden) sunum imkanı sağlanmıştır.
- Sunumlar için **15 dakika** (soru ve cevaplar dahil) süre ayrılmıştır.
- Online sunum yapabilmek için <https://zoom.us/join> sitesi üzerinden giriş yaparak “Meeting ID or Personal Link Name” yerine ID numarasını girerek oturuma katılabilirsiniz.
- Zoom uygulaması ücretsizdir ve hesap oluşturmaya gerek yoktur.
- Zoom uygulaması kaydolmadan kullanılabilir.
- Uygulama tablet, telefon ve PC’lerde çalışıyor.
- Her oturumdaki sunucular, sunum saatinden **10 dk öncesinde** oturuma bağlanmış olmaları gerekmektedir.
- Tüm kongre katılımcıları canlı bağlanarak tüm oturumları dinleyebilir.
- Moderatör – oturumdaki sunum ve bilimsel tartışma (soru-cevap) kısmından sorumludur.

TEKNİK BİLGİLER

- Bilgisayarınızda mikrofon olduğuna ve çalıştığına emin olun.
- Zoom'da ekran paylaşma özelliğine kullanabilmelisiniz.
- Katılım belgeleri kongre sonunda tarafınıza pdf olarak gönderilecektir
- Kongre programında yer ve saat değişikliği gibi talepler dikkate alınmayacaktır

Zoom'a giriş yaparken önce lütfen adınızı, soyadınızı ve SALON numaranızı yazınız

Örnek: Hall-1, Fatih KARİPOĞLU



IWEC

IMPORTANT, VEUILLEZ LIRE ATTENTIVEMENT

- Pour pouvoir assister à une réunion en ligne, connectez-vous via le lien <https://zoom.us/join>, entrez l'ID "ID de la réunion ou le nom du lien personnel" et précisez la session.
- L'application Zoom est gratuite et pas besoin de créer un compte.
- L'application Zoom peut être utilisée sans enregistrement.
- L'application fonctionne sur les tablettes, les téléphones et les PC.
- Le participant doit être connecté à la session **10 minutes** avant l'heure de la présentation.
- Tous les participants au congrès peuvent se connecter en direct et écouter toutes les sessions.
- Le modérateur est responsable de la section de présentation et de discussion scientifique (questions-réponses).

INFORMATIONS TECHNIQUES

- Assurez-vous que votre ordinateur dispose d'un microphone et qu'il fonctionne.
- Vous devriez pouvoir utiliser l'outil de partage d'écran dans Zoom.
- Les certificats de participation vous seront envoyés sous forme de pdf à la fin du congrès.
- Les demandes telles que le changement de lieu et d'heure ne seront pas prises en compte dans le programme du congrès.
- Avant de vous connecter à Zoom veuillez indiquer votre nom, prénom, numéro de la session et numéro de la salle,

exp. Hall-1, Fatih KARİPOĞLU

Participant Countries: Turkey, Morocco, Algeria, India, Kosovo, Brazil, Colombia, Nigeria, Hungary, Saudi Arabia, Vietnam, United Kingdom, France, Iraq, USA



IWEC

-OPENING SPEECHES-

Ankara Time – 10⁰⁰ : 11⁰⁰

Rabat Time – 08⁰⁰ : 09⁰⁰

Dr. Mustafa Latif EMEK

The Institute of Economic Development and Social Research

Prof. Dr. Mustafa Serdar GENÇ

Erciyes University,

Director of the Energy Conversions Research and Application Center

Head of Conference

Professor Dr. Y. Zaghoul

President of Mohammed First University, Oujda, Morocco

Honorary President

Professor Dr. S. RADI

Dean of Faculty of Sciences, Mohammed First University, Oujda, Morocco

Honorary Dean

Prof. Dr. Gamze GENÇ

Erciyes University, Faculty of Engineering, Department of Energy Systems Engineering

Head of the Scientific Board

Prof. Dr. Hicham Bouali

Mohammed First University, Superior School of Technology, Oujda, Morocco

International Science Council Deputy Head



IWEC

PROGRAM OVERVIEW

Friday, December 3, 2021

10:00 - 11:00 (UTC+3)	Opening Speeches			
08:00 - 09:00 (GMT+1)				
11:00 - 13:00 (UTC+3)	SESSION 1, HALL 1	SESSION 1, HALL 2	SESSION 1, HALL 3	SESSION 1, HALL 4
09:00 - 11:00 (GMT+1)				
13:00 - 14:00 (UTC+3)	Break			
11:00 - 12:00 (GMT+1)				
14:00 - 16:00 (UTC+3)	SESSION 2, HALL 1	SESSION 2, HALL 2	SESSION 2, HALL 3	SESSION 2, HALL 4
12:00 - 14:00 (GMT+1)				

Saturday, December 4, 2021

11:00 - 13:00 (UTC+3)	SESSION 3, HALL 1	SESSION 3, HALL 2	SESSION 3, HALL 3	SESSION 3, HALL 4, 5
09:00 - 11:00 (GMT+1)				
13:00 - 14:00 (UTC+3)	Break			
11:00 - 12:00 (GMT+1)				
14:00 - 16:00 (UTC+3)	SESSION 4, HALL 1	SESSION 4, HALL 2	SESSION 4, HALL 3	SESSION 4, HALL 4, 5
12:00 - 14:00 (GMT+1)				



DATE	ANKARA TIME	SESSION	HALL
03.12.2021	11 ⁰⁰ – 13 ⁰⁰	1	1

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Mustafa Serdar GENÇ

1	Res. Assist. Fatih KARIPOĞLU Prof. Dr. Mustafa Serdar GENÇ	<i>Izmir Institute of Technology, Turkey Erciyes University, Turkey</i>	SELECTION BEST LOCATIONS OF MEASUREMENT POINTS FOR OFFSHORE WIND ON MARMARA SEA
2	Assist. Prof. Dr. Hacımurat DEMİR Burak AKTEPE	<i>Aksaray University, Turkey Gazi University, Turkey</i>	NUMERICAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF WIND FLOWS IN DIFFERENT DIRECTIONS ON BUILDING IN THE ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER
3	Assoc. Prof. Dr. Mutlu SEÇER	<i>Izmir Katip Celebi University, Turkey</i>	INVESTIGATION OF DESIGN PARAMETERS OF WIND TURBINE TOWER FOUNDATIONS
4	Prof. Dr. Mustafa Serdar GENÇ Tuna Murat BODUR	<i>MSG Technology Co. Ltd., Erciyes University, Turkey</i>	NUMERICAL MODEL AND ANALYSIS OF THE APPLICATION OF TUBERCLE STRUCTURE TO THE NREL PHASE II TURBINE BLADE
5	Muhammed Emin TOLU Dilek Nur ÖZEN	<i>Karamanoglu Mehmetbey University, Turkey Necmettin Erbakan University, Turkey</i>	COOLING METHODS OF TURBINE BLADES
6	Rashmi Bhardwaj Shanky Garg	<i>"University School of Basic and Applied Sciences (USBAS), Guru Gobind Singh Indraprastha University (GGSIPU), India"</i>	MUTATED CRITIC ANALYSIS FOR AIR QUALITY PARAMETERS ESTIMATION
7	Paulo Sérgio Lucio Amanda Ferreira Sampaio Henrique do Nascimento Camelo (in memoriam)	<i>Federal University of Rio Grande (UFRN), Brazil</i>	WIND ENERGY POTENTIAL OF THE BRAZILIAN NORTHEAST REGION: MODELLING, SIMULATION AND FORECASTING OF WIND SPEED AND DENSITY
8	Amanda Ferreira Sampaio Paulo Sergio Lucio	<i>Federal University of Rio Grande (UFRN), Brazil</i>	DATA IMPUTATION FOR SOLAR AND WIND ENERGY POTENTIAL IN NORTHEASTERN BRAZIL



DATE	ANKARA TIME	SESSION	HALL
03.12.2021	11 ⁰⁰ – 13 ⁰⁰	1	2

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. A. Beril TUĞRUL

1	Lect. Zeki YILBAŞI Assoc. Prof. Dr. Murat Kadir YEŞİLYURT Assoc. Prof. Dr. Mevlüt ARSLAN	Yozgat Bozok University, Turkey	A STUDY REGARDING THE COVID-19 EFFECT ON THE OIL MARKETS
2	Onur KOVACI Kaan KAPAN	Istanbul University, Turkey	IMPORTANCE OF ENERGY GEOPOLITICS IN THE POSITIONING OF FOREIGN MILITARY BASES IN AFRICA
3	Dr. Gözde KESTELLİOĞLU	Erciyes University, Turkey	TWO POST-COVID-19 FOCUS POINTS ON THE ROUTE OF RENEWABLE ENERGY: NET ZERO TARGETS AND SMART ENERGY
4	Prof. Dr. Meltem KUTLU GÜRSEL	Dokuz Eylül University, Turkey	GEOHERMAL ENERGY IN TERMS OF LAW
5	Halil ÇEÇEN	Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Turkey	ASSESSMENT OF THE EXISTING RENEWABLE ENERGY MIXES IN THE EUROPEAN UNION AND TURKEY
6	Halil ÇEÇEN	Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Turkey	COMPLIANCE OF TURKISH LAW WITH THE EUROPEAN UNION ACQUIS IN THE FIELD OF RENEWABLE ENERGY
7	Prof. Dr. A. Beril TUĞRUL	Istanbul Technical University, Turkey	EVALUATION of NUCLEAR POWER PLANTS IN THE VIEW of GREEN DEAL INITIATIVE



DATE	ANKARA TIME	SESSION	HALL
03.12.2021	11 ⁰⁰ – 13 ⁰⁰	1	3

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. İsmail Hakkı İŞCAN

1	Dr. Selin KARATEPE	Yalova University, Turkey	DO WHOLESALE ELECTRICITY PRICES CONVERGE AMONG EU?
2	Arga Paradita Sutiyono Tuncay Çelik	Erciyes University, Turkey Kayseri University, Turkey	THE RELATION AMONG ENVIRONMENTAL DAMAGE, ECONOMIC GROWTH, HOUSEHOLD CONSUMPTION, ECONOMIC INEQUALITY AND POPULATION: AN APPLICATION IN INDONESIA 2009-2020
3	Prof. Dr. İsmail Hakkı İŞCAN	Bilecik Şeyh Edebali University, Turkey	IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON MIGRATION: CLIMATE MIGRATION
4	Assoc. Prof. Dr. Ersin GÜNGÖR	Bartın University, Turkey	ECONOMIC LOSSES CAUSED BY GLOBAL WARMING IN FOREST ENERGY DISTRIBUTION LINES
5	Assoc. Prof. Dr. Ersin GÜNGÖR	Bartın University, Turkey	A NEW UNDERSTANDING IN ENERGY DISTRIBUTION LINES CORRIDOR MAINTENANCE: VEGETATION MANAGEMENT
6	Prof. Dr. Güray KÜÇÜKKOCAOĞLU İsmet TURAN	Başkent University, Turkey Atılım University, Turkey	ECONOMIC EFFECTS OF TIME DIMENSION ON INCENTIVE MECHANISM FOR RENEWABLE ENERGY RESOURCES
7	Dr. Ferhan BAŞ KAMAN	Ankara Yıldırım Beyzait University, Turkey	EVALUATION OF WIND ENERGY EFFICIENCY IN EUROPE AND TURKEY USING DATA ENVELOPEMENT ANALYSIS AND DISCRIMINANT ANALYSIS
8	Dr. Tuğba BERÇİNTÜRK	Hitit University, Turkey	SMALL MODULAR REACTORS: AN ASSESSMENT FOR DEVELOPING ECONOMIES



DATE	ANKARA TIME	SESSION	HALL
03.12.2021	11 ⁰⁰ – 13 ⁰⁰	1	4

HEADS OF SESSION: Prof. Dr. J. Barkani & Prof. Dr. Y. Ben-Ali

1	Malki Siham Darhi Zakariae Guesmi Ibtissam El farh Larbi Challioui Allal	Mohammed 1st University, Morocco	FIRST-PRINCIPLES STUDY OF THE OPTICAL PROPERTIES OF ZINC ANTIMONIDE USING THE mBJ APPROXIMATION
2	Boussetta Reda Laaziz Belamkadem Mommadi Omar Chouef Soufiane Hbibi Mohammed Abdelaziz El Moussaouy Juan Alejandro Vinasco Carlos Alberto Duque Abdelhamid Kerloure El Miad	University Mohamed I, Morocco The Regional Centre for the Professions of Education and Training, Morocco Universidad de Antioquia, Colombia	SIZE EFFECT ON THE OFF-CENTER DONOR PROPERTIES IN A HEMI-TOROIDAL QUANTUM DOT
3	Hbibi Mohammed Mommadi Omar Boussetta Reda Laaziz Belamkadem Chouef Soufiane Abdelaziz El Moussaouy Juan Alejandro Vinasco Carlos Alberto Duque Falyouni Farid	University Mohamed I, Morocco The Regional Centre for the Professions of Education and Training, Morocco Universidad de Antioquia, Colombia	UNCORRELATED EXCITING PROPERTIES IN MULTILAYERD CYLINDRICAL QUANTUM DOT
4	Chouef Soufiane Mommadi Omar Laaziz Belamkadem Boussetta Reda Hbibi Mohammed Abdelaziz El Moussaouy El Hadi Mohammed Juan Alejandro Vinasco Carlos Alberto Duque	University Mohamed I, Morocco The Regional Centre for the Professions of Education and Training, Morocco Universidad de Antioquia, Colombia	IMPACT OF APPLIED TEMPERATURE AND HYDROSTATIC PRESSURE ON THE OFF- CENTER DONOR SPECTRUM IN SPHERICAL QUANTUM DOT
5	M. El Malki A. Khettabi	Mohammed First University, Morocco	SOUND TRANSMISSION THROUGH PERIODIC ACOUSTIC RESONATORS IN PRESENCE OF TWO DEFECTS
6	M. El Malki A. Khettabi	Mohammed First University, Morocco	DEFECTS IN PERIODIC DUAL HELMHOLTZ RESONATORS
7	Abdelhamid Ait M'hid Mourad Boughrara Mohamed kerouad	University Moulay Ismail, Morocco	FERROMAGNETIC IN 3D TRANSITION METAL ATOMS DOPED ZnO: Ab-initio AND MONTE CARLO STUDY
8	Sarra ZIOUAL Abdelhamid SADEDDINE	University Abderrahmane Mira, Algeria	INFLUENCE OF HEAT TREATMENTS ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF A MANGANESE STEEL



DATE	ANKARA TIME	SESSION	HALL
03.12.2021	14 ⁰⁰ – 16 ⁰⁰	2	1

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr. Saltuk Buğra SELÇUKLU

1	Mai Duc Nghia	<i>Air Force Officer's college, VietNam</i>	DEVELOPMENT OF BIOFUEL FOR DIESEL ENGINE OF THE FISHING VESSELS FROM COCONUT OIL
2	Özlem Bedir Assoc. Prof. Dr. Tuba Hatice DOĞAN	<i>Atatürk University, Turkey</i>	USE OF WASTE HETEROGENEOUS CATALYSTS IN BIODIESEL PRODUCTION
3	Özlem Bedir Assoc. Prof. Dr. Tuba Hatice DOĞAN	<i>Atatürk University, Turkey</i>	CATALYTIC EFFECT OF SUGAR INDUSTRY WASTE IN BIODIESEL PRODUCTION
4	Salih GENEL Halil DURAK	<i>Yüzüncü Yıl University, Turkey</i>	LIQUEFACTION OF BIOMASS BY HYDROTHERMAL LIQUEFACTION IN THE PRESENCE OF NAF/AL ₂ O ₃ CATALYST, CHARACTERIZATION OF OBTAINED PRODUCTS
5	Salih GENEL Halil DURAK	<i>Yüzüncü Yıl University, Turkey</i>	PYROLYSIS OF BIOMASS IN THE PRESENCE OF MCM-41/AL CATALYST, CHARACTERIZATION OF OBTAINED PRODUCTS
6	Dr. Ceren Orak Assoc. Prof. Dr. Aslı Yüksel	<i>Izmir Institute of Technology, Turkey</i>	HYDROGEN PRODUCTION FROM SUGAR FACTORY WASTEWATER USING SOLAR LIGHT-DRIVEN HYBRID CATALYST
7	Tuba Karaca Assoc. Prof. Dr. Tuba Hatice DOĞAN	<i>Atatürk University, Turkey</i>	INVESTIGATION OF FUEL PROPERTIES OF BIODIESEL/WASTE TRANSFORMER OIL/DIESEL TRIPLE MIXTURES
8	Tuba Karaca Assoc. Prof. Dr. Tuba Hatice DOĞAN	<i>Atatürk University, Turkey</i>	REMOVAL OF WATER OF WASTE TRANSFORMER OIL CONSIDERED AS ALTERNATIVE FUEL
9	Müslim Ekinci Assist. Prof. Dr. Şükrü Taner Azgın	<i>Erciyes University, Turkey</i>	ENVIRONMENTAL IMPACT OF LIGNITE MINING
10	Onur Namaldı Assist. Prof. Dr. Şükrü Taner Azgın	<i>Erciyes University, Turkey</i>	TREATMENT OF BIOLOGICAL WASTEWATER VIA INNOVATIVE VERMIFILTRATION TECHNOLOGY



DATE	ANKARA TIME	SESSION	HALL
03.12.2021	14 ⁰⁰ – 16 ⁰⁰	2	2

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Gamze GENÇ

1	Assist. Prof. Dr. Kerim KARABACAK	Kütahya Dumlupınar University, Turkey	DESIGN OF A 3kWe POWER OFF-GRID PHOTOVOLTAIC SYSTEM AND RURAL HOUSE APPLICATION
2	Hasan Hüseyin ÇOBAN Muhammet Bira ŞAHİN	Ardahan University, Turkey	FEASIBILITY ANALYSIS OF PHOTOVOLTAIC POWER GENERATION PLANT IN ARDAHAN CITY BY RETSCREEN SOFTWARE
3	Barış Emre ÖZHAN Kenan DANIŞMAN	Erciyes University, Turkey	EXAMINING THE EFFECTS OF THE HYDROPHOBIC COATING ON THE PHOTOVOLTAIC PANEL EFFICIENCY
4	Hatice ÇITAKOĞLU Vahdettin DEMİR	Erciyes University, Turkey KTO Karatay University, Turkey	FORECASTING SOLAR RADIATION USING DEEP LEARNING: THE CASE OF TURKEY
5	Melih MANIR Gamze GENÇ Murat TOMAKİN Büşra ILIK Vagif NEVRUZOĞLU	Recep Tayyip Erdogan University, Turkey Erciyes University, Turkey	PRODUCTION OF p-CdTe FILMS USED IN SOLAR CELL PRODUCTION BY CRYOGENIC SUBSTRATE EFFECT
6	Melih MANIR Gamze GENÇ Derya BAL ALTUNTAŞ Murat TOMAKİN Vagif NEVRUZOĞLU	Recep Tayyip Erdogan University, Turkey Erciyes University, Turkey	RECYCLING APPLICATIONS IN Si BASED SOLAR CELL
7	İmran KANMAZ Abdullah ÜZÜM	Karadeniz Technical University, Turkey	INFLUENCE OF SiO ₂ NANOPARTICLE DOPING ON THE OPTICAL CHARACTERISTICS OF SOLUTION BASED METAL OXIDE THIN FILMS
8	Prof. Dr. Gamze GENÇ Orhun BATURAR	Erciyes University, Turkey	A NUMERICAL ANALYSIS ON THE EFFECT OF ARRANGEMENT OF THE BATTERY CELLS IN LITHIUM-ION BATTERIES
9	Ümit Çalışır Mehmet Doğan Baki Çiçek	Siirt University, Turkey Balıkesir University, Turkey	SYNTHESIS OF α- AND β-NAPHTHYL MODIFIED MULTI-WALLED CARBON NANOTUBES AND DETERMINATION OF HYDROGEN STORAGE PROPERTIES



DATE	ANKARA TIME	SESSION	HALL
03.12.2021	14 ⁰⁰ – 16 ⁰⁰	2	3

HEAD OF SESSION: Dr. Uzma Nadeem

1	Prof. Dr. Skender Demaku Gani Kastrati Jeton Halili	University of Pristina, Kosovo University for Business and Technology, Kosovo	ASSESSMENT OF CONTAMINATION WITH HEAVY METALS IN ENVIRONMENT: WATER, SLUDGE AND SOIL, AROUND KOSOVO POWER PLANTS
2	Muhammed Hanifi VAN Zewar Omar ISMAEL	Van Yüzüncü Yıl University, Turkey Salahaddin Univesity, Iraq	IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON RESIDENTIAL ELECTRICITY CONSUMPTION COINTEGRATION ANALYSIS: A SAMPLE OF ERBIL CITY
3	Abdulgaffar Muhammad Abubakar Musa Umar Hamisu Tolulope Comfort Ojo Maryam Ammani Lawal	Independent Researcher, Nigeria Federal University Dutse, Nigeria Nigerian Institute of Transport Technology, Nigeria Air Force Institute of Technology, Nigeria Kaduna State University, Nigeria	PRIVATE SECTOR AND CLIMATE FINANCE LANDSCAPE IN DEVELOPING COUNTRIES: A PERSPECTIVE OF PRIVATE SECTOR ORGANIZATIONS IN NIGERIA
4	ALAA ISKANDAR	University of Miskolc, Hungary	INTELLIGENT POWER MANAGEMENT ALGORITHM FOR A MICROGRID BASED ON MULTI-AGENT SYSTEM
5	Nuha A. Alhebshi	King Abdulaziz University, Saudi Arabia	ONE-HOUR SYNTHESIS OF COBALT HYDROXIDE CHLORIDE NANOFLAKES AT ROOM TEMPERATURE FOR SUPERCAPACITORS
6	Dr. Selçuk MUTLU Assoc. Prof. Dr. Ercan ŞENYİĞİT	Freelance Researcher, Turkey Erciyes University, Turkey	MULTI-STAGE TRANSMISSION EXPANSION PLANNING PROBLEM WITH DISTORTION EFFECT
7	Dalal Adnan Amer Maturi	King Abdulaziz University, Saudi Arabia	THE VARIATIONAL ITERATION METHOD FOR SOLVING TELEGRAPH EQUATION USING MAPLE
8	Vo Hoan Hai Dang Hoang Xuan Huy	Nha Trang University, Vietnam	ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE OF COASTAL AQUACULTURE FARMERS IN KHANH HOA PROVINCE, VIETNAM
9	Dr. Uzma Nadeem	Univesiy of Delhi, Mata Sundri College for Women, India	SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN ENERGY AND ENVIRONMENT: CURRENT STATUS & CHALLENGES IN INDIA



DATE	ANKARA TIME	SESSION	HALL
03.12.2021	14 ⁰⁰ – 16 ⁰⁰	2	4

HEADS OF SESSION: Prof. Dr. M. Lahfaoui & Prof. Dr. M. Grari

1	Mimoun El-Aouni Youssef Ben-Ali Ilyass El Kadmiri Driss Bria	Université Mohamed Premier, Marocco	ELECTROMAGNETICALLY INDUCED TRANSPARENCY AND FANO RESONANCE IN COAXIAL PHOTONIC WAVEGUIDE MADE UP OF THE LOOP AND TWO RESONATORS
2	Ismail AMMOUR Nassila SABBA	University of Sciences and Technologie Houari Boumediene, Algeria	LEACHING OF IRON ORE IN THE PRESENCE OF AN ELECTRIC FIELD TO REMOVE IMPURITIES AND ENRICH THE IRON
3	Youssef Zerguit Youness Hammoudi Idriss Idrissi Mostafa Derrhi	Abdelmalek Essaadi University, Morocco Mohammed First University, Morocco	MAINTENANCE AND CONTROL OF AN ELECTRICAL INSTALLATION BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE
4	Karmich Saida Ziani Elmostafa Bouchnaif Jamal	Mohammed 1 St University, Morocco	EVALUATING MOROCCAN ELECTRIC GRID RELIABILITY BY 2030 USING THE BARABÁSI-ALBERT NETWORK MODEL
5	F. Chaou I. Jalafi M. Abou-Salama	Mohammed 1 St University, Morocco	THE EFFECT OF DOPING IN THE B-site (Ti4 +) OF THE MATRIX (Bi 0.33 Na 0.33 Sr 0.33) Ti1-y Gey O3 (NBST) ON THE DIELECTRIC AND FERROELECTRIC PROPERTIES OF THIS COMPOUND
6	Guesmi Ibteissam Malki Siham El Farh Larbi Chalioui Allal	Mohammed First University, Morocco	STUDY OF THE STRUCTURAL, ELECTRONIC AND OPTICAL PROPERTIES OF 1T-ZrX2 MATERIALS (X=S, Se, Te)
7	E. H. Sebbar T. El Rhafiki A. Ait Msaad D. Achemlal	Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco Ecole Supérieure de Technologie de Fès, U.S.M.B.A, Morocco	NUMERICAL STUDY OF SPHERICAL CAPSULES PACKED BED A COLD STORAGE SYSTEM: DISCHARGE MODE
8	Elbouazaoui, Y. Margoum, A. Et-Touhami, M. Bouchta, R. Elouargioui A.	Université Mohamed Premier, Morocco Sound Energy Morocco Ltd, Morocco ONHYM: Office National des Hydrocarbures et des Mines, Morocco	PREDICTION OF TAGI RESERVOIR LITHOFACIES FROM WELL LOG DATA USING A MACHINE LEARNING APPROACH, TENDRARA BASIN, MOROCCO
9	KHELLAF Loubna NAIMI AITAOUDIA Meriem	University Saâd Dahlab of Blida 1, Algeria	THE RISK OF EXPOSURE OF URBAN POPULATION TO AIR POLLUTION: ANALYSIS OF MORPHO-CLIMATIC CHARACTERISTICS AFFECTING FINE PARTICLES DISPERSION OF THE CANYON STREETS OF ALGIERS



DATE	ANKARA TIME	SESSION	HALL
04.12.2021	11 ⁰⁰ – 13 ⁰⁰	3	1

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr. Koray KARABULUT

1	Assoc. Prof. Dr. Koray KARABULUT Assoc. Prof. Dr. Doğan Engin ALNAK	Sivas Cumhuriyet University, Turkey	RESEARCH OF THE EFFECT OF FIN DESIGN ON THE COOLING OF HEATED ELECTRONIC COMPONENTS IN A CHANNEL WITH IMPINGING JET-CROSS FLOW
2	Atila Uygur SÖNMEZ Cihad ÇELİK Fuat Yılmaz	Gaziantep University, Turkey İstanbul Technical University, Turkey	AN AIR LUBRICATION APPLICATION FOR RESISTANCE REDUCTION ON CURVED-SHAPED HULLS
3	Dr. Faruk KILIÇ	Gazi University, Turkey	DETERMINATION OF KINETICS OF DRYING OF SLICED ORANGES AND ENERGY ANALYSIS
4	Dr. Ahmet Erhan AKAN	Namık Kemal University, Turkey	MEETING THE ELECTRICAL AND THERMAL LOAD DEMANDS OF A HOUSEHOLD USING OFF-GRID HYBRID ENERGY SYSTEMS: A CASE STUDY OF MARMARA ISLAND
5	Gildis TACHİR Meryem ALTINÖZ Esmâ MIHLAYANLAR	Trakya University, Turkey Balıkesir University, Turkey Trakya University, Turkey	INVESTIGATION OF ENERGY CONSUMPTION AND COMFORT CONDITIONS IN ACCOMMODATION BUILDINGS: BOUTIQUE HOTEL-ABDERA
6	Haydar KEPEKÇİ Kagan Cenk MIZRAK	Nisantasi University, Turkey Usak University, Turkey	USING OF RENEWABLE ENERGY AT AIRPORTS
7	Seyda ÖZBEKTAŞ Bilal SUNGUR	Ondokuz Mayıs University, Turkey Samsun University, Turkey	NUMERICAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF TUBE DIAMETER ON COMBUSTION AND HEAT TRANSFER IN RADIANT HEATERS
8	Dr. Mustafa AKKAYA Prof. Dr. Tayfun MENLİK	Karamanoglu Mehmetbey University, Turkey Gazi University, Turkey	EXAMINATION OF THE REFRIGERATING PERFORMANCE FOR HEXAGONAL BORON NITRIDE NANOPARTICLES
9	Murat Celik Thomas Noble Colin Robert Conchúr Ó Bradaigh	University of Edinburgh, The United Kingdom	SUITABILITY OF INFRARED HEATING SYSTEM FOR TIDAL TURBINE COMPOSITE MATERIAL PRODUCTION
10	Dr. Yusuf TEKİN M. Fatih ÖZTÜRK Fuad SAMADZADE	Erciyes University, Turkey FNF Teknoloji San. Ve Tic. A.Ş., Turkey	NEW TYPE ULTRASONIC HEAT METER DESIGN WITH HIGH MEASUREMENT ACCURACY



DATE	ANKARA TIME	SESSION	HALL
04.12.2021	11 ⁰⁰ – 13 ⁰⁰	3	2

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Alaeddin BOBAT

1	Sırrı UYANIK Ayşegül UÇKUN ÖZKAN	<i>KTO Karatay University, Turkey</i>	RENEWABLE ENERGY DEVELOPMENT IN TURKEY AND ITS POTENTIAL TO HELP COMBAT CLIMATE CHANGE
2	Prof. Dr. Alaeddin BOBAT	<i>Kocaeli University, Turkey</i>	HYDROELECTRIC POWER OUTLOOK IN TURKEY
3	Prof. Dr. Alaeddin BOBAT	<i>Kocaeli University, Turkey</i>	SMALL HYDROPOWER OVERVIEW IN TURKEY
4	Dr. Uğur URSAVAŞ	<i>Zonguldak Bülent Ecevit University, Turkey</i>	CONVERGENCE IN ECOLOGICAL FOOTPRINT ACROSS EMERGING COUNTRIES: A CLUB CONVERGENCE APPROACH
5	Zerrin KILIÇARSLAN Selma BÜYÜKKANTARCI TOLGAY Yasemin DUMRUL	<i>Kayseri University, Turkey</i>	THE PRODUCT MAPPING ANALYSIS OF ENERGY SECTORS IN EU COUNTRIES
6	Assist. Prof. Dr. İsmail Kavaz	<i>Firat University, Turkey</i>	THE EFFECTS OF THE COVID-19 PANDEMIC ON GLOBAL ENERGY MARKETS: AN ASSESSMENT ON THE CURRENT SITUATION AND POSSIBLE FUTURE SCENARIOS



DATE	ANKARA TIME	SESSION	HALL
04.12.2021	11 ⁰⁰ – 13 ⁰⁰	3	3

HEADS OF SESSION: Prof. Dr. A. Nasser & Prof. Dr. R. Benkaddour

1	Belhadj Kamal Azzouz Omar Makkaoui Mohamed	<i>Mohammed First University, Morocco</i>	TECHNICAL-ECONOMIC STUDY OF SLOPE STABILIZATION SOLUTIONS IN THE EASTERN RIF REGION – MOROCCO
2	Ilham HABRICH Ghita AIT BADDI Rabha AISSA Fouad ACHEMCHAM Safa ZAIDOUNI Bouchra CHEBLI	<i>Ibno Zohr University, Morocco</i>	EVALUATION OF POLLUTANT LOAD OF OLIVE MILL WASTEWATER FROM TAROUDANT CITY, MOROCCO
3	Chaimae BENAÏSSA Belkacem BOUHMADI Abdelhamid ROSSI	<i>Abdelmalek Essaâdi University, Morocco</i>	WATER QUALITY ASSESSMENT OF A WELL IN DRY AND WET PERIOD IN THE GHIS BASIN, NORTHERN MOROCCO
4	ARIGUE Bidjad RAHMANI Soumia SRITI Leila KAOULA Dalel	<i>University of Mohammed Khider, Algeria University of Saad Dahlab, Algeria</i>	TOWARDS ECOLOGICAL AND ENERGY EFFICIENT DESIGN INSPIRED FROM VERNACULAR DWELLING'S ENVELOPE STRATEGIES: CASE OF VALLEY OUED RIGH AND VALLEY MZAB
5	LEMITA Ikhlas KAOULA Dalel	<i>University Saad Dahleb Blida1, Algeria</i>	TOWARD A TRADITIONAL ENERGY CLASS "A" BUILDING UNDER THE COASTAL ZONE
6	RAHMANI Soumia KAOULA Dalel HAMDY Mohamed LEMITA Ikhlas	<i>University of Saad Dahlab, Algeria</i>	TOWARDS RESILIENCE OF LOCAL ARCHITECTURE BY THE EVALUATION OF VERNACULAR DWELLING SYSTEMS IN ALGERIA ACCORDING TO INTERNATIONAL THRESHOLDS
7	Prof. C. Slimani M. Farhaoui	<i>Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco</i>	IMPACT OF ENERGY FACTORS ON REAL ESTATE VALUES
8	Arabi Mourad Arbaoui Asmae Fares Khalid Barboucha Fatine Mechkurrou Latifa Madani Zakaria	<i>Cluster Valbiom Maroc, Morocco</i>	THE STRATEGY OF SUPPORTING ENVIRONMENTAL CLUSTERS AS A KEY TOOL FOR PROMOTING INDUSTRIALLY INNOVATIVE SOLUTIONS: THE CASE OF THE VALBIOM MOROCCO CLUSTER
9	Loubna Jabir Hayat El hammi Issam Jilal Mohamed El Boutaybi Mohamed Abou-Salama Soufian El Barkany	<i>Mohamed 1st University, Morocco</i>	NEW CELLULOSE BASED pH- SENSITIVE HYDROGEL FOR HIGHLY EFFICIENT DYES REMOVAL IN WATER TREATMENT



DATE	ANKARA TIME	SESSION	HALL
04.12.2021	11 ⁰⁰ – 13 ⁰⁰	3	4

HEADS OF SESSION: Prof. Dr. A. El Moussaouy & Prof. Dr. A. Ouariach

1	Bilal Benmasaoud Hilal Essaouini	<i>Abdelmalek Essaâdi University, Morocco</i>	SLOSHING OF A VISCOELASTIC FLUID IN A PARTIALLY FILLED 2-D RECTANGULAR CONTAINER
2	Darhi Zakariae Malki Siham El farh Larbi	<i>Mohammed 1st University, Morocco</i>	FIRST-PRINCIPLE STUDY OF THE THERMODYNAMIC PROPERTIES OF VSb ₂ COMPOUND AS A FUNCTION OF PRESSURE AND TEMPERATURE
3	Siham Machichi Fatima Zahra Elamri Yassine Bouchafra Youssef Ben-ali Farid Falyouni Driss Bria	<i>Mohamed First University, Morocco University Paris Est, France Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco</i>	THE STUDY OF THE ELECTRONIC DEFECT STATES OF ONE DIEMNSIONAL COMB-LIKE QUANTUM WIRES STRUCTURE CONTAINING RESONATOR DEFECT USING THE TRANSFER MATRIX
4	Baidri Abdelkader Fatima Zahra Elamri Farid Falyouni Driss Bria	<i>Mohamed First University, Morocco</i>	EFFECT OF THE INTRODUCTION OF A STAIRCASE DEFECT ON THE BEHAVIOR OF THE INDUCED ELECTRONIC STATE IN A MQWs STRUCTURE
5	Afaf Toaiba Abdelouahab Tati Abdelouahed Kriker	<i>Kasdi Merbah University of Ouargla, Algeria University of Biskra, Algeria</i>	STUDY ON THE EFFECT OF HIGH TEMPERATURE ON DYNAMIC BEHAVIOR OF METALLIC BEAMS
6	Feddal Imene Hafdi Bochra Mimanne Gousseem Taleb Safia	<i>Abdel Hamid Ibn Badis University of Mostaganem, Algeria Djillali Liabes University of Sidi Bel Abbes, Algeria</i>	PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF MODIFIED CLAY - APPLICATION TO THE ADSORPTION OF AN INDUSTRIAL COLORANT
7	OUHADDA Hassan ZERFAOUI Mustapha Karim BAHHOUS Samir DIDI	<i>University Mohammed First, Morocco</i>	MONTE CARLO SIMULATION OF X-RAY BEAM SPECTRUM RELATED TO ANODE MATERIAL
8	Mohamed El housse Abdallah Hadfi Ilham Karmal Abdelali Aboussabek Mohamed Errami Ali Driouiche	<i>University Ibn zohr, Morocco</i>	VALORISATION OF AGRICULTURAL WASTE EXTRACTS AS ECONOMICAL AND ENVIRONMENTAL FRIENDLY SCALING INHIBITORS IN INDUSTRIAL FACILITIES: PERFORMANCE AND MECHANISM
9	YAHOUUM Madiha Melha LEFNAOUI Sonia	<i>University Dr. Yahia Fares of Medea, Algeria</i>	FORMULATION OF NANOPARTICLES BASED ON ACRYLLIC COPOLYMERS BY NANOPRECIPIATION METHOD



DATE	ANKARA TIME	SESSION	HALL
04.12.2021	11 ⁰⁰ – 13 ⁰⁰	3	5

HEADS OF SESSION: Assist. Prof. Halil Hakan AÇIKEL

1	Dr. Abdul Vahap Korkmaz	<i>Afyon Kocatepe University, Turkey</i>	"STRATEGIC RAW MATERIALS" IN GREEN ENERGY TRANSFORMATION
2	Berkcan Boğa Hasan Atasoy Mert Taş Gülşah Elden	<i>Erciyes University, Turkey</i>	A PRELIMINARY STUDY FOR PRODUCTION OF SEALS FROM RECYCLED MATERIALS
3	Huseyin Dursun Veysel Ozkaya Belkis Surucu Serife Akar Mustafa Akkaya Seckin Akin Erdi Akman	<i>Karamanoglu Mehmetbey University, Turkey</i>	METAL DOPING STRATEGY to FABRICATE HIGH PERFORMANCE DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS
4	Erdi Akman	<i>Karamanoglu Mehmetbey University, Turkey</i>	SURFACE MODIFICATION of NICKEL OXIDE with POLYMER for EFFICIENT PLANAR PEROVSKITE SOLAR CELLS
5	Bingül KURT URHAN Hülya ÖZTÜRK DOĞAN	<i>Atatürk University, Turkey</i>	FABRICATION OF CHROMIUM (III) OXIDE-ELECTROREDUCED GRAPHENE OXIDE (Cr ₂ O ₃ -ERGO) NANOCOMPOSITE VIA ONE-POT ELECTROCHEMICAL METHOD
6	Atabek MOVLYANOV Assist. Prof. Saltuk Buğra SELÇUKLU Assist. Prof. Mark RODGERS	<i>Erciyes University, Turkey Rutgers Business School, Supply Chain Management,</i>	OPTIMIZATION OF ELECTRICITY GENERATION EXPANSION CONSIDERING ECONOMIC DEVELOPMENT AND EMPLOYMENT



DATE	ANKARA TIME	SESSION	HALL
04.12.2021	14 ⁰⁰ – 16 ⁰⁰	4	1

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr. Ali Eren ALPER

1	Res. Assist. Buket AYDIN Prof. Dr. Kerem KARABULUT	Atatürk University, Turkey	ENERGY CONSUMPTION AND CARBON EMISSION
2	Res. Assist. Anıl LÖGÜN Res. Assist. Buket AYDIN	Atatürk University, Turkey	ENERGY CONSUMPTION, ENERGY POLICIES AND ECONOMIC GROWTH: AN APPLICATION ON ASIA PACIFIC COUNTRIES
3	Assoc. Prof. Dr. Ali Eren ALPER Assoc. Prof. Dr. F. Ozlem ALPER	Niğde Ömer Halisdemir University, Turkey	INVESTIGATION ON THE PERSISTENCE OF ECOLOGICAL FOOTPRINT IN SELECTED OECD MEMBER COUNTRIES: NONLINEAR UNIT ROOT ANALYSIS FINDINGS
4	Kerem Fırat COŞKUN Sinem ATICI USTALAR	Atatürk University, Turkey	INVESTIGATION OF REGIME DYNAMICS OF GLOBAL OIL MARKETS
5	Res. Assist. Rahman AYDIN Res. Assist. Nazlı GÖKÇE	Atatürk University, Turkey	THE EFFECT OF ENERGY IMPORTS ON CPI: THE CASE OF TURKEY
6	Sena TÜRKMEN Hilal BUDAK Emine Dilara AKTEKİN	Niğde Ömer Halisdemir University, Turkey	ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY OF ENERGY UNDER STRUCTURAL BREAKS: THE CASE OF E7 COUNTRIES
7	Sena TÜRKMEN Emine Dilara AKTEKİN Hilal BUDAK	Niğde Ömer Halisdemir University, Turkey	ELECTRICITY CONSUMPTION AND ECONOMIC GROWTH IN MINT COUNTRIES: AN ECONOMETRIC ANALYSIS
8	Sinem ATICI USTALAR	Atatürk University, Turkey	ANALYSIS OF THE VOLATILITY TRANSMISSION BETWEEN WORLD OIL PRICES AND MANUFACTURING INDUSTRY SHARES: THE CASE OF TURKEY
9	Dr. Semra AYDOĞDU BAĞCI	Ankara Yıldırım Beyazıt University, Turkey	DEVELOPMENTS OF ENERGY TAX AND TRANSPORT TAX FROM THE ENVIRONMENT TAXES AND ECONOMIC GROWTH IN OECD COUNTRIES



DATE	ANKARA TIME	SESSION	HALL
04.12.2021	14 ⁰⁰ – 16 ⁰⁰	4	2

HEADS OF SESSION: Prof. Dr. H. Bouali & Prof. Dr. H. Zahboune

1	Amrani Salaheddine Touili Samir Ait Lahoussine Hanane Alami Merrouni Ahmed Dekhissi Hassane	<i>University Mohammed First, Morocco</i>	TECHNICAL AND ECONOMICAL EVALUATION OF A PV/WIND HYBRID ENERGY SYSTEM FOR ELECTROLYTIC HYDROGEN PRODUCTION IN OUJDA CITY, MOROCCO
2	Hmidi Nassreddine Ammari Nabil Alami Merrouni Ahmed Chaabelasri Elmiloud Abdellatif Ghennioui	<i>University Mohammed First, Morocco</i>	ASSESSMENT OF THE UNCERTAINTY OF CSP PLANTS THERMAL PRODUCTION USING DIFFERENT DNI DATABASE UNDER MOROCCAN CLIMATE
3	Ammari Nabil Mehdi Maryam Alami Merrouni Ahmed Chaabelasri Elmiloud Abdellatif Ghennioui	<i>University Mohammed First, Morocco</i>	TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF THE IMPACT OF DIFFERENT HTF MATERIALS ON THE YIELD OF CSP PLANTS
4	Mehdi Maryam Ammari Nabil Alami Merrouni Ahmed Dahmani Mohammed Abdellatif Ghennioui	<i>University Mohammed First, Morocco</i>	PERFORMANCE ANALYSIS AND COMPARISON OF pc-Si and CdTe TECHNOLOGIES IN SEMI-ARID CLIMATE
5	I. Jalafi F. Chaou M. Abou-Salama	<i>University Mohammed First, Morocco</i>	DIELECTRIC PROPERTIES OF CaCu ₃ Ti ₄ O ₁₂ CERAMICS DOPED WITH STRONTIUM AND LANTHANUM
6	Hamza Achkari Begdouri Ahmed Khouya	<i>University Abdлмаalek Esaadi, Morocco</i>	TECHNO-ECONOMIC ASSESSEMENT OF HYDROGEN PRODUCTION USING CONCENTRATED SOLAR POWER- WATER ELECTROLYSIS: AN UPTDATE REVIEW
7	Moulay Said Khatab Ilyass El Kadmiri Youssef Ben-Ali Driss Bria	<i>University Mohammed First, Morocco</i>	PROPAGATION OF THE ACOUSTIC WAVES IN A ONE-DIMENSIONAL PARALLELEPIPED RESONATOR
8	Mohammed Serrhini Chaddi Fatima Tahiri Ahmed	<i>University Mohamed premier, Morocco</i>	FROM SKETCH TO ENERGY SIMULATION IN PHYSICS VIRTUAL LABORATORY USING DEEP LEARNING



DATE	ANKARA TIME	SESSION	HALL
04.12.2021	14 ⁰⁰ – 16 ⁰⁰	4	3

HEADS OF SESSION: Prof. Dr. A. Aziz & Prof. Dr. T. Ouchbel

1	Elyazid Flihi Driss Achemlal Tarik EL Rhafiki Mohammed Sriti Elmiloud Chaabelsri	<i>Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco Moulay Ismail University, Morocco</i>	EFFECT OF THE ABSORBER DESIGN ON CONVECTIVE HEAT TRANSFER IN A FLAT PLATE SOLAR COLLECTOR: A CFD MODELING
2	Mohamed Aatabe Fatima El Guezar Alessandro N. Vargas Hassane Bouzahir	<i>Ibn zohr university, Morocco Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Brazil</i>	STOCHASTIC CONTROL DESIGN FOR PHOTOVOLTAIC MICRO-GRID UNDER RANDOM LOAD CONSUMPTION
3	SABRI Sara MALEK Rachid KASSMI Khalil	<i>Université Mohammed Premier, Morocco</i>	ENHANCEMENT EFFICIENCY OF SOLAR CELLS BASED ON QUANTUM DOTS: A THEORETICAL STUDY
4	Akram Issam ZERMANE Tarik BORDJIBA	<i>8 Mai 1945 Guelma university, Algeria</i>	MODELING, SIMULATION AND AND PERFORMANCE ANALYSIS OF 21.6 kW GRID CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEM USING PVSYST SOFTWARE
5	Abir BRIA Benyounes RAILLANI Dounia CHAATOUF Mourad SALHI Samir AMRAQUI Ahmed MEZRHAB	<i>Mohammed First University, Morocco</i>	EFFECT OF PCM THICKNESS IN THE PERFORMANCE OF THE FINNED PV/PCM SYSTEM
6	Mohammed Rida Qasem Youssef Ben-Ali Farid Falyouni Driss Bria	<i>Mohamed First University, Morocco</i>	ELECTRON WAVE TRANSPORT IN A DOUBLE OF CYLINDRICAL QUANTUM WIRES
7	Youness Hammoudi Youssef Zerguit Idriss Idrissi Bouali Hicham	<i>Mohammed First University, Morocco</i>	SOLAR PANEL FAILURES DETECTION AND DIAGNOSIS: A THOROUGH ANALYSIS OF THE INTERNAL AND EXTERNAL PARAMETERS OF SOLAR PANELS
8	Mohamed Aatabe Fatima El Guezar Hassane Bouzahir Alessandro N. Vargas	<i>Ibn zohr university, Morocco Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Brazil</i>	STOCHASTIC CONTROL OF A DC-DC BUCK CONVERTER FOR PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS
9	Hayat El hammi Loubna Jabir Issam Jilal Mohamed El Boutaybi Mohamed Abou-Salama Soufian El Barkany	<i>Mohamed 1st University, Morocco</i>	SYNTHESIS, CHARACTERIZATION, OF A NOVEL GREEN FLOCCULANT (QC), AND THEIR APPLICATION FOR CLAY SUSPENSIONS



DATE	ANKARA TIME	SESSION	HALL
04.12.2021	14 ⁰⁰ – 16 ⁰⁰	4	4

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. A. Kerkour El Miad & Prof. Dr. E. Chaabelasri

1	Hajar Sadeq Abdelkader Nasser Abdelhamid Kerkour El Miad	<i>Mohammed First University Oujda, Morocco</i>	NUMERICAL SIMULATION OF DIRECT TENSILE TESTING OF REINFORCED CONCRETE USING ABAQUS SOFTWARE
2	Rabah Delfouf Nacerdine Bouzit Nacerdine Bourouba	<i>University Ferhat Abbas Setif 1, Algeria</i>	APPLICATION OF MIXTURE LAWS FOR THE PREDICTION OF THE DIELECTRIC PERMMITIVITY OF TERNARY COMPOSITE MATERIALS
3	Toumi Selma Yahoum Madiha Melha Lefnaoui Sonia	<i>University of Medea, Algeria</i>	NEW HYDROPHOBICALLY GRAFTED XANTHAN GUM DERIVATIVES WITH AMPHIPHILIC PROPRIETIES: SYNTHESIS AND PHYSICOCHEMICAL EVALUATION
4	Sahraoui Faiza Haddad Naima Jean-François Lamonier	<i>University of Science and Technology, Algeria University of Science and Technology, Algeria University of Lille, France</i>	"WATER VAPOR AND VOLATIL ORGANIC COMPOUNDS MIXTURE EFFECTS ON THE CATALYTIC OXIDATION OF N-BUTANOL OVER Mg ₄ Ce ₂ -HT AND Mg ₄ Ce ₂ -500 MATERIALS"
5	Meziane Ouahiba A. Bensedira M. Guessoum	<i>University of Tamanghasset, Algeria Ferhat ABBAS University, Algeria</i>	THE ROLE OF THE MMT AND CATALYST ON THE MORPHOLOGY AND THERMAL PROPERTIES OF THE PC/PET BLENDS
6	Zaim Malika Zaim Noura Kerouad Mohamed Zaim Ahmed	<i>University Moulay Ismail, Morocco</i>	MONTE CARLO STUDY OF BINARY ALLOY FERROMAGNETIC NANOPARTICLE UNDER TIME DEPENDENT MAGNETIC FIELD
7	Zaim Malika Zaim Noura Kerouad Mohamed Zaim Ahmed	<i>University Moulay Ismail, Morocco</i>	THE DYNAMIC MAGNETIC BEHAVIORS OF A MIXED (1, 3/2) NANOGRAFENE TRILAYERS STRUCTURES: A MONTE CARLO STUDY
8	Nassiba Benatallah Sallah Tlili Abderrahim Achouri Rabah Delfouf	<i>Kasdi Merbah University of Ouargla, Algeria</i>	STUDY OF THE CHANGE OF ELASTICITY COEFFICIENTS OF WÜSTITE IN PHASE B1 UNDER STRESS UP TO 70GPa BY CALCULATION
9	Mohamed EL BOUTAYBI Hayat EL HAMMI Loubna JABIR Nadia BOUROUMANE Rachid TOUZANI Zahra BAHARI	<i>Université Mohamed Premier, Morocco</i>	SYNTHESIS, CHARACTERIZATION AND CATECHOLASE ACTIVITY OF METALS COMPLEXES WITH PYRAZOLIC LIGANDS



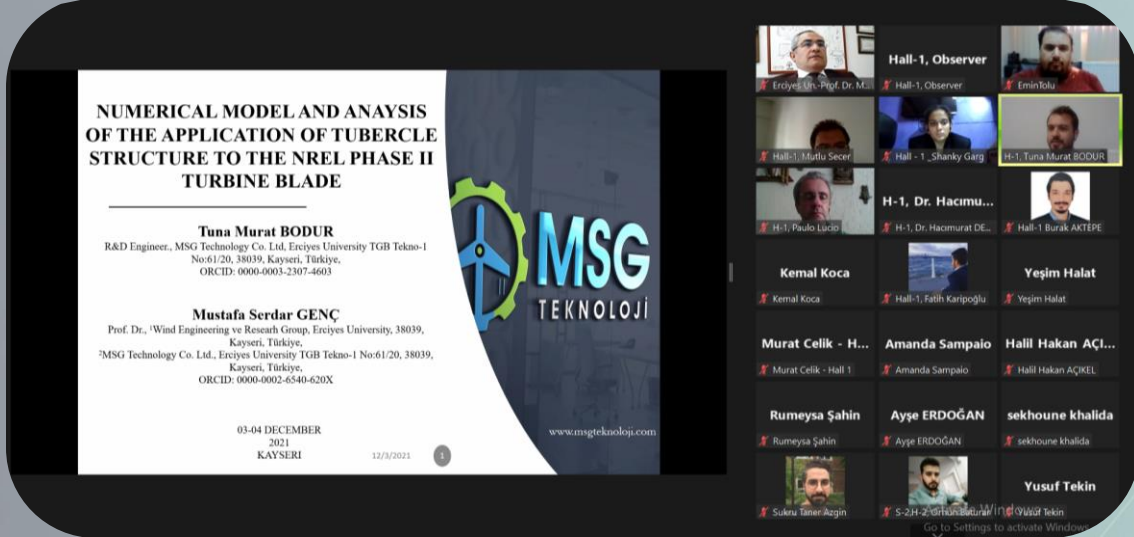
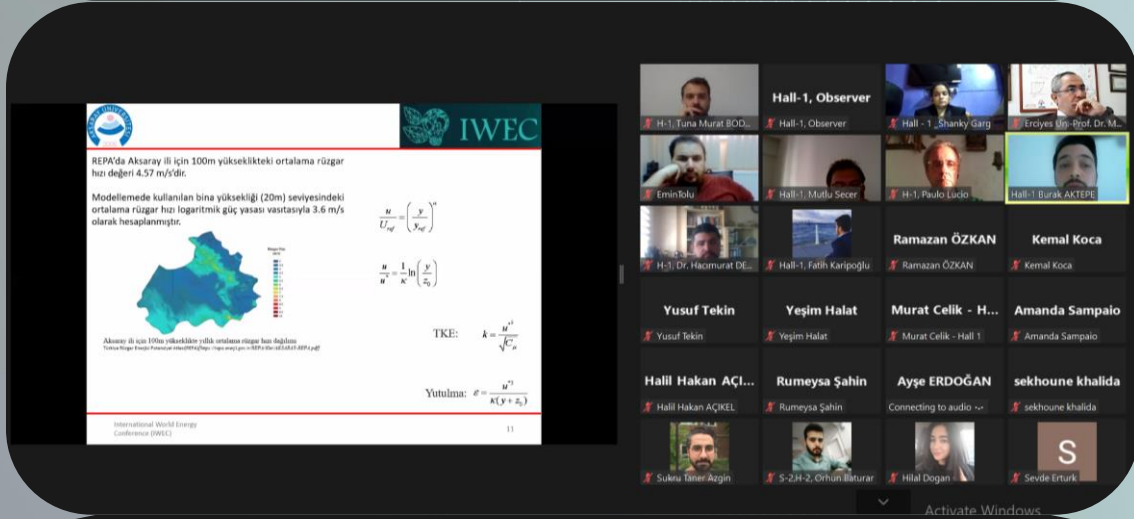
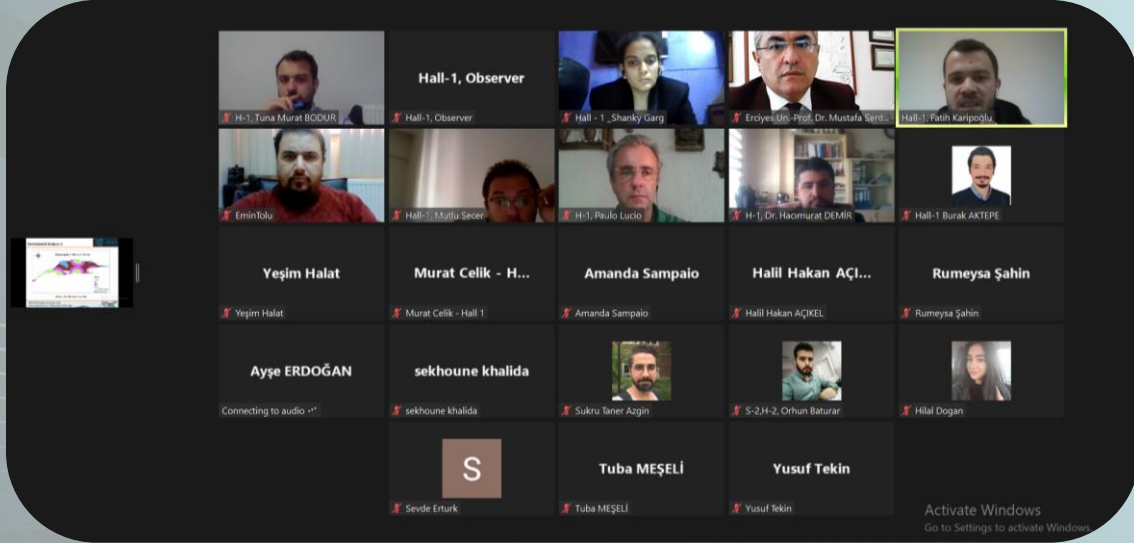
DATE	ANKARA TIME	SESSION	HALL
04.12.2021	14 ⁰⁰ – 16 ⁰⁰	4	5







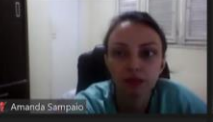

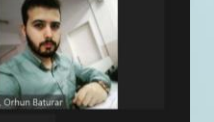

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. A. Alami Merrouni & Prof. Dr. K. Hirech


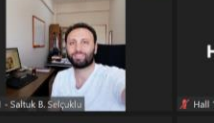

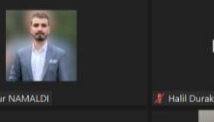

1	Elmiloud Chaabelsri Mohammed Jeyar Driss Achemlal	<i>University Mohamed First, Morocco</i>	NUMERICAL ASSESMENT OF THE POTENTIEL STREAM ENERGY EXTRACTION OF A TIDAL LAGOON INLET
2	Youssef Admi Mohammed Amine Moussaoui Ahmed Mezrhab	<i>Mohammed First University, Morocco</i>	NUMERICAL STUDY OF THE DRAG REDUCTION AND NATURAL CONVECTION AROUND RECTANGULAR BLOCK BY USING LBM METHOD
3	HADOUACHI Maryam Hamid BOUKHAL Chakir El Mahjoub	<i>University Abdelmalek Essaadi, Morocco University Ibn Tofail, Morocco</i>	GENERATION IV NUCLEAR REACTORS
4	Guilal Soumia Nadjar Yamama	<i>University of Abbes Laghrour, Algeria University of elarbi ben mhidi oum elbouagiu, Algeria</i>	HYDRO-GEOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF WATER TAMERSITE SPRINGS FROM KHENCHELA REGION (NORTHEASTERN ALGERIA)
5	Safa ZAIDOUNI Soukaina KAOUI Ilham HABRICH Ghita AIT BADDI Bouchra CHEBLI	<i>Ibn Zohr University, Morocco</i>	BIOMETHANIZATION: OPTIMIZATION OF THE PERFORMANCES OF BIOGAZ INSTALLATION
6	Othmane AMHOUD Ahmed ZAIM Mohammed KEROUAD	<i>Moulay Ismail University, Morocco</i>	ELECTRONIC, MAGNETIC PROPERTIES AND MAGNETOCALORIC EFFECTS OF LaMnO ₃ : FIRST PRINCIPLE STUDY AND MONTE-CARLO SIMULATION
7	Chaima CHAIB Tarik BORDJIBA Riane Nor El Houda CHIHEB	<i>8 Mai 1945 Guelma University, Algeria</i>	HIGH PERFORMANCE GRAPHENE ON COPPER NICKEL ALLOYS FOR HYDROGEN EVOLUTION REACTION
8	Riane Nor El Houda CHIHEB Tarik BORDJIBA Zineb NABTI Chaima CHAIB	<i>8 Mai 1945 Guelma university, Algeria</i>	A BINDERLESS CARBON ELECTRODE MATERIAL DERIVED FROM NUTS SHELL WASTE FOR RENEWABLE ENERGIES AND ENERGY STORAGE APPLICATIONS
9	Fatima Ezzahra YATIM Imane BOUMENCHAR Youness CHHITI Fatima Ezzahrae M'HAMDI ALAOU	<i>Chouaib Doukkali University, Morocco Ibn Tofail University, Morocco Abdelmalek Essaadi University, Morocco</i>	EXPERIMENTAL STUDY OF WASTES COMBUSTION
10	Imane Mehdi El Motapha Boudi	<i>University Mohammed V, Morocco</i>	ENVIRONMENTAL REQUIREMENTS MODELING OF AN ECO-DESIGNED MECHATRONIC SYSTEM USING CP-nets




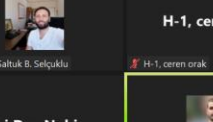

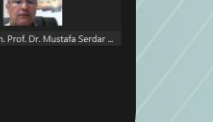
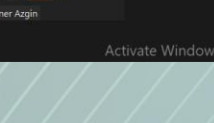


PHOTO GALLERY



 Emin Toklu	Hall-1, Observer Hall-1, Observer	 Hall-1, Shanky Garg	 Erciyes Un.-Prof. Dr. Mustafa Serdar GENÇ	 H-1, Paulo Lucio
 Burak AKTEPE	 Hall-1, Mutlu Secer	 Amanda Sampaio	H-1, Tuna Murat... H-1, Tuna Murat BODUR	H-1, Dr. Hacimu... H-1, Dr. Hacimurat DEMİR
Rumeysa Şahin Rumeysa Şahin	Ayşe ERDOĞAN Connecting to audio...	sekhoun khalida sekhoun khalida	 Sukru Taner Azgin	 S-2H-2, Orhun Batıkar
Tolga Benli Tolga Benli	 H-1, Prof. Dr. Gamze GENÇ	Nesrin Demir Nesrin Dem	İKSAD GLOBAL İKSAD GLOBAL	Activate Windows Go to Settings to activate Windows.

 H-1, ceren orak	Hall-1, Observer Hall-1, Observer	Mai Duc Nghia Mai Duc Nghia	S2 H1 Müslim E... S2 H1 Müslim Ekinci
 S2-H1 - Saltuk B. Selçuklu	Hall 1, Tuba Hat... Hall 1, Tuba Hatice DOĞAN	 S2 H1, Sukru Taner Azgin	H-1, SALİH GENEL H-1, SALİH GENEL
Fatimaezzahra Y... Fatimaezzahra Yatim	 S2 H1 - Onur NAMALDI	Halil Durak Halil Durak	Mert Taş Mert Taş
aslı yuksel aslı yuksel	 Erciyes Üny Prof. Dr. Mustafa Serdar GENÇ		Activate Windows Go to Settings to activate Windows.

 BİYOLOJİK ATIKSULARIN YENİLİKÇİ VERMİFİLTRASYON TEKNOLOJİ İLE ARITILMASI Onur NAMALDI Dr. Sukru Taner AZGIN	 S2 H1 Müslim Ekinci	Hall-1, Observer Hall-1, Observer	 Alabek Movlyanov
	 S2-H1 - Saltuk B. Selçuklu	H-1, ceren orak H-1, ceren orak	Hall 1, Tuba Hat... Hall 1, Tuba Hatice DOĞAN
	Mai Duc Nghia Mai Duc Nghia	 S2 H1, Onur NAMALDI	 Erciyes Un. Prof. Dr. Mustafa Serdar GENÇ
		 Sukru Taner Azgin	



Observer Aygul... Dr. Uzma Nadeem... H-3, Nuha Alhebshi... Zewar Omar Ismael... Skender Demaku... Ercan Şenyigit

Recording... Nuha A. Alhebshi, IWEC 2021

Our Previous Work: Ni(OH)₂ Nanoflakes for Supercapacitors

Chemical Precipitation

Planar Coating of Ni(OH)₂ Nanoflakes

Reaction at Room Temperature

$$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{NH}_4\text{OH} + \text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$$

$$\text{Ni}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Ni(OH)}_2$$

Carbon Microfibers Substrate

Chemical Bath Deposition

Conformal Coating of Ni(OH)₂ Nanoflakes

H2 - Observer

H2 - Observer

H2 - Öğr. Gör. Zeki YILBAŞI

Hall 2 - Halil Cecen

Hall-2, Onur KOVAC

Hall-2, Gozde KESTELIOGLU

MEVLÜT ARSLAN

MEVLÜT ARSLAN

KAAN KAPAN

Hall 2, Prof. Dr. Gamze GENÇ

Doç. Dr. Murat Kadir YEŞİLYURT - H2

H-4 Observer

Moderator Prof....

S2-H1, Moderator...

Ammani Nabil

Mohammed HBIBI

Zakaria

EL HASSAN SEB...

EL HASSAN SEBBAR

H4 Ilyass

Dr. M. El Malki

ZIOUAL Sarra

S1H4 R Essaada...

dep pc

Mehdi Maryam

S1 H4 R.B

S1,H2, Dr. F Z EL...

Kamal Hirech

Pc

S1H4

Abdelouafi



Hall-2, Observer

H-2, Dr. Öğr. Üyesi İsmail Kavaz

Hall 2, Observer

Hall 2, Aladdin Bobak

H-2, Dr. Öğr. Üyesi Selma B. Tolgay Kayseri Unv

Sirri Uyanik

H-2, Zerrin Kılıçarslan

H-2, Ugur Ursavas

Atabek Molyanov

H-2, HAMZA A...

Activate Windows
Go to Settings to activate Windows.

Hall-1, Observer

Hall-1, Ali Eren Alper

Hall-1, Observer

H-1, Nazlı GÖKÇE

Hall-1, Anıl LOGÜN

Hall-1, Dilara AKTEKİN

Hall1 Hilal BUDAK

Hall-1, Kerem Fırat Coşkun

Hall-1, F. Özlem Alper

SEMRA AYDOĞDU BAĞCI

Buket AYDIN

rahmeti aydin


Hall-1, Sinem Atıcı Ustalar

Kemal Koca

Activate Windows
Go to Settings to activate Windows.

Tasarım 3

- Üç parçadan oluşmaktadır. Dış metal gövde, ölçüm kanalı ve yansıtıcıları yer aldığı iç plastik gövde (iki simetrik parça)
- plirinc gövde iç çapı 19 mm , iç kısmındaki plastik tutucunun dış çapı 19 mm ve ölçüm alanı olan plastik kanalın iç çapı 8 mm
- Daralma açısı 30° dir.
- Yansıtıcı olarak plastik ayaklar üzerine 1,5 mm kalınlığında paslanmaz 304 krom sac kullanılmıştır.
- Yansıtıcılar arası mesafe 62 mm



Hall 1 Observer

Hall-1-Doç. Dr. Koray Karay

Hall_1_Observer

Fuad SAMADZADE

Hall-1 Gildis Tac...

Hall-1 Gildis Tachir

Murat Celik - Ha...

Murat Celik - Hall 1

Esmâ Mihlayanlar

Esmâ Mihlayanlar

Dr. Hacimurat D...

Dr. Hacimurat DEMİR

A

Hall 1, Ahmet Erhan Akan

M.Fatih

M.Fatih

Yusuf Tekin

Yusuf Tekin

Hall1_Session3 ...

Hall1_Session3_Dr.FarukKILIÇ

Seyda ÖZBEKTAŞ

Seyda ÖZBEKTAŞ

H-1, Kağan Cen...

H-1, Kağan CenK MIZRAK

FNF

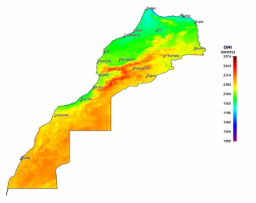
FNF

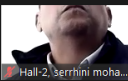




Introduction

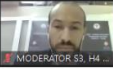
Moroccan great solar potential :

- More than 3000h of sunshine
- GHI : 4,76 - 6,13 KWh/m²
- Specific PV power output : 4,3 – 5,5 KWh/KWp




	Hall_2_Observer	
H-2, Nabil Amm...	Hall2,Amrani Sa...	E
H-2, Nabil Ammari	Hall2 Amrani Salahed...	S4 H2 Moulay said K...
Moderator Prof....	H-2, HAMZA AC...	SIHAM MACHIC...
Moderator Prof. H. Z...	H-2, HAMZA ACHKAR...	SIHAM MACHICHI
E	M Siham	Zakaria
H2 techni EL KADMIRI...	M Siham	Zakaria
	ibtissam guesmi	Ilyas JALAFI
Co-Host, Dr.M. EL M...	ibtissam guesmi	Ilyas JALAFI
	Hmidi Nassredd...	
	Hmidi Nassreddine	

H-4 Observer











H-4 Observer

MODERATOR S3_ H4...

S3 H4 EL KADMIRI (W...

S3-H4-techni:Younes ...

S3H4 Baidri Abdellader

SIHAM MACHICHI



Ex - **LAM** Depuis (1994)

Université Mohammed premier
Faculté des sciences Oujda

Laboratoire des Matériaux, ondes , énergies et environnement

Effect of the introduction of a staircase defect on the behavior of the induced electronic state in a MQWs Structure

A. Baidri , F. Z. Elamri, F. Falyouni, D. Bria

Supervisor: Pr. F. Falyouni



CONTENT

CONFERENCE ID	I
SCIENTIFIC & REVIEW COMMITTEE	II
PHOTO GALLERY	III
PROGRAM	IV
CONTENT	V

Author	Title	No
Fatih KARİPOĞLU Mustafa Serdar GENÇ	SELECTION BEST LOCATIONS OF MEASUREMENT POINTS FOR OFFSHORE WIND ON MARMARA SEA	1-5
Hacımurat DEMİR Burak AKTEPE	NUMERICAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF WIND FLOWS IN DIFFERENT DIRECTIONS ON BUILDING IN THE ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER	6-19
Mutlu SEÇER	INVESTIGATION OF DESIGN PARAMETERS OF WIND TURBINE TOWER FOUNDATIONS	20-27
Mustafa Serdar GENÇ Tuna Murat BODUR	NUMERICAL MODEL AND ANALYSIS OF THE APPLICATION OF TUBERCLE STRUCTURE TO THE NREL PHASE II TURBINE BLADE	28-38
Zeki YILBAŞI Murat Kadir YEŞİLYURT Mevlüt ARSLAN	A STUDY REGARDING THE COVID-19 EFFECT ON THE OIL MARKETS	39-44
Onur KOVACI Kaan KAPAN	IMPORTANCE OF ENERGY GEOPOLITICS IN THE POSITIONING OF FOREIGN MILITARY BASES IN AFRICA	45-53
Meltem KUTLU GÜRSEL	GEOTHERMAL ENERGY IN TERMS OF LAW	54-65
A. Beril TUĞRUL	EVALUATION of NUCLEAR POWER PLANTS IN THE VIEW of GREEN DEAL INITIATIVE	66-72
İsmail Hakkı İŞCAN	IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON MIGRATION: CLIMATE MIGRATION	73-81
Ersin GÜNGÖR	ECONOMIC LOSSES CAUSED BY GLOBAL WARMING IN FOREST ENERGY DISTRIBUTION LINES	82-88
Ersin GÜNGÖR	A NEW UNDERSTANDING IN ENERGY DISTRIBUTION LINES CORRIDOR MAINTENANCE: VEGETATION MANAGEMENT	89-94
İsmet TURAN Güray KÜÇÜKKOCAOĞLU	ECONOMIC EFFECTS OF TIME DIMENSION ON INCENTIVE MECHANISM FOR RENEWABLE ENERGY RESOURCES	95-101
Ferhan BAŞ KAMAN	EVALUATION OF WIND ENERGY EFFICIENCY IN EUROPE AND TURKEY USING DATA ENVELOPEMENT ANALYSIS AND DISCRIMINANT ANALYSIS	102-109



Tuğba BERÇİNTÜRK	SMALL MODULAR REACTORS: AN ASSESSMENT FOR DEVELOPING ECONOMIES	110-120
Özlem BEDİR Tuba Hatice DOĞAN	USE OF WASTE HETEROGENEOUS CATALYSTS IN BIODIESEL PRODUCTION	121-126
Özlem BEDİR Tuba Hatice DOĞAN	CATALYTIC EFFECT OF SUGAR INDUSTRY WASTE IN BIODIESEL PRODUCTION	127-132
Tuba KARACA Tuba Hatice DOĞAN	INVESTIGATION OF FUEL PROPERTIES OF BIODIESEL/WASTE TRANSFORMER OIL/DIESEL TRIPLE MIXTURES	133-136
Tuba KARACA Tuba Hatice DOĞAN	REMOVAL OF WATER OF WASTE TRANSFORMER OIL CONSIDERED AS ALTERNATIVE FUEL	137-142
Kerim KARABACAK	DESIGN OF A 3kWe POWER OFF-GRID PHOTOVOLTAIC SYSTEM AND RURAL HOUSE APPLICATION	143-149
Hasan Hüseyin ÇOBAN Muhammet Bira ŞAHİN	FEASIBILITY ANALYSIS OF PHOTOVOLTAIC POWER GENERATION PLANT IN ARDAHAN CITY BY RETSCREEN SOFTWARE	150-158
Barış Emre ÖZHAN Kenan DANIŞMAN	EXAMINING THE EFFECTS OF THE HYDROPHOBIC COATING ON THE PHOTOVOLTAIC PANEL EFFICIENCY	159-166
Hatice ÇITAKOĞLU Vahdettin DEMİR	FORECASTING SOLAR RADIATION USING DEEP LEARNING: THE CASE OF TURKEY	167-175
Melih MANIR Gamze GENÇ Murat TOMAKİN Büşra ILIK Vagif NEVRUZOĞLU	PRODUCTION OF p-CdTe FILMS USED IN SOLAR CELL PRODUCTION BY CRYOGENIC SUBSTRATE EFFECT	176-182
Melih MANIR Gamze GENÇ Derya BAL ALTUNTAŞ Murat TOMAKİN Vagif NEVRUZOĞLU	RECYCLING APPLICATIONS IN Si BASED SOLAR CELL	183-188
İmran KANMAZ Abdullah ÜZÜM	INFLUENCE OF SiO ₂ NANOPARTICLE DOPING ON THE OPTICAL CHARACTERISTICS OF SOLUTION BASED METAL OXIDE THIN FILMS	189-195
Gamze GENÇ Orhun BATURAR	A NUMERICAL ANALYSIS ON THE EFFECT OF ARRANGEMENT OF THE BATTERY CELLS IN LITHIUM-ION BATTERIES	196-202
Ümit ÇALIŞIR Mehmet DOĞAN Baki ÇIÇEK	SYNTHESIS OF α - AND β -NAPHTHYL MODIFIED MULTI-WALLED CARBON NANOTUBES AND DETERMINATION OF HYDROGEN STORAGE PROPERTIES	203-207
Skender DEMAKU Gani KASTRATI Jeton HALILI	ASSESSMENT OF CONTAMINATION WITH HEAVY METALS IN ENVIRONMENT: WATER, SLUDGE AND SOIL, AROUND KOSOVO POWER PLANTS	208-220
Muhammed Hanifi VAN Zewar Omar ISMAEL	IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON RESIDENTIAL ELECTRICITY CONSUMPTION COINTEGRATION ANALYSIS: A SAMPLE OF ERBIL CITY	201-225



Abdulgaffar MUHAMMAD Abubakar MUSA Umar HAMISU Tolulope Comfort OJO Maryam Ammani LAWAL	PRIVATE SECTOR AND CLIMATE FINANCE LANDSCAPE IN DEVELOPING COUNTRIES: A PERSPECTIVE OF PRIVATE SECTOR ORGANIZATIONS IN NIGERIA	226-236
Haydar KEPEKÇİ Kagan Cenk MIZRAK	USING OF RENEWABLE ENERGY AT AIRPORTS	237-245
Khellaf LOUBNA Naimi Aitaoudia MERIEM	THE RISK OF EXPOSURE OF URBAN POPULATION TO AIR POLLUTION: ANALYSIS OF MORPHO-CLIMATIC CHARACTERISTICS AFFECTING FINE PARTICLES DISPERSION OF THE CANYON STREETS OF ALGIERS	246-259
Koray KARABULUT Doğan Engin ALNAK	RESEARCH OF THE EFFECT OF FIN DESIGN ON THE COOLING OF HEATED ELECTRONIC COMPONENTS IN A CHANNEL WITH IMPINGING JET-CROSS FLOW	260-273
Atilla Uygur SÖNMEZ Cihad ÇELİK Fuat YILMAZ	AN AIR LUBRICATION APPLICATION FOR RESISTANCE REDUCTION ON CURVED-SHAPED HULLS	274-280
Ahmet Erhan AKAN	MEETING THE ELECTRICAL AND THERMAL LOAD DEMANDS OF A HOUSEHOLD USING OFF- GRID HYBRID ENERGY SYSTEMS: A CASE STUDY OF MARMARA ISLAND	281-289
Yusuf TEKİN M. Fatih ÖZTÜRK Fuad SAMADZADE	NEW TYPE ULTRASONIC HEAT METER DESIGN WITH HIGH MEASUREMENT ACCURACY	290-307
Sırrı UYANIK Ayşegül UÇKUN ÖZKAN	RENEWABLE ENERGY DEVELOPMENT IN TURKEY AND ITS POTENTIAL TO HELP COMBAT CLIMATE CHANGE	308-318
Alaeddin BOBAT	HYDROELECTRIC POWER OUTLOOK IN TURKEY	319-325
Alaeddin BOBAT	SMALL HYDROPOWER OVERVIEW IN TURKEY	326-332
Uğur URSAVAŞ	CONVERGENCE IN ECOLOGICAL FOOTPRINT ACROSS EMERGING COUNTRIES: A CLUB CONVERGENCE APPROACH	333-336
Zerrin KILIÇARSLAN Selma BÜYÜKKANTARCI TOLGAY Yasemin DUMRUL	THE PRODUCT MAPPING ANALYSIS OF ENERGY SECTORS IN EU COUNTRIES	337-348
İsmail KAVAZ	THE EFFECTS OF THE COVID-19 PANDEMIC ON GLOBAL ENERGY MARKETS: AN ASSESSMENT ON THE CURRENT SITUATION AND POSSIBLE FUTURE SCENARIOS	349-359
Arigue BIDJAD Rahmani SOUMIA Sriti LEILA Kaoula DALEL	TOWARDS ECOLOGICAL AND ENERGY EFFICIENT DESIGN INSPIRED FROM VERNACULAR DWELLING'S ENVELOPE STRATEGIES: CASE OF VALLEY OUED RIGH AND VALLEY MZAB	360-367
Arga Paradita Sutiyono Tuncay Çelik	THE RELATION BETWEEN ENVIRONMENTAL DAMAGE, ECONOMIC GROWTH, HOUSEHOLD CONSUMPTION, ECONOMIC INEQUALITY AND POPULATION: AN APPLICATION IN INDONESIA	368-380

2009-2020



IWEC

Abdul Vahap KORKMAZ	"STRATEGIC RAW MATERIALS" IN GREEN ENERGY TRANSFORMATION	381-388
Bingül KURT URHAN Hülya ÖZTÜRK DOĞAN	FABRICATION OF CHROMIUM (III) OXIDE-ELECTROREDUCED GRAPHENE OXIDE (Cr ₂ O ₃ -ERGO) NANOCOMPOSITE VIA ONE-POT ELECTROCHEMICAL METHOD	389-392
Buket AYDIN Kerem KARABULUT	ENERGY CONSUMPTION AND CARBON EMISSION	393-400
Anıl LÖGÜN Buket AYDIN	ENERGY CONSUMPTION, ENERGY POLICIES AND ECONOMIC GROWTH: AN APPLICATION ON ASIA PACIFIC COUNTRIES	401-408
Ali Eren ALPER F. Ozlem ALPER	INVESTIGATION ON THE PERSISTENCE OF ECOLOGICAL FOOTPRINT IN SELECTED OECD MEMBER COUNTRIES: NONLINEAR UNIT ROOT ANALYSIS FINDINGS	409-413
Kerem Fırat COŞKUN Sinem ATICI USTALAR	INVESTIGATION OF REGIME DYNAMICS OF GLOBAL OIL MARKETS	414-422
Sinem ATICI USTALAR	ANALYSIS OF THE VOLATILITY TRANSMISSION BETWEEN WORLD OIL PRICES AND MANUFACTURING INDUSTRY SHARES: THE CASE OF TURKEY	423-436
Sena TÜRKMEN Emine Dilara AKTEKİN Hilal BUDAK	ELECTRICITY CONSUMPTION AND ECONOMIC GROWTH IN MINT COUNTRIES: AN ECONOMETRIC ANALYSIS	437-442
Mohammed SERRHINI Chaddi FATIMA Tahiri AHMED	FROM SKETCH TO ENERGY SIMULATION IN PHYSICS VIRTUAL LABORATORY USING DEEP LEARNING	443-452
Mustafa AKKAYA Tayfun MENLİK	EXAMINATION OF THE REFRIGERATING PERFORMANCE FOR HEXAGONAL BORON NITRIDE NANOPARTICLES	453-459
Seyda ÖZBEKTAŞ Bilal SUNGUR	RADYANT ISITICILARDA BORU ÇAPININ YANMAYA VE ISI TRANSFERİNE ETKİSİNİN NÜMERİK İNCELENMESİ	460-471
Guilal SOUMIA Nadjar YAMAMA	HYDRO-GEOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF WATER TAMERSITE SPRINGS FROM KHENCHELA REGION (NORTHEASTERN ALGERIA)	472-487
Rahman AYDIN Nazlı GÖKÇE	THE EFFECT OF ENERGY IMPORTS ON CPI: THE CASE OF TURKEY	488-493





MARMARA DENİZİ İÇİN EN UYGUN DENİZ ÜSTÜ RÜZGAR ÖLÇÜM NOKTALARININ BELİRLENMESİ

BEST LOCATIONS SELECTION OF MEASUREMENT POINTS FOR OFFSHORE WIND ON MARMARA SEA

Fatih KARİPOĞLU

Izmir Institute of Technology, Engineering Faculty, Energy Systems Engineering, Izmir, Turkey.
ORCID ID: <https://orcid.org/0002-3314-134X>

Mustafa Serdar GENÇ

Erciyes University, Engineering Faculty, Energy Systems Engineering, Kayseri, Turkey.
ORCID ID: <https://orcid.org/0002-6540-620X>

Özet

Rüzgar enerjisinin kullanımı sahip olduğu yüksek potansiyel, ulaşılabilirlik, çevre dostu olması avantajlarından dolayı hızla artmaktadır. Bu artış beraberinde endüstriyel faaliyetlerini de beraberinde getirirken, istihdam olarak iş alanları oluşturmaktadır. Karaya kurulan rüzgar enerji sistemlerinde rüzgar potansiyeline sahip bölge sayısını azalması, çevresel şart ve kısıtlamaların artmasından dolayı deniz üstü rüzgar enerji santrallerinin kurulumu momentum kazanmıştır. Denizüstü rüzgar enerji santralleri daha kararlı ve yoğun rüzgar akışına sahip olmasına rağmen, yüksek kurulum ve işletim maliyetleri gelişimlerini kısıtlamaktadır. Bu yüzden, denizüstü rüzgar enerji sistemlerinin rüzgar potansiyeli yüksek bölgelere kurulması istenerek ekonomik yönden de avantajlı projelerin hayata geçirilmesi hedeflenmektedir. Potansiyel bölgelerin belirlenmesi için uydu verilerinin incelenmesi bir yöntem olarak belirlense de, hedef bölgede yapılacak olan gerçek ölçümlerin analizleri daha doğru sonuçlar elde edilmesi oldukça hayattır. Türkiye coğrafi konumundan dolayı hem karada hemde denizde rüzgar enerji santralleri için oldukça uygundur. 2020 yılı sonu itibarıyla, Türkiye'nin karaüstü rüzgar enerji kapasitesi 10 GW olsada, kurulmuş olan herhangi bir denizüstü rüzgar enerji santrali bulunmamaktadır. Türkiye denizüstü rüzgar enerji sistemlerinin kurulumu için lisans vermeyi planlamaktadır. Bu kapsamda, kurulumlar için uygun alanların belirlenmesi adına çeşitli çalışmalar başlatılmıştır. Uygun alanlar genel olarak teknik, çevresel, sosyal ve ekonomik kriterler üzerinden analiz edilmektedir. Bu çalışma, Marmara Denizi'nin denizüstü rüzgar potansiyeli yüksek olması ve iç deniz olmasından dolayı herhangi bir kıta sahanlığı problemi ortaya çıkmamasından dolayı çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışma kapsamında, ilk olarak rüzgar potansiyeli yüksek olan bölgelerin tespiti gerçekleştirilmiştir. Rüzgar potansiyelinin değerlendirilmesi için 'Global Wind Atlas' (GWA) veri kaynağından temin edilen rüzgar hızı ve rüzgar yoğunluğu verileri Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) ile görselleştirilmiştir. Rüzgar verilerinin değerlendirilmesine ek olarak, deniz derinliği de analiz edilerek derinliği çok yüksek olan bölgeler elimine edilmiştir. Teknik kriterlere ek olarak, türbülans etkileri de göz önüne alınarak karadan uzaklığı, turizm faaliyetleri ve gemi yollarından uzaklığı da analiz edilmiştir. Bu kapsamda, çevresel kriterlerin analizleri kapsamında, 'European Marine Observation Data Network (EMODNet)' ve 'Copernicus Land Monitoring (CLC 2020)' veri kaynakları aktif olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar kapsamında, Marmara Denizi'nde farklı lokasyonlarda 4 en uygun bölge belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Denizüstü, Rüzgar Ölçümü, Coğrafi Bilgi Sistemi, Marmara Denizi.

Abstract

The use of wind energy is increasing rapidly due to its high potential, accessibility and environmental friendliness. While this increase brings along industrialization activities, it creates job areas as employment. The installation of offshore wind power plants has gained momentum due to the decrease in the number of regions with wind potential and the increase in environmental conditions and restrictions in onshore wind energy systems. Although offshore wind farms have more stable and intense wind flow, high installation and operating costs constrain their development. Therefore, it is aimed to realize economically advantageous

projects by requesting the installation of offshore wind energy systems in regions with high wind potential. While evaluating the satellite dataset is a conventional method, measurement of wind potential is very critical. Turkey is suitable for both onshore and offshore wind power plants because of its geographical location. At the end-2020, Turkey's onshore wind power capacity is 10 GW, and there is no offshore wind power plant built. Turkey is in the planning of licensing for offshore energy installation. These installations are suitable for installations. Suitable areas are analyzed for appropriate options, social and appropriate budget. Marmara Sea was chosen as the study area because the Marmara Sea has a high offshore wind potential and because it is an inland sea, there is no continental shelf problem. Within the scope of the study, firstly, the regions with high wind potential were determined. In order to evaluate the wind potential, the wind speed and wind density data obtained from the 'Global Wind Atlas' (GWA) data source were visualized with the Geographical Information System (GIS). In addition to evaluating the wind data, the sea depth was also analyzed and regions with very high depths were eliminated. In addition to the technical criteria, the distance from the land, tourism activities and ship routes were also analyzed, taking into account the turbulence effects. In this context, the European Marine Observation Data Network (EMODNet) and Copernicus Land Monitoring (CLC 2020) data sources were actively used in the analysis of environmental criteria. Within the scope of the results obtained, 4 most suitable regions were determined in different locations in the Marmara Sea.

Keywords: Offshore, Wind Measurement, Geographical Information System, Marmara Sea.

1. Introduction

The energy consumption is increased constantly around the world because of the development of technological devices and the increase the world population [1, 2]. When energy consumption increase, the energy production from sources must increase according to energy consumption values. Therefore, energy production from fossil fuels or renewable energy sources have been a political preference or obligatory for countries. Thus, countries are prepared the goals or strategic plans based on forecast of them energy demand in 2030 and 2050 [3]. In these plans, renewable energy systems (RES) is occupied the important place and wind energy among RES is gaining more reputation because of the high energy capacity and sustainability. The last 10 years countries with seas directed to offshore wind energy systems which produce energy from in the middle of the sea. Although offshore wind systems have difficulties and high cost, it can produce higher energy than onshore counterparts due to occur high wind potential and stable wind flow on the sea [4].

To create the offshore wind farms, energy planners or investors should have comprehensively feasibility studies which are evaluated wind potential, environmental effects, water depth and so on [5-7]. Therefore, feasibility studies should prepare evaluating all criteria and should continue step by step. In the first step, the wind potential of study area must be analyzed with correct data. For this step, existing spatial data doesn't sometimes met the request data and correct analysis results can't be obtained from these data. Thus, the measurement activities with real devices are very important and vital for the offshore wind farms. In the literature, there are two knowing method to measure the offshore wind potential; fixed wind mast and floating lidar systems respectively. This study examined the offshore wind potential on Marmara Sea, Turkey by selecting optimal wind measurement device and optimal wind measurement points.

2. Method

This study used the Geographical Information System to obtain the effective result map layers. Technical and environmental restrictions were evaluated by weighted importance value of criteria. In this study, wind speed and power, water depth criterion were described as technical impacts, tourism points, main ship routes and dist. from shore were described as environmental impacts. Buffer zones of determined criteria were categorized under four stages such as 0: non suitable, 1: least suitable, 2: suitable, 3: high suitable. Figure 1 shows that the method diagram of this study step by step.

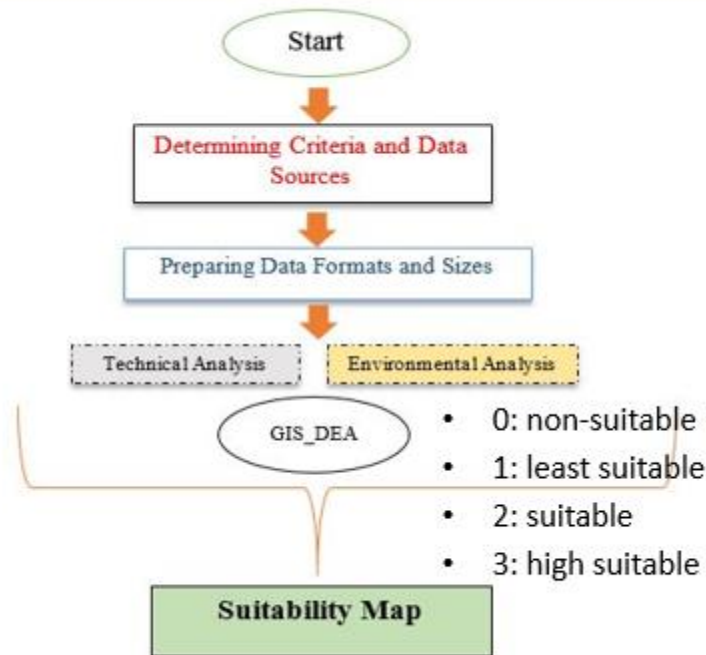


Fig 1. Method diagram

3. Results

After obtained data from some data sources, map layers for each restrictions were prepared by using GIS. The suitability score of regions for determined criteria is categorized between 0 and 3. Figure 2 shows that the technical evaluated map layers and Figure 3 shows that the environmental evaluated map layers. Wind potential evaluation map layer are consisted of wind speed and wind power combination. These map layers are easy understandable and rather effective for energy planners or investors.

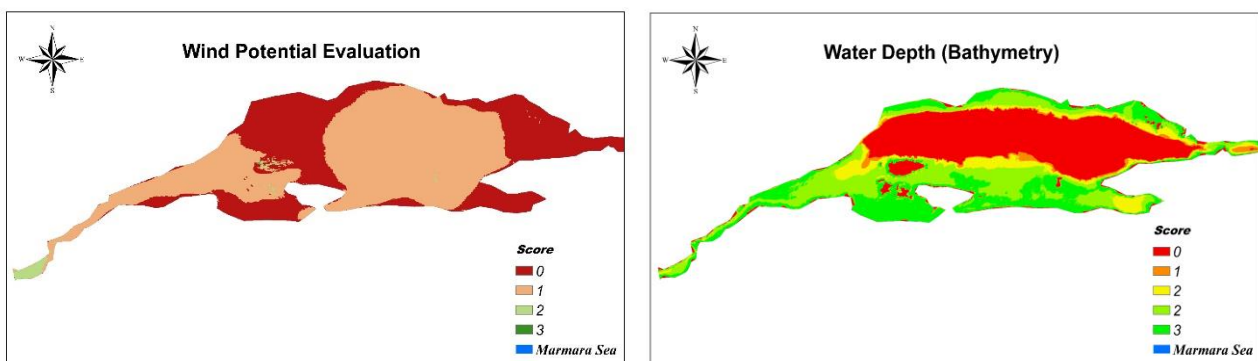


Fig 2. Technical analysis map layers, wind potential and water depth

After comprehensive determined criteria in GIS, four regions were determined as high suitable for the measurement activities. In addition floating lidar systems have selected as more applicability on Marmara Sea because of the usability on water depth and economic availability.

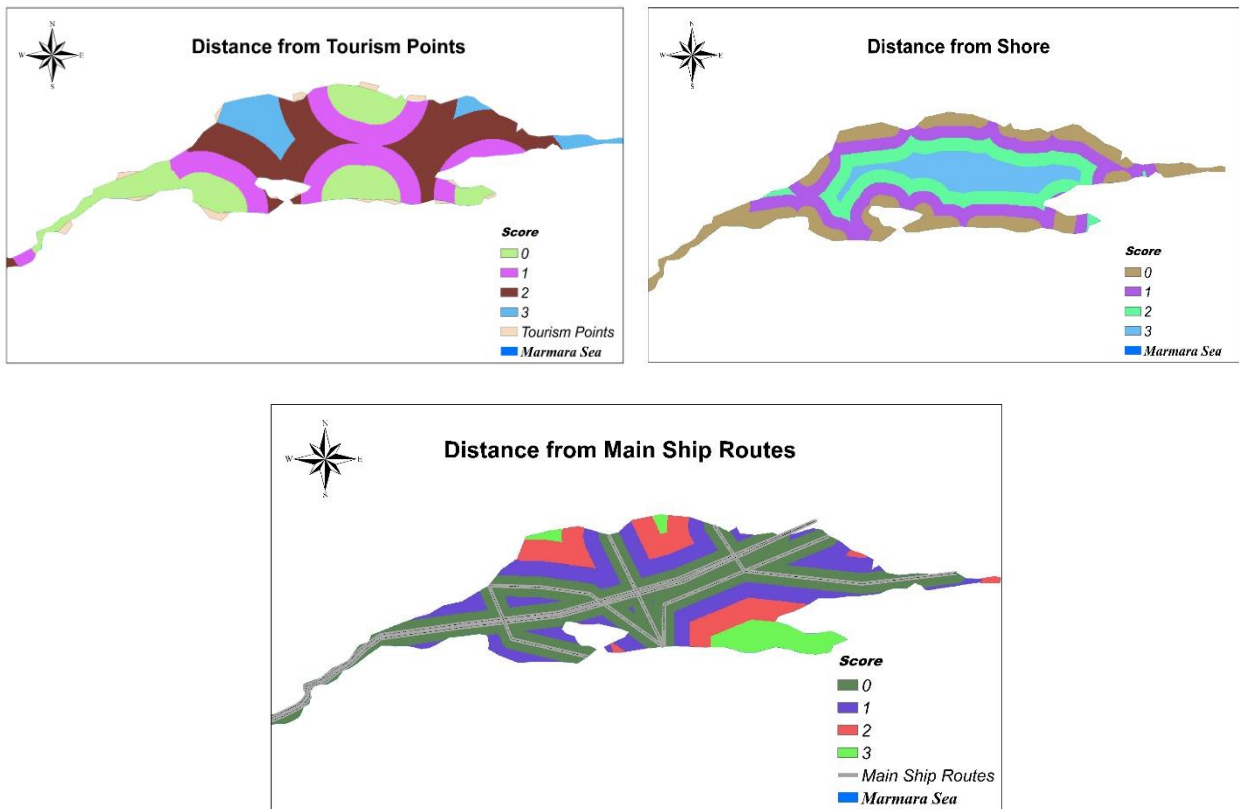


Fig 3. Environmental analysis map layers, tourism points, dist. from shore and main ship routes

Based on the determined criteria, four regions have selected as high suitable to be measurement points on Marmara Sea. Figure 4 shows that the suitability map layer with availability score with legend.



Fig 4. Selected best location for measurement devices

4. Conclusions

Offshore wind sector and installed capacity is developing constantly. Therefore, Turkey where has four seas with high wind potential should ensure from offshore wind. This study investigated best location determination to determine the offshore wind potential on Marmara Sea to be necessary real data. For the comprehensive analysis, suitability scores were categorized based on data values and proceed in GIS. Finally, floating lidar

systems are more suitable than fixed wind mast and four regions are selected as high suitable for measurement devices on Marmara Sea. The methodology of this study can give information to investors, policymakers, and energy planners to determine the offshore wind potential.

REFERENCES

1. Koç, A., Turk, S., & Şahin, G. (2019). Multi-criteria of wind-solar site selection problem using a GIS-AHP-based approach with an application in Iğdir Province, Turkey, *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 26, pp. 32298-32310.
2. Liang, H. & Liao, H. (2007). A fuzzy-optimization approach for generation scheduling with wind and solar energy systems, *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 22.
3. Karipoglu, F., Genç, M.S., & Koca, K. (2021). Determination of the most appropriate site selection of wind power plants based Geographical Information System and Multi-Criteria Decision-Making approach in Develi, Turkey, *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, vol. 30, pp. 97-114.
4. Karipoglu, F., Ozturk, S., & Genç, M.S. (2021). Determining suitable regions for potential wind farms in Bandırma Bay using MCDM method, *Journal of Engineering Sciences and Researches*, vol. 3(1), pp. 123-132.
5. Çolak, E., Memişoğlu, T., & Gercek, Y. (2020). Optimal site selection for solar photovoltaic (PV) power plants using GIS and AHP: A case study of Malatya Province, Turkey, *Renewable Energy*, vol. 149, pp. 565-576.
6. Saidur, R., Islam, M., Rahim, N., & Solangi, K. (2018). A review on global wind energy policy, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14 (7), pp. 1744–1762.
7. Genç, M.S., Karipoglu, F., Koca, K., & Azgın, Ş.T. (2021). Suitable site selection for offshore wind farms in Turkey's seas: GIS-MCDM based approach, *Earth Science Informatics*, pp. 1-13.



ATMOSFERİK SINIR TABAKA İÇERİSİNDE FARKLI YÖNLERDEKİ RÜZGAR AKIŞLARININ BİNA ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

NUMERICAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF WIND FLOWS IN DIFFERENT DIRECTIONS ON BUILDING IN THE ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER

Hacımurat DEMİR

Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4819-2633>

Burak AKTEPE

Gazi Üniversitesi, Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı, Ankara, Türkiye.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3144-2621>

Özet

Bu çalışmanın amacı, atmosferik sınır tabaka etkisinde farklı yönlerde esen rüzgarın bina üzerindeki etkilerinin sayısal olarak incelemektir. Rüzgarın etki ettiği bina üzerindeki akış yapılarının daimi, üç boyutlu simülasyonu için standard k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. İteratif çözücü olarak SIMPLE algoritması; duvar yaklaşımı olarak Standard Duvar Fonksiyonu kullanılmıştır. Meteorolojik veriler doğrultusunda ortalama rüzgar hızı hesaplanarak atmosferik sınır tabaka hız profili oluşturularak yapılan sayısal modelleme sonucunda bina üzerindeki ortalama yüzey basınç katsayısı dağılımları elde edilmiştir. Rüzgar esme yönünün değişmesine rağmen, en yüksek basınç katsayısı (C_p) değerlerinin binanın ön yüzeyinde yaklaşık olarak 0.8 değerine ulaşıldığı belirgin bir şekilde görülmüştür. Öte yandan diğer tüm yüzeylerde negatif basınç katsayısı elde edilmiştir. Ek olarak, bina üzerinde akış yapısı farklı konumlar için incelenmiş, batı yönüne doğru esen rüzgar için $z=179.5m$ konumunda; güney yönüne doğru esen rüzgar için $z=147m$ konumunda resirkülasyon bölgesinin diğer konumlara kıyasla daha büyük olduğu gözle çarpmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Atmosferik sınır tabaka, Bina aerodinamiği, Basınç katsayısı, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), Rüzgar yönü.

Abstract

The aim of this study is to examine the impacts of wind flow in various directions on the building in the atmospheric boundary layer effect numerically. Standard k-ε turbulence models are used for the steady, three-dimensional simulation of the flow structures on the building affected by the wind. SIMPLE algorithm scheme was utilized to solve discretized equations for the pressure-velocity coupling whereas Standard Wall Function was used as the wall function approach. The average surface pressure coefficient distributions on the building were obtained as a result of numerical modeling by calculating the average wind speed considering meteorological data and creating the atmospheric boundary layer velocity profile. Despite the change in the wind direction, it was clearly seen that the highest pressure coefficient (C_p) values reached approximately 0.8 on the front surface of the building. On the other hand, negative pressure coefficient was obtained for all other surfaces. In addition, the flow structure on the building was examined for different locations, at $z=179.5m$ for westerly winds; for the wind blowing in the south direction, it stood out that the recirculation zone was larger at $z=147m$ compared to other locations.

Keywords: Atmospheric boundary layer, Building aerodynamics, Pressure coefficient, Computational Fluid Dynamics, Wind direction.

1. GİRİŞ

Computational Fluid Dynamics (CFD) veya Türkçe karşılığı olarak Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) akışkan davranışlarının belirli algoritma ve verilerle bilgisayar ortamında analiz edildiği, mühendisler için önemli bir yere sahip olan akışkanlar mekaniğinin bir dalıdır. 1940'lı yıllara kadar el hesaplamasıyla nümerik

analizlerle başlayan CFD'nin tarihi, 1950'lerde ABD Los Alamos Ulusal Laboratuvarında Navier-Stokes denklemlerine dayanan deneylerle devam etmiş ve günümüzde de birçok sektörde yerini almıştır. Son zamanlarda, CFD turbomakinelerden gemilerin hidrodinamiğine, biyomedikal mühendisliğinden uzay mühendisliğine, makine mühendisliğinden kimya mühendisliğine kadar çok geniş bir alanda kullanılabilir. Nümerik yöntemlerle bilgisayar ortamında yapılan bu analizler, klasik ölçüm deneylerine göre daha az maliyetle daha fazla model üzerinde çalışarak zamandan da tasarruf edilmesine olanak sağlamasından dolayı daha avantajlı olmaktadır. CFD ortamında farklı parametreler aynı ortamda tek seferde hesaplanabilmekte ve veriler daha rahat birbirleriyle kıyaslanabilmektedir. Ayrıca, CFD ortamında yapılan sanal deneyler, sonuçlara daha doğru seviyede ulaşmamıza olanak sağlar.

Temel enerji kaynağı Güneş olan, Dünya yüzeyindeki hava hareketlerini rüzgar olarak adlandırmaktayız. Rüzgarların oluşumları üzerinde Güneş'in yanı sıra basınç, koriolis kuvveti, merkezkaç etkisi ve sürtünme gibi önemli etkenler de vardır. Rüzgarın yön, hız ve frekansını kontrol eden etmenlerin başında basınç gelmektedir. Enerjinin yüksek düzeyden alçak düzeylere hareketi gibi rüzgar da yüksek basınçtan alçak basınç yönüne doğru hareket etmektedir. Akışkanlar mekaniğinde "sınır tabaka" önemli bir kavramdır. Aslında yeryüzü atmosferimizdeki yapılar 1 veya 2 km arasında olan atmosferik sınır tabakası (Atmospheric Boundary Layer, ABL) içinde yer almaktadır. Atmosferik sınır tabakanın (AST) alt kesimlerinde rüzgar türbülans ve hız değerlerindeki değişiklikler de binaların şekil bakımından tasarımları hususunda dikkat edilmesi gerektiğini hatırlatmaktadır. AST'deki sınır katmanlarının oluşumu ve bu katmanlaşmaların değişimi de araştırmacılar için önem arz etmektedir. Mahrt [1] yeryüzü seviyesinin ilk birkaç on metre yüksekliğe kadar olan kısmı çok kararlı sınır tabakasını oluştururken, daha üst seviyelerde kararlılık seviyesi düşmektedir. Yani yeryüzünden yukarı doğru çıkıldıkça katmanlardaki kararlılık azalmakta ve kararlı katmanlaşma ile kararsız katmanlaşma olarak isimlendirilmektedirler. Bu katmanlaşmalar rüzgarın hız ve türbülanslarının karakteristik özelliklerinde de değişiklikler meydana getirmekte ve hem bina üzerine hem de bina çevrelerine etki etmektedir.

Dünya nüfusunun giderek artması, şehirlerin metropol şehirlere dönüşmeye başlaması binaların da doğru orantılı olarak daha yüksek katlı inşa edilmesini beraberinde getirmektedir. Böylelikle bina üzerine etkileyen rüzgar basınçları ve aerodinamiği devreye daha fazla girmektedir. Daha fazla diyoruz çünkü alçak ve orta yükseklikteki binalarda da bu durum gözlemlenmektedir. Bina üzerine etkileyen rüzgar akışı ve yüklerinin binanın yükseklik, şekil ve çevreye bağlı olarak incelenmesi araştırmacılar açısından son derece önemlidir. Çünkü başta da bahsedildiği gibi rüzgar havanın bir nevi yönlü hareketidir ve katı cisimler üzerindeki akışı sırasında akış çizgileri meydana gelmektedir. Örneğin şekil verilmemiş keskin katı cisimler üzerinde sirkülasyon çizgileri oluşabilmektedir. Otomobil, uzay araçları, uçaklar, köprü vb. mühendislik alanlarında akışkanlar mekaniğinin bir dalı olan ve katı cisimlerin rüzgara karşı direncini inceleyen bilim dalı aerodinamiktir. Bina aerodinamiğinin sadece bina üzerinde değil aynı zamanda çevreyle de etkileşimi vardır. Yan yana dizilmiş binalarda binaların geometrileri ve yükseklikleri, birbirine göre olan basınç ve sirkülasyonu etkilediği gibi, çevredeki insanları hatta karbon monoksit (CO) ve karbondioksit (CO₂) dağılımını da etkilemektedir.

Son zamanlarda bina-rüzgar etkileşimleri ile alakalı bilimsel araştırma ve çalışmaların sayısında artış göze çarpmaktadır. Bu çalışmalarda kullanılan simülasyon tekniklerinde ağırlıklı olarak iyi geliştirilmiş özellikleri, daha az hesaplama maliyeti ve endüstriyel alanlarda tatmin edici verimliliği nedeniyle Reynolds Ortalamalı Navier Stokes'a (RANS) vurgu yapılmaktadır [2]. Blocken ve arkadaşları [3], paralel olarak yerleştirilen binaların çevresindeki akış olaylarını incelemek için k-ε türbülans modelini kullanarak nümerik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Simülasyon sonucunda binaların arasındaki mesafe arttıkça akış tek bir bina çevresindeki gibi hareket ederken, birbirlerine yaklaştıkça kompleks hareketler yaptığı görülmüştür. Yüksek binalardaki akış durumlarını Tominaga ve arkadaşları [4], LES ve k-ε türbülans modelleriyle sayısal olarak kıyaslamış; LES türbülans modelinin daha sağlıklı sonuçlara ulaştırdığını belirtmişlerdir. Deneysel olarak rüzgar tüneline 1:50 ölçekte alçak yapılı binalar üzerinde ve aynı yükseklikteki binalarda geometri farklılıklarının binalara olan rüzgar yüklerinin etkisini inceleyen Ahmad ve Kumar [5,6] binayı çevresinden arındırılmış olarak değil, binaların çevreyle etkileşimini de hesaba katarak rüzgar hesapları yapılmıştır. Rüzgar yükünün belirlenmesi üzerine yapılan diğer bir çalışmada, Liang ve arkadaşları [7], dikdörtgen şeklindeki yüksek binaların dinamik rüzgar yükünün dinamik burulmaya etkisini incelemişlerdir. RMS (Ortalama Karekök) torkunun, bina yan oranı arttıkça arttığını belirlemişlerdir.

Braun ve Awruch [8] çalışmalarında CAARC (Commonwealth Advisory Aeronautical Council) standart yüksek bina modellerinde LES türbülans modellerini kullanarak aerodinamik ve aeroelastik analizler için CFD tekniklerinin uygulanabilirliğini kanıtlamaya çalışmışlardır. Elde edilen sayısal verilerin literatürde mevcut

deneysel verilerle oldukça iyi bir uyum sağladığı, bazı küçük iyileştirmelerle de çok daha iyi sonuçlar elde edilebileceğinden bahsedilmiştir. Öte yandan, Merrick ve Bitsuamlak [9] tek ve çift bina konfigürasyonları kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında LES türbülans modelinin RNG k- ϵ türbülans modeline kıyasla deneysel verilerle daha uyumlu sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

Ek olarak, farklı boyutlardaki bina modelleri etrafındaki akış yapılarını belirlemek için yapılan çalışmalar incelendiğinde, Guirguis ve Nassief [10] bina ön yüzünün arka ve yan yüzlere göre daha yüksek basınçların etkisi altında olduğunu ve bina ön yüzlerinde oluşan durma noktasının bina yüksekliğinin yaklaşık 2/3'ü gibi bir yükseklikte oluştuğunu belirtmişlerdir.

Miyashita vd. [11] rüzgar tüneline kare kesitli bir bina için köşe kesimi ve boşaltması durumlarının rüzgar yükleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bina yüzeylerine etkiyen kuvvetin binanın köşelerine yapılan modifikasyonlardan dolayı azaldığı görülmüştür. Köşe boşaltılması ve kesimi modifikasyonlarının ele alındığı kare ve dikdörtgen prizma biçimindeki bina modelleri üzerinde girdap kaynaklı etkileri araştırmak için yapılan diğer deneysel çalışma Kawai [12] tarafından gerçekleştirilmiştir. Bina model genişliğinin %5'i kadar köşe modifikasyonunda hem aerodinamik hem de aeroelastik açıdan fayda sağlandığı ifade edilmiştir. Kumar ve arkadaşları [13] CAARC binalarda iki basamaklı köşe boşaltması yaparak rüzgar tüneline teste tabi tutmuş ve basit kesit kare model binalara göre rüzgar kuvvetlerine %40 daha iyi davranış gösterdiğini belirtmiştir. Kim ve arkadaşları [14] artan sayıda kesit parçasının rüzgara maruz kalan bina modellerinin yapısal tepkisi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Kenar sayısı arttıkça helisel şeklin tepki özelliklerine etkisinin azaldığı görülmüştür. Sharma ve arkadaşları [15] binalardaki küçük ve büyük değişimleri incelemişlerdir. Küçük değişimler pah kırma, köşe boşaltma ve köşe yuvarlama olarak ele alınırken büyük değişimler koniklik, büküm vb. olarak ele alınmıştır. Blöf biçimli yapıların kuvvetli rüzgarlara karşı savunmasız olduğu ve küçük aerodinamik modifikasyonlarla bunların yok edilebileceği gözlemlenmiştir. Küçük değişimlerin iz genişliğini daralttığını ve rüzgar kaynaklı yüklerde %30 ile %50 oranında azaltma sağlanabileceği gözlemlenmiştir. Li ve arkadaşları [16] %5 ve %20 arasında farklı konik oranlarına sahip yüksek dikdörtgen binalar üzerinde rüzgar yüklerinin azaltılmasını içeren bir çalışma yapmışlardır. Koniklik oranının arttıkça bina yüzeyindeki ortalama rüzgar basıncının da azaldığını gözlemlemişlerdir. Optimum koniklik oranlarının ise %15 veya %20 olduğu sonucuna varmışlardır.

Tamura ve Miyagi [17] yüksek katlı binalarda rüzgar yükündeki azalmanın fiziksel mekanizmasını kurmak için deneysel olarak laminar ve türbülanslı akış koşullarını göz önünde bulundurarak kare bir silindir üzerindeki çeşitli köşe modifikasyonlarının etkisini incelemişlerdir. Yuvarlatılmış ve pahlı köşelerin iz genişliğindeki azalma nedeniyle sürüklenme kuvvetinin azalttığını belirlemişlerdir. Huang ve arkadaşları [18], yüksek katlı binalar için, rüzgâr yükünün RANS metodu ile analizini ve kinematik simülasyonu üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Tam ölçekli CAARC binasında sayısal olarak tahmin edilen ortalama ve RMS basınç katsayıları, rüzgar tüneline deneylerinden elde edilen basınç ölçümleriyle karşılaştırılmıştır. Alminhana ve arkadaşları [19] yüksek CAARC bina modellerinde geometrik şekillerin aerodinamik etkileri üzerine etkilerini araştırmış ve CFD'nin kullanım potansiyelini incelemişlerdir. Gömme (içi boşaltılmış) köşe modelinin pahlı köşe modeline oranla kaldırma katsayılarında iyi sonuç verdiği sonucuna ulaşmış ve CFD simülasyonlarının rüzgar tünelleri incelemeleri ile birlikte uyumlu ve etkili bir sonuç gösterdiğini belirtmiştir. Ayrıca, Mou vd [20] tarafından RNG k- ϵ türbülans modeli kullanılarak dikdörtgen plan şeklindeki bir bina etrafındaki rüzgar akışının sayısal tahmini başarılı bir şekilde yapılmış ve bina etrafındaki basınç dağılımı incelenmiştir. Elde edilen sonuç, CAARC standart modeliyle karşılaştırılmıştır. Atmosferik sınır koşullarının simülasyonu, bina etrafındaki rüzgar akışı için çok önemli olduğu belirtilmiştir.

Bu çalışmada, kompleks geometriye sahip bir bina üzerinde farklı yönlerde esmekte olan rüzgarın atmosferik sınır tabaka etkisi dikkate alınarak bina duvarlarındaki basınç dağılımının ve farklı konumlarda meydana gelen akış durumlarının sayısal olarak incelenmesi amaçlanmaktadır.

2. SAYISAL ÇALIŞMA

2.1. Matematiksel Model

Daimi, sıkıştırılmaz bir akışkanın üç boyutlu hareketi Kartezyen koordinatlarda, süreklilik ve Navier-Stokes denklemleri ile sırasıyla Denklem (1) ve Denklem (2)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(-\overline{\rho u_i' u_j'} \right) \quad (2)$$

Yukarıda belirtilen denklemlerdeki çalkantı terimlerinin hesaplanmasına dair çeşitli türbülans modeli bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında, Standard k-ε türbülans modeliyle çözümler gerçekleştirilmiştir.

2.2. Standard k-ε Türbülans Modeli

Lauder ve Spalding [37] tarafından önerilen Standard k-ε türbülans modeli, kolay uygulanması nedeniyle ve pek çok akış durumları için kabul edilebilir doğrulukta sonuç vermesinden dolayı günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. İki denklemlilik, yarı ampirik bir model olan Standard k-ε türbülans modeli, türbülans kinetik enerjisi (k) ve türbülans yutulma oranı (ε),

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (4)$$

biçiminde iki adet transport denklemi içermektedir. Burada; G_k hız gradyanından kaynaklanan türbülans kinetik enerjisini, G_b ; kaldırma kuvvetine bağlı olarak oluşan türbülans kinetik enerjisini göstermektedir. Ek olarak, $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$ ve $C_{3\varepsilon}$ model sabitlerini, σ_k ve σ_ε , k ve ε için türbülans Prandtl sayılarını, S_k ve S_ε , kaynak terimlerini ve Y_M , sıkıştırılabilir türbülanslı bölge içindeki türbülans hacim değişiminin toplam yayılım oranına katkısını göstermektedir. İlgili denklemlerdeki türbülans viskozitesi (μ_t) türbülans kinetik enerji ve yutulma oranı cinsinden denklem (5)'teki gibi yazılır. Bu modeldeki ampirik sabitler: $C_{1\varepsilon}=1.44$, $C_{2\varepsilon}=1.92$, $C_{3\varepsilon}=0.09$, $\sigma_k=1.0$ ve $\sigma_\varepsilon=1.3$ şeklindedir.

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (5)$$

2.3. Akış Alanı ve Sınır Şartları

Atmosferik sınır tabaka etkisinde farklı yönlerde esmekte olan rüzgarın bina üzerindeki etkisini üç boyutlu olarak incelemek için Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binası model olarak seçilmiştir. ANSYS FLUENT paket programı yardımı ile yapılan sayısal modelleme için akış alanı literatürde sıklıkla kullanılan Franke ve arkadaşlarının [21] önermiş olduğu boyutlar dikkate alınarak ilgili binanın yüksekliğine (H=20m) göre oluşturulmuştur. Binanın üç boyutlu sayısal modellemesi için oluşturulan akış alanı ve sınır şartları Şekil 1'de verilmiştir. Sınır şartları tanımlanırken; akış alanına giriş için velocity inlet, çıkış için pressure outlet,

diğer kısımlar için ise duvar (wall) seçilmiştir. Ek olarak, akış alanında giriş sınır şartını tanımlamak için ortalama rüzgar hızı ve türbülans profilleri FLUENT içerisindeki “User Defined Function (UDF)” özelliği kullanılarak küçük seyrek ağaçlı bölgeler için oluşturulmuştur. Giriş profilleri aşağıdaki bağıntılar kullanılarak oluşturulmuştur.

Atmosferik sınır tabaka içerisinde farklı yönlerde esen rüzgarın Aksaray ili sınırları içerisinde bulunan bina üzerindeki etkisini incelemek için yapılan sayısal simülasyonda kullanılacak rüzgar hızının belirlenmesi için Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA)’ndan faydalanılmıştır [22]. REPA’da Aksaray ili için 100m yükseklikteki ortalama rüzgar hızı değeri 4.57 m/s’dir. Modellemede kullanılan bina yüksekliği (20m) seviyesindeki ortalama rüzgar hızı denklem (6) vasıtasıyla 3.6 m/s olarak hesaplanmıştır.

$$\frac{u}{U_{ref}} = \left(\frac{y}{y_{ref}} \right)^{\alpha} \quad (6)$$

burada y bulunmak istenen rüzgar hızının estiği yükseklik (m), y_{ref} ; referans hız ile esen rüzgarın yüksekliği (m), u ; y yüksekliğindeki rüzgar hızı (m/s), U_{ref} ; y_{ref} referans yükseklikteki rüzgar hızı (m/s), α ; sürtünme katsayısını ifade etmektedir. (Toprak seviyesindeki uzun çimenli bölge için $\alpha=0.15$ olarak alınmıştır. [23])

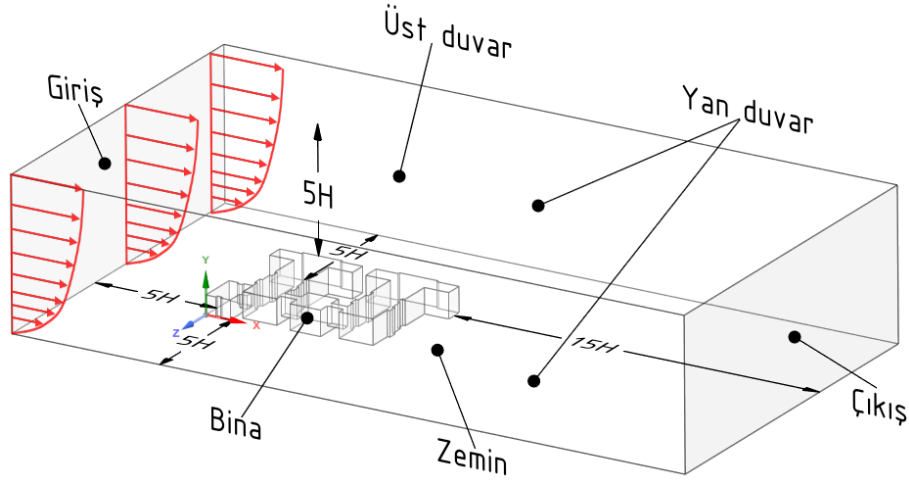
Atmosferik sınır tabaka akışında ortalama hız profili ve diğer giriş şartları aşağıdaki denklemler kullanılmıştır [24].

$$\frac{u}{u^*} = \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{y}{z_0} \right) \quad (7)$$

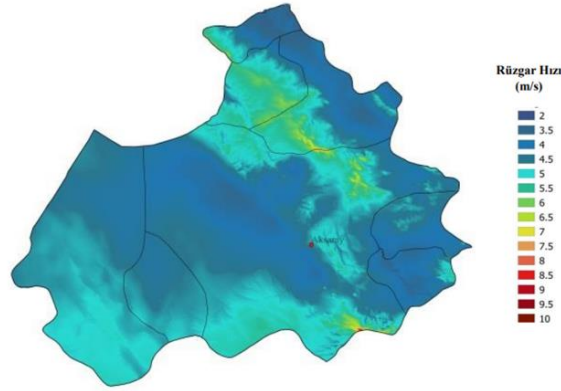
ifadesi kullanılmıştır. Burada, u^* ; duvar kayma gerilmesinden hesaplanan sürtünme hızı (m/s), κ ; von-Karman sabiti (0.4), z_0 ; ortalama pürüzlülük yüksekliğini gösteren pürüzlülük uzunluğunu ifade etmektedir. (Küçük seyrek ağaçlı bölgeler için $z_0 : 0.03$ kullanılmıştır [23].

$$\text{Türbülans kinetik enerji; } k = \frac{u^{*2}}{\sqrt{C_\mu}} \quad (8)$$

$$\text{Yutulma; } \varepsilon = \frac{u^{*3}}{\kappa(y + z_0)} \quad (9)$$



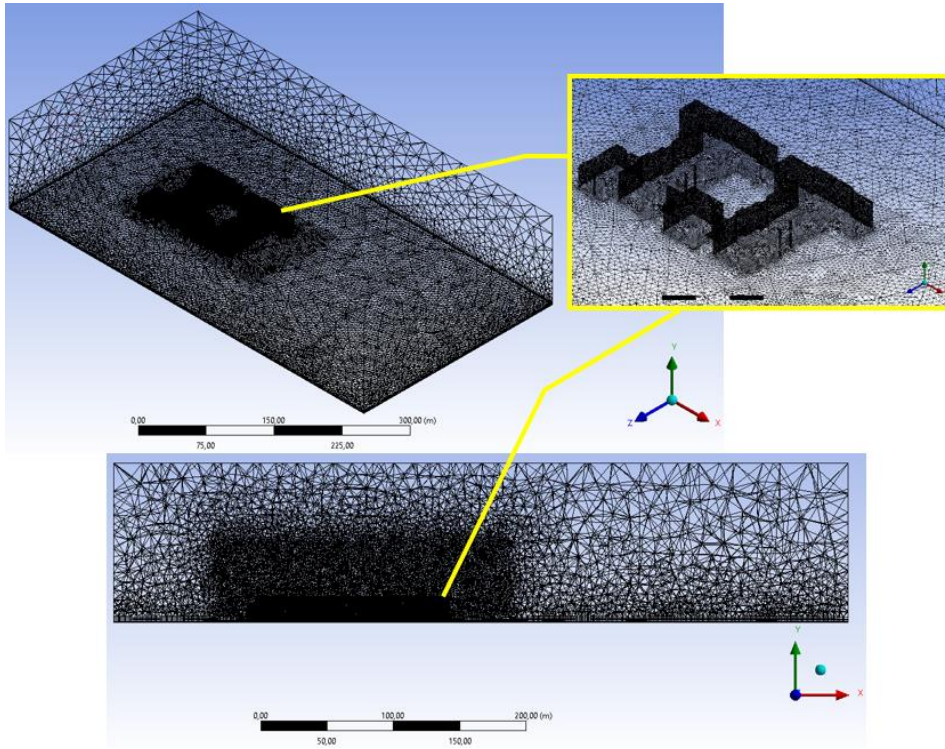
Şekil 1. Sayısal modellemede kullanılan akış alanı boyutları



Şekil 2. Aksaray ili için 100m yükseklikte yıllık ortalama rüzgar hızı dağılımı [22]

2.4. Ağ Yapısı ve Çözüm Yöntemi

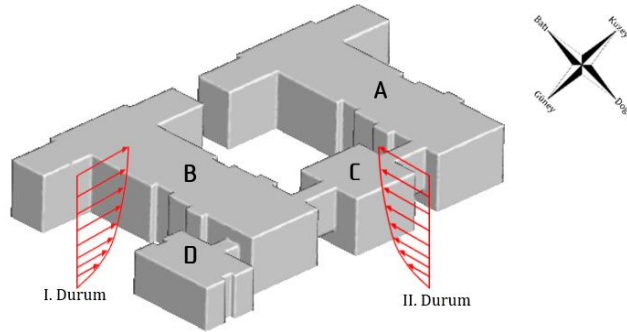
Bina çevresindeki akış alanının üç boyutlu ve zamandan bağımsız (steady) olarak sayısal çözümleri, ANSYS FLUENT paket programı vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Modelleme için oluşturulan ağ yapısı Şekil 3'de gösterilmektedir. Bina çevresindeki ağ yapısı özellikle model etrafında daha yoğun şekilde oluşturulmuştur. Ağ yapısının bina modelinden uzaklaştıkça seyrek bir hal aldığı görülmektedir. Bina geometrisindeki karmaşıklıktan dolayı yapısal olmayan çözüm ağı oluşturulmuştur. Modellemede kullanılan eleman sayısı 2324051'dir. Sayısal çözümlerde Standard k-ε türbülans modeli kullanılmış, duvar yaklaşımı olarak ise Standart Duvar Fonksiyonu (Standard Wall Function) tercih edilmiştir. Navier-Stokes denklemlerinin çözümü için SIMPLE çözüm algoritması kullanılmıştır. Değişkenlerin ağ noktaları arasındaki değişim için, İkinci Dereceden Upwind Yöntemi izlenmiştir.



Şekil 3. Bina ve çevresindeki çözüm ağının yapısı

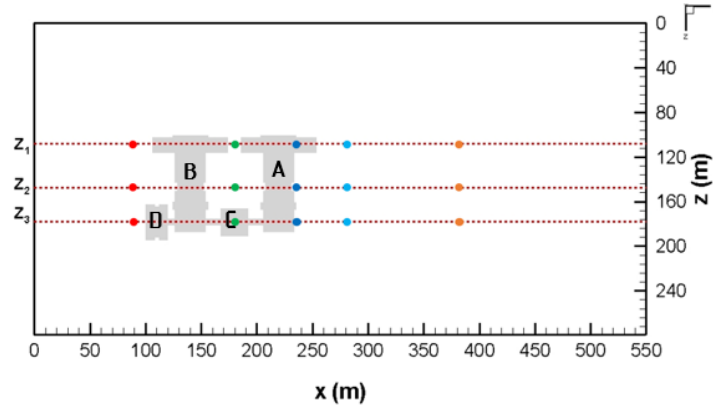


a)

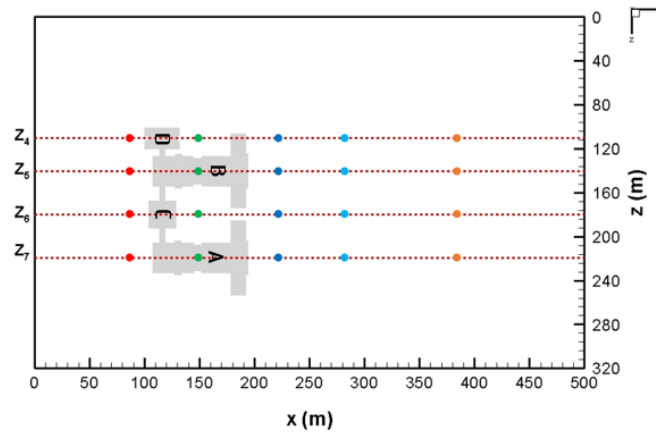


b)

Şekil 4. Binanın a) uydudan görünüşü (Google Earth) b) 3D çizimi ve rüzgar yönleri



a)



b)

Şekil 5. Akış alanı ve hız profillerinin konumları

3. BULGULAR

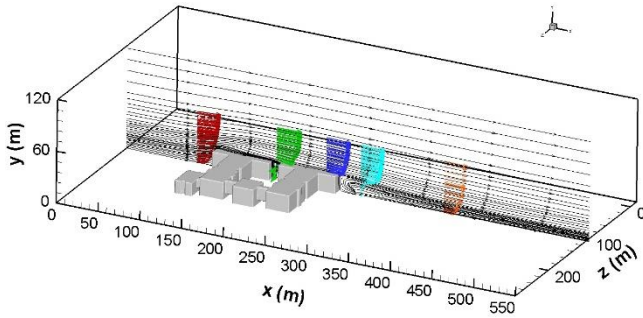
Şekil 4b'de görüldüğü üzere, bu çalışmada rüzgarın mevcut bina üzerine doğru kuzey (I. Durum) ve batı (II. Durum) yönüne estiği düşünülmüştür. Bilindiği üzere, rüzgar akışından dolayı bina etrafında farklı basınç bölgeleri meydana gelir. Bunun nedeni binanın yüzeylerine etki eden kuvvetlerin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 5'te iki farklı yönde esen rüzgarın bina üzerindeki etkisini incelemek için yapılan simülasyonda farklı düzlemler ($Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6, Z_7$) ve değişen istasyonlar (renkli noktalar) ele alınmıştır. Farklı düzlemler ve istasyonlar için sayısal çözümlerden elde edilen akış alanları ve hız profillerinin değişimi Şekil 6-12 arasında gösterilmiştir.

Şekil 6'da, Z_1 konumu için hız profilleri ve akış alanına bakıldığında, binanın B bloğunun ön kısmına (güneye bakan cepheye) doğru hareket eden rüzgar yüzeye çarptıktan sonra yukarı doğru hareket ederek B ile A blok arasında küçük ölçekli bir akış ayrılması (yeşil hız profili) oluşmuştur. Rüzgarın bir kısmı A blok yüzeyine tutunarak hareketine devam etmesine rağmen A bloğun kuzeye bakan duvar kısmında ters akış olduğu görülmektedir. Şekil 7'de, Z_2 konumu için; binanın ön kenarına doğru ilerleyen rüzgar B blok duvarına çarptıktan sonra yukarıya üst katlara doğru hareket etmekte ve çatının ön kısmında oluşan ters akıştan dolayı ayrılmalar meydana gelmektedir. Özellikle, B bloğun çatı kısmında küçük girdap oluşumu göze çarpmaktadır. Öte yandan, hareketine devam eden rüzgarın bir kısmı A bloğun iç kısmındaki duvara çarparak girdap oluşumu meydana gelmiştir. Rüzgarın diğer kısmı A blok çatı seviyesi ve üzerinden hareket ederek arka köşeden ayrılarak A blok arkasında resirkülasyon bölgesinin oluşumuna neden olmuştur. Özellikle, A blok arkasında

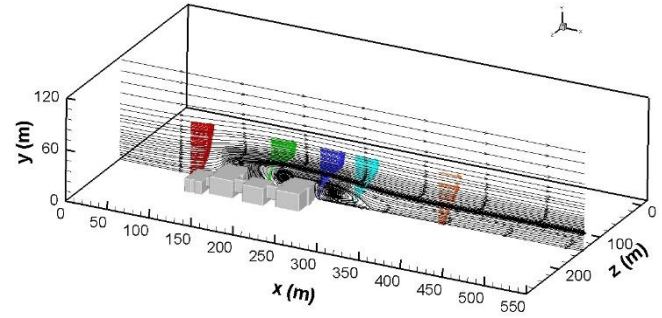
oluşan girdabın boyutunun diğer oluşan girdaplara nazaran daha büyük olduğu görülmektedir. Bina arkasında oluşan bu girdap bölgesinin yüksekliği bina boyuna eşittir.

Z_2 konumundan Z_3 konumuna doğru hareket edildiğinde, binanın karmaşık geometrisinden kaynaklanan akış alanındaki değişim dikkat çekmektedir. Şekil 8’de, kuzeye doğru esen rüzgarın ilk önce D bloğa çarpmıştır. Çarpmanın etkisi ile rüzgarın küçük bir kısmı akış ayrılmasına uğramış; geri kalan kısmı hareketine devam ederek B blok duvarına ulaşmıştır. Rüzgar, B blok duvarına çarptıktan sonra özellikle çatının köşesinde küçük akış ayrılması görülürken; akışın büyük bir bölümünün binanın çatısına tutunarak C blok çatısına ulaştığı ve A blok çatısının köşesinden ayrılan akışın bina arkasında ters akış dolayısıyla ile girdap oluşmuştur. Batı yönünde esen rüzgarın binanın Z_4 , Z_5 , Z_6 ve Z_7 konumları için hesaplanmış akış alanları ve hız profilleri Şekil 9-12 arasında verilmiştir. Tüm konumlar için rüzgarın bina duvarına çarpması ile durma noktasının üstüne doğru hareket ettiği; binanın çatı katında küçük akış ayrılmasının olduğu görülmektedir. Şekil 10 ve Şekil 11 incelendiğinde, Z_5 konumunda bina arkasındaki resirkülasyon bölgesinin meydana geldiği; Z_6 konumunda ise binanın orta kısmındaki (A-B arası) boşluktan dolayı C blok çatısından ayrılan rüzgarın ters akışı meydana getirdiği ve bu ters akış bölgesinin bina arkasına kadar uzadığı görülmektedir. Şekil 12’de, Z_7 konumunda ise A blok çatısından hareket eden rüzgarın bir kısmının köşeden ayrılması ile ters akış oluşmuştur.

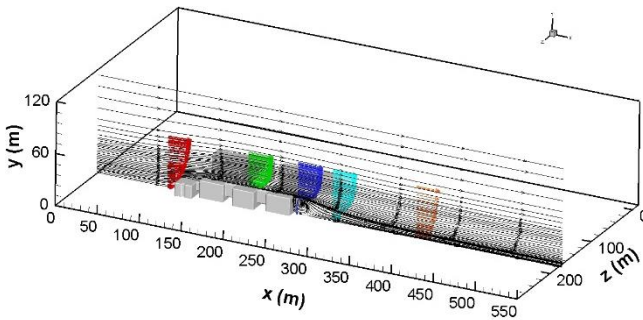
Binanın üzerinde farklı konumlar için sayısal modelleme sonucu elde edilen ortalama hız profilleri şekilde verilmiştir. Özellikle girdapların olduğu kısımlarda ters akış bölgelerinin belirgin olması hız profillerinden rahatlıkla anlaşılmaktadır. Bina arkasındaki konumlardaki ortalama hız profillerine bakıldığında ters akış bölgesinin bittiği göze çarpmaktadır.



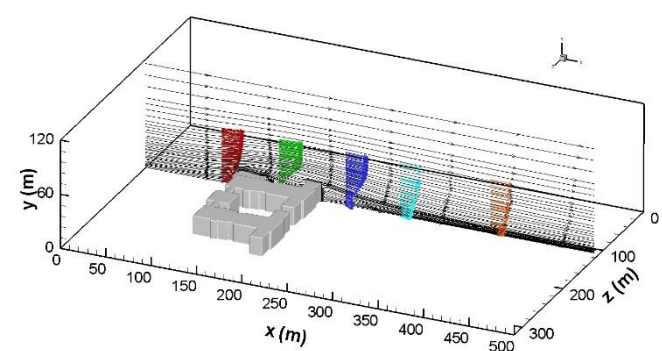
Şekil 6. Z_1 konumu için elde edilen akış alanı



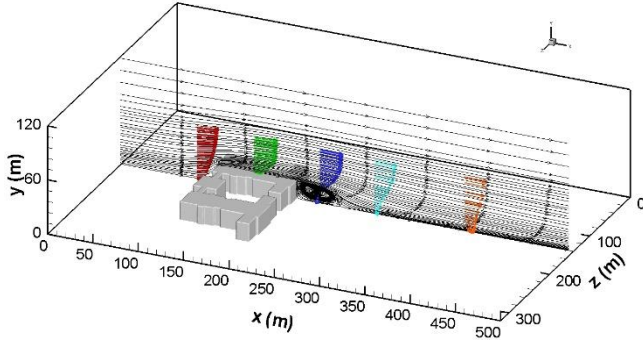
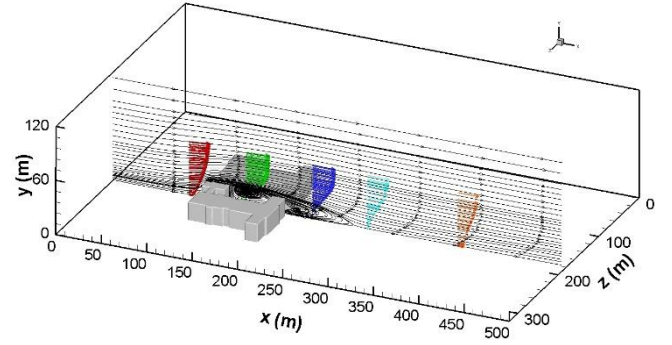
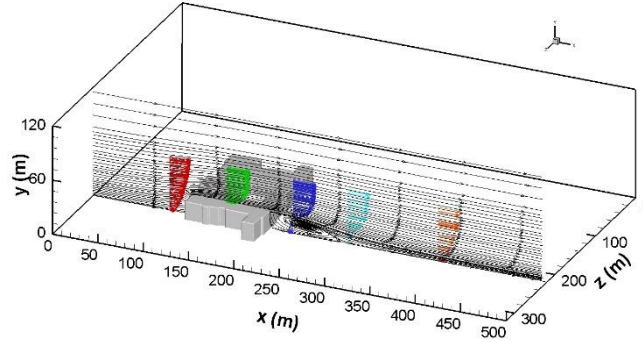
Şekil 7. Z_2 konumu için elde edilen akış alanı



Şekil 8. Z_3 konumu için elde edilen akış alanı



Şekil 9. Z_4 konumu için elde edilen akış alanı

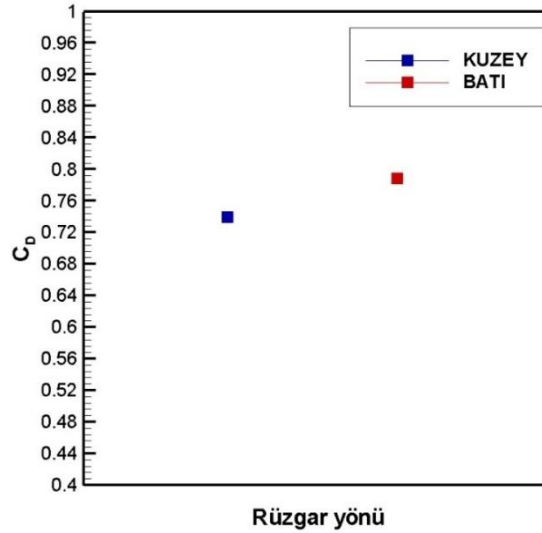
Şekil 10. Z₅ konumu için elde edilen akış alanıŞekil 11. Z₆ konumu için elde edilen akış alanıŞekil 12. Z₇ konumu için elde edilen akış alanı

Bilindiği üzere yapısal ve aerodinamik çalışmalar-tasarımlar için direnç (C_D) ve basınç (C_P) katsayısı önemli boyutsuz parametrelerdir. Binalar üzerine etki eden bu katsayıları deneysel olarak ölçmek hem pahalı hem de zaman alıcı olabilir. Bu çalışmada birebir olarak modellenen binanın hem kuzeye doğru hem de batıya doğru esen rüzgar kaynaklı C_D ve C_P katsayıları aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 13'de görüldüğü üzere, rüzgar kuzeye doğru estiğinde C_D değeri 0.74 iken batıya doğru estiğinde bu değer 0.79'a yükselmiştir.

$$C_D = \frac{2F_D}{\rho u^2 A} \quad (10)$$

$$C_P = \frac{P - P_0}{0.5 \rho u^2} \quad (11)$$

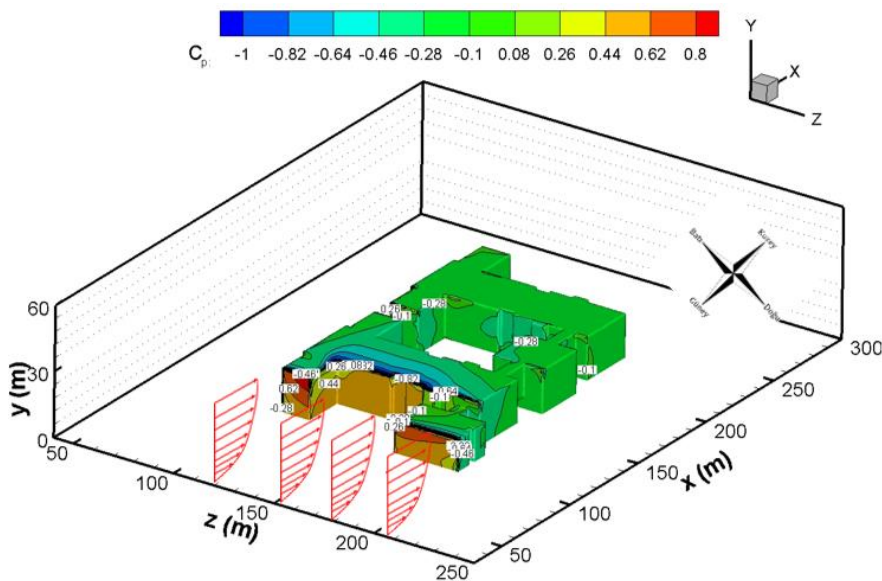
burada ρ rüzgarın yoğunluğu; F_D ortalama direnç kuvveti ve A binanın referans alanıdır. P ve P_0 ise sırasıyla bina yüzeyindeki yerel basıncı ve ortam basıncını göstermektedir.



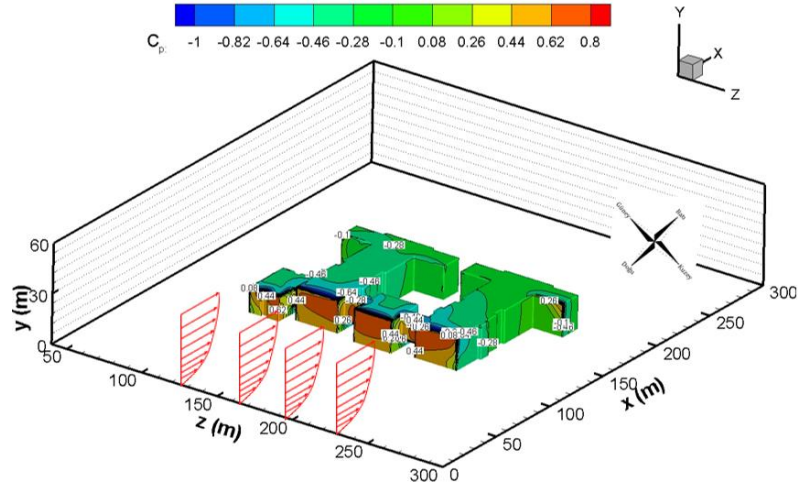
Şekil 13. Simülasyon sonucu elde edilen direnç katsayısı değerleri

Şekil 14 ve Şekil 15'te sayısal modelleme sonucu elde edilen mevcut bina duvarlarındaki basınç dağılımı verilmiştir. Rüzgarın direkt olarak bina duvarına temas ettiği kısımlarda itme etkisinden dolayı basınç katsayısı (C_p) değerleri pozitifdir. Öte yandan, rüzgarın doğrudan temas ettiği bina çatı kısmında meydana gelen akış ayrılmasından dolayı binanın üst ve arka yüzeylerinde C_p değeri negatiftir. Ayrıca, binanın orta kısmında meydana gelen girdap bölgesinden dolayı emme etkisi olduğundan bina iç kısmında da negatif basınç alanı oluşmuştur. Bu basınç değerlerinin en kritik olduğu kısımlar binanın ön yüzeyine çarparak hareketine devam eden rüzgarın bina çatısının köşe kısmında tutunamayarak ayrılmasından kaynaklanmaktadır. Elde edilen bu sonuçlar, Özmen ve Kaydok [25]'un daha önce yapmış oldukları çalışma ile benzerlik göstermektedir.

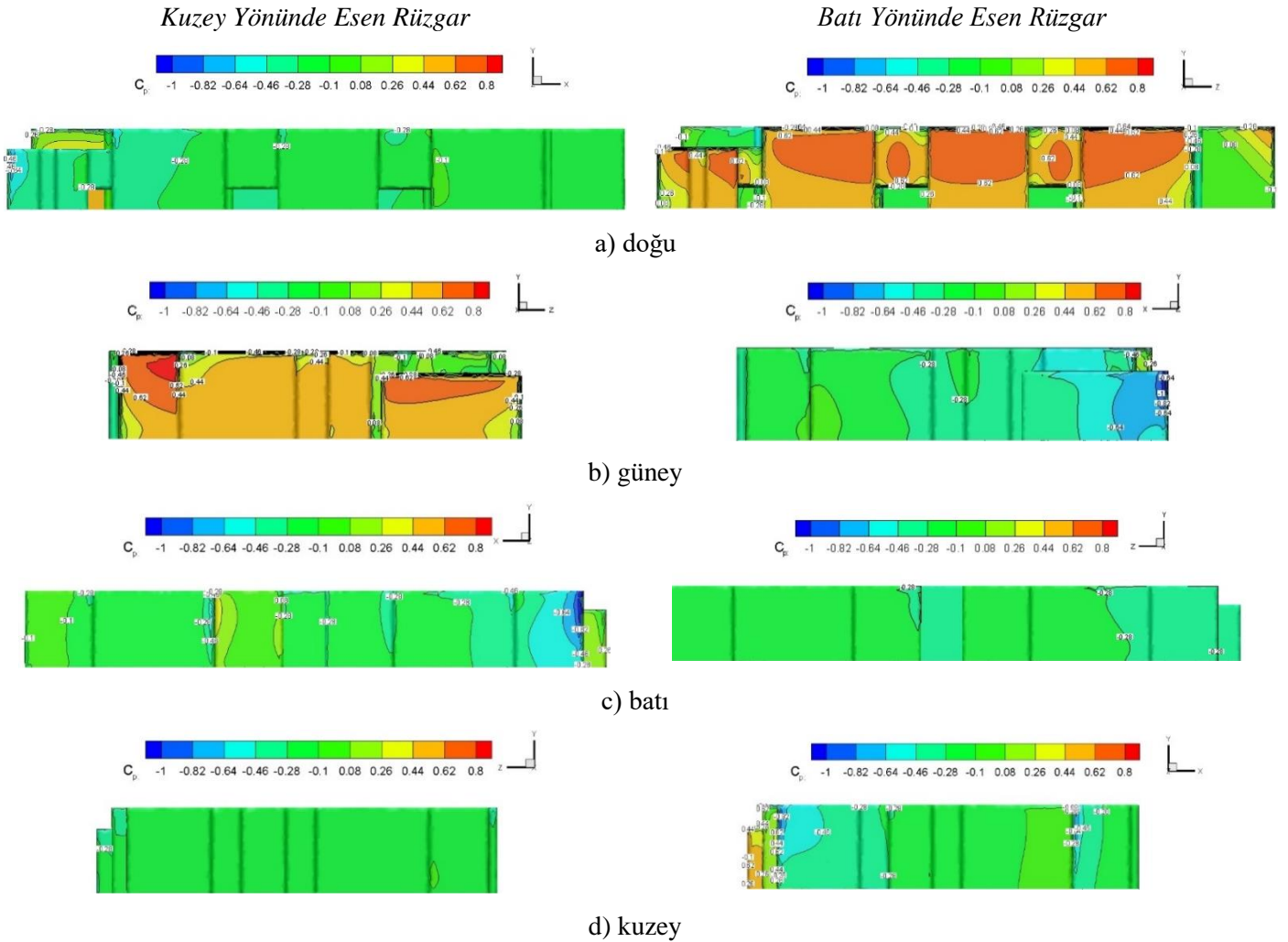
Farklı yönlerde esen rüzgara maruz kalan binanın tüm cepheleri için bina yüzeyindeki C_p dağılımı detaylı olarak Şekil 16'te verilmiştir. Kuzeye doğru esen rüzgar binanın güneye bakan kısmına direk olarak çarptığı için burada C_p en büyük değeri almıştır. Benzer şekilde, batıdan esen rüzgara maruz kalan binada doğuya bakan duvarlar üzerinde C_p maksimum değerlere ulaşmıştır. C_p 'nin renk dağılımına bakıldığında yer seviyesinden yukarı doğru hareket edildiğinde rüzgar hızında artma meydana geldiği için C_p 'nin maksimum değerlerinin binanın üst katlarında olduğu görülür.



Şekil 14. Kuzeye doğru esen rüzgar kaynaklı basınç dağılımı



Şekil 15. Batıya doğru esen rüzgar kaynaklı basınç dağılımı



Şekil 16. Binanın farklı yüzeyleri için basınç konturları

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, atmosferik sınır tabaka etkisinde kuzey ve batı yönüne doğru esen rüzgarın bina üzerindeki etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Rüzgarın etki ettiği bina üzerindeki akış yapılarının daimi, üç boyutlu simülasyonu için Standard k-epsilon türbülans modeli kullanılmıştır.

Binanın ön kenarına doğru ilerleyen rüzgar B blok duvarına çarptıktan sonra yukarıya üst katlara doğru hareket ettiği ve çatının ön kısmında oluşan ters akıştan dolayı ayrılmaların meydana geldiği Şekil 7’de görülmektedir. Rüzgarın bir kısmı A bloğun iç kısmındaki duvara çarpmasıyla girdap oluşmuştur. Rüzgarın diğer kısmı A blok çatı seviyesi ve üzerinden hareket etmiş ve arka köşeden ayrılarak A blok arkasında resirkülasyon bölgesinin oluşumuna sebep olmuştur. Oluşan bu girdap bölgesinin yüksekliği bina boyuna eşittir.

Z₃ konumundaki sonuçlara bakıldığında, binanın karmaşık geometrisinden dolayı akış alanındaki değişim fark edilmektedir. Kuzeye doğru esen rüzgarın ilk önce D bloğa çarpmış ve çarpmanın etkisi ile rüzgarın küçük bir kısmı akış ayrılmasına uğramış; geri kalan kısmı hareketine devam ederek B blok duvarına ulaşmıştır. Rüzgar, B blok duvarına çarptıktan sonra özellikle çatının köşesinde küçük akış ayrılması görülürken; akışın büyük bir bölümünün binanın çatısına tutunarak C blok çatısına ulaştığı ve A blok çatısının köşesinden ayrılan akışın bina arkasında ters akış dolayısı ile girdap oluşmuştur.

Batı yönünde esen rüzgarın bina duvarına çarpması ile durma noktasının üstüne doğru hareket ettiği; binanın çatı katında küçük akış ayrılmasının oluştuğu görülmektedir. Z₅ konumunda bina arkasındaki resirkülasyon bölgesinin meydana geldiği; Z₆ konumunda ise binanın orta kısmındaki boşluktan dolayı C blok çatısından ayrılan rüzgarın ters akışı meydana getirdiği ve bu ters akış bölgesinin bina arkasına kadar uzadığı görülmektedir. Şekil 12’de, Z₇ konumunda ise A blok çatısından hareket eden rüzgarın bir kısmının köşeden ayrılması ile ters akış oluşmuştur.

Sayısal modelleme sonucu elde edilen basınç dağılımı sonuçları incelendiğinde rüzgarın direkt olarak bina duvarına temas ettiği kısımlarda itme etkisinden ötürü C_p değerleri pozitifdir. Ayrıca, rüzgarın doğrudan temas ettiği bina çatı kısmında meydana gelen akış ayrılmasından dolayı binanın üst ve arka yüzeylerinde C_p değeri negatiftir. Binanın orta kısmında ise meydana gelen girdap bölgesinden dolayı emme etkisi olduğundan bina iç kısmında da negatif basınç alanı oluşmuştur. Bu basınç değerlerinin en kritik olduğu kısımlar binanın ön yüzeyine çarparak hareketine devam eden rüzgarın bina çatısının köşe kısmında tutunamayarak ayrılmasından kaynaklanmaktadır. Ek olarak, rüzgar kuzeye doğru estiğinde C_D değeri 0.74 iken batıya doğru estiğinde bu değer 0.79’a yükselmiştir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Mahrt, L. (1999). Stratified atmospheric boundary layers. *Boundary-Layer Meteorology*, 90(3), 375-396.
- [2] Demir, H. (2021). Numerical Investigation of Wind Loads on Building with Various Turbulence Models. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 37(2).
- [3] Blocken, B., Carmeliet, J., & Stathopoulos, T. (2007). CFD evaluation of wind speed conditions in passages between parallel buildings-effect of wall-function roughness modifications for the atmospheric boundary layer flow. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 95(9-11), 941-962.
- [4] Tominaga, Y., Mochida, A., Murakami, S., & Sawaki, S. (2008). Comparison of various revised k-ε models and LES applied to flow around a high-rise building model with 1: 1: 2 shape placed within the surface boundary layer. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96(4), 389-411.
- [5] Ahmad, S., & Kumar, K. (2001). Interference effects on wind loads on low-rise hip roof buildings. *Engineering Structures*, 23(12), 1577-1589.
- [6] Ahmad, S., & Kumar, K. (2002). Effect of geometry on wind pressures on low-rise hip roof buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 90(7), 755-779.
- [7] Liang, S., Li, Q. S., Liu, S., Zhang, L., & Gu, M. (2004). Torsional dynamic wind loads on rectangular tall buildings. *Engineering Structures*, 26(1), 129-137.
- [8] Braun, A. L., & Awruch, A. M. (2009). Aerodynamic and aeroelastic analyses on the CAARC standard tall building model using numerical simulation. *Computers & Structures*, 87(9-10), 564-581.

- [9] Merrick, R., & Bitsuamlak, G. (2009). Shape effects on the wind-induced response of high-rise buildings. *Journal of wind and engineering*, 6(2), 1-18.
- [10] Guirguis, N. M., & Nassief, M. M. (2008). Numerical and Experimental study of wind load around buildings of JV Telkova, Flow visualization around the two prismatic bodies. In *International Conference on Methods of Aerophysical Research, ICMAR*.
- [11] Miyashita, K., Katagiri, J., Nakamura, O., Ohkuma, T., Tamura, Y., Itoh, M., & Mimachi, T. (1993). Wind-induced response of high-rise buildings effects of corner cuts or openings in square buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 50, 319-328.
- [12] Kawai, H. (1998). Effect of corner modifications on aeroelastic instabilities of tall buildings. *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, 74, 719-729.
- [13] Suresh Kumar, K., Irwin, P. A., & Davies, A. (2006). Design of tall building for wind: wind tunnel vs. codes/standards. In *Third National Conference on Wind Engineering, Calcutta, India* (pp. 318-325).
- [13] Mou, B., He, B. J., Zhao, D. X., & Chau, K. W. (2017). Numerical simulation of the effects of building dimensional variation on wind pressure distribution. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 11(1), 293-309.
- [14] Kim, Y. C., Bandi, E. K., Yoshida, A., & Tamura, Y. (2015). Response characteristics of super-tall buildings—Effects of number of sides and helical angle. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 145, 252-262.
- [15] Sharma, A., Mittal, H., & Gairola, A. (2018). Mitigation of wind load on tall buildings through aerodynamic modifications. *Journal of Building Engineering*, 18, 180-194.
- [16] Li, Y., Song, Q., Li, C., Huang, X., & Zhang, Y. (2021). Reduction of wind loads on rectangular tall buildings with different taper ratios. *Journal of Building Engineering*, 103588.
- [17] Tamura, T., & Miyagi, T. (1999). The effect of turbulence on aerodynamic forces on a square cylinder with various corner shapes. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 83(1-3), 135-145.
- [18] Huang, M. F., Lau, I. W. H., Chan, C. M., Kwok, K. C., & Li, G. (2011). A hybrid RANS and kinematic simulation of wind load effects on full-scale tall buildings. *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, 99(11), 1126-1138.
- [19] Alminhana, G. W., Braun, A. L., & Loredó-Souza, A. M. (2018). A numerical-experimental investigation on the aerodynamic performance of CAARC building models with geometric modifications. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 180, 34-48.
- [20] Mou, B., He, B. J., Zhao, D. X., & Chau, K. W. (2017). Numerical simulation of the effects of building dimensional variation on wind pressure distribution. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 11(1), 293-309.
- [21] Franke, J., Hellsten, A., Schlünzen, H., & Carissimo, B. Best Practice Guideline for the CFD Simulation of Flows in the Urban Environment. COST Action 732: Quality Assurance and Improvement of Microscale Meteorological Models (2007).
- [22] <https://repa.enerji.gov.tr/REPA/iller/AKSARAY-REPA.pdf>
- [23] Aynsley, R. M., Melbourne, W., & Vickery, B. J. (1977). Architectural aerodynamics. *Building and Environment*, 14(4), 275-276.
- [24] Richards, P. J., & Hoxey, R. P. (1993). Appropriate boundary conditions for computational wind engineering models using the k- ϵ turbulence model. *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, 46, 145-153.
- [25] Özmen, Y., & Kaydok, T. (2014). Kare kesitli bir yüksek bina üzerindeki türbülanslı akışın sayısal olarak incelenmesi. *Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences*, 17(2), 15-25.



INVESTIGATION OF DESIGN PARAMETERS OF WIND TURBINE TOWER FOUNDATIONS

Mutlu SEÇER

Izmir Katip Celebi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Civil Engineering, Izmir, Turkey.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0121-6052>

Abstract

Electric power generation systems from wind energy show great developments and their designs are gaining importance day by day. Wind energy has come to an essential position in the field of renewable energy, as there are targets such as reducing the foreign dependency of countries in the field of energy, reducing energy costs, creating additional employment and developing environmentally friendly technologies. Accordingly, studies on predicting the costs of parts such as rotor blades, nacelle, tower and foundation, which forms the initial investment costs of wind turbines used in the generation of electrical energy from wind energy, have gained importance in recent years. Considering that the foundation cost constitutes a part of the total wind turbine cost, the importance of examining the foundation design parameters emerges.

In addition, depending on the developments in wind energy generation technology, more powerful wind energy generators cause the need to increase the tower height and foundation dimensions. In this study, design parameters of wind turbine tower foundations were investigated in terms of foundation base pressure and structural stability. Shallow wind turbine foundations that consist of a circular reinforced concrete base located on uniform soil were selected and maximum contact pressure values were determined. Afterwards, relationship between wind turbine foundation diameter and foundation base pressure, which is one of the important factors in the design of wind turbine tower foundations, was numerically investigated. In the paper, the geometry of the wind turbine foundation, which is under the influence of large eccentricity, was taken into account and the foundation calculations were performed. Likewise, overturning safety factor and the values of eccentricity of the wind turbine tower foundations were determined. The amount of concrete, steel reinforcement and backfill to be used for the foundations were calculated. Results obtained from the wind turbine foundation analysis were presented and evaluated in terms of base pressure, structural safety and total material cost.

Keywords: Wind turbine, foundation, base pressure, stability, renewable energy.

1. INTRODUCTION

Renewable energy technologies provide secure, reliable and affordable energy to expand electricity access and promote development. Among other applications of renewable energy technologies, the wind turbine technology has an edge because of its technological maturity, good infrastructure and relative cost competitiveness (Ciang, Lee and Bang, 2008). A typical wind turbine is given in Figure 1 schematically that contains blades, nacelle, tower and foundation. In order to increase the efficiency of wind turbines and harvest more energy, size and height of wind turbines have continually increased throughout the years and consequently total costs of these turbines become crucial. Accordingly, structural design of each wind turbine component has become significant to optimize the wind turbine total costs. Regarding wind turbine components, researches are performed out on various subjects such as increasing the durability of turbine blades and reducing blade weights (Niu, 1988) and making towers economical (Jain, 2011). Similarly, studies on wind turbine tower foundations have also gained attention in recent years (Mohamed and Austrell, 2018). Considering that the foundation cost is around 4-6% of the total wind turbine cost (Ianco, 2009), the importance of examining the basic design parameters of foundations become forward. In addition, the evaluation of the wind turbine foundation cost within the initial installation cost and the determination of this cost component has become a priority for the investor in the field of clean energy.

In this study, design parameters of a shallow wind turbine foundation were investigated in terms of base pressure and structural stability. Different base diameters were considered for the foundation and base pressure, overturning safety, eccentricity level and its effects on the turbine foundation cost were examined.



Figure 1. Wind turbine.

2. DESIGN PARAMETERS OF WIND TURBINE FOUNDATIONS

Wind turbine foundation is the first component of the wind turbine that is constructed on site and wind turbines transmit huge levels of loads on to the soil through the foundation. Thus, foundation is one of the key factor for providing structural safety and stability of the wind turbine. Wind turbine foundations are in rectangular, octagonal or more commonly in circular form. A circular wind turbine foundation is given with Figure 2.



Figure 2. Wind turbine foundation.

There are many factors that play significant role in the analysis and design of wind turbine foundations. In wind turbine foundation design; soil conditions, normal and abnormal loads on foundation top are considered together and optimum foundation dimensions are determined considering general design parameters. In the

study, main parameters that affect the foundation design have been taken into account and some of them are presented as items:

- Control of the base pressure of the wind turbine foundation,
- Checking that no gap is formed under the foundation for operating loads,
- Overturning control,
- Eccentricity control,
- Sliding control,
- Foundation stiffness control,
- Settlement control.

The above-mentioned controls are particularly important in determining the wind turbine foundation geometry. In the study, some of the stability and geotechnical capacity components, which are prominent factors affecting wind turbine foundation geometry were presented. One of the important factors in determining the wind turbine foundation dimensions is the calculation of the foundation base pressure. Wind turbine foundations are designed by considering the base pressure using elastic or plastic stress distribution approaches. These approaches are used for relevant load combinations, taking into account service and extreme load cases. On the other hand, tension region under the foundation base or gap formation is normally not allowed under operating loads. This condition is not generally required in analyzes under extreme loads, as uneconomical turbine foundation geometry may occur if no gaps are allowed under the foundation base under extreme loads.

The stability components of wind turbines are overturning factor, slip resistance and extreme eccentricity control values. These values are essential parameters for determining the stability of these tower type structures and they are directly related to the foundation design. Similarly, the required foundation stiffness value, which is a criterion depending on the turbine type, also determines the behavior of the foundation under extreme loads. Likewise, settlement control is another essential component that directly considers the relationship between turbine foundation geometry and soil properties. If settlement of the foundation is not controlled, operating capacity may decrease and even reach levels that can affect the safety of the wind turbine.

3. NUMERICAL RESEARCH AND FINDINGS

In order to examine the wind turbine foundation design parameters, a wind turbine foundation was selected and its cross section is presented with Figure 3. In the study, the base diameter was assigned as a variable. The diameter and depth of the pedestal part of the foundation was decided considering the properties of anchor cage and kept same and constant for all the foundation design alternatives.

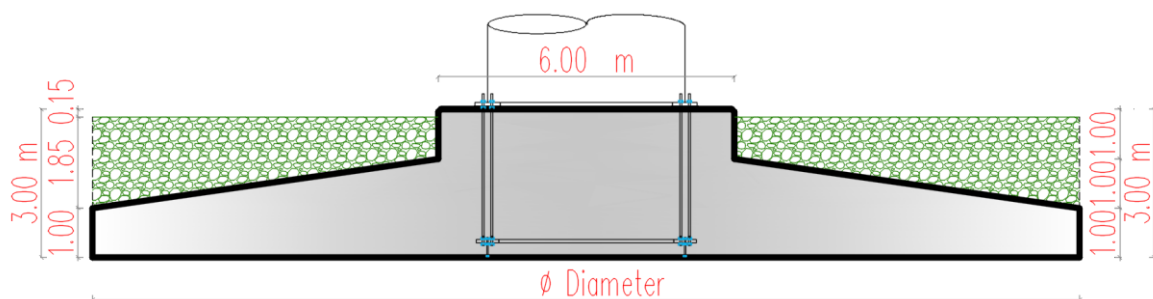


Figure 3. Geometric properties of wind turbine foundation.

In the numerical example, wind turbine was designed as circular and analyses were performed for different foundation diameters. In inner zone of the foundation, a pedestal with the depth of 3.00 m and the diameter of

6.00 m was selected. As it can be noticed from Figure 3, the thickness of the foundation was 1.00 m in the outermost part and the thickness linearly increased towards the plinth part. In general, loads of the turbines are provided by the turbine manufacturers at the tower bottom level. Accordingly, foundation design can be performed considering these design load cases that cover the most extreme conditions that the foundation may experience during its service life. For various wind conditions there are different type of analysis and partial safety factors provided in design documents as IEC 61400-1 (IEC, 2005). Since, design process encompasses wide ranges of load combinations and design situations, some simplifications were made to limit the scope of the current numerical study. In this study, loads (without any load factors) were accounted with the values of 4000 kN for axial load, 1000 kN for shear force, 90000 kNm for bending moment and 4000 kNm for torsion. For simplification in the analysis, only two load factors such as 1.35 and 0.9 were considered for representing some of the extreme cases. Likewise, half of the moment value was accounted for operational loads and gap condition was controlled accordingly.

In numerical analysis, 200 kPa was set as a limit value for triangular pressure distribution and accordingly foundation diameter was initially selected as 20 meter with 197 kPa maximum edge pressure. Afterwards, foundation diameter was increased to monitor the change in the maximum contact pressure for triangular distribution, overturning safety, extreme eccentricity, concrete volume, backfill volume and cost of the foundation. In Figure 4, the relationship between wind turbine foundation diameter and maximum contact pressure under the foundation base is presented.

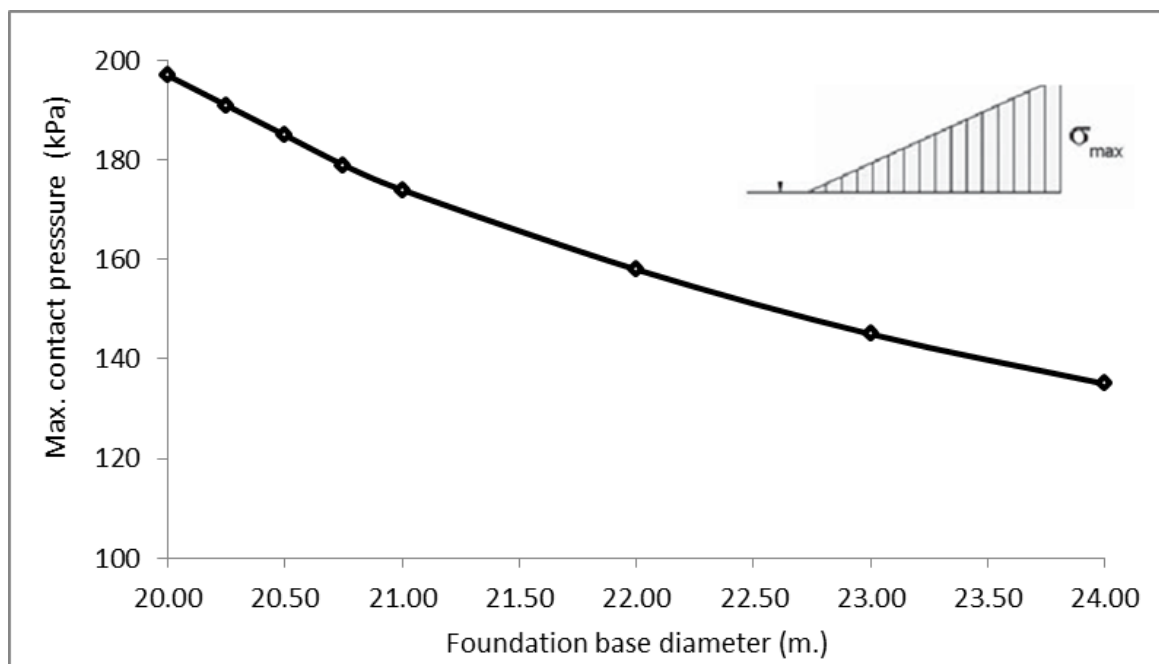


Figure 4. Relationship between turbine foundation diameter and maximum contact pressure.

As it can be monitored from Figure 4., when foundation diameter was increased with 20%, maximum contact pressure decreased with 32% for the numerical example. Relationship between turbine foundation diameter and foundation overturning safety ratio is provided by Figure 5, and the relationship between turbine foundation diameter and foundation eccentricity is presented with Figure 6.

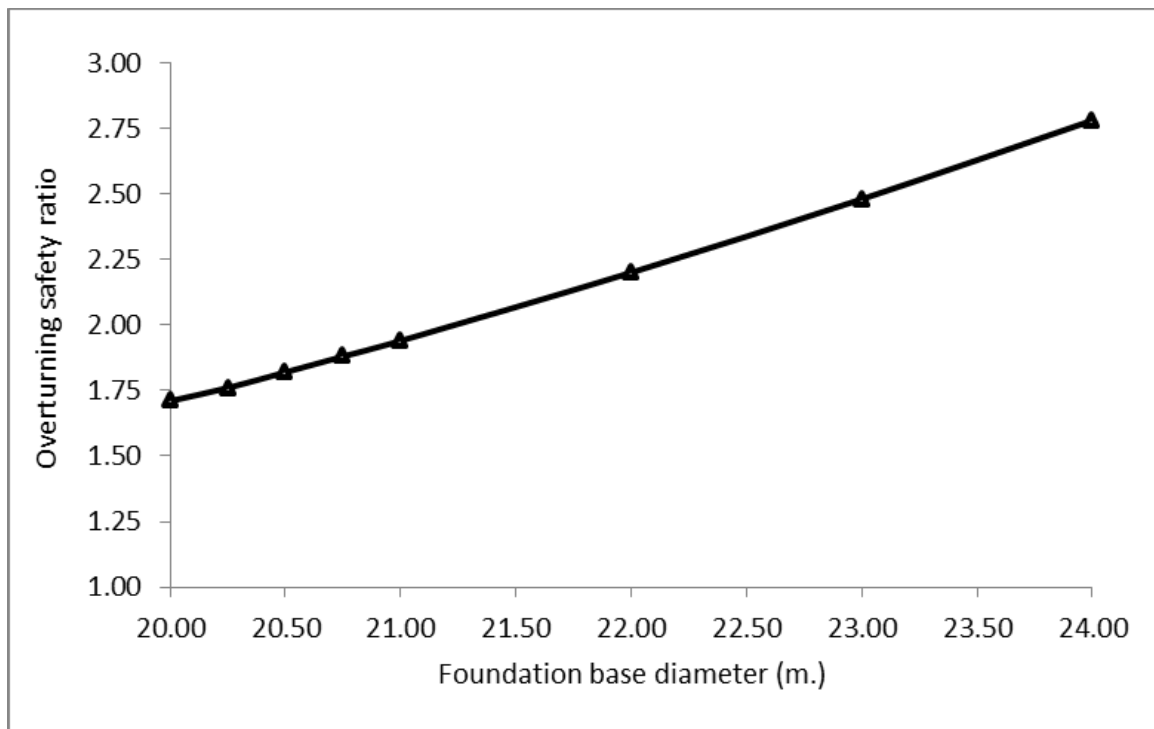


Figure 5. Relationship between turbine foundation diameter and overturning safety ratio.

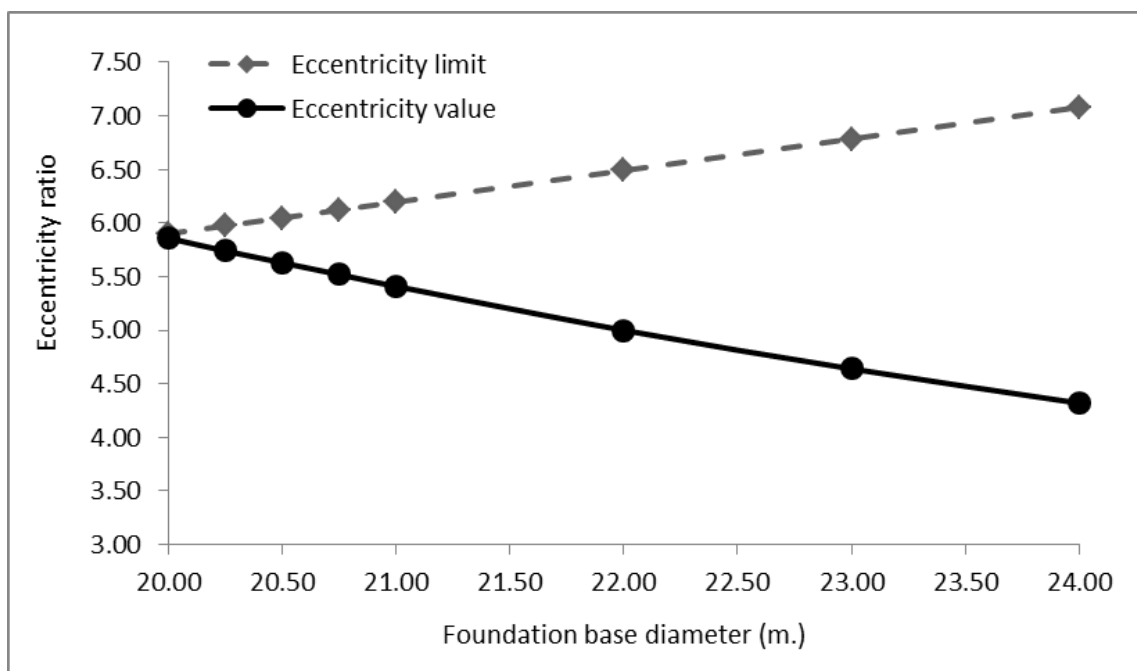


Figure 6. Relationship between turbine foundation diameter and eccentricity.

Increasing the turbine foundation diameter increased the foundation stability. Turbine overturning safety ratio was increased by 63% when the foundation diameter was increased by 20% as presented in Figure 5. On the other hand, as the foundation diameter increased, the eccentricity ratio decreased. The eccentricity limit was increased due to the increase in the foundation base diameter. The difference between eccentricity and the eccentricity limit provided the increase in safety from different perspective. Volumes of consumed materials were also calculated and volume of concrete is presented with Figure 7 considering the increase in the

foundation diameter. Likewise, relationship between foundation diameter and volume of backfill is presented with Figure 8.

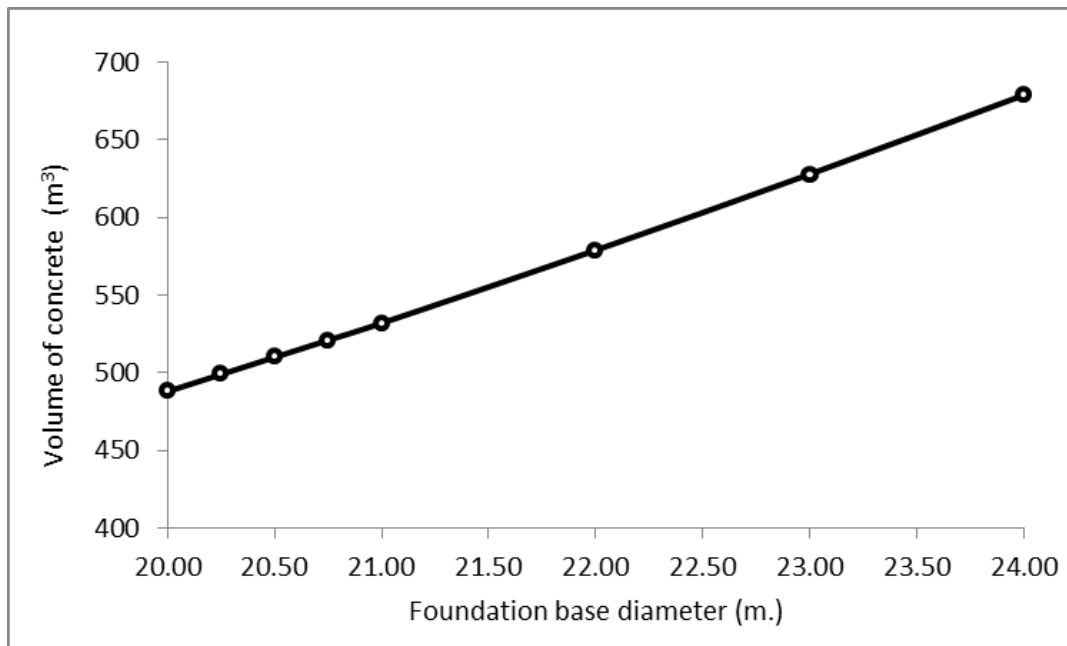


Figure 7. Relationship between turbine foundation diameter and volume of concrete.

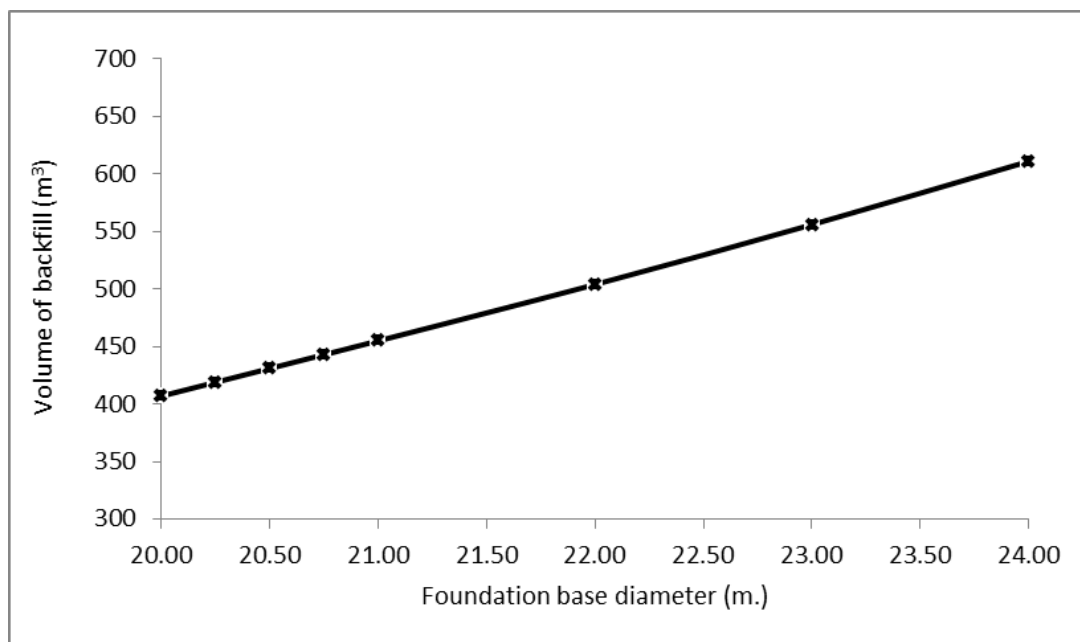


Figure 8. Relationship between turbine foundation diameter and volume of backfill.

Beside the structural safety and stability, increase in the foundation diameter was also observed from the cost perspective. Since there are many parameters that affect the total cost of the foundation, parameters that directly affects foundation cost were selected and evaluated. Cost of excavation, cost of formwork, cost of concrete, cost of reinforcement and cost of backfill were considered and total cost ratio was calculated. In Figure 9, total cost of foundation with 20 m base diameter was accounted as a reference value and relationship between foundation base diameter and total cost ratio was plotted. On the other hand, cost of anchor cage, cost of grout and cost of cable ducts were neglected since they were similar for all foundation alternatives.

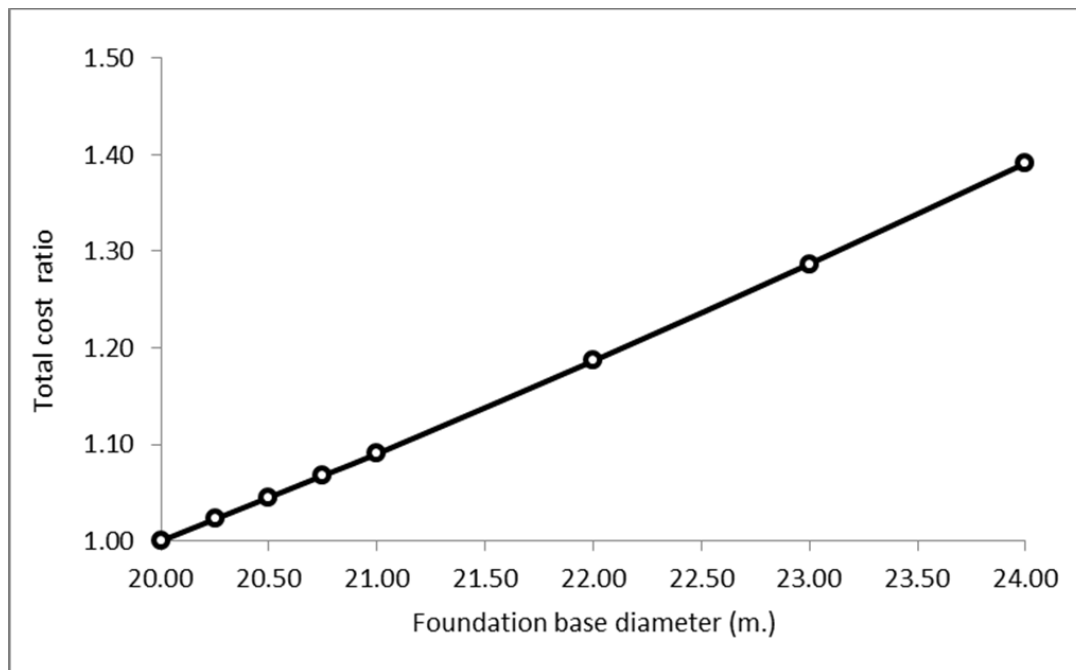


Figure 9. Relationship between turbine foundation diameter and total cost ratio.

4. CONCLUSIONS

In this study, wind turbine foundations were examined in terms of foundation base pressure and structural stability. The relationship between the wind turbine foundation diameter and the maximum contact pressure of the foundation base, overturning safety, eccentricity ratio, concrete volume, backfill volume and total cost ratios were presented. The results obtained from the numerical analyses are summarized with the following items.

- It was observed that the maximum contact pressure at the base of the wind turbine foundation decreased as the foundation diameter increased.
- Due to the increase in turbine foundation diameter, the increase in overturning safety was quite high. It should be noted that increasing the turbine foundation diameter is a substantial opportunity when the stability of the structure needs to be improved.
- There was a decrease in eccentricity due to the increase in turbine foundation diameter. When the eccentricity is required to be limited, foundation base diameter should be increased.
- As a result of the increase in the base diameter of the wind turbine foundation, the concrete volume, the backfill volume and accordingly the total cost of the turbine foundation was increased. The increase in the amount of backfill to be made due to the increase in the base diameter of the wind turbine foundation is more than the increase in the amount of concrete. Considering the unit costs, the increase in the amount of concrete is more costly than the increase in the amount of backfill.
- It can be concluded that the overall cost increases significantly as the wind turbine foundation diameter increases. Therefore, base diameter is a key parameter in turbine foundation design and should be decided by considering both cost and safety.
- Wind turbine foundations examined in the study were designed under some assumptions to prepare practical cases. More detailed load cases and combinations should be considered to ensure realistic design. Thus, wind turbine foundations should be designed with project basis perspective and should comply with the requirements of the project and current design standards.

REFERENCES

1. Ciang, C. C., Lee, J. R., Bang, H. J. (2008). Structural health monitoring for a wind turbine system: a review of damage detection methods. *Measurement Science and Technology*, 19(12), 122001.
<https://doi.org/10.1088/0957-0233/19/12/122001>
2. Niu, M.C.Y. (1988). *Airframe Structural Design*. Conmilit Press Ltd., California.
3. Jain, P. (2011). *Wind Energy Engineering*. McGraw-Hill, New York.
4. Mohamed, W., Austrell, P. E. (2018). A comparative study of three onshore wind turbine foundation solutions. *Computers and Geotechnics*, 94, 46-57.
<https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2017.08.022>
5. Ianco, M.I. (2009). The economics of wind energy, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 1372–1382.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.004>
6. International Electrotechnical Commission. (2005). IEC 61400-1: Wind Turbines–Part 1: Design Requirements. Edition 3. IEC: Geneva, Switzerland.



NUMERICAL MODEL AND ANALYSIS OF THE APPLICATION OF TUBERCLE STRUCTURE TO THE NREL PHASE II TURBINE BLADE

Tuna Murat BODUR

“Wind Engineering ve Aerodynamic Research Group”, Erciyes University, 38039, Kayseri, Turkey,
MSG Technology Co. Ltd., Erciyes Technopark, Techno-1 Building No:61/20, 38039, Kayseri, Turkey,

Mustafa Serdar GENÇ

“Wind Engineering ve Aerodynamic Research Group”, Erciyes University, 38039, Kayseri, Turkey,
MSG Technology Co. Ltd., Erciyes Technopark, Techno-1 Building No:61/20, 38039, Kayseri, Turkey,

Abstract

As the energy demand increases, studies on wind turbine and turbine blades are increasing simultaneously. It is known that especially humpback whale fins reduce friction forces underwater and increase lift and moment effects. In this study, an increase/decrease in efficiency was observed with the changes in lift and drag created by the application of humpback whale blade structure to NREL Phase II turbine blades. The study was considered as numerical modeling and analysis. The reference blade model is the NREL Phase II blade belonging to the NREL blade family, with a rotor diameter of 5.023m, blade width of approximately 0.457m, and the angle of attack of 12°, with a flat structure (no torsional angle change in stations), generating 20kW electricity. On the blade model, design and analysis were carried out in the form of applying the tubercle structure in the entire blade structure, 75% and 50% of it. Tubercle structure; formed by changing the wavelengths (λ) and amplitudes (A) at the different stations on the blade. Differences between the reference blade and the new models were revealed. When the results were examined, it was seen that the drag force decreased with the increasing in the tubercle structure. It was observed that the lift force of the full tubercle structure was higher than other tubercle structures.

Keywords: Wind Turbine Blade, Humpback Whale Fin, CFD Analysis, Tubercules, NREL Phase II

Introduction

One of the most critical parameters affecting the efficiency of utilizing wind energy is the blade structure of the wind turbine. Improving the aerodynamic design of the blade structure directly affects the efficiency [1]. Aerodynamic performance is related to lift and drag and the ratios of these forces. Performance studies in aerodynamics have always focused on these issues due to high lift and low drag.[2]

The Reynolds number is one of the most important phenomena in fluid mechanics. The Reynolds number is expressed as the ratio of viscous forces to inertial forces. Whether the flow is turbulent or laminar is a property dependent on the Reynolds number. In the airfoils, the Reynolds number is expressed by the equation depending on the chord length C , the freestream velocity U_∞ the density of the air ρ , and the dynamic viscosity of the air μ , as shown in equation 1.1 [3,4].

$$Re = \rho U_\infty C / \mu \quad (1.1)$$

In aerodynamic studies, development studies are carried out by considering the same principle for the propellers used in underwater and above-water vehicles and aircraft, as well as wind turbine blades. It is known that especially humpback whale wings reduce the friction forces underwater and increase the lift and moment effects [5].

Humpback whales are mammals with the largest and variable whalebone fins among whale species and the longest pectoral fins of all marine mammals [6]. Their aquatic hunting abilities are excellent and have protrusions of the pectoral fin front. Fin-shaped forelimbs move at

shoulder height and show some flexibility throughout the blade span. Compared to other whales, the fin forelimbs have a high aspect ratio but show a slight curvature at the end of their forelimbs. The pectoral fin of the humpback whale has special leading protrusions. This unique structure improves the performance of the pectoral fin[7].

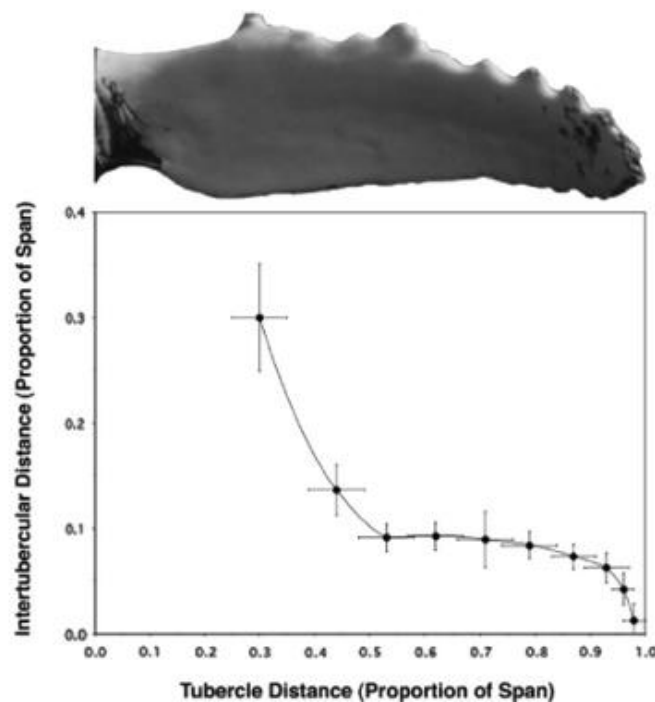


Fig. 1. Pectoral fin and protruding structure of humpback whale[14]

Experiments on wavy bodies were shown periodic variations throughout the structure [8]. This resulted in a resistance reduction of at least 30% relative to flat structures or structures [9]. In Humpback whale blade applications in the wind tunnel, it was observed that when the tubercle models were applied to the leading edge, it was supplied to delay the stall angle and increase the total lift without increasing the friction force [10].

Tubercles are rounded projections that change the flow field around a lifting surface. The tubercle effect significantly aerodynamically affects the blades [11,12], wind turbine blades and tidal tube blades [13], marine vehicle propellers [14], and electronic heater absorber fans [15], etc.

Lin Y. and Chiu P. [5] observed the performance changes according to different rotational speeds in active flow control logic by applying the protrusion-like parts of the humpback whale fins to the FX63 wind turbine blade with a tilt angle of 50° . It was discussed that the output power could be increased from 786.46 W to 1.5 kW when the initial wind speed was 4 m/s. From the available experimental results, it was stated that the leading-edge protrusions could effectively stabilize the wind turbine output power and increased the average power output. However, by examining the relationships of power generation at different angles of attack and ambient wind speeds, it was found that the current device could also stabilize the output power in the optimum C_p -TSR (end speed ratio) relationship at some fixed-pitch angles [16].

Recently, Shi et al. [17] proposed applying cusps to the leading edge of turbine blades inspired by humpback whales to improve tidal turbine blade performance. It was also shown from experiments that such designs improved hydrodynamic performance in the low-end speed ratio (TSR) region without reducing the maximum power coefficient. Domel et al. [18] reported that airfoil surface designs modified with tooth-like teeth covering the skin of sharks could provide up to 323% improvement at low angles of attack, compared to the best-reported conventional low-profile eddy generators.

Johari et al. [19] changed the tubercle amplitude and wavelength values across the range of humpback whale flippers and compared six models with the base model. Overall, they noticed a different stopping behavior between the tubercle airfoils and the base model, with a delay in separation when tubercles were applied; also,

leading-edge humps cause a reduction in lift coefficient when the angle of attack was below the baseline stopping angle. However, in the post-pause regimen, the cusps could improve the lift coefficient by up to 50% compared to the base model. By varying the amplitude and wavelength, Johari et al. also studied the effects of these geometric parameters on stopping, lifting, and dragging. In particular, blades with smaller amplitude performed best in terms of stall angle and maximum lift coefficient, and higher amplitude values resulted in smoother stall characteristics. The wavelength effects were considered less by the authors, although tubercles with smaller wavelengths achieved a higher maximum lift coefficient and lower drag with a stall angle.

In this study, the effect of different tubercule structures on the blade aerodynamics was investigated. The study was considered as numerical modeling and analysis. The reference blade model is the NREL Phase II blade belonging to the NREL blade family, with a rotor diameter of 5.023m, blade width of approximately 0.457m, and the angle of attack of 12°, with a flat structure (no torsional angle change in stations), generating 20kW electricity.

Material and Methods

The model in our work is the NREL FAZ II blade. The lack of aerodynamic studies on this model was the most important parameter in choosing this model. The availability of parametric data and experimental results in the NREL library was another reason for selection.

The NREL Phase II blade model information that we used in our studies was taken from the NREL library. As shown in Table 1. and Fig. 2., our turbine blade model is S809. Our blade has a rotor diameter of 5.023 m, a blade width of approximately 0.4572 m, an angle of attack of 12°, a flat structure (no change in torsion angle at stations) and generates 20kW of electricity.

Blade Model	NREL PHASE II
Blade Cross-section and planform	NREL Design (Constant Chord, no taper, no twist)
Root Extension	0.723 m
Blade Pitch Angle	12 Degrees
Blade Profile	NREL S809
Blade Chord	0.4572 m
Blade Twist	Untwisted

Table 1. NREL Phase II Blade Information [20]

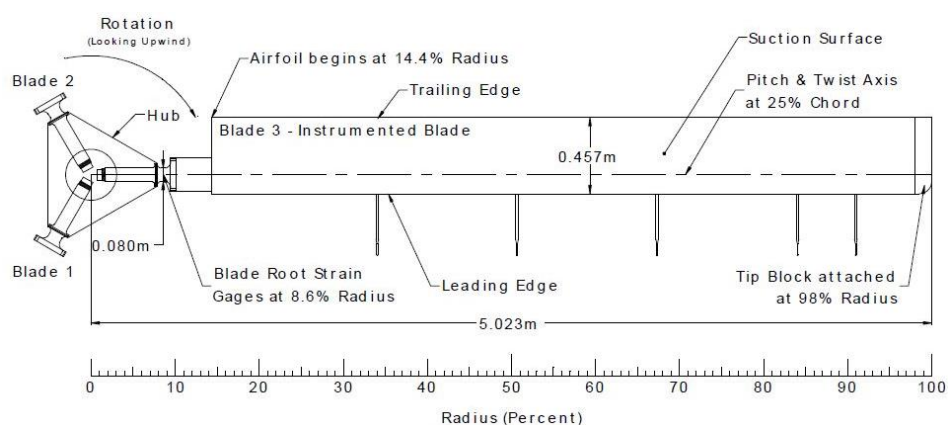


Fig. 2. Blade Information [21]

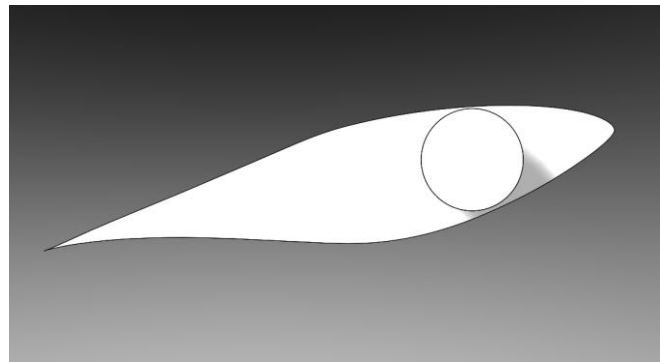


Fig.3 Reference Blade Model - S809

The necessary parameters for our work were primarily determining the basic wind turbine blade. Then, the geometry parameters of the tubercle blades were determined. After choosing the basic model in line with the data from the NREL library, tubercle structures were created by following a sinusoidal path and using scaling at the leading and splitting edges.

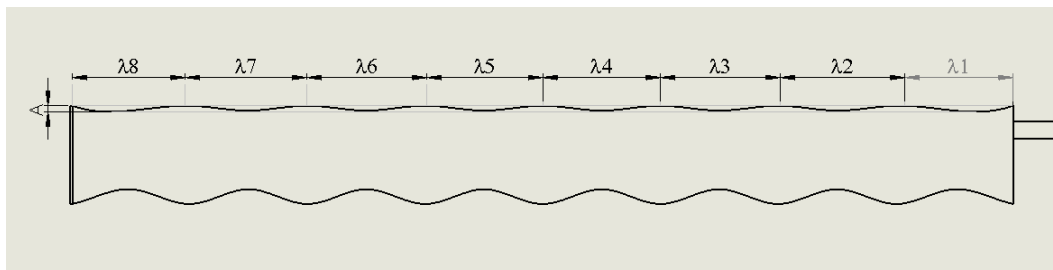


Fig.4 Blade topology with tubercle structure

Chord(m)	0,4572	Station-1	Station -2	Station -3	Station -4
Span(m)	4,31	1,0775	2,155	3,2325	4,31

Table.2. Section Stations.

Wavelength	I-0	I-1	I-2	I-3	I-4	I-5	I-6	I-7	I-8
Location (m)	0	0,54	1,08	1,62	2,15	2,69	3,23	3,77	4,31
Location (m)	-	0,27	0,81	1,35	1,89	2,42	2,96	3,50	4,04
Amplitude	A-0	A - 1	A - 2	A - 3	A - 4	A - 5	A - 6	A - 7	A - 8
Amplitude Length (m)	-	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09

Table.3 Tubercles Model Stations

The tubercle models were specially studied on three models. Following the reference blade model, a structure application was made on the model that made up 50%, 75%, and all of the tubercle model blade's span (Fig.5).

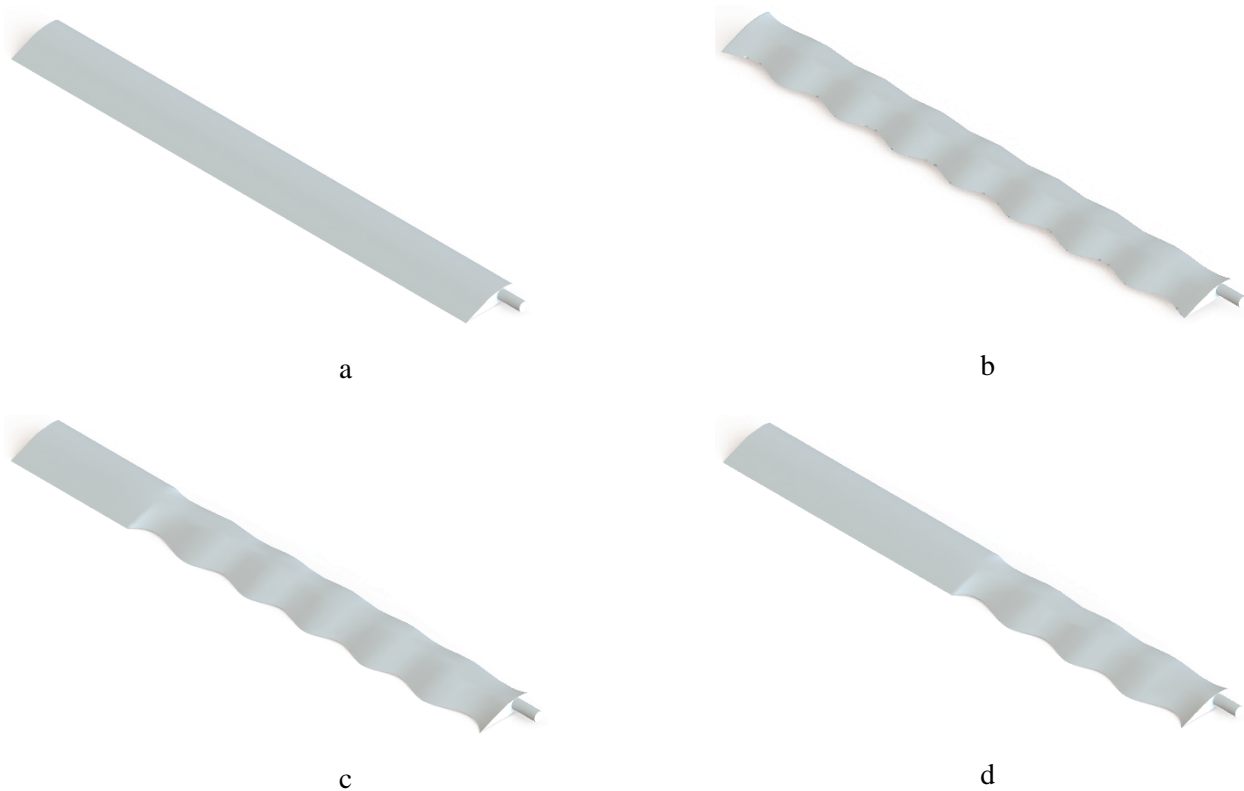


Fig.5. a.Reference Model, **b.**Full Tubercles Model, **c.** Tubercles Model with %75, **d.** Tubercles Model with %50

Mesh Generation and Methodology of the Simulation

MSC Cradle program was used throughout the analysis and simulation. The commercial code, MSC Cradle-SC/Flow was employed in this 3-D numerical simulation. It solves Equations of (1) and (2) which represent conservation of mass and conservation of momentum Equations. SST (Shear-Stress Transport) $k-\omega$ turbulent model was used in this investigation and the convenient transport equation is given by Equation (3).

Incompressible simulation of steady-state is performed throughout the analysis;

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_j \rho u_i}{\partial x_j} = \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho \omega + \frac{\partial}{\partial x_j} u_j \rho \omega = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + \frac{\gamma \rho}{\mu_t} G_s - \beta \rho \omega^2 \quad (2.3)$$

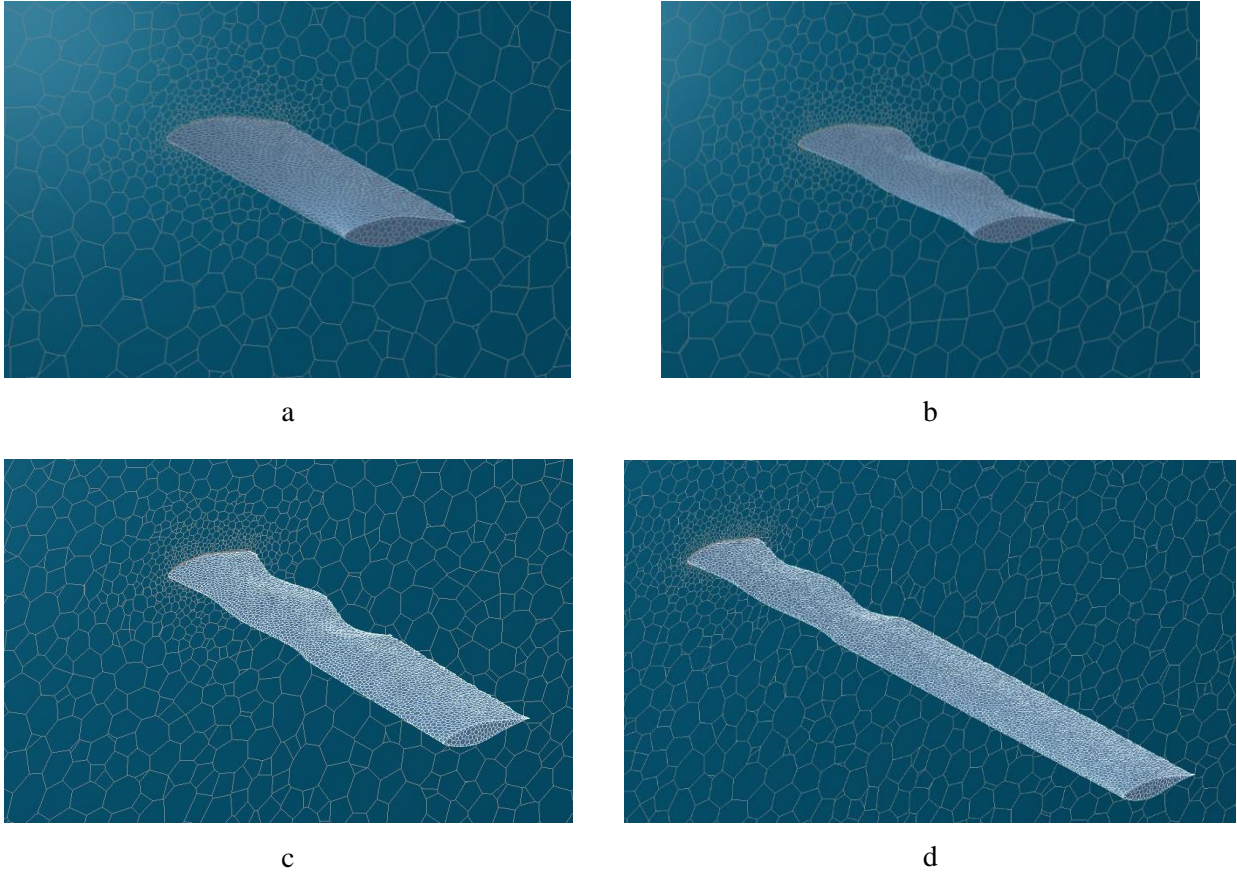
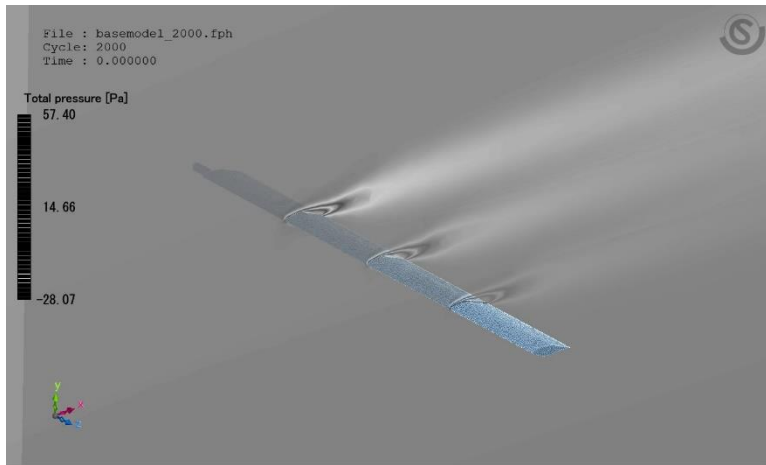


Fig.6. Mesh Structure on **a.**Reference Model, **b.**Full Tubercles Model,
c. Tubercles Model with %75,
d. Tubercles Model with %50

The mesh structure used in the software process was used as the honeycomb structure. The mesh structures of the wings with reference wing and tubercle structures are shown in fig.6.

Results

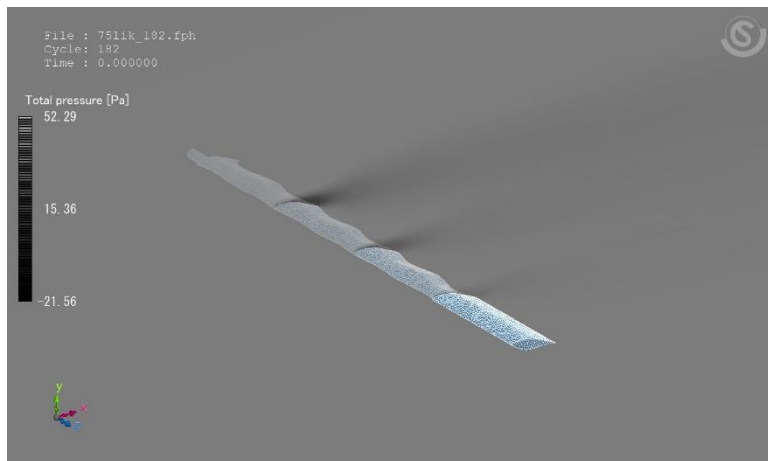
Total pressure results are shown in Fig.7. When these results are examined, the result images were taken from 75%, 50%, and 25% of the blades.



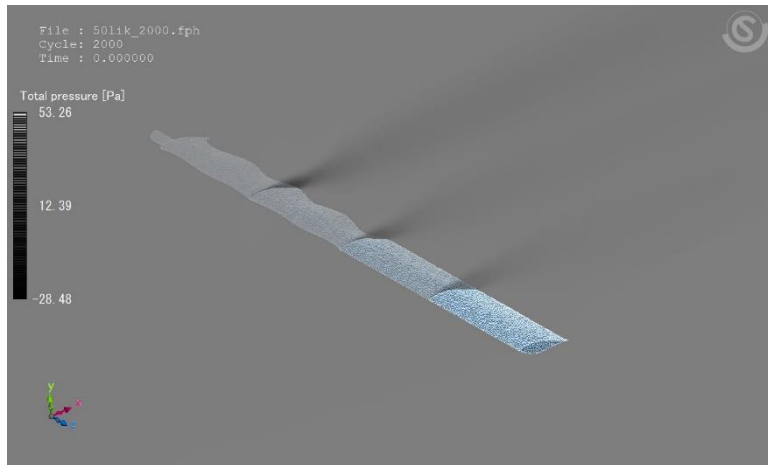
a



b



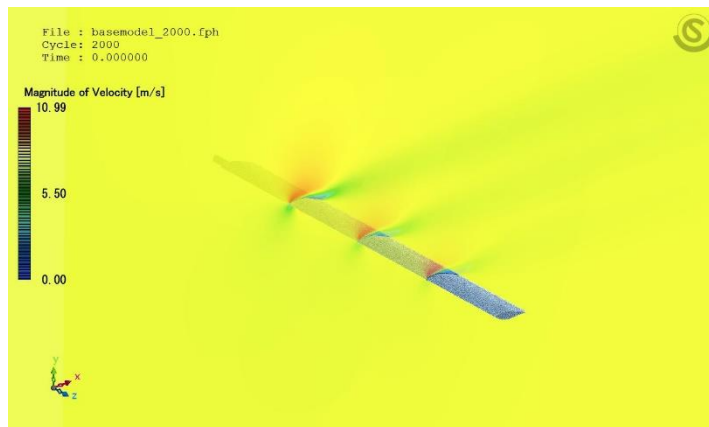
c



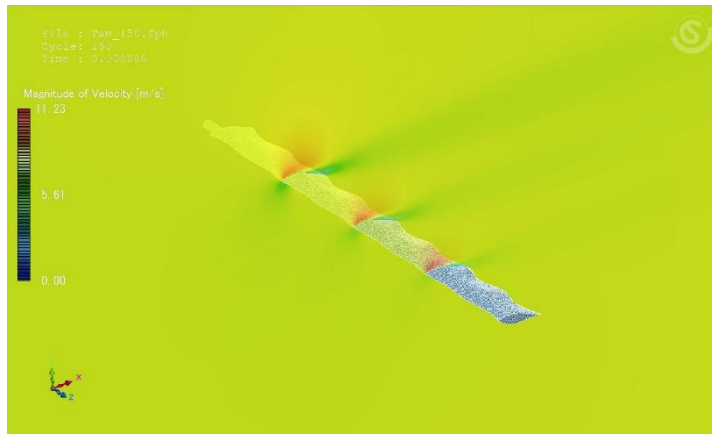
d

Fig.7. Pressure Results on **a.** Reference Model, **b.** Full Tubercles Model, **c.** Tubercles Model with %75, **d.** Tubercles Model with %50

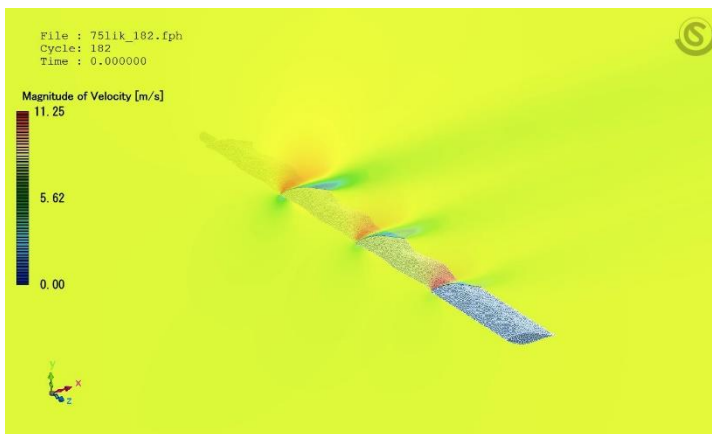
As it can be seen, the pressure characteristic distributions of the base model and the full model are approximately similar, but the full tubercule model provided that the flow attached on the blade. In addition, considering the 75% cross-section, it was observed that the total pressure value decreased with the increase in the tubercle structure, and the speed in the blade suction region increased. Here, considering the general blade model, it has been observed that the increase in the tubercle structure leads to a decrease in the pressure in the general blade structure.



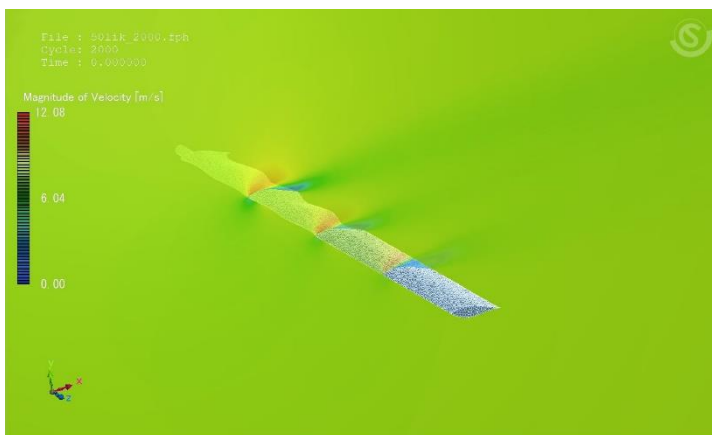
a



b



c



d

Fig.8. Magnitude Velocity Results on **a.** Reference Model, **b.** Full Tubercles Model, **c.** Tubercles Model with %75 **d.** Tubercles Model with %50

In fig.8, the velocity distributions at the planes at the distances of 25%, 50%, and 75% of the blade span can be seen on the blade. Considering the general blade models here, it was observed that the speed was highest at the points where the tubercle structure was 50% and increased from approximately 11 m/sec to 12 m/sec. However, it was observed that the tubercle structure provide the flow attachment and velocity increments.

Summary And Conclusion

In this study, the changes in the lift and drag forces that will occur on the blade with the application of 50%, 75%, and full tubercle structure on the NREL Phase 2 blade were investigated. NREL Phase II blade information is taken from the NREL library. Simulation and flow analysis were performed on MSC software. Incompressible simulation of steady-state was performed throughout the analysis.

		BASE	FULL	75%	50%
Fd	FORCE-X	11,0355	9,9801	10,0014	11,2841
Fl	FORCE-Y	48,8891	44,1930	44,3564	43,1330
	FORCE-Z	0,0570	0,0544	0,0945	0,1021

Table.4. Overall Results Summary

When we look at the general results, our studies have focused on the application of the tubercle model on both the leading and trailing edges. It is seen that the increase in the tubercle structure reduces the drag force, however, reductions in lift force were observed.

In addition, these results show that future studies should focus on 75% to 100% application cases of tubercle structure. However, it will be useful to study the application of tubercle structures only on the attack or only the trailing edges to gain clarity on this issue.

References

- [1]. Chehouri, A., Younes, R., Ilinca, A., Perron, J. 2015. "Review of performance optimization techniques applied to wind turbines", *Applied Energy* 142[4]:361e88.
- [2]. Genç, M.S., "Control of low Reynolds number flow over aerofoils, and investigation of aerodynamic performance (in Turkish)", PhD Thesis, Graduate School of Natural and Applied Science, Erciyes University, Kayseri, Turkey, 2009
- [3]. White, F.M., Akışkanlar mekaniği, Çeviri: Kadir Kırkköprü, Erkan Ayder, Literatür Yayıncılık, İstanbul, Türkiye, 2004.
- [4]. Yunus A. ÇENGEL ,John M.CIMBALA Akışkanlar Mekaniği Temelleri Ve Uygulamaları Palme Yayıncılık, Ankara, 2013.
- [5]. Zhang, R.-K., and Wu, J.-Z., "Aerodynamic Characteristics of Wind Turbine Blades with a Sinusoidal Leading Edge," *Wind Energy*, Vol. 15, No. 3, 2012, pp. 407–424. doi:10.1002/we.v15.3
- [6]. V. V. Kozlov Et Al. - Experimental Investigation Of Localized Disturbances In The Straight Wing Boundary Layer, Generated By Finite Surface Vibrations - Proceedings Of The XXV Conference On High-Energy Processes In Condensed Matter (HEPCM 2017)
- [7]. Fish FE, Battle JM. Hydrodynamic design of the humpback whale flipper. *J Morph* 1995;225:51–60.
- [8]. Fox RW, Pritchard PJ, McDonald AT. Introduction to fluid mechanics. 7th ed. John Wiley & Sons Inc.; 2009.
- [9]. Fish FE, Weber PW, Murray MM, Howle LE. The tubercles on humpback whales' flippers: application of bio-inspired technology. *Integr Comp Biol* 2011;51:203–13.
- [10]. Owen JC, Szwedzyk AA, BearmanPW.2000. Suppression of karman vortex shedding, Gallery of Fluid Motion. *Phys. Fluids* 12:1–13
- [11]. Bearman PW, Owen JC. 1998. Reduction of bluff-body drag and suppression of vortex shedding by the introduction of wavy separation lines. *J. Fluid Struct.* 12:123–30
- [12]. Miklosovic DS, Murray MM, Howle LE, Fish FE. 2004. Leading edge tubercles delay stall on humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) flippers. *Phys. Fluids* 16:L39–L42

- [13].Watts, P., and Fish, F. E., “The Influence of Passive, Leading Edge Tubercles on Wing Performance,” Proceedings of Unmanned Untethered Submersible Technology (UUST), Autonomous Undersea Systems Inst., Lee, New Hampshire, Aug. 2001.
- [14].Custodio, D., “The Effect of Humpback Whale-like Leading Edge Protuberances on Hydrofoil Performance,” M.S. Thesis, Mechanical Engineering Dept., Worcester Polytechnic Inst., Worcester, MA, 2007
- [15].Shi,W., Atlar, M., Norman, R., Aktas, B., and Turkmen, S., “Numerical Optimization and Experimental Validation for a Tidal Turbine Blade with Leading-Edge Tubercles,” Renewable Energy, Vol. 96, Part A, 2016, pp. 42–55. doi:10.1016/j.renene.2016.04.064
- [16].Lin Y. Ve Chiu P. - Influence of leading-edge protuberances of fx63 airfoil for horizontal-axis wind turbine on power performance - Sustainable Energy Technologies and Assessments 38 (2020) 100675
- [17].Shi W, Atlar M, Norman R, Learning from humpback whales for improving the energy capturing performance of tidal turbine blades, Trends and Challenges in Maritime Energy Management, Springer, pp. 479–497.
- [18].Domel AG, Saadat M, Weaver JC, Haj-Hariri H, Bertoldi K, Lauder GV. Shark skininspired designs that improve aerodynamic performance. JR Soc Interface 2018;15:20170828.
- [19].H. Johari, C. W. Henoeh, D. Custodio, and A. Levshin, “Effects of leading-edge protuberances on airfoil performance,” AIAA journal, vol. 45, no. 11, pp. 2634– 2642, 2007.
- [20].D.A. Simms, et all.“Unsteady Aerodynamics Experiment Phases II–IV Test Configurations and Available Data Campaigns” NREL/TP-500-25950
- [21].J.G. Schepers, et all. “Final report of IEA Annex XIV : Field Rotor Aerodynamics”



A STUDY REGARDING THE COVID-19 EFFECT ON THE OIL MARKETS

Zeki YILBAŞI

Yozgat Bozok University, Yozgat Vocational School, Department of Automotive Technology, Yozgat, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5906-3538>

Murat Kadir YEŞİLYURT

Yozgat Bozok University, Faculty of Engineering-Architecture, Department of Mechanical Engineering, Yozgat, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0870-7564>

Mevlüt ARSLAN

Yozgat Bozok University, Faculty of Engineering-Architecture, Department of Mechanical Engineering, Yozgat, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4415-6202>

Abstract

Many statistic reports and scenarios have been produced about global energy consumption. Global and local energy market institutions publish official statistical data and sectoral reports for the oil market monthly or in certain months of the year. This study was prepared based on products in the Turkish Energy Market Regulatory Authority decision dated 17.12.2020 and numbered 9822. In the decision, these products are grouped as 4 types of gasoline, 2 types of diesel, 8 types of fuel oil, 3 types of aviation fuel, 8 types of marine fuel, 1 type of kerosene, and 15 types of other products (fuel naphtha, biodiesel, ethanol, etc.). Production of total refinery oil products, which decreased by 11.43% in June 2020 compared to the previous year, increased by 39.81% in June 2021 compared to the same month of the previous year. Imports of crude oil, which were 2,116,479.418 tons in June 2019, reached 1,651,367.622 tons in the same month of 2020 and crude oil imports decreased by 21.98%. As of June 2021, this figure increased by 57.84% compared to the previous year and reached 2,855,062.287 tons. Total exports decreased by 67.89% in June 2020 compared to the same month of the previous year, however, they increased by 161.74% in June 2021 compared to the same month of the previous year. Regarding domestic sales between 2019 and 2020, gasoline types occupy the second rank after diesel types in the first place. The highest change in domestic sales in Turkey compared to June 2020 was achieved in aviation fuels, with an increase of 115.16%. In total oil product sales, a remarkable increase of 10.05% was observed. There was a 22.88% decrease in total bunker fuel sales in June 2020 compared to the same month of the previous year, as of June 2021, a positive outlook was seen in the market and an increase of 40.04% was achieved. In June 2021, the highest increase in bunker fuel sales was achieved in aviation fuels with 115.16%, followed by diesel fuel with 50.13%. According to these data, it could be argued that the negative effects of the Covid-19 pandemic on the oil markets have decreased.

Keywords: Oil market, Covid-19, Fuel types

1. INTRODUCTION

Energy demand shows an increasing trend in developed and developing countries (Wu et al., 2018). As demand increases, almost all country governments speed up their work within a planned program. In addition, countries have focused on global temperature and greenhouse gas emissions (Ritchie and Roser, 2020). In this dilemma, energy production dominates. From the industrial revolution to the present, fossil-based fuels occupy the biggest share in the global energy supply (Yesilyurt et al., 2020). Today, energy usage become mandatory to carry out any routine activities. Fossil-based fuels are responsible for the major part of energy utilization. Oil, coal, and natural gas, which are labeled fossil-based fuels, are called natural energy sources which contain high amounts of carbon and hydrogen in liquid, solid and gaseous forms, respectively. As it is known, the non-renewable property of fossil-based fuels takes millions of years to be formed (Hosseini and Wahid, 2016). Oil, which is one of the fossil-based fuel types, is one of the primary energy sources and is an important output for countries that do not have reserves in world trade. Fuel oils produced from crude oil constitute secondary energy sources and they are frequently used for heat and power generation these days (Øvergaard, 2008).

In residential air conditioning, in all types of transportation, to meet industry demand and in power generation plants, oil is known to be used as a primary energy source, or oil-based fuels such as diesel and gasoline are used as a secondary energy source (Chow et al., 2003; IEA, 2021a; EMRA, 2021; OPEC, 2021). From 1945 to the present, the largest primary energy consumption decline took place in 2020 at 4.5%. There were also significant decreases in coal and natural gas, but the dramatic reduction in energy consumption took place based on oil, which accounted for almost three-quarters of the net decrease. Refinery use fell by 8 points to 74.1% which is the lowest level since 1985 (BP, 2021).

As known, there have been several statistics reports and scenarios created regarding energy consumption all over the world. In the present study, significant reports and scenarios were taken as the basis and the months of June of 2019, 2020, and 2021 years would be compared. The last two years are considered when the Covid-19 pandemic affected energy and oil markets the most. In the light of these data, the medium-term rebalancing from the Covid 19 pandemic, which led to an unprecedented collapse in demand in the global oil markets, would be evaluated.

2. DATA PREPARATION

This study was prepared based on the final Oil Market Sectoral report published in the months of June 2019, 2020, and 2021 by Energy Market Regulatory Authority (EMRA, 2019; EMRA, 2020; EMRA, 2021) and Oil 2021 (Analysis and forecast to 2026) report prepared by International Energy Agency (IEA, 2021b). According to the results of these reports, June 2021 data were assessed to determine if impact of Covid-19 pandemic on the transportation sector decreased. In this report, production, export, import, domestic sales, and supply-demand figures regarding oil and oil products in Turkey were taken as basis.

3. RESULTS AND DISCUSSION

A comparison of Turkey’s imports in the months of June 2019-2020-2021 in the oil market sector was illustrated in Figure 1. As observed, the share of crude oil that is at the top of export types in Turkey was realized as 67.17%, 59.26%, and 71.52% in June 2019, 2020, and 2021, respectively. While total imports decreased by 11.56% in June 2020 compared to the previous year, this figure increased by 43.26% in the same month of 2021. Similarly, it could be noted that diesel types, which occupied the 2nd rank with 23.82% in June 2019, 32.56% in June 2020 and 25.23% in June 2021, increased by 10.97% in June 2021 compared to June 2020.

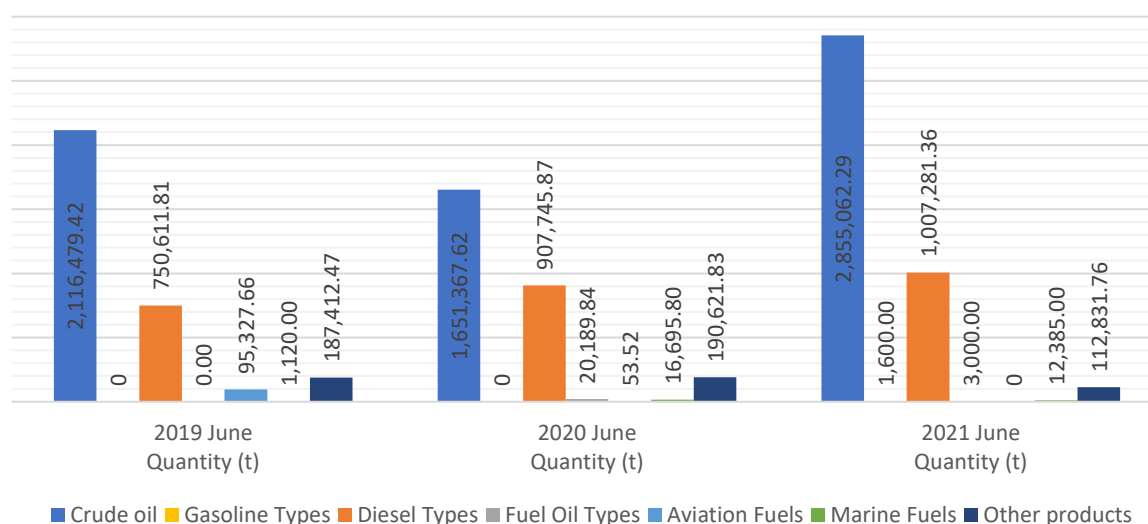


Figure 1. Comparison of Turkey’s imports in the months of June 2019-2020-2021 (EMRA, 2019; EMRA, 2020; EMRA, 2021)

In Figure 2, a comparison of domestic sales of oil products for June 2019, 2020, and 2021 was plotted. The share of diesel types among domestic sales amount in Turkey occupies the top rank with 84.85%, 87.64%, and 85.80% shares in 2019, 2020, and 2021 June, respectively while this amount increased by 7.73% in June 2021 compared to June 2020. Similarly, it could be observed that gasoline types were in second place with a share of 9.42% in June 2019, 8.52% in June 2020, and 9.56% in June 2021. While the domestic sales of gasoline types decreased by 4.57% in June 2020 compared to the same month of the previous year, it increased by 23.48% in June 2021 compared to June 2020. Aviation and marine fuels decreased by 57.82% and 42.48%, respectively, in June 2020 compared to the same month of the previous year, and increased by 115% and 4.79%, respectively, compared to the same month of 2021.

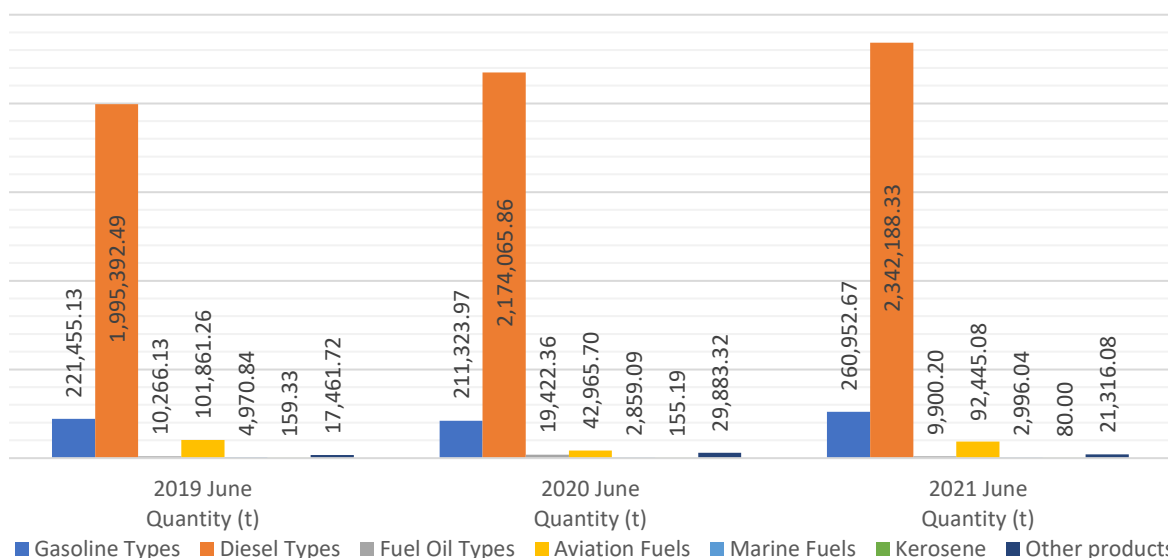


Figure 2. Comparison of Turkey’s domestic sales of oil products in the months of June 2019-2020-2021 (EMRA, 2019; EMRA, 2020; EMRA, 2021)

Figure 3 shows the total production of refinery oil products, diesel types, gasoline types, aviation fuels, marine fuels and other products in the months of June 2019, 2020, and 2021. In June 2020, aviation fuels decreased more than 3 times compared to the previous year. A similar situation took place in marine fuels, with a more than 8-fold decrease. In June 2021, compared to June 2020, an increase of approximately 2 and 8 times, was observed in aviation and marine fuels respectively. Again, in June 2021, total refinery oil products and diesel types showed a significant increase of 39.81% and 28.57%, respectively, compared to the same month of the previous year. Production of gasoline types increased by 101.59%.

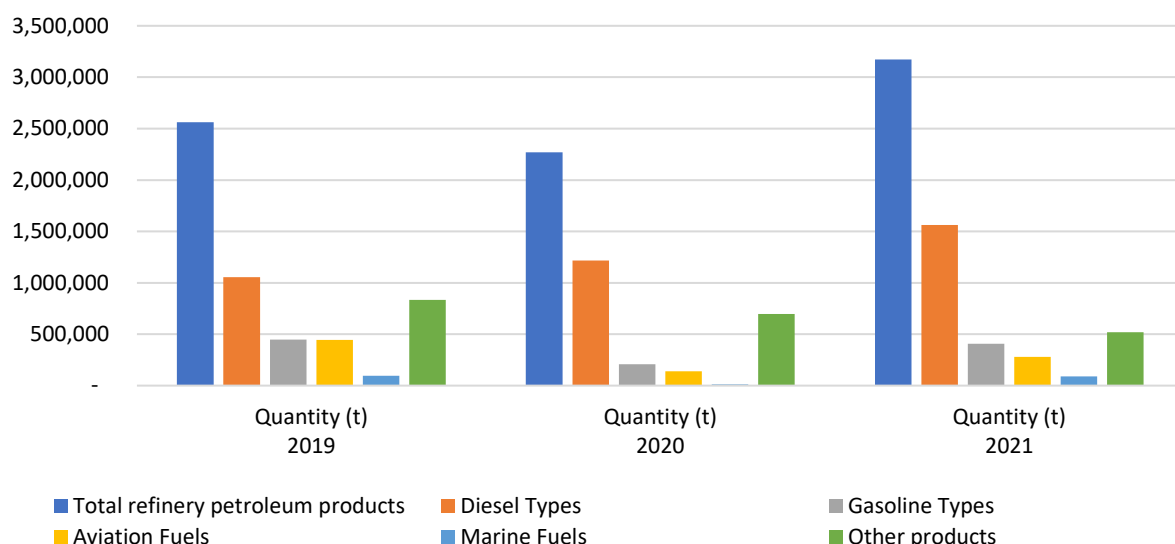


Figure 3. The total production of oil products in the months of June 2019, 2020 and 2021 (EMRA, 2019; EMRA, 2020; EMRA, 2021)

In Figure 4, a comparison of the export amounts of total oil products, diesel types, gasoline types, aviation fuels, marine fuels and other products in the months of June 2019, 2020, and 2021 was exhibited. While total exports were 1,198,707.684 tons in June 2019, they decreased by 67.86% in June 2020 to 385,297.327 tons. By June 2021, this figure reached 1,008,468.505 tons, displaying an increase of 161.74% from the same month of the previous year. In June 2021, the increase in exports compared to the previous year was 334.29%, followed by diesel types with 316.50%, marine fuels with 203.09%, aviation fuels with 67.34% increase, respectively. In June 2020, compared to the previous year, there were decreases of more than 80% in export data, especially in gasoline types and marine fuels.

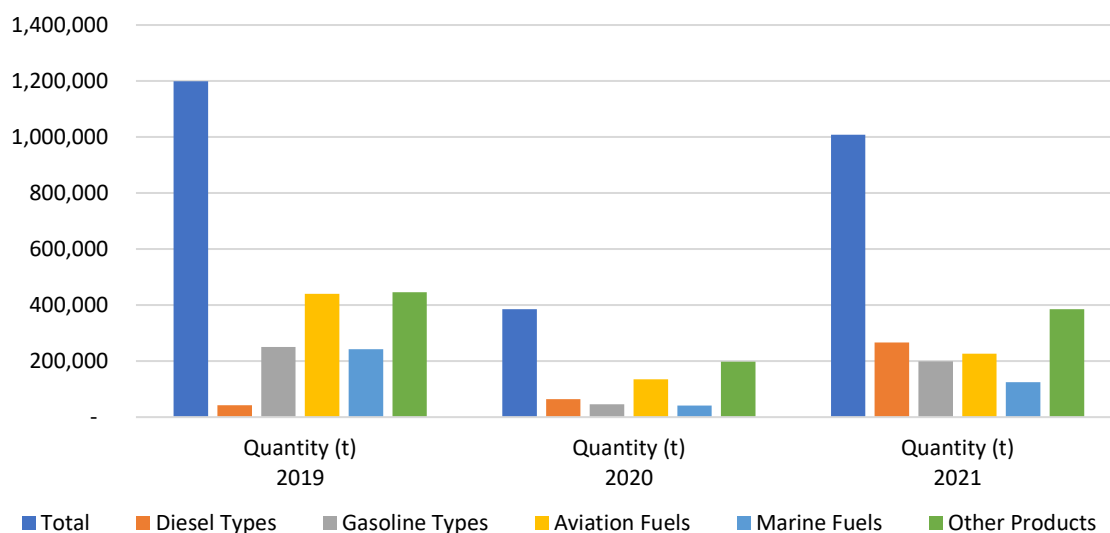


Figure 4. Comparison of the export amounts oil products in the months of June 2019, 2020 and 2021 (EMRA, 2019; EMRA, 2020; EMRA, 2021)

The supply-demand balance for the months of June 2019, 2020, and 2021 was demonstrated in Figure 5. In the calculation of supply and demand values, there are 5 main product types (gasoline, diesel, fuel oil types, and aviation and marine fuels) that have been taken into consideration. The total production and imports, which

make up the supply side, decreased by 5.34% in June 2020 compared to June 2019, while the total of exports and consumption, which constitute the demand side, decreased by 19.27%. As of June 2021, compared to June 2020, supply and demand increased by 26.58% and 30.43%, respectively.

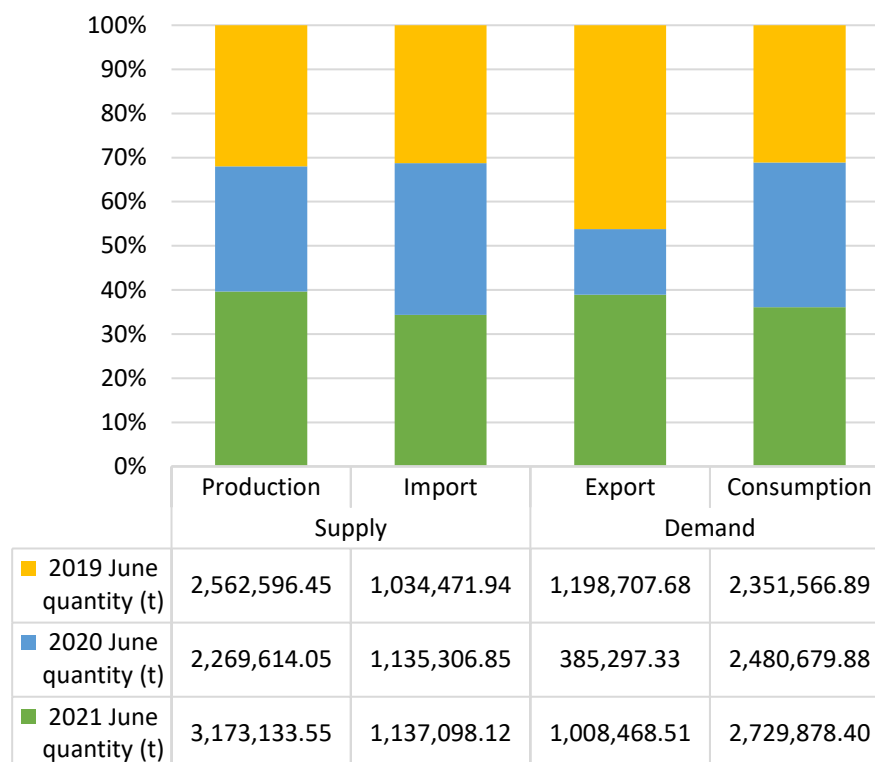


Figure 5. The supply-demand balance for the months of June 2019, 2020, and 2021 (EMRA, 2019; EMRA, 2020; EMRA, 2021)

In Figure 6, the oil demand forecast was given for the period of 2010-2026, before the Covid-19 pandemic, and in 2021. In the figure, it could appear that the world oil markets rapidly recovered to values close to the pre-pandemic period following the great decrease in demand caused by the Covid-19 pandemic in 2020.

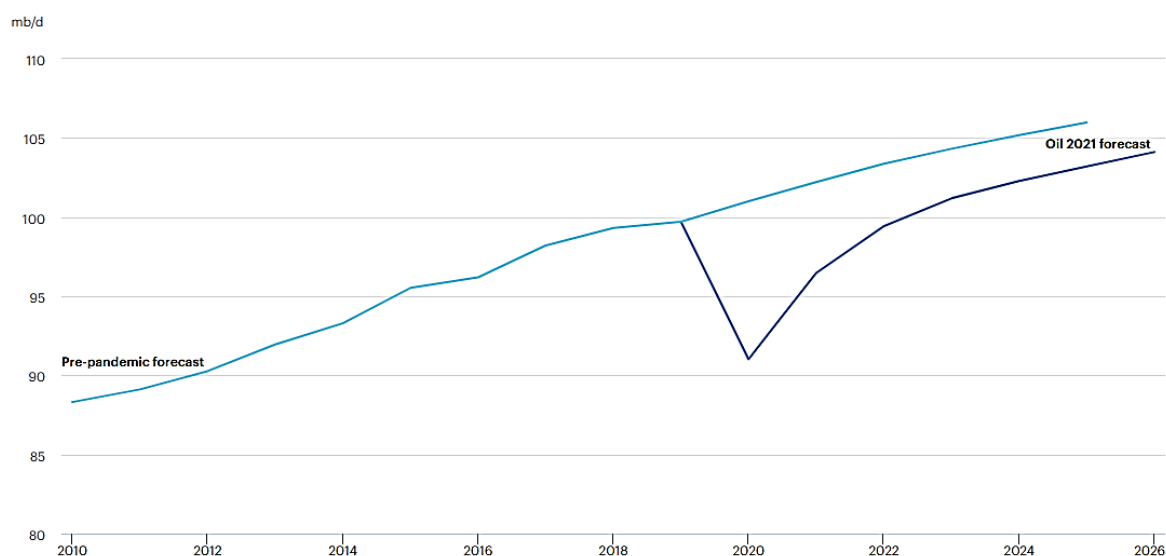


Figure 6. Oil demand forecast, 2010-2026, pre-pandemic and in Oil 2021 (IEA, 2021b)

4. CONCLUSIONS

In June 2021, domestic sales of oil and oil products in Turkey increased. While there was a slight increase in diesel types and marine fuels, domestic sales of gasoline types and especially aviation fuels increased significantly. There is a decrease in domestic sales of fuel oil types, kerosene, and other products. According to these results, it could be argued that aviation fuels have the highest sales rate with an increase of more than two times. It could be argued the reason for this is the excessive decrease of aviation fuel sales due to the mandatory cancellations of domestic and international airline flights due to the Covid-19 pandemic in 2020, which recuperated following the almost normalization of flights in 2021. The supply of oil and oil products, which fell in June 2020 compared to June 2019 before the pandemic, increased again in June 2021. A similar increase was observed on the demand side. As a result, in the light of the data used, it could be stated that the negative impact of the Covid-19 pandemic on the oil and oil products markets has decreased.

REFERENCES

- British Petroleum (BP) (2021). Statistical review of world energy 2021, 70th edition.
- Chow, J., Kopp, R. J., & Portney, P. R. (2003). Energy resources and global development. *Science*, 302(5650), 1528-1531.
- Energy Market Regulatory Authority (EMRA) (2019). Turkish petroleum market report (June 2019).
- Energy Market Regulatory Authority (EMRA) (2020). Turkish petroleum market report (June 2020).
- Energy Market Regulatory Authority (EMRA) (2021). Turkish petroleum market report (June 2021).
- Hosseini, S. E. & Wahid, M. A. (2016). Hydrogen production from renewable and sustainable energy resources: Promising green energy carrier for clean development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 850-866.
- International Energy Agency (IEA) (2021a). Oil market report.
- International Energy Agency (IEA) (2021b). Oil 2021, Analysis and forecast to 2026.
- Organization of Petroleum Exporting Countries (OPEC) (2021). Monthly oil market report, (September 2021).
- Øvergaard, S. (2008). Issue paper: Definition of primary and secondary energy. Statistics Norway, Oslo.
- Ritchie, H. & Roser, M. (2020). CO₂ and greenhouse gas emissions. Our world in data.
- Wu, Y., Zhu, Q., & Zhu, B. (2018). Comparisons of decoupling trends of global economic growth and energy consumption between developed and developing countries. *Energy Policy*, 116, 30-38.
- Yesilyurt, M. K., Yilbasi, Z., & Aydin, M. (2020). The performance, emissions, and combustion characteristics of an unmodified diesel engine running on the ternary blends of pentanol/safflower oil biodiesel/diesel fuel. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 140(6), 2903-2942.



AFRİKA KITASINDAKİ YABANCI ASKERİ ÜSLERİN KONUMLANMASINDA ENERJİ JEOPOLİTİĞİNİN ÖNEMİ

Onur KOVACI¹

İstanbul Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, İstanbul, Türkiye.
1<https://orcid.org/0000-0002-3382-7114>

Kaan KAPAN

İstanbul Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, İstanbul, Türkiye.
<https://orcid.org/0000-0003-2979-5057>

Özet

Afrika, son yıllarda enerjiye olan talebin artması, buna karşılık dünyadaki fosil kaynak rezervlerinin de hızla azalmaya başlamasıyla birlikte başta sanayileşmiş ülkeler olmak üzere dünya üzerinde enerjiye ihtiyaç duyan ülkelerin yüzünü döndüğü bir kıta olarak karşımıza çıkmaktadır. Oranları değişmekle birlikte hidrokarbon kaynaklarının tümünü içinde barındıran kıtada emperyal ve neoemperyal devletlerin kendi enerji güvenliklerini sağlamak adına çeşitli faaliyetlerde buldukları gözlenmektedir. Söz konusu ülkeler, hidrokarbon kaynaklarının çıkarıldığı bölgelerden kendi ülkelerindeki tüketim alanlarına ulaşana kadarki altyapı hizmetlerini sağlama, ulaşım güzergahlarını düzenleme ve lojistiklerinin sağlanması konusunda azami dikkat göstermektedir. Aslında sadece lojistik kısmı ile ilgilenmeyip bölgede enerji kaynaklarının çıkarılmasında kesintiye neden olacak olumsuzlukların önüne geçmek için silahlı güç unsurlarını bulundurmaktan da çekinmemektedirler. Bu sebeple de Afrika kıtasında hegemon güçler başta olmak üzere 13 farklı yabancı ülkenin silahlı kuvvetlerinin askeri üsleri bulunmaktadır. Bu askeri üslerin konumlandığı sahalara bakıldığında çoğunlukla ya bir enerji kaynağının çıkarıldığı ya boru hatları ile taşındığı ya da rafinerisi olan bir limanın olduğu ülke ve bölgelerde faaliyet gösterdikleri görülmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde Afrika kıtasındaki askeri üslerin dağılımında hidrokarbon kaynakların etkisinin ne derecede önemli olduğu açıkça anlaşılabilmektedir. Kısaca değinecek olursak; Afrika ülkeleri dünya kömür rezervlerinin %1,4'üne, petrol rezervlerinin %7,2'sine, doğalgaz rezervlerinin ise %7,5'ine sahiptir. Üretim değerleri olarak ise dünya kömür üretiminin %4'ünü, petrol üretiminin %8,9'unu, doğalgaz üretiminin ise %6'sını gerçekleştirmektedir. Buna rağmen dünya ihracatındaki payları oransal olarak üretim paylarının üzerindedir. Dünya kömür ihracatının %7'sini, petrol ihracatının %9,8'ini, sıvılaştırılmış doğalgaz ihracatının ise %12,6'sını Afrika ülkeleri gerçekleştirmektedir. Bu üretimi sağlayan ülkeler teker teker incelendiğinde, kıtada yabancı askeri üsse ev sahipliği yapan 22 ülkenin 14'ünde en az bir hidrokarbon kaynağı üretimi gerçekleştirildiği, geriye kalan 8 ülkenin 4'ünün jeostratejik açıdan çok büyük önem arz ettiği, kalan 4 ülkenin ise planlanan ve yapımı devam eden boru hattı projelerine dahil olduğu görülmüştür. Enerji jeopolitiğinin konularından olan enerjinin üretilmesi, enerjinin talep edilmesi, pazarlanması ve nakliyesinde etkili olan tüm coğrafi unsurların değerlendirildiği bu çalışmada Afrika'daki yabancı askeri üs yapılanmalarının enerji jeopolitiği ile arasında pozitif bir ilişki olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji jeopolitiği, Afrika, Hidrokarbon, Askeri üsler

ABSTRACT

With the increase in the demand for energy in the recent years and the rapid decrease in the world's fossil resource reserves, Africa emerges as a continent where countries in need of energy, especially industrialized countries, turn their faces. Although their rates vary, it is observed that imperial and neo-imperial states carry out various activities in order to ensure their own energy security on the continent, which contains all hydrocarbon resources. These countries pay the utmost attention to providing infrastructure services, regulating transportation routes and providing logistics until they reach the consumption areas in their own countries from the regions where hydrocarbon resources are extracted. In fact, they are not only interested in the logistics part, but also do not hesitate to have elements of armed forces to prevent the negativity that will cause disruptions in the extraction of energy resources in the region. For this reason, there are military bases

of the armed forces of 13 different foreign countries, especially hegemony forces, on the African continent. When we look at the sites where these military bases are located, it is often seen that they operate in countries and regions where either an energy source is extracted, transported by pipelines or has a port with a refinery. From this point of view, it is clear how important the impact of hydrocarbon resources is in the distribution of military bases on the African continent. To put it briefly; African countries have 1.4% of the world's coal reserves, 7.2% of oil reserves and 7.5% of natural gas reserves. As a production value, it produces 4% of the world's coal production, 8.9% of oil production and 6% of natural gas production. Despite this, their share of world exports is proportionally above their production share. When the countries providing this production were examined one by one, it was seen that at least one hydrocarbon resource was produced in 14 of the 22 countries hosting foreign military bases on the continent, 4 of the remaining 8 countries were of great geostrategic importance, and the remaining 4 countries were involved in planned and ongoing pipeline projects. In this study, which evaluated all geographical factors that are effective in the production, demand, marketing and transportation of energy geopolitics, it was concluded that foreign military base structures in Africa have a positive relationship with energy geopolitics.

Keywords: Energy geopolitics, Africa, Hydrocarbon, Military Bases

GİRİŞ

Afrika kıtası; 1.500¹ farklı dilin, bu dillerden daha fazla sayıdaki dinin² ve bu zenginlik neticesinde çeşitli kültürlerin bir arada yaşadığı dünyanın yüz ölçümü ve nüfus bakımından ikinci büyük kıtasıdır. Bunun yanında kıtanın doğal kaynakları da en az sözü edilen unsurlar kadar çeşitlilik ve çekicilik arz eder. Sanayi devrimi ile dünyadaki hakimiyetin toprak yerine sanayiye ve dolayısıyla sanayiye harekete geçirecek enerjiye dayanması sonucu, hazırlanan haritaların ve ülkelerin siyasalarının enerji jeopolitiği dikkate alınarak şekillendirildiği bilinen bir gerçektir. Nitekim zihin haritalarında her zaman sömürü, zulüm ve fakirlik ile anılan Afrika, aslında zenginliğin bedeli ödetilen bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır. Geçmişte sömürü unsuru olarak altın, gümüş gibi değerli madenleri ve köle olarak insanları kullanılan Afrika kıtası, günümüzde değişen yaşam ve üretim standartları neticesinde dünya sanayisinin ihtiyaç duyduğu hidrokarbon kaynaklara sahip olması bakımından tüm gözleri üzerine çekmektedir. Geçmişte menfaat elde etmek için silahlı unsurların aktif olarak kullanıldığı Afrika'da şimdi de çıkarların korunması için askeri güçler vazgeçilmez bir unsur olarak görülmekte ve kullanılmaktadır. Özellikle sanayi tesisleri için enerjiye ihtiyaç duyan gelişmiş ülkeler, ihtiyaç duydukları enerjiyi kesintisiz ve güvenli bir şekilde sağlamak için enerji güvenliği hususunu ön plana çıkarmaktadırlar. Bu bağlamda Afrika'da da enerji jeopolitiği hususunda varlıklarını göstermek isteyen çeşitli devletler ve bunlara ait askeri üs yapılmalarına rastlanmaktadır. Bu çalışmada Afrika kıtasında bulunan yabancı askeri üslerin enerji kaynakları ile olan ilişkisine yer vermek suretiyle sahanın hidrokarbon kaynakları, hidrokarbon kaynakların dağılımı, yabancı askeri üsler ve en son olarak da Afrika'nın enerji jeopolitiği ele alınmaya çalışılmıştır.

ARAŞTIRMA ve BULGULAR

AFRİKA'DA YABANCI ASKERİ ÜSSÜ BULUNAN ÜLKELER

Afrika hangi yönüyle ele alınırsa alınsın dünyadaki en gizemli, en ulaşılmamış, en erişilmemiş bölgelerin başında gelir. (YÜCEŞAHİN, 2016) 'in de değindiği gibi "Afrika ve özellikle de Sahra-altı Afrika ülkelerinin dünyada meydana gelen demografik ve sosyo-ekonomik değişim ve dönüşümleri en gecikmeli olarak yaşamaya başlamaları, kıtayı diğerleri arasında farklı bir bölge konumuna getirmiştir". Dünyaya yeni açılan bir pazar olma özelliği gösteren Afrika, doğal kaynak bakımından oldukça zengindir ve bu zenginliği tarih boyunca emperyalist devletlerin ilk hedefi olmuştur. 1960'lı yıllarla birlikte bağımsızlık hareketlerinin hızlanmaya başladığı Afrika kıtasında, uluslar devletleşip söz konusu kaynaklarını da kendileri kullanma, katma değer üretme, zenginleşme aracı olarak görmüşlerdir. Her ne kadar bir bağımsızlık hareketi başlamış

¹How Many Languages are Spoken in Africa: <https://bilinua.io/how-many-languages-are-spoken-in-africa> erişim tarihi 27.08.2021.

² Türkiye Diyanet Vakfı İslam Ansiklopedisi: <https://islamansiklopedisi.org.tr/afrika#4-din> Erişim tarihi 27.08.2021

olsa da gerek doğal kaynakları çıkarma ve işlemedeki teknik yetersizlikler gerekse kendilerine pazar oluşturması bakımından Avrupa ülkeleri başta olmak üzere Amerika, Çin, Rusya, Japonya gibi küresel güçler Afrika'nın ekonomik bağımsızlığını kazanmasında ciddi engeller oluşturur. Kıtada bulunan ekonomik ve siyasi çıkarları doğrultusunda söz konusu ülkeler kendi sınırlarından binlerce kilometre uzakta askeri üsler kurmuşlardır. Bu üsler Birleşmiş Milletler tarafından ortak yönetilen Birleşmiş Milletler Barış Gücü üsleri olabildiği gibi ülkelerin müstakil üsleri şeklinde de teşekkül edebilmektedirler. Bu çalışmada bireysel olarak üsse sahip olan ülkeler ele alınmıştır. Günümüzde aktif olarak Almanya, Amerika Birleşik Devletleri, Belçika, Birleşik Arap Emirlikleri, Birleşik Krallık, Çin, Fransa, Hindistan, İtalya, Japonya, Rusya, Suudi Arabistan ve Türkiye kıtada askeri üsse sahip konumdadır.



Harita 1: Afrika'da Askeri Üssü Bulunan Yabancı Ülkeler³ Kaynak: Institute for Security Studies (2021)

Afrika'da sömürge sonrası dönemde, görünürde demokratikleşme çabalarına ön ayak olma amacıyla ama gerçekte ise vesayet rejimini sürdürme niyetiyle sömürgeci devletlerin çoğu varlıklarını bir şekilde idame ettirmeye, baskı unsurlarını bulundurmaya devam etmişlerdir. Bunun en ciddi örnekleri ise günümüzde de sayılarını arttırarak varlıklarını koruyan askeri üslerdir. Bu üsler vasıtasıyla hem bölgesel çatışmaların hızı ve şiddeti frenlenmeye çalışılırken hem de hükümetler üzerinde Demokles'in kılıcı gibi bir tehdit unsuru sallanıp durmaktadır. Genelde bağımsızlıklarını kazandıkları ülkeler başta olmak üzere Afrika'daki 22 ülkede 13 yabancı devlete ait yabancı askeri üs bulunmaktadır. Yabancı askeri üs bulunan ülkeler; Libya, Çad Cumhuriyeti, Niger, Mali, Moritanya, Senegal, Burkina Faso, Fildişi Sahilleri, Gana, Gabon, Kamerun, Orta

³ <https://issafrica.org/iss-today/proceed-with-caution-africas-growing-foreign-military-presence> 'dan düzenlenerek hazırlanmıştır. (erişim tarihi 18.06.2021)

Afrika Cumhuriyeti, Güney Sudan, Kongo Demokratik Cumhuriyeti, Botsvana, Madagaskar, Uganda, Kenya, Seyşeller, Somali, Cibuti ve Eritre'dir.



Harita2: Afrika'da Yabancı Askeri Üs Bulunan Ülkeler.

Bu üslerin dağıldığı ülkelere bakıldığında, birbirleriyle anlamlı bir ilişkilerinin olduğunu söylemek ilk bakışta güçtür. Fakat konuyu enerji jeopolitiği özelinde ele aldığımızda söz konusu ülkelerin seçilmesinin tesadüfi olmadığı açığa çıkmaktadır. Çünkü günümüz küresel konjonktüründe “Enerji kaynaklarının rezerv, üretim ve iletim yolları üzerinde söz sahibi olmak isteyen güçlü devletler, dünya siyasetini enerji kaynaklarına endeksli oluşturmaktadır” (Harunoğulları, 2015) ve bu sebeple, bahsi geçen ülkelerin enerji kaynakları ile olan ilişkilerine yakından bakmak gerekmektedir.

AFRİKA'DAKİ YABANCI ASKERİ ÜSLERİN ENERJİ KAYNAKLARI İLE İLİŞKİSİ

Afrika kıtası dünyadaki hidrokarbon kaynaklarından olan kömür üretiminde %4, petrol üretiminde %8,9, doğalgaz üretiminde %6'lık (BP, 2020) küçük paylara sahip olmasına rağmen dünya üzerindeki hidrokarbon kaynaklarının hızla azalması ve enerji ihtiyacının her geçen gün artmasıyla birlikte ileride çok stratejik bir konumda bulunacaktır. Kıta genel anlamda sanayileşemediği için üretilen enerjinin büyük bir kısmını ihraç etmektedir. Dünya kömür ihracatının %7'sini, petrol ihracatının %9,8'ini ve doğalgaz ihracatının da %12,6'sını karşılaması da bu durumun temel göstergelerindedir. Afrika kıtası henüz büyük miktarlarda enerjiye ihtiyaç duymasa da dünyanın gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeleri sanayileri için ciddi miktarda enerjiye ihtiyaç duymaktadırlar. Dünyadaki dört büyük sanayi merkezine baktığımızda da Doğu Asya Sanayi Bölgesinde Çin; Rusya ve Ukrayna Sanayi Bölgesinde Rusya istisnaları dışında Kuzey Amerika Sanayi Bölgesi, Avrupa Sanayi Bölgesi, Rusya ve Ukrayna Sanayi Bölgesi ve Doğu Asya Sanayi Bölgesinin enerji kaynakları yönünden kendi kendilerine yetemedikleri görülmektedir. ABD ise kendisine yetecek petrolü olmasına karşın stratejik düşünerek kendi rezervlerini idareli kullanıp ithalata yönelmeyi sürdürmektedir. Bu

gelişmiş alanların dışında gelişmekte olan ülkelerin de sanayi yatırımlarına ağırlık verdiği ve söz konusu ülkelerde de enerji kaynakları açısından kendine yeterlilikten söz etmenin pek mümkün olmadığı görülmektedir. Oluşan enerji açığını kapatmak, çarkların dönmesini, evlerin ısınmasını sağlamak için hidrokarbon kaynaklar başta olmak üzere enerjiye olan bağımlılık gün geçtikte artmaktadır. 2006, 2009 ve son olarak 2014 yılında Rusya'nın Kırım'ı ilhakı sonucu Avrupa'da yaşanan enerji krizleri dünyaya ve özellikle Avrupa'ya enerji güvenliğinin önemi konusunda ciddi bir mesaj olarak değerlendirilmiştir. Enerji jeopolitiği konusu bahsi geçen sebeplerden ötürü ülkelerin tekrardan yoğunlaştıkları bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır. Enerji güvenliğinin önem kazanmaya başlamasıyla enerji jeopolitiği hamlelerin sayısı ve çeşitleri de artış eğilimine girmiştir. Enerji kaynaklarının çeşitliliğinin artırılmaya çalışılmasının yanında ülkelerin enerji aldıkları ülkeleri de arttırma/çeşitlendirme yoluna gittikleri gözlenmektedir. Bu sebeplerden ötürü sanayileşmiş ülkeler arz kesintisi yaratmayacak, fiyat manipülasyonlarına gitmeyecek, ulaşım ve iletim maliyetleri nispeten daha düşük ve sürekli kontrol altında tutabileceği alanlara yönelmişlerdir. Sonuçta Afrika'da güçlü olmayan siyasi yapı ve kâğıt üzerinde bağımsızlıklarını yeni kazanan ülkelerin varlığı hem siyasi yapıyı şekillendirmede hem de vesayetçi bir anlayışla yönetime ortak olma hususunda eski sömürgeci devletlerin önünü açmış, neoemperyalist devletlerin de iştahını kabartmıştır. Zayıf durumdaki siyasi otorite, geçmişten gelen kabilecilik anlayışı ve demokrasiye geçiş sancılarının hâkim olduğu bir ortamda geçişi hızlandırmak, siyasi otoriteyi sağlamak ve kabileler arası barışı tesis etmek gibi sebepleri öne sürerek hem eski hem de yeni sömürgeci devletler kıtada askeri varlıklarını hissettirme yarışına girmişlerdir. Afrika ülkelerinin birbirleri ile olan siyasi sorunları da toprak bütünlüğü ve sınır emniyetlerini sağlamak adına dışarıdan destek almanın bahanesi olarak yansıtılmıştır. Tüm bunların sonunda ise ilk olarak daha önce bölge ülkelerinde kolonyalist durumda olan ülkeler başta olmak üzere, dünyanın dört bir yanındaki gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler askeri üslenmelere gitmişlerdir. İlk bakışta siyasi geçişe yardımcı olmak ve istikrarı sağlamak, çatışmaları önlemek ve barışı tesis etmek gibi haklı gerekçelerle askeri üsler faaliyete giriyor gibi görünse de üslerin coğrafi açıdan yayıldıkları alanlar bir konu özelinde dikkat çekmektedir: Enerji jeopolitiği.

AFRİKA'DA ENERJİ JEOPOLİTİĞİ

Enerji jeopolitiği kavramını açıklamadan önce, bu kavramın üst çerçevesi olan jeopolitik kavramına kısaca değinmek gerekmektedir. Jeopolitik adından da anlaşılacağı üzere yer-mekân üzerine gerçekleştirilen politika planlama ve üretme bilimi olarak siyasi coğrafyanın içinden doğmuştur. Türkiye'de siyasi coğrafya çalışmaları açısından akla gelecek ilk isimlerden (İlhan, 2002) jeopolitiği; "Coğrafyanın bütün unsurları ile aktifleşmesi ve bu unsurlar değerlendirilerek sonuçlar çıkarılmasıdır." şeklinde tanımlamıştır. (Gündoğdu, 2009) ise; "Coğrafi unsurların siyasi unsurlarla ilişkisi, coğrafyaya dayanan politika veya coğrafyanın yönlendirdiği politika." olarak tanımlamaktadır. Jeopolitiğin alt unsurları olan jeostrateji, jeoekonomi ve jeokültür kavramları da kendi içinde çeşitli konu ve çalışma alanları barındırır. Bunların arasında son dönemde adından söz ettiren unsur daha çok jeoekonomi ve jeostrateji ile ilişkili olan enerji jeopolitiği veya enerjeopolitik diye de tanımlanan kavramdır. Enerjinin üretilmesi, enerjinin talep edilmesi, pazarlanma ve nakliyesinde etkili olan tüm coğrafi unsurlar enerji jeopolitiği olarak isimlendirilmektedir (Bayram, 2017). Yani bir bakıma dünya üzerindeki herhangi bir yer veya ülke enerji jeopolitiğinin öznesi konumundadır. Kimi ülkeler üretici, kimileri hem üretici hem ihracatçı, kimileri tüketici, kimi ülkeler ise bu enerji kaynaklarını taşıyıcı pozisyonları itibarıyla çeşitli seviyelerde fayda üretmektedirler. Enerji güvenliği ile de çok yakından ilişkili olan enerjeopolitik kavramı aslında güvenli enerji arzına olan ihtiyacın bir sonucu olarak gelişme göstermiştir. Özellikle sanayileşmiş ülkeler enerjiye ciddi manada ihtiyaç duymaktadırlar. Dünyadaki en sanayileşmiş ülke olarak değerlendirilen ABD'nin sadece savunma sanayiindeki bir günlük petrol tüketimi, Yunanistan'ın günlük tüketimiyle neredeyse eşdeğer seviyededir (ARIBOĞAN, 2009). Böyle ciddi farklılıkların olduğu bir alanda ülkelerin aktiflik seviyeleri ve istekleri de farklılık göstermektedir. Bölgesel ve küresel güç olan veya olma isteği bulunan ülkeler, enerji güvenliği konusuna özellikle eğilmektedir. Çünkü sanayi ve savunmanın en büyük ihtiyacı olan enerji arzının kesintisiz bir şekilde sağlanması gerekmektedir. Bu bağlamda enerjiye ihtiyaç duyan büyük ekonomiler gerek diplomatik gerekse de askeri unsurlarını devreye sokarak enerji taleplerinin karşılanması hususunda bir güvence yaratma ihtiyacı taşırlar. "...ABD'nin Orta Doğu yardımcı sekreteri olan Robert Pelletreau'nun kullandığı "Amerikan başkanları, petrol kuyularına serbest girişi hayati ulusal çıkar olarak tanımlamaktadır ve bu çıkarı korumak için gerekirse Çöl Fırtınası⁴ Operasyonu'nda

⁴ Çöl Fırtınası Operasyonu, Amerika Birleşik Devletleri'nin Kuveyt'i işgal eden Irak'a karşı gerçekleştirdiği bir askeri operasyondur.

yaptığımız gibi askeri güç kullanırız." ifadesi bunu açık olarak ortaya koymaktadır" (Galiev, 1997 akt Sancak, K. 2017)

Enerji arzının sağlandığı bölgelerden kendi tüketim alanlarına taşınana kadar altyapı hizmetlerini, ulaşım araç ve yöntemlerini organize eder, tedarik zincirinin en başından en sonuna kadar tam kontrol ile lojistiğin sağlanmasına çalışırlar. Sadece lojistik kısmı ile ilgilenmeyip bölgede enerji kaynaklarının çıkarılmasında kesintiye neden olacak olumsuzlukların önüne geçmek için silahlı güç unsurlarını bulundurmaktan da çekinmezler. Bundan dolayı da Afrika kıtasında hegemon güçler başta olmak üzere dünyanın birçok farklı ülkesinin silahlı kuvvetlerinin askeri üsleri bulunmaktadır. Bu askeri üslerin konumlandığı sahalara bakıldığında çoğunlukla ya bir enerji kaynağının çıkarıldığı ya boru hatları ile taşındığı ya da rafinerisi olan bir limanın olduğu ülke ve bölgelerde faaliyet gösterdikleri görülmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde Afrika kıtasındaki askeri üslerin dağılımında hidrokarbon kaynakların etkisinin ne derecede önemli olduğu incelenmeye değer bir durum oluşturmaktadır. Kıtadaki askeri üslerin dağılımlarına bakıldığında homojen bir yapı görülmemektedir. Kimi alanlarda yoğun bir üslenme görülürken, bazı bölgelerde de çok seyrek bir askeri üs dağılımıyla karşılaşmaktadır. Sadece iç karışıklıklar, istikrar, demokratik geçiş penceresiyle düşünüldüğünde kıtadaki diğer ülkelerin de bu 'yardımdan' nasibini alması gerektiği düşünülmeyle birlikte bir konu da dikkatleri çekmektedir. Bahsi geçen sancılı süreçlerin neredeyse tamamı tıpkı Ortadoğu'da olduğu gibi enerji kaynakları bakımından güçlü rezervlere sahip olan ülke ve bölgelerde veya etraflarında meydana gelmektedir. Kıtadaki askeri üslerin dağılımı ile hidrokarbon kaynaklarının üretim alanlarını gösteren bir haritayı üst üste koyduğumuzda ortaya çıkan resim daha da netleşecektir. Sadece hidrokarbon üretimi ile ilişkilendirildiğinde bile ortaya anlamlı bir görüntü çıkmasına rağmen, mesele enerji jeopolitiği açısından ele alındığında soru işaretlerinin tamamına yakını ortadan kalkacaktır.



HARİTA 3: Askeri Üsler ve Hidrokarbon Üretimi Olan Ülkeler

Enerji jeopolitiği; enerjinin üretilmesi, enerjinin talep edilmesi, pazarlanma ve nakliyesinde etkili olan tüm coğrafi unsurlar olarak isimlendirilmektedir (Bayram, 2017). Enerji üreten, tüketen ve dağıtan tüm ülkeler ve onların jeopolitik konumlarından kaynaklanan özellikleri enerji jeopolitiğinin unsurları olarak değerlendirilir. Konuyu hidrokarbon kaynaklar yerine enerji jeopolitiği olarak ele aldığımızda, enerji jeopolitiği kavramının içinde değerlendirilen enerji güvenliği hususu da önem kazanacaktır ve hali hazırda kilit noktalardan biri enerji güvenliğidir. Bu konunun en nadide örneğini Cibuti temsil eder. Cibuti, Afrika boynuzu olarak adlandırılan Afrika kıtasının doğusundaki çıkıntının hemen kuzeyinde yer alan Aden körfezinin batısında Kızıldeniz ile Umman denizinin birbirine bağlandığı Babülmendep boğazı olarak isimlendirilen yerin en daraldığı kısımda konumlanmış 23.200 km² alana sahip bir ülkedir. Konya ilinin yüz ölçümünden ortalama 1,7 kat daha küçüktür. Bu kadar küçük olmasına ve hidrokarbon kaynaklarına sahip olmamasına rağmen yedi farklı ülkenin askeri üssü bulunmaktadır. Ülkelerin buraya odaklanmalarının temel sebebi kuşkusuz günlük dünya petrol ticaretinin %8,69'unun Babülmendep Boğazından sağlanması⁵ dolayısıyla Babülmendep boğazında denetimi, enerji güvenliğini sağlama ihtiyacıdır. Yine benzer şekilde Eritre ve Somali de hidrokarbon kaynaklara sahip olmamalarına karşın, Babülmendep boğazındaki konumları nedeniyle kıta dışındaki ülkelerin askeri üsler kurdukları alanlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Jeostratejik önemi olan ülkeler dışında, hidrokarbon kaynaklara sahip olmayan fakat yabancı askeri üslere ev sahipliği yapan ülkelerin Mali, Burkina Faso, Orta Afrika Cumhuriyeti, Uganda ve Seyşeller olduğu görülmektedir. Bu ülkeler arasında Seyşeller, Güney Doğu Afrika ve Hint Okyanusuna hakim bir noktada bulunması, Mali, Burkina Faso, Orta Afrika Cumhuriyeti ve Uganda ise yapımı devam eden ve projelendirme çalışmaları yapılan boru hatlarına sahip olmaları sebebiyle enerji jeopolitiğinin dağıtım/ulaştırma ayağında ön plana çıkmaktadırlar. Yabancı askeri üslerin bulunduğu ülkelerin 2017 yılına ait veriler itibarıyla hidrokarbon kaynaklarının üretimleri bakımından durumu Tablo 1'de detaylı olarak verilmiştir.

TABLO 1: Afrika'da Yabancı Askeri Üs Bulunan Ülkelerin Hidrokarbon Üretimleri 2017:

Yabancı Askeri Üs Bulunan Ülkeler	Ham Petrol Üretimi (bin metrik ton)	Doğal Gaz Üretimi (milyon metreküp)	Kömür Üretimi (bin metrik ton)
Libya	41211.00	8826.26	0
Çad Cumhuriyeti	5661.28	0	0
Nijer	900.00	0	0
Mali	0	0	0
Moritanya	313.51	0	0
Senegal	0	24.00	430.00
Burkina Faso	0	0	0
Fildişi Sahilleri	1765.00	2235.00	0
Gana	8718.25	909.13	0
Gabon	10499.30	530.00	0
Kamerun	3894.00	528.72	0
Orta Afrika Cumhuriyeti	0	0	0
Güney Sudan	6450.00	0	0
Kongo Demokratik Cumhuriyeti	1198.15	0	0
Bostvana	0	0	95.23
Madagaskar	0	0	511.00
Uganda	0	0	0
Kenya	749.73	0	529.00
Seyşeller	0	0	0
Cibuti	0	0	0
Eritre	0	0	0
Somali	0	0	0

Kaynak: AFREC Afrika Enerji Komisyonu 2021.

⁵ Türkiye Petrolleri A.O. 2019 Ham Petrol ve Doğal Gaz Sektör Raporu <https://www.tpao.gov.tr/file/2005/2019-tpao-sektor-raporu-3185ed3b4af5442c.pdf> (erişim tarihi 18.06.2021) & The Bab el-Mandeb Strait is a strategic route for oil and natural gas shipments <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=41073> (erişim tarihi 18.06.2021).

Yukarıdaki tablodan da anlaşıldığı üzere kıtada yabancı askeri üs bulunan yirmi iki ülkenin sekizinde hidrokarbon kaynaklarının üretiminden söz edilmezken Somali, Cibuti ve Eritre jeostratejik önemleri nedeniyle söz konusu kaynaklara sahip olmasalar dahi enerji jeopolitiği açısından belki de diğer ülkelerden daha önemli bir yere sahiplerdir. Cibuti'deki üs sayısı da bunun en somut göstergelerinden biridir. Madagaskar ve Seyşeller de bir boğaz veya geçit değil direkt olarak tüm Afrika kıtasının Hint okyanusuna bakan kıyı kesimini kontrol etmesi açısından jeostratejik önem taşımakta olup yayında sayılan tüm bu nedenlerden dolayı (üretim- tüketim-lojistik-güvenlik-pazarlama vb.) Afrika'da enerji jeopolitiğinin neden önemli olduğuna dair somut cevaplardan birini oluşturmaktadır.

SONUÇ

Afrika kıtası son dönemde dünya siyasetinde söz söyleme isteği bulunan neoemperyal güçlerin ve kadim emperyal devletlerin gündemlerinin ilk sıralarına doğru hızla tırmanmaya başlamıştır. Dünyadaki sıcak çatışma alanlarına bakıldığında görülmektedir ki ya bir enerji kaynağının varlığı ya da onun lojistiğinin sağlandığı bir geçit veya alan mevcuttur. Altyapı sistemleri henüz istenildiği kadar gelişmediğinden ve dünyanın diğer bölgelerindeki kaynaklar 'hâlâ' yeterli olduğu için hegemon güçler bu alanları henüz bakir sayılabilecek şekilde kullanmaktadır. Farklı madenler ve iş gücü, ayrıca plantasyon faaliyetleri ile bölge sömürülmektedir. Dünyanın geri kalan enerji üretim alanlarına kıyasla fosil enerji kaynakları bakımından çok güçlü bir üretim ve rezerv oranına sahip olmayan Afrika, dünya enerji tüketiminin hızla artması ve fosil kaynakların rezerv miktarlarının aynı hızda düşmesi nedeniyle yakın gelecekte çok ciddi bir öneme sahip olacaktır. Dünya sanayisinin henüz fosil kaynaklara alternatif bir enerji kaynağı üretmediği düşünüldüğünde, gelecek yıllarda Afrika'nın enerji jeopolitiğinde söz sahibi olan ülkelerin ciddi bir avantaj elde edeceği görülmektedir. Bu bağlamda dünyanın hegemon devletleri başta olmak üzere bölgesel ve küresel anlamda enerji jeopolitiğinde söz sahibi olmak isteyen devletler, Afrika kıtasındaki bazı ülkelerde askeri anlamda da hem bir güven hem de bir tehdit unsuru olarak varlık göstermeye başlamışlardır. Bu mevcudiyetlerinin en temel göstergeleri ise kurdukları askeri üslerdir. İlk bakışta birbirinden kopuk ve düzensiz bir dağılışa sahip gibi görünen askeri üslerin konumları, coğrafi bakış açısı ile tekrardan incelendiğinde anlamlı bir görüntü oluşturmaktadır. Coğrafyanın; dağılışı, karşılıklı ilgi ve nedensellik ilkeleri ile yorumlandığında kıtadaki yabancı askeri üs bulunan 22 ülkenin 14'ünde hidrokarbon kaynak üretiminin gerçekleştirildiği anlaşılmaktadır. Geriye kalan ülkelerden 4'ünde ise hidrokarbon üretimi olmamasına karşın enerji koridorlarına yakınlık veya bizzat enerji koridoru olma durumu gözlenmiştir. Seyşeller; Hint Okyanusu ve kıtanın doğusunu, Eritre, Cibuti ve Somali ise Kızıldeniz ve Babül Mendep boğazının kontrolünü sağlaması açısından stratejik değere sahip olduğu görülmektedir. Geriye kalan ülkeler de ise Mali, Burkina Faso, Orta Afrika Cumhuriyeti ve Uganda'nın planlanan ve yapımı devam eden boru hattı projeleri olduğu görülmüştür. Tüm bu veriler ışığında incelendiğinde askeri üslerin sözü edilen bölge ve ülkelerde konumlanması tesadüfi değil, enerji kaynakları ve iletim yollarıyla birebir ilgilidir sonucunu bize vermektedir. Enerji kaynaklarının dağılışı deseni, askeri üslerin dağılışı, emperyal ve neoemperyal devletlerin ilgilerini nerelere yönlendireceğini etkilemiştir.

Kendi ulusal çıkarlarını dünyanın öbür ucunda dahi olsa korumaktan asla geri durmayan emperyalist ülkeler, şu an ciddi anlamda ihtiyaç duymasalar dahi siyasalarını bu alanda en güçlü şekilde yarar sağlamak adına inşa etmektedirler. Özellikle Çin'in başını çektiği gelişmekte olan ülkelerin Afrika merakı ve Afrika'yı yeni bir sıçrama tahtası olarak görmeleri, enerji jeopolitiğinin en sinsi hamlesi olarak da kabul edilen rakip ülkelerin enerji kaynaklarına ulaşımının engellenmesi planının uygulamaya konulacağı en büyük oyun sahası olarak Afrika kıtasını ön plana çıkarmaktadır. Çin'in bu planı izlerken askeri gücünü neredeyse hiç dillendirmemesi ve 'softpower' kavramını kullanması kıta ülkeleri arasında kabul görmesi açısından ciddi önem arz etmektedir. Nitekim eski kolonyal güçlerin Afrika insanının tarih ve zihninde yarattığı tahribat hâlâ canlılığını korumaktadır. Afrika kıtası, kıta hâlinde bir rezerv olarak kenarda tutulmakta, bu rezervi kimin çıkarıp kullanacağı hususunda alt yapılar değişik enstrümanlar kullanılarak kurulmaya çalışılmaktadır.



HUKUKİ AÇIDAN JEOTERMAL ENERJİ

Meltem KUTLU GÜRSEL

Dokuz Eylül Üniversitesi, Hukuk Fakültesi, İdare Hukuku Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3334-0832>

Özet

Petrol, doğal gaz, kömür gibi geleneksel fosil enerji kaynaklarının, doğadaki rezervlerle sınırlı olması ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri, enerji politikalarında yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini arttırmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları etkili bir şekilde karbondioksit emisyonunu azaltmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, rüzgar, güneş, dalga, jeotermal, hidroelektrik, biyokütle ve hidrojen olarak sayılabilir. Jeotermal de, yenilenebilir enerji kaynaklarından yalnızca biridir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının farklılığı bu kaynaklardan yararlanmanın hukuki çerçevesini de etkilemektedir.

Jeotermal enerji; ısıtma, termal turizm, balıkçılık, gibi farklı alanlarda kullanılmasının yanı sıra jeotermal enerji santrallerinde elektrik üretiminde de kullanılmaktadır. Dünyada jeotermal enerji potansiyeli bakımından Türkiye 4. sırada yer almaktadır. Jeotermal enerji santrallerine yapılan yatırımlar elektrik üretiminde kurulu güç kapasitesini arttırmaktadır. Diğer yandan bu santrallerin kurulu olduğu alanlar, tarım arazileri üzerinde de olabilmektedir. Türkiye’de jeotermal potansiyel oluşturan alanların % 78’i Batı Anadolu’dadır.

Bu araştırmada jeotermal enerji kaynağının hukuki statüsü Anayasa’nın 168. Maddesi bağlamında irdelenecektir. İdare hukuku açısından kamunun kamusal mallarından yararlanma usulleri çerçevesinde jeotermal ile ilgili hukuki kaynaklar, jeotermal kaynakların aranması ve işletilmesi usulü ve çevre hukuku ile ilgisi değerlendirilecektir. Jeotermal enerji kaynağının kullanımındaki hukuki uyumsuzluklar da araştırılarak konu ile ilgili öneriler sunulacaktır.

Jeotermal enerji kaynağının tabii servet ve kaynaklar içerisinde yer alması, bu kaynağın gelecek kuşaklara aktarılması hususunda devlete yükümlülük yüklemektedir. Devlet egemenlik yetkisinin sahibi olarak bu kaynakları işletmekle yükümlüdür. Uzmanlık gerektiren teknik bir konuda devlet özel hukuk kişilerine jeotermal kaynak arama ve işletme konusunda izin verebilir. Bu iznin verilmesi idari bir işlem olup, Anayasa’nın 125. Maddesine göre yargısal denetime tabidir. İdarenin jeotermal kaynak arama ve işletme izni verirken hem idarenin hem de yatırımcının uyması gereken kuralların önceden yasa koyucu tarafından belirlenmesi hukuki güvenlik ilkesinin gereğidir. Jeotermal enerjinin hukuki rejiminin belirlenmesi, yetkili idareler ve idarenin bu alandaki işlemlerinin hukuka uygunluk denetimi açısından önemli olduğu kadar, yatırımcının da hukuki ve mali güvenliği açısından önem taşır. Özellikle jeotermal kaynakların “yenilenebilirlik” özelliğini güvence altına alacak teknik kurallar çerçevesinde işletilmesi ve denetimi ile ihlal halinde uygulanacak idari yaptırımların saydamlık ilkesine uygun olarak önceden yasada düzenlenmesi gerekir. Öte yandan jeotermal enerji kullanımının çevreye ve özellikle tarım arazilerine zarar vermeyecek teknik alt yapı ile kullanılması, jeotermal enerji kaynağının kullanımının teknik özellikleri ve ilkelerinin belirlenmesi de hukuki açıdan zorunludur.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal enerji, jeotermal kaynağın hukuki niteliği, arama ruhsatı, işletme ruhsatı.

Abstract

The fact that traditional fossil energy sources such as oil, natural gas and coal are limited to natural reserves and their negative effects on the environment have increased the importance of renewable energy sources in energy policies. Renewable energy sources reduce carbon dioxide emissions considerably. Renewable energy sources can be mentioned as wind, solar, wave, geothermal, hydroelectric, biomass and hydrogen. Geothermal is only one of the renewable energy sources. The diversity of renewable energy sources also affects the legal framework of utilizing these sources.

Geothermal energy being used in different fields such as heating, thermal tourism, fishing, it is also used in electricity generation in geothermal power plants. Turkey ranks 4th place in the world in terms of geothermal

energy potential. Investments in geothermal power plants increase the installed power capacity in electricity generation. However, the areas where these power plants were installed may also be on agricultural lands. 78% of the geothermal potential areas in Turkey are in Western Anatolia.

In this research, the legal status of the geothermal energy resource will be examined in the context of Article 168 of the Constitution. In terms of administrative law, legal resources related to geothermal within the framework of the public's use of public goods, the method of exploration and operation of geothermal resources and their relation to environmental law will be evaluated. Legal disputes in the use of geothermal energy source will also be investigated and suggestions will be presented on the subject.

The fact that the geothermal energy resource is included in the natural wealth and resources imposes an obligation on the state to transfer this resource to future generations. As the owner of the sovereign authority, the state is obliged to operate these resources. In a technical subject that requires expertise, the state may give permission to private law persons to explore and operate geothermal resources. Granting this permission is an administrative action and is subject to judicial review according to Article 125 of the Constitution. It is a requirement of the principle of legal security that the rules that both the administration and the investor must comply with when granting geothermal resource exploration and operation permits are determined by the legislator in advance. Determining the legal regime of geothermal energy is important for the legal and financial security of the investor, as well as for the legality control of the competent authorities and the transactions of the administration in this area. In particular, the operation and control of geothermal resources within the framework of technical rules that will ensure their "renewability" feature and the administrative sanctions to be applied in case of violation should be regulated in advance in the law in accordance with the principle of transparency. On the other hand, it is legally obligatory to use geothermal energy with a technical infrastructure that will not harm the environment and especially agricultural lands, and to determine the technical characteristics and principles of the use of geothermal energy source.

Keywords: Geothermal energy, legal nature of geothermal resource, exploration license, operating license.

GİRİŞ

Jeotermal kelimesi kök itibariyle, Eski Yunanca'da toprak (ge), sıcak (thermos) kelimelerinin birleşimidir diyebiliriz. Jeotermal enerji, güneş enerjisi kaynaklı değildir, yerin altında üreyen ve su aracılığıyla depolanan ısı enerjidir. Bu kaynağın kullanımı ise çok kolay değildir. Dünyada var olan jeotermal kaynağın çok azından yararlanıldığı teorik olarak belirtilmektedir¹. Arama ve sondaj çalışmalarının maliyeti ise oldukça yüksektir. Kullanılan jeotermal kaynak teknik olarak tükenmez niteliktedir. Bu nedenle jeotermal enerji yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer almaktadır.

Jeotermal enerji, yer kabuğu derinliklerinde bulunan aşırı ısınmış kaya, yüksek sıcaklık ve basınçtaki su ile bunlardan doğan buhar ve gaz gibi maddelerin oluşturduğu enerjidir. Jeotermal akışkan, yeraltı sularına göre daha fazla erimiş mineral, tuz ve gaz içermektedir ve sondajlarla yeryüzüne sıcak su, buhar ve sıcak su veya kuru buhar şeklinde çıkartılmaktadır². Ayrıca herhangi bir akışkan içermemesine rağmen ısısından faydalanılabilen "sıcak kuru kayalar" da jeotermal enerji kaynağıdır³.

Jeotermal enerji, elektrik enerjisi üretimi için dolaylı olarak kullanılabilmesi gibi doğrudan da kullanılabilir. Doğrudan kullanım alanları, teknolojik gelişmelere bağlı olarak; konutlarda merkezi ısıtma, seraların ısıtılması, tropikal bitki ve balık yetiştirme, tavuk ve hayvan çiftliklerinin ısıtılması, toprak, cadde, havaalanı pistlerinin ısıtılması, yüzme havuzu, termal tedavi ve diğer turistik tesisler, yiyeceklerin kurutulması ve konservecilik; kerestecilik ve ağaç kaplama, dokuma ve boyacılık, deri kurutma ve işleme, bira mayalama ve damıtma, soğutma tesisleri gibi endüstriyel alanlar; borik asit, amonyum bikarbonat, ağır su, amonyum sülfat, potasyum klorür vb. kimyasal maddelerin elde edilmesi, kuru buz üretimi şeklinde özetlenebilir⁴.

¹ Aydın, L., Enerji Ekonomisi ve Politikaları, Ankara 2014, s.202.

² Canik, B./Çelik, M./Arıgün, Z., **Jeotermal Enerji**, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Döner Sermaye İşletmesi Yayınları No: 59, Ankara 2000, s. 1.

³ Akkuş, İ./Alan, H., "**Türkiye'nin Jeotermal Kaynakları, Projeksiyonlar, Sorunlar ve Öneriler Raporu**", TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları No: 123, Ankara 2016, s.3.

⁴ Akkuş/Alan, s.5-6.

Jeotermal enerji potansiyeli bakımından dünyada 4. sırada yer alan Türkiye, jeotermal enerji santrallerine yapılan yatırımlar ile elektrik üretiminde kurulu güç kapasitesini gün geçtikçe arttırmaktadır. Türkiye’de jeotermal potansiyel oluşturan alanların % 78’i Batı Anadolu’da bulunmaktadır. Türkiye’deki jeotermal kaynakların ise %10’u elektrik enerjisi üretimi için uygundur⁵. Tarımsal açıdan oldukça verimli topraklar üzerinde kurulan jeotermal enerji yatırımlarından sağlanacak yarar ile tarım arazilerinin sürdürülebilir kullanımından sağlanacak yarar arasında adil bir dengenin kurulmasına özen gösterilmesi gerekmektedir. Devletin Anayasa’nın 44 ve 45. Maddeleri uyarınca toprak koruma ve tarımsal faaliyet ile ilgili ödev yükümlülükleri vardır. Yenilenebilir enerji kaynağı olarak jeotermal enerji santrallerinin tarım arazileri üzerinde de kurulmasına yönelik uygulamalar, devletin bu yükümlülüğü ile çelişki yaratmaktadır.

Bu bildiri ile amacımız jeotermal enerji kaynağının hukuki niteliği ile jeotermal enerji alanındaki hukuki düzenlemeler ve en önemlisi de jeotermal enerji kaynaklarının aranması ve işletilmesine ilişkin hukuki rejimi inceleyerek, bu konudaki uygulamayı ve uygulamadaki uyumsuzlukları idare hukuku açısından içtihatları da araştırmak suretiyle değerlendirmektir.

İlk olarak jeotermal kaynakların hukuki niteliği, Anayasa ve kamu malı teorisi bakımından değerlendirildikten sonra, jeotermal enerji ile ilgili hukuki kaynaklar, jeotermal kaynakların aranmasının hukuki rejimi ve arama ruhsatı, jeotermal kaynakların kullanılmasının ve işletilmesinin hukuki rejimi ve işletme ruhsatı ele alınacaktır.

JEOTERMAL ENERJİ KAYNAĞININ KAMU MALI TEORİSİ BAKIMINDAN HUKUKİ NİTELİĞİ

Jeotermal kaynaklar ve doğal mineralli sular, Devletin hüküm ve tasarrufu altındadır. Taşınmazın maliki olan bir özel hukuk kişisi dahi jeotermal kaynağa ilişkin bir faaliyette bulunabilmesi için 5686 sayılı Yasaya göre ruhsat almak zorundadır. Çünkü jeotermal kaynaklar ve doğal mineralli sular buldukları arzun mülkiyetine tabi değildir. İnsanlığın ortak mirası olarak gelecek kuşaklara da aktarılacak şekilde korunarak tasarruf edilebilen doğal kaynaklardır. İşte bu nedenledir ki, sözkonusu jeotermal kaynak ve doğal mineralli sular devletin hüküm ve tasarrufu altındadır.

Anayasanın 168’inci maddesi uyarınca yeraltı kaynaklarının hangi esas ve usuller çerçevesinde işletilebileceğinin Kanunla belirlenmesi zorunludur.

Kamu malları teorisine göre⁶ ve Anayasa’nın 168’inci maddesine göre jeotermal kaynaklar, devletin hüküm ve tasarrufu altındadır. Bunlar nitelikleri gereği mülkiyet hakkına konu olamaz ve tapu siciline kaydedilemez. Devletin hüküm ve tasarrufu altındaki alanlar nitelikleri gereği mülkiyet hakkına konu olamayacağı için bu yerlerden özel bir şekilde yararlanma ve kullanım devletin gözetim ve denetiminde olur⁷. Devletin hüküm ve tasarrufu altındaki bu yerlerden yararlanmanın hukuki rejimi, özel kanun hükümleri ile özel bir statü içinde değerlendirilebilir⁸.

Örneğin 4268 sayılı Kanunun⁹ 6977 sayılı Kanunla değiştirilen ve içmeğe ve yıkanmağa mahsus şifalı sıcak ve soğuk maden sularına ilişkin olan 2 nci maddesinin 3 üncü fıkrası şöyledir : "Ancak, İcra Vekilleri Heyeti kararıyla, tesbit olunacak esas ve şartlar dairesinde bu suların **mülkiyeti** hususi idarelere, belediyelere, köylere veya iktisadi devlet teşekküllerine veya sermayesinin yarısından fazlası Devlete ait olan müesseselere devrolunabilirler. Bu suretle mülkiyeti devrolunan maden suları bu idareler tarafından re'sen veya bunların

⁵ "https://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari" (08.12.2021)

⁶ Öğretide genel olarak kabul edilen sınıflandırmaya göre; kamu malları, "sahipsiz mallar", "orta malları" ve "hizmet malları" olarak üç grupta incelenir. Sahipsiz mallar, dağ, akarsu, deniz, göl gibi herkesin doğrudan ortak yararlanmasına açık olan ve kural olarak niteliği gereği özel mülkiyete tabi olması mümkün olmayan mallardır. Orta malları, yollar, parklar gibi herkesin kullanımına açık alanlardır. Hizmet malları, kamu tüzel kişilerinin, belli bir kamu hizmetine tahsis edilmiş olan ve söz konusu hizmetin yürütülmesinde kullanılan taşınır veya taşınmaz mallardır. Bkz. Sıddık Sami Onar, **İdare Hukukunun Umumi Esasları Cilt: 2**, 3. Baskı, Hak Kitabevi, İstanbul, 1966, s. 1313-1314. Şeref Gözübüyük ve Turgut Tan, **İdare Hukuku Cilt-I (Genel Esaslar)**, 9. Baskı, Turhan Kitabevi, Ankara, 2013, s. 926-927..

⁷ "Kıyılarının devletin hüküm ve tasarrufu altında olması, buraların özel mülkiyete konu olamayacağı ve doğasına uygun olarak, genellik, eşitlik ve serbestlik ilkeleri gereği herkesin ortak kullanımına açık bulunmaları gerektiği anlamına gelmektedir...." AYM. 26.06.2019, E: 2019/35, K: 2019/53, R.G. 12.11.2019, S.30946.

⁸ Aydın Gülan, **Kamu Mallarından Yararlanma Usullerinin Tabi Olduğu Hukuki Rejim**, Alfa Basım Yayım Dağıtım, İstanbul, 1999, s. 43.

⁹ R.G., 23.06.1942, S.5139.

iştirakiyle kurulacak teşekküller vasıtasıyla işletilebilir." Bu kural, 1961 Anayasası'nın 130'uncu maddesine aykırı bulunarak iptal etmiştir¹⁰: "*Anayasa tabii servetleri ve kaynaklarını Medeni Kanun hükümlerine bağlı özel mülkiyet düzeninin kapsamı dışında bırakmakta olanlara Devletin Devlet olmak niteliği ile eli altında tuttuğu nesnelere düzeni içinde yer verilmektedir. Her iki düzen başka başka koşullara ve kurallara bağlıdır; değişik niteliktedir; aralarında birbirlerine karıştırılmalarını önliyecek bellilik ve kesinlikte sınırlar vardır. Anayasa'nın 130 uncu maddesi, tabii servetlerin ve kaynaklarının Devletin hüküm ve tasarrufu altında bulunduğunu açıklamakla aynı zamanda bunların mülkiyet konusu olamayacağını da hükme bağlamıştır. İçmeğe ve yıkanmağa özgü, şifalı sıcak ve soğuk maden suları, tabii servetler ve kaynakları deyiminin kapsamı içindedir. Aslında mülkiyet düzenine bağlı bulunmayan bir nesnede mülkiyetin devri de öncelikle söz konusu olamaz. Oysa iptali dava edilen fıkra, mülkiyetin devrini öngörmekte ve böylece Anayasa'nın 130 uncu maddesine açıkça aykırı bulunmaktadır.*" 1982 Anayasasında benzer düzenleme 168. maddedir. Kısaca devletin de jeotermal kaynaklar üzerinde mülkiyet hakkı bulunmamaktadır. Devlet jeotermal kaynakların kullanımını egemenlik yetkisi çerçevesinde insanlığın ortak mirası olarak gelecek kuşaklara aktarılmasını sağlayacak şekilde bizzat kullanır veya yasada açık düzenleme varsa belli süre ile özel hukuk kişilerinin işletilmesine izin verebilir. İşte bu nedenledir ki, jeotermal kaynakların anayasa ve yasaya uygun olarak aranması ve işletilmesi özel bir yasa ile düzenlenmiştir.

Anayasa Mahkemesi bir başka kararında, devletin, sahipsiz yerler ile yararı kamuya ait yerler üzerinde, özel mülkiyetten farklı bir "kamu mülkiyeti" olduğunu belirtmiş ise de, bu kamu mülkiyeti kavramını gözetim ve denetim yetkisi olarak belirtmektedir. Kamu mülkiyetine sahip olma bu, yerleri devletin özel hukuk kişilerine mülkiyetini devretmesi anlamına gelmediğini de vurgulamaktadır. Devletin bu yerlerin kullanımını, işletmesini bizzat veya özel hukuk kişileri aracılığıyla yapabileceğini, gözetim ve denetimin herhalukarda Devlete ait olduğunu ifade etmektedir. "*Dava konusu kural ile dağınık halde bulunan hazine arazileri ile Devletin hüküm ve tasarrufu altında bulunan arazilerin, Bakanlar Kurulunca belirlenen özel projelerde kullanmaya elverişli hale getirilmesinin amaçlandığı anlaşılmaktadır. Bu suretle tarımsal yatırımlar ve sanayi yatırımları için uygun arazi parçalarının elde edilmesi hedeflenmektedir. Devletin hüküm ve tasarrufu altında bulunan taşınmazların yanında özel mülkiyette bulunan taşınmazların da bu projeler kapsamında geliştirmesine ve değerlendirmesine olanak sağlanmıştır. Devletin hüküm ve tasarrufu altında bulunan taşınmazlar, ayrıca bir tahsise gerek olmaksızın, doğal niteliklerinin bir sonucu olarak doğrudan doğruya kamunun ortak kullanımına açık olan kayalar, tepeler, dağlar, tarıma elverişli olmayan araziler, kaynaklar, akarsu yatakları, Devlet ormanları, kıyıları, meralar, yaylaklar ve kışlaklar gibi taşınmazlardır.*"

Devletin, sahipsiz yerler ile yararı kamuya ait yerler üzerindeki üzerinde sahip olduğu mülkiyet hakkı özel mülkiyetten farklı olup 'kamu mülkiyeti' olarak nitelendirilmektedir. Devlet, hüküm ve tasarrufu altında bulunan bu taşınmazlar üzerinde, kamu yararını gözetmek ve Anayasa'nın özel maddelerinde yer alan güvence hükümlerini de dikkate almak kaydıyla üstün yetkilerini kullanarak istediği hukuki düzeni kurabilir. Dava konusu kuralla, sahipsiz yerler ile yararı kamuya ait yerlerde bulunan taşınmazların Bakanlar Kurulunca belirlenen projeler çerçevesinde geliştirilmesi ve değerlendirilmesinin öngörülmüş olması, Devletin bu yerler üzerinde sahip olduğu 'kamu mülkiyeti' hakkı kapsamında yapılan bir tasarruftur.

*Devletin hüküm ve tasarrufu altındaki bu yerlerin Bakanlar Kurulunca belirlenen projeler kapsamında geliştirilip değerlendirilmesinde ve çeşitli yatırım projelerinde kullanılabilir hale getirilmesinde kamu yararı bulunduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle, bu hedefe yönelik olarak Bakanlar Kurulunca belirlenen projeler kapsamında kalan özel mülkiyetteki taşınmazların kamulaştırılabilmesi amacıyla Maliye Bakanlığı Milli Emlak Genel Müdürlüğüne yetki tanınmasının, Anayasa'ya aykırı bir yönü bulunmamaktadır"*¹¹.

2012 yılında verilen bu karar ile Anayasa Mahkemesinin daha önceki kararından farklı bir yaklaşım izlediği sonucunu çıkarmak Anayasa'nın 168. Maddesi uyarınca olanaksızdır. Devlet, hüküm ve tasarrufu altındaki bu yerlerden istediği gibi, istediği şekilde tasarruf edemez. Projelerin Anayasa'nın 168. Maddesine uygun olması gerekir. Devletin hüküm ve tasarrufu altındaki alanları işletme yetkisi özel hukuk kişilerine devredilebilir. İşletme yetkisinin devri satış değildir. İşletme yetkisi devredilse dahi Devletin bu yerler üzerinde denetimi ve gözetimi anayasal bir yükümlülük olarak devam eder. Devletin hüküm ve tasarrufu altındaki jeotermal kaynak alanları, kamu yararına aykırı olan projelerle özel hukuk kişilerinin kullanıma sunamaz, jeotermal kaynak alanlarını dilediği kişiye tahsis edemez. Bu alanlara ilişkin işletme izni verilmesi bu alanların mülkiyetinin devri değildir. Bu yerler ile ilgili özel hukuk kişilerine kamu yararı koşuluyla işletme izni verilse dahi devletin

¹⁰ AYM. 16.02.1965, E: 1963/126, K: 1965/7, R.G, 22.7.1965, S.12055.

¹¹ AYM. 29.11.2012, E: 2011/106, K: 2012/192, R.G., 02.04.2013, S.28606 mük.

gözetim ve denetim yetkisi devam etmektedir. Bu alanlar üzerinde devlet, kendi egemenlik yetkisini berataraf edecek projelere izin veremeyeceği gibi, insanlığın ortak mirası olan tabii servet ve kaynak alanlarını tüketecek nitelikteki projelere de izin veremez¹². İdari işlem niteliğindeki bu izinlerin hukukilik denetiminde bu hususların kendiliğinden (re'sen) gözününde bulundurulacağı hususunu özellikle belirtmek gerekir.

Jeotermal kaynak alanlarındaki faaliyetlerde de “özel yasa” niteliğindeki 5686 sayılı Yasa’da arama ve işletme ruhsat sahiplerinin, teknik sorumlu tarafından hazırlanan ve işletme projesine göre yapılmış olan faaliyetlerin bilgisini içeren yıllık arama ve işletme faaliyet raporlarını süresi içerisinde idareye sunmaması; ruhsat sahibinin projeye aykırı veya izinsiz olarak faaliyette bulunması, İşletme ruhsatı sahibinin mevzuatta öngörülen ÇED Olumlu veya ÇED Gerekli Değildir kararı, ruhsat alanı ve faaliyete ilişkin diğer izinleri almadan faaliyete başlaması, kaynak koruma alanları etüd raporunda öngörülen tedbirlere uyulmaması, projeye aykırı faaliyet yürütme veya çevreye zarar veren faaliyetlerde bulunma halinde, idarece ruhsatın iptal edileceği açıkça düzenlenmektedir. Jeotermal kaynak rezervuarının korunmasında MTA’nın denetim yetkisi bulunmaktadır.

Jeotermal kaynaklarda korunmanın sağlanması için mevzuatta Kaynak koruma alanının belirlenmesi yükümlülüğü getirilmiştir. Koruma alanındaki kaynak ve bunların bağlı olduğu jeotermal sistemin; bozulmasına, kirlenmesine ve sürdürülebilir özelliğinin yitirilmesine neden olacak dış etkenlerden korumak amacıyla sahanın jeolojik, hidrojeolojik yapısı, iklim koşulları, zemin cinsi ve tipleri, drenaj sahası sınırı, kaynak ve kuyu çevresindeki yerleşim birimleri, endüstri tesisleri, çevrenin topografik yapısı gibi unsurlara bağlı olarak belirlenmiş, önlemler alınması gereken, içerisinde yapılan faaliyetlerin kontrol ve denetime tâbi olduğu ve gerektiğinde yapılaşma ve arazi kullanım faaliyetleri kısıtlanabilir alanları ifade eder. Jeotermal rezervuarın kirletici unsurlardan korunması ve rezervuardaki basınç ve sıcaklık koşullarının korunması ile mümkündür. Bunun için de jeotermal sistemin bulunduğu alanın jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri göz önüne alınarak kaynak koruma alanları belirlenmektedir¹³. Danıştay yakın tarihli bir kararında, jeotermal işletme ruhsat sahası olan taşınmazda kuluçkahane kurulmasına izin veren belediyenin işlemi ile mevzi imar planının, kaynak koruma alanı etüd raporu henüz onaylanmamış olsa da, jeotermal kaynağa dolaylı ve doğrudan etkilerinin neler olduğunun araştırılarak karar verilmesi gerektiğine karar vermiştir¹⁴.

Bir devletin ülkesi içerisinde yürütülen ekonomik faaliyetler o devletin egemenlik yetkisi kapsamındadır. Özellikle doğal kaynaklar üzerinde halkların ve devletlerin “sürekli egemenliği” ilkesi geçerlidir. Bu ilkenin içeriği Birleşmiş Milletler Genel Kurulu’nun 14.12.1962 tarihli ve 1803 (XVII) sayılı “Doğal Kaynaklar Üzerindeki Sürekli Egemenlik Bildirisi” ile belirlenerek, kabul edilmiştir¹⁵. Devletin doğal kaynaklar üzerindeki sürekli egemenlik ilkesi, 1976 yılında yürürlüğe giren Birleşmiş Milletler Medeni ve Siyasi Haklara İlişkin Sözleşme ile BM Ekonomik, Sosyal ve Kültürel Haklara İlişkin Sözleşmede yer almaktadır. Her iki Sözleşmenin de 1. maddesinin 2. fıkrasında da bu ilke şu şekilde düzenlenmektedir: **“Bütün halklar, kendi amaçları doğrultusunda karşılıklı yarar ilkesine dayanan uluslararası ekonomik işbirliği ve uluslararası hukuktan doğan yükümlülüklerine hanel getirmemek kaydıyla, kendi doğal zenginlik ve kaynaklarından özgürce yararlanabilirler. Bir halk hiçbir durumda, kendi varlığını sürdürmesi için gerekli olanaklarından yoksun bırakılamaz.”**

Bu durum özellikle yabancı yatırımlar açısından da önem taşımaktadır. Yatırım yapılan devletin sınırları içindeki devletin hüküm ve tasarrufu altındaki kaynakları kamulaştırmama, millileştirmeme gibi eş etkili önleyici kurallar ile devletin kendisini bağlayıcı bir taahhütte bulunması egemenlik yetkisinin devri olarak nitelendirilebilir. Nitekim gelişmekte olan ülkeler açısından Birleşmiş Milletler Ekonomik, Sosyal ve Kültürel Haklara İlişkin Sözleşme’nin 25. Maddesinde **“Bu Sözleşmenin hiçbir hükmü, tüm halkların, doğal zenginlik ve kaynaklarından tam olarak özgürce yararlanma ve bunları kullanma konusunda kendiliğinden sahip buldukları hakları haleldar edecek şekilde yorumlanamaz.”**

¹² Kutlu Gursel, M., Kamulaştırma Hukuku, Ankara 2019, s. 29 vd.

¹³ Akan, B., “Jeotermal Alanlarda Kaynak Koruma Alanlarının Belirlenmesi”, MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, Sayı: 15, 2013, ss. 43-50.

¹⁴ D.6.D. 19.12.2019, E: 2014/9488, K: 2019/14753.

¹⁵ Pazarıcı, H., Uluslar arası Hukuk, Ankara 2007, s.151. Bildiri metni için bkz. Gündüz, A., Milletlerarası Hukuk Temel Belgeler Örnek Kararlar, İstanbul 1998, s.120-133.

Sonuç olarak; devletin, jeotermal kaynaklar üzerindeki yetkisi, Türk Medeni Kanunu kapsamında mülkiyet hakkının bahsettiği bütün yetkileri kapsamamaktadır¹⁶. Devlet, hüküm ve tasarrufu altındaki yerlerde egemenlik hakkından kaynaklanan bir denetim ve gözetim yetkisine ve bu yerler üzerinde kullanma ve yararlanma hakkına sahiptir. Jeotermal kaynaklar üzerinde devletin dahi devir ya da satış yetkisi bulunmamaktadır. Jeotermal kaynaklar üzerinde de devlet, egemenlik yetkisinin sahibi olarak, kaynak rezervini tüketmeksizin rezervin yenilenebilirliğini koruyucu önlemler altında kullanılıp kullanılmadığını denetlemek yetkisini objektif bir şekilde yerine getirmekle yükümlüdür. Bu yetkinin gereği gibi yerine getirilmemesi halinde hukuki, idari ve cezai sorumluluk ile ilgili kuralların da hukuki güvenlik ilkesi uyarınca yasa ile düzenlenmesi gerekmektedir. Hukuk devleti ilkesi gereği Anayasanın 168. maddesine uygun bir şekilde devletin gözetim ve denetim yetkisinin yasa ile belirlenmesi, hem idarenin yasallığı ilkesinin hem de yatırımcıların idare karşısında hukuki güvenliğinin sağlanması açısından da önem taşımaktadır. İşte bu nedenledir ki, taşınmazın mülkiyetinden ayrı olarak jeotermal kaynak rezervinin aranması, tesbiti ve var olan veya arama faaliyeti sonucunda bulunan jeotermal kaynağın işletilmesi, denetlenmesi ile ilgili hukuki düzenlemelere ihtiyaç bulunmaktadır. Tüm bu faaliyetlerin devletin gözetim ve denetiminde yürütülmesinin dayanağı ise yukarıda belirttiğimiz Anayasa'nın 168. maddesidir. Bu kuralları düzenleyen yasaların anayasal ilke ve kurallara uygun olması da hukukun üstünlüğü ilkesinin gereğidir.

JEOTERMAL ENERJİ İLE İLGİLİ HUKUKİ KAYNAKLAR

Jeotermal kaynakların kullanımı ve işletilmesi ile ilgili olarak; Türkiye'de 2005 yılına kadar, Anayasa m.168'e uygun somut bir yasal düzenleme bulunmamaktaydı. O dönemde konu ile ilgili 927, 4268, 6977 ve 3487 sayılı yasalar, sadece içmeye, yıkanmaya mahsus sıcak ve soğuk şifalı sulara ait olup genellikle kaplıcalar ile ilgili olduğundan, günümüzde teknolojik uygulamalar kapsamında elektrik üretimi, ısıtma, soğutma mineral-gaz edinmesi gibi konulara yönelik esasları, bilimsel ve teknik anlamda taşımadığından mevzuatta boşluk bulunmaktaydı. Genel durum böyle olmakla birlikte, 5177 sayılı 3213 sayılı Maden Kanununda değişiklik yapan yasanın Maden Kanuna eklenemeyen Geçici Madde 4'de, jeotermal kaynaklar ile ilgili olarak ilk kez bir kural düzenlenmişti. Jeotermal kaynaklar ile ilgili olarak ayrı bir yasal düzenlemenin bulunmadığı dönemde Maden Kanununa eklenen bu geçici madde ile jeotermal alanların kullanıma açıldığı belirtilebilir. Bu maddede bugün için de önem arzeden son fıkraya göre "Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün almış olduğu buluculuk hakları saklıdır. Ayrıca Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü yatırım programları çerçevesinde yaptığı çalışmalar ile kaynak varlığını ortaya çıkardığı alanların veya sondaj ile elde ettiği akışkanın bulucusu olarak tescil edilir". Bu kuralı 3213 sayılı Yasanın 15. maddesiyle birlikte değerlendirmek zorundayız. Yani bu alanlar MTA tarafından işletilmek üzere ihale edilebilir alanlar olarak değerlendirilmiştir.

Nitekim bilimsel ve teknik esaslar çerçevesinde inceleme ve etüt yaparak; kaynak varlığının tam olarak ortaya çıkarılması, kaynaktan daha fazla istifade edilmesi, kaynak israfının ve çevre kirliliğinin önlenmesi, temiz enerji ihtiyacının karşılanması konut ısıtma, termal ve sağlık amaçlı gibi entegre kullanımın yaygınlaştırılması uygulamasına en sağlıklı şekilde ve süratle geçilebilmesi için jeotermal kaynaklar ile ilgili özel bir yasal düzenlemeye acilen ihtiyaç duyulduğu 5686 sayılı Yasanın genel gerekçesinde de belirtilmektedir.

5686 sayılı Yasa'dan önce 2005 yılında yürürlüğe giren 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun¹⁷'de jeotermal kaynaklardan sözedilse de, jeotermal kaynak alanlarının belirlenmesi, korunması ve kullanılmasına ilişkin somut kurallar içermemektedir. 5346 sayılı Yasa, yenilenebilir enerji kaynak alanlarının korunması, bu kaynaklardan elde edilen elektrik enerjisinin belgelendirilmesi ve bu kaynakların kullanımına ilişkin usul ve esasları kapsar. 5346 sayılı Yasada geçmekle birlikte tanımlanmamış diğer terim ve kavramlar, 14/3/2013 tarihli ve 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunundaki anlama sahip olduğu yönünde bir kural eklenmiştir. 5686 sayılı yasa yürürlüğe girmeden önce

¹⁶ Karakuş, E., "Devletin Taşınmaz Mülkiyeti", Toprak Mülkiyeti Sempozyum Bildirileri, Memleket Yayınları, Ankara, 2010, s. 141. *Duran*'ın görüşüne göre; devletin hüküm ve tasarrufu altında olma, mutlaka mülkiyet hakkını dışlayan bir hukuki durum değildir ve sadece egemenliği içermediği gibi geniş anlamda kolluk yetkisinden ibaret de sayılamaz. Bu kavram, Türk hukuka özgü ve genel olarak kamu mallarını hem bireylere, hem de devlete ve malik kamu tüzel kişilerine karşı korumayı amaçlayan ve özel mülkiyet hakkının sakıncalarından koruyan bir önlem ilkesi olarak kabul edilebilir. Bkz. Duran, L., "Kamusal Malların Ölçütü", Amme İdaresi Dergisi, Cilt: 19, Sayı: 3, 1986, s. 49.

¹⁷ R.G., 18.5.2005, S. 25819.

jeotermal kaynak alanlarının kullanımı ile ilgili tesis edilen hukuki işlemlerde ve bu işlemlerden doğan hukuki uyuşmazlıkların çözümlenmesinde o dönemde mevzuat yetersizliği önemli derecede hissedilmiştir.

Jeotermal kaynaklar ile ilgili olarak hukuk sistemimizde **5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu**¹⁸ özel yasa niteliğinde olup, yürürlüktedir. Diğer bir ifadeyle jeotermal kaynakların kullanımı, bu alanlardaki ruhsat talepleri, bu alanların işletilmesi 5686 sayılı Yasaya uygun olarak yapılmak zorundadır. Yasanın 1. maddesine göre kanunun amacı, “jeotermal ve doğal mineralli su kaynaklarının etkin bir şekilde aranması, araştırılması, geliştirilmesi, üretilmesi, korunması, bu kaynaklar üzerinde hak sahibi olunması ve hakların devredilmesi, çevre ile uyumlu olarak ekonomik şekilde değerlendirilmesi ve terk edilmesi ile ilgili usul ve esasları düzenlemek” olarak belirtilmektedir. İşte bu amaçla 5686 sayılı Yasa jeotermal ve doğal mineralli su kaynakların araştırılması, aranması ve işletilmesi, üretilmesi sürecinde, kaynaklar üzerinde hak sahibi olunması, devredilmesi, terk edilmesi, kaynak kullanımının ihale edilmesi, sona erdirilmesi, denetlenmesi, kaynak ve kaptajın korunması ile ilgili usul ve esasları, bu usul ve esaslara aykırı hareket edilmesi halinde uygulanacak idari yaptırımları belirlemektedir.

Jeotermal enerji kaynağının elektrik üretimi amacıyla kullanılması halinde elbette işletme ruhsatı sahibinin elektrik piyasası faaliyetleri ile ilgili olarak, 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu uyarınca gerekli lisansları alma yükümlülüğü de bulunmaktadır.

HUKUKİ AÇIDAN JEOTERMAL ENERJİ KAYNAK ARAMA VE ARAMA RUHSATI

Jeotermal kaynağın aranması ve tespiti faaliyetinde bulunabilmek için özel hukuk kişinin arama ruhsatına sahip olması gerekir. 5686 sayılı Kanun’un 3’üncü maddesinin 24’üncü bendi uyarınca jeotermal kaynak arama ruhsatı, “*sınırları belirlenmiş bir alanda, kaynak arama faaliyetlerinde bulunabilmesi amacıyla projeye dayalı verilen izin belgesini*” ifade etmektedir. Jeotermal kaynaklara ilişkin haklar, 5686 sayılı Kanun’un 4/2 maddesinde belirtilen şartları taşıyan gerçek kişiler ile kamu ve özel hukuk tüzel kişilerine tanınmaktadır. Jeotermal kaynak arama ruhsatı, jeotermal kaynakların devletin hüküm ve tasarrufu altında olması nedeniyle, medeni hukuktaki aynı haklardan ve idare hukukundaki imtiyazlardan farklı nitelikte olup özel hukuk kişisine jeotermal mevzuatına uygun olarak jeotermal kaynak arama faaliyeti yürütme izni verir. Arama ruhsatı ile jeotermal kaynak işletilmez. Jeotermal kaynağın işletilmesi için ayrıca işletme ruhsatı alınması gerekir.

Arama ruhsatı ile yapılacak arama faaliyeti, 5686 sayılı Yasa’nın 3. Maddesinin 23 ve 24. bendlerine göre, jeotermal sistemden akışkan elde etmek amacıyla jeolojik araştırmalarla başlatılan, jeokimyasal ve jeofizik çalışmalarla desteklenen, yapılan tüm çalışmalara ait verilerin değerlendirilmesi sonucu belirlenen lokasyon veya lokasyonlarda amaç ve tekniğine uygun olarak jeolojik takiple açılan sondaj çalışmaları ile üretime yönelik test çalışmalarını da içeren projedeki faaliyetlerin bütünü olarak tanımlanmaktadır.

Arama ruhsatı için 1/25000 ölçekli pafta adı ve koordinatları belirtilerek beş bin hektarı geçmeyecek şekilde arama projesi ile birlikte başvuru yapılır. Arama ruhsatı başvurusu Büyükşehirlerde Yatırım İzleme ve Koordinasyon Başkanlıklarına (YİKOB)¹⁹, büyükşehir belediyesi bulunmayan illerde ise il özel idarelerine yapılır. Başvurularda öncelik hakkı esastır. Aynı yer için aynı anda birden fazla talep olması halinde, idare projeleri inceler ve en hızlı ve en fazla yatırımı teklif eden proje sahibi yönünde takdirini kullanır. Başvuruya konu müracaat alanı hakkında bilgiler, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın bağlı kuruluşu Maden ve

¹⁸ R.G., 13.6.2007, S. 26551.

¹⁹ 6360 sayılı On Dört İlde Büyükşehir Belediyesi ve Yirmi Yedi İlçe Kurulması ile Bazı Kanun ve Kanun Hükmünde Kararnemelerde Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun’un 3’üncü maddesinin 6’ncı fıkrasına göre, “4/6/1985 tarihli ve 3213 sayılı Maden Kanununa göre verilen I (a) grubu maden ruhsatı ile 3/6/2007 tarihli ve 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanununa göre verilen jeotermal kaynaklar ve doğal mineralli sular ruhsatına ilişkin yetki ve görevler, il özel idarelerinin tüzel kişiliğinin kaldırıldığı illerde valiliklerce yürütülür.” 24.09.2013 tarih ve 28775 sayılı Resmî Gazete ile 30.05.2014 tarih ve 29015 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Yönetmelikler ile Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama Yönetmeliği’nde değişiklik yapılarak il özel idarelerince yürütülen iş ve işlemlerin, bu maddenin yürürlüğe girmesinden sonraki ilk mahalli idareler genel seçiminden sonra il özel idarelerinin tüzel kişiliğinin kaldırıldığı illerde valilik yatırım izleme ve koordinasyon başkanlıklarınca yürütüleceğine dair ek madde 1 Yönetmeliğe eklenmiştir.

Petrol İşleri Genel Müdürlüğü'ne²⁰ (MAPEG)'e bildirilir. Arama için başvuru alanı, önceki diğer başvurular ile çakışıyor, MAPEG çakışan kısımları çıkararak kalan alan için "arama ruhsatı" verilebileceğini idareye bildirir. Sonuçta arama ruhsatı vermeye yetkili idare, verilen ruhsat koordinatları ile birlikte kayıtlara alınmak üzere MAPEG'e bildirir. Arama ruhsat süresi üç yıldır. Faaliyetlerin olumlu gelişmesi ve ilave etütlere ihtiyaç duyulması halinde revize proje verildikten sonra idarece uygun bulunması halinde bir yıl uzatılır ve uzatma MAPEG'e bildirilir. Arama ruhsatı süre uzatım talebi, ruhsat süresi bitiminden önce idareye yapılır. Arama ruhsatı döneminde idarenin bilgisi dahilinde, çevrenin kirletilmemesi kaydı ile sadece test amaçlı üretim yapılabilir. Ticari amaçlı üretim yapılamaz. Birden fazla il içine alan arama ve işletme faaliyetlerinde başvurular alanın büyük olduğu il idaresine yapılır ve işlemler alanın küçük olduğu il idaresine bildirilir.

Arama ruhsatı, idareye bilgi verme ve çevrenin kirletilmemesi koşulu ile ruhsat sahibine rezervuarın üretimi, yönetimi ve izleme programının oluşturulması için fiziksel ve kimyasal parametreleri belirlemek üzere test amaçlı üretim yapma hakkı verir. Arama ruhsatı, 5686 sayılı Kanunun 4. Maddesi uyarınca ilk defa yapılacak bir başvuru ile alınabileceği gibi 10. Maddenin (a) bendi uyarınca devir ve ihale yoluyla da elde edilebilir. Arama ruhsatı miras yoluyla da mirasçılara geçer.

5686 sayılı Kanun'un 16'ncı maddesine göre; Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA)'nın, harç ve teminattan muaf olarak ruhsat almak suretiyle jeotermal kaynak arama yetkisi bulunmaktadır. Yasanın 16. Maddesinin son cümlesi uyarınca MTA, yürüyen ruhsat alanları dahil her yerde ruhsat şartı olmaksızın her türlü bilimsel ve teknik çalışmayı yapabilir: *"Davacının, Aydın İli sınırları içinde bulunan dört farklı alanda 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu uyarınca lehine arama ruhsatı düzenlenmesi istemiyle yaptığı başvurunun reddine ilişkin 20/11/2008 gün ve 7227 sayılı Aydın İl Özel İdaresi işlemi ile bu işleme temel teşkil eden Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama Yönetmeliğinin Geçici 1.maddesinin 6.fıkrasının; Anayasal eşitlik ilkesine, 5686 sayılı Yasa hükümlerine aykırı olduğu, MTA Genel Müdürlüğü lehine hukuki temeli olmayan ayrıcalıklar tanındığı, ruhsat için müracaatta önceliğin esas olduğu ve sicile kayıtlı olmayan hakların korunmasının mümkün olmadığı, davacı tarafından 5686 sayılı Yasada öngörülen usulün yerine getirilmesine karşın hak kaybına uğranıldığı ileri sürülerek iptali istenilmektedir...1984 yılında Maden İşleri Genel Müdürlüğünce Aydın ili Merkez ilçesi Yılmazköy ve Kalfaköy dolaylarında bulunan jeotermal kaynakların MTA lehine tescil edildiği...5686 sayılı Yasanın yürürlüğe girmesi ile...bu alanlar için MTA lehine arama ruhsatı düzenlendiği görülmektedir...Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün...ülkemizde maden alanında yetkin ve birikime sahip bir kamu kurumu olması nedeniyle madenlerin etkin ve verimli kullanılabilmesi adına yasal metinlerle temellendirilmiş bir takım öncelik ve hakları haiz olduğu ve tedbir alınması ile denetim yapılması noktasında da yetkilerinin bulunduğu anlaşılmaktadır...Dava konusu edilen Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama Yönetmeliğinin Geçici 1.maddesinin 6.fıkrasında; dayanak aldığı 5686 sayılı Yasa ve yukarıda alıntısı yapılan 2804 ile 5177 sayılı Yasa hükümlerine paralel düzenlemeler getirilerek, MTA tarafından yapılan çalışmalarla belirlenen kaynak alanları için MTA lehine buluculuk belgesi ve arama ruhsatı düzenlenmesi öngörülmüş ve MTA Genel Müdürlüğü'nün kadimden bu yana yürüttüğü çalışmalar çerçevesinde edindiği hakların korunması hususu dikkate alınmıştır...Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama Yönetmeliğinin Geçici 1.maddesinin 6.fıkrasında ve bu düzenleme temel alınarak tesis edilen 20/11/2008 gün ve 7227 sayılı Aydın İl Özel İdaresi işleminde hukuka aykırılık bulunmamaktadır"*²¹.

HUKUKİ AÇIDAN JEOTERMAL ENERJİ KAYNAĞINI İŞLETMEK VE İŞLETME RUHSATI

Arama faaliyeti sonucunda elde edilen kaynağın özel hukuk kişileri eliyle kullanımı, işletilmesi için arama ruhsatına sahip olmak yeterli değildir. Kaynağın üretim, kullanım, reenjeksiyon, enjeksiyon, deşarj ve bu faaliyetlere yönelik sondaj çalışmalarını içeren projede belirtilen faaliyetleri gerçekleştirmek için işletme ruhsatının alınması gerekir. 5686 sayılı Yasa'nın 6. Maddesine göre, arama ruhsatı sahibi işletme projesi

²⁰ MAPEG, 15.07.2018 tarih ve 30479 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan 4 No'lu "Bakanlıklara Bağlı, İlgili, İlişkili Kurum ve Kuruluşlar ile Diğer Kurum ve Kuruluşların Teşkilatı Hakkında Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi" ile kurulmuş olan kamu tüzel kişiliğine sahip, özel bütçeli, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığına bağlı bir kuruluştur. 4 No'lu Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi'nin 772/K maddesinin (d) fıkrasına göre, MAPEG'in hizmet birimlerinden birisi olan Sektör İzleme ve Koordinasyon Başkanlığı'nın görevleri arasında "5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu kapsamında gerekli iş ve işlemler" de sayılmıştır.

²¹ D.8.D 30.05.2011, E: 2010/5288, K: 2011/2869.

hazırlayarak büyükşehir belediyelerinde YİKOB'a, büyükşehir belediyesi olmayan illerde de il özel idaresine başvurarak işletme ruhsatı alabilir. Yasadaki bu ifadeden arama ruhsatı sahibinin işletme ruhsatı için süresinde başvurması halinde işletme ruhsatı alabileceği anlaşılmaktadır. Arama ruhsatı sahibinin, arama ruhsat süresinin son günü akşamına kadar işletme projesi ile idareye işletme ruhsatı başvurusunda bulunması zorunludur. İşletme ruhsatı ve varsa tepit edilen bloke alanıyla²² birlikte MAPEG'e bildirilir. Ancak işletme ruhsatı alındıktan sonra ruhsat sahibi, işletme faaliyeti için ilgili kurumlardan işletme tesisi açmak için gerekli izinleri alması gerekir. 5686 sayılı Yasa kapsamında "Jeotermal kaynak işletme ruhsatı" ile bu ruhsat sahibinin işletme faaliyetine geçmek için diğer kurumlardan alması gereken izinler örneğin iş yeri açma izni vs. gibi izin/ruhsat, işletme ruhsatı ile karıştırılmamalıdır. 6. maddeye uygun alınan işletme ruhsatı kurulacak tesiste ticari faaliyetleri yürütmek için yeterli olmayıp, aynı zamanda yürütülecek faaliyetin kapsamına göre gerekli izin/ruhsatın da alınması gerekir. Örneğin elektrik piyasasında faaliyette bulunmak için üretim lisansının alınması gerekir. İşletme ruhsatı sahibi, projesinde belirtilen süre içinde işletmeye geçmez veya herhangi bir sebeple işletme ruhsatı iptal edilirse teminatı irat kaydedilir. Bu durumda İdare jeotermal kaynak alanını işletmek üzere ihaleye çıkarabilir. İşletme projeleri ile ihaleye katılan isteklilerden idareye en fazla geliri teklif eden istekliye işletme ruhsatı verilir ve MAPEG'e bildirilir.

İşletme ruhsatı sahibi, idareden izin almaksızın, projede yer alan herhangi bir kuyunun yenilenmesi, sayısının ve kapasitesinin artırılması, enjeksiyon, reenjeksiyon, üretim amaçlı tüm sondaj faaliyetleri ile diğer proje değişiklikleri ve revizyonları yapamaz. Ancak İdare, gerekli görülen hallerde, bedelini ödemek kaydıyla, MTA'dan değerlendirme isteyebilir.

İşletme ruhsatı süresi otuz yıldır. Süre sonunda ruhsat sahibinin talep etmesi durumunda onar yıllık dönemler halinde uzatılır. Süre uzatımları MAPEG'e bildirilir. Ruhsat süresinin başlangıcı sicile işlendiği tarihtir.

Doğal çıkış halindeki jeotermal ve doğal mineralli sular için, kaptajı yapılarak doğrudan işletme talepleri de İdarece bu Kanun hükümlerine göre işletme ruhsatına bağlanır ve MAPEG'e bildirilir.

5686 sayılı Yasa'nın 6. Maddesinin ilk cümlesine göre, adeta arama ruhsatı sahibinin başvurusu halinde; idarenin, işletme ruhsatı vermekle yükümlü olduğu anlaşılmaktadır. "Arama ruhsatı sahibinin, arama ruhsat süresinin son günü akşamına kadar işletme projesi ile idareye işletme ruhsatı başvurusunda bulunması halinde "işletme ruhsatı" verilir..." kuralı yasa yapma tekniği açısından adeta emredici kural niteliğindedir. Yasa koyucu "verilir" şeklindeki düzenleme ile idareye aslında arama ruhsatı sahibinin talebi halinde işletme ruhsatı verme konusunda takdir yetkisi vermemektedir. Her arama ruhsatı sahibinin yasada belirtilen süre içerisinde başvurmak koşuluyla işletme ruhsatı alabileceği sonucuna varılmaktadır. Bu nedenle 5686 sayılı Yasa bağlamında her arama ruhsatı sahibinin işletme ruhsatı alma hususunda haklı beklentisi oluşmaktadır. Danıştay 8. İdari Dava Dairesi de bir kararında bu hususu vurgulamaktadır. ***"İdarenin ister düzenleyici işlem, ister bir taahhüt, isterse uzun süren bir uygulamasına güvenerek olsun, bireylerin çıkarlarına ya da lehlerine olan bir sonuca ulaşabileceklerini ümit etmelerine de "haklı beklenti" denilmektedir. Olayda, davacının ruhsatlı sahası içerisinde bulunan kuyunun, ruhsat sınırına 57 metre mesafede yer aldığı, yukarıda yer verilen Yönetmelik değişikliği ile getirilen "açılacak olan tüm üretim/reenjeksiyon kuyularının kuyu içi koordinatları ile ruhsat sınırı arasındaki mesafenin 100 metreden az olamayacağı" şartının sağlanmadığı gerekçesiyle davacıya işletme ruhsatı verilmesinin uygun olmadığı belirtilmiş ise de; davacının anılan değişiklikten önce uyumsuzluk konusu kuyuya ilişkin olarak 14.08.2013 tarihli dilekçesiyle davalı idareden izin istediği ve davalı idarenin aralarında jeoloji mühendisinin de bulunduğu elemanlarınca sahanın incelenerek gerekli tedbirlerin alınması koşuluyla sondajın yapılmasının uygun olduğunun belirtildiği; buna istinaden verilen sondaj kuyusu açma iznine güvenen davacı tarafından kuyunun açılması için gerekli planlama ve harcamaların yapılmaya başlandığı, her arama ruhsatı sahibinin işletme ruhsatı alabilmek için kazanılmış hakkı olduğunun kabulü mümkün olmamakla beraber davacının işletme ruhsatı alabilmesine engel olan durumun sondaj kuyusunun ruhsat sınırına olan uzaklığından kaynaklandığı ve fakat somut uyumsuzlukta davacının ruhsat sahasının genişliğinin (eninin) 180 metre olduğu, bu durumda davacının arama faaliyeti sonucunda bulduğu jeotermal kaynağı üretebilmesi, kullanabilmesi ve bu faaliyetlere yönelik sondaj çalışması yürütebilmesinin imkansız hale geldiği; zira 180 metre içerisindeki herhangi bir noktada kuyu açılması halinde kuyunun sınırlara ya da***

²² Bloke alan, işletme ruhsatı verilmiş bir jeotermal kaynaktan yapılan üretim faaliyetlerinin etkilenmemesi için işletme ruhsatı sahibi dışındaki talep sahiplerine kapatılmış ve işletmeye açılmayacak alanları ifade eder.

diğer sınıra olan mesafesinin mutlaka 100 metreden az olacağı, bunun ise haklı beklenti içerisinde bulunan davacı açısından hakkaniyete aykırı bir durum oluşturduğu anlaşılmaktadır."²³.

Uygulama Yönetmeliğinin 9. Maddesinin 3. Bendine göre İşletme ruhsatı alındıktan sonra, ruhsat sahibince Çevresel Etki Değerlendirmesi olumlu kararı veya Çevresel Etki Değerlendirilmesi Gerekli Değildir karar belgesi alınarak, ruhsat alanı ve faaliyete ilişkin diğer mevzuattan kaynaklanan gerekli izinlerin alınması için ilgili bakanlıklar, kamu kurum ve kuruluşları nezdinde en geç üç ay içinde girişimde bulunulması zorunludur. Çevresel Etki Değerlendirmesi işlemleri tamamlanmadan ve gerekli izinler alınmadan işletme faaliyetlerine başlanmaz. Gerekli olan işlem ve izinler için; İdare, ilgili bakanlıklar, kamu kurum ve kuruluşlarının yapacağı mahallindeki tetkiklere yönelik maddi yükümlülükler ruhsat sahibi tarafından karşılanır. Gerekli izinlerin 3 yılda alınamaması durumunda ruhsatın iptal edileceğini belirten cümle ise Danıştay tarafından iptal edilmiştir. Danıştay'ın iptal kararının gerekçesi "*Dava konusu düzenlemenin, iptali istenen kısmı ile projeye ilişkin sürelerin, Kanuna hakim olan proje bazlı değerlendirme özelliğinden uzaklaşılması sonucuna götürdüğü ve farklı vasıfta faaliyet gösteren ruhsat sahiplerini düzenlenen tek bir süre ile bağladığı görülmekte olup, bu durumun Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu'nun ruhuna ve sistematığına aykırı olduğu anlaşıldığından, bu yönüyle düzenlemenin ilgili kısmında hukuka uygunluk bulunmadığı sonucuna varılmıştır.*"²⁴

Proje hakkında verilen "ÇED Olumlu/Olumsuz" ve "ÇED Gerekli Değildir/Gereklidir" kararları, kesin ve icrai işlem niteliğinde olduğundan idari yargıda iptal davasına konu olabilir²⁵; bu kararlar verilmeden önce ilgili kurum ve kuruluşlardan alınacak görüşler ise hazırlık işlemi niteliğinde olup iptal davasına konu olamaz²⁶. Özellikle zeytinlik alanlarda, jeotermal faaliyetlerde 3573 sayılı Kanun özel hükümler içermektedir²⁷. 3573 sayılı Kanun'un 20'nci maddesine göre, **Zeytinlik sahaları içinde ve bu sahalara en az 3 kilometre mesafede zeytinyağı fabrikası hariç zeytinliklerin vegatatif ve generatif gelişmesine mani olacak kimyevi atık bırakan, toz ve duman çıkaran tesis yapılamaz ve işletilemez.** Bu alanlarda yapılacak zeytinyağı fabrikaları ile küçük ölçekli tarımsal sanayi işletmeleri yapımı ve işletilmesi Tarım ve Köyişleri Bakanlığının iznine bağlıdır. Yasanın bu emredici hükmüne rağmen, Danıştay 6. Dairesi, zeytinlik sahalarda jeotermal kaynak arama amaçlı sondaj projeleri için verilen ÇED kararları ile ilgili olarak; bu faaliyetin, zeytinlik sahaların vegatatif ve generatif gelişmesine engel olup olmayacağı hususlarının değerlendirilebilmesinin özel ve teknik bilgiyi gerektirdiği gerekçesiyle keşif ve bilirkişi incelemesi yapılmasına karar vermektedir²⁸. Danıştay bu yaklaşımı ile adeta 3573 sayılı Yasa'nın 20. maddesindeki emredici kuralı görmezden gelmektedir.

Tarım arazilerinde jeotermal arama ruhsatı veya işletme ruhsatı verilmesi ile ilgili olarak Anayasa Mahkemesinin 2015 yılında verdiği kararın gerekçesi de eleştirilebilir. "*Sosyal veya ekonomik bazı ihtiyaçlar, tarım topraklarının başka amaçlarla kullanımını zorunlu hâle getirebilmektedir. Bu gibi durumlarda, bir bölgenin tarım arazisi olarak kullanımına devam edilmesi, bir takım ekonomik ve sosyal ihtiyaçların karşılanamamasına ve neticede daha büyük kamusal yararların zedelenmesine yol açabilmektedir. Bu nedenle, bir alanın tarım arazisi vasfının ortadan kaldırılmasının, söz konusu alanın tarım arazisi olarak kullanımına devam edilmesinden daha fazla kamusal yarar doğurduğu hâllerde, ilgili bölgenin tarımsal üretim amacı dışında kullanılmasına imkân sağlanmasına anayasal bir engel bulunmamaktadır.*"

²³ D.8.D 15.11.2018, E: 2017/6058, K: 2018/7021.

²⁴ D.8. DD., **15.6.2021, E. 2019/8621, K.2021/3130.**

²⁵ Kutlu Gürsel, M./Başar, C./Çaptuğ, M., "Review of the capacity to sue in turkish administrative jurisdiction in terms of action for annulment of environmental impact assesment (EIA) decisions", ASEAD, 2020, C.7, S.7, s.13 vd.

²⁶ D.14.D 24.01.2019, E: 2019/140, K: 2019/462.

²⁷ D.6.D 23.01.2020, E: 2019/21489, K: 2020/392.

²⁸ "...her ne kadar İdare Mahkemesince; açılması planan sondaj kuyularından itibaren 3 km'lik alan içerisinde zeytinlik alanlar bulunduğu ve söz konusu faaliyette zeytinliklere zarar vermeden, kimyevi atık bırakmayacak, toz ve duman çıkarmayacak şekilde faaliyette bulunulmasının hayatın olağan akışına aykırı olduğu gerekçesiyle işlemin iptaline karar verilmiş ise de, söz konusu faaliyetin, zeytinliklerin vegatatif ve generatif gelişmesine mani olacak kimyevi atık bırakıp bırakmaması, toz ve duman çıkarıp çıkarmaması ve İzmir İl Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü tarafından ileri sürülen sondaj kuyuları ile zeytinlik alanlar arasında kot farkı bulunduğundan, dava konusu projenin zeytinlik alanın vegatatif ve generatif gelişmesine engel olmayacağı hususlarının değerlendirilebilmesi özel ve teknik bilgiyi gerektirdiği sonucuna varıldığından, keşif ve bilirkişi incelemesi yaptırılmaksızın verilen İdare Mahkemesi kararında hukuki isabet bulunmamaktadır..." D.6.D. 20.05.2019, E: 2019/12142, K: 2019/4586; D.6.D 23.01.2020, E: 2019/21489, K: 2020/392.

Ancak tarım arazisinin amaç dışı kullanımına izin verilebilmesi için çatışan iki kamusal yarar arasında makul bir denge kurulmalı ve tarım arazisinin amaç dışı kullanımının sosyal veya ekonomik açıdan daha fazla kamusal yarar sağlayacağına ortaya konulması gerekmektedir. Bu bağlamda önemli bir ekonomik veya sosyal ihtiyaca cevap vermeyen, kamu yararı bakımından zorunluluk taşımayan yatırım ve faaliyetlerin gerçekleştirilmesi amacıyla tarım arazilerinin amaç dışı kullanımına izin verilmesi Anayasa'nın 44. ve 45. maddeleriyle Devlete yüklenen ödevle bağdaşmaz”²⁹.

Anayasa Mahkemesi, bu kararı ile sosyal ve ekonomik kamu yararı var ise tarım arazilerinin amaç dışı kullanılmasının Anayasaya aykırı olmadığını açıklamaktadır. Ancak sosyal ve ekonomik kamu yararı kavramı siyasi konjonktüre göre değişebilir. Bugün yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretiminde üstün kamu yararı olabilir. Fakat bu tarım alanlarının korunmasında üstün kamu yararı olmadığı anlamına da gelmemelidir. Bu nedenle jeotermal kaynakların işletilmesinde tarım arazilerinin amaç dışı kullanılmamasını bir ilke olarak benimsemenin yararlı olacağı kanaatindeyiz.

5403 sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanununda tarım arazilerinin amaç dışı kullanımı ile ilgili 13. maddesi uyarınca “mutlak tarım arazileri, özel ürün arazileri, dikili tarım arazileri ile sulu tarım arazileri tarımsal üretim amacı dışında kullanılamaz. Ancak, alternatif alan bulunmaması ve Kurulun uygun görmesi şartıyla; **Jeotermal kaynaklı teknolojik sera yatırımları** için bu arazilerin amaç dışı kullanım taleplerine, toprak koruma projelerine uyulması kaydı ile Bakanlık tarafından izin verilebilir. Bakanlık bu yetkisini valiliklere devredebilir. Ayrıca mutlak tarım arazileri, özel ürün arazileri, dikili tarım arazileri ile sulu tarım arazileri dışında kalan tarım arazileri; toprak koruma projelerine uyulması kaydı ile valilikler tarafından tarım dışı kullanımlara tahsis edilebilir. İdare tarafından tarım arazilerinin amaç dışı kullanımı yönünde verilen izin, icrai ve tek yanlı idari işlem niteliğindedir. Bu nedenle tek başına idari yargıda iptal davasına konu edilebilir. Bu tür davalarda yürütmenin durdurulması kararının uygulanması da önem taşımaktadır. Aksi takdirde idari yargı denetimi sonucunda verilen iptal kararının uygulanması güç olabilir.

SONUÇ

Jeotermal kaynakların kullanılması, işletilmesi Anayasa'nın 168. maddesi uyarınca devletin hüküm ve tasarrufu altındadır. Bu kaynakların aranması ve işletilmesinin hukuki rejimi özel yasa niteliğindeki 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanununa göre mümkündür. Bu kaynakları devlet, özel hukuk kişilerine satamaz, mülkiyetini devredemez. Kaynakların yalnızca işletme hakkını özel hukuk kişilerine devredebilir. İşletme ruhsatı çerçevesinde faaliyette bulunanlar faaliyetlerini 5686 sayılı Yasaya uygun bir şekilde yükümlülüklerini yerine getirerek sürdürebilir. İşletme ruhsatı sahibi dilediği faaliyette bulunamaz ve proje kapsamı dışına çıkamaz. Aksi takdirde idare, idari yaptırım olarak ruhsatın iptaline karar verir.

Elektrik enerjisi üretiminde çevre dostu yenilenebilir enerji kaynağı olarak nitelendirilen jeotermal enerji kaynağının işletilmesinde, ruhsat sahibinin bir yandan jeotermal kaynak rezervini koruyucu önlem alma diğer yandan da çevreye zarar vermeksizin özenli kullanım yükümlülüğü vardır. Ayrıca devletin jeotermal kaynağı işletme hakkını özel hukuk kişisine ruhsat ile vermesi, Devletin gözetim ve denetim yükümlüğünü sona erdirmemektedir. Üçüncü kuşak haklardan çevre hakkı bağlamında yerel halk da çevreye zarar veren şekilde jeotermal kaynağın işletilmesi halinde hak arama özgürlüğü bağlamında hukuki başvuruda bulunabilir. Jeotermal kaynağın aranması ve işletilmesi sürecinde 5686 sayılı Yasadaki yükümlülükleri gereği gibi yerine getirmeyenler ile ilgili olarak, etkin ve etkili hukuki denetiminin uygulanması, sürdürülebilir şekilde jeotermal kaynakların kullanımı ve korunması, devletin Anayasa'nın 168. Maddesindeki yükümlülüklerini yerine getirmesi bakımından önemlidir.

Tarım arazilerinin korunmasındaki kamu yararı ile yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik enerjisi üretimindeki kamu yararı biri diğerine tercih edilebilir kavramlar değildir. Devletin jeotermal enerji kaynağı koruma yükümlülüğü gibi tarım arazilerini ve zeytinlik alnaları da koruma yükümlülüğü Anayasa'dan kaynaklanmaktadır. Elektrik enerjisine ihtiyacın giderilmesinde üstün kamu yararının var olduğu gibi soyut bir gerekçe ile çok verimli tarım arazilerinin üzerinde veya 3573 sayılı Yasa'nın 20. maddesine rağmen zeytinlik alanda idare tarafından JES kurulmasına ilişkin projelere izin verilmesi, normlar hiyerarşisi, adalet, adil denge, hukuki güvenlik ilkesi, ekonomik kamu hukuku ilkeleri ile bağdaşmamaktadır.

²⁹ AYM. 05.03.2015, E: 2014/147, K: 2015/25, R.G. 03.04.2015, S:29315.

KAYNAKÇA

- Akan, B., “Jeotermal Alanlarda Kaynak Koruma Alanlarının Belirlenmesi”, MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, Sayı: 15, 2013
- Akkuş, İ./Alan, H., “Türkiye’nin Jeotermal Kaynakları, Projeksiyonlar, Sorunlar ve Öneriler Raporu”, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları No: 123, Ankara 2016.
- Aydın, L., Enerji Ekonomisi ve Politikaları, Ankara 2014.
- Canik, B./Çelik, M./Arıgün, Z., Jeotermal Enerji, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Döner Sermaye İşletmesi Yayınları No: 59, Ankara 2000.
- Duran, L., “Kamusal Malların Ölçütü”, Amme İdaresi Dergisi, Cilt: 19, Sayı: 3, 1986.
- Gözübüyük Ş./ Tan T., İdare Hukuku Cilt-I (Genel Esaslar), 9. Baskı, Turhan Kitabevi, Ankara, 2013.
- Gülan, A., Kamu Mallarından Yararlanma Usullerinin Tabi Olduğu Hukuki Rejim, İstanbul, 1999.
- Karakuş, E. “Devletin Taşınmaz Mülkiyeti”, Toprak Mülkiyeti Sempozyum Bildirileri, Memleket Yayınları, Ankara, 2010.
- Kutlu Gursel, M., Kamulaştırma Hukuku, Ankara 2019.
- Kutlu Gürsel, M./Başar, C./Çaptuğ, M., “Review of the capacity to sue in turkish administrative jurisdiction in terms of action for annulment of environmental impact assesment (EIA) decisions”, ASEAD, 2020, C.7, S.7.
- Onar, S.S., İdare Hukukunun Umumi Esasları Cilt: 2, 3. Baskı, Hak Kitabevi, İstanbul, 1966.
- Pazarcı, H., Uluslar arası Hukuk, Ankara 2007.
- “<https://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari>” (08.12.2021)



NÜKLEER GÜÇ SANTRALLARININ YEŞİL MUTABAKAT İNİSİYATİFİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION of NUCLEAR POWER PLANTS IN THE VIEW of GREEN DEAL INITIATIVE

A. Beril TUĞRUL

İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
IORCID ID: 0000-0001-6426-6850

Özet

Bu çalışmada, nükleer santralların genel olarak tercih edilmiş sebepleri üzerinde durulmakta ve “Yeşil Mutabakat” ile ilişkisi betimlenmektedir. Öncelikle nükleer santralların enerji politikaları içindeki yeri operatif kriterler bağlamında ayrı ayrı ele alınarak irdelenmektedir. Takiben nükleer santralların “Yeşil Mutabakat” inisiyatifi içinde yeri ve bu bağlamdaki değerlendirmesi yapılmaktadır. Nükleer enerji santralları, işletimde sera gazı salımı olmayan ve aynı zamanda emre amadelik şartını sağlayabilen santrallar olmaktadır. Emre amadeligi sağlayan halen baz santrallar arasında yer alan fosil yakıtlı santrallar sera gazı salımları nedeniyle vazgeçilmek durumunda olduklarından ve buna karşın yenilenebilir enerji santrallar emre amadeligi sağlayamadığından nükleer santrallar yadsınamaz önem kazanıyor olmaktadır. Bu bağlamda gelecek projeksiyonu içinde nükleer santralların alabileceği ve üstleneceği rolün önemi vurgulanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Nükleer Santrallar, Yeşil Mutabakat, Çevre inisiyatifleri

Abstract

In this study, preference reasons of the nuclear power plants are explained in details and also in the mean of “European Green Deal”. First of all, nuclear power plants is evaluated by operative criteria for the energy policy. Operative criteria concepts also appreciate by the mean of “European Green Deal” and relations of nuclear power plants. Fossil fuel power plants could be supplied availability but have GHGs affects strongly. In the other hand nuclear power plants provide the environmental criteria with no GHGs emissions but having the highest availability factor. Therefore nuclear power plant is incortrovertible unique type of base power plants that are supply both availability and no GHG. As conclude of the study, nuclear power plants and their importance are discussed by the future projections in the devoloping plans.

Keywords: Nuclear Power Plants European Green Deal, Environmental Initiative.

Giriş

Enerji ve enerji çeşitleri içinde özellikle elektrik enerjisinin kullanımı öne çıkmakta ve yadsınamaz temel bir metafor niteliğine sahip bulunmaktadır. Dolayısıyla elektrik enerjisi, enerji politikaları içinde temel paradigma durumunda yer almaktadır. Bir başka deyişle elektrik üreten enerji santrallarının planlanması ve sürdürülebilir bağlamda devrede tutulması tüm ülkeler için kalkınma planlarının temel unsurunu oluşturmaktadır.

Nitekim, kişi başına enerji ve/veya elektrik tüketimi, ülkelerin gelişmişlik seviyesine ilişkin kullanılan önemli bir ölçüt durumudur. Kullanımı ve dönüşümünün kolay olması ve alternatif akım bağlamında uzak mesafelere taşınabilmesi elektrik enerjisine vazgeçilmezlik kazandırmaktadır [1,2].

Enerji politikaları içinde bu bağlamda elektrik santrallarının seçimi, planlanması ve hayata geçirilmesi ayrı bir önem taşımaktadır. Dolayısıyla, elektrik enerjisi ve elektrik üreten santrallar başat öneme sahip bulunmaktadır. Artan nüfus, teknolojik gelişmeler ve sanayileşme, elektrik enerjisine olan ihtiyacı arttıran başlıca etmenler olarak sayılabilir. İlaveten halen içinde bulunduğumuz bilgi çağı ve bu çağın getirdiği dijitalleşme ve Endüstri 4.0, Endüstri 5.0’a geçiş süreçleri bu gereksinimi katmerleştirerek arttırmaktadır.

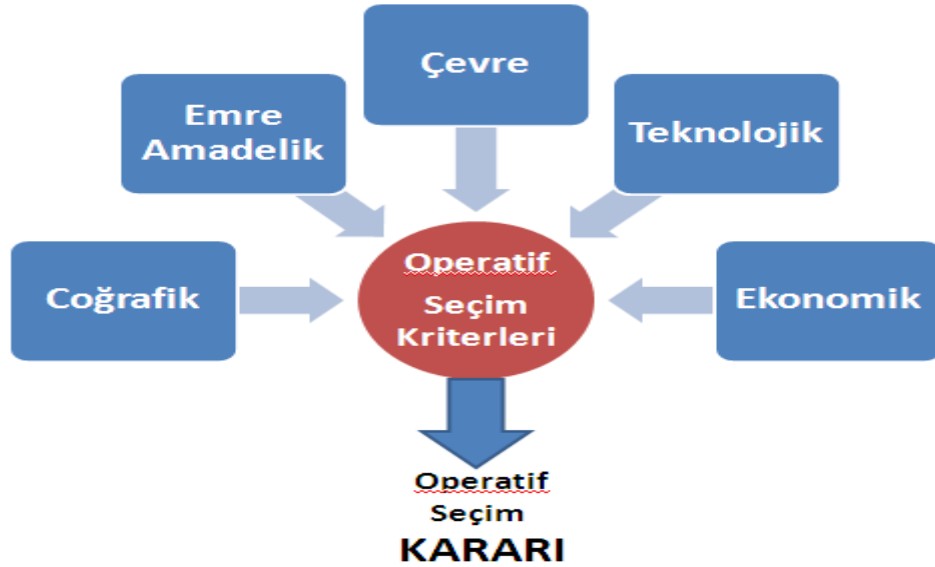
Enerji Politikaları İçin Operatif Kriterler

Enerji santrallarının çalıştırılabilmesi için farklı enerji kaynaklarından söz edilebilirse de her enerji kaynağından aynı oranda yararlanıldığı söylenemez. Enerji santrallarında yararlanılabilecek enerji kaynakları içinde tercihlemeler farklı operatif kriterler bağlamında yapılmaktadır. Enerji politikaları için operatif kriterler olarak; coğrafik, emre amadelik, ekonomik, teknolojik ve çevresel kriterlerden bahsedilebilmektedir.

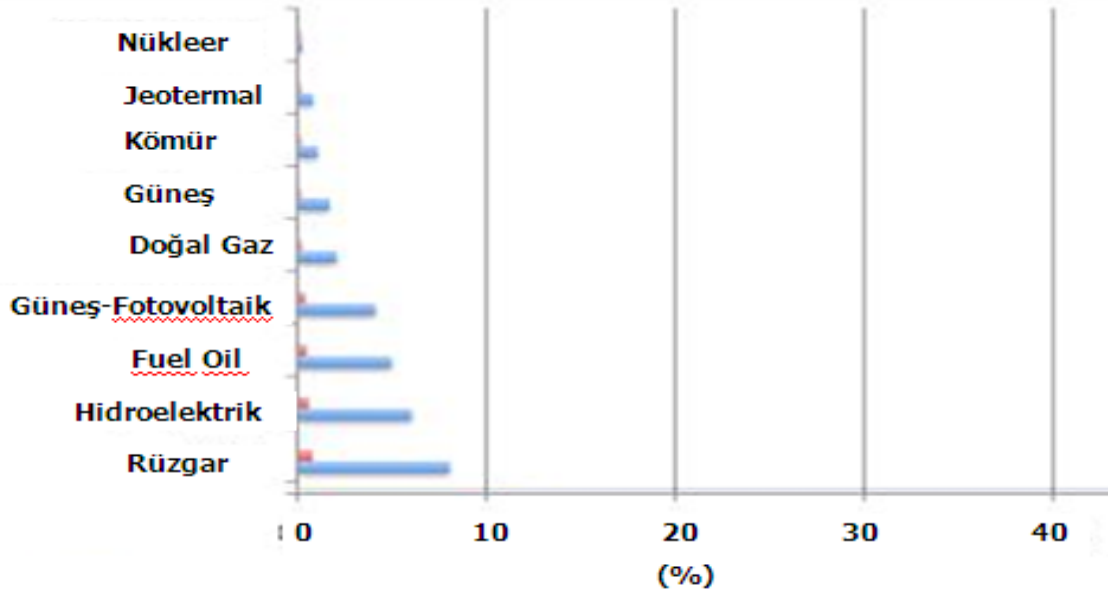
Çoğu kez enerji kaynaklarının tercihinde önde gelen kriter, emre amadelik olup bu kriterin sağlanıp sağlanmadığına ilişkin olarak santral tipi seçimi yapılmaktadır. Emre amadelik ile, santralların mevsimden ve gün içindeki durumdan etkilenmeyerek, tam güçte süreklilikle enerji üretebilen santrallar kastedilmektedir. İlaveten, farklı enerji kaynaklarının kullanımları değişik operatif kriterlerin etkinliğine de bağlı olarak farklılaşabilmektedir. Şekil 1’de operatif seçim kriterleri şematik olarak görülmektedir.

Coğrafi kriter ele alındığında, santral tipine göre yer seçiminde farklı parametreler önem kazanabilmektedir. Örneğin; kömür santralları kömür cevheri yakınında, rüzgâr santrallar rüzgâr potansiyeli olan bölgelerde, hidrolik santrallar uygun akarsu veya su kaynakları üzerinde, jeotermal santrallar yeraltı sıcak su kaynaklarının yeryüzüne çıktığı yerlerde, nükleer santrallar ise büyük su kaynaklarının kıyısında kurulmaktadır. Dolayısıyla coğrafi kriter santralın yer seçiminde etkin rol oynayabilmektedir.

Coğrafi kriter bağlamında ayrıca aranan ve istenen bir diğer vasıf da santralın en az alan kullanımı ile konuşlandırılabilir olmasıdır. Bu bakımdan nükleer santrallar en az alandan en büyük güç üretiminin sağlandığı santrallar olarak coğrafi kriter açısından da avantaj sağlamaktadırlar (Şekil 2). Bu konu çevrenin korunması bakımından da önem taşımaktadır.



Şekil 1 Enerji Kaynakları İçin Operatif Seçim Kriterleri [3]



Şekil 1 Enerji Santrallerinin Alan Kullanımı [4]

Teknolojik kriter kapsamında genel olarak ileri teknolojilerin kullanılması günümüzde (özellikle çevre kriterine uyumun sağlanması bağlamında) önem arz etmektedir. Ekonomiklik ise, yatırımcı için önde gelen bir unsur olmaktadır. Çoğu kez bu iki kriter paradoksal durumlar yaratabilmektedir. Bir başka deyişle ileri teknolojik yapıların kullanılması ekonomiyi negatif etkileyebilmektedir.

Nükleer santraller için söz konusu bu iki kriter incelendiğinde; nükleer santraller için yararlanılan nükleer teknoloji, ileri teknolojiler arasında ayrı bir yere sahiptir ve aynı zamanda diğer enerji santralleri ile ekonomik rekabet şartlarını da başarıyla sağlayabilmektedir. Bütün bunlardan ayrı olarak sanayi devriminden sonra, önceleri üzerinde fazla durulmayan çevre kriteri, günümüzde öne çıkmıştır ve nükleer santraller işletimleri sırasında (doğrudan) sera gazı salımı yapmadıklarından çevre kriterini de sağlayabilen önemli bir enerji politik seçeneği olarak kendini göstermektedirler.

Çevre Kriteri Açısından Değerlendirme ve Nükleer Santrallerin Yeri

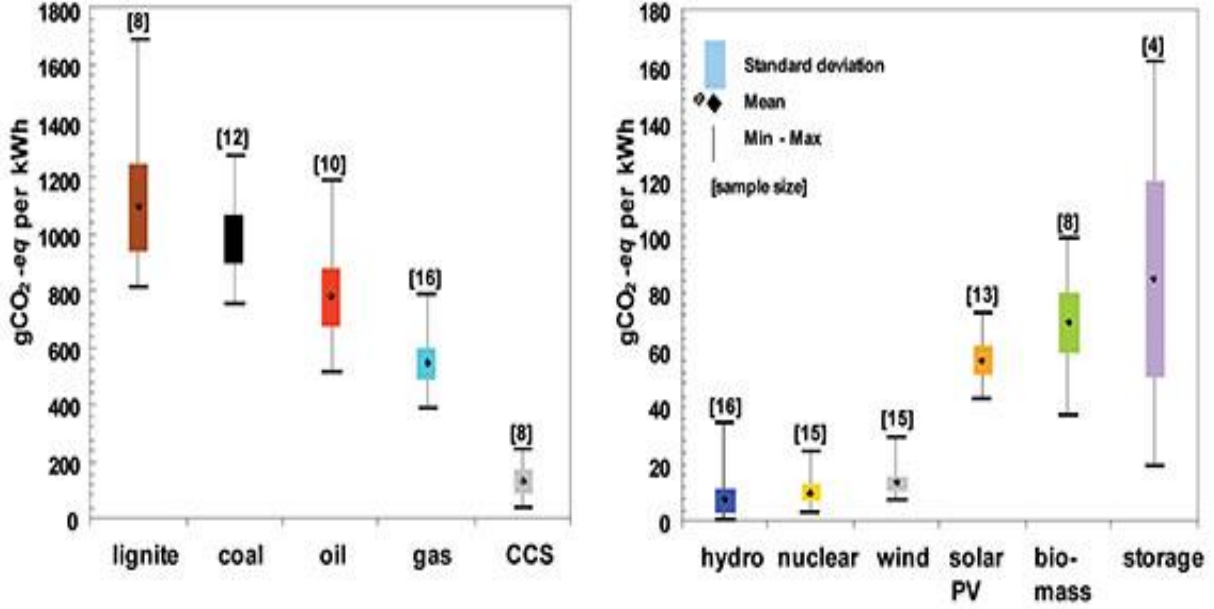
Fiziki ve biyolojik ortam bakımından çevre ele alındığında; insanlar ve ekolojik çevre için başlıca gereksinimler olarak; uygun atmosferik şartlar, uygun gıda, güneş ve su akla gelmektedir. Burada, uygun atmosferik şartlar ile; uygun oranda oksijen, karbondioksit, azot, kükürt, ozon vb gibi gazların bir arada ve sürdürülebilir olarak bulunması, bunlara ilave olarak uygun sıcaklık, nem oranı değerlerine de sahip olmaları kastedilmektedir. Bir başka deyişle, atmosferde bulunan gazların oranları ve bu oranların korunumu önemli olmaktadır. Burada özellikle oksijen ve karbondioksit miktarlarının uygun oranlarda olması ve bu oranların korunumu dünyadaki canlıların yaşamını yakından etkileyebilmektedir. Oysa, bu oranların korunumu, sanayi faaliyetlerimiz ve termik enerji santrallerimizin katkılarıyla günümüzde hayli kritik şartlara gelmiş bulunmaktadır.

Halihazırda başatlıkla kullanılan fosil yakıtlı konvansiyonel enerji santrallerinin devrede olmasıyla çevreye biteviye salınan sera gazları, bulunduğumuz çağın önemli sorununu oluşturmaktadır denebilir. Burada, sadece santralin işletimi sırasında değil, santrali oluşturan eleman, ekipman ve sistemlerin imalatı sırasında da büyük boyutlarda sera gazı salımına (dolaylı olarak) neden olunabilmektedir.

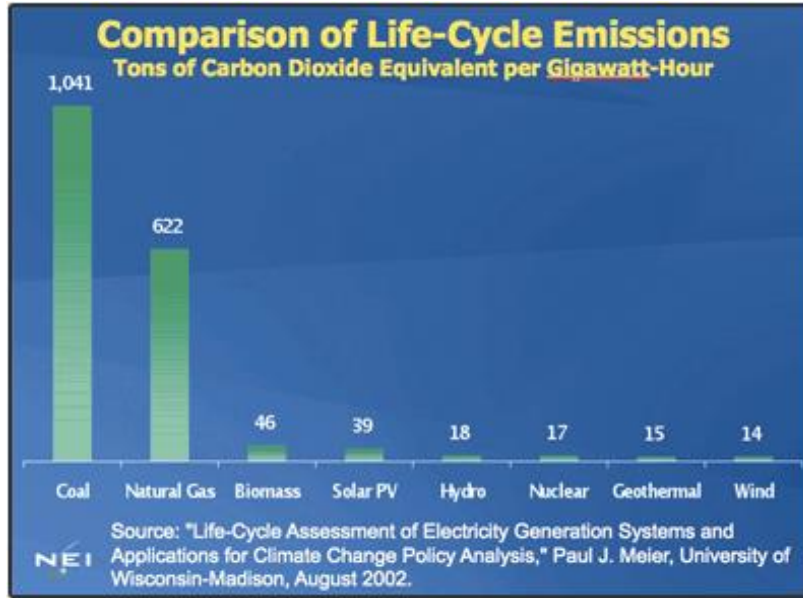
Şunu da belirtmek gerekir ki; bu elemanların, santrallerin ömrü boyunca bakımları, değiştirilmeleri ve kontrolleri için de yine doğrudan veya dolaylı olarak sera gazı salımları söz konusu olmaktadır. Sera gazları olarak esas itibarıyla karbon, azot ve kükürt oksitler kastedilmektedir. Bunların içinde en önemlisi bilindiği üzere karbondioksit (CO₂) olmaktadır. Bu nedenle çoğu kez değerlendirmeler CO₂ üzerinden yapılmaktadır. Şekil 2'deki grafikte enerji santrallerinin CO₂ salımları görülmektedir [5]. Şekil 3'te ise, farklı santrallerin tüm ömürleri boyunca neden oldukları CO₂ salımları mukayeseli olarak yer almaktadır.

Şekil 2 ve Şekil 3'ten de görüldüğü üzere, çevresel kriterler bakımından bakıldığında, nükleer santrallerin farklı enerji santrallerine göre işletmede ve santral ömrü boyunca doğrudan CO₂ salımlarının olmaması (dolaylı salımlarının ise düşük olması), üzerinde durulması gereken bir avantaj olarak öne çıkmaktadır.

Karbondioksitle birlikte sera gazlarının salımı bakımından iklim değişikliği ve küresel ısınmaya ilişkin senaryolar gündemdedir [7,8]. Bu bağlamda çevre kriteri kapsamında sera gazı salımının indikatörü olan CO₂ salımı açısından nükleer santraller en iyi seçeneklerden biri olmaktadır. Dolayısıyla fosil yakıtlı enerji santrallerine göre nükleer santraller öne çıkmaktadır.



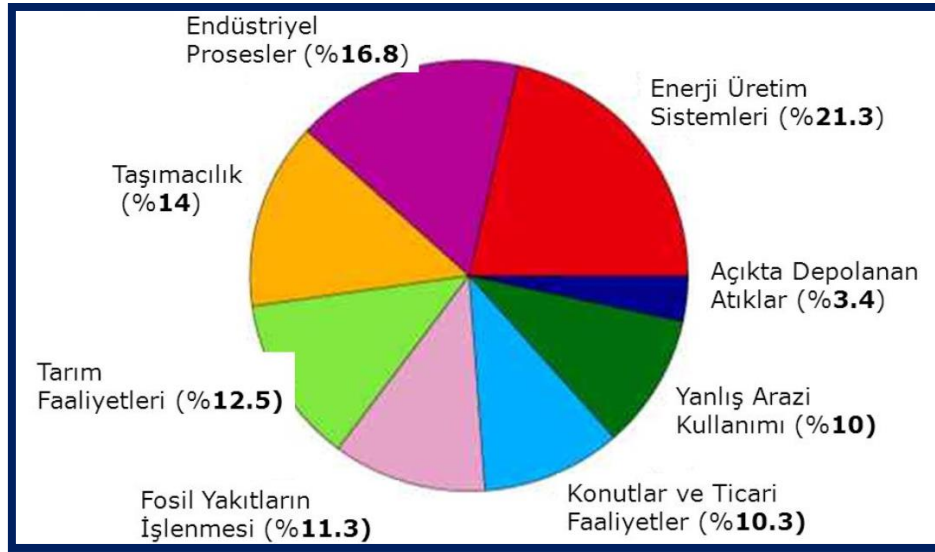
Şekil 2 Enerji Santrellerinin CO₂ Salımları [5]



Şekil 3 Tüm Ömürleri Boyunca Farklı Enerji Santrellerinin CO₂ Salımları [6].

Burada şunu da belirtmek gerekir ki; dünyada halen elektrik üreten santraller arasında başat santraller fosil yakıtlı santrallerdir. Bir başka deyişle kömür, fuel oil ve doğal gaz santrallerinin toplam enerji santrelleri içinde sahip olduğu büyük pay yadsınamayacak boyutlardadır. Oysa fosil yakıtların kullanılmasıyla sera gazı salımı

kaçınılmaz olarak ortaya çıkmaktadır. Keza, fosil yakıtların işlenmesi de sera gazı salımına sebep olmaktadır. Dolayısı ile enerji üretim sistemler içinde fosil yakıtlı santraller ve bu santrallerin yakıtlarının işlenmesi nedeniyle salınan sera gazları tüm faaliyetler içinde 1/3'lük bir orana sahip bulunmaktadır (Şekil 4).



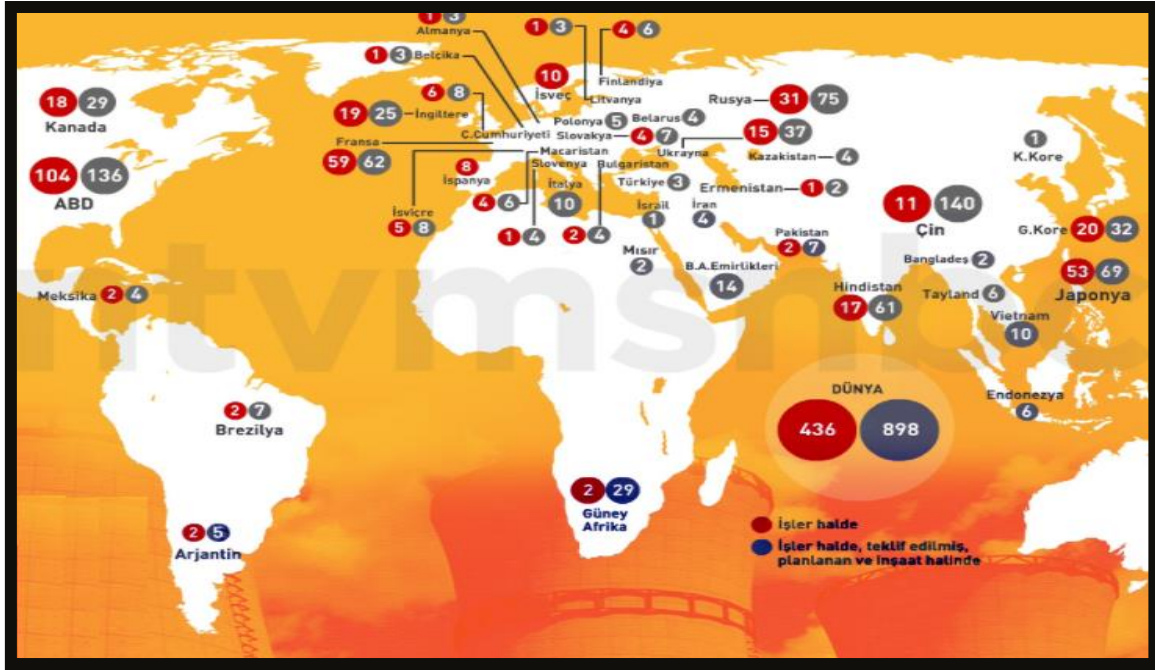
Şekil 4 Enerji Üretim ve Fosil Yakıtların İşlenmesinin İnsan Kaynaklı Sera Gazı Salımı İçinde Yeri [9].

Yeşil Mutabakat ve Nükleer Santrallerin İlişkisi

Artan iklim değişikliği etkileri ile toplumlarda, ülkelerde ve uluslararası kurum ve kuruluşlarca çevre bilincinin arttığı ve bu kapsamda dünya ülkelerinin farklı inisiyatifler geliştirdiği görülmektedir. Avrupa Birliği (AB) tarafından bu konuda “Avrupa Yeşil Mutabakatı (European Green Deal)” olarak nitelenen inisiyatif geliştirilmiş olup, 2050 yılına kadar nötr karbon (ve sıfır karbon) durumuna geçmek istendiği betimlenmektedir. Bu durumda sera gazı salımı olmayan enerji santralleri özellikle öne çıkıyor olmaktadır. Öte yandan Amerika Birleşik Devletleri (ABD) de “Yeni Yeşil İniyatif (New Green Deal)” adıyla Avrupa Yeşil Mutabakatı’na benzer kuralları içereceği anlaşılan bir inisiyatifi gündeme almayı (ve Kongre’ye sunmaya) hazırlanmaktadır.

Nükleer enerji santralleri, işletim sırasında sera gazı salımı olmayan ve aynı zamanda emre amadelik şartını sağlayabilen ve ekonomik bağlamda elektrik üretimi açısından rekabet edebilen yüksek teknolojiye sahip santraller olarak önümüzdeki süreçte daha çok kalkınma planlarına alınacaktır denebilir. Fosil yakıtlı santraller gibi emre amadeliliği sağladığı da göz önüne alındığında önemli seçeneği oluşturmaktadırlar. Zira, sera gazı olmayan yenilenebilir enerji santralleri, yazık ki emre amadeliliği sağlayamayan santraller durumundadırlar.

Bu durumda nükleer santraller yadsınamaz önem kazanıyor olmaktadır. Fazla olarak genel çevre açısından bakıldığında büyük kurulum gücüne karşın coğrafik olarak düşük saha kullanımı da nükleer santrallerin başka bir önemli avantajı olmaktadır. Nitekim, daha şimdiden pek çok ülke nükleer santrallara, enerji politikaları içinde yer vermekte ve/veya inşaatlarını planlamakta ve/veya programlamaktadırlar (Şekil 5).



Şekil 5 Dünyada İşletmede Olan, İnşa Halinde Olan ve Planlanan Nükleer Santraller [10]

Burada şunu da belirtmek yerinde olur ki; AB'nin Yeşil Mutabakat inisiyatifinin benimsenmesini takiben Fransa başta olmak üzere Macaristan, Polonya, Finlandiya, Bulgaristan, Hırvatistan, Çekya, Romanya, Slovakya ve Slovenya Ekim 2021'de ortak bir deklarasyonla talep mektubu hazırlamışlar ve AB Komisyonuna sunmuş bulunmaktadır. Söz konusu talep ile AB Komisyonu'na, modern nükleer santrallerin yeşil yatırım olarak kabul edilmesi ve bu konuda üye ülkeler arasında işbirliğinin artırılması talep edilmektedir [11]. Fransa 2022 bütçesi içinde nükleer enerjiye önemli bir meblağ ayırdığını da açıklamış bulunmaktadır.

2022 yılı başında AB Komisyonu'nun "Yeşil Yatırımlar"a ilişkin listeye son halini vererek açıklaması beklenmektedir. AB'de nükleer santrallere sahip çok sayıda ülke olduğu göz önüne alındığında, nükleer santrallerin "Yeşil Yatırım" listesi içinde yer alması büyük olasılıkla gerçekleşecektir.

Konu Türkiye açısından incelendiğinde, ülke ticaretinin önemli bir kısmı AB ile yapılmaktadır. Dolayısıyla Türkiye'nin kendini Yeşil Mutabakat inisiyatifi ile uyumlu hale getirmesi gerekmektedir. Bu bağlamda Türkiye, karbon salımını azaltmaya ilişkin olarak inisiyatif alması önemlidir. Ancak, bazı konularda zaten yol almış bulunmaktadır.

Zaman içinde karbon salımı düşük veya olmayan santrallara yönelmenin önemli olacağı anlaşılmaktadır. Bu kapsamda, Türkiye'de hidroelektrik santraller, rüzgâr santralleri ve güneş santralleri ile jeotermal santral yatırımları yapılmıştır ve ilgili yatırımlar halen de devam etmektedir. Fazla olarak emre amade, bazı santraller içinde yer alan (4 ünite) nükleer santral Mersin Akkuyu'da inşa halindedir. Yeni nükleer santral yapılmasına ilişkin de planlamalar yapıldığı ifade edilmektedir.

Sonuç

Tüm operatif kriterler, santral seçimi için önem arz etmektedir ve tüm kriterlerin bir arada düşünülmesi zorunluluğu söz konusudur. Ayrıca, burada önemli bir husus paradoksal durumların ortaya çıkmasıdır. Bir başka deyişle, bir kriterle ilişkin durum iyileştirilirken, diğer bir kriter bu iyileştirmeden negatif etkilenebilmektedir. Ancak, ülkeler için öncelikle, emre amade olarak nitelenen büyük güç üreten enerji santralleri gereklilik arz etmektedir.

Öte yandan "Yeşil Mutabakat" inisiyatifi orta ve uzun vadede talep güvenliği sorununu ortaya çıkaracak cesamette bir paradigma durumundadır denebilir. Burada şunu da belirtmek gerekir ki; Yeşil Mutabakat çevre inisiyatifi bağlamında ortaya çıkmış olmasına karşın çevresel olmaktan öte ekonomik, enerji politik ve veçheleri olan bir konu durumundadır.

Yeşil Mutabakat inisiyatifi bağlamında özellikle enerji sektöründe önemli etkilenmeler olacaktır. Fosil yakıtlı santrallerden öncelikle çıkılmaya çalışılacağı, zaman içinde ise tümüyle çıkılması hedeflendiği belirtilmektedir. Bu durumda baz santral olarak nükleer santrallerin öne çıkacağı öngörülmektedir. Öz olarak belirtmek gerekirse; enerji politik olarak nükleer enerji, yenilenebilir enerji, hidrojen, enerji ve kaynak verimliliği konularının önem kazanacağı ve emre amadelik bağlamında nükleer santrallerin yerinin de ayrı olacağı da söylenebilir.

Kaynaklar

- [1] A.B. Tuğrul, “Enerji Santralleri ve Farklı Yönlerden Mukayeseli Değerlendirilmesi”, 18. Uluslararası Enerji ve Çevre Konferansı ICCI-2012, İstanbul, 25-27 Nisan 2012, Bildiri Kitabı s:1-4.
- [2] A.B. Tuğrul, “Energy Policy and Interactions with Politics and Economics”, "International Conference on Energy Environmental Engineering- ICEEE 2014", 21-22 Kasım 2014, Paris-France, Proc. pp. 801-804.
- [3] A. B. Tuğrul, "Nuclear Energy in the Energy Expansion of Turkey", "Journal of Energy and Power Engineering, pp. 905-910, Oct.2011
- [4] [M. Monica, Figuring Land Use İnto Renewable-Energy Equation, 2010.
- [5] A. B. Tuğrul, “Türkiye'nin Enerji Açılımları”, "15. Uluslararası Enerji ve Çevre Konferansı ICCI-2009" İstanbul, 13-15 Mayıs 2009, Bildiri Kitabı s: 15-17.
- [6] D. Weisser, A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies, Energy 32 (2007) 1543-1559.
- [7] P.J. Meier, Life-Cycle Assessment of Electricity Generation Systems and Applications for Climate Change Policy Analysis, University of Wisconsin-Madison, August 2002.
- [8] A.B. Tuğrul, " İklim Değişikliği Konusuna Enerji Politik Bir Bakış", Enerji Dünyası, Kasım 2021, Sayı: 106, s: 10-11.
- [9] A.B. Tuğrul, "Paris İklim Değişikliği Anlaşmasına Enerji Politik Bir Bakış", EuroNewspost, Kasım-Aralık 2021, Sayı: 100, s: 42-46
- [10] <https://slideplayer.biz.tr/slide/2011860/8/images/7/SERA+GAZI+%C3%9CRETEN+KAYNAKLARIN+ORANI.jpg>
- [11] https://galeri.uludagsozluk.com/40/nukleer-santral_135737.jpg
- [12] AA, “Avrupa, enerji krizinden çıkışı "nükleer"de arıyor: Temiz enerji sayılsın Mektubu” 18.10.2021, (Avrupa, enerji krizinden çıkışı "nükleer"de arıyor (aa.com.tr))



İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN GÖÇ ÜZERİNE ETKİSİ: İKLİM GÖÇÜ

IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON MIGRATION: CLIMATE MIGRATION

İsmail Hakkı İŞCAN

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Bilecik, Türkiye.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2786-4928>

Özet

Küresel iklim değişiklikleri, göç eğilimlerini teşvik etme gücünü elde etmeye başlamaktadır. Artık iklim değişikliğine bağlı göç ve yerinden edilmeler, gelecekle ilgili bir endişe olmaktan çok yaşadığımız dünyanın bir gerçeği haline gelmiştir. Dünyanın birçok bölgesinde insanlar, şiddet ve istikrarsızlıklarla birlikte iklim değişikliğinin etkileri ile buldukları coğrafyadan başka bölgelere göç etmektedir. Ülke İçinde Yerinden Edilme İzleme Merkezinin (IDMC) hazırladığı rapora göre 2020 yılında 30,7 milyon insan, afetler nedeniyle ülke içinde yerinden edilmiştir. Rapor, bu yerinden edilmelerin büyük çoğunluğunun (% 98) hava ve iklim tehlikeleri nedeniyle gerçekleştiğini belirtmektedir. Orta Amerika'da aşırı kuraklık ve mahsul yetiştirmeyi imkânsız kılan aşırı hava koşulları, Bangladeş'teki öngörülemeyen muson selleri, Batı Afrika'da sel ve gıda kıtlığı gibi nedenler yüzbinlerce insanı yerinden etmektedir. Bu göç eğilimlerinden en yoksul ve iklime en duyarlı bölge ve ülkeler etkilenmektedir. Bu ülkeler çölleşme ve nüfusun tarıma bağımlılığı gibi nedenlerle en savunmasız olanlardır.

Göçler, iklim değişikliğinin olumsuz sonuçlarını yaşayan bölgelerden başka bölgelere (iklim iç göçü) gerçekleşebildiği gibi başka ülkelere de (iklim dış göçü) gerçekleşebilmektedir. 2018 yılında yayımlanan Dünya Bankası raporu, gelişmekte olan dünya nüfusunun %55'ini temsil eden üç bölgede, Sahra Altı Afrika, Güney Asya ve Latin Amerika'da, 2050 yılına kadar 143 milyondan fazla insanın iklim değişikliğinin etkilerinden kaçmak için kendi ülkeleri içinde taşınmaya zorlanabileceğini öngörmektedir. Diğer taraftan Dünya Bankasının 2021 tarihli raporunda ise iç iklim göçünün sıcak noktalarının 2030 yılı gibi erken bir tarihte ortaya çıkabileceği ve 2050 yılına kadar da yayılmaya ve yoğunlaşmaya devam edebileceği belirtilmektedir. Aynı raporda iklim değişikliğinin getirdiği yeni olumsuz koşullar nedeniyle önümüzdeki otuz yılda 200 milyondan fazla insanın göç etmesinin muhtemel olduğu, bu insanların dörtte birinin farklı ülkelerde daha iyi bir yaşam aramak amacıyla göç edebileceği tahmininde bulunmaktadır.

Dolayısıyla iklim değişikliğine yönelik göç eğilimleri, iklim iç ve dış göçünün kaynak bölgelerinin ortaya çıkarılmasının yanı sıra iklim değişimine duyarlı kurumsal ve hukuksal oluşumlarla sosyal destek sistemlerinin yeterliliği üzerinde de önemli etkiler doğuracaktır. Bu çalışma temelde dünya iklim iç ve iklim dış göç eğilimlerini ortaya koymayı hedeflemektedir. Aynı zamanda bu tür göçe maruz kalanlarla ilgili uluslararası söyleşme ve anlaşmalar da bu çalışmanın inceleme alanını oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İklim Değişikliği, Göç, İklim Göçü.

Abstract

The potency of global climate changes are beginning to induce migration trends, within country and between countries. Migration and displacement due to climate change have now become a reality of the world rather than a concern for the future. In many parts of the world, the people migrate from their geography to other regions due to the effects of climate change along with violence and instability. More than 30.7 million people were displaced in 2020 due to disasters, according to the report released by the Internal Displacement Monitoring Center (IDMC). The report declares that the vast majority (98%) of displacement is due to weather and climate hazards. Hundreds of thousands of people are displaced by extreme drought in Central America and extreme weather conditions that have made it impossible to crop growing, unpredictable monsoon floods in Bangladesh, floods and food shortages in West Africa. The poorest and most climate sensitive regions and countries are affected by these migration trends. These countries are the most vulnerable due to desertification and the dependence of the population on agriculture.

Migrations can take place from regions experiencing the negative consequences of climate change to other regions, as well as to other countries. A World Bank report published in 2018 predicts that by 2050, in three developing regions (Sub-Saharan Africa, South Asia, and Latin America) that together represent 55 percent of the developing world's population, more than 143 million people may be forced to relocate within their own countries to escape the effects of climate change. On the other hand, in the World Bank's 2021 report, it is stated that hot spots of internal climate migration may emerge as early as 2030 and may continue to spread and intensify until 2050. In this report, it is estimated that more than 200 million people are likely to migrate in the next three decades due to the new adverse conditions brought about by climate change. The report estimates that a quarter of these people may migrate in search of a better life in different countries.

Therefore, migration trends towards climate change will have important effects on the adequacy of institutional and legal formations and social support systems sensitive to climate change, as well as revealing the source regions of climate internal and external migration. This study basically aims to reveal the world climate internal and climate external migration trends. At the same time, this study examines the international conventions and agreements related to the victims of this type of migration.

Keywords: Climate Change, Migration, Climate Migration.

GİRİŞ

İklim değişikliğine bağlı gerçekleşeceği öngörülen birçok değişim, çok hızlı bir şekilde beklemeden gerçekleşmektedir. Öyle ki bu değişimler ülkeler için ekonomik, sosyal ve çok daha ötesi varoluşun bir tehdidi haline gelmektedir. Üstelik bu değişimlerin etkilerini yaşamaktan da hiçbir ülke muaf değildir. Bunu, daha önce görülmemiş ölçüde gerçekleşen su kıtlığının yaşandığı yerleşim yerlerinde, fırtınalı dalgaların yaşandığı, deniz seviyesinin yükselmeye başladığı kıyı bölgelerinde, bir zamanlar münbit tarım arazilerinde temel gıda ürünlerinin üretimlerinin artık sürdürülebilir olmaktan çıkmasıyla ve kuraklıkla görmekteyiz.

İklim değişiklikleri ile yarattığı çevresel tahribatlar arasındaki bağlantı, artık iyi bir şekilde anlaşılmakta ve hızla meydana gelen çölleşme, kuraklık ve yükselen deniz seviyesi gibi olaylarla kanıtlanabilmektedir. Bu tür çevresel değişikliklerin toplulu üzerinde oluşturduğu etkiler, özellikle insanların yerinden edilmeleri dolayısıyla ortaya çıkan göç hareketliliği yeni bir olgu da değildir. Doğası gereği, iklim değişikliği dolayısıyla insanların yerinden edilmesi hem doğal çevrenin bir sonucudur hem de doğal çevre üzerinde bir etkiye sahiptir.

Doğal ve/veya insana dayalı nedenlerle iklimde/ meydana gelen herhangi bir değişikliği ifade eden iklim değişikliği, oluşturduğu birçok olumsuzluklarla ve çevresel tahribatlar dolayısıyla bireyleri göçe zorlamaktadır. İklim değişiminden kaynaklı bu türde göç akımları, yakın geleceğimiz açısından büyük bir sorun olarak görülen küresel göç akımlarına kaynaklık teşkil eden çeşitli başlıklardaki sorunlara yeni bir boyut eklemiştir.

Diğer taraftan iklim değişimine bağlı göç konusunda uluslararası hukuki boyut, göçe kaynaklık eden diğer unsurlara göre çok daha fazla önem arz etmektedir. Zira iklimde ve coğrafi şartlarda meydana gelen bozulmanın oluşturduğu sorun tek bir bölge veya ülke ile sınırlı değil aksine küresel boyutludur. Diğer taraftan iklim değişiminin oluşturduğu olumsuzluklar da tek bir ülkenin sorumluluğunda ele alınıp çözüm üretilecek boyutta da değildir. Ayrıca iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin azaltılmasına yönelik uluslararası işbirliği ile bu temelde oluşturulan kalkınma planları doğrudan iklime bağlı göçmen sayısının azalmasını sağlayacağı açıktır. Bu tür çevresel trajediler, çok sayıda yerinden edilmiş insanı yaratarak, yaşanmaz koşullardan kaçmak için hem geçici hem de kalıcı göçü zorunlu kılmakla birlikte, çevresel mültecilerin ne ölçüde tanındığı ve bu tanınmanın nasıl bir koruma sağlayabildiği önemli bir sorundur.

Bu çalışmada öncelikle iklim değişimine bağlı göç kavramı üzerinde durulurken iklim değişimi dolayısıyla meydana gelen çevresel bozulmalar ve oluşan göç akımlarına yer verilecektir. İklim değişimine bağlı göçe yönelik uluslararası düzeyde hukuki düzenlemelerle ilgili tespitlerin yapılacağı izleyen bölümde ise bu türde göçe maruz kalanların korunmasına yönelik alınan önlemler ve yeterlilikleri üzerinde durulacaktır. Bu çalışmada kullanılan istatistiklerin alındığı çeşitli raporlarda iklim değişikliğine bağlı göçü ve göç edenleri ifade etmek için kavramsal olarak "ülke içi yerinden edilenler" ile "ülkeler arası yerinden edilenler" kullanıldığı gibi sırasıyla "iklim iç göçü" ve "iklim dış göçü" olarak da adlandırılmaktadır.

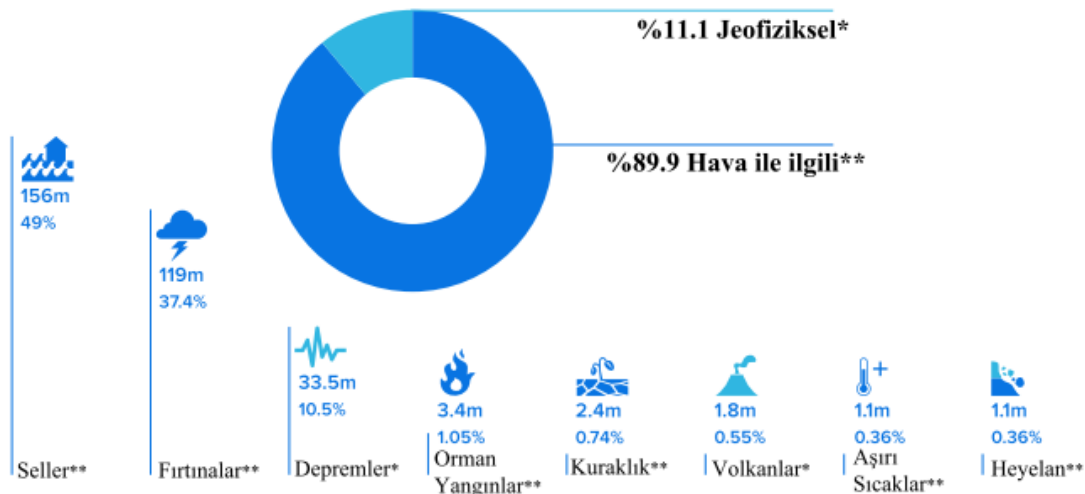
KAVRAMSALLAŞTIRMA ÇABALARI İLE İKLİME BAĞLI GÖÇ VE İKLİM GÖÇMENİ

İklim değişikliği nedeniyle yerinden edilenlerin durumu düşünüldüğünde, ifade açısından uzlaşılabilir ve daha popüler olan “çevresel mülteciler” kavramıdır. Doğası gereği, iklim değişikliğinin yerinden edilmesi hem doğal çevrenin bir sonucudur hem de doğal çevre üzerinde bir etkiye sahiptir, bu nedenle çevresel mültecilere ilişkin var olan söylemin incelenmesi doğal bir başlangıç noktası olarak görünmektedir (Williams, 2008: 506).

Zorunlu yer değiştirmeye maruz kalanın isteği dışında gerçekleşen ve çevresel olayların tetiklediği iklim değişikliğine dayalı göçler, normalde zorunlu göç kapsamında ele alınabileceği şeklinde değerlendirilebilirken, uluslararası hukuki düzenlemelerde bu konuda kavramsal bir karmaşanın yaşandığını görmek mümkündür. İklim değişikliğinin bir sonucu olarak meydana gelen yerinden edilme, ırk, din, milliyet veya belirli bir sosyal gruba veya siyasi gruba mensubiyet dolayısıyla oluşan baskıların mültecilerle ilişkilendirilmesi gibi daha geleneksel fikirlere kıyasla nispeten yeni bir kavramlaşmadır. Ancak sorunun içeriği aynıdır. O da bireylerin dış (ve büyük ölçüde yönetilemez) faktörler nedeniyle zorla yer değiştirmesidir (Williams, 2008: 504).

Çeşitli doğal-çevresel bozulmalar (su kaynaklarının azalması, tarım alanlarının azalması ve toprak verimliliğinin düşmesi, kuraklık, deniz seviyesinde meydana gelen artışlar vb.) ile doğrudan insan kaynaklı etkenler dolayısıyla meydana gelen çevresel felaketler, bölgede yerleşik insanların yaşamlarını idame ettirmeleri için gerekli asgari şartları ortadan kaldırmaktadır ve bu insanları aynı ülkede yer alan diğer bölgelere veya diğer ülkelere göçe zorlayabilmektedir. Göçe zorlanan bu kişiler ile ilgili uluslararası hukukta henüz bir kavramsallaştırılma yapılmamış olsa da, konu hakkında yapılan akademik çalışmalarda ve uluslararası literatürde bu kişiler “iklim mültecileri”, “çevre mültecileri” veya “iklim göçmenleri” kavramlarıyla adlandırılmaktadırlar (Külüştü, 2020: 1180). Yapılan çalışmalarda İklim değişikliğine dayalı felaketler dolayısıyla gerçekleşen göç ve göç edeni tarifleyen “iklim göçü/göçmeni” gibi kavramlar kullanılmakla birlikte uluslararası hukuk açısından bu kavramlar tanınmamakta, yaşanan olumsuzluklar dolayısıyla ülkeyi terk etmenin söz konusu olmadığı durumlarda mülteci kavramı yerine “ülke içi yerinden edilen” kavramının kullanıldığı görülmektedir (Ekşi, 2016: 18).

Uluslararası Acil Durumlar Veri Tabanı (EM-DAT) 2019 yılında tüm dünya üzerinden 396 doğal afet kaydedildiğini, meydana gelen afetler dolayısıyla 95 milyon insanın etkilendiğini ve 11.755 ölümün gerçekleştiğini ve dünya genelinde 103 milyar doları tutarında ekonomik kaybın meydana geldiğini rapor etmektedir. Bölge olarak Asya bölgesinin en yüksek etkiye maruz kaldığı ve bu bölgenin afet olaylarının %40'ını, ölümlerin %45'ini ve etkilenenlerin %74'ünü oluşturduğu belirtilen raporda toplam ölümlerin yaklaşık %20'sinin ve afetlerden etkilenen toplam insan sayısının %24,5'inin de Hindistan'da gerçekleştiği tespit edilmektedir. Afet türü açısından ise seller, meydana gelen ölümlerin %43,5'ini oluşturan en ölümcül afet türüken, bunu %25 ile aşırı sıcaklıklar ve %21,5 ile fırtınalar izlemektedir. 2019 yılında fırtınalar, etkilenen toplamın %35'ini oluşturarak en fazla sayıda insanı etkilemiş, bunu %33 ile sel ve %31 ile kuraklık izlemiştir (EM-DAT, 2020: 3)



Şekil 1: Afetlere Göre Yeni Yer Değiştirmeler: Tehlikelere Göre Dağılım (2008-2020)

Kaynak: IDMC, 2021: 48.

Küresel ölçekte iklim değişikliğine bağlı gerçekleşen yer değiştirmelere neden olan sel, fırtına ve kuraklık gibi aşırı hava olayları, tüm afetlere bağlı yer değiştirmelerinin %89'undan fazlasını oluşturmaktadır (Şekil 1). Norveç merkezli Ülke İçinde Yerinden Edilme İzleme Merkezinin (IDMC) raporuna göre 2008-2020 yılları arasında meydana gelen en önemli afet türleri arasında seller, fırtınalar ve depremler ilk üç sırada yer almaktadır. Her üç afet türüne bağlı olarak toplam yerinden edilenlerin oranı %96,9'dur. Rapor, bilim insanları arasında iklim değişikliğinin diğer faktörlerle birlikte gelecekte yerinden edilmeyi artıracığı konusunda geniş bir fikir birliği söz konusu olduğunu ifade etmektedir. Rapora göre yapılan araştırmalar, dünya nüfusunun şu anki seviyesinde kalması durumunda bile, küresel ısınmanın her bir derecesinde sel kaynaklı yerinden olma riskinin %50'den daha fazla artacağını göstermektedir (IDMC, 2021: 48).

Beyaz Saray tarafından Ekim 2021 tarihinde yayımlanan “İklim Değişikliğinin Göç Üzerine Etkisi Raporu”nda ve Dünya Bankası'nın iklim değişimden en çok etkilenen bölgelerle ilgili hazırladığı raporlarda İklim değişikliği, iklim şartlarında ve özelliklerinde ölçülebilir ve uzun yıllar boyu gerçekleşen değişiklikler olarak tanımlanmaktadır. Bu değişiklikler çevresel (doğal) etkenler dolayısıyla meydana gelebildiği gibi insan faaliyetleri sonucu da oluşabilmektedir. Diğer taraftan ilgili kaynaklarda yer alan İklim değişikliği ile ilgili göç kavramı ise iklim değişikliğinin büyük ölçüde geçim kaynakları olarak addedilen, su mevcudiyeti ve tarımsal ürün verimliliği üzerinde oluşturduğu (olumsuz) değişimlere atfedilen göçtür. Konu hakkında zikredilen raporlar iklim göçmenlerini veya iklim göçünü iklim değişikliğine bağlı meydana gelen göç nedeniyle ülkeler içinde veya ülkeler arasında hareket eden insanlar olarak tanımlanmaktadır (White House, 2021: 33; WB, 2018: 7; WB, 2021: 8).

İklim değişikliğine bağlı göçe maruz kalanlar, birçok farklı ayırıma tabi tutulmaktadır. Buna göre İklim değişikliğine dayalı daimi ve geçici yer değiştirmelere dayalı geçici, uzun süreli ve daimi iklim mültecileri ayırımı yanında iklim değişikliğine neden olan faktörlere bağlı insan ve doğal kaynaklı felaketselere dayalı ayırım da yapılmaktadır. Çok daha yaygın olarak kullanılan ayırım ise iklim değişikliğine neden olan olumsuzluklar dolayısıyla ülkeler arası yer değiştirmeler ile aynı ülke içinde gerçekleşen ülke içi yerinden edilmeler şeklindedir (Williams, 2008: 506-507).

Bu ayırıma göre iklim değişikliğine bağlı göç edenlerin büyük bir kısmı, ülke dışına çıkmadan kendi ülkesi içerisinde yer değiştirmek zorunda olan insanlardan (ülke içinde yerinden edilen insanlar- Internally Displaced People – IDP) diğer kısmı ise başka ülkelere gitmek durumunda kalan insanlardan (Uluslararası yerinden edilmiş kişiler/sınır ötesi yer değiştirme – Internationally Displaced People/Cross-border Displacement) oluşmaktadır.

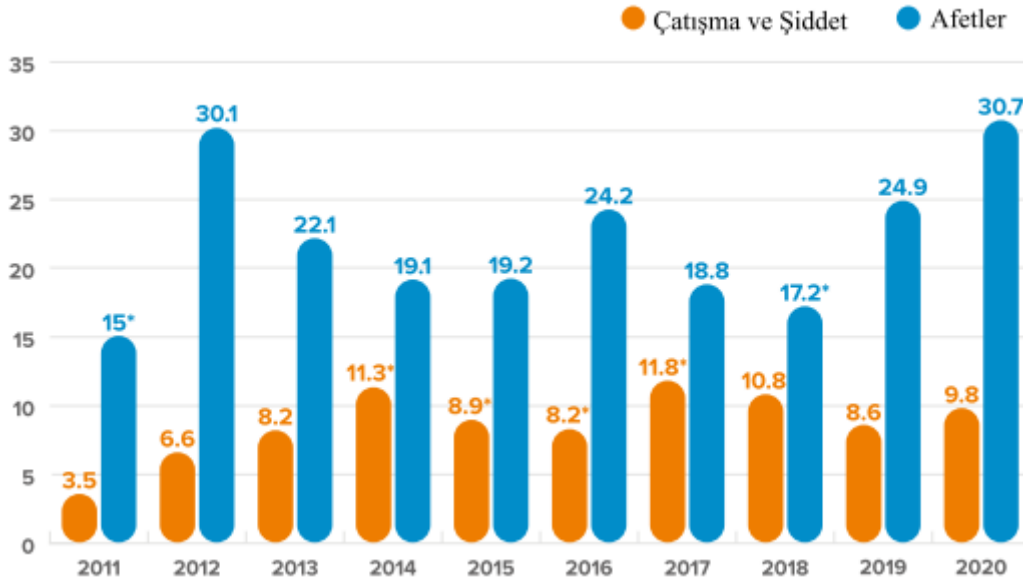
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE BAĞLI GÖÇ İSTATİSTİKLERİ

Gelişmekte olan ülkeler nüfusunun %55'ini temsil eden Sahra Altı Afrika, Güney Asya ve Latin Amerika olmak üzere üç bölgeye odaklanan ve 2018 yılında Dünya Bankası tarafından yayınlanan rapor, iklim değişikliğinin 2050 yılına kadar on milyonlarca insanı kendi ülkeleri içinde göç etmeye iteceğini tahmin etmektedir. Rapor somut iklim ve kalkınma eylemi olmadan, 143 milyondan fazla insanın -veya bu üç bölgenin nüfusunun yaklaşık % 2,8'inin- iklim değişikliğinin etkilerinden kaçmak için kendi ülkeleri içinde taşınmaya zorlanabileceğini öngörmektedir. Sahra Altı Afrika'da yaklaşık 86 milyon, Güney Asya'da 40 milyon ve Latin Amerika'da 17 milyon insan iklim değişiminin getirdiği zorluklar dolayısıyla ülke içi göçe yönelecektir. Raporda göre bu tür bir göçün iklime dayalı en temel nedenleri olarak su mevcudiyetinin ve mahsul verimliliğinin düşük olmasını, kuraklık ve yükselen deniz seviyesi ile fırtınalı dev dalgalanmaları gösterilmektedir (WB, 2018: 19). Rapor, üç bölgede iklim değişikliği, göç ve kalkınma arasındaki bağa ve ülkeler arası göçten ziyade ülke içi göçe odaklanmakta, kuraklık, mahsul yetersizliği ve yükselen deniz seviyesi gibi yavaş başlayan iklim değişikliğinin etkilerinden kaçmak için daha fazla insanın uluslararası değil, ulusal sınırlar içinde hareket edeceğini öngörmektedir.

Dünya Bankasının 2021 yılında yayınladığı ve 2018 yılı raporunun devamı niteliğindeki raporunda ise 2050 yılına kadar altı Dünya Bankası bölgesinde 216 milyon kadar insanın iklim iç göçmeni olabileceğini tahmin etmektedir. Bu bölgeler, Sahra Altı Afrika 85,7 milyon (toplam nüfusun %4,2'si), Doğu Asya ve Pasifik, 48,4 milyon (toplam nüfusun %2,5'i), Güney Asya, 40,5 milyon (toplam nüfusun %1,8'i), Kuzey Afrika, 19,3 milyon (toplam nüfusun %9,0'u), Latin Amerika, 17,1 milyon (toplam nüfusun %2,6'sı) ve Doğu Avrupa ve Orta Asya, 5,1 milyon (toplam nüfusun yüzde 2,3'ü) (WB, 2021: 22).

Her iki rapordan da İklim değişimine dayalı ülke içi göç, en yoksul ve iklim açısından en savunmasız, yüksek ölçüde sosyal ve ekonomik sorunların yaşandığı bölgelerde gerçekleşeceği anlaşılmaktadır. Raporlarda incelenen bölgelerden, Sahra Altı Afrika'nın en fazla sayıda iç iklim göçmenine sahip olduğu tahmin edilmektedir. Bölge, hava şartları itibarıyla kurak alanlara sahip olması ve coğrafi olarak da kıyı şeritlerinde deniz seviyesinde yaşanacak artışlar dolayısıyla iklim değişikliğinin etkilerine karşı oldukça hassastır. Bu tür az gelişmiş bölgelerin en karakteristik özeliği, iklim şartlarına son derece duyarlı tarıma dayalı istihdam yapılarıdır. Ayrıca Dünya Bankasının son raporunda Kuzey Afrika'nın toplam nüfusa göre en büyük iç iklim göçmen payına sahip olmasının beklendiği görülmektedir. Rapora göre bunun nedeni, büyük ölçüde şiddetli su kıtlığının yanı sıra yoğun nüfuslu kıyı bölgeleri ile Nil Deltası'ndaki deniz seviyesinin muhtemel yükselmesinin etkileridir. Rapor ayrıca 2050 yılına kadar 19,9 milyona varan iç iklim göçmeniyle Bangladeş'in, tüm Güney Asya bölgesi için öngörülen iç iklim göçmenlerinin neredeyse yarısına sahip olacağını tahmin etmektedir (WB, 2021: 22).

Norveç Mülteci Konseyi (NRC) Ülke İçinde Yerinden Edilme İzleme Merkezi (IDMC) tarafından yayınlanan raporda ise 2020 yılı sonu itibarıyla dünya genelinde ülke içinde yerinden edilmiş kişilerin sayısının toplam 55 milyona ulaştığı, bunun %85'ten fazlasının çatışma ve şiddetten diğerlerinin ise afetler nedeniyle yerlerinden edildiği bildirilmektedir. Raporda 2020 yılında yaklaşık 40.5 milyon yeni yerinden edilmenin gerçekleştiği, bu sayıda afetler dolayısıyla yerinden edilmenin (30,7 milyon) çatışma ve şiddet dolayısıyla gerçekleşenden (9,8 milyon) üç kat fazla olduğu yer almaktadır (IDMC, 2021: 3). Ayrıca IDMC'ye göre 2008'den bu yana yılda ortalama 24,5 milyon yeni yer değiştirme olayı gerçekleşmiştir. Bu rakam, ortalama her gün 67.000 yer değiştirmeye eşdeğerdir (IDMC, 2021: 83).



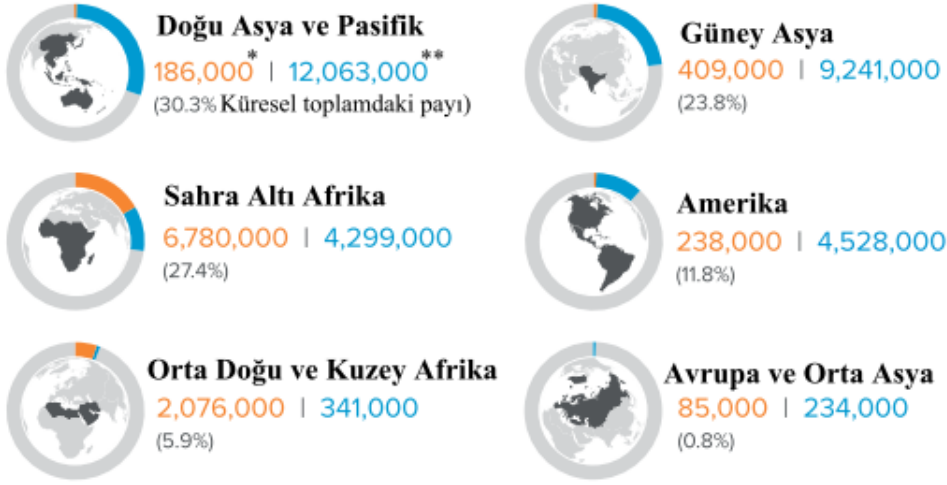
Şekil 2: Dünya Çapında Çatışma, Şiddet Ve Afetler Nedeniyle Yeni Yerinden Edilmeler
(Milyon kişi-2011-2020)

Kaynak: IDMC, 2021: 8

Şüphesiz 2020 yılında baş gösteren Covid salgını nedeniyle ülkeler tarafından alınan önlemler, yerinden edilmeler konusundaki insani çabaların büyük ölçüde önüne geçmiş aynı zamanda soruna kalıcı çözümler aramayı da güçleştirmiş ve geciktirmiştir. Pandemi şartlarında sosyal mesafe ve hijyen önlemlerine uyma zorunluluğu afetlere müdahaleyi güçleştirmiş, bir çok kişi enfeksiyon korkusuyla erken uyarılara maruz kaldığı evlerinden çıkmamıştır. Ancak bu halde bile 2020 yılındaki afetlerde yerinde edilme rakamı son on yılın en yüksek rakamıdır.

40.5 Milyon Yeni Yer Değiş tirmeler

9.8 Milyon: Çatış ma ve Şiddet* - 30.7 Milyon: Afetler**

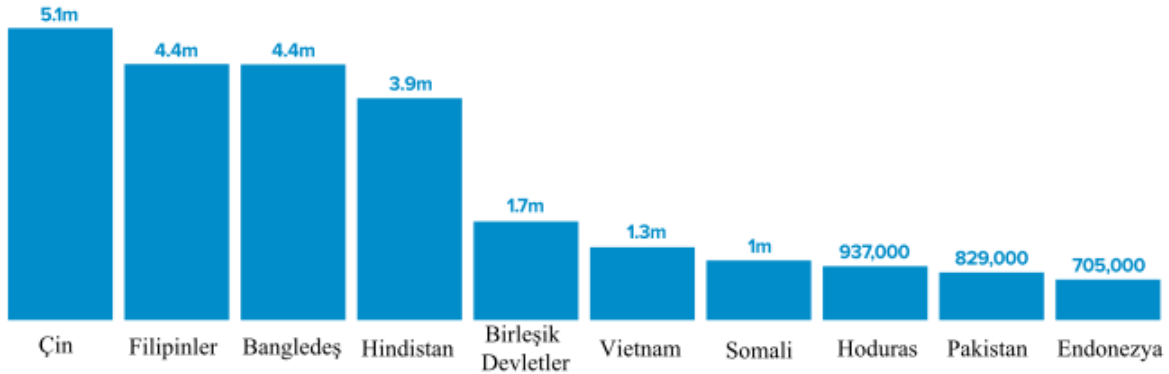


Şekil 3: Bölgelere Göre Çatış ma, Şiddet Ve Afetlere Göre Yeni Yerinden Edilmeler (2020)

Kaynak: IDMC, 2021: 8

IDMC'nin raporuna göre çatış ma, şiddet ve afetler, 2020 yılında 149 ülke ve bölgede 40,5 milyon yeni ülke içinde yerinden edilmeyi tetiklemiştir. Demokratik Kongo Cumhuriyeti, Suriye ve Etiyopya gibi uzun süreli ülke içinde yerinden edilme durumunda yaşayan en fazla sayıda insana ev sahipliği yapan ülkelerde çatış malar azalmadan devam etmiştir. Şiddet, Mozambik, Burkina Faso ve Orta Afrika Cumhuriyeti'nde hızlı bir şekilde artarak bu bölge ve ülkelerde önemli sayıda insanı evlerinden olmaya zorlamıştır. Yemen ve Somali gibi ülkelerde yaşanan felaketler, çatış malar nedeniyle yerinden edilmiş birçok kişiyi yeniden bu bölgelerden kaçırmaya zorlamıştır (IDMC, 2021: 9).

Diğer taraftan küresel çapta 2020 yılında meydana gelen yeni yerinden edilmelerin dörtte üçünden fazlası (30,7 milyon) afetler dolayısıyladır. Afetler ise büyük oranda fırtına ve sel gibi hava koşulları dolayısıyla oluşan tehlike kaynaklıdır. 2020 yılında bölgesel olarak Doğu Asya - Pasifik ve Güney Asya'daki afetler dolayısıyla meydana gelen çoğu yer değ iştirmelerin nedeni tropikal fırtınalar, muson yağ murları ve sellerdir. Bu bölgelerde yer değ iştirmelerin çoğu, önleyici tahliyeler biçiminde gerçekleş miş olmasında rağmen bazı afetlerdeki konut yıkımının boyutu, önemli sayıda insanın uzun süreli yerinden edilme olasılığıyla karşı karşıya olduğunu göstermektedir. Ülke bazında ise Çin, Filipinler ve Bangladeş'te, çoğu önleyici tahliye olmak üzere her birinde yaklaşık dört milyondan fazla insan yeni yer değ iştirme durumuyla karşı karşıya kalmıştır (IDMC, 2021: 10).



Şekil 4: Afetler Nedeniyle En Fazla Yeni Yerinden Edilenlerin Bulunduđ u Ülkeler (ilk On Ülke-2020).

Kaynak: IDMC, 2021: 15.

Dünya Bankası (2018) raporu, iklim değişikliği etkileri nedeniyle geçim sistemlerinin giderek daha fazla tehlikeye girdiği alanlarda iklim değişimi kaynaklı “dışarı göçün” de artacağı öngörüsünde bulunmaktadır. Bunda da temel etkenler arası özellikle kıyı şeritlerin deniz seviyesinde yaşanan artışlarla birlikte tarım alanlarının elverişsiz hale gelmesi olarak gösterilmektedir. Örneğin Etiyopya'nın kuzey yaylalarında, azalan su mevcudiyeti ve düşük tarımsal ürün verimliliği, iklim göçmenlerini yağmurla beslenen ekili alanlardan uzaklaştıracağı tahmin edilmektedir. Etiyopya'nın en büyük şehri olan Addis Ababa bile, giderek daha fazla tahmin edilemeyen yağışlara bağımlı olması nedeniyle daha yavaş nüfus artışı ile karşı karşıyadır. Raporda Bangladeş'teki Dakka ve Tanzanya'daki Dar es Salaam'ın büyük şehirleri de yükselen deniz seviyesi ve fırtına dalgalanmaları nedeniyle azalan nüfus artışının yaşanacağı bölgeler olarak gösterilmektedir (WB, 2018: 22).

Diğer taraftan iklim değişikliğine dayalı iç göçün tarım için daha iyi iklim koşullarına sahip yerlerde ve daha iyi geçim fırsatları sağlayabilen şehirlerde ortaya çıkacağı tahmininde bulunan Dünya Bankası raporunda, iklim değişimine dayalı gerek iç ve gerekse dış göçe konu olan alanlarda 2050 yılına kadar sayı ve mekânsal boyut açısından artış yaşanacağı tahmin edilmektedir (WB, 2018: 22).

Gerek ülke içi ve gerekse ülkeler arası yerinden edilme, etkilenenlerin yaşamlarını ciddi şekilde bozma eğilimindedir. Bu durum bazen onlara yeni fırsatlar sunarken, çoğu zaman refahlarını ve mutluluklarını baltalamaktadır. Yerinden edilenler evlerinden koparıldıkları ve varlıklarından, geçim kaynaklarından ve sosyal çevrelerinden ayrıldıkları için geçimlerini sağlama yetenekleri tehlikeye girebilmektedir. Dolayısıyla yerinden edilme, kişilerin kendileri için, ev sahibi topluluklar, devlet kurumları ve insani yardım kuruluşları için de ödenmesi gereken çeşitli maliyetler yaratmaktadır.

İklim değişikliği kişilerin yerinden edilme riskini arttırmakla birlikte bu hususta tek faktör de değildir. İklim değişikliği dolayısıyla meydana gelen çevresel felaketler karşısında bir dizi sosyal ve ekonomik unsurun riskin itici güçleri olarak ele alınması gerekir. Bu kapsamda IDMC'nin raporunda ülke içinde yerinden edilen bireyler, topluluklar ve ekonomiler için önemli bir ekonomik yük oluşturduğu da belirtilerek 2020 yılında bir yıllık yerinden edilmenin küresel maliyetinin 20,5 milyar dolar olduğu, bu rakam içerisinde ülke içi yerinden edilen insanların barınma, eğitim, sağlık ve güvenlik ihtiyaçları ile gelir kayıplarının hesaba katıldığı ifade edilmektedir (IDMC, 2021: 3). Bunun dışında yerinden olmanın ekonomi üzerindeki uzun vadeli sonuçları ile ev sahibi topluluklar ve/veya kaynak bölge toplulukları üzerindeki etkilerinin maliyeti de söz konusudur ve bu miktar içerisinde de değildir.

IDMC, 18 ülkeden aldığı verilerle dünya genelinde yerinden edilmenin bir yıllık yerinden edilen kişi başına ortalama ekonomik etkisinin yaklaşık 370 dolar olduğunu hesaplamaktadır. Bu ortalama Afganistan'da 109 dolar düzeyindeyken Suriye'de 830 dolara çıkmaktadır. Merkezin yapmış olduğu hesaplamalarda afetlerin tetiklediği daha küçük ölçekli ve daha kısa vadeli yer değiştirmelerin ekonomik etkilerinin kayıt dışı kalma eğiliminde olduğu belirtilmektedir. Bu etkilerin henüz hesaplanmadığı, ancak küresel düzeyde toplandığında milyarlarca dolara çıkabileceği ifade edilmektedir (IDMC, 2021: 13).

Dünya Bankası Raporlarında, raporların odaklandığı bölgelerde iklim iç göçünü 2050'ye kadar %80 oranında azaltılabileceği, bu konuda sera gaz salınımlarının azaltılmasının, İklim göçünü kalkınma planlamasına dahil edilmesinin ve iç iklim göçü anlayışını geliştirmeye yönelik yatırım yapılmasının yardımcı olabileceği ifade edilmektedir (WB, 2018: 25; WB, 2021: 28-31).

ULUSLARARASI HUKUKTA İKLİME DAYALI GÖÇE/GÖÇMENE DAİR DÜZENLEMELER

Uluslararası hukukta iklim değişikliği dolayısıyla zorunlu yer değiştirme ve yer değiştiren kişilerle ilgili bir tanımlama, koruma veya kolaylaştırıcı çözümler üretecek bir mekanizma bulunmamaktadır. Konu hakkında ilk ele alınacak hukuki metin ve çevresel mültecileri tanıma ve onlara yasal statü verme girişimlerinin yönlendirildiği sözleşme 1951 Mültecilerin Hukuki Durumuna Dair Cenevre Konvansiyonu'dur. Savaş sonrası Avrupa'da artan mülteci akışına yanıt olarak oluşturulan ve 1951 Mülteci Sözleşmesi olarak da ifade edilen metin, mülteci statüsünü oldukça dar bir yasal yorumla sınırlayan kısıtlayıcı bir tanım benimsemektedir (Williams, 2008: 507). Sözleşmeye göre mülteci, “ırkı, dini, milliyeti belirli bir toplumsal gruba üyeliği veya siyasi düşünceleri nedeniyle takibata uğrayacağından haklı olarak korktuğu için, vatandaşı olduğu ülke dışında bulunan ve vatandaşı olduğu ülkenin himayesinden istifade edemeyen veya korkudan dolayı istifade etmek istemeyen ya da uyuşu yoksun önceden ikamet ettiği ülke dışında bulunuyorsa oraya dönmeyen veya korkudan dolayı dönmek istemeyen yabancı” şeklinde tanımlanmaktadır (BMMYK, 1998: 68). Bu tanımlamada öngörülen nedenler dolayısıyla ülkesini terk ederek başka bir ülkenin korumasını talep eden kişi,

iddia ettiği hususlar doğrulanıncaya kadar “sığınmacı”, iddiaların doğrulanması ile de “mülteci” statüsüne geçmektedir (İşcan ve Çakır, 2019: 182).

Sözleşme kapsamında mülteci statüsü şartının iki temel unsuru vardır. Bunlar, “*haklı bir zulme uğrama korkusu*” ile zulmün sebeplerinin “*ırk, din, milliyet, belirli bir sosyal gruba mensubiyet veya siyasi görüş*” ile sınırlı olmasıdır. Bu tanımda çevresel değişimin yarattığı mülteciler için açık bir hüküm yoktur. Ayrıca iklim değişikliğine dayalı göçün nedenleri arasında yer alan kasırgalar, seller, kuraklıklar veya mahsul yetiştirememe gibi nedenler, yukardaki hukuki metinde yer alan ve bir statü belirleyen nitelikler arasında mevcut değildir.

Ayrıca çevresel değişimin bir sonucu olarak ülke içi yerinden edilenler, teorik olarak da olsa hala ulusal hükümetlerinin korumasına güvenebilecekleri, geleneksel mültecilerin ise ülkelerinin çoğu zaman zulmün kaynağı olması nedeniyle böyle bir güvenin onlardan beklenemeyeceği de düşünülebilir. 1951 Mülteci Sözleşmesi, zorunlu göçün kişilerin devlet sınırlarını geçmesiyle sonuçlandığı durumlarla sınırlı olduğundan dolayı ülke içinde yerinden edilmiş kişilerin içinde bulunduğu kötü durum Mülteci Sözleşmesi'nin kapsamı dışında kalmakta ve bu nedenle bu tür kişiler uluslararası mülteci hukuku çerçevesinde korunmamaktadır. Bu durum, mülteci korumasına yönelik geleneksel yaklaşımın, çevresel mültecilerin çağdaş zorluklarını ele almak için ne kadar uygun olmadığını bir kez daha göstermektedir. (Williams, 2008: 509-510).

Dolayısıyla 1951 Mülteci Sözleşmesinde belirtilen nitelikleri sağlamayan iklim göçmenleri, bu hukuki metinde mülteci statüsünde değerlendirilmemektedir. Cenevre Konvansiyonunda yer verilen düzenlemelerdeki ekonomik, güvenlik ve sosyolojik nedenlerle gerçekleşen ve zorunlu olarak addedilen göçe karşı ve göç edenleri koruma amaçlı oluşumlar iklim değişimine dayalı göçe maruz kalanlar için yetersizdir.

Elbette bu durum, çevre mültecileri olarak adlandırılanların sınıfın, Cenevre Konvansiyonu tarafından geleneksel olarak tanımlananlardan ahlaki veya yasal olarak daha az değerli olduğu anlamına gelmez. Aksine mülteciler ve onların tanınma biçimlerinin, farklı ve belki de daha çağdaş ve yenilikçi bir yaklaşımla güncellenmesini gerekli kılmaktadır. Bu yönde de iki farklı düşüncenin yer aldığı görülmektedir. İlki çevresel mültecilerin mevcut 1951 tarihli Sözleşmeye eklenmesini savunurken, diğerleri, çevresel değişimin politik ve ekonomik değişikliklerden anlamlı bir şekilde ayrılmayacağını savunarak, “mülteci” kategorisine “çevresel” sıfatını eklemenin yararsız olduğu görüşündedirler (Williams, 2008: 507). Ancak her iki şekilde de çevresel mültecileri içerecek bir mülteci tanımlaması sorunun büyüklüğü göz önüne alındığında hedef coğrafyadaki ülkeleri tedirgin edici ve bu yönde bir düzenlemeye karşı durmalarına neden olabilir.

İklim değişimine dayalı göç konusunda uluslararası hukukun yetersizliği ile ilgili bir diğer örnek, Birleşmiş Milletler Mülteciler Yüksek Komiserliğinin (BMMYK) 2008 yılında yayınladığı politika belgesidir. Belge metninde, “mülteci” tabirinin hukuki bir tabir olduğuna dikkat çekilerek kavramın 1951 tarihli Mülteci Sözleşmesine, 1969 tarihli OAU (Organization of African Unity) sözleşmesine ve BMMYK kapsamındaki kriterlere dayalı olduğunu, dolayısıyla “ekonomik mülteci” kavramının hukuksal bir karşılığı olmadığı gibi “iklim mülteci” veya “çevresel mülteci” kavramlarının da uluslararası hukukta tanınan bir kavram olmadığını bildirmektedir (UNHCR, 2008).

Ayrıca 1951 Mülteci Sözleşmesinin çevresel yerinden edilmenin yarattığı mültecileri tanıma olasılığına ilişkin tartışmalar devam ederken, bu anlaşmanın elli yıldan daha uzun bir süre önce yapıldığı gerçeği dikkate alındığında Anlaşmanın bu haliyle soruna yönelik çözüm olabileceğine yönelik endişeleri haklı çıkarmaktadır.

SONUÇ

Sonuç olarak uluslararası hukukta iklim değişimine bağlı göçün ve göç edenlerin statüsü ve dolayısıyla korunması ile ilgili bir düzenleme yoktur. Dahası, insan, çevre ve uluslararası hukuk bağlamında bu kesime yönelik koruma sağlama yükümlülüğünün olup olmadığı, varsa kapsamı ve doğrudan muhatapı konusunda bir belirlilik söz konusu değildir. İklim ve çevre değişiminden etkilenenlerle ilgili düzenlemenin çok boyutluluğu ve başta hükümetler olmak üzere taraflar arası farklı beklentiler, iklim değişikliğine dayalı yer değiştirmeye maruz kalanların haklarının ve güvenliklerinin düzenlenmesi konusunu belirsizliklerle karşı karşıya bırakmaktadır.

KAYNAKLAR

- BMMYK, (1998), *Sığınma ve Mülteci Konularındaki Uluslararası Belgeler ve Hukuki Metinler*, Birleşmiş Milletler Mülteciler Yüksek Komiserliği Türkiye Temsilciliği, Damla Matbaası, Ankara.
- Ekşi, Nuray, (2016), “İklim Mültecileri”, *Göç Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 10-58.
- EM-DAT, (2020), *Natural Disasters 2019*, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), Brussels, <https://www.emdat.be/>, (Erişim Tarihi: 10.09.2021).
- IDMC, (2021), *Global Report on Internal Displacement 2021*, Internal Displacement Monitoring Centre (IDMC), Geneva, Switzerland.
- İşcan, İsmail Hakkı, Mesut Çakır, (2019), “Türkiye’deki Sığınmacı Ve Mültecilerin Türk İşgücü Piyasasına Etkisi: Bir Saha Araştırması”, *Sosyal Politika Çalışmaları Dergisi*, 19(43), 177-236.
- Külüşlü, Emre, (2020), “İklim Göçmenliği Sorununun Hukuki Boyutu”, *Public and Private International Law Bulletin*, 40(2), pp. 1175-1197, <https://doi.org/10.26650/ppil.2020.40.2.0088>.
- UNHCR, (2008), *Climate change, natural disasters and human displacement: a UNHCR perspective*, <https://www.unhcr.org/4901e81a4.pdf>, (Erişim Tarihi: 10.08.2021).
- WB, (2018), *Groundswell Preparing For Internal Climate Migration*, International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, Washington, DC.
- WB, (2021), *Groundswell Acting On Internal Climate Migration Part II*, International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, Washington, DC.
- White House, (2021), *Report On The Impact Of Climate Change On Migration October 2021*, The White House, Washington.
- Williams, Angela, (2008), “Turning the Tide: Recognizing Climate Change Refugees in International Law”, *Law&Policy*, 30 (4), pp. 502-529, <https://doi.org/10.1111/j.1467-9930.2008.00290.x>



ECONOMIC LOSSES CAUSED BY GLOBAL WARMING IN FOREST ENERGY DISTRIBUTION LINES

Assoc. Prof. Dr. Ersin GÜNGÖR

Bartın University, Faculty of Forestry, Department of Forest Engineering, Bartın, Turkey.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0844-4656>

Abstract

In recent years, the negatory effects of global warming have begun to be felt increasingly in many sectors of Turkey, as in the whole world. One of them is the energy distribution sector. It can be stated that the investments in the energy distribution sector, which is directly related to the climate, are insufficient before and after privatization and are open to natural risks. In addition, the extreme climatic conditions due to global warming brought about the recalculation of the ice load in Turkey. After the calculations, it has been estimated that new investments, maintenance, and repairs will bring significant burdens to the budget. For example, since the energy distribution lines with the low ice load in the Western Black Sea provinces (Bartın, Karabük and Zonguldak) where snowfall has been influential in recent years have been severely damaged due to snow and frost, the ice load values have been increased by the relevant ministry. Rough climate and terrain conditions prevent the teams from working efficiently in the area, and interventions to malfunctions belated despite the additional crew and vehicle. In addition, tree branches and trunks that cannot withstand the ice load falls into the energy distribution line, causing an increase in power outage times. The most affected by these damages and cuts are forest villagers living in rural areas. Therefore, global warming causes heavy economic losses by disrupting the safe and efficient distribution of energy day by day. The study intends to examine the economical losses caused by global warming in forest energy distribution lines in a sample region. For this purpose, 160 and faults in the rural area of Bartın Province were examined in this study. The reason why the workplace was chosen as Bartın Province is that the effects of global warming have been felt intensely in this region in recent years. Total cost values are calculated by taking numerical values such as the reason for the interruption, its duration, the response time of the teams, the type of intervention, the repair time of the interruption, maintenance, and additional maintenance from the records. In addition, complaints and requests for compensation arising from interruptions were examined. In the investigations, complaints about 21-day intermittent but heavy snowfall in January-February 2021 and then power outages lasting more than 12 hours were taken into account. As a result of the calculations, we see the total economic loss of electricity cuts and monetary loss was close to 20 million TL in line with both maintenance and repair and compensation claims. This corresponds to the 4-year investment value of the relevant distribution company. Therefore, timely and complete investments in electricity distribution will also reduce economic losses caused by outages.

Keywords: Global Warming, Power Distribution Lines, PowerOutage, Compensation, Economic Loss.

1. INTRODUCTION

Climate change and global warming threaten basic living resources such as food, water, and the environment, which are essential for living things. The basis of this problem is the concentration of fossil-based gases in the atmosphere, which creates a greenhouse effect. As a result of the greenhouse effect caused by the gases released into the atmosphere by human beings, the temperature on the earth is increasing day by day.

The most obvious consequences of climate change are the gradual warming of the world, the melting of glaciers, the rise of sea level, the variation in precipitation patterns, significant increases in the severity and frequency of extreme weather events, and the change in the ecological structure accordingly. These physical consequences caused massive loss of life and property worldwide, especially since the last quarter of the 20th century (IPCC, 2007a).

The rate of greenhouse gases in the atmosphere started to increase after the industrial revolution that launched in the 1750s, and the rate of carbon dioxide increased by 40% out of 280 ppm to 394 ppm. According to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the increase in carbon dioxide is primarily due to the

utility of fossil fuels. The second notable factor is the change in land use, mainly deforestation. The Intergovernmental Panel on Climate Change has revealed that there has been an increase in global average temperatures as an outcome of the effects of human activities on the atmosphere (IPCC, 2007b).

Global warming causes various changes in countries touching environmental, social, health, and economic aspects. Energy ranks first among the sectors affected by climate change (Bayraç, 2011). Climate change negatively affects the economy of countries and many sectors. Global warming is a universal problem to wit closely related to the whole world, may cause diplomatic and commercial disputes, trigger regional droughts, famines, and diseases (IPCC, 2011).

With global warming, summers are hotter also winters are colder in the world. As it can be understood, the effect of climate change is not only the increase in temperatures. Plants, animals, and ecosystems, as well as human communities, are at serious risk as a result of factors such as increased frequency and impact of extreme weather events such as drought, floods, severe hurricanes, heavy snowfall, rise in the ocean, and seawater levels, increase in ocean acidity, and melting of glaciers.

As a result of the extreme values in temperature differences, the world faces forest fires in summer and heavy snowfall and icing in winter (Asan, 2011).

Turkish Electricity Transmission and Distribution Network Energy Losses

In Turkey when the year was 2015; It has been observed that the losses in the electricity networks constitute 16.6% of the total generation (Figure 1). This rate is significantly higher than the OECD average (9.4%) and the world average (11.9%).

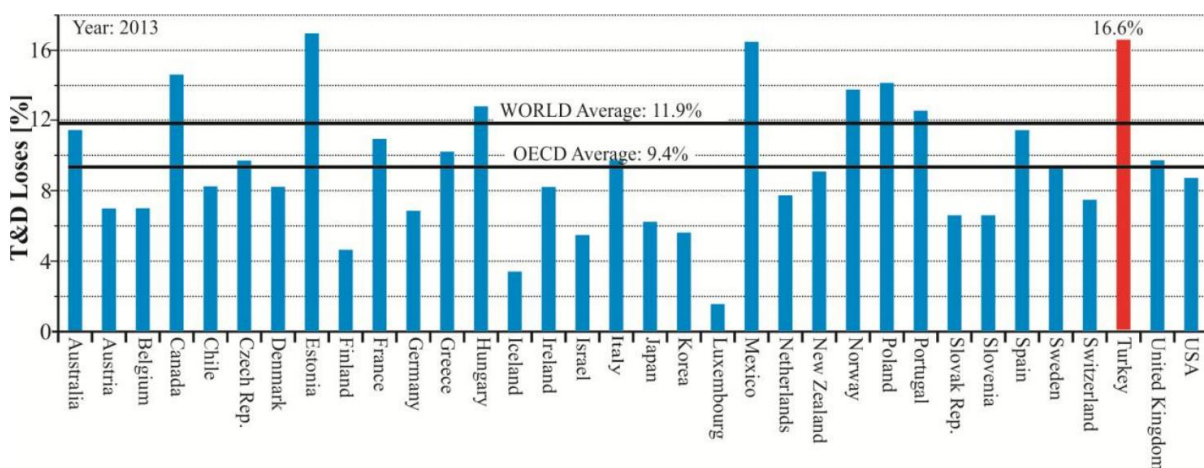


Figure 1. T&D losses of OECD countries (Source Data: Turkish Electricity, Transmission, Company) (TEDAŞ, 2015).

It is seen that the transmission network losses, which change depending on the supply and demand balance according to the years and recognized as 2.1% in 2015, are at the level of developed countries when the distance between energy production resources and the regions where energy is used intensively, and the international norms of 2-3%. The losses of the electricity distribution network, on the other hand, were 16.6% of the electricity consumption. The loss rates in the distribution network could not reach the targeted levels despite the measures taken (Düzgün, 2017).

Ice Load-Related Energy Losses in Turkey's Power Transmission Lines

Power transmission lines are defined as energy lines established to deliver electrical energy from the distribution voltage (36kV and less) level to the end of the transmission facilities or generation facilities (IEC, 2007; Sumper and Baghini, 2012.).

In the transmission of electrical energy over long distances; The planning of energy transmission lines is substantial for the safe operation of the line. While planning and designing a transmission or distribution line, it is prominent to first determine the most appropriate route on the appropriately scaled map and apply this chosen route on site. When planning a path; It should be avoided as much as possible from areas in forests, unevenness, hills, mountainous areas, swamps, and places where avalanches and floods are fair.

It is very costly to pass a line exclusively through pasture and settlement areas in Turkey, and compensation calculations are also much high in the path of the line passing through these areas. In addition, the courts, which lasted for many years as a result of the conflict, cause the energy distribution company to deal with it. For this reason, in the line route selection in Turkey in recent years; Instead of settlements, roadsides, plains, and plains, clearings in forests have begun to be preferred.

Distribution companies obtain their permission and easement rights from the General Directorate of Forestry based on Articles 17/3 and 18 of the Forest Law No. 6831. The reason for choosing this method is the convenience of transactions, the fact that the addressee is a single institution, and the rental costs made with permission and easement transactions are low. However, forested areas consist of mountains, hills, hills, and swamps. In addition, due to the high-temperature changes during the day and climatic seasonal shifts, the route routes in the forest are faced with an intense threat. For this reason, due to the negative effects of climate change and global warming, energy transmission line routes in forests should be planned very well.

Many necessary elements such as poles, conductors, traverses, and insulators and their properties should be well known. It is very difficult to predict or know exactly the wind and ice loads on the route that the line will pass through in forest areas. ice and wind loads; must be taken into account in the dimensioning of poles, conductors, and traverses.

The regulation determining the design of overhead lines for electrical energy transmission in Turkey was published in the newspaper dated 30.11.2000 and numbered 24246 with the name "Electrical Power Current Facilities" and is still in force. According to this regulation, energy distribution lines operate under different climatic conditions throughout Turkey. During the design of these lines, besides electrical analysis, additional loads caused by climatic conditions should also be taken into account. Additional loads on conductors: Ice load, Wind load, Ice load + wind load should be calculated in different ways.

Formation, amount, and structure of ice; It depends on many factors such as the altitude (elevation) of the place above sea level, variable air temperatures, wind, and humidity. Icing is divided into four according to its external appearance and properties. These; rime, crystal rime, frost, and crystal ice. The type of ice charge that results in damage is crystal ice. ***Crystal ice*** is formed when large supersaturated water droplets freeze. It is called gray-colored ice that is water clear, opaque, and does not have a distinctive shape (amorphous). It has a high adhesion force to a surface and can stay on conductors for a long time. It is very dangerous for overhead lines and does not occur frequently due to insufficient conditions (Değirmencioğlu, 2009).

There is also another load we call ***snow load***. A falling slush clings to the conductors as a result of the sudden change in air temperature. Later, with the rain that turns into full snow, this clinging snow layer thickens. The load on the conductors is not important until the density of this snow cover formed on the conductor becomes 0.2 kg/m³. However, due to the surface of this snow load, which creates a large surface on the conductor, a sudden strong wind may break the conductor (Değirmencioğlu, 2009). A few images of the damage caused by snow load and icing in Turkey are given in Figure 2.



Figure 2. Damages are caused by snow load and icing in Turkey (EKOL, 2019).

Effects of Global Warming on In-Forest Energy Transmission Lines and Energy Losses

In energy distribution lines, multiple factors are expected to come together for a conductor to be damaged or ruptured. Ice load usually occurs between (-8) degrees and (+2) degrees. In Turkey, ice forms at (-5) degrees, and calculations are made accordingly (Değirmencioglu, 2009). However, there are changes in daily, monthly, and annual temperature averages due to global warming. As a result, seasonal shifts occur. Therefore, considering the global warming in Turkey, the ice load coefficients should be recalculated.

For example, the winter of 2018 caused extensive damage to many energy transmission line routes in the South Aegean region of Turkey. It has been reported that many poles fell as a result of the ice load on the line (EKOL, 2019). When the location of the damage was examined, it was understood that it was located in the 2nd Region according to the ice load map of Turkey. However, in the field and on the project documents, the entire energy transmission line is located at an altitude of 1,600 m. Accordingly, the site should be designed by the conditions of the 4th Region, and energy transmission lines should be established in this way. In the same year, damage occurred in the energy transmission and distribution line in the Southern Black Sea region of Turkey this time. Approximately 300 poles were knocked down as a result of the ice and wind load on the lines (EKOL, 2019). According to the investigations, the damaged lines were planned in the 2nd and 3rd Regions according to the ice load map. However, since the altitude exceeds 1,600 m, the designs should be made in line with the conditions of the 4th Region.

Based on what has been said, the aim of this study is; this study aims to examine the economic losses caused by global warming in forest energy distribution lines in a sample region.

2. RESEARCH AND FINDINGS

The province of Bartın, located in the Western Black Sea Region of Turkey, was chosen as the study area (Figure 3). In the study, the failures that occurred in the winter of 2021 and caused massive damage in approximately 160 energy distribution lines in the Bartın region were examined. The reason for choosing the workplace as Bartın Province is that the effects of global warming have been felt intensely in the Black Sea region in recent years.



Figure 3. Study Area.

Bartın province energy distribution lines are designed according to the conditions of the 2nd and 3rd Regions according to the ice load calculation of Turkey (Enginer, 1971). However, the elevation of 160 energy distribution lines examined within the scope of the study is over 1,600 m in places. By recalculating the coefficients, the energy transmission lines in the region should be designed in line with these calculations.

On the other hand, due to the extreme weather conditions experienced in the changing climatic conditions of the country; It was understood that there was heavy snowfall in the region in the winter of 2021, and there was the icing on the wires with the effect of humidity and changing temperatures during the day. Due to the continuation of snowfall in the region and the effect of icing, snow-covered more area on the wires. Due to the increase in wind speed during the day, the wires could not withstand the load and broke, causing interruptions that lasted longer than 12 hours.

Bartın region is a region with multiple forest areas (Güngör and Ayhan, 2016). Branches and trunks were broken due to the snow effect in the parts where mostly leafy trees are dominant, in the trees close to the energy distribution lines in the forest, and they fell on the line, causing interruptions that lasted longer than 24 hours.

As the material in the study; Turkish Electricity Transmission Corporation (TEİAŞ) 5th Regional Directorate, Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. (TEDAŞ) 6th Regional Directorate reports and Bartın Governorship records were examined. From these records, numerical values such as the reason and duration of the outages in the winter of 2021, the response time of the teams, the way of intervention, the repair time of the outage, and the maintenance were obtained, and the total cost values were calculated from this. In addition, complaints and claims for compensation arising from interruptions were also examined within the scope of the study.

Calculations were carried out within the scope of Cost-Benefit Analysis. Cost-benefit analysis, sometimes called cost-benefit analysis, is a systematic approach to estimating the strengths and weaknesses of alternatives used to identify options that provide the best approach to achieving benefits while preserving savings.

In the calculations, complaints about 21-day intermittent but heavy snowfall in January-February 2021 and then power outages lasting more than 12 hours were taken into account.

Due to the snowfall in the Bartın region, malfunctions occurred in 160 energy distribution lines. Terrain conditions, sleet, frost, and subsequent strong winds are the main cause of electrical wire failures in the winter of 2021. The wires could not carry the heavy ice load. In addition, the trees fell on the lines passing through the forest due to the snow load. In addition, the teams, whose mobility in the field decreased in harsh natural conditions, had difficulties in responding to malfunctions. For this reason, snowfall caused significant economic losses in the region. The chronological time of the damage and the factors causing the damage is shown in Figure 4.

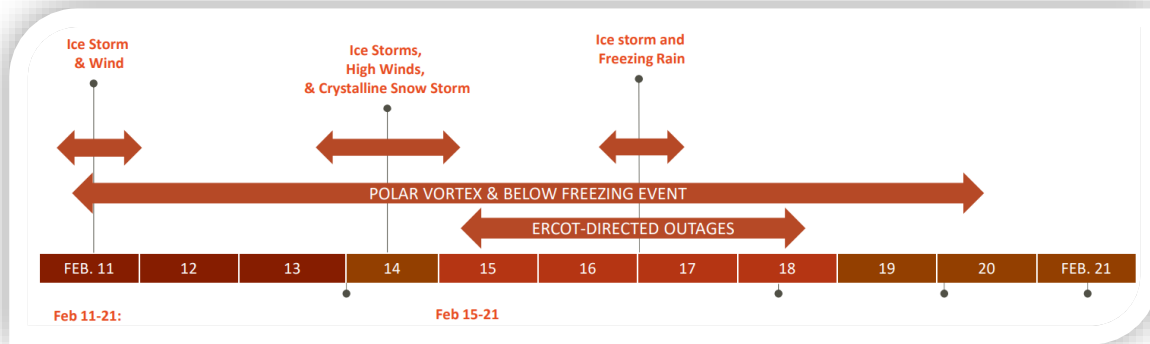


Figure 4. Chronological time of the factors causing damage.

As a result of the calculations, the total economic loss of electricity cuts, ie monetary loss, was found to be close to 20 million TL in line with both maintenance and repair and compensation claims. This corresponds to the 4-year investment value of the relevant distribution company.

3. CONCLUSION

Ignoring the climatic conditions, which tend to change constantly due to global warming, causes significant economic losses (Bhatt, 2003). In this study handled; The economic losses caused by the snowfall in the Bartın region due to climate change in the energy transmission lines were examined. In addition, the indirect damages caused by these failures were also examined and analyzed together. As a result of the calculations, it was understood that the loss was approximately **20 million TL (2 million dollars)**. If maintenance and repair measures are increased, it can be stated that annual maintenance costs may increase by **1/4 of this rate**.

Energy Transmission Lines design calculation criteria should be comprehensively revised according to the conditions of today's world created by climate change. It should not be forgotten that ice load calculations will vary according to the differences in temperatures and altitude in Turkey, where climate conditions have become more difficult due to global warming.

In forest energy transmission lines, where the negative effects of climate change are seen, even more, the planning of the lines, obtaining their permits, and field applications should be done by authorized and expert personnel. In addition, climatic data should be examined in an orderly manner and future projections and precautionary measures should be created with various forecasting models.

Although the distances are specified for the lines passing through the forest areas; Considering the situations such as the breaking of the conductors and the falling of the trees, attention should be paid to cutting the trees under the route where the lines pass and cleaning that route from the trees, that is, the maintenance of the corridor.

Turkey is divided into 4 different regions in terms of ice load. It is assumed that ice does not form in the first region. Apart from these 4 regions, it is located in the 5th region and is called the "special region". However, when the Electricity High Current Facilities Regulation is examined, it is seen that the conditions required for the establishment of transmission lines by the conditions of the 5th Region are not specified. It is seen that the climatic characteristics of Turkey are changing in line with global warming, which has been on the agenda especially in recent years. Based on this information, it is clear that in the current regulation, the definition of the 5th Region (Special Region) conditions and the calculations that are being applied actively should be updated according to the extreme climatic conditions that our country will be in the coming years. Therefore, energy transmission lines are faced with the threat of snowfall, ice loads, and wind, especially in forest areas.

Due to global warming, there is a change in climatic conditions. Unfortunately, this change is progressing in a negative direction. One of the sectors most affected by global warming is the energy sector. Along with climate change, reliable distribution of energy is one of the issues that should be considered. Likewise, this change

causes significant economic losses in the energy sector. The impact and economic loss of snowfalls are felt even more in the energy sector. For this reason, up-to-date information on criteria such as temperatures, snowfall duration, number of frosty days, and wind force should be included in ice load calculations.

4. REFERENCES

- Asan, Ü. 2011. İklim Değişikliği Eylem Planı Mevcut Durum Değerlendirme Raporu. ÇŞB yayınları, Ankara.
- Bayraç, H. N: 2011. Enerji Kullanımının Küresel Isınmaya Etkisi ve Önleyici Politikalar. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi,11(2).
- Bhatt, M. S., 2003. Energy efficiency improvement of electrical transmission distribution networks, Journal of Scientific & Industrial Research, 62: 473-490.
- Düzgün, B. 2017. Türkiye elektrik iletim ve dağıtım şebekesinin enerji verimliliğinin değerlendirilmesi ve 2023 projeksiyonları. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı (Teknoloji Fakültesi), Gazi Üniversitesi, Türkiye.
- Değirmencioğlu, A. K. 2009. Elektrik Enerjisi Hava İletim Hatlarında Buz ve Rüzgar Yüklerinin İncelenmesi. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, Ankara Şubesi Haber 2009/3.
- EKOL, 2019. Enerji Nakil Hatlarında Oluşan Buz ve Rüzgâr Yükünün İncelenmesi, BLOG / RİSK BÜLTENİ, <https://www.ekolekspertiz.com.tr/enerji-nakil-hatlarinda-olusan-buz-ve-ruzgar-yukunun-incelemesi/>. 21.11.2021.
- Enginer, K. 1971. Türkiye'nin Buz Yükü Haritası, TJDK: 621.315.1.
- Güngör, E., Ayhan, A.B., 2016. Bartın Yöresi Orman Kaynaklarının Bal Üretim Potansiyeli ve Ekonomik Değeri. Turkish Journal of Forestry, 17(1): 108-116. DOI: 10.18182/tjf.89126.
- IEC, 2007. IEC (International Electrotechnical Commission), “Efficient electrical energy transmission and distribution”, Geneva.
- IPCC, 2007a. “Climate Change 2007: The Physical Science Basis Summary for Policymakers-Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”, www.ipcc.ch, 30.11.2021.
- IPCC, 2007b. “Climate Change 2007: Impacts, Adoption and Vulnerability”, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”, www.ipcc.ch, 30.11.2021.
- IPCC, 2001, Climate Change 2001: Mitigation A Report of Working Group III of The Intergovernmental Panel on Climate Change, Sixth Session of IPCC Working Group III, Accra, Ghana, 28 February - 3 March 2001.
- Sumper A. and Baggini A., 2012. “Electrical energy efficiency”, Wiley, 48.
- TEDAŞ, 2015. Turkish Electricity Transmission Company, 2015. Turkey's energy statistics. <http://www.teias.gov.tr/> (30.10.2021).



A NEW UNDERSTANDING IN ENERGY DISTRIBUTION LINES CORRIDOR MAINTENANCE: VEGETATION MANAGEMENT

Assoc. Prof. Dr. Ersin GÜNGÖR

Bartın University, Faculty of Forestry, Department of Forest Engineering, Bartın, Turkey.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0844-4656>

Abstract

Interruptions in energy transmission lines passing through forest areas due to difficult climate and terrain conditions disrupt energy supply security, affect customer satisfaction and reduce energy efficiency. As a result of the contact of the branches, which naturally grow quickly, faults occur in the lines, the amount of loss transferred to the soil increases, causing serious forest fires. Moreover, efforts spent on extinguishing activities, as well as serious compensations, are paid. Energy distribution companies regularly carry out corridor maintenance activities every year to ensure energy supply security. Corridor maintenance is the disposal of vegetation (tree and plant community) within the energy corridor from the area by cutting and pruning. When these activities are examined, it is understood that tree branches grow faster after cutting and pruning. Therefore, the measures are temporary, not permanent. On the other hand, corridor maintenance activities take time and add additional burdens to distribution companies' budgets. So that; the service procurement budget allocated by 21 Energy Distribution Companies for cutting and pruning in Turkey has exceeded 50 million TL/year (EMRA, 2021). The Climate Change Report (IPCC, 2021), prepared by scientists affiliated with the United Nations (UN), states that expenditures will increase even more in the world due to global warming. In Turkey, energy transmission line corridor maintenance is carried out through service procurement from the market. The gain for the cost of maintenance is not fair. For the solution, *Vegetation Management*, which is an understanding that reduces the effects of global warming and increases productivity, should be adopted. Vegetation Management can be defined as planting trees rather than cutting and pruning. In this research, BaşkentEDAŞ, Toraslar A.Ş., and AYEDAŞ responsibility areas have been selected. The financial burden of the corridor maintenance activities currently implemented has been compared with the afforestation costs realized within the scope of vegetation management. In the calculations, the maintenance costs of the 2020 Corridor Maintenance Tenders of the relevant EDAŞ's per unit area and the afforestation expenses of the same year are taken into account. Comparisons were produced over Benefit/Cost Analysis. According to the results, it can be stated that if the vegetation management approach is adopted, there will be a 48% decrease in annual corridor maintenance costs and the budget will be used more efficiently. With the rise of similar studies, more holistic and nature-friendly approaches will be adopted in the energy sector, which causes a significant part of carbon emissions. In this way, it will also contribute to the prevention of adverse natural events such as fire and flood caused by global warming, and to the carbon-neutral targets of 2050 with the Paris Agreement signed by Turkey in 2021.

Keywords: Energy Distribution Line, Energy Efficiency, Corridor Maintenance, Vegetation Management, Carbon Neutral Target.

1. INTRODUCTION

Due to unfavorable climatic and terrain conditions, interruptions frequently occur in power transmission lines. This situation breaks energy supply security (EKOL, 2019). On the other hand, blackouts reduce energy efficiency, make customers suffer, and therefore distribution companies face issues like heavy compensation cases (IEC, 2007).

In-forest energy transmission lines are areas where the difficulty coefficient is high due to unfavorable natural conditions (Güngör et al., 2020). One of the factors that hinder the reliable distribution of energy in these areas is vegetation. Interaction of tall plants and trees in vegetation with wires is one of the most significant elements of power cuts. As a result of the contact of the branches, which naturally increase rapidly, faults occur in the lines, the amount of loss transferred to the soil increases, and long-term interruptions are experienced.

Areas in forests are risky areas in terms of forest fires consequently sparks from wires. Extensive effort spent on extinguishing activities that involve high costs. Energy distribution companies pay serious compensations due to fires. The expenses of the damage caused by the forest fires in the last period have revealed this. With the emergence of effortless and preventable risks such as short circuits, arc, conductor rupture in the power transmission line, the losses of third parties directly affected by the fire are seriously high. At the same time, the importance of the situation will be understood more easily when the indirect effects such as the financial losses of the third parties arising from the non-transmissible energy and the monetary harm of the energy distribution companies are taken into account.

Corridor maintenance can be defined as the disposal of the vegetation (tree and plant community) within the energy corridor from the area by cutting and pruning. A sample field application for corridor maintenance works is given in Figure 1.

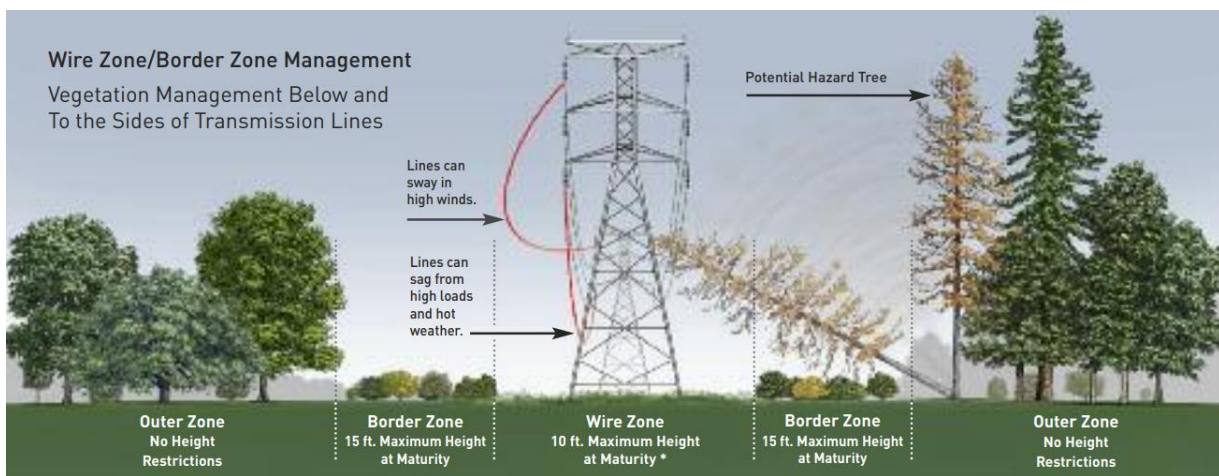
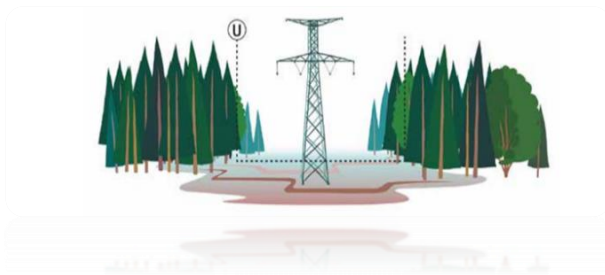


Figure 1. A sample field application for corridor maintenance (NERC, 2010)

Corridor maintenance activities are carried out regularly every year to ensure energy supply security, prevent interruptions and prevent possible forest fires (Sumper and Baggini, 2012). Visuals for easier understanding of corridor maintenance activities are given in Figure 2.



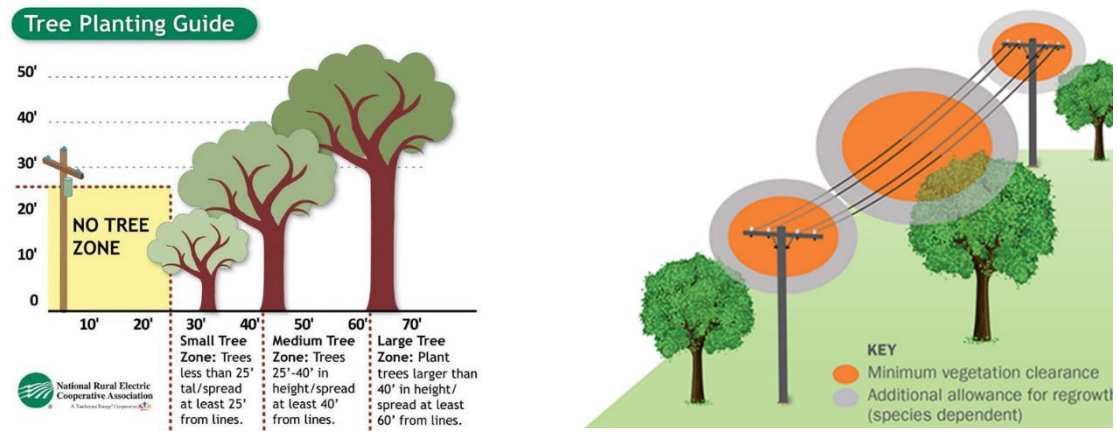


Figure 2. Images of corridor maintenance activities (NERC, 2010, NERC, 2015, NRECA, 2020).

Field experience has shown that the branches of trees that are cut and pruned by aisle maintenance grow even faster afterward. In this case, it can be stated that corridor maintenance measures are not permanent, and the budget and effort allocated to maintenance activities will continue to increase every year in an infinite period. Corridor maintenance activities are a very laborious and time-consuming procedure as they are carried out in a field open to nature, especially in the forest. Also; The logging/pruning officer is faced with many risks in terms of Occupational Health and Safety while performing maintenance activities. A work accident (such as amputation of a limb, etc.) that will occur in corridor maintenance works is highly likely to result in death.

For a permanent solution in corridor maintenance activities, “Vegetation Management”, which is an understanding that reduces the effects of global warming and increases efficiency, should be adopted. Vegetation Management; It can be defined as planting trees instead of cutting and pruning.

2. RESEARCH AND FINDINGS

In this research, Başkent EDAŞ, Toraslar A.Ş. and AYEDAŞ responsibility areas (Figure 3) were selected.

The financial burden of the corridor maintenance activities currently implemented has been compared with the afforestation costs realized within the scope of vegetation management. In the calculations, 2020 Corridor Maintenance Tenders of the relevant DISCOMs, unit area maintenance costs, and afforestation expenses of the same year are taken into account. Comparisons were made over *Benefit/Cost Analysis*.

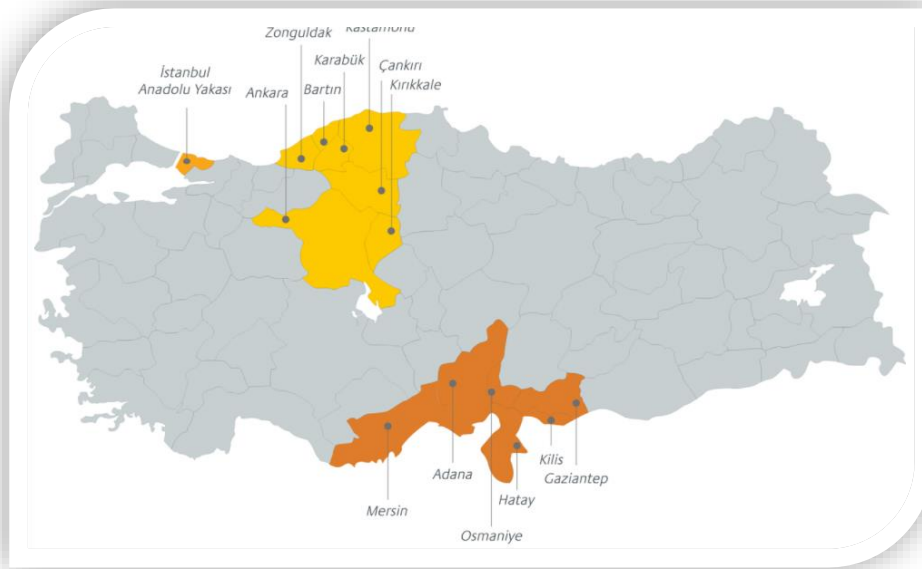


Figure 3. Başkent EDAŞ, Toraslar A.Ş. and AYEDAŞ responsibility areas (EnerjiSA, 2021).

As known; To reduce the risks that may occur in the forest energy distribution line routes, the trees that coincide with the line route are cut or pruned. According to the regulations to which energy transmission lines are subject; on the route they pass through forest areas, they are cleared from the transverse vegetation by removal method according to the electrical capacity of the line to be established (TEDAŞ, 2015).

- On HV lines with a conductor arrangement of 3 x Swallows, opening a 10 m wide corridor, 5 mt from the right and left of the middle axis of the line.
- On HV lines with a conductor arrangement of 3 x 3/0 (pigeon) and above, opening a 15 m wide corridor, 7.5 m from the right and left of the middle axis of the line
- Cutting/pruning of trees under the line is carried out.

For example, Bartın province electricity grid HV line length is around 1,200 km in total. 250 km of this HV line has been established as an underground network. 298 km of the remaining 950 km long HV power line passes through forest areas and is tendered to be cut every year in line with budget appropriations (EnerjiSA, 2021).

Corridor maintenance activities carried out every year in Turkey add additional burdens to the budgets of distribution companies. Power transmission line corridor maintenance is carried out through service procurement from the market. It can be said that the gains made in return for the cost of maintenance are not fair. The service procurement budget allocated by 21 Energy Distribution Firms for cutting and pruning increases every year with the effect of climate change and global warming. In recent years, this budget has been over 50 million TL/year (5 million dollars/year) (EPDK, 2021).

The Climate Change Report (IPPC, 2021), prepared by scientists affiliated with the United Nations (UN), indicates that expenditures in the world will increase even more in a 10-year projection due to global warming.

In the study, the amounts and approximate monetary values of Başkent EDAŞ and Toraslar Electricity Distribution Companies were examined in 2020. The budget allocated by the two distribution companies for corridor maintenance activities is approximately 5 million TL/year (500 thousand dollars/year) (EPDK, 2021).

On the other hand, vegetation management, i.e. afforestation expenses and corridor maintenance expenses were calculated and compared in the study. Accordingly, if the vegetation management approach is adopted,

it can be stated that there will be a 48% decrease in annual corridor maintenance expenses and the budget will be used more efficiently.

3. CONCLUSION

- As a result of the evaluations made on the subject discussed; If the vegetation management approach is adopted, there will be a 48% decrease in annual corridor maintenance costs. The Vegetation Management Approach will also contribute to the prevention of adverse natural events such as fire and floods caused by global warming.
- With an effective vegetation management and sub-line afforestation strategy, forest fires that occur during various natural disasters (such as snow, wind, flood, etc.) will be minimized.
- In vegetation management, there will be a decrease in electrical faults, as afforestation with suitable species and species that do not grow long enough to contact the power line will be in the field.
- Customer satisfaction will increase with energy supply continuity.
- It will save money, time, and labor spent on tree cutting every year. This feasibility, in which afforestation and cutting strategies are taken into account, has shown that planting is more advantageous and even economical than cutting in a long-term investment.
- As a result of controlled and planned planting, a corridor suitable for vehicle and equipment entrance will be left under the line, so teams will be able to work more comfortably.
- In vegetation management, and income will be generated by planting the species that provide benefits in a short time and create added value under the energy distribution lines. In this way, every year corridor maintenance tender processes and costs will be saved. For example, laurel, etc. in afforestation. The planting of high value-added species such as these will contribute to the economy, rural development, and employment of the region.
- With the increase in studies in which the vegetation management approach is adopted, more holistic and nature-friendly approaches will be adopted in the energy sector, which causes a significant part of carbon emissions.
- With the vegetation management approach becoming functional in the energy distribution sector, it will contribute to the Paris Agreement signed by Turkey in 2021 and the carbon-neutral targets of 2050 adopted by Turkey.

As a result; The need for energy in the world and Turkey is increasing exponentially. It is important to adopt new approaches such as vegetation management in corridor maintenance studies for the reliable distribution of energy in energy systems that require high knowledge, foresight, and effective planning. In this context, it is essential to carry out feasibility, design, implementation, and sustainability studies in distribution companies. All processes of the system, from generation to transmission, from distribution to final consumer, must be designed effectively. With the vegetation management approach, risk minimization will be ensured in the distribution process of the system, thus contributing to the efficient and reliable distribution of energy.

4. REFERENCES

- EKOL, 2019. Enerji Nakil Hatlarında Oluşan Buz ve Rüzgâr Yükünün İncelenmesi, Blog / Risk Bülteni, <https://www.ekolekspertiz.com.tr/enerji-nakil-hatlarinda-olusan-buz-ve-ruzgar-yukunun-incelenmesi/>. 21.11.2021.
- EnerjiSA, 2021. Enerjisa Hakkında. <https://m.enerjisa.com.tr/tr/surdurulebilirlik/sirket-profil/enerjisa-hakkında>.
- EPDK, 2021. Elektrik Dağıtım ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği. <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-6740/elektrik-dagitimi-ve-perakende-satisina-iliskin-hizmet-kalitesi-yonetmeligi>.

Güngör, E., Kaya, H. Aslan, A. F., 2020. Vegetation Management Strategies Intended For Reducing Economic Losses In Energy Transmission Lines And Preventing The Fire Risk. ENSCON'20 International Congress of Energy, Economy and Security. Proceedings Book, 14-15 November 2020, Pp.143-153, İstanbul, TURKEY.

IEC, 2007. IEC (International Electrotechnical Commission), "Efficient electrical energy transmission and distribution", Geneva.

IPCC, 2021, Climate Change 2021: Mitigation A Report of Working Group III of The Intergovernmental Panel on Climate Change, Sixth Session of IPCC Working Group III, Accra, Ghana.

NERC, 2010. Transmission Vegetation Management Standard FAC-003-2 Technical Reference, Prepared by the North American Electric Reliability Corporation Vegetation Management Standard Drafting Team.

NERC, 2015. FAC-003-3 Minimum Vegetation Clearance Distances, Executive Summary, North American Electric Reliability Corporation May 12, 2015.

NRECA, 2020. National Rural Electric Cooperative Association Upshur Rural Electric Cooperative. Member Handbook, Member Handbook, <https://docplayer.net/19753927-Upshur-rural-electric-cooperative-member-handbook.html>

Sumper A., Baggini A., 2012. "Electrical energy efficiency", Wiley, 48.

TEDAŞ, 2015. Turkish Electricity Transmission Company, 2015. Turkey's energy statistics. <http://www.teias.gov.tr/> (30.10.2021).



International World Energy Conference

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI İÇİN UYGULANAN TEŞVİK MEKANİZMALARINDA SÜRE BOYUTUNUN EKONOMİK ETKİLERİ

ECONOMIC EFFECTS OF TIME DIMENSION ON INCENTIVE MECHANISM FOR RENEWABLE ENERGY RESOURCES

İsmet TURAN

Atılım Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Doktora Programı, Ankara, Türkiye
<https://orcid.org/0000-0003-4792-1061>

Prof. Dr. Güray KÜÇÜKKOCAOĞLU

Başkent Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Ankara, Türkiye
<https://orcid.org/0000-0001-6170-3269>

Özet

Bu çalışmada; serbest piyasalarda “piyasa izleme fonksiyonunun” önemine değinilecek olup, bir ülkenin kendi para birimi dışında yabancı para birimi cinsinden teşvik mekanizması kullanması durumunda oluşan ekonomik maliyetin boyutu ortaya konulmaya çalışılacaktır. Özellikle kur ataklarının yaşandığı dönemlerde oluşan beklenmedik ekonomik gelişmelerin piyasaya etkisi irdelenecektir.

Türkiye, 2001 yılında başlatılan elektrik piyasasının serbestleştirilmesi ve Avrupa Birliği müktesebatına uyumlu bir şekilde özel sektörün yatırımlarda devreye girmesiyle, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının (YEK) kullanımını artırmak için, Avrupa’da yaygın olarak kullanılan teşvik mekanizmalarını incelemiş ve sonunda “feed-in-tariff” olarak tanımlanan mekanizmayı uygulamaya karar vermiştir. Bu teşvik mekanizması kapsamında 2005-2015 yılları arasında, ABD Doları bazlı sabit fiyattan alım garantisinin uygulanmasına karar vermiştir. Kanun kapsamında yapılan bu düzenlemede, uygulama döneminin 5 yıl süreyle uzatılabilmesi hususunda, Bakanlar Kurulu’na da yetki verilmiştir. Türkiye’nin, YEK teşvik sürecinde, ithal kömüre ve doğal gazla olan bağımlılığını, kısmen de olsa, azaltmayı başardığı varsayılmaktadır. Bunda en önemli pay sahibinin YEK Kanunu ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması (YEKDEM) olduğu öngörülmektedir. Diğer taraftan, kanundaki baz süre olan 10 yılın, 5 yıl daha uzatılmasının ekonomik bir maliyetinin olduğu, bu maliyetin elektrik faturaları üzerine daha da baskı kuracağı düşünülmektedir.

Çalışmada, YEKDEM listeleri kullanılarak, 1 Ocak 2016 ve 31 Aralık 2020 arasındaki 5 yıllık uzatma döneminde teşvik mekanizmasından yararlanan kapasite (MW ve kWh) belirlenecek, diğer taraftan, “International Renewable Energy Agency” kaynakları kullanılarak, aynı dönemde dünyada ihale usulü sonucunda ortaya çıkan YEK alım fiyatları tespit edilecektir. Bu fiyatlar baz alınarak, Türkiye’nin, gerek ABD Doları, gerekse Türk Lirası cinsinden yaptığı yıllık fazla ödeme miktarı hesaplanarak, bu rakamın hane başına düşen maliyetinin ortaya konması amaçlanmaktadır.

Çalışma, bu amaçlar doğrultusunda, çözümlene sürecinde nicel ve nitel yöntemleri bir arada kullanmaktadır. Bu çerçevede, çoklu yöntemlerin bir arada kullanılması, verilerin analizini kolaylaştırırken, çalışmanın daha güvenilir hale gelmesi için tercih edilmektedir.

Çalışmada; YEKDEM’in uygulama döneminin 5 yıl süreyle uzatılması sonucunda ortaya çıkan ABD Doları bazlı ilave maliyetin, yine aynı dönem içerisinde ve sonrasında gerçekleşen TL’nin ABD Doları karşısındaki değer kaybı, elektrik enerjisi tüketiminin artış ivmesini kaybetmesi ve pandemiden kaynaklı ekonomik zorluklar gibi etmenlerle birleşmesi sonucunun, elektrik enerjisi faturalarında ilave artışa neden olduğu gösterilmeye çalışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Elektrik Enerjisi, Teşvik Mekanizması, Piyasa İzleme Fonksiyonu, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, YEKDEM

Abstract

In this study, we discuss the importance of the “market monitoring function” in free markets and examine the effect of the size of the economic cost incurred in the case of a Turkey's use of a foreign currency incentive mechanism against unexpected economic developments.

In the process of liberalization of the electricity market initiated in 2001 and opening it to the private sector in line with the European Union acquis, Turkey examined the incentive mechanisms common in Europe to increase the use of Renewable Energy Resources (RES). In this context, Turkey has decided to implement the mechanism defined as "feed-in-tariff", which guarantees purchases at a fixed price in US Dollars between 2005 and 2015. In this regulation, made within the scope of the law, the Council of Ministers has also been authorized to extend the implementation period for 5 years. It is assumed that Turkey has managed to reduce its dependency on imported coal and natural gas, albeit partially, during the RES incentive process. It is foreseen that the most important shareholder in this is the RES Law and the Renewable Energy Resources Support Mechanism (YEKDEM). On the other hand, it is thought that the extension of 10 years, which is the base period in the law, for 5 more years has come with an economic cost, and as a result of external events, the effect of this cost will be on the electricity bills increases.

In the study, the capacity (MW and kWh) benefiting from the incentive mechanism will be determined during the extension period between January 1, 2016 and December 31, 2020, using the YEKDEM lists. On the other hand, using the resources of the International Renewable Energy Agency, the RES purchase prices that emerged as a result of the tender procedure in the world in the same period will be determined. Based on these prices, the annual overpayment amount made by Turkey in both US Dollars and Turkish Liras is calculated and aimed to reveal the cost per household.

For these purposes, the study uses quantitative and qualitative methods together in the analysis process. In this framework, the combination of multiple methods is preferred to facilitate the analysis of the data and to make the study more reliable.

In the study, it is argued that the combination of the additional cost in US Dollars, which emerged as a result of the extension of the implementation period of YEKDEM for 5 years, with the depreciation of the Turkish Lira against the US Dollar during and after this period, the loss of the momentum of increase in electrical energy consumption and the economic difficulties caused by the pandemic has given rise to an additional increase in electricity bills.

Keywords: Electrical Energy, Feed-in-Tariff Mechanism, Market Monitoring Function, Renewable Energy Sources, RES Support Mechanism

Giriş

Türkiye Cumhuriyeti'nin, Avrupa Birliği (AB) üyelik süreci 1963 yılında, o günkü adıyla, Avrupa Ekonomik Topluluğu ile ortaklık anlaşması imzalamasıyla başlamış, 1987 yılında tam üyeliğe başvuru yapılması ile bir sonraki aşamaya geçilmiştir. Bu süre içerisinde AB, kendi iç düzenlemelerini geliştirmiş, bu düzenlemeleri aday ülkelere zorunlu kılmaya başlamıştır. 1999 yılına gelindiğinde aday ülke olarak kabul edilen Türkiye, AB'nin iç düzenlemelerine uyum sağlama yükümlülüğü ile karşı karşıya kalmıştır. Bu düzenleme başlıklarından biri olan ENERJİ başlığı, iki ana kısımdan oluşmaktadır: Serbestleşme ve Dışa Bağımlılığın Azaltılması. Serbestleşme çalışmalarına hız veren Türkiye, dikey bütünlük yapıdan, yatay ve ayrıştırılmış yapıya geçişi gerçekleştirmiş ancak dışa bağımlılığın azaltılması konusunda ivme kazanılabilmesi için 2005'li yıllara kadar beklenmesi gerekmiştir.

Enerjide dışa bağımlılığın azaltılmasında en yaygın kullanılan araçlardan biri yenilenebilir enerji kaynaklarının (YEK) kullanılmasıdır. Türkiye, YEK kullanımını artırmak için, Avrupa'da yaygın olan teşvik mekanizmalarını incelemiş, Avrupa Komisyonu ile de istişare (governance) etmek suretiyle “feed-in-tariff” olarak tanımlanan teşvik mekanizmasını uygulamaya karar vermiştir. Bu doğrultuda hazırlanan kanun tasarısı 2005 yılında TBMM'de kabul edilmiştir. Buna göre; 2005-2015 yılları arasında işletmeye girecek YEK bazlı elektrik enerjisi üretim tesisleri için, işletmeye girdikleri günden itibaren, 10 yıl süreyle, ABD Doları bazlı, her bir YEK için ayrı ayrı belirlenen sabit fiyattan alım garantisi veren mekanizma uygulanacaktır. Kanun kapsamında yapılan bu düzenlemede, uygulama döneminin 5 yıl süreyle uzatılabilmesi hususunda, Bakanlar Kurulu'na da yetki verilmiştir.

Türkiye'nin, YEK teşvik sürecinde, doğal gaz ve ithal kömür bağımlılığını, kısmen de olsa, azaltmayı başardığı varsayılmaktadır. Bunda en önemli pay sahibinin YEK Kanunu ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması (YEKDEM) olduğu değerlendirilmektedir. Diğer taraftan, kanundaki baz süre olan 10 yılın, 5 yıl daha uzatılmasının, özellikle Türk Lirasının ABD Doları karşısında öngörülenin çok üzerinde değer kaybetmesi sonrası, büyük bir ekonomik maliyet ortaya çıkacağı öngörülmektedir.

Bu çalışmada, EPDK tarafından her yıl yayımlanan YEKDEM listeleri kullanılarak, 1 Ocak 2016 ve 31 Aralık 2020 arasındaki uzatma döneminde teşvik mekanizmasından yararlanan kapasite belirlenmiş (MW ve kWh), bu kapasitenin, teşvik sistemi ile değil, ihale usulü sonucunda tahsis edilmesi durumunda ortaya çıkacak olan maliyet tespit edilmiştir. Nihayetinde de, bu iki farklı durum (mekanizma) arasında oluşan fark hesaplanmıştır.

YEKDEM lehine oluşan artı yöndeki ödeme miktarına karşılık, serbest piyasalarda “piyasa izleme fonksiyonunun” ne denli önemli olduğu, bir ülkenin kendi para birimi dışında yabancı para birimi cinsinden teşvik mekanizması kullanması durumunda oluşan ekonomik maliyetin boyutunun, beklenmedik ekonomik gelişmeler karşısındaki etkisi irdelenmiştir.

Türkiye, kömür ve su kaynaklı elektrik enerjisi üretimi sistemini, Rusya'dan boru hattı ile getirtmeye başladığı doğal gaz ile çeşitlendirme imkanına kavuşmuş, bu da elektrik enerjisi tedarikine ilişkin teknik sorunu çözüme kavuşturmuştur. Ancak, ekonomik büyüme ve ona paralel olarak da artan elektrik enerjisi tüketimi karşısında, yeni santral ihtiyacı ortaya çıkmış, bunun da, kamu değil, özel sektör kaynakları ile karşılanması yoluna gidilmiştir. Seçilen yöntem ise, ilk olarak “Yap-İşlet-Devret”, akabinde de “Yap-İşlet” mekanizmaları olmuştur. Her iki mekanizma da, teknik değil, finans temelli yöntemlerdir.

2000'li yıllara gelindiğinde, AB'ye üyelik müzakereleri kapsamında, gerek üretim gerekse dağıtım faaliyetlerinin serbestleştirilmesi gerekmiştir. Bu çerçevede, Türkiye Elektrik Kurumu (TEK) uhdesinde bulunan elektrik enerjisi üretimi faaliyeti özel sektöre açılmıştır. Ancak, özel sektörün yatırım yapması için gerekli finansal şartların bulunmadığı, özellikle YEK dayalı elektrik enerjisi üretimi tesisi kurulumunda kredi temininde sorunlar ortaya çıktığı görülmüştür.

İstenilen arz seviyesine ulaşamaması üzerine, AB direktifine uyum da gözetilerek, YEK'ler için teşvik mekanizması düzenlenmesine karar verilmiştir. Bu doğrultuda hazırlanan kanun TBMM'de kabul edilmiştir. Buna göre; YEK'e dayalı elektrik enerjisi üretim tesislerinin kurulması durumunda, 10 yıl süreyle alım garantisi verilecek, alım fiyatı ABD Doları bazlı olacaktır. Farklı YEK için farklı fiyat sağlayan kanunun temel amacı kesintili elektrik enerjisi üretimi yapan tesislerin kredi - finansman ihtiyacının karşılanmasıdır. Bu sayede banka ve kredi kuruluşları da aradıkları teminat ve güvencelere (alım garantisi - temlik gibi) sahip olacaklardır. Nitekim, amaç hasıl olmuş, gerek lisanslı gereksiz lisanssız YEK'e dayalı elektrik enerjisi üretim tesislerine olan talep her geçen gün artmış, bunun sonucunda da 30,000.-MW'a yaklaşan bir santral kurulmuştur.

Bu kurulumların maliyeti, kanun kapsamındaki döviz kuru olan, ABD Doları olmuştur. Sürecin başlangıcında olumlu karşılanan bu durum, Türk Lirasının ABD Doları karşısında öngörülmeleyen boyutta değer kaybetmesi ile yerini yeni bir tartışmaya bırakmıştır. Dünya'da YEK'e dayalı elektrik enerjisi üretim maliyetleri, özellikle güneş enerjisi bağlamında, hızla düşerken, Türkiye'nin yıllar önce belirlenmiş olduğu sabit fiyattan teşvik vermeye devam etmesinin ekonomik etkisinin ne olduğu, en azından kanunun 5 yıllık uzatma dönemi kullanılmayarak, sabit fiyatlı alım garantisine son verilerek, açık eksiltmeli ihale usulüne geçilerek, YEK maliyetini azaltma yoluna gidilmesi hususu bu çalışmada araştırılmıştır.

Bunun için de, gerek IRENA gerekse LAZARD tarafından hazırlanan ve “Levelized Cost of Electricity” (LCoE) olarak adlandırılan tablolar kullanılmış, kaynak bazında geçmiş yıllar için hesaplanmış fiyatlar, Türkiye'de 2016 - 2020 yılları arasında uygulanan sabit alım fiyatları yerine kullanılmış ve oluşan fark hesaplanmıştır.

Metodoloji

Çalışma, çözümlenme sürecinde, nicel ve nitel yöntemleri bir arada kullanılmaktadır. Bu çerçevede, çoklu yöntemlerin bir arada kullanılması, verilerin analizini kolaylaştırırken, çalışmanın daha güvenilir hale gelmesi için tercih edilmektedir.

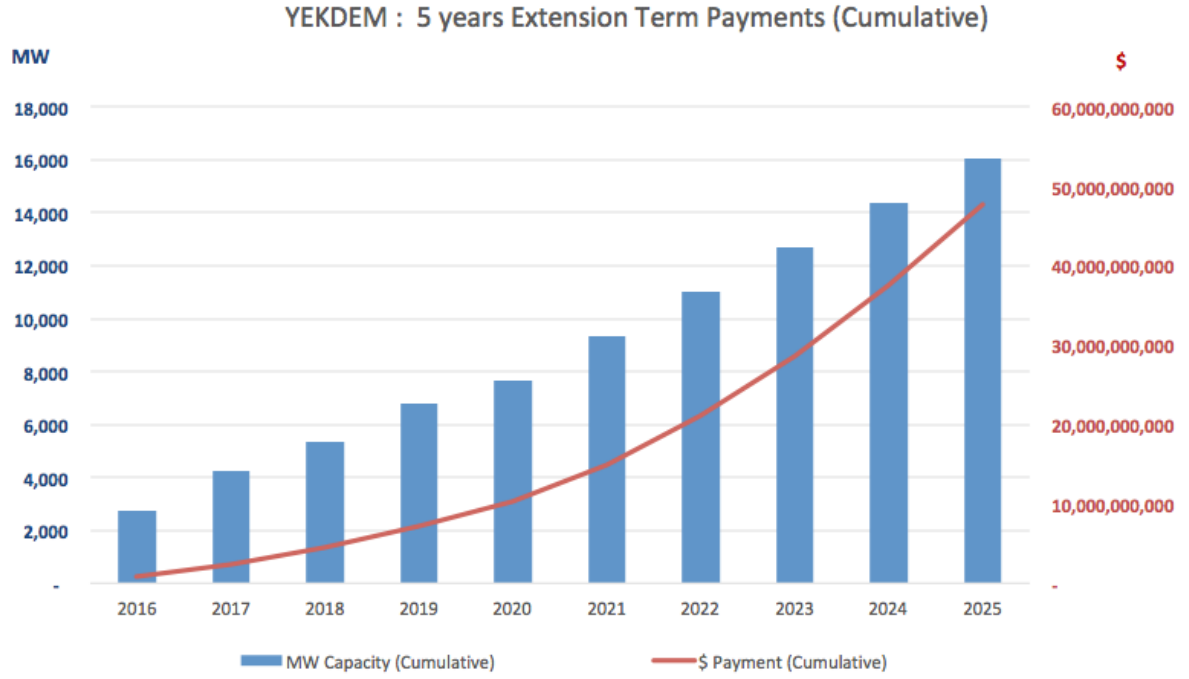
Uygulama

EPDK, her yıl, YEK'e dayalı üretim tesisleri için verilen teşviklerden yararlanmak isteyen lisans sahibi tüzel kişileri, sahibi oldukları lisanslar ile birlikte duyurmaktadır. Bu listeler, yıllık bazda olup, 1 Ocak – 31 Aralık tarihleri arasındaki uygulama için geçerlidir ve bu dönemde yapılacak ödemeleri kapsar. Çalışmamızda, EPDK'nın yayınlamış olduğu listelerden, YEKDEM uzatma süresi olan, 2016-2020 arası dönemde devreye giren santrallara, 2016-2025 arasındaki dönem için ödenecek teşvikli bedeller hesaplanmıştır. Buna göre aşağıdaki tablo üretilmiştir:

Tablo-1: 2016-2020 arasında devreye giren YEK'lere, 2016-2025 dönemi için ödenecek teşvikler

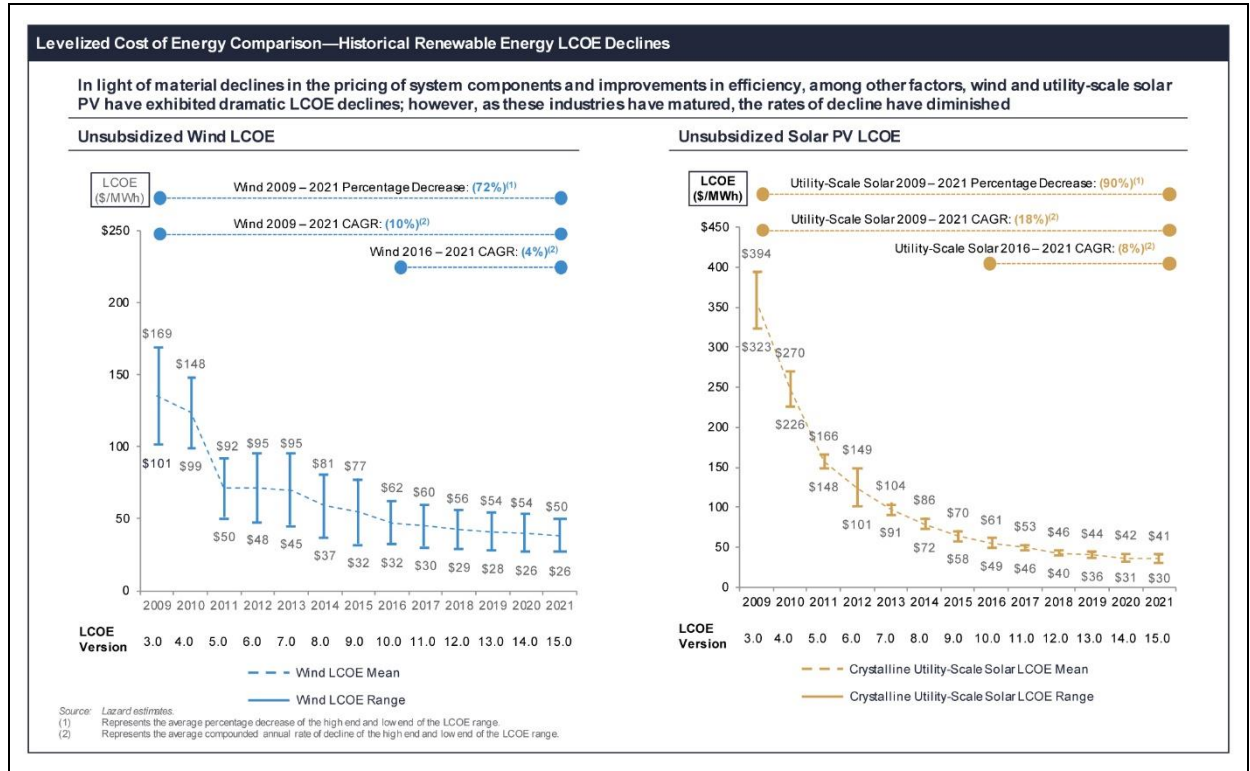
year	Sc/kWh	Type of RES	Number of RES Plant	Capacity (MW)	Estimated Annual Energy Production (kWh/year)	Annual Payment acc. to Est. An. Energy Production (\$)	year	Sc/kWh	Type of RES	Number of RES Plant	Capacity (MW)	Estimated Annual Energy Production (kWh/year)	Annual Payment acc. to Est. An. Energy Production (\$)
2016	7.3	hydro	64	2,064	7,425,715,883	542,077,259	2021	7.3	hydro	30	787	4,817,664,197	351,689,486
	7.3	wind	23	542	2,423,820,000	176,938,860		7.3	wind	47	514	6,613,698,840	482,800,015
	10.5	geothermal	6	94	847,443,020	88,981,517		10.5	geothermal	4	42	460,560,000	48,358,800
	13.3	biomass	8	17	153,209,000	20,376,797		13.3	biomass	66	202	3,511,352,968	467,009,945
	13.3	solar PV	0	0	0	0		13.3	solar PV	15	131	473,313,619	62,950,711
		sub-total	101	2,718	10,850,187,903	828,374,434			sub-total	162	1,676	15,876,589,624	1,412,808,958
2017	7.3	hydro	37	682	2,851,505,969	208,159,936	2022	7.3	hydro	30	787	4,817,664,197	351,689,486
	7.3	wind	35	642	3,357,901,669	245,126,822		7.3	wind	47	514	6,613,698,840	482,800,015
	10.5	geothermal	10	140	1,670,670,620	175,420,415		10.5	geothermal	4	42	460,560,000	48,358,800
	13.3	biomass	14	69	506,563,400	67,372,932		13.3	biomass	66	202	3,511,352,968	467,009,945
	13.3	solar PV	2	13	23,837,000	3,170,321		13.3	solar PV	15	131	473,313,619	62,950,711
		sub-total	98	1,547	8,410,478,658	699,250,426			sub-total	162	1,676	15,876,589,624	1,412,808,958
2018	7.3	hydro	25	467	1,460,407,336	106,609,736	2023	7.3	hydro	30	787	4,817,664,197	351,689,486
	7.3	wind	13	344	1,524,694,800	111,302,720		7.3	wind	47	514	6,613,698,840	482,800,015
	10.5	geothermal	8	186	2,177,490,640	228,636,517		10.5	geothermal	4	42	460,560,000	48,358,800
	13.3	biomass	13	46	463,713,400	61,673,882		13.3	biomass	66	202	3,511,352,968	467,009,945
	13.3	solar PV	1	10	20,000,000	2,660,000		13.3	solar PV	15	131	473,313,619	62,950,711
		sub-total	60	1,053	5,646,306,176	510,882,855			sub-total	162	1,676	15,876,589,624	1,412,808,958
2019	7.3	hydro	22	942	2,956,667,061	215,836,695	2024	7.3	hydro	30	787	4,817,664,197	351,689,486
	7.3	wind	14	244	1,329,113,672	97,025,298		7.3	wind	47	514	6,613,698,840	482,800,015
	10.5	geothermal	9	151	2,208,248,160	231,866,057		10.5	geothermal	4	42	460,560,000	48,358,800
	13.3	biomass	29	86	855,470,000	113,777,510		13.3	biomass	66	202	3,511,352,968	467,009,945
	13.3	solar PV	6	59	117,416,000	15,616,328		13.3	solar PV	15	131	473,313,619	62,950,711
		sub-total	80	1,482	7,466,914,893	674,121,888			sub-total	162	1,676	15,876,589,624	1,412,808,958
2020	7.3	hydro	20	105	506,604,922	36,982,159	2025	7.3	hydro	30	787	4,817,664,197	351,689,486
	7.3	wind	17	369	1,921,720,700	140,285,611		7.3	wind	47	514	6,613,698,840	482,800,015
	10.5	geothermal	6	179	1,415,408,000	148,617,840		10.5	geothermal	4	42	460,560,000	48,358,800
	13.3	biomass	25	116	1,270,973,538	169,039,481		13.3	biomass	66	202	3,511,352,968	467,009,945
	13.3	solar PV	8	81	184,483,870	24,536,355		13.3	solar PV	15	131	473,313,619	62,950,711
		sub-total	76	851	5,299,191,030	519,461,446			sub-total	162	1,676	15,876,589,624	1,412,808,958

Tablo 1'de yer alan yıllık maliyetler, kümülatif olarak da hesaplanmış ve bir grafik düzenlenmiştir. Buna göre, YEKDEM'in, 31 Aralık 2015 tarihinde sonlandırılmayıp, 5 yıl uzatılması sonucunda, 2016-2020 yılları arasında işletmeye giren YEK dayalı üretim tesislerinin ABD Doları bazlı ödemelerinin 2016-2025 dönemine ait maliyeti 47.7 Milyar Dolar'dır.



Şekil-1: YEKDEM 5 yıllık uzatma maliyetinin 2016-2025 dönemi

Öte yandan, teşvik sistemi, kanunun ana halinde öngörüldüğü şekliyle, 31 Aralık 2015 tarihinde son bulsaydı ve 2016 yılı itibarıyla, açık eksiltmeli ihale sistemine geçilseydi, nasıl bir maliyet oluşurdu? Bu duruma ilişkin bir çalışma yapabilmek için IRENA'nın AUCTION ve LAZARDS'ın LCoE raporlarından yararlandı. Her iki kuruluş da, YEK maliyetlerini, gerek kW gerekse kWh bazında hesaplayarak, yatırımcılara gösterge niteliğinde bilgi sunmaktadır.



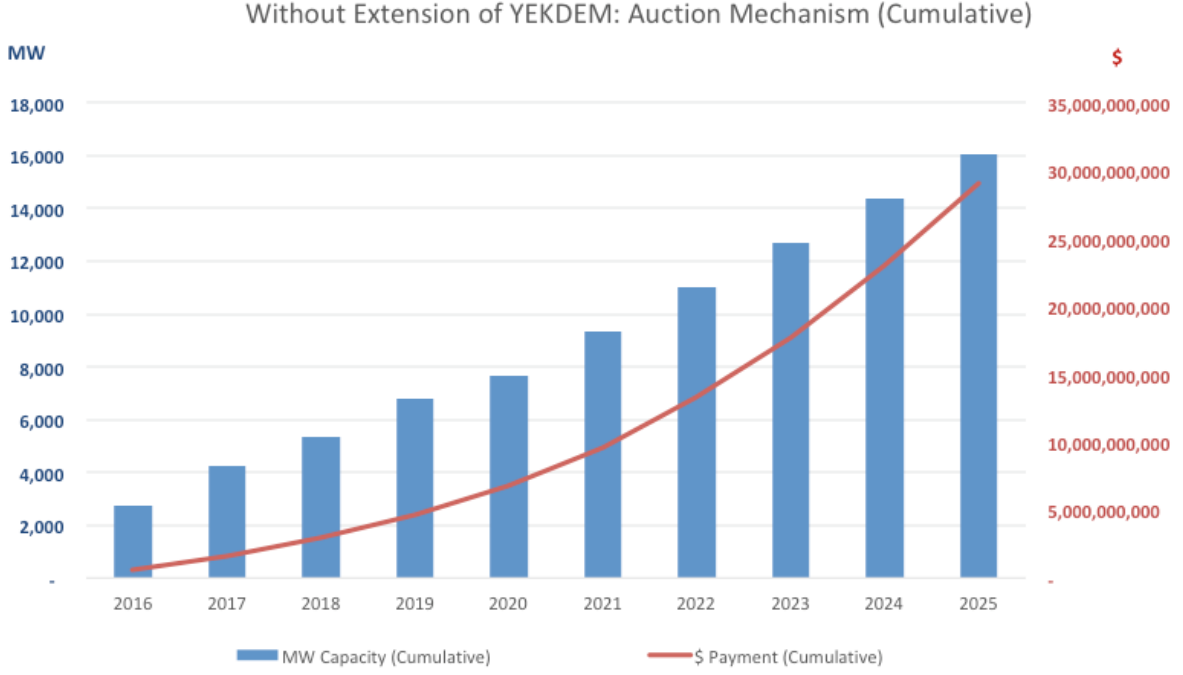
Şekil-2: LAZARD'S LCOE Analysis, Version 15.0

Bu çalışmada, IRENA ve LAZARD verileri kullanılarak, kaynak bazında, 2016 ve sonrasında oluşan YEK maliyet ve fiyatları belirlendi. Belirlenen ABD Doları bazlı bu yeni alım fiyatları, 10 yıllık alım garantisi sistemi devam ediyormuş varsayımına göre, orjinal durumdaki kurulu kapasite ve öngörülen üretim değerleri kullanılarak, oluşan yıllık maliyet yeni duruma göre hesaplanarak, Tablo-2'ye aktarılmıştır.

Tablo-2: 2016-2020 arasında devreye giren YEK kapasitesi dikkate alınarak, LCoE göz önüne alındığında, 2016-2025 dönemi için ödenecek teşvikler

year	\$c/kWh	Type of RES	Number of RES Plant	Capacity (MW)	Estimated Annual Energy Production (kWh/year)	Annual Payment acc. to Est. An. Energy Production (\$)	year	\$c/kWh	Type of RES	Number of RES Plant	Capacity (MW)	Estimated Annual Energy Production (kWh/year)	Annual Payment acc. to Est. An. Energy Production (\$)
2016	4.4	hydro	64	2,064	7,425,715,883	326,731,499	2021	4.4	hydro	30	787	4,817,664,197	211,977,225
	6.5	wind	23	542	2,423,820,000	157,548,300		4.0	wind	47	514	6,613,698,840	264,547,954
	6.5	geothermal	6	94	847,443,020	55,083,796		7.1	geothermal	4	42	460,560,000	32,699,760
	7.6	biomass	8	17	153,209,000	11,643,884		7.6	biomass	66	202	3,511,352,968	266,862,826
	9.0	solar PV	0	0	0	0		4.0	solar PV	15	131	473,313,619	18,932,545
		sub-total	101	2,718	10,850,187,903	551,007,479			sub-total	162	1,676	15,876,589,624	795,020,309
2017	4.4	hydro	37	682	2,851,505,969	125,466,263	2022	4.4	hydro	30	787	4,817,664,197	211,977,225
	6.0	wind	35	642	3,357,901,669	201,474,100		4.0	wind	47	514	6,613,698,840	264,547,954
	6.5	geothermal	10	140	1,670,670,620	108,593,590		7.1	geothermal	4	42	460,560,000	32,699,760
	7.6	biomass	14	69	506,563,400	38,498,818		7.6	biomass	66	202	3,511,352,968	266,862,826
	8.0	solar PV	2	13	23,837,000	1,906,960		4.0	solar PV	15	131	473,313,619	18,932,545
		sub-total	98	1,547	8,410,478,658	475,939,731			sub-total	162	1,676	15,876,589,624	795,020,309
2018	4.4	hydro	25	467	1,460,407,336	64,257,923	2023	4.4	hydro	30	787	4,817,664,197	211,977,225
	5.0	wind	13	344	1,524,694,800	76,234,740		4.0	wind	47	514	6,613,698,840	264,547,954
	6.7	geothermal	8	186	2,177,490,640	145,891,873		7.1	geothermal	4	42	460,560,000	32,699,760
	7.6	biomass	13	46	463,713,400	35,242,218		7.6	biomass	66	202	3,511,352,968	266,862,826
	6.0	solar PV	1	10	20,000,000	1,200,000		4.0	solar PV	15	131	473,313,619	18,932,545
		sub-total	60	1,053	5,646,306,176	322,826,754			sub-total	162	1,676	15,876,589,624	795,020,309
2019	4.4	hydro	22	942	2,956,667,061	130,093,351	2024	4.4	hydro	30	787	4,817,664,197	211,977,225
	4.5	wind	14	244	1,329,113,672	59,810,115		4.0	wind	47	514	6,613,698,840	264,547,954
	6.9	geothermal	9	151	2,208,248,160	152,369,123		7.1	geothermal	4	42	460,560,000	32,699,760
	7.6	biomass	29	86	855,470,000	65,015,720		7.6	biomass	66	202	3,511,352,968	266,862,826
	5.0	solar PV	6	59	117,416,000	5,870,800		4.0	solar PV	15	131	473,313,619	18,932,545
		sub-total	80	1,482	7,466,914,893	413,159,109			sub-total	162	1,676	15,876,589,624	795,020,309
2020	4.4	hydro	20	105	506,604,922	22,290,617	2025	4.4	hydro	30	787	4,817,664,197	211,977,225
	4.0	wind	17	369	1,921,720,700	76,868,828		4.0	wind	47	514	6,613,698,840	264,547,954
	7.1	geothermal	6	179	1,415,408,000	100,493,968		7.1	geothermal	4	42	460,560,000	32,699,760
	7.6	biomass	25	116	1,270,973,538	96,593,989		7.6	biomass	66	202	3,511,352,968	266,862,826
	4.5	solar PV	8	81	184,483,870	8,301,774		4.0	solar PV	15	131	473,313,619	18,932,545
		sub-total	76	851	5,299,191,030	304,549,176			sub-total	162	1,676	15,876,589,624	795,020,309

Tablo 2'de yer alan yıllık maliyetler, kümülatif olarak da hesaplanmış ve bir grafik düzenlenmiştir. Buna göre, YEKDEM, 31 Aralık 2015 tarihinde sonlandırılıp, ihale sistemine geçilseydi, 2016-2020 yılları arasında işletmeye giren YEK dayalı üretim tesislerinin ABD Dolar bazlı ödemelerinin 2016-2025 dönemine ait maliyeti 29 Milyar Dolar olacaktı.



Şekil-3: YEKDEM 5 yıllık uzatma yerine AÇIK EKSİLTME Lİ İHALE sistemine geçilmesi durumunda oluşacak 2016-2025 dönemi maliyeti

Bulguların Değerlendirilmesi

Yapılan hesaplar iki ana bölümden oluşmaktadır: YEK teşvik mekanizması olan YEKDEM'in onuncu yıl sonunda bir beş yıl daha uzatıldığı dönemde ödenen teşviklerin hesaplandığı birinci bölüm ve bu uzatma olmasaydı, aynı kapasite AÇIK EKSİLTME USULÜ ile İHALE edilseydi oluşacak maliyetin hesaplandığı ikinci bölüm. Bu iki yaklaşım arasındaki fark, 18.7 milyar dolar olarak belirlenmiştir. Bu çalışmanın yapıldığı günlerde henüz EPDK tarafından, 2022 yılı YEKDEM listesi yayımlanmıştır. Bu listenin yayımlanması ile birlikte, bu çalışma, iki açıdan güncellenecektir. Birinci olarak; YEK destekleme mekanizmasının 2005-2030 yılları arasında oluşacak toplam maliyeti hesaplanacak, ikinci olarak ise, YEK destekleme mekanizmasının 5 yıl daha uzatılmasıyla oluşan, 2016-2030 yılları arasındaki ilave maliyet hesaplanacaktır.

Sonuç

Elektrik enerjisi kullanımının yaygınlaştığı günümüzde, Devletler için enerjide dışa bağımlılık en önemli stratejik konudur. Bu konunun 5 ve/veya 10 yıllık planlarla takibi artık uygulanabilir bir yöntem olmaktan çıkmıştır. Özellikle, rüzgar ve güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretim maliyetlerindeki düşüşler, kamunun teşvik mekanizmalarını çok daha yakından takip etmesini gerektirmektedir. Piyasa İzleme Fonksiyonu olarak da adlandırılan bu işlemin, serbestleşen ve teşvikle desteklenen piyasalar için çok büyük maliyete neden olduğu görülmektedir.

Referanslar

T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu www.epdk.gov.tr

International Renewable Energy Agency www.irena.org

Lazard Inc. www.lazard.com



AVRUPA VE TÜRKİYE'DE Kİ RÜZGAR ENERJİSİ ETKİNLİĞİNİN VERİ ZARFLAMA ANALİZİ VE DİSKRİMİNANT ANALİZİ KULLANILARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION OF WIND ENERGY EFFICIENCY IN EUROPE AND TURKEY USING DATA ENVELOPEMENT ANALYSIS AND DISCRIMINANT ANALYSIS

Ferhan BAŞ KAMAN

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Şereflikoçhisar Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Finans ve Bankacılık Bölümü, Ankara, Türkiye., ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1879-9215>

Özet

Dünya nüfusu arttıkça enerji ihtiyacı da artmakta, dünyadaki fosil yakıtlardan sağlanan enerjinin tükenecek olması da insanları tükenmeyecek sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelmesine sebep olmaktadır. Bu noktada hem sürdürülebilir olması hem de çevre için temiz enerji olması sebebiyle yenilenebilir enerji bütün dünyada çok büyük önem kazanmış ve ülkeler sıklıkla yenilenebilir enerji performanslarını değerlendirmek istemişlerdir. Çünkü yenilenebilir enerji de doğru yatırım politikalarının belirlenebilmesi için yapılacak olan analizler ve yorumlamaları oldukça önemlidir. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda yenilenebilir enerji performansının değerlendirilmesinde, en etkili yöntemlerden birinin Veri zarflama Analizi (VZA) olduğu ortaya konmuştur. Fakat bir çok enerji performansı değerlendirmesinde VZA yöntemi farklı yöntemlerle de birleştirilerek çalışmaların gücü ve açıklayıcılığı artırılmak istenmiştir. VZA yöntemi çoklu girdi ve çıktı değişkenleri ile uygulandığı için son zamanlarda çok değişkenli istatistiksel metotlarla birlikte kullanımı da oldukça yaygın hale gelmeye başlamıştır. Bu çalışmada VZA yöntemi, çok değişkenli bir analiz olan diskriminant analizi (DA) yöntemi ile kombine edilerek (VZA-DA) performans değerlendirmesi yapılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgar, hidro elektrik, jeotermal, biyoenerji, bitki artıkları ve okyanus enerjisi olmakla beraber, çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarında çok büyük payı olan rüzgar enerjisi kullanılmıştır. Enerji performanslarının incelenmesinde seçilen değişkenler de çok büyük önem taşımaktadır. Ülkelerinin enerji üretimine bakılırken ne kadar enerjiye ihtiyaç duyduğu da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle girdi değişkenleri olarak nüfus (2020 yılı), yıllık enerji tüketimi (2019 yılı) ve 2000-2020 yılları arası toplam rüzgar enerjisi yatırımı alınırken çıktı değişkeni olarak 2020 yılı rüzgar enerjisi üretimi alınmıştır. Türkiye ve Avrupa ülkelerinde rüzgar enerjisi performansının değerlendirildiği çalışmada klasik VZA yöntemi ile VZA-DA yöntemi karşılaştırılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre klasik VZA yönteminin uygulandığı ve süper etkinlik modeli ile sıralanan ülkeler incelendiği zaman rüzgar enerjisi üretiminde en verimli 5 ülke Yunanistan, Kuzey Makedonya, Danimarka, İtalya ve Almanya olarak elde edilmiştir. 26 ülke arasında Türkiye 11. nci sırada yer almıştır. VZA-DA yöntemine göre ise en verimli 5 ülke Almanya İspanya, Fransa, İsveç ve Danimarka olarak elde edilmiştir. Burada Türkiye ise 19. sırada yer almıştır.

Anahtar Kelimeler: Veri zarflama analizi, diskriminant analizi, rüzgar enerjisi.

Abstract

As the world population increases, the need for energy also increases, and the fact that the energy obtained from fossil fuels in the world will run out causes people to turn to sustainable energy sources that will not run out. At this point, renewable energy has gained great importance all over the world because it is both sustainable and clean energy for the environment, and countries have often wanted to evaluate their renewable energy performance. Because the analyzes and interpretations to be made in order to determine the right investment policies in renewable energy are very important. In recent studies, it has been revealed that one of the most effective methods in the evaluation of renewable energy performance is Data Envelopment Analysis (DEA). However, in many energy performance evaluations, it was desired to increase the power and explanatory power of the studies by combining the DEA method with different methods. Since the DEA method is applied with multiple input and output variables, its use with multivariate statistical methods has recently become quite common. In this study, performance evaluation was made by combining the DEA

method with the discriminant analysis (DA) method, which is a multivariate analysis (DEA-DA). Although renewable energy sources are solar, wind, hydroelectric, geothermal, bioenergy, plant residues and ocean energy, wind energy, which has a large share in renewable energy sources, was used in the study. The variables chosen in the analysis of energy performances are also of great importance. When looking at the energy production of their countries, it should be taken into account how much energy they need. For this reason, population (year 2020), annual energy consumption (year 2019) and total wind energy investment between 2000-2020 are taken as input variables, while 2020 wind energy production is taken as output variable. In the study evaluating the wind energy performance in Turkey and European countries, the results were evaluated by comparing the classical DEA method with the DEA-DA method. According to the results of the analysis, when the classical DEA method was applied and the countries ranked with the super efficiency model were examined, the 5 most efficient countries in wind energy production were obtained as Greece, North Macedonia, Denmark, Italy and Germany. Turkey ranked 11th among 26 countries. According to the DEA-DA method, the 5 most productive countries were obtained as Germany, Spain, France, Sweden and Denmark. Here, Turkey was ranked 19th.

Keywords: Data envelopment analysis, discriminant analysis, wind energy.

GİRİŞ

Enerji, dünyanın en önemli ihtiyaçlarından birisidir ve bu ihtiyaç nüfus artışı ile birlikte sürekli olarak artmaktadır. Bugün tüketilen enerjinin büyük bir çoğunluğunu fosil yakıtlar (kömür, petrol ve doğalgaz), geri kalanını da nükleer ve yenilenebilir enerji kaynakları (güneş, rüzgar, hidro elektrik, jeotermal, biyoenerji, bitki artıkları ve okyanus enerjisi) oluşturmaktadır. Enerji üretiminde fosil kaynakların kullanılması, yakın zamanda tükenecek olması, hava su, toprak kirliliğine sebep olup bitki örtüsü ve hayvanların yok olması, iklim krizine sebebiyet vermesi ve enerjide dışa bağımlılığa sebep olup ekonomik olarak olumsuzluklar yaratması gibi sorunlara yol açmaktadır ve bu sorunlar ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmiştir.

Yenilenebilir enerji de doğru yatırım politikalarının belirlenebilmesi için yapılacak olan analizlerin kapsayıcılığı çok önemlidir. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda yenilenebilir enerji performansının değerlendirilmesinde, en etkili yöntemlerden birinin VZA olduğu kapsamlı bir literatür taraması yapan Fairuz ve arkadaşları (2020) tarafından ortaya konulmuştur.

VZA yöntemi çoklu girdi ve çıktı değişkenleri ile uygulandığı için son zamanlarda çok değişkenli istatistiksel metotlarla birlikte kullanımı da oldukça yaygın hale gelmeye başlamıştır. Yenilenebilir enerji performansında, VZA yönteminin diğer çok değişkenli metotlarla kullanımı için birçok örnek verilebilir. Azadeh ve arkadaşları (2008) İran'da 25 şehirde bir güneş enerjisi santralinin inşasında mümkün olan en düşük maliyetle en uygun yeri seçmek için VZA analizini, temel bileşenler analizi (TBA) ve sayısal taksonomi (ST) yöntemleriyle entegre ederek kullanmıştır. Çin, İran, Türkiye, İspanya, Almanya ve Amerika gibi birçok ülke VZA metodu ve çok değişkenli analiz metotlarının kombinasyonu ile rüzgar enerjisi performanslarını değerlendirmişlerdir. Azadeh ve arkadaşları (2011) VZA-TBA-ST analizlerini kullanmışlardır. Ertek ve arkadaşları (2012) VZA-görsel analiz yöntemini kullanmıştır. İribarren ve arkadaşları (2013) yaşam döngüsü analizi-VZA yöntemini kullanmışlardır. Ederer (2015), Sameie ve Arvan (2015), Wu ve arkadaşları (2016), Sağlam (2017a, 2017b) ve Niu ve arkadaşları (2018) VZA-Tobit regreyon analizi yöntemini kullanmışlardır.

Yenilenebilir enerji performansında sıklıkla kullanılan yöntemler yukarıda verilmiştir. Bu çalışmada da VZA ve DA yönteminin birleştirilmesi ile bir etkinlik değerlendirilmesi yapılmıştır. VZA ve DA yöntemlerinin bir kombinasyonunu ilk olarak Sinuany-Stern ve Friedman (1998) tarafından karar verme birimlerinin (KVB) sıralanması için önerilmiştir. Ünsal ve Nazman (2020), VZA ve DA modellerini uygulayarak Türkiye'nin şehirlerinin verimliliğini değerlendirmiştir. Bu amaçla, şehirlerin sosyo-ekonomik sıralaması belirlenmiş ve sonrasında verimlilik puanlarına göre bir karşılaştırma yapılmıştır. Ayrıca çalışmada VZA-DA yönteminin geleneksel VZA yöntemine göre daha yüksek ayırım gücüne sahip olduğu gösterilmiştir.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Veri ve metodoloji

Enerji verimliliği çalışmalarında seçilecek girdi ve çıktı değişkenleri doğru sonuçlar elde etmek için kilit noktalardan birisidir. Ülkelerin rüzgar enerjisi üretimindeki etkinliğini doğru bir şekilde elde edebilmek için

rüzgar enerjisi üretimi çıktı değişkeni olarak belirlenirken, nüfus, yıllık enerji tüketimi ve rüzgar enerjisi yatırımı girdi değişkenleri olarak belirlenmiştir. Buna göre üretilen rüzgar enerjisi ülkelerin ihtiyaçlarına göre değerlendirilebilecektir. Çalışmada nüfus ve yıllık enerji tüketimi verileri European Statistical'dan (Eurostat), rüzgar enerjisi yatırımı ve üretilen rüzgar enerjisi verileri International Renewable Energy Agency'den (IRENA) elde edilmiştir. Avrupa ülkelerinden rüzgar enerjisi yatırımı olmayan ülkeler çalışmaya dahil edilmemiştir. Türkiye ve Avrupa ülkelerinin rüzgar enerjisi etkinliği araştırılacak olan çalışmada kullanılacak girdi ve çıktı değişkenleri Tablo 1'de, veriler tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Girdi ve çıktı değişkenleri

Girdi değişkenleri	Çıktı değişkeni
x_1 : Nüfus (2020)	y_1 : 2020 rüzgar enerjisi üretimi (megawatt)
x_2 : Yıllık enerji tüketimi (2019)	
x_3 : 2000-2020 yılları arası toplam rüzgar enerjisi yatırımı (2019 milyon USD)	

Tablo 2. Çalışmaya katılan ülkelere ait veriler

Ülkeler	Nüfus	Yıllık enerji tüketimi	2000-2020 yılları arası toplam rüzgar enerjisi yatırımı (2019 milyon USD)	2020 rüzgar enerjisi üretimi (megawatt)
Belçika	11522440	40050,924	3359,83	4692
Danimarka	5822763	13975,816	388,74	6235
Almanya	83166711	223038,459	3161,82	62184
Estonya	1328976	2983,835	1347,52	316
İrlanda	4964440	11529,849	644,83	4300
Yunanistan	10718565	16417,274	75,17	4113
İspanya	47332614	86287,382	1586,65	27089
Fransa	67320216	155716,806	496,82	17382
Hırvatistan	4058165	7289,279	73,68	788
İtalya	59641488	118662,685	173,48	10839
Kıbrıs	888005	1664,089	81,8	158
Macaristan	9769526	19991,671	72,56	323
Hollanda	17407585	56400,127	1150,81	6600
Avusturya	8901064	28346,835	1096,32	3224
Polonya	37958138	75631,938	1121,42	6267
Portekiz	10295909	17583,942	1150,44	5239
Romanya	19328838	24972,765	1110,79	3023
Finlandiya	5525292	25865,086	86,78	2474
İsveç	10327589	33433,209	860,96	9688
Birleşik Krallık	67025542	127768,662	8476,57	24665
Karadağ	621873	801,595	19,68	118
Kuzey Makedonya	2076255	1992,446	0,27	37
Sırbistan	6926705	9043,86	311,66	397
Türkiye	83154997	105048,807	221,15	8832
Ukrayna	41732779	50060,736	275,55	1402
Gürcistan	3716858	4591,701	0,16	21

VZA-DA yöntemi ile KVB'lerin sıralanması

VZA, çoklu girdi/çıkı değişkenlerinin bulunduğu ve bu değişkenlerin ortak bir kriter seviyesine indirgenemediği durumlar için KVB'lerin görece toplam faktör etkinliğini hesaplamaya yarayan doğrusal programlamaya (DP) dayalı bir yöntemdir. VZA'da verimliliği ölçmek için kullanılacak birçok model vardır ve bu modeller, ağırlıklı çıktı toplamının, ağırlıklı girdi toplamına oranı olarak belirlendiği, oran

modellerinden türetilmiştir (Charnes vd., 1978). Başka bir ifadeyle, belirli bir birimin verimliliği, çıktıların toplamının değerinin, girdilerin toplamının değerine oranı olarak tanımlanabilir. Bu durumda maksimum verimlilik 1 ile sınırlıdır. Yani, bir birimin verimliliği 1'e eşit veya daha az olmalıdır.

VZA'da kullanılacak olan model ölçeğe göre sabit getiri ve değişken getiri olmasına göre belirlenmektedir. Buna göre, ölçeğe göre sabit getiri modeli olarak bilinen CCR modeli, 1978'de Charnes Cooper Rhodes tarafından önerilmiştir. Bu model, toplam etkinliğin genel bir değerlendirmesini yapar. Toplam etkinlik değeri; teknik etkinlik ve ölçek etkinliğinden oluşur. Ölçeğe göre değişken getiri modeli olarak bilinen BCC modeli, 1984 yılında Banker Charnes Cooper tarafından önerilmiştir (Banker vd., 1984). BCC modeli kullanılarak tüm KVB'ler için bir ölçek tipine dönüş tanımlanabilir. BCC sınırı her zaman CCR sınırının altındadır. Bu nedenle, CCR etkinlik değeri BCC etkinlik değerine eşittir veya bundan düşüktür. BCC modelinin CCR modelinden tek farkı, ölçeğe göre değişken getiri varsayımı altında, toplam λ_j değerlerinin (etkinsiz bir KVB için olası etkin girdi çıktı kombinasyonunu oluşturmak için gerekli bilgileri sağlayan değer) toplamı, 1'e eşit olan her bir KVB için doğrusal programın çözümünden elde edilir (Banker vd., 1984).

VZA modelleri üretim sürecinin tanımına göre girdi yönelimli veya çıktı yönelimli olarak oluşturulabilirler. Girdi değişkenler üzerinde kontrol az ya da yoksa çıktı yönelimli bir model; eğer çıktılar üzerinde kontrol az ya da yoksa girdi yönelimli bir model oluşturulmalıdır (Banker vd., 1984).

VZA kapsamında uygulanan birçok model vardır ve bu çalışmada girdiler sabit tutularak çıktı değişkeni artırılmak istendiği için çıktı odaklı CCR model kullanılacaktır. Çıktı odaklı CCR model için formül aşağıda verilmiştir.

Çıktı odaklı CCR model;

$$E_k = \max \beta + \varepsilon \sum_{i=1}^m S_i^- + \varepsilon \sum_{r=1}^p S_r^+ \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} \lambda_j + S_i^- - X_{ik} = 0 \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n Y_{rj} \lambda_j - S_r^+ - \beta Y_{rk} = 0 \quad (6)$$

$$\lambda_j, S_i^-, S_r^+ \geq 0 \quad , j = 1, \dots, n, \quad r = 1, \dots, p, \quad i = 1, \dots, m$$

Burada CCR model için notasyon tanımları aşağıdaki gibidir.

λ : karar birimleri üzerindeki yoğunluk vektörü,

j : karar birimleri,

r : çıktılar,

i : girdiler,

Y_{rj} : j . KVB için r çıktısının değeri,

X_{ij} : j . KVB için i girdisinin değeri,

S_i^- : i . girdideki fazlalık,

S_r^+ : r . çıktıda azlık,

ε : sıfırdan büyük yeterince küçük bir sayı,

β : bağıl verimliliği ölçülen KVB'leri girdilerinin arttırılma miktarını belirleyen genişletme katsayısı.

Klasik CCR modelle KVB'lerin hangilerinin etkin hangilerinin verimsiz olduğu belirlenirken Andersen ve Petersen (1993) tarafından önerilen süper etkinlik modeli ile etkin olan KVB'lerin de en etkinden daha az etkin olana doğru sıralanması sağlanabilmektedir.

Diskriminant Analizi, genel anlamda ayırma olup, bireylere ait p tane özellikten yararlanarak ait oldukları grupları belirlemede veya mevcut grupları birbirinden ayıracak en iyi fonksiyonu bulmada kullanılan çok değişkenli istatistik tekniklerinden biridir. Genel olarak birimlerin gruplanmasında bazı matematiksel eşitliklerden faydalanılır. Diskriminant fonksiyonu olarak adlandırılan bu eşitlikler birbirine en çok benzeyen

grupları belirlemeye olanak sağlayacak şekilde grupların ortak özelliklerini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. n değişken için Fisher'in lineer diskriminant fonksiyonu aşağıda verilmiştir (Johnson ve Wichern, 2002).

$$b = w_1 a_1 + w_2 a_2 + \dots + w_k a_k \quad (3)$$

Fisher'in diskriminant fonksiyonu a_p ($p = 1, \dots, k$) adet çok değişkenli gözlemleri b tane tek değişkenli gözlemlere dönüştürmektir. Burada w_p ($p = 1, \dots, k$) Fisher'in diskriminant fonksiyonundaki p inci değişkeninin ağırlığıdır.

VZA ve DA'nın birlikte kullanımı ile yapılacak olan çalışma iki adımdan oluşmaktadır. Birinci adımda KVB'lerin etkinliklerinin belirlenebilmesi için klasik CCR yöntemi uygulanacaktır. Etkin ve verimsiz şeklinde elde edilen iki grup diskriminant analizi için gerekli olan grupların belirlenmesinde kullanılacaktır. İkinci adımda da hem girdi hem de çıktı değişkenleri birlikte kullanılarak Fisher'in diskriminant fonksiyonu belirlenecektir. Diskriminant analizinden elde edilen yapı matrisi ile ayırmada etkili olan değişkenler belirlenirken, diskriminant skorları ile KVB'lerin sıralanması elde edilecektir.

Ülkelerin rüzgar enerjisi etkinlik sıralaması

26 ülkenin rüzgar enerjisi etkinliğinin değerlendirildiği çalışmada ilk olarak CCR yöntem uygulanmış ve etkin ve verimsiz olan ülkeler belirlenmiştir. Sonuçlar tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Ülkelerin CCR modele göre sınıflandırılması

Ülkeler	Etkin/Verimsiz
Belçika	Verimsiz
Danimarka	Etkin
Almanya	Etkin
Estonya	Verimsiz
İrlanda	Verimsiz
Yunanistan	Etkin
İspanya	Verimsiz
Fransa	Verimsiz
Hırvatistan	Verimsiz
İtalya	Etkin
Kıbrıs	Verimsiz
Macaristan	Verimsiz
Hollanda	Verimsiz
Avusturya	Verimsiz
Polonya	Verimsiz
Portekiz	Verimsiz
Romanya	Verimsiz
Finlandiya	Verimsiz
İsveç	Verimsiz
Birleşik Krallık	Verimsiz
Karadağ	Verimsiz
Kuzey Makedonya	Etkin
Sırbistan	Verimsiz
Türkiye	Verimsiz
Ukrayna	Verimsiz
Gürcistan	Verimsiz

Tablo 3 incelendiğinde Danimarka, Almanya, Yunanistan, İtalya ve Kuzey Makedonya rüzgar enerjisi üretiminde etkin bulunurken diğer ülkeler verimsiz olarak sınıflanmıştır. Elde edilen sınıflama diskriminant analizinde grupların belirlenmesinde kullanıldı ve sonuçlar elde edildi.

Standartlaştırmış kanonik diskriminant fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$c = -0,426x_1 + 0,114x_2 - 0,831x_3 + 1,372y_1$$

Standartlaştırmış kanonik diskriminant fonksiyonunun katsayıları çoklu regresyonun beta katsayıları ile aynı amaca sahiptir ve katsayılardan mutlak değerce büyük olanlar yüksek ayırım gücüne sahiptir. Bu fonksiyon incelendiğinde ayırımın yapılmasında en etkili değişkenin üretilen rüzgar enerjisi olduğu ve pozitif yönde bir etki yaptığı görülüyor. Daha sonra da rüzgar enerjisine yapılan yatırım etkili olmuştur fakat bu negatif yani ters yönde bir etki yaratmıştır.

Her ülke için diskriminant skorları hesaplanmış ve buna göre etkinlik sıralaması elde edilmiştir. Tablo 4'te hem süper etkinlik değerine göre hem de VZA-DA yöntemine göre elde edilen sıralama verilmiştir.

Tablo 4. Ülkelerin süper etkinlik ve VZA-DA yöntemlerine göre etkinlik sıralaması

Süper Etkinlik	VZA-DA
Yunanistan	Almanya
Kuzey Makedonya	İspanya
Danimarka	Fransa
İtalya	İsveç
Almanya	Danimarka
Gürcistan	İtalya
Finlandiya	Yunanistan
İsveç	Finlandiya
İspanya	İrlanda
İrlanda	Hollanda
Türkiye	Hırvatistan
Portekiz	Karadağ
Fransa	Kuzey Makedonya
Birleşik Krallık	Kıbrıs
Belçika	Gürcistan
Hırvatistan	Portekiz
Hollanda	Macaristan
Karadağ	Sırbistan
Avusturya	Türkiye
Romanya	Avusturya
Polonya	Polonya
Estonya	Romanya
Kıbrıs	Ukrayna
Ukrayna	Estonya
Sırbistan	Belçika
Macaristan	Birleşik Krallık

Klasik VZA yönteminin uygulandığı ve süper etkinlik modeli ile sıralanan ülkeler incelendiği zaman rüzgar enerjisi üretiminde en verimli 5 ülke Yunanistan, Kuzey Makedonya, Danimarka, İtalya ve Almanya olarak elde edilmiştir. En verimsiz 5 ülke ise Estonya, Kıbrıs, Ukrayna, Sırbistan ve Macaristan olarak elde edilmiştir. 26 ülke arasında Türkiye 11. nci sırada yer almıştır. VZA-DA yöntemine göre ise en verimli 5 ülke Almanya, İspanya, Fransa, İsveç ve Danimarka olarak elde edilmiştir. En verimsiz ülkeler ise Romanya, Ukrayna, Estonya, Belçika ve Birleşik Krallık olarak elde edilmiştir. Burada Türkiye ise 19. sırada yer almıştır.

SONUÇ VE YORUMLAR

Klasik VZA yöntemindeki en önemli amaç en az girdi ile en fazla çıktıyı elde etmektir. Dolayısıyla süper etkinlik modeli ile elde edilen sıralamada daha küçük girdi değerlerine sahip ülkelerin daha etkin olduğu sonuçlar elde edilmiştir. Yani burada nüfus, yıllık enerji tüketimi ve yatırım ne kadar küçük ise ülkeler de o kadar etkin çıkmıştır. Bu durum yatırım değişkeni için doğru olsa da diğer iki değişken için aynı şeyi söylemek mümkün değildir. Ülkelerin enerji üretimindeki verimliliğinden bahsederken ülkelerin ihtiyaçları da göz önünde bulundurulmalıdır. Nüfusu fazla olan, ya da daha büyük sanayiye sahip olduğu için yıllık enerji tüketimi fazla olan bir ülke ile daha küçük nüfuslu bir ülkenin enerji ihtiyacı aynı değildir. Bu durumda ülkelerin rüzgar enerjisi üretimindeki verimliliğini daha doğru tahmin edebilmek için bu değişkenlerinde dikkate alınması gerekmektedir. Fakat bu değişkenlerin klasik VZA yönteminde ayırım gücünü düşürdüğü çok net gözükmemektedir. Örnek vermek gerekirse süper etkinlik modelinin sıralamasına bakıldığında Almanya, Danimarka'nın nüfus olarak 14, yıllık enerji tüketimi olarak 16 katı daha büyük olmasına rağmen rüzgar enerjisine yaptığı yatırım 8 kat ve elde ettiği rüzgar üretimi ise 9 kat daha fazladır. Fakat süper etkinlik modelinde Danimarka Almanya'dan daha etkin bulunurken VZA-DA yönteminde Almanya en etkin ülke bulunmuştur. Süper etkinlik modeline göre sıralamada Danimarka'nın daha küçük nüfuslu ve yıllık enerji tüketiminin daha az olmasının, VZA-DA yönteminde ise yatırım ve üretilen rüzgar enerjisi miktarının etkili olduğu gözükmemektedir. Bir başka örnek ise, süper etkinlik modelin sıralanmasında Fransa 13. ncü sırada yer alırken Birleşik Krallık 14. ncü sırada yani hemen arkasında yer almıştır. Bu noktada Fransa ve Birleşik Krallığın verileri incelenecek olursa, iki ülkenin nüfus ve yıllık enerji tüketimi olarak birbirine çok yakın olduğu bir diğer taraftan da Birleşik Krallığın rüzgar enerjisine yaptığı yatırımın Fransa'nın 17 katı olduğu fakat ürettiği rüzgar enerjisi miktarının yaklaşık 1,5 katı olduğu gözükmemektedir. Yani aslında bu iki ülke sadece nüfus ve kullanılan yıllık enerji miktarı olarak birbirine çok yakın, rüzgar enerjisi yatırımı ve üretimi açısından ise oldukça farklıdır. Dolayısıyla bu iki ülkenin etkinlik sıralamasının çok farklı olması beklenmektedir. VZA-DA yöntemi ile elde edilen sıralamaya bakıldığında ise Fransa en etkin 3. ncü ülke iken Birleşik Krallık en verimsiz ülke olmuştur. Diskriminant analizinde hem girdi hem de çıktı değişkenleri birlikte değerlendirilmektedir. Bu durum da değişkenleri değerlendirirken daha objektif bir değerlendirme yapmaktadır. Standartlaştırılmış kanonik diskriminant fonksiyonu katsayılarına bakıldığında ayırmada en etkili değişkenin rüzgar enerjisi üretimi iken ikinci önemli değişkenin yatırım olduğu gözükmemektedir. Nüfus ve yıllık enerji tüketiminin payları daha küçüktür. Dolayısıyla burada girdi değişkenlerinin her birinin aynı etkiye sahip olduğu hesap edilerek yapılan çalışmanın, ülkeleri sınıflamada yanlışlıklara sebep olduğu gözükmemektedir. Enerji verimliliği için yapılan çalışmalarda seçilen girdi ve çıktı değişkenleri çok büyük öneme sahiptir. Fakat hem girdi değişkenlerinin hem de çıktı değişkenlerinin hepsinin aynı yönde ve aynı etkiye sahip olması düşünülemez. Bu nokta da klasik VZA yöntemini tek başına kullanmak yerine diskriminant analizi ile birlikte kullanmak, değişkenlerden kaynaklı ayırım problemini azaltmış ve daha doğru sonuçlar elde edilmesi sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Andersen P. ve Petersen N.C., (1993), A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis, *Management Science*. 39, 1261–1264.
- Azadeh A., Ghaderi S. F. ve Maghsoudi A., (2008), Location optimization of solar plants by an integrated hierarchical DEA PCA approach, *Energy Policy* . 36, 3993–4004.
- Azadeh A., Ghaderi S. F. ve Nasrollahi M. R., (2011), Location optimization of wind plants in Iran by an integrated hierarchical data envelopment analysis, *Renewable Energy*. 36, 1621–1631.
- Banker R. D., Charnes A., Cooper W. W., (1984), Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*. 30, 9, 1078-1092.
- Charnes A., Cooper W., Rhodes E., (1978), Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operations Research*. 2, 429-444.
- Ederer N., (2015), Evaluating capital and operating cost efficiency of offshore wind farms: A DEA approach, *Renewable Sustainable Energy Rev.* 42, 1034–1046 .

- Ertek G., Tunc M.M., Kurtaraner E. ve Kebude D., (2012), Insights into the efficiencies of on-shore wind turbines: A data-centric analysis, in Proceedings of INISTA 2012—International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications.
- Fairuz S.M.C., Norasikin A.L., Sohif M. ve Kamaruzzaman S., (2020), Renewable energy performance evaluation studies using the data envelopment analysis (DEA): A systematic review, *J. Renewable and Sustainable Energy* 12, 062701.
- Iribarren D., Martín-Gamboa M. ve Dufour J., (2013), Environmental benchmarking of wind farms according to their operational performance, *Energy*. 61, 589–597 .
- Johnson R. A. ve Wichern D. W., (2002), Applied multivariate statistical analysis. Englewood Cliffs: PrenticeHall.
- Niu D., Song Z., Xia X. Ve Wang Y., (2018), Analysis of wind turbine micro-siting efficiency: An application of two-subprocess data envelopment analysis method, *J. Cleaner Prod.* 170, 193–204.
- Sağlam U., (2017a), Assessment of the productive efficiency of large wind farms in the United States: An application of two-stage data envelopment analysis, *Energy Convers. Manage.* 153, 188–214 .
- Sağlam U., (2017b), A two-stage data envelopment analysis model for efficiency assessments of 39 state's wind power in the United States, *Energy Convers. Manage.* 146, 52–67.
- Sameie H. ve Arvan M., (2015), A simulation-based data envelopment analysis (DEA) model to evaluate wind plants locations, *Decis. Sci. Lett.* 4, 165–180 .
- Sinuanay-Stern Z. ve Friedman L., (1998), DEA and the discriminant analysis of ratios for ranking units. *European Journal of Operational Research*, 111, 470–478.
- Ünsal M.G. ve Nazman E., (2020), Investigating socio-economic ranking of cities in Turkey using data envelopment analysis (DEA) and linear discriminant analysis (LDA). *Ann Oper Res* 294, 281–295.
- Wu Y., Hu Y., Xiao X. ve Mao C., (2016), Efficiency assessment of wind farms in China using two-stage data envelopment analysis, *Energy Convers. Manage.* 123, 46–55.



MINİ MODÜLER REAKTÖRLER: GELİŞMEKTE OLAN EKONOMİLER AÇISINDAN BİR DEĞERLENDİRME

SMALL MODULAR REACTORS: AN ASSESSMENT FOR DEVELOPING ECONOMIES

Tuğba BERÇİNTÜRK

Hitit Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Maliye, Çorum, Türkiye.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9667-1244>

Özet

Yenilenebilir ve birincil bir enerji kaynağı olan nükleer enerji ikincil enerjiye dönüştürülmesi esnasında, fosil yakıtlar gibi havayı kirletmemesi ve fosil yakıtların yanması nedeniyle oluşan atıklardan daha az atığa sahip olması, yenilenebilir kaynaklardaki gibi hava koşulları ve fosil yakıtlardaki gibi yakıt kalitesi ya da rezervi gibi koşullara bağlı olmadan sürekli ve kesintisiz enerji sağlamasından dolayı enerji üretiminde önemli bir yere sahiptir. Diğer enerji kaynaklarına göre birçok avantaja sahip olan nükleer enerji birçok riski ve dezavantajı da bünyesinde barındırmaktadır. Bunlardan ilki kurulum maliyetleridir. Maliyetinin önemli bir bölümünü kurulum maliyetleri oluşturmaktadır faaliyetleri sonucu oluşan maliyetler kurulum maliyetleri yanında düşük kalmaktadır. Güvenlik için yapılması gereken harcamalar, yapım süresinin uzunluğunun getirdiği ilave maliyetler de hesaba katıldığında nükleer santrallerin kullanım öncesi aşamadaki maliyetleri daha da artmaktadır. Nükleer santrallerin ömrü dolduğunda kullanımdan kaldırılması ise kurulumundan daha maliyetli olmaktadır. Ancak nükleer santrallerle ilgili asıl sorun radyoaktif sızıntıların önlenmesi sorunudur. Nükleer faaliyetler sırasında olabilecek kazalar sonucunda ya da nükleer atıkların yeterince güvenilir olmayan bir depolama alanında depolanması nedeniyle radyoaktif sızıntılar ortaya çıkabilir bu da hem insanlar hem çevre için çok ciddi olumsuzluklara yol açabilir.

Gelişim süreci devam eden bir teknoloji olarak mini modüler reaktörler büyük reaktörlere göre daha düşük bir başlangıç maliyetiyle, daha kısa sürede üretilmekte ve finansal riski de daha az olmaktadır. Daha küçük boyutlarda olmaları nedeniyle şebeke kapasitesi az olan ve dağınık nüfusa sahip alanlar için uygundur. Yine boyutlarının küçük olması kapasite ve yakıt kaynakları açısından üretimde esneklik sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına uyum sağlama kabiliyeti yüksek, pasif güvenlik özelliklerine ve daha az atığa sahip mini modüler reaktörler enerji talebi giderek artan, elektrik şebekeleri küçük, yerleşimi dağınık gelişmekte olan ülke ekonomileri için enerji üretiminde avantajlı bir alternatif gibi görünmektedir.

TEİAŞ Türkiye Elektrik İletim Üretim İstatistiklerine göre Türkiye’de 2020 yılı için elektrik üretiminin yaklaşık %45’i kömür ve doğal gazla çalışan termik santrallerde gerçekleştirilmiştir. Diğer yakıtlarla birlikte bu oran %60’a yaklaşmaktadır. 2020 yılı elektrik üretiminin %41,85’lik kısmı ise yenilenebilir kaynaklardan sağlanmıştır. Elektrik üretiminin yarıdan fazlasının hala karbon salınımı yüksek yakıtlarla gerçekleştiriliyor olması ve bu yakıtların önemli bir kısmının ithal ediliyor olması mini modüler reaktörlerin Türkiye için de değerlendirilmesi gereken bir seçenek olduğunun göstergesi olarak kabul edilebilir. Enerji üretimi hava koşullarına bağlı olarak dalgalanmalar gösteren yenilenebilir kaynaklar halihazırda üretimin yarıya yakını karşılamakta ve bu kaynakların payının daha da artırılması hedeflenmektedir. Mini modüler reaktörler enerji üretiminde yenilenebilir kaynaklardaki dalgalanmalara göre ayarlanabilecek esnekliğe sahip olması yönüyle de Türkiye için tercih edilir durmaktadır.

Anahtar Kelimeler: mini modüler reaktörler, gelişmekte olan ekonomiler, nükleer, enerji

Abstract

As a non-renewable and primary energy source, nuclear energy, during the conversion into secondary energy, does not pollute the air like fossil fuels and has less waste than the wastes caused by the burning of fossil fuels, provides continuous and uninterrupted energy regardless of weather conditions as in renewable resources and fuel quality or reserve as in fossil fuels. Therefore it is an important source for energy production. Nuclear energy, which has many advantages compared to other energy sources, also contains many risks and

disadvantages. Firstly it has large installation costs. A significant part of its cost consists of installation costs, and the costs incurred as a result of its activities remain low compared to the installation costs. The costs of nuclear power plants at the pre-use stage increase even more when the expenditures required for safety and the additional costs of the length of the construction period are taken into account. When nuclear power plants expire, it is more costly to remove them from use than to install them. But the main problem with nuclear power plants is the problem of preventing radioactive leaks. As a result of accidents that may occur during nuclear activities or due to the storage of nuclear waste in an insufficiently reliable storage area, radioactive leaks may occur, which can lead to very serious problems for both people and the environment.

As a technology with an ongoing development process, small-modular reactors can be installed in a shorter time with a lower initial cost and less financial risk compared to large reactors. Due to their smaller size, they are suitable for areas with low grid capacity and dispersed population. Its small size provides flexibility in production in terms of capacity and fuel. Small-modular reactors, which are highly adaptable to renewable energy sources, have passive safety features and less waste, seem to be an advantageous alternative in energy production for developing countries whose energy demand is increasing, electricity grids are limited and settlements are scattered.

According to TEİAŞ Turkey Electricity Transmission Production Statistics, approximately 45% of electricity generation in Turkey for 2020 was realized in power plants operating with coal and natural gas. Together with other fossil fuels, this rate approaches 60%. 41.85% of electricity production in 2020 was provided from renewable resources. More than half of the electricity production is provided by fuels with high carbon emissions, and a significant portion of these fuels are imported. Therefore small modular reactors should be evaluated as an option for Turkey. Renewable resources, whose energy production fluctuates depending on weather conditions, currently meet nearly half of the production and the share of these resources is projected to increase. Small modular reactors having flexibility to be adjusted fluctuations in renewable resources, may be an option for Turkey also in this respect.

Keywords: small modular reactors, developing economies, nuclear, energy

GİRİŞ

Giderek artan enerji ihtiyacı ile yaygın olarak kullanılan fosil yakıtların ekosisteme verdiği zararlar ve tükenir, yenilenemez nitelikleri enerji kaynağı olarak alternatiflerin bulunmasını neredeyse zorunlu kılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları çevre dostu ve yenilenebilir olma özellikleri nedeniyle kullanımı yaygınlaştırılan, öncelikli olarak tercih edilen alternatiftir. Ancak bu kaynakların özellikle hava koşullarına bağlı olarak enerji üretmeleri nedeniyle kesintili bir üretim sunmaları düzenli ve sürekli bir üretim sağlanması için birlikte kullanılacakları güvenilir ve temiz başka enerji kaynaklarına da ihtiyaç duyulmasına yol açmaktadır.

Nükleer reaktörlerde atomun daha küçük parçalarına ayrılmasında oluşan reaksiyon ile enerji üretilmekte bu sırada ortaya çıkan radyoaktif salınımlar tehlike arz etmektedir. Nükleer enerji tamamen sivil amaçlarla kullanılsa bile olası kazalar ve nükleer atıkların radyoaktif salınım ya da sızıntının olmayacağı şekilde bertaraf edilmemesi çok ciddi sıkıntılara yol açabilir. Bu nedenle nükleer reaktörler sıkı güvenlik önlemleri alınmasını gerektirmektedir. Bununla birlikte nükleer santraller yapımında büyük sermaye ve başlangıç maliyetlerine sahiptir ve inşası için geniş alanlara ve uzun zamanlara ihtiyaç duymaktadır dolayısıyla büyük yatırımlar gerektirmektedir. Ancak nükleer reaktörlerin sürekli, kesintisiz ve büyük miktarlarda enerji üretmeleri ve karbon salınımlarının çok düşük olması nükleer enerjiyi tercih edilen hatta vazgeçilemez bir kaynak haline getirmektedir. Bu konumu nedeniyle nükleerlerin sakıncalarının ortadan kaldırılmasını sağlayacak yeni teknolojiler geliştirilmektedir. Mini modüler reaktörler bunlardan biridir. Mini modüler reaktörlerin öznelik olarak sahip oldukları pasif güvenlik özellikleri, daha az yakıt gerektirmeleri nedeniyle daha az atığa sahip olmaları nükleer enerjinin güvenlikle ilgili sakıncalarını; küçük ve modüler yapıları nedeniyle fabrikada seri olarak üretilmelerini, kurulacakları yerlere taşınabilmeleri, kurulum için daha küçük alanlar gerektirmeleri, ihtiyaca göre modül eklenip çıkarılabilmesi gibi özellikleri de nükleer enerjinin maliyetleri ile ilgili sakıncalarını azaltmaktadır.

Büyük reaktörlerin yapımı için büyük kaynak; yapım, işletim ve özellikle güvenlik için nitelikli ve eğitilmiş insan ile yasal ve düzenleyici düzenlemeler; elektrik üretimi için büyük miktarda enerji üretmeleri sebebiyle büyük ve sağlam şebekeler gibi gereksinimleri gelişmekte olan ülkelerin birçoğunun karşılamakta zorlandığı

gereksinimlerdir. Enerji ihtiyacı gelişmiş ülkelere göre daha hızlı artış gösteren, enerji üretiminde kullandıkları yakıtlarda dışa bağımlılığı yüksek, geliri ve altyapısı büyük nükleer santraller için yeterli olmayan gelişmekte olan ülkeler için mini modüler reaktörler daha karşılanabilir görünmektedir. Mini modüler reaktörlerin daha az kaynak gerektirmeleri, daha küçük alanlara kurulabilmeleri, daha küçük şebekelere bağlanabilmeleri, suyun tuzdan arındırılması, endüstriyel süreç ısısı gibi alanlarda uzak yerleşimlerde de kullanılabilmesi, yakıt ihtiyaçlarının az olması-hatta bazılarının kullanım ömrü boyunca yeniden yakıt ikmali yapılmasına hiç ihtiyaç duymamaları- gibi doğrudan gelişmekte olan ülkelere hitap ettiği söylenebilecek çok önemli avantajları olsa da radyoaktif sızıntı riski, yasal ve düzenleyici düzenlemeler, kamunun nükleere bakışı, eğitilmiş personel ihtiyacı gibi alanlarda, büyük reaktörlere göre daha az olmakla birlikte, nükleer enerjinin taşıdığı dezavantaj ve riskleri de bulunmaktadır.

Çalışmada mini modüler reaktörler gelişmekte olan ülkeler açısından değerlendirilmektedir. Bu amaçla birinci bölümde nükleer enerji, avantajları, dezavantajları, riskleri, zorlukları ile ilgili bilgilere, ikinci bölümde mini modüler reaktörler, avantajları, dezavantajları, zorlukları ile ilgili bilgilere, üçüncü bölümde mini modüler reaktörlerin gelişmekte olan ekonomilerde sunduğu fırsatlar, sahip olduğu dezavantajlar ve karşılaştığı zorluklara ve gerektirdiklerine son olarak da sonuç bölümüne yer verilmektedir.

1. NÜKLEER ENERJİ

Nükleer fisyon 1938'de Berlin'de Kaiser Wilhelm Kimya Enstitüsü'nde çalışan Lise Meitner, Otto Hahn ve Fritz Strassmann tarafından bulunmuştur (Andersen, 1996, s. 464). Otto Hahn, Lise Meitner ve Fritz Strassman bir elementin atomu parçalandığında daha küçük farklı elementlerden iki atom üreteceği konseptine dayanan bir deney geliştirmişlerdir. Bir atom daha hafif atomlara ayrıldığında önemli miktarda enerji açığa çıkmaktadır (Madsen, 2013). 1939'da bu nükleer reaksiyonun teorik bir açıklamasını yapan Lise Meitner ve Otto Robert Frisch bu reaksiyona nükleer fisyon adını vermiştir. Nükleer fisyonla hem elektromanyetik radyasyon hem de parçaların kinetik enerjisi olarak büyük miktarda enerji salınımı gerçekleşebilir (Ozawa & Saito, 2021, s. 38).

Nükleer enerji sivil olarak elektrik üretiminde ve elektrik dışında bölgesel ısınma, suyun tuzdan arındırılması, proses ısısı, hidrojen üretimi ve gemi yakıtı olmak üzere pek çok alanda kullanılmaktadır (OECD Nuclear Energy Agency, 2020, s. 4).

Elektrik alanında nükleer enerji ile ilk kullanılabilir elektrik üretimi, 1951 yılında, elektrik üretmek için değil fisyon sırasında ilave yakıt üreten bir üretken reaktörün mümkün olup olmadığının denemesi amacıyla tasarlanmış EBR-I (Experimental Breeder Reactor I) reaktörü ile gerçekleştirilmiştir (Ozawa & Saito, 2021, s. 42). Elektrik üretimi için atom enerjisinin kullanılması bir türbinin çalıştırılmasında gerekli olan su buharının fosil yakıtlar yerine nükleer fisyonla sağlanabileceği fikrine dayanmaktadır (Mazuzan & Walker, 1997, s. 13). Nükleer fisyonla atomlar daha küçük atomlar oluşturmak üzere parçalanmakta ve ısı enerjisi açığa çıkmaktadır. Nükleer santraller bu ısıyla suyu ısıtarak buhar üretir. Çıkan buhar elektrik üreten türbinleri döndürmede kullanılır. Fisyon nükleer reaktörün merkezindeki çekirdekte gerçekleşir (Giraldo, Gotham, Nderitu, Preckel, & Mize, 2012, s. 9).

1.1. Nükleer Enerjinin Maliyetleri

Nükleer enerji üretiminin maliyetleri sermaye, finansman ve işletim maliyetleri olmak üzere üçe ayrılabilir. Nükleer enerjinin maliyet bileşenlerinden en büyüğü sermaye maliyetleridir. Sermaye maliyetleri gecelik maliyetler olarak ifade edilmektedir. Finansman maliyetleri projeye ve faiz oranı, risk primi, borç-öz sermaye oranı, regülasyon, yapım süresi faktörlerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. İşletim maliyetleri çalışan maaşları, ekipman bakım maliyetleri, idari harcamalar gibi sabit maliyetler ile nükleer yakıt ve diğer tüketim materyallerinden kaynaklanan değişken maliyetlerden oluşmaktadır. Nükleer enerji diğer kaynaklarla kıyaslandığında uzun vadeli büyük yatırımlar gerektirdiği için oldukça yüksek sermaye maliyetlerine sahiptir (Giraldo, Gotham, Nderitu, Preckel, & Mize, 2012, s. 41-44).

Temel yük elektrik arzının düşük maliyetli olması ekonomik ve sosyal gelişme için kritik bir faktördür ve bunun sağlanmasında nükleer güç anahtar rol oynamaktadır. Nükleer enerjinin işletme maliyetleri düşüktür ve istikrarlıdır. Bu, yakıt maliyetlerinin toplam maliyet yapısı içerisindeki payının düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Bu da nükleer santrallerin güvenilir, rekabetçi ve düşük karbonlu arz sunan bir güç olmasını sağlamaktadır. Nükleer santraller bir kez inşa edilip hizmete girdikten sonra, iyi bir çalışma

performansı gösterdikleri varsayıldığında, bu işlevi yerine getirmeleri kaçınılmazdır. Yüksek sabit maliyetler ve düşük işletme maliyetleri ile nükleer santrallerde ortalama elektrik maliyetleri çıktı arttıkça önemli ölçüde azalmaktadır. Bu nedenle nükleer operatörlerin yüksek kapasite faktörüne ulaşması elzemdir. Çok düşük marjinal ve ortalama maliyetlere ulaşılabilmesi için nükleer santrallerin sürekli çalışması amaçlanır. Temel yük elektrik talebindeki artışla nükleer santrallerin kapasite faktörleri dünya genelinde artış göstermiştir. Ülkeden ülkeye değişmekle birlikte nükleer santrallerin yakıt maliyetleri düşük uranyum ve zenginleştirme fiyatlarının yanı sıra yeni yakıt tasarımları sayesinde zamanla düşmüştür, işletme ve bakım maliyetleri ise diğer termal üretim yöntemlerine göre biraz daha yüksektir. Nükleer santralleri işletmenin yakıt maliyetleri düşüktür ve yalnızca yakıt gerekmeden elektrik üreten yenilenebilir teknolojiler gibi santrallerin yakıt maliyetleri nükleerden daha az olabilir (World Nuclear Association, 2017, s. 7,9). CO₂ emisyonlarının maliyeti de hesaba katıldığında nükleer enerji daha cazip hale gelmektedir. Gaz ve kömürle çalışan santrallerin aksine nükleer santraller işletme sürecinde hiç karbon üretmezler dolayısıyla küresel iklim değişikliğine bir katkıda bulunmazlar (International Atomic Energy Agency, 2003, s. 41).

Nükleer enerji maliyetlerinin tazmin düzeyi fosil yakıt rezervleri ve fiyatları; uranyum arzı ve gelişmiş yakıt döngülerinin geleceği; enerji güvenliği, çevre ve iklim değişikliği, nükleer güvenlik ile ilgili endişeler; nükleer atık yönetimi; nükleer güç reaktörlerinin yeni tasarımlarının kullanılabilirliği ve geliştirilmekte olan yeni nükleer reaktörlerin maliyeti; kamuoyunun kabulü; nükleerin yaygınlaşmasının ortaya çıkaracağı risklerin yönetimi faktörlerine bağlıdır (Pedraza, 2017, s. vi).

1.2. Nükleer Enerjinin Zorlukları

Nükleer enerji üretimi, nükleer fisyonun yarattığı ısıdan elektrik üretmek için gerekli bir nükleer reaktör buhar besleme sisteminden ve ilgili türbin-jeneratör ekipmanından daha fazlasını gerektirmektedir. Süreç, cevher madenciliği, zenginleştirme, yakıt üretimi, atık yönetimi ve bertarafı ile tesislerin arındırılması ve devreden çıkarılmasını içerir. Süreçteki tüm adımlar, farklı teknik, ekonomik, çevresel ve güvenlik ile ilgili sonuçlara sahip oldukları için nükleer enerjinin değerlendirilmesinde dikkate alınmalıdır (International Atomic Energy Agency, 2003, s. 29). Nükleer yakıt döngüsünün güvenli bir biçimde işletilmesi nükleer enerji ile ilgili önemli bir sorundur. Nükleer yakıt döngüsünün güvenliğini nükleer santrallerin işletilmesinde sürekli ihtiyaç duyulan eğitimli personelin mevcudiyeti, terörist saldırı tehdidi ve nükleer yakıt yeniden işleme tesisleri dahil olmak üzere nükleer yakıt dönüşüm güvenliği gibi durumlar etkilemektedir. Güvenlik açısından bakım, onarım, yakıt ikmali için gerekli destekleyici altyapı da dahil olmak üzere yetkin kişilerin nitelikleri ve eğitimi önemli etkilere sahiptir. Yetkin yöneticilerin gelişimi ve etkin yönetim süreçlerinin belirlenmesi nükleer enerji santrallerinin güvenli ve ekonomik bir biçimde işletilmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu, nükleer santralin inşası, işletilmesi ve bakımı için gerekli beceriye sahip işçilerin az olması nedeniyle özellikle gelişmekte olan ülkeler için bir zorluk oluşturmaktadır. Nitelikli işgücü gereksinimi yaparak öğrenme ya da ticari olarak mal ve hizmetin ithaliyle karşılanabilir. Yapararak öğrenme zaman alır ve öğrenme süreci hatalara açıktır. Diğerleri ise uzun dönemde maliyetlidir ve ülke içinde nitelik kazanılmasına ve istihdam sağlanmasına engel olur (International Atomic Energy Agency, 2003, s. 49-50).

Nükleer güç endüstrisinin karşılaştığı önemli sorunlardan bir diğeri nükleer yakıt döngüsü sonucunda oluşan radyoaktif atıkların imhası ve yönetimidir. En uzun ömürlü, en yüksek radyoaktiviteye sahip ve en zorlayıcı atık akışına sahip yüksek düzeyde nükleer atıkların bertarafı henüz mümkün değildir (International Atomic Energy Agency, 2003, s. 53).

Daha önemlisi olası bir nükleer kaza reaktör çekirdeğinin hasar görmesi halinde havaya ve yeraltı suyuna radyoaktif salınım yaparak halk sağlığını tehdit edeceği, santralin artık kullanılmayacak olması nedeniyle sermaye kaybına ve elektrik üretim kapasitesinin kısıtlanmasından dolayı ekonomik kayba yol açacağı, nükleer üretime yönelik kamu güvenini aşındıracağı için kazalara karşı güvenlik önlemleri alınması gerekmektedir (International Atomic Energy Agency, 2003, s. 48).

Gelişmekte olan ülkelerde nüfus, enerji ihtiyacı ve elektrik talebi gelişmiş ülkelere göre daha hızlı artmaktadır. Enerji ve elektriğin toplam ve kişi başı tüketimi önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Ekonomik ve endüstriyel gelişmenin sağlanmasında enerji ve elektrik arzının artırılması hayati bir öneme sahiptir ve nükleer enerji bunun gerçekleştirilmesi için uygun bir alternatiftir ancak ucuz, kolay ve risksiz bir alternatif değildir. Nükleer enerji teknik olarak karmaşıktır, büyük yatırımlar ve katı güvenlik önlemleri gerektirmektedir. Nükleer enerjinin başarılı bir şekilde sisteme girişinin, güvenliğin ve güvenilir kullanımının sağlanmasında

ülke altyapısı ile ilgili planlama ve karar almada yetkinlik, yasal ve düzenleyici mekanizmayı da içeren organizasyonel yapı, elektrik şebekesinin boyutu ve yapısı, kalifiye işgücü, endüstriyel destek ve finansman olarak sıralanabilecek bazı özel gereksinimleri bulunmaktadır. Bu gereksinimler nükleer güç programını hayata geçirmek isteyen gelişmekte olan ülkeler için ön koşul niteliğindedir ve kaynakların ya da bu gereksinimleri karşılama kapasitesinin yetersiz olduğu gelişmekte olan ülkelerde bir nükleer enerji programının geliştirilmesinin önündeki başlıca engeldir (Csik & Schenk, 1987, s. 39).

1.3. Güncel Durum

2020'de dünyada toplamda net kapasitesi 392612 MW(e) olan 442 reaktör kullanımda, net kapasitesi 54435 MW(e) olan 52 reaktör de yapım aşamasındadır ve üretilen elektrik 2553.2 TW/h'dir. Şu anda dünyada basınçlı su reaktörleri, kaynar su reaktörleri, hızlı nötron üretken reaktörler, gaz soğutmalı reaktörler ve hafif su grafit reaktörü olmak üzere altı tip reaktör kullanımdadır. Bununla beraber nükleer teknolojiler gelişmeye devam etmektedir. Gelişmiş nükleer teknolojiler potansiyel olarak nükleer endüstrinin büyümesi ve enerji güvenliği, hammadde güvenliği, emisyonla ilgili endişelerin giderilmesini sağlayabilir. IV. Nesil Nükleer Güç Reaktörleri, Avrupa Basınçlı Reaktörler ve Mini Modüler Reaktör son dönemde geliştirilen yeni nükleer reaktörlerdir (Pedraza, 2017, s. vii-viii).

2. MİNİ MODÜLER REAKTÖRLER

Mini modüler reaktörler mevcut reaktörlerin üçte birinden daha küçük boyuta ve 10 MW(e) ile 300 MW(e) arasında değişen bir kapasiteye sahip, modüler bileşenlerden oluşan, kontrollü bir nükleer fisyon işleminin yürütüldüğü reaktörlerdir. Kapasitelerinin minimum düzeyi pratik endüstriyel alanlar için uygun gücün sağlanmasını olanaklı hale getirirken maksimum düzeyi seri üretimin ve kademeli dağıtımın beklenen avantajları ile elektrik şebekesi yerleşim fırsatları ve kısıtlamaları doğrultusunda tasarlanmaktadır. Fabrikalarda yapılabilmeye, demiryolu ya da gemi ile taşınabilecek kompakt, bileşenlerinin modülerleştirilmesine dayalı bir tasarımı vardır. Modülerlik bir güç dönüştürme sistemine veya proses ısı tedarik sistemine bağlandığında, istenen enerji ürününü veren nükleer buhar tedarik sisteminin ünite montajını ifade eder. Ünite montajı bir veya birkaç alt modülün monte edilmesiyle gerçekleştirilir. Bu modüller istenen güç düzeyinin sağlanmasına katkıda bulunur. Modüllerin konuşlandırılması hem bölgesel yük artışına uyum sağlamak hem de öngörülen bir zaman diliminde sermaye harcamalarının zamanlamasını seviyelendirmek üzere sekanslara ayrılabilir. Bu tür ünitelerin yapım süresinin azaltılması amacıyla yapılar, sistemler ve bileşenler atölyede üretildikten sonra monte edileceği yere sevk edilerek orada monte edilir (Pedraza, 2017; Todreas, 2021).

Çok çeşitli mini modüler reaktör teknolojisi bulunmakla birlikte mini modüler reaktörler gelişmiş, yenilikçi, dönüştürülmüş veya değiştirilmiş ve geleneksel mini modüler reaktörler olmak üzere temel olarak dört gruba ayrılabilir.

- Gelişmiş mini modüler reaktörler, basınçlı su reaktörlerine entegre edilen modüler reaktörlerdir.
- Yenilikçi mini modüler reaktörler, su dışında bir soğutuculu/moderatörlü küçük boyutlu dördüncü nesil reaktörlerdir.
- Dönüştürülmüş veya değiştirilmiş mini modüler reaktörler, mavnaya monte yüzer nükleer santral ve deniz tabanına demirlenmiş denizaltı benzeri reaktörlerdir.
- Geleneksel mini modüler reaktörler de ikinci nesil teknolojileri ile üretilen ve hala kullanımda olan reaktörlerdir (H. Hidayatullah & Subki, 2015, s. 128).

Tablo 1: Elektrik Arzında Nükleer Reaktörlerin Ülkelere Göre Durumu (2020)

Ülke	İşletimdeki Reaktörler		Yapım Aşamasındaki Reaktörler		Nükleer Elektrik Arzı	
	Ünite Sayısı	Net Kapasite MW(e)	Ünite Sayısı	Net Kapasite MW(e)	TW.h	Toplamdaki Yüzdesi
Arjantin	3	1641	1	25	10.0	7.5
Ermenistan	1	415			2.6	34.5
Bangladeş			2	2160		
Belarus	1	1110	1	1110	0.3	1.0
Belçika	7	5942			32.8	39.1
Brezilya	2	1884	1	1340	13.2	2.1
Bulgaristan	2	2006			15.9	40.8
Kanada	19	13624			92.2	14.6
Çin	50	47528	13	12565	344.7	4.9
Çek Cumhuriyeti	6	3934			28.4	37.3
Finlandiya	4	2794	1	1600	22.4	33.9
Fransa	56	61370	1	1630	338.7	70.6
Almanya	6	8113			60.9	11.3
Macaristan	4	1902			15.2	48.0
Hindistan	22	6255	7	4824	40.4	3.3
İran	1	915	1	974	5.8	1.7
Japonya	33	31679	2	2653	43.1	5.1
Kore	24	23150	4	5360	152.6	29.6
Meksika	2	1552			10.9	4.9
Hollanda	1	482			3.9	3.3
Pakistan	5	1318	2	2028	9.6	7.1
Romanya	2	1300			10.6	19.9
Rusya	38	28578	3	3459	201.8	20.6
Slovakya	4	1837	2	880	14.4	53.1
Slovenya	1	688			6.0	37.8
Güney Afrika	2	1860			11.6	5.9
İspanya	7	7121			55.8	22.2
İsveç	6	6882			47.4	29.8
İsviçre	4	2960			23.0	32.9
Türkiye			2	2228		
Birleşik Arap Emirlikleri	1	1345	3	4035	1.6	1.1
Birleşik Krallık	15	8923	2	3260	45.7	14.5
Ukrayna	15	13107	2	2070	71.5	51.2
Amerika Birleşik Devletleri	94	96553	2	2234	789.9	19.7
Toplam	442	392612	52	54435	2553.2	

Mini modüler reaktörlerin tasarımı elektrik üretimi dışında suyun tuzdan arındırılması, taşımacılıkta kullanılan likit yakıtların ve petrokimyasalların ve hidrojen üretimi gibi endüstriyel süreç ısısı uygulamalarına da hizmet imkanı sunmaktadır (H. Hidayatullah & Subki, 2015, s. 127).

2.1. Avantajları

Mini modüler reaktörlerin geliştirilmesindeki temel itici güç daha büyük kullanıcı kitlesi ve uygulama alanı için esnek kullanıma, fosil yakıtla çalışan eski santrallerin yenilenmesine, güvenlik performansının iyileştirilmesine, ekonomik olarak daha karşılanabilir seçeneklere duyulan ihtiyaçtır. Büyük reaktörlerin uygun olmadığı elektrik ya da enerji piyasaları için düşünülmüştür. Yerinde montaja olanak sağlayan modüler yapıları sermaye maliyetlerini ve birçok ülkede elektrik üretiminde nükleer enerji kullanımının temel sınırlamalarından biri olan inşaat süresini önemli ölçüde azaltmakta böylece mini modüler reaktörleri daha uygun maliyetli hale getirmektedir. Kısa yapım süresi ile seri üretimin ekonomik avantajlarından yararlanmayı hedefler. Mini modüler reaktörler çeşitli türlerde ve boyutlardaki şebekelere bağlanabilir; yenilenebilir kaynaklarla, elektrik dışındaki uygulamalarla ve güvenlik özellikleriyle entegre olabilir. Şebeke entegrasyonu anlamında mini modüler

International Atomic Energy Agency, 2021 kaynağından alınan veriler ile oluşturulmuştur.

reaktörlerin küçüklüğü ve modülerliği büyük reaktörler ve fosil yakıtlı üretim tesislerine kıyasla dağınık nüfuslu alanlara hizmet edecek daha küçük elektrik şebekelerine bağlanmasını mümkün kılar. Boyutları talepte değişiklik olması durumunda birimler eklenebilmesi ya da eskiyen fosil yakıtlı enerji santrallerinin kurulu olduğu yerlerde bu santrallerin yerine kullanılmasını sağlayarak hizmet sunumunda esnekliği artırmaktadır. Enerji üretiminde kademeli bir artış sağlayacak şekilde sırayla entegre edilebilir. Mini modüler reaktörlerin çoğu gelişmiş ve doğal güvenlik özelliklerine sahiptir tek veya çok modüllü bir tesis olarak kurulabilir (Pedraza, 2017, s. viii; International Atomic Energy Agency, 2018, s. 10; International Atomic Energy Agency, 2020, s. 1).

Mini modüler reaktörler küçük eklemelerle kapasite artışı yapılabileceği için yatırım olanaklarının sınırlı, kapasitesi talebi tam karşılayacak biçimde ayarlanabileceği için küçük ya da zayıf şebekelerin, işletim ve bakım gereksinimleri çok karmaşık olmadığı için insan kaynağı ve altyapının yetersiz, tüketiciye yakın bir yere kurulup işletilebileceği için içme suyu gibi elektrik haricindeki enerji ürünlerine talebin olduğu yerlerde oldukça avantajlıdır (Kuznetsov & Barkatullah, 2009, s. 1). Mini modüler reaktörlerin avantajları replikasyon, ölçeklenebilme, tersine çevrilebilirlik ve standardizasyon niteliklerinden kaynaklanmakta ve ölçeklerinin küçük olmasından kaynaklı dezavantajını dengelemektedir. Replikasyon niteliği tedarikçilerin, kuruluşların ve yüklenicilerin aynı görevlerde giderek daha verimli hale geldiği öğrenme ekonomileri sağlar. Ölçeklenebilirlik niteliği kompakt veya modüler tasarımları nedeniyle mini modüler reaktörlerin yerleşim, zamanlama ve boyutlandırma açısından sahip olabileceği avantajları ifade eder. Yerleşim açısından ortak yerleşim, aynı sahaya daha fazla reaktör kurulmasına izin verir, böylece arazi, saha yeterliliği vb. için sabit maliyetler, ikinci ve sonraki tüm üniteler için sıfır olur. Zamanlama açısından daha küçük reaktörlerin kısa inşaat süresi, finansal yatırımın santral faaliyete geçmeden kısa bir süre öncesine kadar ertelenmesine izin verebilir. Bu sayede faizlerden tasarruf sağlanacak dolayısıyla ortalama maliyet düşecektir. Boyutlandırma açısından yatırımcılar kapasitelerini kademeli ve hızlı olarak piyasa koşullarına göre artırabilmektedir. Ölçeklenebilirlik büyüklüğün talepteki artışın yüksek, orta veya düşük olması durumlarına göre ayarlanabilmesini sağlamaktadır. Tersine çevrilebilirlik niteliği kuruluşların yönünü tersine çevirme ve piyasa talebindeki ani bir gevşemeyi karşılamak için büyümeyi hemen durdurma yeteneğini ifade eder ve belirsiz piyasalarda bir avantajdır. Tersine çevrilebilirlik ölçeklenebilirlikte olduğu gibi birkaç yıl önceden verilen büyük sermaye taahhütleri yerine operasyon sırasında küçük sermaye taahhütlerine olanak sağlar. Bunun sonucunda mini modüler reaktörler finansal olarak büyük reaktörlerden daha az riskli olmakta ve yatırımcılar daha düşük faiz oranlarıyla karşılaşmaktadır. Standardizasyon niteliği ortak bir üretim teknolojisinin uzun bir süre boyunca deneyimlenmesinin sağladığı sürekli marjinal iyileştirmelerden kaynaklanan kopyalama ve teknik ilerleme ekonomileri gibi öğrenme ekonomilerinin faydalarını sunmaktadır (Kuznetsov & Barkatullah, 2009, s. 9,10). Atık yönetimi açısından mini modüler reaktörlerin daha küçük ve basit tasarımı nedeniyle likit, katı ve gaz atıklarının büyük reaktörlere göre daha az olması beklenmektedir (International Atomic Energy Agency, 2020, s. 11).

Mini modüler reaktörler küçük boyutları ve modülerlikleriyle ilgili avantajlarının yanı sıra pasif güvenlik, pasif ısı giderme, basitlik ve yayılma direnci ile ilgili önemli tasarım özelliklerine sahiptir. Pasif güvenlik özellikleri mini modüler reaktörlerin dışardan su ve insan müdahalesi olmadan bir süre soğuk kalacak biçimde otomatik olarak kapanmasını sağlamaktadır. Pasif ısı giderme soğutma sıvısını sirküle etmek için aktif pompalar kullanılmadan yerçekimi ve buharlaşma yoluyla soğutmanın gerçekleşmesine izin vererek reaktörün soğuk kalmasını sağlamaktadır. Tasarım basitliği, büyük güç tesislerine kıyasla bileşenlerde ciddi bir azalma ve birincil sistemlerin tek bir reaktör kabına dahil edilmesi ile gerçekleştirilir. Mini modüler reaktörler, reaktör kabı, ilgili bileşenler ve yakıt deposunu düzeyin altında tutarak yayılma risklerini azaltacaktır (Black, Taylor, Solan, & Shropshire, 2015, s. 8,9). Yeni güç santrallerine aksi durumlarda çekirdeğin bozunma ısısını ortadan kaldırmak için eklenen pasif güvenlik sistemleri, santralin güvenliğini artırmakta ve tasarımının karmaşıklığını ve sermaye maliyetlerini önemli ölçüde azaltmaktadır. Aktif güvenlik sistemlerinin kullanımını ve bu sistemlerini kurulum, işletim ve bakım maliyetlerini ortadan kaldırmaktadır (Butt, Ilyas, Ahmad, & Aydogan, 2016, s. 191).

Mini modüler reaktörlerin çoğunda çalışma sırasında ve kapatıldıktan sonra kullanılmış nükleer yakıtta kalan radyoaktiviteden reaktör (modül) başına daha az termal enerji üretmektedir. Dolayısıyla özellikle bir kaza ve kapatma sonrasında soğumaları daha kolaydır. Bu da çekirdeğin erime ve hasarlı nükleer santralden potansiyel radyoaktif madde salınımı riskini azaltmaktadır. Ayrıca çekirdekteki radyoaktivite çok daha az olduğu için ve herhangi bir salınım kısa sürede yayılmayacağı için acil durum planlamasına ya hiç ihtiyaç duymamakta ya da çok az ihtiyaç duymaktadır (Budnitz, Rogner, & Shibab-Eldin, 2018, s. 540).

Mini modüler reaktörlerin çoğunun tasarımı gelişmiş bir operasyonel verimlilik sağlamaktadır. Bazılarının çalışması için elektrik enerjisine gerek yoktur ve yakıt tüketiminde daha iyidir; yakıt ikmali için gereken aralıklar oldukça uzundur, bazı durumlarda yakıt ikmali yapılmadan yirmi yıl veya daha fazla çalışabilirler, bazıları sahada hiç yakıt harcamazlar (Budnitz, Rogner, & Shibab-Eldin, 2018, s. 540).

2.2. Dezavantajları/Zorlukları

Mini modüler reaktörler, potansiyel avantajlarıyla birlikte, bazı dezavantajlara sahiptir ve bazı zorluklarla karşılaşmaktadır. Her şeyden önce mini modüler reaktörler de reaktördür ve nükleer güç teknolojisinin taşıdığı bazı yaygın riskleri taşımaktadır. Mini modüler reaktörlere yapılan yatırımlar düzenleyici riske, kamu duyarlılığına ve kabulüne, değişen enerji politikasına tabidir. Büyük reaktörlerin yakıt döngüsü zorluklarını da taşımaktadır. Bu zorluklar kapanma sırasında kullanılmış yakıt yönetimi (nihai bertaraf dahil) ve hizmetten çıkarma; başlangıç, işletim ve kapanma sırasında yayılma ile ilgili zorluklardır. Daha köklü değişiklikler içeren mini modüler reaktörlerin uzun pilot ve örnek tesis aşamalarından geçmesi gerekmekte bu da olmadığında bu sürecin daha zorlaşmasına neden olacak özel devlet desteği gerektirmektedir. Sınır ötesi lisans, sorumluluk ve düzenleme konularında kimin düzenleyeceği, kimin sorumlu olduğu gibi noktalar da mini modüler reaktörlerin karşılaştığı zorluklardandır (Budnitz, Rogner, & Shibab-Eldin, 2018, s. 540). Bazı ülkelerin mini modüler reaktör geliştirme güdülerinden biri bunların sahip oldukları ihracat potansiyelidir. Mini modüler reaktörler yerli nükleer sektörün yeniden endüstrileştirilmesinde bir fırsat olarak görülmektedir. Ancak tam monte edilmiş reaktörlerin ihracatında önemli sınırlamalar olabilir çünkü bu ihracat kontrolünü sağlayan kuruluşlardan lisans ve izinlerin alınması için önemli maliyetler anlamına gelebilir (Lokhov, Cameron, & Sozoniuk, 2013, s. 704).

2.3. Güncel Durum

Rusya'nın Akademik Lomonosov yüzer güç ünitesi mini modüler reaktör teknolojisinin hayata geçirilmesinde önemli bir dönüm noktasıdır. İki modül KLT40S ile şebekeye bağlanmış ve Mayıs 2020'de ticari operasyona başlamıştır. Farklı uygulama alanları için yetmişen fazla mini modüler reaktör tasarımı geliştirme aşamasındadır. Arjantin'de (CAREM, entegre bir PWR) ve Çin Halk Cumhuriyeti'nde (HTR-PM, yüksek sıcaklıkta gaz soğutmalı bir reaktör) olmak üzere iki endüstriyel örneğin yapımında da ilerleme kaydedilmiştir ve 2021-2023 arasında faaliyete geçmeleri planlanmaktadır (International Atomic Energy Agency, 2020, s. 1).

3. MİNİ MODÜLER REAKTÖRLERİN GELİŞMEKTE OLAN EKONOMİLER AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Görel olarak daha küçük dağıtım sistemlerinin ihtiyaçlarını karşılamaya daha uygun ve aynı zamanda finansmanı daha kolay olduğu ve daha düşük sermaye maliyetine sahip oldukları için, mini modüler reaktör kullanımına olan ilgi gelişmekte olan ülkelerde artmaktadır (Kim, 2000, s. 55,56). Gelişmekte olan ülkeler küçük elektrik şebekeleri, uzak yerleşimleri ve elektriğin kojenerasyonuna ve suyun tuzdan arındırılmasına ya da endüstriyel ısıya ihtiyaç duyan alanlarıyla mini modüler reaktörlerin temel doğal pazarı konumundadır (Alonso, Bilbao, & Valle, 2016, s. 869)

3.1. Mini Modüler Reaktörlerin Gelişmekte Olan Ülkeler Açısından Avantajları

Mini modüler reaktörler gelişmekte olan ülkeler için fosil üretim teknolojileriyle kıyaslandığında potansiyel olarak kıt olan fosil yakıtların değişken fiyatlarına karşılık nükleer yakıt fiyatlarının uzun vadede istikrarlı olması ve nükleer elektrik üretiminden kaynaklanan karbon emisyonlarının olmaması; büyük nükleer santrallerle kıyaslandığında karşılaştırmalı esnekliği, daha küçük şebekeler için uygun olması ve rüzgar veya güneş enerjisi gibi değişken teknolojilerle uyumlu olması avantajlarına sahiptir. Ek olarak mini modüler reaktörler suyun tuzdan arındırmasında kullanılabilir. Mini modüler reaktörlerin yurtdışından gelen maliyetli fosil yakıtlara bağımlı olan fosil yakıt ithalatçısı konumunda olan gelişmekte olan ülkeler için enerji güvenliği ile ilgili önemli faydalara sahiptir. Gelişmekte olan ülkelerin bilgi ekonomisinin artan önemi, su güvencesizliği ve kıtlığı, şebeke gücünün yüksek maliyeti, enerji altyapısının zayıflığı, mega şehirlerin artışı,

kamu tarafından kabulü ile ilgili özellikleri nedeniyle mini modüler reaktörler bu ülkeler için uygundur (Goodman, 2015, s. 487-490).

Mini modüler reaktörlerin gelişmekte olan ülkeler için uygun olmasını sağlayan avantajları küçük boyutları ve modüler yapıları, oldukça basit olan tasarımları, bir dizi kullanışlı uygulama alanına ve geniş bir dizi yerleştirme seçeneğine sahip olması, güvenlik ve yayılma tehlikelerini sınırlamasıdır. Küçük boyutları ve modüler yapıları bu reaktörlerin tamamının bir fabrikada üretilmesine ve modül modül teslim edilmesine ve kurulmasına olanak tanıyacak, inşaat süresini, finansman maliyetlerini ve yatırım risklerini azaltırken öğrenme etkileri yoluyla bileşenlerin imalatında verimliliği artıracaktır. Basit tasarımları mevcut karmaşık üretim tesislerine göre çekirdekte hasara neden olabilecek kaza öncülerinin ve olayların sıklığını azaltır. Şebekeye çok az erişimi olan veya hiç erişimi olmayan uzak yerlerde düşük karbonlu elektrik üretimi, endüstriyel süreç ısısı, tuzdan arındırma veya su arıtma ve kojenerasyon gibi uygulama alanlarına sahiptir. Küçük boyutlarından dolayı küçük elektrik şebekeleri veya büyük ölçekli tesislerin yapılamadığı yerler için kullanım seçeneklerini genişletmektedir. Büyük ölçekli reaktörlerle karşılaştırıldığında, daha büyük yüzey-hacim oranına (daha kolay bozunma ısısı giderme), daha düşük çekirdek güç yoğunluğuna (pasif güvenlik özelliklerinin daha etkin kullanımı), daha küçük kaynak devrine sahiptir, çok yıllık yakıt ikmali sayesinde yeni yakıt yüklemesine çok nadiren ihtiyaç duyulur. Bu özellikleri güvenlik ve yayılma tehlikelerinin sınırlandırılmasını sağlar (Kessides & Kuznetsov, 2012, s. 1829).

3.2. Mini Modüler Reaktörlerin Gelişmekte Olan Ülkelerde Zorlukları ve Gereklilikleri

Gelişmekte olan ülkelerde mini modüler reaktörlerle ilgili zorlukların başında bir kullanıcı ülkesinde karşılaştırılabilir baz yük elektrik üretim kaynakları ile rekabet edebilecek seviyelendirilmiş birim elektrik maliyetinin sağlanması gelmektedir. Gelişmekte olan ülkelerin mini modüler reaktörlerin teknolojik gerekliliklerini karşılayıp karşılamadığının görülebilmesi için tesisin birkaç birimini 3-5 yıllık bir işletme deneyimine sahip olması gerekir. Mevcut mini modüler reaktörlerin ilk olarak üretildiği ülkede ya da bu teknolojiye sahip başka bir ülkede kurularak denenmesi, gelişmekte olan ülkelere ihraç edilmeden önce birkaç yıl çalıştırılması beklenmektedir. Tesis tasarımına ilişkin gereklilikler, ekipman ve bileşenlerin tasarımının, reaktörün ömrü boyunca değiştirileceklerinin orijinal üreticiler dışındaki üreticiler tarafından tedarikine izin vermesi gerektiğini göstermektedir. Tasarım konseptlerinin çeşitliliği ve bazılarında uygulanan benzersiz teknik özellikler nedeniyle bu özellikle kısa vadede mini modüler reaktörler için bir sorun olabilir. Uzak ve izole alanlarda bulunan küçük nükleer santrallerin fiziksel olarak korunması zor olabilir. Reaktörün içsel güvenliğinin artırılması bu soruna kısmi bir çözüm olabilir. Fabrika yakıtlı/yakıt ikmali reaktörler, alıcı bir ülkede nükleer yakıt çevrimi ve radyoaktif atıklarla ilgili olarak gerekli altyapı çalışmalarını önemli ölçüde azaltabilir. Bununla birlikte, bu tür reaktörlerin taşınması ve ihracatı, bir dizi önemli yasal ve kurumsal sorunun çözülmesini gerektirecektir (Kessides & Kuznetsov, 2012, s. 1828,1829).

Gelişmekte olan ülkelerin mini modüler reaktörlerin kullanımına karar verirken ülkenin gerekliliklerini belirleyebilmek için uzun vadedeki enerji programlarını, doğal kaynakların mevcudiyetini, sermaye yatırımını, uzun vadeli ödemeler dengesini, endüstriyel altyapısını ve ulusal ihtiyaçları değerlendirmesi gerekmektedir. Bu değerlendirmede belirli projelerin planlanması ve uygulanması için ihtiyaçların tanımlanmasında kullanıcı gerekliliklerinin belirlenmesi çok yardımcı olacaktır. Bu gereklilikler ulusal nükleer enerji politikası, ekonomi ve finansman, altyapı ve teknoloji transferi olmak üzere dört grupta incelenebilir. Ulusal nükleer enerji politikası, bir ülkenin talebe karşı kapasite, elektrik talebi tahmini ve şebeke kapasitesi için enerji planlaması ile ilgili özel gerekliliklerle ilgilidir. Ayrıca, bu kategori, teknolojinin öz güven politikası gerekliliklerini, kamu bilincini ve kabul faktörlerini ve nükleer reaktörler için sorumluluk, güvenlik ve güvencelere ilişkin taahhütleri içerir. Ekonomik rekabet gücü mini modüler reaktörlerin kullanımına karar vermede belirleyici bir faktördür. Ekonomi ve finansman gereklilikleri sermaye, işletim ve bakım maliyetleri ile nakit akışını, geri dönüş süresini, finansmanı, ekonomi ölçeğini ve tekno-ekonomik optimizasyonu içerir. Mini modüler reaktör ekonomisini etkileyen faktörler basitlik, seri üretim, standardizasyon ve saha maliyetidir. Mini modüler reaktörler gelişmiş fosil yakıtlı enerji santralleri ile rekabet edebilmek için inşaat sürelerini kısaltmak, modüler imalat ve inşaatı tanıtmak, işletim ve bakım ve yakıt döngüsü maliyetlerini azaltmak, sosyo-politik sorunları doğru bir şekilde ele almak ve teknolojik yenilik aramak üzere geliştirilmelidir. Altyapı gereklilikleri, nükleer programı uygulamak için gereken organizasyon, sistem ve kaynakları ifade eder. Burada ayrıca elektrik şebekesi için endüstriyel altyapılar, ulaşım, proje planlama/uygulama organizasyonları, tesis işletimi, insan gücü geliştirme, endüstriyel destek, düzenleme ve lisans desteği yer almaktadır. Teknoloji transferi

gereklikleri, tasarım geliştirme, üretim, proje yönetimi, kalite güvencesi ve kontrolü ve güvenlik/lisanslamanın tümünü kapsamalıdır. Teknik gereklikler büyük ölçüde reaktör tipine, saha özelliklerine ve uygulamalarına bağlıdır (Kim, 2000, s. 55,56).

SONUÇ

Küçük ve modüler tasarımlarıyla küçük ve yetersiz elektrik şebekelerine bağlanabilen, uzak bölgelerde ve dağınık nüfuslu alanlarda üretime olanak tanıyan, ihtiyaçlara göre modüller eklenmesini ya da devreden çıkarılabilmesini sağlayan, yenilenebilir kaynaklarla entegre olarak kullanılabilen, daha basit bir sistem olmaları nedeniyle ve yaparak öğrenme süreciyle öğrenmenin daha kolay olduğu dolayısıyla öğrenme ekonomileri sağlayan, daha az yakıt gerektiren ve daha az yakıt atığına ve pasif güvenlik özelliklerine sahip olan mini modüler reaktörler büyük reaktörlere göre daha az maliyetli, daha güvenli ve daha esnek bir yapıya sahiptir. Bu özellikleriyle gelişmiş ülkelerle birlikte özellikle gelişmekte olan ülkelere çok önemli fırsatlar sunmaktadır. Ancak gelişmekte olan ülkeler bu reaktörlerden yararlanabilmek için teknolojik, yasal, idari, fiziksel, beşeri altyapılarında bazı düzenleme ve iyileştirmeler yapmalıdır.

Alternatif bir kaynak olarak nükleer enerji programında olan halihazırda 2228 MW (e) kapasiteli bir santralin (Akkuyu) yapım aşamasında olduğu Türkiye açısından özellikle yenilenebilir kaynaklarla entegre olarak kullanılabilmeleri, yenilenebilir kaynaklar kadar hatta bazı yenilenebilir kaynaklardan daha az karbon salınımı yapmaları mini modüler reaktörleri ilgi çekici kılmaktadır. Büyük ölçekli reaktörler ve yenilenebilir kaynaklarla birlikte enerji üretiminde küçük reaktörlere de yer verilebilir, bu reaktörlerin teknolojileri Türkiye’de de geliştirilerek üretimi ülke içinde gerçekleştirilebilir. Zengin uranyum ve toryum rezervlerine sahip Türkiye’de (12.614 ton uranyum (U_3O_8) ve 380.000 ton toryum (Nükleer Akademi, 2018)) hem genel olarak nükleer enerjinin hem de radyoaktif salınım ve sızıntılar konusunda daha güvenli bir yapıya sahip olan mini modüler reaktörlerin kullanımı ve yaygınlaşması nükleer yakıtta dışa bağımlılık sorununa yol açmayacak nükleer enerji sürekli ve kesintisiz üretimin yanında bu özelliğiyle de enerji arzı güvenliğine de katkıda bulunacaktır.

Kaynakça

- Alonso, G., Bilbao, S., & Valle, E. d. (2016). Economic Competitiveness of Small Modular Reactors versus Coal and Combined Cycle Plants. *Energy*, 867-879.
- Andersen, H. (1996). Categorization, Anomalies and the Discovery of Nuclear Fission. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 463-492.
- Black, G., Taylor, M. A., Solan, D., & Shropshire, D. (2015). Carbon Free Energy Development and the Role of Small Modular Reactors: A Review and Decision Framework for Deployment in Developing Countries. *Sustainable Energy Reviews*, 83-94.
- Budnitz, R. J., Rogner, H.-H., & Shibab-Eldin, A. (2018). Expansion of Nuclear Power Technology to New Countries-SMRs, Safety Culture Issues, and the Need for an Improved International Safety Regime. *Energy Policy*, 535-544.
- Butt, H. N., Ilyas, M., Ahmad, M., & Aydogan, F. (2016). Assessment of Passive Safety System of a Small Modular Reactor. *Annals of Nuclear Energy*, 191-199.
- Csik, B., & Schenk, K. (1987). *Nuclear Power in Developing Countries: Requirements & Constraints*. International Atomic Energy Agency.
- Giraldo, J. S., Gotham, D. J., Nderitu, D. G., Preckel, P. V., & Mize, D. J. (2012, December). Fundamentals of Nuclear Power. State Utility Forecasting Group.
- Goodman, D. (2015). Small Modular Reactors (SMRs): The Case of Developing Countries. *Handbook of Small Modular Nuclear Reactors* (s. 485-500). içinde Elsevier.
- H. Hidayatullah, S. S., & Subki, M. H. (2015). Design and Technology Development for Small Modular Reactors- Safety Expectations, Prospects and Impediments of Their Deployment. *Progress in Nuclear Energy*, 127-135.

- International Atomic Energy Agency. (2003). *The Future of Nuclear Power- An Interdisciplinary MIT Study*. Massachusetts Institute of Technology.
- International Atomic Energy Agency. (2018). Deployment Indicators for Small Modular Reactors. IAEA.
- International Atomic Energy Agency. (2020). *Advances in Small Modular Reactor Technology Developments*. IAEA.
- International Atomic Energy Agency. (2020). Considerations for Environmental Impact Assessment for Small Modular Reactors. IAEA.
- International Atomic Energy Agency. (2021). *Nuclear Power Reactors in the World*. Vienna: International Atomic Energy Agency (IAEA).
- Kessides, I. N., & Kuznetsov, V. (2012). Small Modular Reactors for Enhancing Energy Security in Developing Countries. *Sustainability*, 1806-1832.
- Kim, S.-H. (2000). Requirements for Deploying SMRs in Developing Countries and Korean Experience in Nuclear Power Technology. IAEA.
- Kuznetsov, V., & Barkatullah, N. (2009). Approaches to Assess Competitiveness of Small and Medium Sized. IAEA.
- Lee, J. C. (2020). *Nuclear Reactor Physics and Engineering*. Wiley.
- Lokhov, A., Cameron, R., & Sozoniuk, V. (2013). OECD/NEA Study on the Economics and Market of Small Reactors. *Nuclear Engineering and Technology*, 701-706.
- Madsen, M. (2013, December 20). *International Atomic Energy Agency*. International Atomic Energy: <https://www.iaea.org/newscenter/news/pioneering-nuclear-science-discovery-nuclear-fission> adresinden alındı
- Mazuzan, G. T., & Walker, S. J. (1997). *Controlling The Atom The Beginnings of Nuclear Regulation 1946-1962*. Washington: U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION.
- Nükleer Akademi. (2018, Eylül 11). *Nükleer Akademi*. Nükleer Akademi: <http://nukleerakademi.org/turkiye-uranyum-ve-toryum-yataklari/> adresinden alındı
- OECD Nuclear Energy Agency. (2020). *Nuclear Energy Agency*. OECD. oecd-nea.org adresinden alındı
- Ozawa, M., & Saito, Y. (2021). Development in power technology. Y. Koizumi, T. Okawa, & S. Mori içinde, *Fundamentals of Thermal and Nuclear Power Generation* (s. 15-76). Elsevier.
- Pedraza, J. M. (2017). *Small Modular Reactors for Electricity Generation An Economic and Technologically Sound Alternative*. Springer.
- Todreas, N. (2021). Small Modular Reactors (SMRs) for Producing Nuclear Energy: An Introduction. D. T. Ingersoll, & M. D. Carelli içinde, *Handbook of Small Modular Nuclear Reactors* (s. 3-27). Elsevier.
- U.S. Energy Information Administration. (2021, April 6). *U.S. Energy Information Administration*. U.S. Energy Information Administration: <https://www.eia.gov/energyexplained/nuclear/nuclear-power-plants.php> adresinden alındı
- World Nuclear Association. (2017). *Nuclear Power Economics and Project Structuring*.



USE OF WASTE HETEROGENEOUS CATALYSTS IN BIODIESEL PRODUCTION

Özlem Bedir

Atatürk University, Engineering Faculty, Department of Chemical Engineering, Erzurum, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3309-6494>

Tuba Hatice DOĞAN

Atatürk University, Engineering Faculty, Department of Chemical Engineering, Erzurum, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8369-9416>

ABSTRACT

In order to eliminate the disadvantages of homogeneous catalysts used in biodiesel production, the use of heterogeneous catalysts is increasing. It is known that especially the CaO component plays an active role as a catalyst. The use of catalysts obtained from wastes provides advantages to both the environment and the economy. Therefore, in this study, the use of catalysts produced from different calcium-based wastes in biodiesel production was investigated. Egg shells, marble dust, sugar factory waste, seashells and old ceramic tiles were used to produce the catalyst and CaO powder was obtained from these wastes by calcination. Biodiesel was produced from the catalyst produced from each under the same reaction conditions. The yields and some fuel properties of biodiesel samples were investigated. According to the results obtained, it was found that all catalysts except waste ceramic tiles showed good catalytic activity in biodiesel production. The highest biodiesel yield was obtained with marble dust (89.14%) and sugar industry waste catalyst (87.64%). In addition, the fuel properties of the biodiesel samples produced from these catalysts were found to comply with EN and ASTM standards.

Keywords: Biodiesel, Heterogeneous catalyst, Calcium-based waste

1. INTRODUCTION

Biodiesel, a clean and sustainable energy source, is usually produced by a reaction called transesterification. In this reaction, vegetable or animal fats are esterified with an alcohol such as methanol [1] or ethanol [2]. Catalyst plays an important role in biodiesel production. In catalyst-free transesterification, the reaction rate and biodiesel yield are very low [3]. For this reason, catalyzed transesterification is more commonly used. The effects of different catalysts in biodiesel production were investigated. In a study, the effects of different catalysts such as homogeneous catalysts, heterogeneous catalysts, biocatalysts and nanocatalysts on biodiesel production were examined and the advantages and disadvantages of these catalysts were discussed in detail [4]. Also, the characteristics such as activity [5], cost [6] and recoverability [7] of the catalyst used in biodiesel production are very important. Therefore, many researchers have studied these issues. During the production of biodiesel, homogeneous (acid/base) [8, 9], heterogeneous [10, 11] or enzyme catalysts [12] can be used. Enzyme catalysts are expensive and the reaction rate is very slow. Therefore, it is not suitable for wider applications in biodiesel production [13]. Homogeneous acid catalysts have disadvantages compared to homogeneous base catalysts such as using higher methanol/oil ratio, longer reaction time, being corrosive and therefore increasing the cost [14]. These disadvantages of homogeneous acid catalysts cause more use of homogeneous base catalysts in industry [15]. However, homogeneous base catalysts also have some disadvantages. They cause saponification, which is undesirable during biodiesel production, and it is very difficult to separate the catalyst from the biodiesel [16]. During the purification of biodiesel, too much clean water is used and too much wastewater is discharged [17]. Unlike homogeneous catalysts, heterogeneous catalysts simplify the reaction and prevent water wastage [18]. Studies show that heterogeneous catalysts containing some alkali metal oxides such as CaO [19], MgO [20] or SrO [21] have high activity in biodiesel production. CaO is an important component with catalytic activity in the biodiesel production and can be obtained by calcination of materials containing CaCO₃. In particular, the use of wastes containing CaCO₃ as a catalyst is quite remarkable in terms of cost and waste evaluation [22].

In this study, the use of different CaCO_3 -containing wastes such as waste eggshell, marble dust, sugar industry waste, seashells and waste ceramic tiles in biodiesel production was investigated. Fatty acid methyl ester (FAME) yield and some fuel properties of the biodiesel sample produced from each catalyst were determined. Accordingly, the catalysts were compared with each other and with the catalyst prepared from commercial calcium carbonate.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Materials

Sunflower oil (molecular weight is 900 g/mol) was obtained from a local market in Erzurum, Turkey. Methanol (Merck reagent of 99.9% purity) was used for the transesterification reaction. The waste eggshells, marble dust, sugar industry waste sludge, seashells, and waste ceramic tiles were obtained from a local bakery, a marble company in Erzurum, the Erzurum sugar factory, the Black Sea coast, and old broken tiles, respectively. Also, commercial CaCO_3 (99% purity) was obtained from Merck. The wastes used as heterogeneous catalysts are shown in Figure 1.



Figure 1. Wastes used as catalysts

After the materials on the waste ceramic tiles were scraped off, waste eggshells, seashells, and waste ceramic tiles were washed with water to remove impurities. All catalysts were dried in an oven at 100 °C and ground (180-300 μm). The ground wastes were calcined for 3 hours in an ash oven at 900 °C to obtain CaO powder [23] and stored for use in experimental studies. The calcination reaction is given in equation (1).



2.2. Biodiesel Production by Transesterification

For the reaction, 220 g sunflower oil was put into a 1000 mL jacketed glass reactor connected to reflux and a mechanical mixer and heated to 60 °C with a constant temperature water circulator. Then, 5 wt.% of catalyst dosage (based on the weight of oil) and 15:1 methanol to sunflower oil molar ratio in a flask fitted with reflux were activated by stirring at 60 °C for 1 hour (preliminary experiments showed that the 1-hour pre-activation

of the catalyst at 60 °C significantly increased the yield). Then, a mixture of methanol and catalyst was added to the stirring oil at 600 rpm and the reaction started. After the reaction time of 2 hours, the contents of the reactor were rapidly filtered using a blue band filter paper with a vacuum pump and then centrifuged to completely precipitate the solid particles. The remaining liquid products after the catalyst was separated were placed in a separator funnel and kept for 24 hours. The glycerin phase was separated from the bottom phase. The upper phase (biodiesel phase) was purified in a rotary evaporator by removing excess methanol (reaction conditions were determined by preliminary trials).

The biodiesel samples obtained by transesterification were quantitatively analyzed by a gas chromatograph (GC) system equipped with an auto-injector (SHIMADZU, QP 2010) and the Restek Rtx-Wax capillary column (60m × 0.25mm id., 0.25). To calculate the fatty acid methyl ester (FAME) yield, equation (2) was used [24].

$$Yield\% = \frac{M_a}{M_t} \times 100\% = \frac{M_{ester}}{M_{oil}} \times 100\% \quad (2)$$

where M_a is the actual mass of FAME, and M_t is the theoretical mass, while M_{ester} and M_{oil} stand for the weight of fatty acid methyl ester (g) produced and the weight of oil used (g), respectively.

The some fuel properties of the produced biodiesel samples were determined according to relevant standards (EN/ASTM). Density (at 15 °C) was measured by an automatic density meter (Rudolph Research Analytical, DDM 2909). Cloud and pour points were analyzed by using Seta Cloud and Pour Point Bath (11010-2). Kinematic viscosities (at 40 °C) of samples were determined by using Koehler kV4000 series viscosimeter. The acid number was determined through the titration method using a KOH-ethanol solution.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Biodiesel was produced from each waste and from commercial calcium carbonate catalysts under the same reaction conditions. Fatty acid methyl ester (FAME) yields of the produced biodiesel samples were investigated. The obtained results are shown in Figure 2.

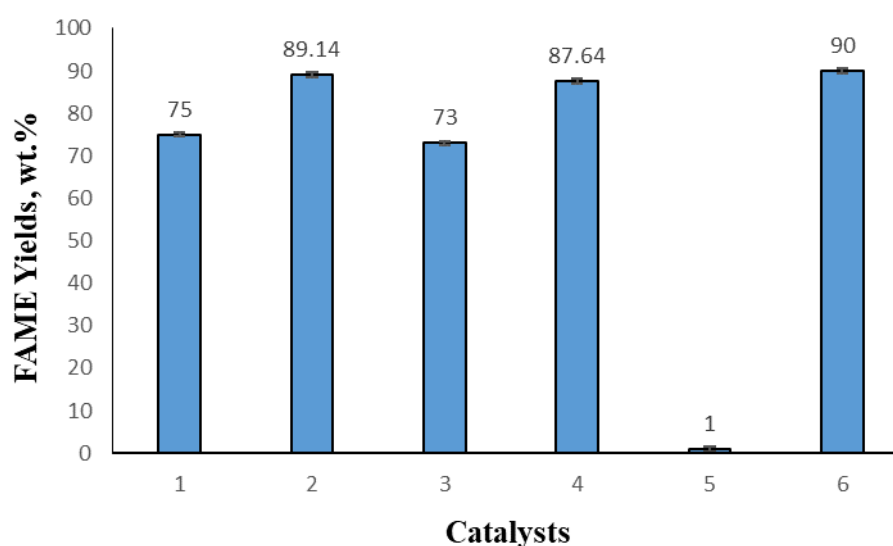


Figure 2. Biodiesel yields of heterogeneous catalysts produced from wastes. 1-seashell, 2-marble dust, 3-egg shell, 4-sugar industry waste, 5-waste ceramic tiles, and 6-commercial calcium carbonate

When Figure 2 is examined, it is seen that the biodiesel yield of all catalysts is over 70%, except for waste ceramic tiles. It was found that the waste tile did not have catalytic activity in biodiesel production and the highest yields belonged to marble dust (89.14%) and sugar factory waste (87.64%), respectively. The biodiesel yield of both catalysts was found to be almost the same as the commercial calcium carbonate yield (90%).

Some fuel properties of biodiesel samples produced from waste heterogeneous catalysts were also investigated. Obtained results were compared with EN 14214 and ASTM D 6751 standards (Table 1). Accordingly, the fuel properties of all catalysts, except for waste ceramic tiles, conformed to these standards and were very close to those of commercial calcium carbonate.

Table 1. Some fuel properties of biodiesel samples produced from waste heterogeneous catalysts

Properties	Europe EN 14214	ASTM D 6751	Sea shell	Marble dust	Egg shell	Sugar industry waste	Waste ceramic tiles	Com. CaCO ₃
Density at 15°C (g.cm ⁻³)	0.86-0.90	0.575- 0.900	0.89	0.89	0.89	0.89	--	0.89
Kinematic viscosity at 40°C (mm ² /s)	3.50-5.00	1.9-6.0	3.56	3.95	3.51	3.76	--	3.95
Cloud point (°C)	-	-3 to +12	1.1	2.1	1.6	2.2	--	2.5
Pour point (°C)	-	-15 to +10	-12.9	-10.2	-12.7	-9.6	--	-11.2
Acid value (mg KOH / g oil)	< 0.5	< 0.8	0.15	0.14	0.18	0.11	--	0.19

4. CONCLUSION

In this study, calcium oxide catalysts were prepared by calcination from wastes such as eggshell, marble dust, sugar industry waste, waste ceramic tile and seashell containing calcium carbonate. Using the prepared catalysts, biodiesel was produced under the same reaction conditions (5 wt. % catalyst amount and 15: 1 methanol to oil molar ratio at 60 ° C for 2h). The yield and fuel properties of each produced biodiesel sample were examined. The obtained results showed that all catalysts except waste ceramic tiles are suitable for biodiesel production and the highest yield was achieved with marble powder and sugar factory waste catalysts. In addition, the fuel properties of the biodiesel samples produced from these catalysts were found to comply with EN and ASTM standards.

Acknowledgments

The participation of this Congress was financially supported by the Atatürk University Scientific Support Project (9916).

REFERENCES

- [1] AVSL Sai B, KM Meera B. Optimization and modeling of biodiesel production using fluorite as a heterogeneous catalyst. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 2019;41(15):1862-78.
- [2] Sun S, Guo J, Duan X. Biodiesel preparation from Phoenix tree seed oil using ethanol as acyl acceptor. *Industrial Crops and Products* 2019;137:270-5.
- [3] Jung J-M, Oh J-I, Kim J-G, Kwon H-H, Park Y-K, Kwon EE. Valorization of sewage sludge via non-catalytic transesterification. *Environment international* 2019;131:105035.
- [4] Rizwanul Fattah I, Ong H, Mahlia T, Mofijur M, Silitonga A, Rahman S, et al. State of the art of catalysts for biodiesel production. *Frontiers in Energy Research* 2020;8:101.

- [5] Bharadwaj AS, Singh M, Niju S, Begum KMS, Anantharaman N. Biodiesel production from rubber seed oil using calcium oxide derived from eggshell as catalyst—optimization and modeling studies. *Green Processing and Synthesis* 2019;8(1):430-42.
- [6] Khan HM, Iqbal T, Ali CH, Javaid A, Cheema II. Sustainable biodiesel production from waste cooking oil utilizing waste ostrich (*Struthio camelus*) bones derived heterogeneous catalyst. *Fuel* 2020;277:118091.
- [7] Wang S, Shan R, Wang Y, Lu L, Yuan H. Synthesis of calcium materials in biochar matrix as a highly stable catalyst for biodiesel production. *Renewable energy* 2019;130:41-9.
- [8] Al-dobouni IA, Fadhil AB, Saeed IK. Optimized alkali-catalyzed transesterification of wild mustard (*Brassica juncea* L.) seed oil. *Energy Sources, Part A: recovery, utilization, and environmental effects* 2016;38(15):2319-25.
- [9] Gebremariam SN, Marchetti JM. Biodiesel production through sulfuric acid catalyzed transesterification of acidic oil: Techno economic feasibility of different process alternatives. *Energy Conversion and Management* 2018;174:639-48.
- [10] Liu Y, Wu Y, Su M, Liu W, Li X, Liu F. Developing Brønsted–Lewis acids bifunctionalized ionic liquids based heteropolyacid hybrid as high-efficient solid acids in esterification and biomass conversion. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 2020;92:200-9.
- [11] Laskar IB, Gupta R, Chatterjee S, Vanlalveni C, Rokhum L. Taming waste: waste *Mangifera indica* peel as a sustainable catalyst for biodiesel production at room temperature. *Renewable Energy* 2020;161:207-20.
- [12] Baek Y, Lee J, Son J, Lee T, Sobhan A, Lee J, et al. Enzymatic synthesis of formate ester through immobilized lipase and its reuse. *Polymers* 2020;12(8):1802.
- [13] Nath B, Kalita P, Das B, Basumatary S. Highly efficient renewable heterogeneous base catalyst derived from waste *Sesamum indicum* plant for synthesis of biodiesel. *Renewable Energy* 2020;151:295-310.
- [14] Essamlali Y, Amadine O, Fihri A, Zahouily M. Sodium modified fluorapatite as a sustainable solid bi-functional catalyst for biodiesel production from rapeseed oil. *Renewable Energy* 2019;133:1295-307.
- [15] Ayoob AK, Fadhil AB. Valorization of waste tires in the synthesis of an effective carbon based catalyst for biodiesel production from a mixture of non-edible oils. *Fuel* 2020;264:116754.
- [16] Narowska BE, Kułaczyński M, Łukaszewicz M. Application of activated carbon to obtain biodiesel from vegetable oils. *Catalysts* 2020;10(9):1049.
- [17] Barros SdS, Junior WAP, Sá IS, Takeno ML, Nobre FX, Pinheiro W, et al. Pineapple (*Ananas comosus*) leaves ash as a solid base catalyst for biodiesel synthesis. *Bioresource Technology* 2020;312:123569.
- [18] Hsiao M-C, Kuo J-Y, Hsieh S-A, Hsieh P-H, Hou S-S. Optimized conversion of waste cooking oil to biodiesel using modified calcium oxide as catalyst via a microwave heating system. *Fuel* 2020;266:117114.
- [19] Yaşar F. Biodiesel production via waste eggshell as a low-cost heterogeneous catalyst: Its effects on some critical fuel properties and comparison with CaO. *Fuel* 2019;255:115828.
- [20] Navas MB, Ruggera JF, Lick ID, Casella ML. A sustainable process for biodiesel production using Zn/Mg oxidic species as active, selective and reusable heterogeneous catalysts. *Bioresources and Bioprocessing* 2020;7(1):1-13.
- [21] Sreekanth R, Joshi S, Reddy RP. Fuel properties of B100 and blends of *Terminalia belerica* (Roxb.) oil biodiesel synthesised using SrO as a basic heterogeneous catalyst. *Biofuels* 2020;11(7):777-92.
- [22] Okwundu OS, El-Shazly AH, Elkady MF. Investigation of the role of egg membrane in CaO synthesis and methods for stable composites syntheses. *Arabian Journal for Science and Engineering* 2021;46(7):6229-42.

- [23] Hadiyanto H, Afianti AH, Navi'a UI, Adetya NP, Widayat W, Sutanto H. The development of heterogeneous catalyst C/CaO/NaOH from waste of green mussel shell (*Perna varidis*) for biodiesel synthesis. *Journal of environmental chemical engineering* 2017;5(5):4559-63.
- [24] Bedir Ö, Doğan TH. Use of sugar industry waste catalyst for biodiesel production. *Fuel* 2021;286:119476.



CATALYTIC EFFECT OF SUGAR INDUSTRY WASTE IN BIODIESEL PRODUCTION

Özlem Bedir

Atatürk University, Engineering Faculty, Department of Chemical Engineering, Erzurum, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3309-6494>

Tuba Hatice DOĞAN

Atatürk University, Engineering Faculty, Department of Chemical Engineering, Erzurum, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8369-9416>

ABSTRACT

The use of calcium-based heterogeneous catalysts in biodiesel production is becoming increasingly common. Especially the catalysts produced from waste contribute to both the environment and the economy. Sugar factory waste sludge is a waste containing high levels of calcium carbonate. In this study, sugar industry waste was converted to calcium oxide, which is an active component in biodiesel production by calcination, and its catalytic activity was investigated. In the study, the effects of parameters such as catalyst amount, methanol/oil molar ratio and reaction time on biodiesel yield were investigated and optimum reaction conditions (5 wt% catalyst amount and 15:1 methanol to oil molar ratio at 60 °C for 2 h) were determined. Under optimum reaction conditions, 87.64% biodiesel yield was achieved and it was determined that the fuel properties of the produced biodiesel sample comply with EN and ASTM standards. According to the obtained results, it can be said that sugar industry waste is a suitable heterogeneous catalyst for biodiesel production.

Keywords: Heterogeneous catalyst, Sugar industry waste, Biodiesel

1. INTRODUCTION

The increase in energy demand in the world day by day and the fact that this energy need is generally met from fossil fuels brings with it many problems. Fossil fuels, which have limited reserves, also have negative effects on the environment. Therefore, biodiesel, which is a clean and sustainable energy source, is seen as a good alternative [1]. Biodiesel can be produced by esterification of vegetable and animal oils with an alcohol such as methanol or ethanol in the presence of a catalyst [2]. In this method called transesterification, the importance of the catalyst is quite large. It takes a very long time to reach a high biodiesel yield in catalyst-free transesterification [3]. Therefore, catalyzed transesterification is more preferred. However, in this case, issues such as the activity of the catalyst, its cost, its reusability and its easy separation from biodiesel during purification become important [4]. For this reason, many researchers are doing research to find the most suitable catalyst in biodiesel production. Different catalysts such as homogeneous, heterogeneous or enzyme catalysts can be used in the production of biodiesel. In contrast to enzyme catalysts, which are expensive and not widely used, homogeneous catalysts are frequently used in industry [5]. However, the water washing procedure applied to separate homogeneous catalysts from biodiesel causes waste of too much clean water and the generation of wastewater [6]. To overcome these disadvantages of homogeneous catalysts, researchers have recently turned to heterogeneous catalysts. The use of calcium-based heterogeneous catalysts in biodiesel production is becoming increasingly common. Studies show that calcium oxide (CaO) has an important catalytic effect in biodiesel production. In particular, heterogeneous catalysts produced from waste and containing CaO are remarkable for the benefits they offer both to the environment and to the economy [7].

In this study, sugar industry waste containing high amount of calcium carbonate was calcined and converted into calcium oxide. The catalytic activity of the obtained heterogeneous catalyst in biodiesel production was investigated.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Materials

The sunflower oil was obtained from a local market in Erzurum, Turkey and methanol (99.9% purity) was obtained from Merck. The sugar industry waste sludge was obtained from the Erzurum Sugar Factory in Turkey. The waste used as a catalyst is shown in Figure 1.



Figure 1. Sugar factory waste used as catalyst

Sugar industry waste was dried in an oven at 100 °C and ground (180-300 µm). Subsequently, it was calcined for 3 hours in an ash oven at 900 °C [8]. The obtained CaO powder was stored at room temperature in a glass bottle sealed with paraffin film for use in experimental studies. The calcination reaction is given in equation (1).



2.2. Biodiesel Production

220 g sunflower oil was put into a 1000 mL jacketed glass reactor connected to reflux and a mechanical mixer and heated to 60 °C with a constant temperature water circulator. 5 wt% of catalyst dosage (based on the weight of oil) and 15:1 of the methanol to sunflower oil molar ratio in a flask fitted with reflux were activated by stirring at 60 °C for 1 h (Preliminary experiments showed that the 1-hour pre-activation of the catalyst at 60 °C significantly increased the yield). Then, a mixture of methanol and catalyst was added to the oil stirring at 600 rpm and the reaction started. After the reaction time of 2 h, the contents of the reactor, containing the catalyst, the unreacted oil, the methyl esters (biodiesel), and the glycerin, were rapidly filtered using a blue band filter paper with a vacuum pump and then centrifuged to completely precipitate the solid particles. The remaining liquid products after the catalyst was separated placed in a separatory funnel for gravity separation of the glycerin, from the oil phase containing the biodiesel and the unreacted oil and kept for 24 h. The upper phase (biodiesel phase) was purified in a rotary evaporator by removing excess methanol.

The biodiesel sample was quantitatively analyzed by a gas chromatograph (GC) system. Fatty acid methyl ester (FAME) yield of the produced biodiesel was calculated [9] using equation 2.

$$Yield\% = \frac{M_a}{M_t} \times 100\% = \frac{M_{ester}}{M_{oil}} \times 100\% \quad (2)$$

where M_a is the actual mass of FAME, and M_t is the theoretical mass, while M_{ester} and M_{oil} stand for the weight of fatty acid methyl ester (g) produced and the weight of oil used (g), respectively.

Physicochemical properties of produced biodiesel under optimum conditions were determined according to related standards (EN/ASTM). Density (at 15 °C) were measured by automatic density meter (Rudolph Research Analytical, DDM 2909). Cloud and pour points were analyzed by using Seta Cloud and Pour Point Bath (11010-2). Kinematic viscosities (at 40 °C) samples were determined by using Koehler kV4000 series viscosimeter. The acid number was determined through the titration method using a KOH-ethanol solution.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In the study, the effects of three parameters such as catalyst amount, methanol/oil molar ratio and reaction time on biodiesel yield were investigated in order to determine the optimum reaction conditions.

3.1. Effect of catalyst amount

The effect of catalyst amount on biodiesel yield (FAME yield) was investigated for seven different catalyst amounts (1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, and 7% by weight). The obtained results are shown in Figure 2.

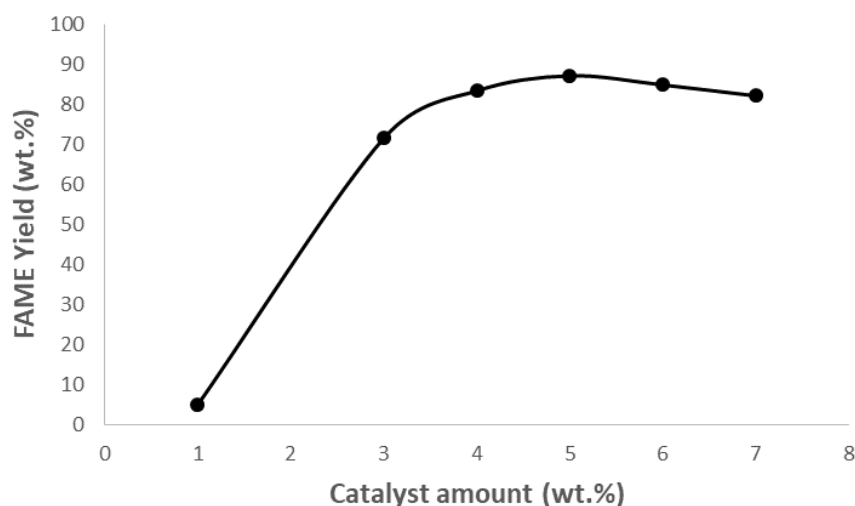


Figure 2. Effect of catalyst amount on the FAME yield (methanol/oil molar ratio, 15:1; temperature, 60 °C and reaction time, 2 h)

When Figure 2 is examined, up to 5%, FAME yield increases as the amount of catalyst increases and decreases after this value. The reason for this is that the active centers increase with an increase in the amount of catalyst up to 5%, and above this value, the mass transfer slows down due to the slurry formed in the reaction medium. While the amount of catalyst was 5%, the FAME yield reached its highest value. Some researchers have obtained results similar to ours [10, 11]. This value (87.64%) indicates that the optimum catalyst amount is 5%.

3.2. Effect of methanol/oil molar ratio

The effect of methanol/oil molar ratio on FAME yield was investigated for five different molar ratios (6:1, 9:1, 12:1, 15:1, and 18:1). The obtained results are shown in Figure 3. When Figure 3 is examined, up to 15/1 methanol/oil molar ratio, FAME yield increases as the methanol/oil molar ratio increases and decreases after this value. While the methanol/oil molar ratio was 15/1, the FAME yield reached its highest value (87.64%). Accordingly, the optimum methanol/oil molar ratio is 15/1. In a study conducted with a heterogeneous catalyst

produced from chicken eggshell, the optimum methanol/oil molar ratio was found to be 15/1. Moreover, the FAME yield (80.2%) obtained in that study was lower [12].

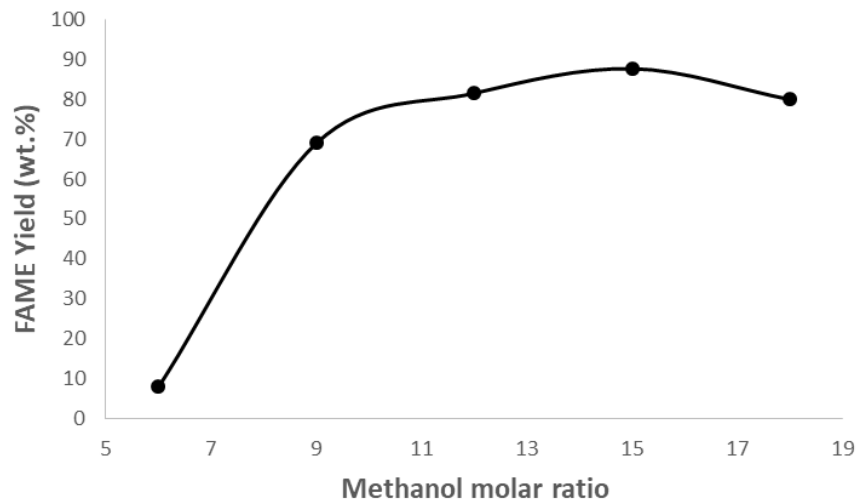


Figure 3. Effect of methanol/oil molar ratio on the FAME yield (catalyst amount, 5% wt., temperature, 60 °C and reaction time, 2 h)

3.3. Effect of reaction time

The effect of reaction time on FAME yield was investigated for five different levels such as 1 h, 2 h, 3 h, 4 h, and 5 h. The obtained results are shown in Figure 4.

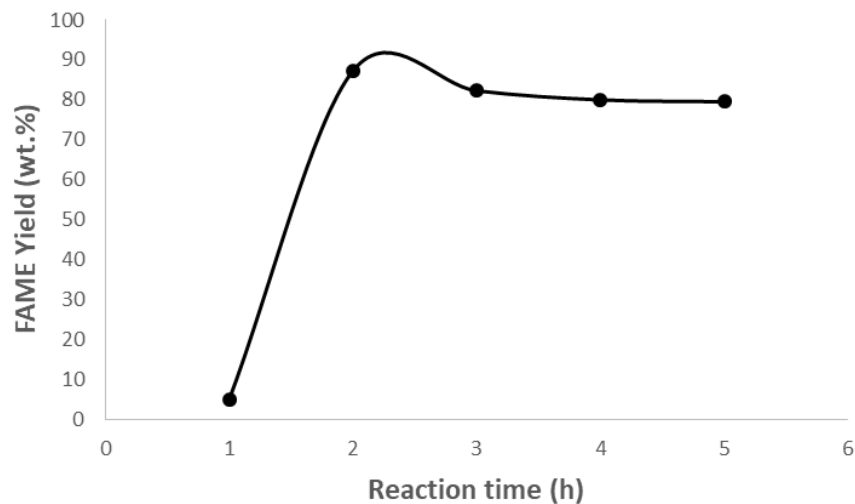


Figure 4. Effect of reaction time on the FAME yield (methanol/oil molar ratio, 15:1; temperature, 60 °C, and catalyst amount, 5% wt.)

When Figure 4 is examined, up to 2h, FAME yield increases as the reaction time increases and decreases after this value. While the reaction time was 2h, the FAME yield reached its highest value. This value (87.64%) indicates that the optimum reaction time is 2h.

According to the results obtained, optimum reaction conditions for biodiesel production with sugar industry waste catalyst were determined as 5% catalyst amount, 15/1 methanol/oil molar ratio and 2h reaction time.

Some fuel properties of the biodiesel sample produced under optimum reaction conditions were also examined and the results are shown in Table 1. Accordingly, the produced biodiesel met EN and ASTM standards.

Table 1. Physicochemical properties of produced biodiesel.

Properties	Experimental values	Europe EN 14214	ASTM D 6751
Density at 15°C (g.cm ⁻³)	0.89	0.86-0.90	0.575-0.900
Kinematic viscosity at 40°C (mm ² /s)	3.23	3.50-5.00	1.9-6.0
Cloud point (°C)	2.2	-	-3 to +12
Pour point (°C)	-9.6	-	-15 to +10
Acid value (mg KOH/g oil)	0.11	< 0.5	< 0.8

4. CONCLUSION

In this study, calcium oxide catalyst was prepared by calcination from sugar factory waste sludge containing calcium carbonate and biodiesel was produced using the prepared catalyst. The optimum reaction conditions (5 wt% catalyst amount and 15:1 methanol to oil molar ratio at 60 °C for 2 h) for this process were determined. The fuel properties of the biodiesel produced under these conditions were in accordance with EN and ASTM standards. The very high biodiesel yield (almost 90%) achieved under optimum reaction conditions and the compliance of the produced biodiesel with fuel standards show that the sugar industry waste catalyst is a suitable heterogeneous catalyst for biodiesel production.

Acknowledgments

The participation of this Congress was financially supported by the Atatürk University Scientific Support Project (9916).

REFERENCES

- [1] Balajii M, Niju S. Banana peduncle—A green and renewable heterogeneous base catalyst for biodiesel production from Ceiba pentandra oil. *Renewable Energy* 2020;146:2255-69.
- [2] Lima-Corrêa RA, Castro CS, Damasceno AS, Assaf JM. The enhanced activity of base metal modified MgAl mixed oxides from sol-gel hydrotalcite for ethylic transesterification. *Renewable Energy* 2020;146:1984-90.
- [3] Jung J-M, Oh J-I, Kim J-G, Kwon H-H, Park Y-K, Kwon EE. Valorization of sewage sludge via non-catalytic transesterification. *Environment international* 2019;131:105035.
- [4] Yan B, Zhang Y, Chen G, Shan R, Ma W, Liu C. The utilization of hydroxyapatite-supported CaO-CeO₂ catalyst for biodiesel production. *Energy conversion and management* 2016;130:156-64.
- [5] Dmytryshyn S, Dalai A, Chaudhari S, Mishra H, Reaney M. Synthesis and characterization of vegetable oil derived esters: evaluation for their diesel additive properties. *Bioresource Technology* 2004;92(1):55-64.
- [6] Piker A, Tabah B, Perkas N, Gedanken A. A green and low-cost room temperature biodiesel production method from waste oil using egg shells as catalyst. *Fuel* 2016;182:34-41.
- [7] Lin Y-C, Amesho KT, Chen C-E, Cheng P-C, Chou F-C. A cleaner process for green biodiesel synthesis from waste cooking oil using recycled waste oyster shells as a sustainable base heterogeneous catalyst under the microwave heating system. *Sustainable Chemistry and Pharmacy* 2020;17:100310.
- [8] Hadiyanto H, Afianti AH, Navi'a UI, Adetya NP, Widayat W, Sutanto H. The development of heterogeneous catalyst C/CaO/NaOH from waste of green mussel shell (*Perna varidis*) for biodiesel synthesis. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2017;5(5):4559-63.

- [9] Shah M, Ali S, Tariq M, Khalid N, Ahmad F, Khan MA. Catalytic conversion of jojoba oil into biodiesel by organotin catalysts, spectroscopic and chromatographic characterization. *Fuel* 2014;118:392-7.
- [10] Farooq M, Ramli A, Naeem A. Biodiesel production from low FFA waste cooking oil using heterogeneous catalyst derived from chicken bones. *Renewable Energy* 2015;76:362-8.
- [11] Lee SL, Wong YC, Tan YP, Yew SY. Transesterification of palm oil to biodiesel by using waste obtuse horn shell-derived CaO catalyst. *Energy Conversion and Management* 2015;93:282-8.
- [12] Chen G, Shan R, Li S, Shi J. A biomimetic silicification approach to synthesize CaO–SiO₂ catalyst for the transesterification of palm oil into biodiesel. *Fuel* 2015;153:48-55.



INVESTIGATION OF FUEL PROPERTIES OF BIODIESEL/WASTE TRANSFORMER OIL/DIESEL TRIPLE MIXTURES

Tuba KARACA

Atatürk University, Engineering Faculty, Department of Chemical Engineering, Erzurum, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8016-3736>

Tuba Hatice DOĞAN

Atatürk University, Engineering Faculty, Department of Chemical Engineering, Erzurum, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8369-9416>

ABSTRACT

Fossil fuels currently meet most of the world's energy needs. Apart from serious environmental problems, decreasing crude oil reserves create great competition between countries and increase foreign dependency of many countries. As a result of increasing petroleum fuel prices and excessive consumption of liquid fuels especially for transportation purposes, the necessity of finding economically competitive and alternative energy sources has emerged. The transport sector currently accounts for the second largest energy consumption. The most important energy demand comes from widely used fossil fuel sources such as gasoline and liquefied petroleum gas. However, the limitations of fossil fuels, concerns about energy needs and the need to respond to climate change have led to increased worldwide interest in alternative energy sources. It is very important to evaluate the wastes that can be fuel raw materials as an alternative source. It is known that tons of waste frying oil and waste transformer oil are generated every year. Waste frying oils are important wastes of the food industry, and waste transformer oils are important wastes of the electricity industry. In this study, the use of biodiesel/waste transformer oil/diesel triple blends as an alternative fuel instead of fossil-based diesel fuel was investigated. For this, some fuel properties of triple mixtures prepared at different ratios were investigated. The results of the study showed that the triple mixture consisting of 60% waste transformer oil (WTO), 30% biodiesel and 10% diesel is the most suitable mixture.

Keywords: Biodiesel, Waste transformer oil, diesel, Alternative fuel, Mixture

1.INTRODUCTION

Due to the ever-increasing human population, most of the world's energy is used for industrial applications, transportation and electricity generation. The most important energy demand comes from widely used fossil fuel sources such as gasoline and liquefied petroleum gas [1]. However, the intensive use of fossil fuels creates very harmful effects on the environment such as acid rain, greenhouse gas emissions and global warming. Apart from serious environmental problems, decreasing crude oil reserves create great competition between countries and increase foreign dependency of many countries [2].

The rising price of fossil oils, the gradual decline of oil resources and the unsustainable emissions of motor vehicles increase the search for alternative fuels. The use of waste raw materials, which can be a source of energy, is especially important. In this sense, it is extremely important to evaluate the waste frying oils and waste industrial oils, which are released every year in tons [3, 4].

Used vegetable oils contain solids and free fatty acids due to the breakdown of the oil during the frying process. Waste oil residues harm the environment and to fix this, recovery becomes a necessity. It is possible to produce biodiesel, an alternative fuel, from these used vegetable oils by transesterification method [5]. Biodiesel attracts attention as a liquid fuel produced from crude or waste vegetable/animal oils. Its many advantages such as biodegradability, renewability, less environmental toxicity, high combustion efficiency, high cetane number, high flash point and lower sulfur content are also known [6].

In addition to vegetable oils, which are a waste of the food industry, waste transformer oils are refined mineral oil, which is an important waste of the electricity industry. Significant amounts of transformer oil are used as a coolant in power transformers, source transformers and electromotor systems. The electrical transformer is

an complementary part of electrical energy transmission and distribution equipment used in electrical distribution stations. The efficiency and life of an electrical transformer depends on the efficient cooling and insulation of the transformer [7]. During the operation of a transformer, transformer oil starts to deteriorate after a certain period of time and a large amount of degraded transformer oil is separated as waste. Used transformer oils can be used as raw materials in the production of petroleum-based liquid fuels. However, the high viscosity and moisture content of waste transformer oil prevents it from being used as fuel in its pure form [8].

The aim of this study is to investigate the use of biodiesel/waste transformer oil/diesel triple blends as an alternative fuel instead of fossil-based diesel fuel. For this, biodiesel was produced by transesterification method from waste frying oils collected from households. By using the produced biodiesel, waste transformer oils collected from different transformers and commercially purchased diesel fuel, triple mixtures at different ratios were formed. While creating the mixtures, the ratio of diesel fuel was minimized and the ratios of transformer oil and biodiesel prepared from waste oils were changed. Some fuel properties such as viscosity, density, pour point, cloud point, flash point, heat value, sulfur amount, ash amount of the obtained waste transformer oil/biodiesel/diesel triple fuel mixtures were examined and the optimum triple mixing ratio was determined in terms of fuel properties.

2. MATERIALS AND METHOD

2.1. Materials

Waste frying oils to be used as biodiesel raw material were collected from different houses. The collected oils are filtered to remove solid particles before use. For biodiesel production, methanol was used as alcohol and potassium hydroxide was used as the catalyst. Waste transformer oils used in the study were obtained from Aşkale Transformer Center, Horasan Transformer Center and Hınıs Transformer Centers affiliated to Aras electricity distribution anonymous company in Erzurum. Waste transformer oils are also filtered and purified from coarse impurities, similar to waste frying oils. In addition, the water in the waste transformer oil was removed with the help of an adsorbent, and the improvement was made. The diesel fuel used to create the triple fuel mixture was obtained from the Erzurum department of Opet petroleum anonymous company.

2.2. Experimental Procedure

2.2.1. Biodiesel Production by Transesterification

For the transesterification reaction, considering the literature review, the reaction conditions; 6:1 alcohol:oil molar ratio, 1% by weight catalyst amount, 60°C reaction temperature and 2 hours reaction time were selected. Accordingly, a certain amount of waste cooking oil was placed in a jacketed glass reactor. The oil in the reactor, which was connected to a reflux and mechanical stirrer, was heated to 60°C. On another side, a certain amount of KOH catalyst is mixed with methyl alcohol. After the catalyst was completely dissolved, the catalyst and methanol mixture was added to the oil in the reactor and the reaction was started. The experimental setup used during transesterification is shown in Figure 1. After a reaction time of 2 hours, the liquid mixture was placed in a separatory funnel and held on for complete separation of the glycerine and biodiesel phases. After removing the glycerine phase at the bottom, the remaining methyl ester phase (biodiesel) was washed three times with distilled water and purified in an evaporator.



Figure 1. Pre-activation of the catalyst and transesterification of waste cooking oil

2.2.2. Preparation of Biodiesel/Waste Transformer Oil/Diesel Blends

At this stage of the study, 6 mixtures in different volumetric ratios were prepared from the trio of produced biodiesel, waste transformer oil and commercially purchased diesel fuel (Table 1). Some fuel properties such as density (at 15°C), kinematic viscosity (at 40°C), heat value, pour point, cloud point, acid value, ash content and sulfur content of each mixture were determined according to the relevant standards.

Table 1. Ratios of prepared triple fuel mixtures

Type of fuel	Mixing ratios (volume %)					
	1	2	3	4	5	6
Biodiesel	70	50	30	20	10	0
Waste transformer oil	20	40	60	70	80	100
Diesel fuel	10	10	10	10	10	0

3. RESULTS AND DISCUSSION

The fuel properties of each of the 6 triple fuel mixtures prepared in different ratios were investigated. Obtained results were compared with EN 14214 and ASTM D6751 fuel standards. Accordingly, the best fuel properties belonged to the fuel mixture no. 3, which had a mixture of 30% biodiesel, 60% waste transformer oil, 10% diesel fuel. Fuel properties of the optimum triple fuel mixture are given in Table 2.

Table 2. Fuel properties of the optimum triple fuel mixture

	Fuel Properties							
	Density (g/cm ³)	Viscosity (mm ² /sn)	Heat value (kJ/kg)	Pour point (°C)	Cloud point (°C)	Acid value (mgKOH/g yağ)	Ash amount (wt. %)	Sulfur amount (mg/kg)
Optimal fuel mixture	0.87	5.8	45.5	-33.4	-19.6	0.66	0.014	0.78
EN14214	0.86-0.90	3.5-5.0	-	-	-	< 0.5	≤ 0.02	≤ 10
ASTM D6751	0.575-0.900	1.9-6.0	-	-15 + 10	-3 + 12	< 0.8	≤ 0.02	≤ 15

When Table 2 is examined, it is seen that density, calorific value, ash and sulfur amount of the optimum triple fuel mixture (30% biodiesel, 60% waste transformer oil, 10% diesel) comply with both standards. In addition, it has been observed that its viscosity and acid value comply with the ASTM standard, and its pour and cloud point comply with the EN standard. Accordingly, it can be said that the important fuel properties of the optimum fuel mixture meet the fuel standards.

4. CONCLUSION

In this study, different ratios of biodiesel, waste transformer oil, diesel triple fuel mixtures were prepared as an alternative to pure diesel fuel. Some fuel properties such as density, kinematic viscosity, heat value, pour point, cloud point, acid value, ash content and sulfur content of the prepared mixtures were examined and these properties were compared with EN and ASTM standards. The results showed that the optimum triple mixture is 30% biodiesel, 60% waste transformer oil, 10% diesel mixture.

Acknowledgments

The participation of this Congress was financially supported by the Atatürk University Scientific Support Project (9916).

REFERENCES

- [1] Justo JJ, Mwasilu F, Lee J, Jung J-W. AC-microgrids versus DC-microgrids with distributed energy resources: A review. *Renewable and sustainable energy reviews* 2013;24:387-405.
- [2] Silitonga A, Mahlia T, Kusumo F, Dharma S, Sebayang A, Sembiring R, et al. Intensification of Reutealis trisperma biodiesel production using infrared radiation: Simulation, optimisation and validation. *Renewable Energy* 2019;133:520-7.
- [3] Ma F, Hanna MA. Biodiesel production: a review. *Bioresource technology* 1999;70(1):1-15.
- [4] Doğan TH. The testing of the effects of cooking conditions on the quality of biodiesel produced from waste cooking oils. *Renewable energy* 2016;94:466-73.
- [5] Van Gerpen J. Biodiesel production. *Improvement of Crop Plants for Industrial End Uses*. Springer; 2007, p. 281-9.
- [6] Sorate KA, Bhale PV. Biodiesel properties and automotive system compatibility issues. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2015;41:777-98.
- [7] Altınsoy AS. Biyodizel üretimi, motorlarda kullanımı ve Türkiye'deki kaynakların incelenmesi. *Fen Bilimleri Enstitüsü*; 2007.
- [8] Yıldız A. Atık trafo yağlarının dizel motorlu bir jeneratör setinde alternatif yakıt olarak kullanılması. *Batman Üniversitesi*; 2017.



REMOVAL OF WATER OF WASTE TRANSFORMER OIL CONSIDERED AS ALTERNATIVE FUEL

Tuba KARACA

Atatürk University, Engineering Faculty, Department of Chemical Engineering, Erzurum, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8016-3736>

Tuba Hatice DOĞAN

Atatürk University, Engineering Faculty, Department of Chemical Engineering, Erzurum, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8369-9416>

ABSTRACT

As a result of the increasing energy demand in the world, the inability of widely used fossil-based resources to meet this need, the increasing price of fossil fuels, and the gradual decrease of oil resources have led researchers to seek alternative fuels. Transformer oil is a petroleum-based mineral oil that is used as a cooling oil in power transformers, source transformers and electromotor systems. During the operation of a transformer, transformer oil starts to deteriorate after a certain time and large amounts of degraded transformer oil are separated as waste. Annual waste potential as well as physicochemical properties similar to diesel fuel cause transformer oils to be seen as a good raw material in the search for alternative fuels. However, waste transformer oils contain certain levels of water due to decomposition and it is known that water is an undesirable situation in fuels. In this study, the removal of moisture from waste transformer oil has been investigated as it adversely affects the fuel quality. An adsorbent produced from waste tea was used to remove the moisture of the waste transformer oil supplied from the electrical transformer. The effects of parameters such as temperature, contact time, amount of adsorbent and concentration on the adsorption process were investigated. According to the obtained results, the moisture of waste transformer oil was removed by 98.6% under optimum conditions (temperature 20°C, contact time 45 minutes, adsorbent amount 17.50% (w/v) and 55 mg/L solution concentration).

Keywords: Waste transformer oil, waste tea, adsorption, water removal

1.INTRODUCTION

Every year, tons of vegetable, animal or petroleum-based mineral waste oil is produced in the world. The release of these oils into the environment causes the pollution of water and the natural environment and harms all living things through the food chain. Recently, studies investigating the use of various waste oils as fuel have become widespread [1]. Transformer oils, which are among these waste oils and are a refined mineral oil, gain great importance due to their high calorific value and similar properties to diesel fuel. Transformer oils act as an insulator and cooling medium in transformers in electrical circuits. These oils, also called insulating oils, increase the dielectric strength of the insulation by filling the pores in the fibrous insulation, the spaces between the coil conductors, the spaces between the windings and the tank. Heat is generated in the winding while the transformer is operating and this heat is transferred to the oil. The heated oil then flows to the radiators via convection. Since the oil supplied from the radiators is relatively cold, it cools the winding [2].

Insulating oil (transformer oil) provides the greatest electrical power in transformers [3]. Transformer oils allow transformer systems to operate at high temperatures and protect the insulation system from serious failures for a long time. However, when oxygen and water appear in the insulating oil, it oxidizes even under ideal conditions. The condition of the insulating oil is also affected by various contaminants originating from the oil-soluble solid materials of the transformer. As a result of the reactions between unstable hydrocarbons, oxygen and water with the help of an accelerator such as heat in the oil, the oil oxidizes and causes it to age and deteriorate. This increases the load on the transformer insulation system. With 1% moisture, the insulation wrap increases the aging process 10 times faster than with 0.1% moisture content. One of the main provisions in the maintenance of the transformer is the annual inspection of the oil. When moisture occurs, it is very

important to maintain a low degree of moisture for insulation, as well as to remove this moisture in a timely manner [4]. After long-term use, changes occur in the physicochemical properties of the oil. For this reason, it is called waste oil and is changed. Misuse and improper disposal of this waste transformer oil cause environmental pollution. In order to prevent these problems, it is inevitable to reuse waste oils. However, the moisture content of waste transformer oil, which is considered to be used as fuel, is an important problem. The presence of water in fuels is undesirable. However, since the oil starts to deteriorate after a certain time during the operation of a transformer, water occurs in it. Therefore, waste transformer oils may contain undesirable levels of water. It is very important to remove the moisture in these oils in order to improve the fuel quality. If the fuel contains a high percentage of water, water is separated from the fuel in high-pressure injection systems and may cause corrosion in the injector system [5]. For this reason, it is important to use the waste transformer oil as fuel after the humidity is reduced to the desired levels with the help of a suitable adsorbent [4, 6].

The aim of this study is to reduce the moisture in the waste transformer oil to the minimum level by using the tea factory waste, which is a renewable biomass waste, as an adsorbent. The adsorption process was carried out with five different parameters. By using the adsorbent obtained from the waste tea, the moisture of the waste transformer oil was removed at the highest rate of 98.6%. This removal amount was reached at 20°C temperature, 45 minutes contact time, 17.50% (w/v) adsorbent amount and 55 mg/L solution concentration values.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Materials

Waste transformer oils used in the study were obtained from Aşkale Transformer Center, Horasan Transformer Center and Hınıs Transformer Center connected to Aras Electricity Distribution Incorporate Company in Erzurum. Waste tea used as adsorbent was obtained from a tea factory (ASÇAY) in Trabzon's Sürmene town.

2.2. Adsorption Experiments

Waste tea obtained from the tea factory was sieved with ASTM standard sieves (1.14-2.00mm) after cleaning the large parts in it and stored in a dry place in a closed container. A Karl Fischer coulometric titrator (GR Scientific Cou-Lo Aquamax KF Moisture Meter) was used to determine the water content of waste transformer oils before and after adsorption. The adsorption of water in waste transformer oil on waste tea was investigated for four different parameters such as contact time, initial oil concentration, waste tea amount and temperature. After the initial water content of the waste transformer oil was determined with the help of a Karl Fischer coulometric titrator, 200 mL of waste transformer oil was put into a 1000 mL jacketed glass reactor. A reflux and a mechanical stirrer are connected to the reactor. Waste transformer oil was brought to the desired temperature with a constant temperature water circulator. The determined waste tea dosage was put into the reactor and the reactor content was mixed at 600 rpm. At the end of the determined contact time, the reactor contents were quickly filtered with a vacuum pump using blue band filter paper and the water content of the waste transformer oil was analyzed. The effect of each parameter was investigated by keeping other parameters constant. Fixed parameters were determined as temperature 20°C, initial concentration 55 mg/L, adsorbent dose 17.5% by weight (based on oil volume) and contact time 45 minutes. The parameters and values used in the adsorption process are given in Table 1.

Table 1. Parameters used in the adsorption process and their values

Parameters	Value				
Adsorbent amount, % (w/v)	2.5	7.5	12.5	17.5	22.5
Concentration (mg/L)	18.8	22.1	27.7	34.6	55
Temperature (°C)	10	20	35	45	60
Contact time (minutes)	15	25	35	45	60

3. RESULTS AND DISCUSSION

In the process of removing water from waste transformer oil using waste tea, the effects of four different parameters, namely the amount of adsorbent (tea), initial oil concentration, temperature and contact time, were investigated.

3.1. Effect of adsorbent (waste tea) amount

The effect of the amount of adsorbent on the removal of water in waste transformer oil is shown in Figure 1.

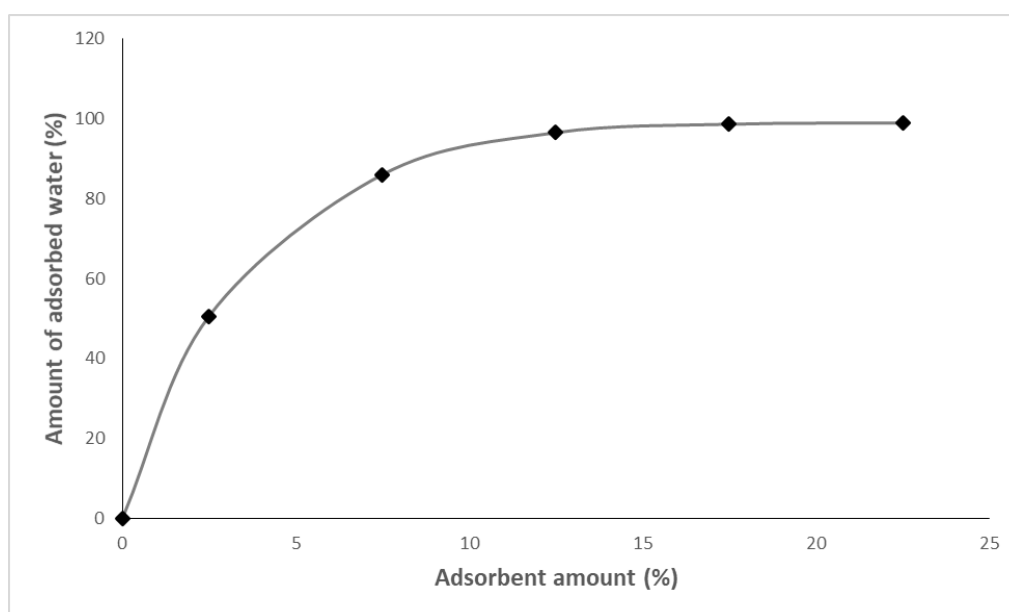


Figure 1. Effect of adsorbent amount (temperature 20°C, concentration 55mg/L, contact time 45min)

As seen in Figure 1, when the amount of adsorbent was increased from 2.5% to 17.5%, the adsorption percentage of water in the waste transformer oil increased from 50.6% to 98.6%. After this value (17.5%), it remained almost the same. Therefore, it can be said that the optimum amount of adsorbent is 17.5% (w/v). The increase in the percentage of adsorption is due to the increase in the number of available adsorption sites and the surface area [7].

3.2. Effect of Concentration

The effect of the initial waste transformer oil concentration on the removal of water from the waste transformer oil is shown in Figure 2. Accordingly, with the increase of the initial oil concentration from 18.8 mg/L to 55 mg/L, the amount of water adsorbed in the waste transformer oil increased from 52.2% to 98.6%. It can be said that the optimum concentration is 55 mg/L.

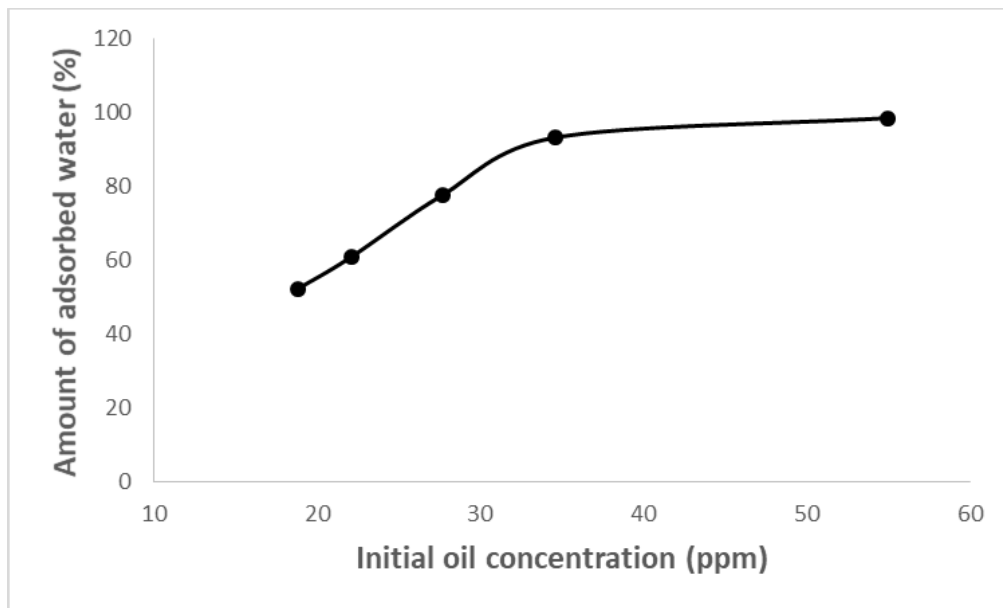


Figure 2. Effect of initial oil concentration (temperature 20°C, amount of adsorbent 17.5%, contact time 45min)

3.3. Effect of Temperature

The effect of temperature on the removal of water from waste transformer oil is shown in Figure 3. Accordingly, the amount of adsorbed water decreased with increasing temperature. This shows that the adsorption process is exothermic [8]. While the amount of water adsorbed at 20°C is 98.6%, it becomes 28% when it is increased to 60°C. Since the highest adsorbing percentage is observed at 20°C, this temperature is the optimum temperature. It was observed that the adsorbing percentage decreased significantly after 20 °C.

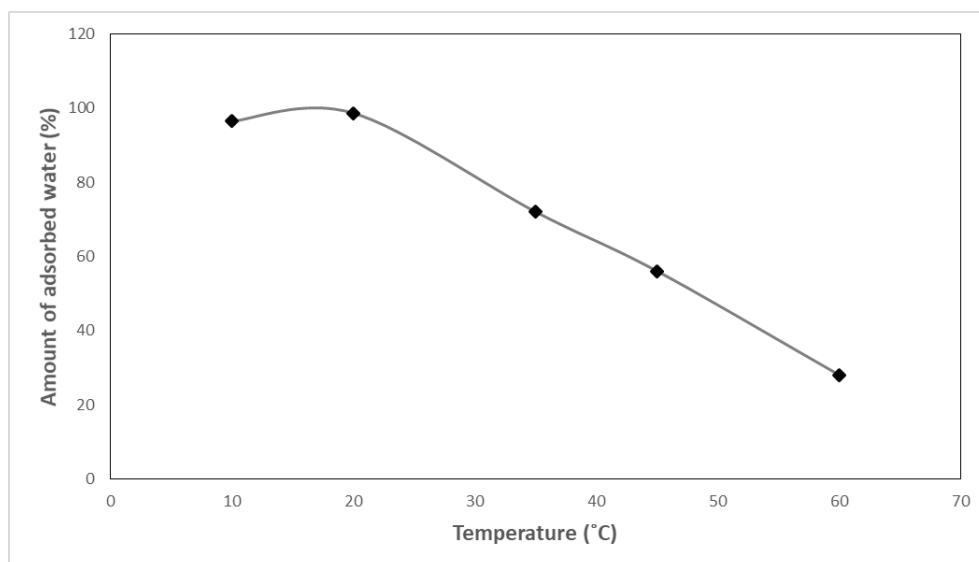


Figure 3. The effect of temperature (adsorbent amount 17.5%, concentration 55mg/L, contact time 45min)

3.4. Effect of Contact Time

The effect of contact time on the removal of water in waste transformer oil is shown in Figure 4.

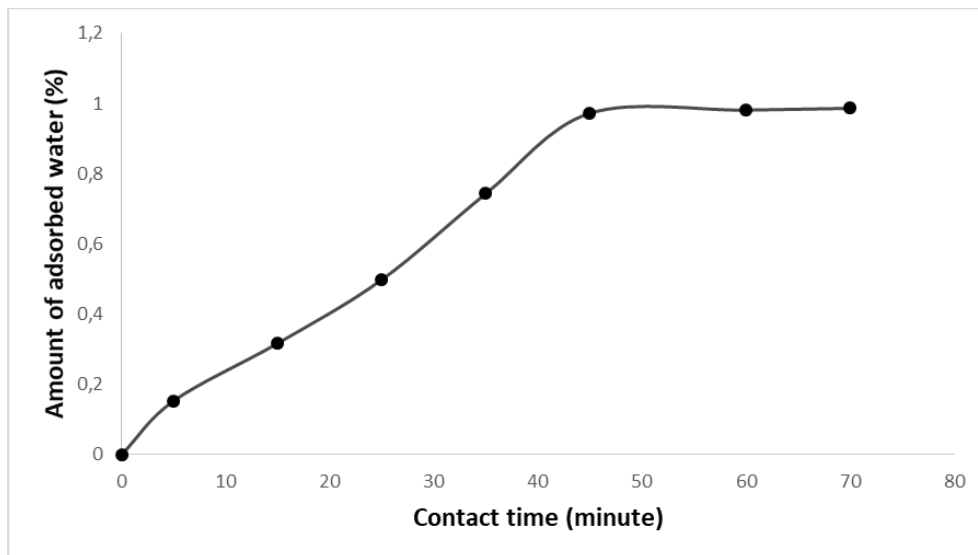


Figure 4. Effect of contact time (adsorbent amount 17.5%, concentration 55mg/L, temperature 20°C)

As seen in Figure 4, the amount of adsorbed water increased rapidly until the contact time was 45 minutes. In 45 minutes, 97.20% of the water in the waste transformer oil was removed. After this period, the amount of removed water remained almost the same. Therefore, the optimum contact time was determined as 45 minutes.

4. CONCLUSION

In this study, 98.6% (maximum removal) of the water in the waste transformer oil was removed by using the adsorbent obtained from waste tea. This removal amount was reached at 20°C temperature, 45 minutes contact time, 17.50% (w/v) adsorbent amount and 55 mg/L waste transformer oil concentration.

Acknowledgments

The participation of this Congress was financially supported by the Atatürk University Scientific Support Project (9916).

REFERENCES

- [1] Yıldız A. Atık trafo yağlarının dizel motorlu bir jeneratör setinde alternatif yakıt olarak kullanılması. Batman Üniversitesi; 2017.
- [2] YILDIZ A, Altun Ş. The use of waste transformer oil as alternative fuel in a diesel power generator. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies* 2019;8(3):117-24.
- [3] Yadav SPR, Saravanan C. Engine characterization study of hydrocarbon fuel derived through recycling of waste transformer oil. *Journal of the Energy Institute* 2015;88(4):386-97.
- [4] Dmitriev A, Zinurov V, Vinh D, Dmitrieva O. Removal of moisture from contaminated transformer oil in rectangular separators. *E3S Web of Conferences*. 110. EDP Sciences; 2019:01026.
- [5] Altınsoy AS. Biyodizel üretimi, motorlarda kullanımı ve Türkiye'deki kaynakların incelenmesi. Fen Bilimleri Enstitüsü; 2007.
- [6] Okumuş ZÇ, Doğan TH, Temur H. Removal of water by using cationic resin during biodiesel purification. *Renewable Energy* 2019;143:47-51.
- [7] Shayesteh H, Rahbar-Kelishami A, Norouzbeigi R. Adsorption of malachite green and crystal violet cationic dyes from aqueous solution using pumice stone as a low-cost adsorbent: kinetic, equilibrium, and thermodynamic studies. *Desalination and Water Treatment* 2016;57(27):12822-31.

- [8] Nasuha N, Hameed B, Din ATM. Rejected tea as a potential low-cost adsorbent for the removal of methylene blue. *Journal of hazardous materials* 2010;175(1-3):126-32.



ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ 3kWe GÜCÜNDE FOTOVOLTAİK SİSTEM TASARIMI VE BAĞ EVİ UYGULAMASI

DESIGN OF A 3kWe POWER OFF-GRID PHOTOVOLTAIC SYSTEM AND RURAL HOUSE APPLICATION

Kerim KARABACAK

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya Teknik Bilimler MYO, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Kütahya, Türkiye.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9724-4612>

Özet

Kırsal bölgelerdeki evlerde kullanılan enerji ihtiyacı, elektrikli cihazların hayatımızdaki yerlerinin artması ile birlikte gün geçtikçe artmaktadır. Buna karşın, teknoloji geliştikçe daha az enerji harcayarak çalışabilen elektrikli cihazlar tasarlanmakta ve piyasaya sürülmektedir. Bunun bir sonucu olarak, daha fazla miktarda elektrikli cihaz, daha az miktarda elektrik enerjisi kullanarak çalıştırılabilmektedir. Elektrikli cihazların verimli tasarımları ile birlikte, fotovoltaik enerji sistemlerin söz konusu elektrikli cihazları çalıştırmak için geçmiş zamanlardan daha az maliyet ile kurulumlarının gerçekleştirilebileceği öngörüsü oluşmuştur. Böylece, kullanıcı evine kuracağı fotovoltaik enerji sistemi ile hem evindeki enerji ihtiyacının tamamını karşılayabilecek, hem de elektrik faturası ödememiş olacaktır. Buna karşın sistemin kurulum maliyeti, enerji verimli elektrikli cihazların kullanımı sebebiyle oldukça düşük olabilecektir. Fotovoltaik sistemlerin bir diğer avantajı da sürdürülebilir ve temiz bir enerji kaynağı olmasıdır. Fotovoltaik enerji sistemlerinin çalışmaları sırasında karbon salınımı gerçekleşmediğinden çevre kirletici etkileri de bulunmamaktadır. Bu çalışmada, bir bağ evinde kullanılmak üzere fotovoltaik enerji sistemi hesaplaması ve tasarımı yapılmıştır. Bağ evinde kullanılacak olan elektrikli yükler analiz edilmiş, yüklerin devreye giriş-çıkış saatleri belirlenmiştir. Fotovoltaik sistemde kullanılması gereken fotovoltaik panel adedi belirlenmiştir. Hesaplamalar sonucunda, 1,65kWp gücünde fotovoltaik dizi, 3kWe gücünde bir evirici ve 230Ah batarya sistemi ile ihtiyaç duyulan enerjinin sürdürülebilir olarak sağlanabileceği bulunmuştur. Fotovoltaik panellerin güneşten en iyi şekilde faydalanabilmesi için yapılan hesaplamalar sonucunda panellerin yaz ayları için güney yönünde ve 13 derece tilt açısı ile yerleşimi uygun görülmüştür. Yapılan teorik hesaplamalar sonucunda, fotovoltaik enerjinin bir bağ evinin gündelik ihtiyaçlarını karşılayabildiği hesaplanmış ve uygulama olarak bir bağ evine 3kWe gücünde fotovoltaik enerji sistemi kurulumu yapılmıştır. Sistemdeki yüklerin belirlenen saatlerde devreye girip-çıkmasını sağlamak amacı ile elektromekanik kumanda sistemi oluşturulmuştur. Kurulan sistemin çalışma verileri analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: PV, Fotovoltaik, yenilenebilir enerji, sürdürülebilirlik.

Abstract

The need for energy used in homes in rural areas is increasing day by day with the increasing place of electrical devices in our lives. On the other hand, as technology develops, electrical devices that can operate with less energy are designed and put on the market. As a result, more electrical devices can be operated using less electrical energy. With the efficient designs of electrical devices, it has been predicted that photovoltaic energy systems can be installed with less cost to operate these electrical devices than in the past. Thus, with the photovoltaic energy system that the user will install in his house, he will be able to meet all of his energy needs and not pay the electricity bill. On the other hand, the installation cost of the system may be quite low due to the use of energy efficient electrical devices. Another advantage of photovoltaic systems is that they are a sustainable and clean energy source. Since there is no carbon emission during the operation of photovoltaic energy systems, there are no environmental polluting effects. In this study, a photovoltaic energy system was calculated and designed for use in a rural house. The electrical loads to be used in the cottage were analyzed and the switching times of the loads were determined. The number of photovoltaic panels to be used in the photovoltaic system has been determined. As a result of the calculations, it has been found that the energy needed can be provided sustainably with a 1.65kWp photovoltaic array, a 3kWe inverter and a 230Ah battery

system. As a result of the calculations made in order for the photovoltaic panels to benefit from the sun in the best way, the placement of the panels in the south direction and with a tilt angle of 13 degrees was deemed appropriate for the summer months. As a result of the theoretical calculations, it was calculated that photovoltaic energy can meet the daily needs of a rural house and as an application, a photovoltaic energy system with a power of 3kWe was installed in a rural house. An electromechanical control system has been created in order to enable the loads in the system to be activated and deactivated at the specified times. The operating data of the established system were analyzed.

Keywords: PV, Photovoltaic, renewable energy, sustainability.

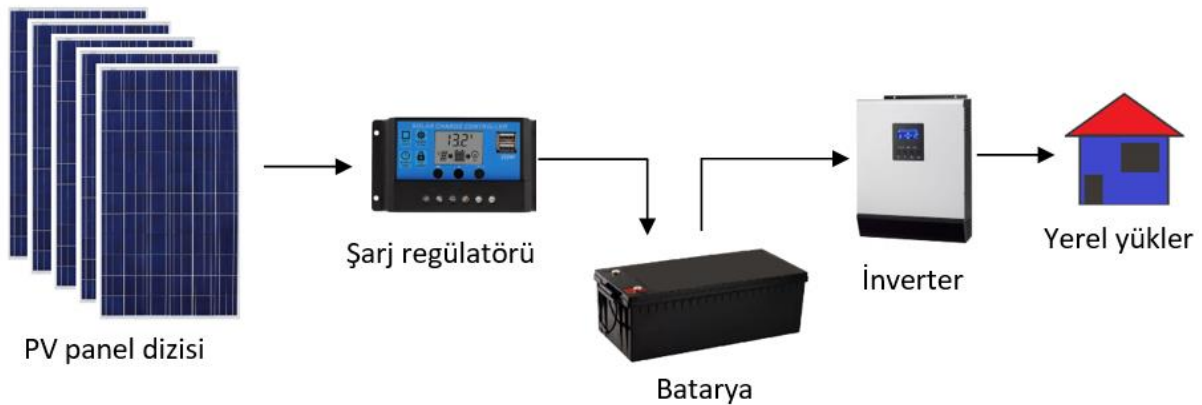
1. GİRİŞ

Evlerde kullanılan enerji ihtiyacı, elektrikli cihazların hayatımızdaki yerlerinin artması ile birlikte gün geçtikçe artmaktadır. Buna karşın, teknoloji geliştikçe daha az enerji harcayarak çalışabilen elektrikli cihazlar tasarlanmakta ve piyasaya sürülmektedir. Bunun bir sonucu olarak, daha fazla miktarda elektrikli cihaz, daha az miktarda elektrik enerjisi kullanarak çalıştırılabilmektedir.

Günümüzde; yenilenebilir enerji kaynakları, özellikle ulusal elektrik şebekesine erişimin olmadığı yerlerde, evsel elektrik ihtiyacını karşılamak için popüler bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Günümüzde en çok tercih edilen yenilenebilir enerji kaynakları güneş enerjisi (fotovoltaik) ve rüzgâr enerjisi sistemleridir. Özellikle güneş enerji sistemleri ülkemizde ve dünyada geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Türkiye 2021 yılı fotovoltaik sistem kurulu gücü 7.324 MW [1], dünyada ise bu değer 707.5 GW dır. [2]

Fotovoltaik enerji sistemleri, iki temel yapıda uygulanabilirler. Bunlardan birincisi, “off-grid sistem” olarak adlandırılan ulusal elektrik şebekesinden bağımsız sistemlerdir. Off-grid fotovoltaik enerji sistemleri, elektrik şebekesinin bulunmadığı mekânlar için en uygun çözümdür. Bunun yanında fotovoltaik panellerden elde edilen enerjinin doğrudan ulusal elektrik şebekesine verildiği “on-grid” olarak tabir edilen fotovoltaik enerji sistemleri de mevcuttur [3].

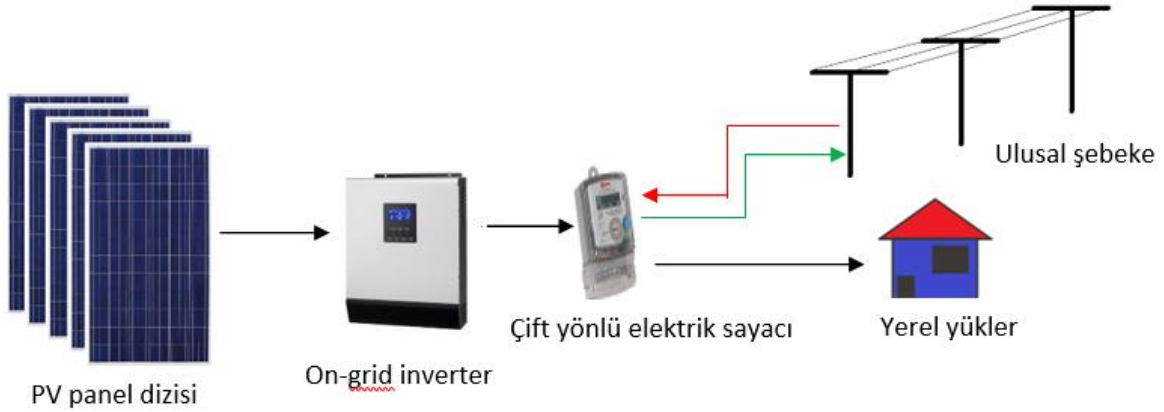
Off-grid sistemler fotovoltaik paneller, inverter ünitesi, akü grubu, akü şarj kontrolörü ve bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Off-grid bir fotovoltaik sistemde, fotovoltaik panellerde üretilen anlık güç, akü grubuna bir şarj regülatörü ile aktarılır. Böylece, fotovoltaik panellerde üretilen elektrik enerjisi, akü grubunda depolanmış olur. Akü grubunda depolanan elektrik enerjisi, invertör cihazı ile doğru akımdan alternatif akıma dönüştürülerek evsel kullanımdaki yüklerin beslenmesi sağlanır. (Günümüzde üretilen yeni nesil inverter üniteleri, şarj kontrol cihazlarını içerisinde barındırmaktadır.) Şekil 1, tipik bir off-grid fotovoltaik sistemin temel görünümünü vermektedir.



Şekil 1: Off-grid fotovoltaik enerji sistemi görünümü

Buna karşın, on-grid fotovoltaik sistemlerde akü grubu bulunmamakla birlikte, sistem sadece fotovoltaik paneller, inverter ünitesi ve bağlantı elemanlarından müteşekkildir. On-grid bir fotovoltaik sistemde, fotovoltaik paneller ile üretilen elektrik enerjisi, bir on-grid inverter ile çift yönlü elektrik sayacından geçirilerek ulusal elektrik şebekesine aktarılır. Yerel yükler de sistemde bulunan çift yönlü elektrik sayacı ile

doğrudan ulusal şebekeden beslenir. Böylece, fotovoltaik panellerde üretilmiş olan enerji fazlasının yerel elektrik dağıtım şirketine satışı gerçekleştirilmiş olunur. Şekil 2, on-grid fotovoltaik enerji sistemini göstermektedir.



Şekil 2: On-grid fotovoltaik enerji sistemi görünümü

Ulusal elektrik şebekesinin bulunmadığı tarım veya hayvancılık ile iştil olunan kırsal yerleşimlerde, elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir enerji kaynakları kullanılacaksa, en uygun çözüm off-grid fotovoltaik enerji sistemi kullanımıdır. Özellikle tarımsal faaliyetlerde temel ihtiyaç olan sulama, off-grid fotovoltaik sistemler ile kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir. Off-grid fotovoltaik enerji sistemi kurulumunda önemli olan nokta, sistem güç ve enerji hesaplamalarını sistem kurulumundan önce doğru bir şekilde yapmaktır. Kurulacak sisteme bağlanması öngörülen yükler tek tek analiz edilmeli ve günlük enerji tüketimleri göz önünde bulundurulmalıdır. Sonrasında, sistem otonomi süresi hesaplanmalıdır. (Sistem otonomi süresi, güneş battıktan sonra batarya grubunun ne kadar süre sistemi besleyebileceğidir.)

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Bu çalışmada; Kütahya ili Saka Çiftliği Köyü'nde bir bağ evine elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak üzere 3kWe gücünde fotovoltaik sistem hesaplaması ve kurulumu gerçekleştirilmiştir. Kurulan enerji sistemi, tarımsal amaçlı dalğış pompa, buzdolabı, çamaşır makinesi, hidrofor vb. yerel yükleri beslemektedir.

Çalışma kapsamında öncelikle, kurulacak olan off-grid fotovoltaik enerji sistemi için kurulu güce karşılık öngörülen tüketim hesaplanmıştır. Burada, ortalama bir bağ evinde ve çevresinde kullanılacak elektrikli cihazlar, bu cihazların elektrik enerjisi tüketimleri ve bu cihazların gün içerisinde kaç saat çalıştıkları listelenmiştir. Sonrasında, listelenen yüklerin bir gün içerisinde tükettikleri ortalama toplam enerji bulunmuştur. Bir gün içerisinde ihtiyaç duyulan toplam elektrik enerjisi miktarı hesaplandıktan sonra, güneş enerjisi sistemi için ihtiyaç duyulacak kurulu güç hesaplanmıştır. Bunun için; fotovoltaik enerji sistemi kurulumu yapılması planlanan coğrafi bölgedeki güneş ışınım verileri incelenmiştir. Burada, gün içerisinde ihtiyaç duyulan toplam elektrik enerjisinin kurulması planlanan fotovoltaik enerji sistemi ile kaç saatte üretilebileceği hesaplanmıştır. Sonrasında, sistem otonomi süresi hesaplanarak bu süre için gerekli olan batarya grubu büyüklüğü belirlenmiştir. Kurulum hesabı yapılan fotovoltaik sistem, Kütahya ili Saka Çiftliği Köyü'nde bir bağ evine kurularak uygulama yapılmıştır. Alınan sonuçlar incelenerek kurulumu yapılan fotovoltaik sistemin hesaplanan şekilde çalışıp çalışmadığı ve verimi gözlenmiştir.

2.1. Bir günlük enerji ihtiyacının bulunması

Öngörülen şekilde, bir bağ evinde bir gün içerisinde kullanılan elektrikli cihazların adetleri, enerji tüketimleri ve gün içerisinde kaç saat çalıştıkları Tablo I' de verilmiştir.

Tablo I: Bir bağı evinde gün içerisinde kullanılan cihazlar ve elektrik tüketimleri

n	Cihaz	Adet	Cihaz gücü (Watt)	Çalışma saati (Saat)	Günlük enerji tüketimi (Wh)
1	LED ampul	6	20	5	600
2	Çamaşır makinesi	1	550	1	550
3	Buzdolabı	1	400	24	9600
4	Hidrofor	1	250	1	250
5	Dalgıç pompa	1	1200	1	1200
6	Elektrikli süpürge	1	2000	1	2000
7	IP kamera	2	24	24	1152
8	Wifi modem	1	25	24	600
TOPLAM TÜKETİM					15952

Buna karşın, herhangi bir cihazın günlük enerji tüketimi, Eşitlik 1 ile hesaplanmaktadır.

$$E_n = kP_n t \quad \text{Eşitlik 1}$$

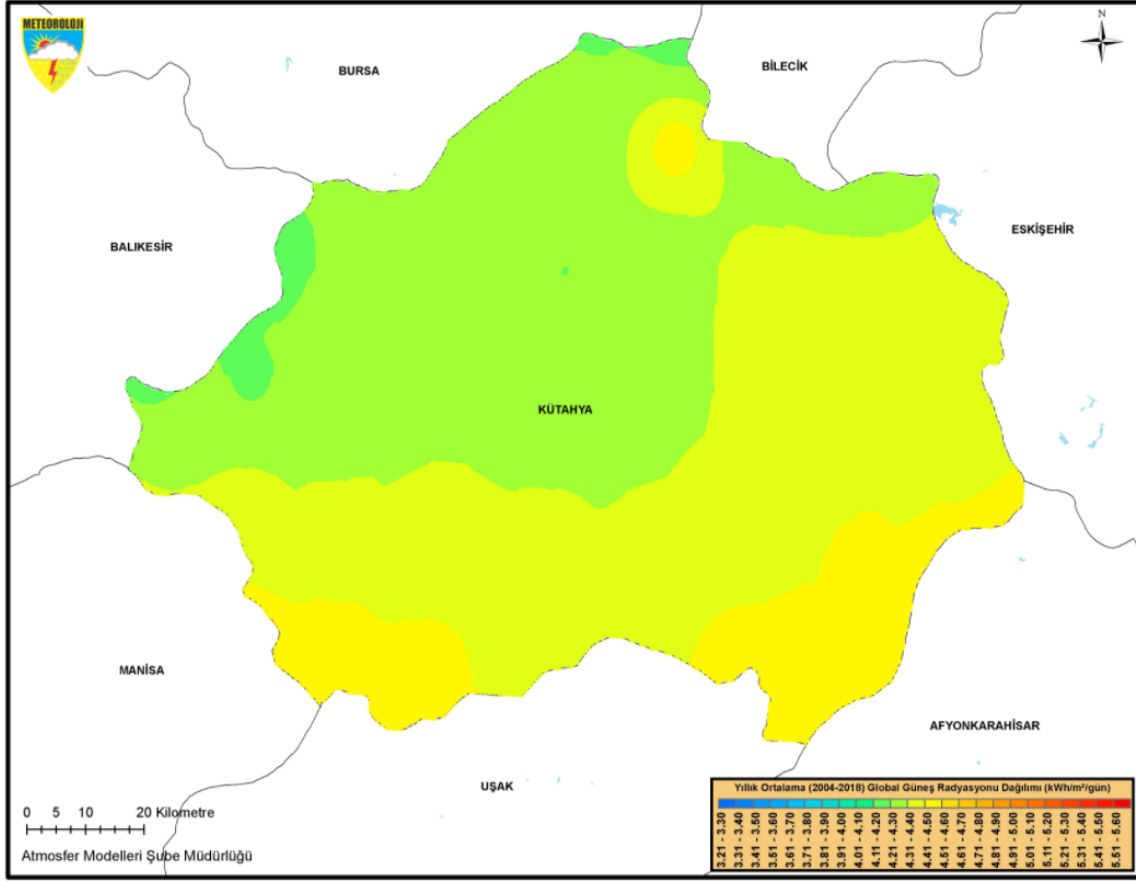
Bu eşitlikte E_n , n inci cihazın günlük enerji tüketimini, k belirtilen cihazdan kaç adet bulunduğunu, P_n cihazın etiketindeki güç değerini, t ise cihazın bir gün içerisinde kaç saat çalıştığını belirtmektedir. Toplam günlük öngörülen elektrik enerjisi tüketimi (E_T) ise Eşitlik 2' de verilmiştir.

$$E_T = \sum_{n=1}^{n=m} E_n \quad \text{Eşitlik 2}$$

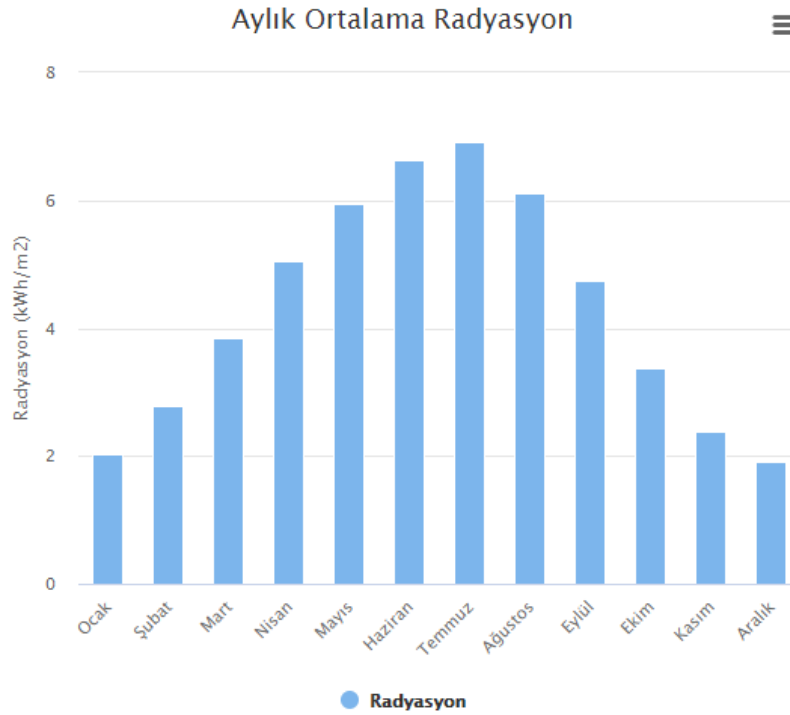
Tablo I de verilen cihazlar ve tüketimleri baz alındığında yapılan hesaplamalara göre, örnekteki bağı evinin bir günlük ortalama enerji tüketimi yaklaşık olarak 15.9 kWh olarak bulunmuştur.

2.2. Gerekli fotovoltaik panel gücünün hesaplanması

Kütahya ili için, bir metrekare alana etkiyen günlük güneş ışınımı miktarı şekil 3' de verilmiştir. Buna göre, yıl içerisindeki minimum güneş ışınımı değeri 3.21 kWh/gün, maksimum değeri ise 5,6 kWh/gün olarak görülmektedir. Bununla birlikte, aylık ortalama güneş ışınımı (radyasyonu) şekil 4' de verilmiştir. Burada görüldüğü üzere, Kütahya ili için güneş ışınım değeri Temmuz ayında en fazla, Aralık ayında ise en az olmaktadır.



Şekil 3: Kütahya ili için günlük ortalama metrekareye etkiyen güneş ışınımı miktarı [4]



Şekil 4: Kütahya ili için aylık ortalama güneş ışınımı [4]

Buna karşın, güneşlenme süresine bakıldığında, Kütahya ilinin yıl içerisindeki ortalama güneşlenme süresi 6.1 saat/gün dür. Bu değer, yaz aylarını kapsayan Haziran-Temmuz-Ağustos aylarında 9.8 saat/gün olmaktadır.

Tablo I' e bakıldığında, sistemde aynı anda kullanılabilen yüklerin anlık toplam gücünün 3kW civarında olduğu görülmektedir. (Sistemde gündüz aydınlatma kullanılmayacaktır. Gece ise dalgıç pompa ve çamaşır makinesi kullanılmayacaktır.) Sistemde kullanılan yüklerin ani gücü 3kW değerini geçmemektedir. Bu sebepten, enerji sisteminde kullanılacak olan off-grid inverter 3kW değerinde seçilmiştir. İnverter bilgi sayfasında, aşırı yüklenmede inverterin belirli bir süre 3.2 kW gücüne kadar yüklenebildiği belirtilmiştir [7].

Güneş enerjisi sistemlerinde kullanılmak üzere temelde iki çeşit fotovoltaik panel türü bulunmaktadır. Bunlar monokristal fotovoltaik paneller ve polikristal fotovoltaik panellerdir [6]. Kurulan sistemde, 275W gücünde polikristal fotovoltaik paneller kullanılmıştır. Polikristal fotovoltaik paneller, aynı güçteki monokristal fotovoltaik panellerden daha ucuz olduğu için ve panel verimi sıcaklıkla daha az etkilendiği için tercih edilmiştir.

İnverter bilgi sayfasında, bu sistem için kullanılacak maksimum fotovoltaik panel adedi 6 adet olarak verilmiştir. 6 adet fotovoltaik panel paralel bağlanarak şekil 5 deki gibi bir fotovoltaik panel dizisi elde edilmiştir. Kullanılan fotovoltaik panellerin maksimum güç noktasındaki gerilimleri 32V, maksimum güç noktasındaki akım değerleri de 8 Amperdir. Böylece, oluşturulmuş olunan fotovoltaik panel dizisinin gücü:

$$V_{dizi} = V_{mpp} = 32V \quad I_{dizi} = 6 \times I_{mpp} = 6 \times 8 = 48 \text{ Amper}$$

$$P_{dizi} = 32V \times 48A = 1536W$$

olarak hesaplanır. Buradan, sistemin 1000 W/m² güneş ışınımı altında anlık olarak 1536W güç üreteceği anlaşılmaktadır. Kütahya ili için yıl içerisinde ortalama günlük güneşlenme süresi 6,1 saat olduğuna göre, bu sistem ile elde edilebilecek enerji miktarı:

$$E = 6.1 \times P_{dizi}$$

$$E = 6.1 \times 1536 = 9369 \text{ watth} = 9.36 \text{ kWh}$$

olarak bulunur. Bağ evi kullanımı yaz aylarında daha fazla olacağından, sistem enerji üretim değeri yaz ayı güneşlenme süresi ortalamasına göre hesaplanırsa:

$$E = 9.8 \times P_{dizi}$$

$$E = 9.8 \times 1536 = 15052 \text{ watth} = 15 \text{ kWh}$$

olarak bulunur. Yani sistem, yaz aylarında, yıllık ortalamaya göre 15-9.36 = 5.64 kWh daha fazla elektrik enerjisi üretebilecektir.

2.2. Sistem otonomi süresinin hesaplanması

Kurulumu gerçekleştirilecek olan fotovoltaik sistem, gündüz üretilen enerjinin fazlalık miktarını, gece kullanılabilen üzere batarya grubunda depolamalıdır. Bunun için, uygun değerde batarya seçimi yapılmalıdır. Gece, sistemde kullanılacak yükler hesaplanmalı ve bataryanın bu yüklerin belirlenen saatlerde kullanımını gerçekleştirebilecek büyüklükte bir batarya grubu sisteme eklenmelidir. Bu ana hesaplamaların yanı sıra, batarya grubunun gündüz güneş ışınımının az olduğu saatlerde sistemi destekleyebilecek güçte olması gerekmektedir. Bağ evinde gece çalışabilecek yükler Tablo II' de verilmiştir.

Tablo II: Bir bağ evinde gece saatlerinde kullanılan cihazlar ve elektrik tüketimleri

n	Cihaz	Adet	Cihaz gücü (Watt)	Çalışma saati (Saat)	Günlük enerji tüketimi (Wh)
1	LED ampul	6	20	5	600
2	Buzdolabı	1	400	8	3200
3	Hidrofor	1	250	1	250
4	IP kamera	2	12	8	192
7	Wifi modem	1	12	8	96
TOPLAM TÜKETİM					4338

Tablo II' ye göre, bağı evinde gece harcanan toplam enerji miktarı yaklaşık 4.4kWh'dir. Piyasada fotovoltaik enerji sistemleri için satılan aküler 12V gerilim değerindedir. Çalışmada kullanılan inverterin bilgi sayfalarında 24V akü grubu (12V+12V seri) kullanılması önerilmektedir. 24V gerilim için gerekli olan Ah (Amper saat) ihtiyacı, Eşitlik 3 ile hesaplanmıştır. Bu eşitlikte I_t , gerekli olan Ah değerini; E_{gece} , bağı evinde gece kullanılan enerji miktarını; V_{bat} akü grubunun toplam gerilimini ifade etmektedir.

$$I_t = \frac{E_{gece}}{V_{bat}} \quad \text{Eşitlik} \quad 3$$

$$I_t = \frac{4338Wh}{24V} = 180.75Ah$$

Burada, kullanılan akü grubunun %100 verim ile çalışmayacağı dikkate alınmalıdır. En iyi ihtimal ile akü grubu %80 verim ile çalışabilir. Bu da, hesaplanan 180.75 Ah değerinin en az %20 fazlasının sisteme dâhil edilmesi anlamına gelmektedir. Böylece; sistemde 217Ah değerinde akü grubunun kullanılması gerektiği sonucu çıkarılabilir.

Piyasada, hesaplanan Ah değerine en yakın akü, 12V 230Ah olarak satılmaktadır. Tasarımı yapılan sistem için, iki adet 12V 230Ah akü satın alınarak sisteme bağlantısı yapılmıştır.

3. SONUÇ

Bu çalışmada, kırsal alanda kullanılan ve ulusal elektrik şebekesine bağlantısı olmayan bir bağı evi için off-grid (şebekeden bağımsız) bir fotovoltaik sistem tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Uygulaması gerçekleştirilen sistemde 6 adet 275 watt polikristal fotovoltaik panel dizisi, 3kWe gücünde evirici, 24V 230Ah gücünde batarya grubu kullanılarak evin enerji ihtiyacı karşılanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari>
- [2] <https://ourworldindata.org/grapher/installed-solar-pv-capacity>
- [3] Qusay Hassan, Evaluation and optimization of off-grid and on-grid photovoltaic power system for typical household electrification, Renewable Energy, Volume 164, 2021, Pages 375-390
- [4] https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx?il=kutahya
- [5] <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-statistik.aspx?k=undefined&m=KUTAHYA>
- [6] Elibol, E. et al., Outdoor performance analysis of different PV panel types, Renewable & Sustainable Energy Reviews, Volume: 67, Page: 651-661.
- [7] <http://pemenerji.com.tr/wp-content/uploads/2021/05/Abax-OBV3000-OBVM3000-OBV5000-OBVM5000-User-Manual.pdf>



ARDAHAN'DA KURULABİLECEK FOTOVOLTAİK ELEKTRİK ÜRETİM TESİSİNİN RETSCREEN PROGRAMI İLE FİZİBİLİTE ANALİZİ

FEASIBILITY ANALYSIS OF PHOTOVOLTAIC POWER GENERATION PLANT IN ARDAHAN CITY
BY RETSCREEN SOFTWARE

Muhammet Bıra ŞAHİN

Ardahan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 75002. Ardahan, Türkiye.
ORCID:0000-0001-8723-7518

Hasan Hüseyin ÇOBAN

Ardahan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, 75002. Ardahan, Türkiye.
ORCID: 0000-0002-5284-0568

Özet

Türkiye, güneş enerjisi başta olmak üzere büyük bir yenilenebilir enerji kaynağı potansiyeline sahip olmasına rağmen halen enerji ihtiyacının büyük bir kısmını fosil yakıtlardan karşılamaktadır. Aralık 2020 sonu itibarıyla Türkiye güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü 6667MW'a ulaşırsa halen potansiyelin çok altındadır. Mevcut makale, güneşlenme süresi günlük ortalama 7 saat olan ülkemizin en soğuk illerinden biri olan Ardahan ili için fotovoltaik güneş enerjisi uygulamasını analiz etmeye odaklanmıştır. Ardahan ilinin coğrafi konumu ve iklim özellikleri bakımından ele alındığında güneş enerjisi potansiyelinin oldukça iyi olması, yenilenebilir enerji üretimi için büyük bir fırsattır. Bu çalışmada, Ardahan ilinin elektriksel yük ihtiyacının karşılanması için düşünülen PV güneş enerjisi sisteminin ekonomik ve teknik açıdan uygulanabilirliği araştırılmış ve RETScreen programı ile analizi yapılmıştır. En uygun elektrik enerji üretim planlamasının yapılması sağlanmıştır. Yoğun kar yağışı olan Ardahan için çift taraflı (bifacial) güneş panelleri tek taraflı panele oranla elektrik enerji üretiminin çok daha verimli olduğu saptanmıştır. Planlanan proje ile enerji ihtiyacının büyük çoğunluğunu karşılaması durumunda hava kirliliğinin minimize edildiği ve ekonomik kazanç sağlanabildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi Sistemi, RETScreen, Çift taraflı (Bifacial) Panel, Teknik analiz, Mali analiz, Ekonomik analiz

Abstract

Although Turkey has a large renewable energy source potential, especially solar energy, it still meets the majority of energy needs from fossil fuels. As of the end of December 2020, Turkey's solar-based electricity installed power has reached 6667MW, but it is still far below the potential. This study focuses on analyzing the photovoltaic solar energy application for Ardahan city, which is one of the coldest provinces of the country, with an average of 7 hours of sunshine per day. Considering the geographical location and climate characteristics of Ardahan province, the fact that the solar energy potential is quite good, and it has a great opportunity for renewable energy generation. The economic and technical feasibility of the PV solar energy system, which is considered to meet the part of the electrical load need of Ardahan province, was investigated and analyzed with the RETScreen program. It has been ensured that the most appropriate electrical energy production planning is made. For Ardahan city, which has heavy snowfall, it has been determined that electric energy production is much more efficient with bifacial solar panels compared to single-sided panels. With the planned project, the environmental pollution is minimized and economic gain can be achieved if the majority of the energy needs are met.

Keywords: Solar energy system, RETScreen, Bifacial panel, Technical analysis, Financial analysis, Economic analysis

1. GİRİŞ

İnsan nüfusunun hızla artması, şehirlerin hızla gelişmesi, teknolojinin hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olması ve bunun gibi nice faktörlerden dolayı enerjiye olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Fosil rezervlerin kısıtlı olması, kullanılan fosil yakıtların sera gazı etkisi oluşturması, bütün canlı hayatını tehdit etmesi, ülkelerin ekonomik sıkıntılarla boğuşması veya fosil rezervi olmayan ülkelerin diğer ülkelere bağımlı hale gelmesi ve en önemlisi iklim değişikliklerinin olması gibi etkenler yenilenebilir enerji kullanımını kaçınılmaz kılıyor. Ülkelerin kendi kaynaklarıyla kendi ihtiyaçlarını yenilenebilir enerji ile karşılaması, kalkınma politikaları ve daha temiz bir çevre için yenilenebilir enerji kaynaklara yönelmeleri gerekmektedir. Jeopolitik konum itibarıyla, bünyesinde potansiyeli oldukça yüksek yenilenebilir enerji kaynakları bulunduran Türkiye'nin bu kaynaklardan istenilen seviyede yararlanılamaması her geçen gün ülke adına büyük kayıplar oluşturmaktadır. Türkiye'nin elektrik üretme noktasında devlet olarak, fosil kaynak kullanımını azaltmak, yenilenebilir enerji kaynaklarına teşvik ve bu tarz projelere destek verilmesi yatırımcıları bu alana yönlendirecektir. Neticede sera gazı emisyonunun azalması ile daha temiz bir çevre ve bünyesindeki yenilenebilir kaynakları kullanmasıyla dışa bağımlı olmayan daha ekonomik daha güçlü bir ülke konumuna getirir.

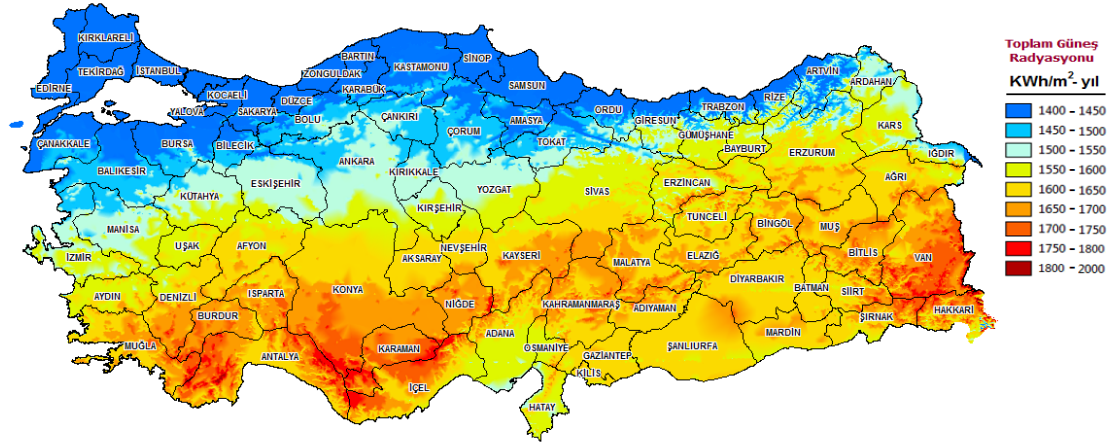
1950'de Birleşmiş Milletler'in kuruluşundan beş yıl sonra dünya nüfusunun 2,6 milyar civarında olduğu tahmin ediliyordu. 1987'de 5 milyara, 1999'da 6 milyara ulaştı. Ekim 2011'de küresel nüfusun 7 milyar olduğu tahmin edildi. Bu dönüm noktasını işaretlemek için küresel bir hareket 7 Milyar Eylem başlatıldı. Dünya nüfusunun önümüzdeki 30 yıl içinde 2 milyar kişi artarak 2050'de 7,7 milyardan 9,7 milyara çıkması ve 2100 civarında yaklaşık 11 milyara ulaşması bekleniyor [1]. Bundan ötürü fosil yakıt kullanımında ısrar edilip yenilenebilir enerji kaynaklara yönelmemeleri yaşanılmaz bir çevre, sürdürülemez ekonomik bir politika demektir.

Türkiye, geleneksel enerji kaynakları (doğalgaz, petrol, vb.) bakımından zengin değildir. Bu yüzden de enerji ihtiyacının büyük bir kısmını ithal etmektedir [2]. Türkiye'de şehirleşmenin hız kazanması, ekonomik kalkınma adımları ve artan nüfusa bağlı olarak enerjiye olan talep her geçen gün artmaktadır [3]. Artan bu enerji talebini ithal ederek karşılamaya devam etmesi durumunda ekonomik krize ve beraberinde birçok sıkıntıya sebep olmaktadır. Ülkede birincil enerji kaynak rezervlerinin kısıtlı olması dezavantajını sınırsız rezerve sahip yenilenebilir enerji kaynaklara yönelmemizi ve bu enerji kaynağından yararlanmamıza sebebiyet vermektedir. Buda görünürde aleyhimize olan bu durumu lehimize çevirmemize neden olmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinin kaynağı güneş ışınları, yeryüzüne 150 milyon km uzaklıktan 8,5 dakikada gelmektedir. Bir saatlik güneş ışını tüm dünyanın bir yıllık enerji talebini karşılayacak miktardadır [4]. Uygun bir şekilde kullanılması durumunda gelecekteki bütün enerji ihtiyacını karşılayabilir. Rezervi tükenmeyen, fitratı gereği kirlenmeyen bu enerji kaynağından yararlanma fikirleri her geçen gün daha da artmakta ve yatırımcılar tarafından daha cazibeli görülmektedir.

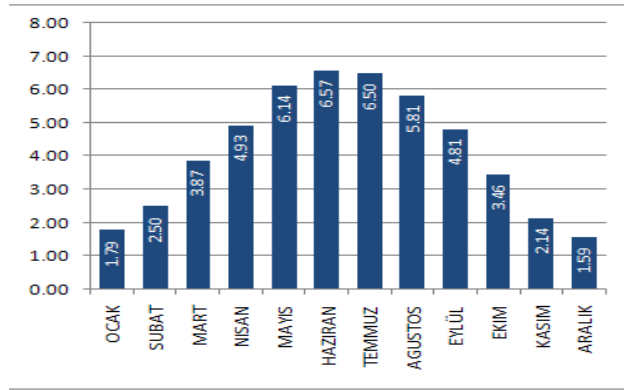
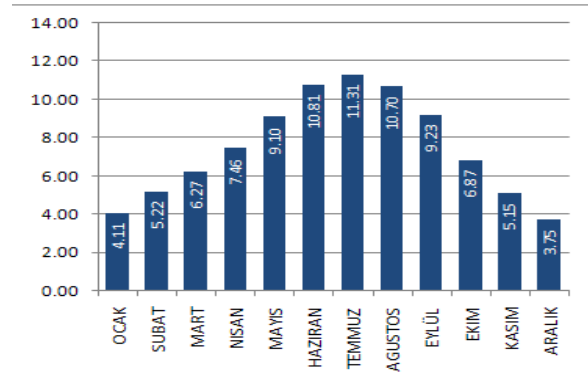
Fotovoltaik güneş enerjisi ile ilgili araştırma ve çalışmalar son zamanlarda artış göstermektedir [5]. Yayınlanan dergi sayılarındaki artış bunun bir göstergesidir. Jeopolitik konum itibarıyla yüksek güneş enerjisine sahip olan Türkiye ne yazık ki yeterince bu enerji kaynağından yararlanamamaktadır [6].

Sekil 1'de gösterilen güneş enerjisi potansiyel haritasında yer alan verilere göre, Türkiye'de günlük güneşlenme süresinin ortalama değerinin 7 saat olduğu ve Ardahan ilinin ise günlük ortalama güneşlenme süresinin 6,33 saat ve radyasyon değerinin de yıllık ortalama toplam miktarı 4,03 kWh/m² olduğu görülmektedir [7]. Haritadan da anlaşılacağı gibi Türkiye'nin güney tarafının radyasyon değerlerinin kuzeye oranla çok daha fazla olduğu ve ortalama radyasyon değeri bakımından yüksek potansiyelli olduğu söylenilebilir.



Şekil 1. Güneş Enerjisi Potansiyel Haritası [8]

Türkiye global radyasyon değerleri Şekil 2'de belirtildiği gibi Haziran ayında en yüksek ve Aralık ayında en düşük değeri almaktadır. Şekil 3'te de belirtildiği gibi güneşlenme süresi en yüksek değeri Temmuz ayında alırken, en düşük değeri ise radyasyonda olduğu gibi yine Aralık ayında almaktadır [8].

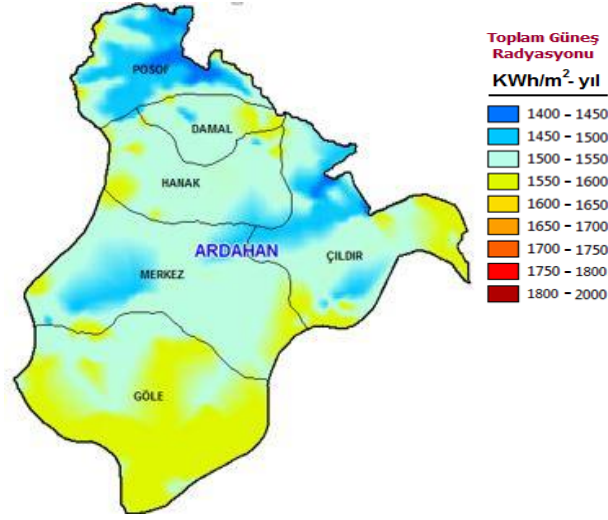
Şekil 2. Türkiye global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) [8]

Şekil 3. Türkiye güneşlenme süreleri (saat) [8]

Yapılan bu çalışmada Ardahan ilinde kurulması planlanan PV güneş (solar) enerjisi sistemi ile şehrin enerji talebini yenilenebilir enerji kaynağından sağlamak ve daha temiz bir çevre sunmaktır. Bir fotovoltaik sistemin maksimum potansiyelde çalışabilmesi için en önemli etken, alınan güneş radyasyon miktarıdır. Radyasyon miktarından maksimum verim alabilmek için çift taraflı panel kullanılmalıdır. Tek taraflı PV panellerle karşılaştırıldığında, çift taraflı PV panellerinin enerji verimi, tek taraflı PV panel veriminden yaklaşık olarak %25 daha fazladır [9], çünkü çift taraflı PV panelleri arka taraf ışınmasını da yakalayabilir. Bu çift taraflı PV teknolojisi 1960'lı yıllarda çıkmasına karşın henüz standart bir test yöntemi yoktur. Bunun sebebi, arka taraf ışınmasını etkileyen birçok faktör ve parametrenin olmasıdır [9]. Tüm güç sistemi konfigürasyonlarının performansını ekonomik analiz ve optimizasyon açısından değerlendirmek için RETScreen simülasyon aracı kullanılmıştır. RETScreen, güneş yükü çakışması gibi zamansal etkileri hesaba katmak için yıllık ortalama enerji akışlarını ayarlama faktörleriyle hesaplayan bir dizi çalışma kitabından oluşan Microsoft Excel tabanlı bir elektronik tablo modeli kullanır. Kullanılacak ekipman boyutları hesaplanır ve RETScreen'e girdi olarak eklenir. Elde edilen sonuç analiz edilir ve tartışılır.

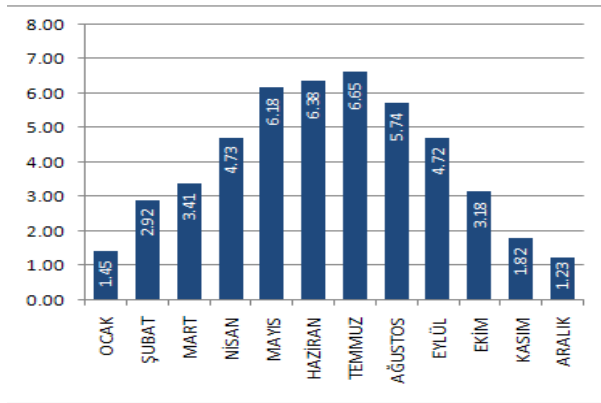
2. MATERYAL VE METOT

Bu proje çalışmasında RETScreen fizibilite yazılım programı kullanılarak Şekil 4’de Ardahan ilinin m^2 başına düşen yıllık güneş radyasyon enerji miktarını kWh cinsinden belirtilmiştir [8].

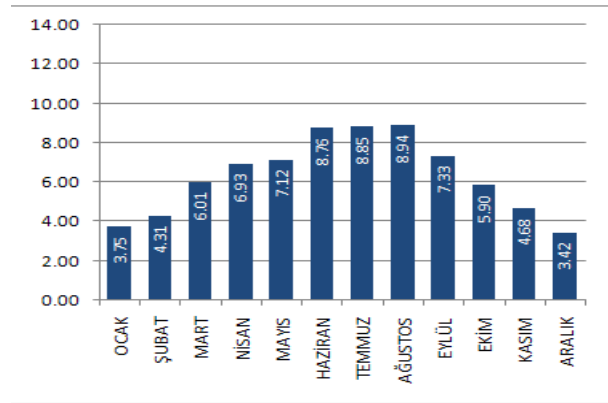


Şekil 4. Ardahan iline ait toplam güneş radyasyon haritası [8]

Ardahan ilinin 12 ay nezdinde sahip olduğu ulusal radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri Şekil 5 ve Şekil 6’da ki grafiklerde gösterilmektedir. Ardahan ilinde en yüksek güneş radyasyon değeri Temmuz ayında, en uzun güneşlenme süresi ise Ağustos ayında gerçekleşmektedir. İlde en düşük radyasyon değeri Aralık ayında ölçülürken en kısa güneşlenme süresi yine Aralık ayında ölçülmüştür (Şekil 6, 7).

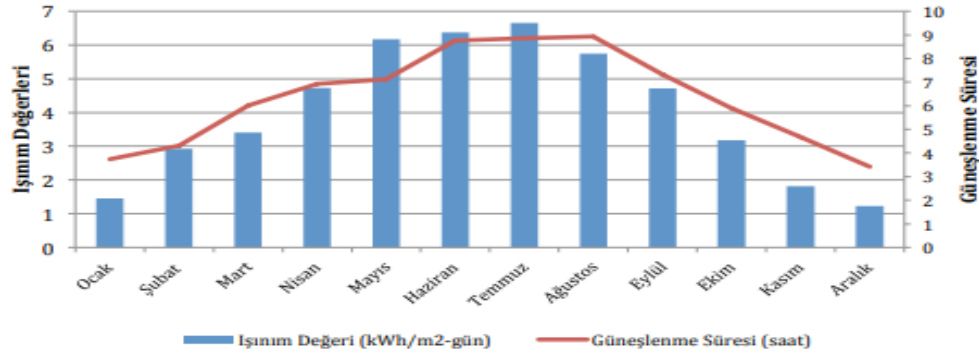


Şekil 5. Ardahan global radyasyon değerleri (kWh/m²) [8]



Şekil 6. Ardahan ortalama güneşlenme süreleri (saat) [8]

Şekil 7’de verilen değerlere göre Temmuz ayında ışınlam değeri en yüksek ve Aralık ayında en düşük değeri alırken, güneşlenme süresi ise Ağustos ayında en yüksek, Aralık ayında ise en düşük değeri almaktadır.



Şekil 7. Aylık ışınlam ve güneşlenme sürelerinin karşılaştırılması [13]

2.1. RETScreen Analiz Programı

RETScreen Programı Uluslararası kullanımı yaygın olan, basit ve yenilikçi bir yazılım programıdır [10]. RETScreen olarak bilinen en güncel hali ile beraber bütün sürümleri ücretsiz olarak uluslararası tüm arenalarda kullanılmaktadır. Temiz ve yenilenebilir enerji projelerinin fizibilite analiz çalışmaları diğer birçok yazılım programına göre çok daha basit bir şekilde yapılmaktadır. PVWatts, Homer gibi yazılım programları arasında RETScreen'in tercih edilmesindeki temel etken programın sade, anlaşılır ve gerçeğe daha yakın sonuçlar vermesidir. Yazılım enerji fizibilite değerlendirme çalışmaları için kullanılabilir. Yazılım, karar vericilerin proje potansiyellerini hızlı ve ucuz bir şekilde uygulamaya koyma adımlarını anlaşılır bir şekilde değerlendirmelerine olanak sağlamaktadır. Yazılım, yenilenebilir enerji, enerji verimliliği, kojenerasyon ve ulaşım da dahil olmak üzere bu projeler hakkında karar verme eğilimini basitleştirmek için gelişmiş algoritmalar ve datalardan yararlanır. Bu program ayrıca profesyonellerin bir projenin devam eden enerji ve sürdürülebilirlik performansını ölçmesine ve doğrulamasına ve birden fazla tesisten oluşan bir portföyü yönetmesine olanak tanır [11].

Basit ve detaylı analizler yapma imkânı sunan RETScreen yazılım programı MS Excel programı altyapısına dayanmaktadır [12]. Yatırımcılar, proje için gerekli bilgileri programda uygun alanlara girmeleri doğrultusunda, RETScreen fizibilite programı da kullanıcıya girdikleri değerler ışığında projenin uygulanabilirliğini basit ve sade bir şekilde sunmaktadır.

2.2. Proje Bölge Seçimi

Bu çalışmada PV güneş sistemini kuracağımız yerin güneş açısının iyi olması, Ardahan merkezine uzak olmaması, yüksek bir yer olması hasebiyle yerdeki karın konumdan ötürü erken erimemesi, gölgeleme etkenlerinden kaçınması gibi faktörlerden dolayı Şekil 8'de belirtilen alan tesis için uygun görülmüştür. Maliyet olarak bakıldığında tek taraflı paneller çift taraflı panellere oranla daha ekonomik görülebilir fakat çift taraflı panelin tek taraflı panele oranla enerji verimliliği, daha az yer işgal etmesi gibi birçok avantajı bulunmaktadır.



Şekil 8. Fotovoltaik güneş sisteminin kurulacağı yer

Tesis için yeterli ve uygun bir alan seçilmiştir. 10 MW kurulu güç enerjisi ile Ardahan ilinin enerji ihtiyacının karşılanması sağlanmaktadır.

2.3. Enerji Modeli

Bu bölümde yapılması planlanan PV solar enerji sistemi analizi için proje ismi belirtildikten sonra güneş izleme modu kısmından çift eksenli modül seçimine uygun seviye-2 tercih edilmiştir. RETScreen programı yardımıyla günlük güneş radyasyonu (yatay ve eğimli), elektrik fiyatı ve elektrik üretim değerleri otomatik olarak yansıtılmaktadır. Yıllık güneş radyasyonu yatay ve eğimli olmak üzere sırasıyla 1,37 kWh/m², 1,98 kWh/m² olarak belirtilmektedir. Elektrik üretimi ise yıllık toplamda 22.490.795 kWh değerini göstermektedir.

Ardahan ili için ideal güç kapasite değeri 10.000 kW belirlenmiş, verimliliği %30, çeşitli kayıpları da %5 olarak girilmiştir. İnverter bölümünde verimlilik %97, kapasite 1.250 kW, çeşitli kayıpları da %1 olarak gösterilmiştir. Yapılan analiz neticesinde üretilen elektrik enerjisi 22.490,796 kWh olarak hesaplanmıştır, yenilenebilir kaynaklar yerinde fosil kaynaklardan elde edilmesi durumunda sera gazı oluşumuna, ekonomik bunalıma, çevre kirliliğine vb. birçok olumsuz tablonun meydana çıkmasına neden olmaktadır.

3. EKONOMİK VE FİNANSAL ANALİZ

Bu bölümde Ardahan ili için enerji ihtiyacını karşılayabilecek kurulu güce sahip ve yeterli üretim hedeflenen bir güneş enerji santrali kurmanın ekonomik yönleri ve emisyon analizi ele alınmaktadır.

3.1. Maliyet Analizi

Yazılım programında mevcut olan enerji modeli kısmında elde edilen veriler ışığında basit maliyet analizi tercih edilmesi uygun görülmüştür. Bu kısımda girilen değerler sonucunda otomatik olarak ilk maliyetler, yıllık maliyetler ve yıllık tasarruf değerleri Şekil 9’da görüldüğü gibi yatırımcıya sunulmaktadır.

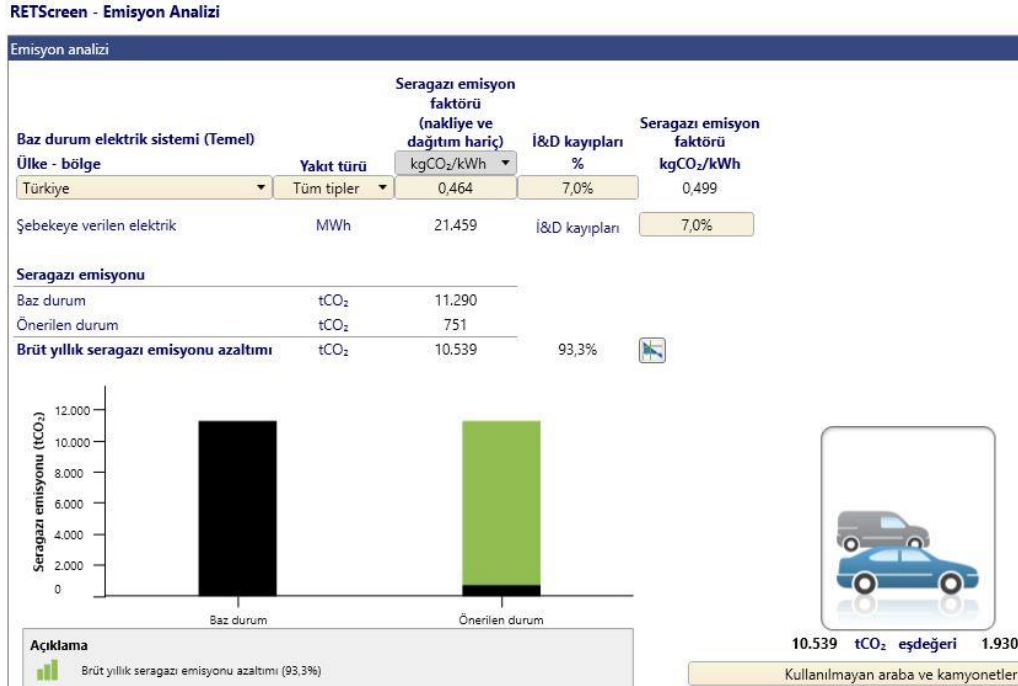
RETScreen - Maliyet Analizi				
İlk maliyetler (krediler)	Birim	Miktar	Birim maliyet	Miktar
Artan ilk maliyetler			\$	14.760.057
<input type="checkbox"/> Verileri göster				
<input type="checkbox"/> Kullanıcı tanımlı	maliyet		\$	-
<input type="checkbox"/> +				
Toplam ilk maliyetler			\$	14.760.057
Yıllık maliyetler (krediler)	Birim	Miktar	Birim maliyet	Miktar
İşletme ve Bakım maliyetleri (tasarrufları)	proje		\$	126.343
<input type="checkbox"/> Verileri göster				
Yakıt maliyeti - önerilen durum			\$	(1.044.746)
<input type="checkbox"/> Kullanıcı tanımlı	maliyet		\$	-
<input type="checkbox"/> +				
Toplam yıllık maliyetler			\$	(918.403)
Yıllık tasarruf	Birim	Miktar	Birim maliyet	Miktar
Yakıt maliyeti - baz durum			\$	75.659
<input type="checkbox"/> Kullanıcı tanımlı	maliyet		\$	-
<input type="checkbox"/> +				
Toplam yıllık tasarruf			\$	75.659

Şekil 9. Basit maliyet analiz tablosu

3.2. Emisyon Analizi

Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil kaynaklar gibi rezervleri sınırlı değildir. Toplum olarak kullanımı sonucu ekonomiye ciddi katkı sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik enerjisi üretilirken CO₂ emisyonu sayesinde topluma ve çevreye çok büyük katkılar sağlamaktadır. Şekil 10’da sera gazı emisyonu azaltımının çok yüksek değerde olması ekonomik olarak avantaj sağlamanın yanında daha güzel bir çevre

anlamına gelmektedir. Temiz bir çevre ve sağlıklı bir yaşam için yenilenebilir enerji kaynak kullanılması elzemdir. Tabloda da belirtildiği üzere yıllık sera gazı emisyonu azaltımı 10.539 tCO₂ olarak gösterilmiştir, bu da ham petrol eşdeğeri olarak 1.930 değerine tekabül edilmektedir.



Şekil 10. Emisyon analizi

3.3. Ekonomik Analiz

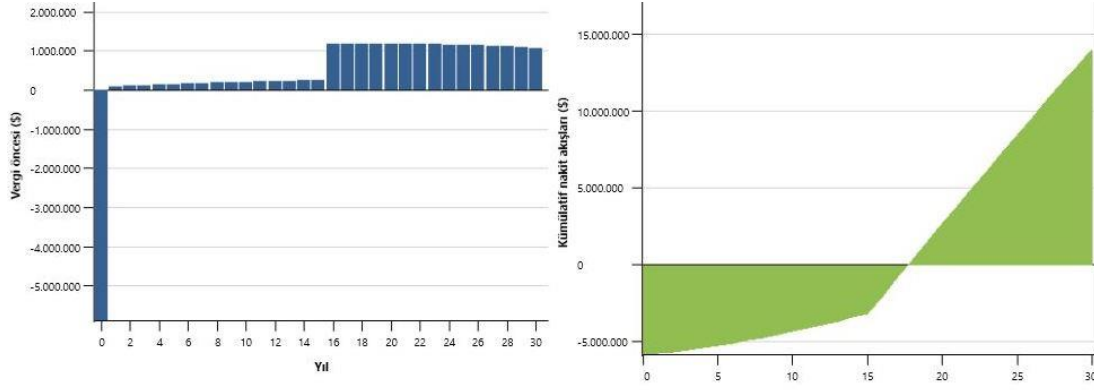
Finansal parametre bölümünde yakıt maliyeti eskalasyon oranı %2, enflasyon oranı %7, iskonto (indirim) oranı %9, yeniden yatırım oranı %9 ve proje ömrü de 30 yıl olarak hedeflenmiştir. Borç faiz oranı %6, borç vadesi de 15 yıl olarak girilmesi sonucu; brüt sera gazı emisyonu yıllık 10.539 ton CO₂, 30 yıl totalinde 316.165 ton CO₂ azaltımı elde edilmektedir. Projenin ilk maliyetleri toplamı ve yıllık nakit akışı miktarları tabloda verilmiştir. Yapılan projede, yıllık nakit akışı bölümünde belirtildiği üzere 17. yılın sonundan itibaren kar elde edilmesi sağlanmaktadır.

Finansal parametreler		Maliyetler Tasarruflar Hasılat		Yıllık nakit akışı		
Genel		İlk maliyetler		Yıl	Vergi öncesi	Kümülatif
Yakıt maliyeti eskalasyon oranı	%	2%	Artan ilk maliyetler	#	\$	\$
Enflasyon oranı	%	7%	100%	0	-5.904.023	-5.904.023
İskonto oranı	%	9%	Toplam ilk maliyetler	1	95.784	-5.808.239
Yeniden yatırım oranı	%	9%	100%	2	109.177	-5.699.062
Proje ömrü	yıl	30	Yıllık nakit akışı - Yıl 1	3	122.365	-5.576.697
Finansman		Yıllık maliyetler ve borç ödemeleri		4	135.310	-5.441.386
Tespitler ve hibeler	\$	0	İşletme ve Bakım maliyetleri (tasarrufları)	5	147.973	-5.293.414
Borç oranı	%	60%	Yakıt maliyeti - önerilen durum	6	160.309	-5.133.105
Borç	\$	8.856.034	Borç ödemeleri - 15 yıl	7	172.272	-4.960.833
Öz varlık	\$	5.904.023	Toplam yıllık maliyetler	8	183.810	-4.777.023
Borç faiz oranı	%	6%	Yıllık tasarruflar ve gelir	9	194.869	-4.582.154
Borç vadesi	yıl	15	Yakıt maliyeti - baz durum	10	205.369	-4.376.765
Borç ödemeleri	\$/yıl	911.842	SG azaltım geliri	11	215.307	-4.161.458
Getir vergisi analizi		Yıllık tasarruflar ve gelir		12	224.553	-3.936.904
				13	233.054	-3.703.850
				14	240.728	-3.463.122
				15	247.491	-3.215.631
				16	1.165.090	-2.050.541
				17	1.169.743	-880.798
				18	1.173.183	292.385
				19	1.175.295	1.467.679
				20	1.175.955	2.643.634
				21	1.175.028	3.818.662
				22	1.172.372	4.991.035
				23	1.167.832	6.158.867
				24	1.161.242	7.320.109
				25	1.152.424	8.472.533
				26	1.141.187	9.613.720
				27	1.127.324	10.741.044
				28	1.110.617	11.851.661
				29	1.090.828	12.942.489
				30	1.067.702	14.010.191
Yıllık ciro		Finansal sürdürülebilirlik				
SG azaltım geliri			Vergi öncesi İGO - özsermaye	%	6,4%	
Brüt sera gazı azaltımı	tCO ₂ /yıl	10.539	Vergi öncesi DDGO - özsermaye	%	7,5%	
Brüt sera gazı azaltımı - 30 yıl	tCO ₂	316.165	Vergi öncesi İGO - varlıklar	%	1,5%	
SG azaltım geliri	\$	0	Vergi öncesi DDGO - varlıklar	%	4,2%	
Diğer gelir (maliyet)		Basit geri ödeme				
		Yıl				
		Özsermaye geri ödeme				
		Yıl				
Temiz Enerji (TE) üretim geliri		Net Şimdiki Değer (NPV)				
		\$				
		Yıllık yaşam döngüsü tasarrufları				
		\$/yıl				
		Maliyet-Fayda oranı				
		Borç çevrilebilirliği				
		Seragazi azaltma maliyeti				
		\$/tCO ₂				

Şekil 11. RETScreen-Finansal analiz bilgileri

Bu projede, kullanılmak üzere seçilen solar enerji sistemi projenin nakit akışına Şekil 12’de yer verilmiştir. Çalışmanın kümülatif nakit akış değerleri başta proje maliyeti olmak üzere bazı faktörlerden dolayı negatif değerlerden başlayarak, enerji üretimi sonucu zamanla artmakta ve negatif değerden pozitif değere geçişi sağlanmaktadır. Kümülatif nakit akışının sıfır değerini aldığı zaman dilimine ise projenin başabaş noktasını, yani kendini amortif ettiğini göstermektedir.

Bu çalışmada Ardahan için seçilen fotovoltaik solar enerji sisteminin kümülatif nakit akışı göz önüne alındığında söz konusu projenin geri ödeme süresinin Ardahan ili için 17 yıl olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 12. Yıllık nakit akışı

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışma, Ardahan'daki 10 MW'lık güneş PV elektrik üretim tesisi için teknik potansiyelini ve güneş PV şebekesine bağlı sistemin fizibilitesini NASA'nın konum ve güneş radyasyonu verileriyle birlikte RETScreen yazılımı kullanılarak incelemektedir. Ardahan merkezine yakın tesis için en uygun konum belirlenmiş ve enerji üretim noktasında kar ve zeminden yararlanılabilecek, daha küçük alana daha fazla panel kurulmasına elverişli, çift taraflı panel sisteminin kurulması hedeflenmiştir. Projenin ömrü 30 yıl olarak düşünülmüş ve 17. yılın sonunda kara geçileceği yapılan fizibilite çalışması sonucunda grafiklerle gösterilmiştir. 30 yıl sonunda proje hasılatının sadece para girdisi olarak düşünülmemesi gerektiği, nakit akışı yanında yıllık sera gazı emisyonunun net 10.539 ton CO₂ gazı salınımını önlediği ve 1.930 ton eşdeğer ham petrolün tasarruf edilmesinde katkı sağladığından dolayı büyük bir çevresel etkiye de sahiptir.

Bu proje ile fosil kaynakların aksine kaynak rezervi sınırsız olan, başta insan sağlığı olmak üzere tüm canlıların hayatlarını riske sokmayan, ülke ekonomisine katkı sağlayan, çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmıştır. Projenin hedeflediği elektrik üretimi, sera gazı emisyonu, enerji ithalinin azaltılması gibi amaçları doğrultusunda yapılan çalışmaları kolaylaştırıp, sade, anlaşılır ve gerçeğe oldukça yakın analiz değerleriyle proje detaylarını yatırımcıya sunan RETScreen analiz programı yardımıyla fizibilite çalışması yapılmıştır. Solar PV şebeke sistemlerinin ilk yatırım maliyetinin yüksek olması nedeniyle bu sektöre yönelik olumlu politikalar izlenmelidir.

Referans [14,15] temel alınarak, güç sistemlerinin çalışması için çok çeşitli yardımcı hizmetler gerekir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının bu tür hizmetleri, artan penetrasyonlarına paralel olarak sağlaması beklenmelidir. Enerji politikası, özellikle güneş enerjisi santrallerinde yüksek yenilenebilir enerji kaynaklarının penetrasyonu ile ekonomik ve güvenilir güç dağıtımını sağlamak için gerekli yan hizmetlere yönelik gereksinimleri karşılamak üzere geliştirilmelidir. Gelecekteki araştırmalar çeşitli yardımcı hizmetleri de hesaba katarak, bu çalışma ile bu ilk bulguları daha da geliştirmeli ve doğrulamalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] United Nations, Population. Erişim adresi: (<https://www.un.org/en/global-issues/population>). Erişim tarihi:14/11/2021
- [2] Bacanlı, Ü. G. (2006). Türkiye’de enerji kaynakları ve hidroelektrik enerjinin önemi. *Türkiye, 10*, 27-30.
- [3] Dombaycı, Ö. A. (2010). The prediction of heating energy consumption in a model house by using artificial neural networks in Denizli–Turkey. *Advances in Engineering Software, 41(2)*, 141-147.
- [4] Emtegro Enerji Sistemleri. Erişim adresi: [<https://entegro.com.tr/solar-enerji-nedir-ve-solar-paneller-nasil-calisir/>]. Erişim tarihi: 14/11/2021.
- [5] Sampaio, P. G. V., González, M. O. A. (2017). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 74*, 590-601.
- [6] Martin, K. (2021). Environmental and Financial Analysis of Solar Swimming Pool Heating System for 3 Different Regions of Turkey Using RETScreen Clean Energy Management Software. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology, 9(3)*, 505-515.
- [7] Kömür, S. (2016). *Örnek Bir Güneş Evi Prototipi için Tasarım, Kontrol ve Güç İzleme Çalışması* (Doctoral dissertation, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [8] Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Erişim adresi: (<https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>) Erişim tarihi:14/11/2021.
- [9] Durusoy, B., Ozden, T., Akinoglu, B. G. (2020). Solar irradiation on the rear surface of bifacial solar modules: a modeling approach. *Scientific Reports, 10(1)*, 1-10.
- [10] Owolabi, A. B., Nsafon, B. E. K., Roh, J. W., Suh, D., Huh, J. S. (2019). Validating the techno-economic and environmental sustainability of solar PV technology in Nigeria using RETScreen Experts to assess its viability. *Sustainable Energy Technologies and Assessments, 36*, 100542.
- [11] RETScreen | Natural Resources Canada n.d. (<https://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465>), accessed May 3, 2019.
- [12] Şanlı, B., Günöz, A. Mersin İlinin Farklı İlçelerinde Kurulabilecek Rüzgar Enerjisi Santrallerinin RETScreen Programı ile Fizibilite Analizleri ve Karşılaştırılmaları. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(3)*, 478-487.
- [13] Serhat Kalkınma Ajansı, Ocak 2015, Tra2 Bölgesi Yeşil Enerji Kaynakları Sektör Raporu, Sayfa:38.
- [14] Edmunds, C., Martín-Martínez, S., Browell, J., Gómez-Lázaro, E., Galloway, S. (2019). On the participation of wind energy in response and reserve markets in Great Britain and Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 115*, 109360.
- [15] Heptonstall, P., Gross, R., Steiner, F. (2017). The costs and impacts of intermittency—2016 update: A systematic review of the evidence on the costs and impacts of intermittent electricity generation technologies. UK Energy Research Centre.



FOTOVOLTAİK PANELLERDE NANOTEKNOLOJİK HİDROFOBİK KAPLAMANIN PANEL VERİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

EXAMINING THE EFFECTS OF THE HYDROPHOBIC COATING ON THE PHOTOVOLTAIC PANEL EFFICIENCY

Barış Emre ÖZHAN

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kayseri, Türkiye

Kenan DANIŞMAN

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kayseri, Türkiye

Özet

Son yıllarda elektrik üretiminde dünyada ve ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı önemli ölçüde artmıştır. Bunun sebepleri arasında azalan sistem kurulum maliyetleri ve küresel iklim krizi yer almaktadır. Bir güneş enerji santralindeki fotovoltaik paneller, sistem verimine en büyük etkiye sahip bileşendir. Çevresel faktörlere maruz kalarak panellerde oluşan kirlenme, panelin çıkış gücünü doğrudan etkilemektedir. Özellikle az yağış alan bölgelerde ekstrem durumlarda kirlenmenin sebep olduğu kayıplar çıkış gücünü %40'a kadar azaltmaktadır.

Bu çalışmada fotovoltaik modüller hidrofobik malzeme ile kaplanarak kirlenmenin sebep olduğu güç kaybının ne derece azaltılabileceği araştırılmıştır. Hidrofobik kaplamanın etkilerini incelemek için Kayseri'de bulunan gerçek bir güneş enerji santralinde prototip bir sistem kurulmuştur. Çalışma hem doğu-batı eksenli güneşi takip eden santral için hem de güneye 30 derece eğimli sabit sistem santral için gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada birbiriyle tamamen aynı özelliklere sahip fotovoltaik modüller kullanılmıştır. Modüllere yük bağlanarak akım ve gerilim değerlerini kaydetmek için mikroişlemci tabanlı bir veri kaydedici tasarlanmıştır. Kaplamanın etkilerini değerlendirebilmek için kaplama yapılmış ve kaplama yapılmamış sistem verileri karşılaştırılmıştır. Değerlendirme sonucunda hareketsiz sistem için hidrofobik kaplamalı yapı hidrofobik kaplamasız yapıya göre %2,3 lük bir kazanç sağlarken, hareketli sistemde hidrofobik kaplamanın anlamlı bir etkisi olmamıştır.

Anahtar Kelimeler: Hidrofobik kaplama, Fotovoltaik Panel, Enerji Verimliliği, Güneş Enerji Santrali

Abstract

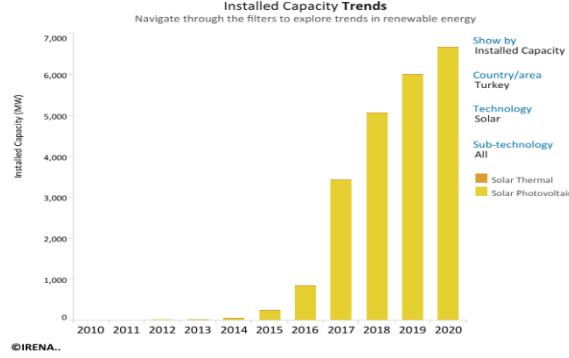
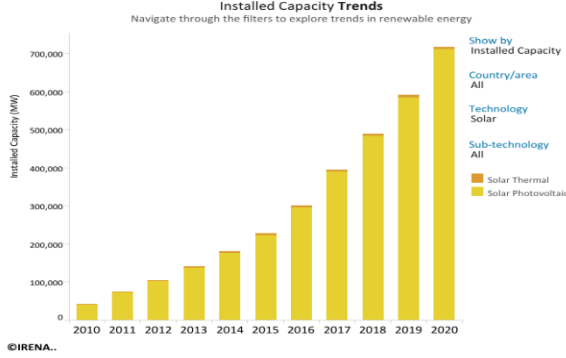
In recent years, the share of renewable energy sources in electricity production has increased significantly in the world and in our country by reason of the decreased system installation costs and the global climate crisis. Photovoltaic panels are the components which have the greatest impact on system efficiency in a solar power plant. The pollution that occurs on the panels because of the environmental conditions directly affects the output power of the panel. In extreme cases, losses caused by pollution reduce the output power of the panel by up to 40%, especially in regions with low rainfall.

In this study, it was investigated how much power loss caused by pollution can be reduced by covering photovoltaic modules with hydrophobic material. To analyse the effects of the hydrophobic coating, a prototype system was set up in a real solar power plant in Kayseri. The study was carried out both for the solar tracker system from east to west and for the fixed system inclined 30 degrees to the south. In this study, identical photovoltaic modules were used. A microprocessor-based data logger was designed to record current and voltage values after a load was connected to the modules. In order to evaluate the effects of the coating, the data of coated and uncoated system were compared. As a result of the evaluation, hydrophobic coated fixed system provided a gain of 2.3% compared to the uncoated fixed system on the other hand, no significant gain was realized in the tracker system whether the panels are coated or uncoated.

Keywords: Hydrophobic coating, Photovoltaic Panel, Energy Efficiency, Solar Power Plant

1. GİRİŞ

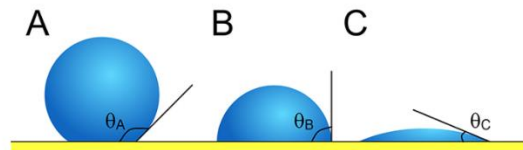
Son yıllarda ülkemizde ve dünyada güneş enerji santralleri kurulu gücü büyük bir hızla artmaktadır. 2010 yılında dünya genelinde 40 GW olan güneş enerji santrali kurulu gücü yaklaşık on sekiz kat artarak 2020 yılı itibariyle 710 GW mertebelerine ulaşmıştır [1]. Bu durumun oluşmasında azalan sistem kurulum maliyetleri ve küresel iklim krizi yer almaktadır.



Şekil 1: Dünya Geneli Solar Kurulu Gücü Değişimi [1] Şekil 2 :Türkiye Geneli Solar Kurulu Gücü Değişimi[1]

Ülkemizde ise 2015 yılında 250 MW olan güneş enerji santrali kurulu gücü 2021 ekim ayı itibariyle 7.658 MW'a ulaşmıştır [2]. Uluslararası enerji ajansının yayınladığı rapora göre 2025 yılında güneş ve rüzgâr toplam kurulu gücü 2019 yılındaki değer iki katına çıkarak 2.350 GW'a ulaşacağı öngörülmektedir [3]. Tüm bu bilgiler ışığında güneş enerjisinin öneminin giderek artacağı sonucu ortaya çıkmaktadır. Güneş enerji santrallerinin en temel elemanı fotovoltaik modüllerdir. Fotovoltaik modüllerin çıkış gücü güneş hücrelerine ulaşan ışınım miktarıyla yüksek oranda ilişkilidir. Hücrelere ulaşan ışınım miktarı arttıkça modülün çıkış gücünde artmaktadır. Güneş hücrelerine ulaşan ışınım miktarını düşüren etkenlerden birisi de tozlanmadır. Bir çalışmada fotovoltaik modül üzerindeki $4g/m^2$ yoğunluğuna sahip tozlanmanın fotovoltaik modülün çıkış gücünü %40 oranında azalttığı belirtilmiştir [4]. Çıkış gücündeki bu azalma tozlanma yoğunluğunun dışında da başka parametrelere bağlıdır. Bunlardan birisi Fotovoltaik modülün kaç derece açıyla montaj edilmiştir. Elminir ve arkadaşları Mısırda yürüttükleri bir çalışmada modül açısını 0° ile 90° arasında değiştirmiş ve çıkış gücünü incelemiştir. En az kaybın 90° derecede olduğu belirtilmiştir [5]. Bazı durumlarda yağmur yağmasının bile güneş panelinin tozlanmasını arttırdığına yönelik çalışmalar vardır [6]. Kirlenmenin sebep olduğu güç düşümünü azaltmak için santrallerde periyodik olarak yıkama yapılmaktadır. Bu yöntem problemin kaynağını ortadan kaldırmak adına yetersiz kalmaktadır.

Bu çalışmada fotovoltaik modüller hidrofobik malzeme ile kaplanarak kaplamanın panellerin elektriksel gücüne olan etkisini incelenmiştir. Hidrofobik kelimesi suyu sevmeyen yüzey anlamına gelmektedir. Hidrofobik kaplama nano boyutlu, sıvının yüzeye tutunmasını engelleyerek sıvıyı kaydıran bir kaplama çeşididir. Genellikle, su temas açısı 90° 'den küçükse katı yüzey hidrofilik olarak kabul edilir. Su temas açısı 90° 'den büyükse hidrofobik, 150° 'den büyükse süper hidrofobik olarak kabul edilir [7]. Kaplamalar kirlenmeyi geciktireceği gibi tozların yapışmasını ve daha kolay temizlenmesine sebep olabilir. Hidrofobik kaplamanın yüksek performans göstermesi için su temas açısının yüksek, su yuvarlanma açısının düşük olması gerekmektedir [8].



Şekil 3: Temas Açıları [9]

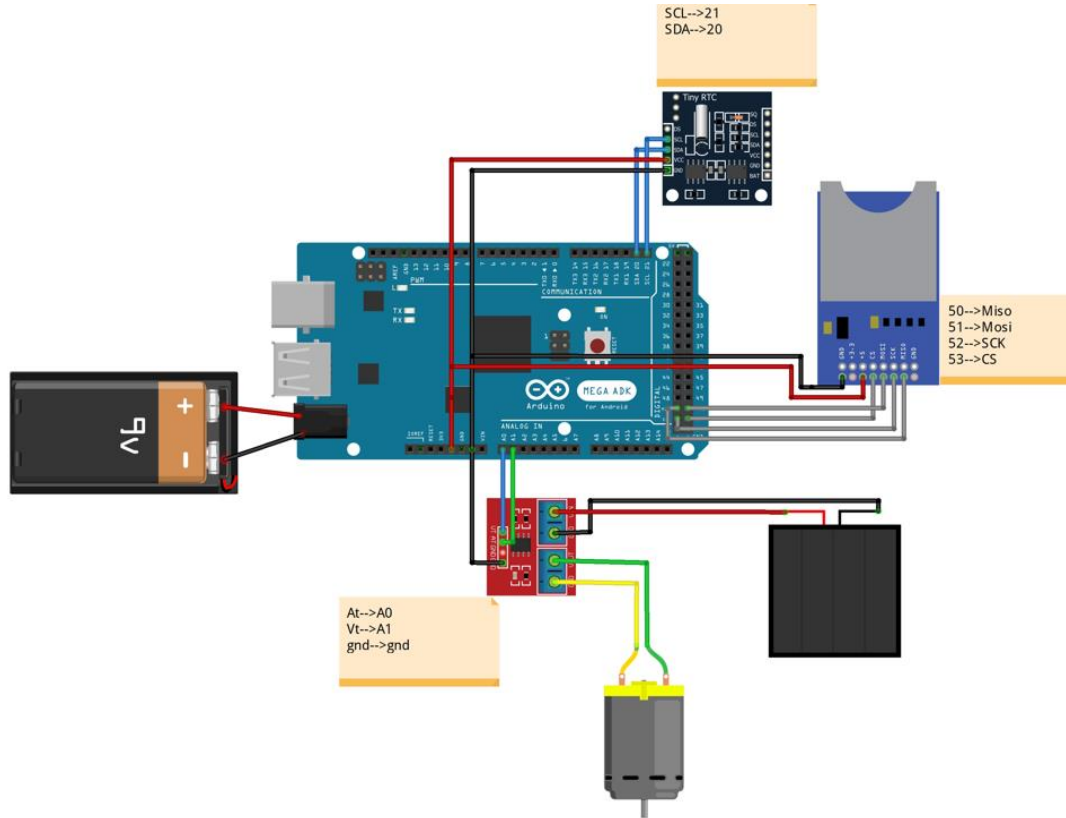
Hidrofobik kaplamanın etkilerini gözlemleyebilmek için laboratuvar ortamında yapılan çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda tozu simule etmek için 25 µm çapında laterit parçacıklar kullanılmıştır. Yoğunlaşmayı simule etmek için sabit sıcaklık ve nem inkübatörü kullanılmıştır [10]. Bu çalışma ise gerçek bir santral ortamında gerçekleştirilmiştir. Çalışma hem doğu batı eksenli güneşi takip eden sistem için hem de güneye 30 derece eğimli sabit sistem için gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada birbiriyle tamamen aynı özelliklere sahip fotovoltaik modüller kullanılmıştır. Modüllere yük bağlanarak akım ve gerilim değerlerini kaydetmek için mikroişlemci tabanlı bir veri kaydedici tasarlanmıştır. Kaplamanın etkilerini değerlendirebilmek için kaplama yapılmış ve kaplama yapılmamış sistem verileri karşılaştırılmıştır.

2. SİSTEM TASARIMI

A- Veri Kaydedici Sistem Tasarımı

Fotovoltaik modüllerdeki hidrofobik kaplamanın etkisini net bir şekilde görebilmek için her bir panel grubunun sağladığı akım ve gerilim değerlerinin ayrı ayrı ve anlık olarak kaydedilmesi gerekmektedir. Panellerin sağlayacağı akım ve gerilim değerleri çevresel koşullardan etkilenmektedir. Güneş ışınlarının geliş açısı, panel üzerine düşen ışınım, bulutluluk oranı ve ölçüm yapılan saat bunlardan bazılarıdır. Panelleri aynı alana kurarak güneşin geliş açısı, panel üzerine düşen ışınım ve bulutluluk oranı etkileri yok sayılacaktır ve üretim verilerimizi aynı oranda etkileyecektir. Bu yüzden verileri doğru bir şekilde kıyaslamak için akım ve gerilim değerlerinin yanı sıra ölçüm saatinin de kaydedilmesi gerekmektedir.

Farklı uygulamalarda veri kaydedici sistemler yapmak için mikroişlemciler kullanılmıştır [11]. Bu çalışmada da belirtilen gereksinimleri karşılamak için Arduino tabanlı bir veri kaydedici sistem tasarlanmıştır. PV Modül'ün akım ve gerilim değerlerini ölçmek için MAX 471 voltaj ve akım sensör modülü kullanılmıştır. Bu sensörle 3-25 V aralığında DC gerilim, 0-3 A aralığında DC akım ölçülebilmektedir. DC gerilim ölçüm hassasiyeti 0,02445 Volt'dur Ölçülen verileri kaydetmek için mikro denetleyiciye harici bir hafıza kartı takılmıştır. Ölçülen verilerin ölçüm saatinin belirlenmesi gereksiniminden dolayı mikro denetleyici ile uyumlu bir RTC (Real Time Clock) modülü kullanılmıştır. Şekil 4'de tasarlanan veri kaydedici sistemi görülmektedir.



Şekil 4 : Veri Kaydedici Sistem

B- PV Modül ve Yük Seçimi

Tasarlanan veri kaydedici sistem akım ölçme aralığı 0-3 amper, gerilim ölçme aralığı ise 3-25 Volt 'tur. Panel seçimi yaparken bu değerler sınırlayıcı kriter olmuştur. Bu yüzden maksimum güçte belirtilen aralıklardaki akım ve gerilim değerlerini sağlayan PV modül seçilmiştir. Seçilen modülün katalogunda yer alan değerler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 : PV Modül Elektriksel Değerleri

Parametre Adı	Değer	Birim
Maksimum Güç	25	Watt
Açık Devre Gerilimi	18,5	Volt
Kısa Devre Akımı	1,62	Amper
Maksimum Güç gerilimi	17,1	Volt
Maksimum Güç Akımı	1,52	Amper

Yük seçimi yaparken PV modülün maksimum güç noktasında sağladığı akım ve gerilim değerleri baz alınmış, panelin maksimum güçte çalışabileceği bir yük seçilmiştir. Maksimum güç için en uygun yük değeri 11,25 ohm olarak belirlenmiştir.

3-SAHA ÇALIŞMASI

Kaplamanın etkilerini net bir şekilde görebilmek için iki adet kaplamalı ve iki adet kaplamasız olmak üzere dört adet sistem kurulmuştur. Kaplamasız sistemlerden biri kontrol grubu olarak belirlenmiştir.

Bu dört farklı sistem için akım, gerilim ve güç verileri birer saniyelik periyotlarla Şekil 5'de görüldüğü gibi veri kaydedici sisteme kaydedilmiştir.

2021/10/21 16:20:23	Voltaj_pv	5.62	Akım_pv	0.47	Güç_pv	2.66
2021/10/21 16:20:24	Voltaj_pv	5.13	Akım_pv	0.38	Güç_pv	1.96
2021/10/21 16:20:25	Voltaj_pv	5.13	Akım_pv	0.38	Güç_pv	1.96
2021/10/21 16:20:26	Voltaj_pv	5.18	Akım_pv	0.37	Güç_pv	1.92
2021/10/21 16:20:27	Voltaj_pv	5.13	Akım_pv	0.37	Güç_pv	1.91
2021/10/21 16:20:28	Voltaj_pv	5.13	Akım_pv	0.38	Güç_pv	1.96
2021/10/21 16:20:29	Voltaj_pv	5.13	Akım_pv	0.37	Güç_pv	1.91

Şekil 5 : Veri Kaydedici Ekran Görüntüsü

Ölçüm sonuçları değerlendirilirken PV modülün en fazla güç sağlayacağı saat 09:00-15:00 arası veriler referans alınmıştır. Dört farklı veri kaydedicinin ayrı ayrı günlük ortalama güçleri bulunmuş daha sonra her bir veri kaydedicinin ortalamaya göre farkları belirlenmiştir. Aynı marka ve aynı model PV modüllerin bile çıkış güçleri farklılık gösterebileceğinden ölçümlere kaplama yapılmadan önce başlanmıştır. Daha sonra kaplama yapılarak ortalamaya göre farkların değişimi incelenmiştir. Şekil 6 ve Şekil 7'de kaplama öncesi hareketli ve sabit prototip sistemin fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 6 : Kaplama öncesi Hareketli Sistem



Şekil 7 : Kaplama öncesi Sabit Sistem

4- SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

A-Hareketli Sistem Sonuçları

Tablo 2’de doğu-batı eksenli güneşi takip eden sistem için; kaplama öncesi ortalamaya göre farklar ve kaplama sonrası 8. haftadaki ortalamaya göre farklar belirtilmiştir. DL kısaltması Data Logger (Veri Kaydedici) için kullanılmıştır. DL-2 ve DL-3 değerleri kaplama yapılan modüllerin verileridir. İkinci veri kaydedici sistem, kaplama öncesi ortalamaya göre %7.804 fazla üretirken kaplama sonrası 8. hafta ortalamaya göre %5.339 fazla üretmiştir. Burada kaplamanın yaklaşık %1.745’lik bir negatif etkisi olmuştur. Benzer durum üçüncü veri kaydedici sistem içinde geçerlidir.

Tablo 2 : Hareketli Sistem Sonuçları

HAREKETLİ SİSTEM	DL-1	DL-2	DL-3	DL-4
Kaplama öncesi	-0.268%	7.084%	1.244%	-8.060%
Kaplama sonrası 8. Hafta	1.336%	5.339%	-0.422%	-6.253%
Fark	1.603%	-1.745%	-1.665%	1.807%

Bu kaybın sebebi yağmur yağması ile ilişkilidir. Yağmur yağdığında kaplamalı modüllerin daha çok kirlendiği görülmektedir. Kaplama; malzemenin temas alanını küçültmektedir. Yağmur yağdığı andaki PV panel sistemin açısı, su damlacıkları için gerekli kayma derecesini sağlamıyorsa, modül üzerinde birçok yağmur taneciği kalmaktadır. Kaplamasız sistemde yağmur damlaları daha geniş alanla temas ettiği için bu damlalar birleşerek panel üzerinden rahatlıkla akmakta ve kirlenme daha az olmaktadır. Şekil 8’de yağmur sonrası kaplamalı ve kaplamasız panellerin fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 8 : Kaplama Sonrası Hareketli Sistem

B-Sabit Sistem Sonuçları

Tablo 3’de güneye 30 derece eğimli sabit sistem için; kaplama öncesi ortalama göre farklar ve kaplama sonrası 5. haftadaki ortalama göre farklar belirtilmiştir. Tabloda birinci ve ikinci veri kaydediciler kaplama yapılan modüllerin verileridir(DL-1, DL-2). Birinci veri kaydedici sistem kaplama öncesi ortalama göre %2.940 fazla üretirken kaplama sonrası 5. hafta ortalama göre %5.822 fazla üretmiştir. Burada kaplamanın yaklaşık %2.882’lik bir pozitif etkisi olmuştur. Benzer durum ikinci veri kaydedici sistem içinde geçerlidir

Tablo 3 : Sabit Sistem Sonuçları

SABİT SİSTEM	DL-1	DL-2	DL-3	DL-4
Kaplama öncesi	2.940%	-3.011%	-5.794%	5.865%
Kaplama sonrası 5. Hafta	5.822%	-1.287%	-8.818%	4.283%
Fark	2.882%	1.724%	-3.023%	-1.582%

5 Haftalık gözlem sonucu hidrofobik kaplamalı yapı ortalama %2,3 lük bir kazanç sağlamıştır. Kaplamalı sistemin yağmurdan etkilenmediği gözlenmiştir. Şekil 9’da 5 hafta sonunda kaplamalı ve kaplamasız panellerin fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 9 : Kaplama Sonrası Sabit Sistem

Elde edilen verilerden; Hareketli PV sistemin özellikle yağışlı bölgelerde iyi sonuç vermeyeceği, sabit PV sistemin ise daha verimli çalışacağı görülmüştür. . Kaplamada kullanılan hidrofobik malzemenin temas açısı 106°C su kayma açısı ise 15°Cdir. Bununla birlikte kaplama malzemesinin süper hidrofobik kaplama olması durumunda hareketli sistemin daha verimli olabileceği değerlendirilmektedir.

5.Referanslar

- [1] <https://www.irena.org/solar> Kasım 2021
- [2] Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı Kurulu Güç Raporu Ekim 2021 TEİAŞ <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari> Kasım 2021
- [3] <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/total-installed-power-capacity-by-fuel-and-technology-2019-2025-main-case> Kasım 2021
- [4] Paresh, G., K., Kaushal, K., Singh, C. S., 2019. Modeling effect of dust particles on performance parameters of the solar PV module. Fifth International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES)
- [5] Hamdy, K., E., Ahmed, E., G., Hamid, R.,H., El-Hussainy, F., Beheary, M.,M., Khaled, M. A., 2016. Effect of dust on the transparent cover of solar collectors. Energy Conversion and Management,47 (18-19) : 3192-3203
- [6] Genç, G., 2018. Fotovoltaik Panellerde Gölge Ve Toz Etkisinin Analizi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 103 s.
- [7] Aydar, A., Y., Bağdatlıoğlu , N., 2013. Yemeklik Yağların Yüzey Gerilimi ve Temas Açılarının Belirlenmesinde Uygulanan Yöntemler. Akademik Gıda 12(1) (2014) 108-114
- [8] İşbilir, K., Lisco, F., Womack, G., Abbas, A., Walls, J., M., 2018. Testing of an Anti-Soiling Coating for PV Module Cover Glass. 2018 IEEE 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion
- [9] <https://inovatifkimyadergisi.com/sivilarin-islama-yetenekleri-ve-temas-acisi> Kasım 2021
- [10] Wang, P., Kong, M., Wang, L., Ni, L., 2019. The Effect of the Superhydrophobic Film on the Generation Efficiency of Photovoltaic Modules Affected by Salt-Containing Dust Deposition. IEEE Journal of Photovoltaics,9 (6) :1727-1732

[11] Mahendra, O., Syamsi, D., Ramdan, A., Astrid, M., 2015. Design and implementation of data storage system using USB flash drive in a microcontroller based data logger. 2015 International Conference on Automation, Cognitive Science, Optics, Micro Electro-Mechanical System, and Information Technology.



SOLAR RADYASYONUN DERİN ÖĞRENME KULLANILARAK TAHMİN EDİLMESİ: TÜRKİYE ÖRNEĞİ

FORECASTING SOLAR RADIATION USING DEEP LEARNING: THE CASE OF TURKEY

Hatice ÇITAKOĞLU

Doç. Dr., Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, (Sorumlu Yazar),
ORCID No: 0000-0001-7319-6006

Vahdettin DEMİR

Dr. Öğr. Üyesi, KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, (Sorumlu Yazar),
ORCID No: 0000-0002-6590-5658

ÖZET

Güneş (solar) radyasyonu, birçok tarımsal, meteorolojik ve güneş enerjisi dönüşümü ile ilgili uygulamalar için önemli bir parametredir. Güneş radyasyonunun tespiti için gerekli sensörlerin yokluğunda bu parametreyi tahmin etmek gerekir. Bu çalışmada, Türkiye'nin aylık ortalama solar radyasyon değerleri ($kWsa/m^2$) üç farklı derin öğrenme algoritması kullanılarak tahmin edilmiştir. Güneş radyasyonu komşu ölçüm istasyonlarına ait konum bilgileri ve periyodiklik bileşeni olan ay değerleri kullanılarak tahmin edilmiştir. Yöntemler MATLAB ortamında yazılan komut satırları ile uygulanmıştır. Modellerde kullanılan solar radyasyon verileri 2004-2018 yıllarını kapsamakta olup, uydu tabanlı melez bir model olan Heliosat model verileridir ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Çalışmada Türkiye'yi temsilen 81 adet vilayet ölçüm istasyonu kullanılmıştır. Toplamda 972 adet (81 istasyon x 12 ay) verinin %75'i eğitim aşamasında kullanılmıştır. Verilerin %25'inde ise test edilmiştir. Kullanılan test istasyonları rastgele seçilmiştir. Test aşamasında elde edilen güneş radyasyonu tahminleri gözlemlenmiş verilerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalarda Karekök Ortalama Karesel Hata (KOKH), Ortalama Mutlak Hata (OMH) ve Determinasyon katsayısı (R^2) kullanılmıştır. Sonuç olarak, solar radyasyonun belirlenmesinde üç farklı derin öğrenme algoritma performansı karşılaştırılmış ayrıca derin öğrenme modellerinin literatürde yer alan diğer yöntemlere göre daha kolay uygulanabileceği ve alternatif bir yöntem olabileceği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Güneş Radyasyonu, Türkiye, Heliosat Modeli, Derin Öğrenme, ADAM, SGDM, RMSProp.

ABSTRACT

Solar radiation is an important parameter for many agricultural, meteorological and solar energy conversion related applications. It is necessary to estimate this parameter in the absence of the necessary sensors for the detection of solar radiation. In this study, Turkey's monthly average solar radiation values (kWh/m^2) were estimated using three different deep learning algorithms. Solar radiation was estimated by using the position information of neighboring measurement stations and periodicity component. The methods were implemented with command lines written in MATLAB. The solar radiation data used in the models cover the years 2004-2018, and the Heliosat model data, which is a satellite-based hybrid model, was obtained from the General Directorate of Meteorology. In the study, 81 province measurement stations were used to represent Turkey. In total, 75% of the data of 972 (81 stations x 12 months) was used in the training phase. In the remaining 25% of the data, the predictions were tested. The test stations used were randomly selected. The solar radiation estimates obtained during the test phase were compared with the observed data. In comparisons, Root Mean Squared Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE) and Coefficient of Determination (R^2) were used. As a result, three different deep learning algorithm performances were compared in determining solar radiation, and it was revealed that deep learning models could be applied more easily than other methods in the literature and could be an alternative method.

Keywords: Solar Radiation, Turkey, Heliosat Model, Deep Learning, ADAM, SGDM, RMSProp.

1. GİRİŞ

Solar radyasyon (SR), güneşin dünya üzerine yaydığı elektromanyetik bir güç olarak tanımlanabilir. SR; elektrik üretiminde kullanılan sistemler, meteorolojik araştırmalar ve doğal aydınlatma sistemleri başta olmak üzere güneş enerjisine bağlı olan pek çok bilim alanında kullanılmaktadır. SR, sistemlerin boyutlandırılması ve performanslarının belirlenmesinde dikkate alınan meteorolojik bir değişkendir. (Jiang, 2009; Şeker, 2021). Ayrıca tarımsal çalışmalarda bitkilerin büyüme periyodu, gelişimi ve biyokütle birikimi için (Citakoglu, 2015), referans evapotranspirasyonun hesaplanmasında büyük bir öneme sahiptir. Son zamanlarda iklim değişikliği senaryo gruplarının incelenmesinde SR değerleri kullanılmaktadır (Bora ve ark., 2015).

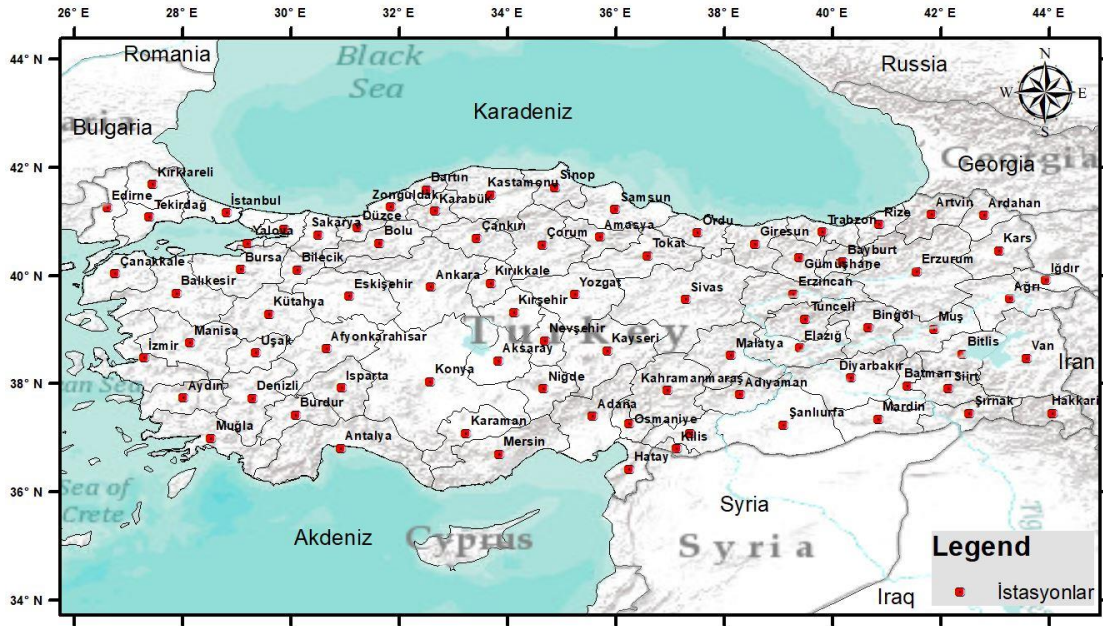
Güneş radyasyonunun tahmini, güneş enerjisi sistemlerinin tasarımı ve geliştirilmesi için çok önemlidir. Yapılarda ısınma, atmosferik enerji dengesi çalışmaları, binalarda termal analizler ve meteorolojik tahminler gibi çeşitli alanlarda güneş radyasyonu verilerine ihtiyaç duyulmaktadır (Ozgoren ve ark., 2012). Ayrıca belirli bir coğrafi bölgedeki güneş radyasyonu miktarının doğru tahmini, birçok bilimsel, mühendislik ve çevresel uygulama için çok önemlidir. Güneş enerjisi uygulamalarının tasarımı ve incelenmesinde güneş radyasyonu hakkında bilgi gereklidir (Nguyen ve Pryor, 1997).

SR, birçok tarımsal, meteorolojik ve güneş enerjisi dönüşümü ile ilgili uygulamalar için önemli bir parametredir. Bu sebeple, elimizde sınırlı olan gözlenmiş verilerden yararlanılarak SR ölçümünün olmadığı istasyonların verilerinin türetilmesine gerek duyulmaktadır ve son yıllarda, SR tahmininde gözlem verisine dayalı yöntemlerin uygulanması artmaktadır (Alizamir ve ark., 2020).

Bu çalışmada, Türkiye'nin aylık ortalama SR verileri (kWsa/m^2) üç farklı derin öğrenme algoritması kullanılarak tahmin edilmiştir. Tahminler komşu ölçüm istasyonlarına ait konum bilgileri ve periyodiklik bileşeni olan ay değerleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. SR'nin belirlenmesinde derin öğrenme algoritmalarının alternatif bir yöntem olma durumu incelenmiştir.

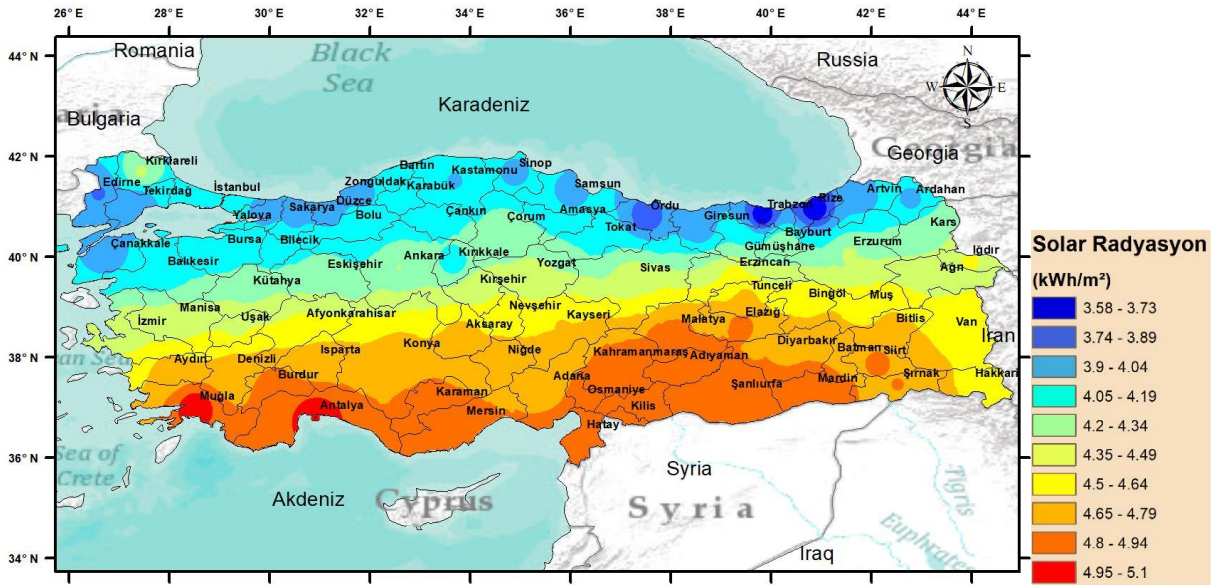
2. Materyal

Türkiye 36° - 42° kuzey paralelleri ile 26° - 45° doğu meridyenleri arasında yer almaktadır. Aylık ortalama SR verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nü (MGM)'nin web adresinden (https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx) temin edilmiştir (URL 1, 2021). Kullanılan istasyonların konumları, Şekil 1'de yer almaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanı ve istasyonların konumları.

Türkiye Global SR dağılımının hesaplanması çalışmalarında Haliosat modeli kullanılmaktadır (URL 2, 2021). Haliosat modeli; istatistiksel ilişkilere dayanan bir yöntemdir. Bu model radyasyon transfer denkleminin çözümlenmesi ile geliştirilmektedir. Modelin ilk aşamasında açık havaya ait direk ve difüz bileşenler hesaplanmasıyla global güneş radyasyon (GGR) değişkeni belirlenmektedir. İkinci aşamada ise Meteosat uydu verileri elde edilmektedir. Uydu verileri kullanılarak açık hava için hesaplanan GGR değerleri bulut parametresine bağlı olarak düzenlenmektedir. Uydu verilerinin 15 dakikada bir yenilenmesi sonucunda GGR değerleri her 15 dakikada bir düzenlenmesiyle elde edilmektedir. Bu düzenlenen veriler kullanılarak bulut indeksine geçiş yapılmaktadır. Üçüncü aşamada ise bulut indeks değerleri ile açık hava radyasyon değerleri işleme tabi tutulmakta olup mevcut hava koşullarına bağlı olarak radyasyon değerleri hesaplanmış olunur. Saatlik verilerden günlük veriler, günlük verilerden de aylık veriler elde edilmektedir (URL 1, 2021; URL 2, 2021; URL 3, 2021). Bu çalışmada kullanılan veriler ise aylık verilerin ortalamasında elde edilen uzun dönem (2004-2018) ortalamalarıdır. Uzun dönem ortalama SR verilerinin konuma bağlı dağılımı Şekil 2’de yer almaktadır.



Şekil 2. Uzun dönem SR verilerinin çalışma alanında dağılımı.

Şekil 2’de yer alan harita noktasal verilerin ArcGIS ortamında IDW yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde ülkemizin güney kısımlarında SR değerleri en yüksek değerlerdedir. Dağılım ise kuzeye doğru gidildikçe azalmaktadır. Özellikle doğu Karadeniz bölgesinde (Rize, Trabzon civarında) bu azalma daha hızlıdır. Doğudan batıya inceleme yapıldığında genel olarak SR değerleri sabit ilerlemekte, Kahramanmaraş-Adıyaman yörelerinde ve Karadeniz bölgesinde yer yer dalgalanmalar görülmektedir.

3. Yöntem

3.1. Derin Öğrenme

Derin öğrenme (DÖ), öğrenme sürecini gerçekleştirmek için yapay sinir ağlarının hiyerarşik yapısını kullanan bir yapay zekâ yaklaşımıdır (Bengio, 2009). Makine öğreniminin ortaya konduğu yıllardan günümüze kadar geçen zaman diliminde bilim insanlarının yapay zekâyâ olan ilgisi hızlı bir şekilde artmıştır. Bu ilginin artışı pek çok derin öğrenme algoritmalarının ortaya çıkmasına vesile olmuştur. Günümüzde en yaygın kullanım alanına sahip yapay zekâ yöntemleri derin öğrenme algoritmalarıdır. Pek çok mühendislik problemlerinin çözümü için farklı derin öğrenme yaklaşımları mevcuttur. Bu derin öğrenme yaklaşımları mühendislik problemlerinin yanı sıra finansal, tıp, nesne tespiti, uzay, jeoloji ve gelecek tahmini gibi pek çok alanda çözüm üretmektedir (Doğan ve Türkoğlu, 2019). Derin öğrenmenin kökleri 1940’lardaki algılayıcılara dayanırken, DÖ kavramı ilk kez 2006 yılında Hinton tarafından çok katmanlı yapay sinir ağlarının daha hızlı ve verimli eğitilebileceğinin öne sürülmesiyle ortaya çıkmıştır (Hinton, 2007; Hinton ve ark., 2006). Derin öğrenme

hakkında detaylı bilgi için Doğan ve Türkoğlu, (2019) çalışmaları incelenebilir.

3.1.1. Uzun Kısa Süreli Bellek Derin Öğrenme Mimarisi

Uzun kısa süreli bellek (İngilizce: Long Short-Term Memory, LSTM) ilk olarak Hochreiter ve Schmidhuber tarafından geliştirilmiştir ve derin öğrenme alanında kullanılan yapay bir yinelemeli sinir ağı mimarisidir (Hochreiter ve Schmidhuber, 1997; Şeker ve ark., 2017; Süzen ve ark., 2019; Kılıç, 2021).

Derin öğrenme modellemelerinde eğitim aşamasında kabul edilen hata fonksiyonunun minimum değerinin bulunması amaçlanmıştır. Minimum değer bulunması işlemi optimizasyon ile yapılmakta olup eğitim aşamasında ise bir tür optimizasyon işlevi gerçekleştirilir. Yapay sinir ağlarında olduğu gibi optimizasyon ile üretilen çıkış değeri ile gerçek değer arasındaki farkın minimum yapılması istenmektedir (Sevinç ve Kaya, 2021; Soydaner, 2020).

Bu çalışmada modelin eğitimi için ADAM (Adaptive Moment Estimation), SGDM (Stochastic Gradient Descent with Momentum), RMSProp (Root Mean Square propagation) optimizasyon algoritması kullanılmış ve tahmin performansları karşılaştırılmıştır. Optimizasyon algoritmalarının detayları için Ser ve Bati, (2019) ve Soydaner, (2020) incelenebilir.

4. Bulgular

Hidro-meteorolojik uygulamalar değerlendirirken, gözlenen değerle model arasındaki hataya bağlı karşılaştırma kriterleri sıklıkla kullanılmaktadır (Yaseen, 2021). Bu kriterlerden en çok tercih edilenler ise Karakök Ortalama Karesel Hata (KOKH) ve Ortalama Mutlak Hata (OMH)'dir. Ayrıca Legates ve McCabe (1999), tahmine dayalı modelleri değerlendirmek için karşılaştırma kriteri olarak gözlenen veri ile model arasındaki determinasyon katsayısının R^2 kullanımını önermektedir. Bu çalışmada karşılaştırma kriteri olarak KOKH, OMH ve R^2 kullanılmıştır. Karşılaştırma kriterlerine ait denklemler aşağıda sırasıyla yer almaktadır.

$$KOKH = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (SR_t - SR_g)^2} \quad (1)$$

$$OMH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |SR_t - SR_g| \quad (2)$$

$$R^2 = \left(\frac{N * (\sum SR_g * SR_t) - (\sum SR_g) * (\sum SR_t)}{\sqrt{(N * \sum SR_g^2) - (\sum SR_g)^2 * (N * \sum SR_t^2) - (\sum SR_t)^2}} \right)^2 \quad (3)$$

Yukardaki eşitliklerde SR_t ve SR_g tahmin edilen ve gözlenen SR değerlerini, N ise veri sayısını göstermektedir.

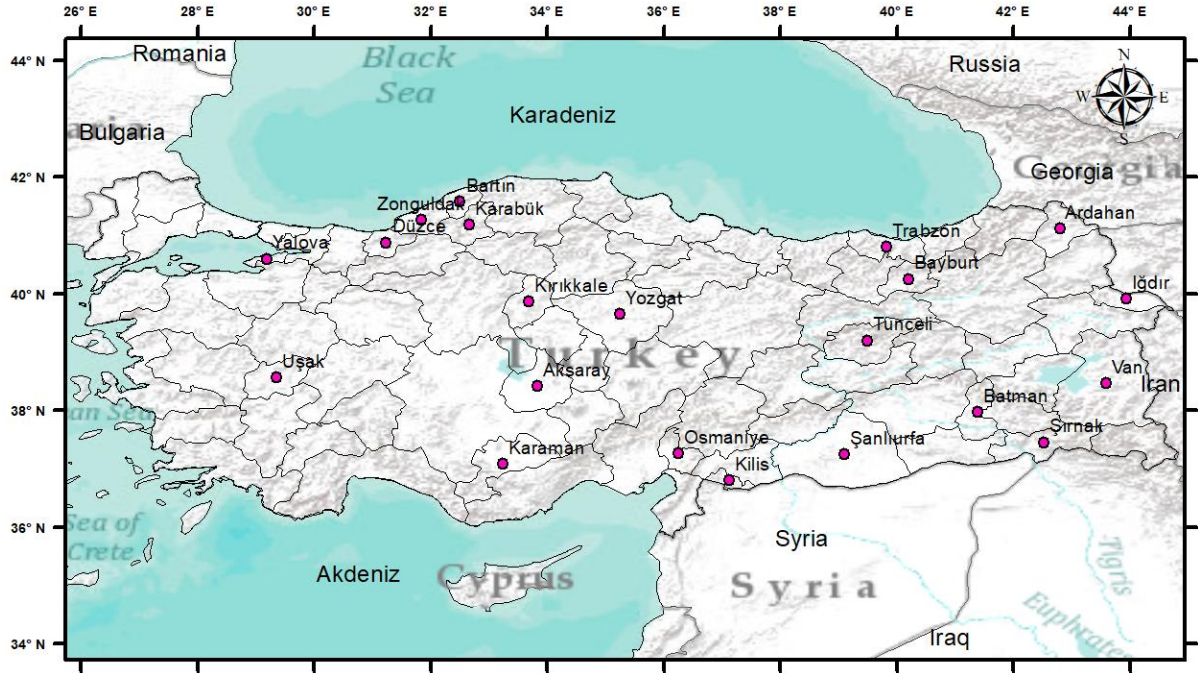
Çalışmada tahminler 3 farklı Derin öğrenme eğitim-optimizasyon algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu algoritmalar ADAM, SGDM, RMSProp'dir. Algoritmalar MATLAB ortamında yazılan komut satırları ile uygulanmıştır.

Modellemeler eğitim ve test aşaması olarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Eğitim aşamasında, 60 adet istasyon, test aşamasında ise kalan 21 istasyonun verileri kullanılmıştır. Eğitim ve test aşamasında kullanılacak istasyonlar rastgele şekilde seçilmiştir. Çalışmada seçilen test istasyonları Şekil 3'te yer almaktadır. Toplamda 972 (81*12) adet verinin, 252 adeti test, 720 adeti eğitim aşamasında kullanılmıştır. Girişlere göre kullanılan parametreler ise Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Giriş veri setleri

Girişler	Kullanılan Parametre
1 Giriş	Enlem
2 Giriş	Enlem, Boylam
3 Giriş	Enlem, Boylam, Yükseklik
4 Giriş	Enlem, Boylam, Yükseklik, Periyodiklik

Tablo 1 incelendiğinde ilk veri paketi sadece enlem verilerinin giriş setinde kullanıldığı modellenmiştir. Bu modellemede tek giriş kullanılarak SR değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Benzer şekilde son veri setinde 4 adet giriş kullanılmış bunlar sırasıyla istasyonların Enlem, Boylam ve Yükseklik bilgileridir. Ayrıca SR tahmin ayları için periyodik bileşen kullanılmıştır. Periyodik bileşen çıkış verisi olan SR'nin gözlemlendiği ayların sayısal olarak (Örneğin: ocak ayı için 1, şubat ayı için 2, vb.) ifade etmektedir.



Şekil 3. Test istasyonları.

Çalışmada kullanılan 3 farklı derin öğrenme eğitim algoritması sonuçları Tablo 2’de eğitim aşaması için ve Tablo 3’te test aşaması için ayrı ayrı verilmiştir.

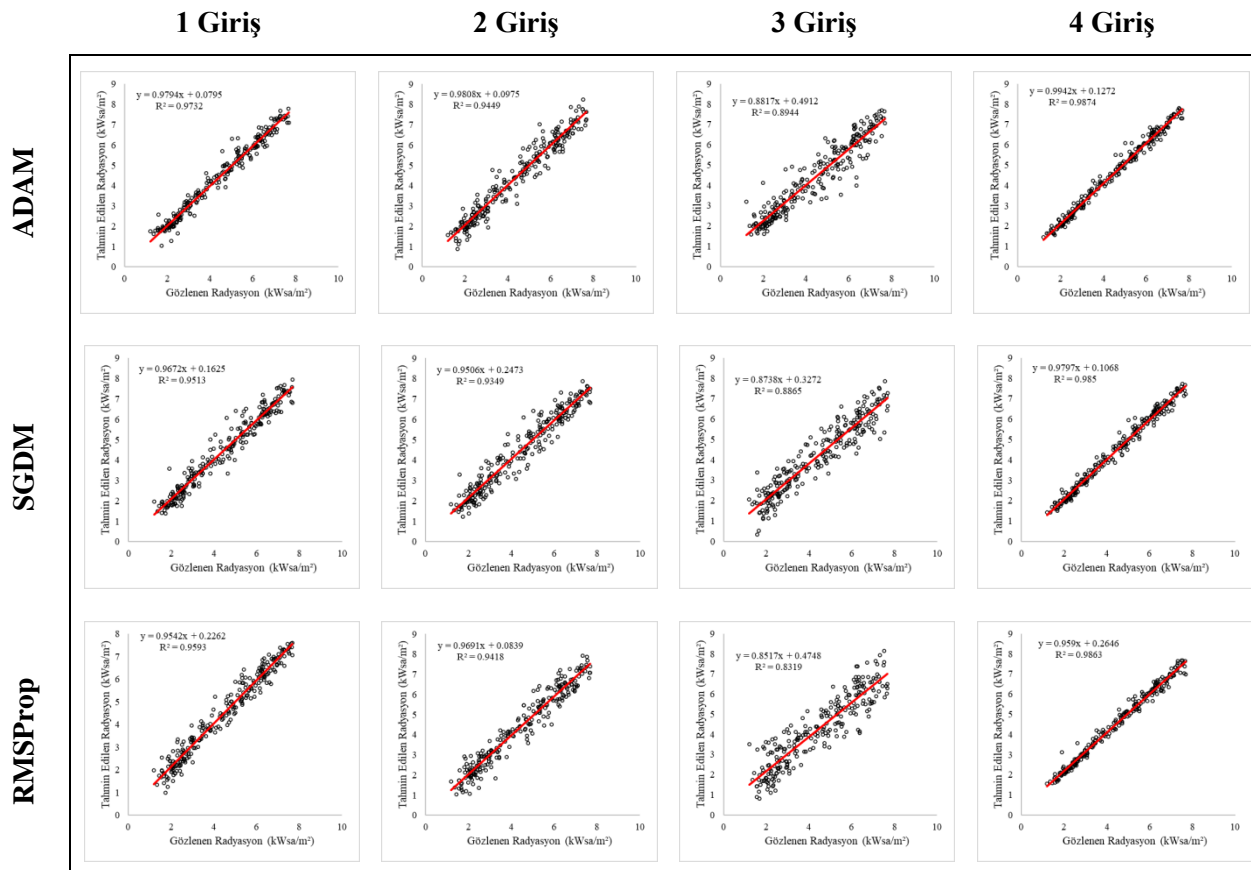
Tablo 2. Eğitim aşamasına ait sonuçlar

Algoritma	Giriş Sayısı											
	1			2			3			4		
	KOKH	OMH	R ²	KOKH	OMH	R ²	KOKH	OMH	R ²	KOKH	OMH	R ²
ADAM	0.245	0.179	0.9823	0.161	0.117	0.9923	0.175	0.125	0.9917	0.149	0.100	0.9943
SGDM	0.269	0.203	0.9787	0.230	0.171	0.9843	0.357	0.292	0.9815	0.154	0.104	0.993
RMSProp	0.283	0.212	0.9764	0.093	0.064	0.9976	0.195	0.149	0.9894	0.140	0.100	0.9957

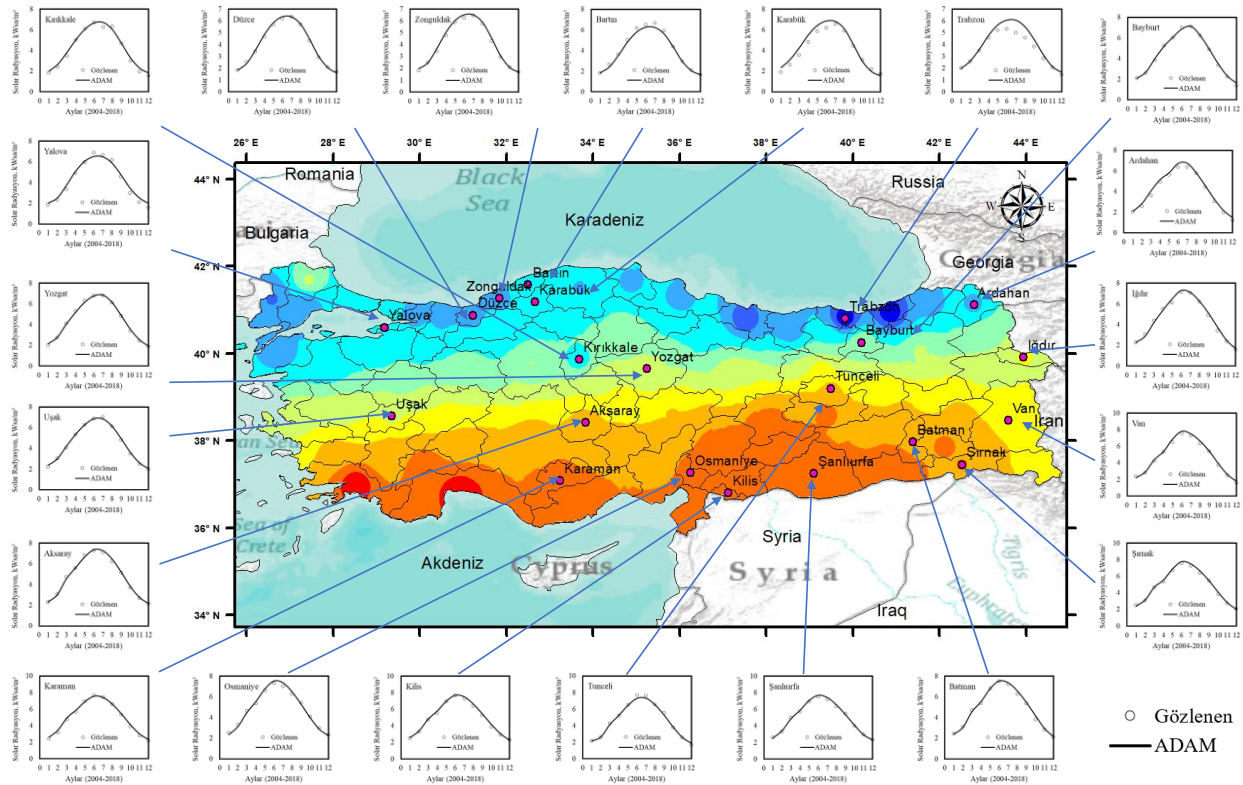
Tablo 3. Test aşamasına ait sonuçlar

Algoritma	Giriş Sayısı											
	1			2			3			4		
	KOKH	OMH	R ²	KOKH	OMH	R ²	KOKH	OMH	R ²	KOKH	OMH	R ²
ADAM	0.304	0.223	0.9732	0.441	0.329	0.9449	0.603	0.432	0.8944	0.232	0.171	0.9874
SGDM	0.410	0.299	0.9513	0.475	0.360	0.9349	0.666	0.524	0.8865	0.228	0.170	0.9850
RMSProp	0.375	0.291	0.9593	0.453	0.347	0.9418	0.782	0.615	0.8319	0.238	0.174	0.9863

Tablo 2 ve Tablo 3'te giriş sayılarına göre optimizasyon algoritmalarının tahmin performansları yer almaktadır. Tabloda yer alan dolgu renkleri ise giriş sayısına göre en başarılı (kırmızı) ve en başarısız (mavi) eğitim sonuçlarını göstermektedir. Tablo 2'de yer alan eğitim sonuçları incelendiğinde 1 giriş için en iyi eğitimler ADAM algoritmasında görülmektedir, ardından SGDM ve RMSProp gelmektedir. Benzer şekilde 2 giriş için en iyi eğitimler RMSProp, 3 giriş için ADAM ve 4 giriş için ise RMSProp optimizasyon algoritmasında görülmüştür. Giriş sayısı arttıkça eğitim performansı genellikle arttığı görülmektedir (3 girişte bir miktar düşüş görülmüştür). Tablo 3'te yer alan test sonuçları incelendiğinde giriş sayısına göre eğitim aşamasındaki benzer bir performans gözlemlenmiştir. En iyi tahminler 1, 2 ve 3 giriş için ADAM optimizasyon algoritmasında, 4 giriş için ise en düşük OMH SGDM'de, en yüksek R² değeri ise ADAM optimizasyon algoritmasında görülmüştür. Tablo 2 ve Tablo 3 incelendiğinde R² değerleri 0.95'nin üzerinde başarılı bir modelleme olarak görülse de R² değeri en iyi uyum çizgisine (y=x) eşit uzaklıklarda dağılmış veriler için de yüksek çıkabileceği için yanıltıcı olabilmektedir. Bu nedenle verilerin saçılma grafikleri ayrıca incelenmelidir. Modellere ait saçılma grafikleri ise Şekil 4'te yer almaktadır. Ayrıca en az hata veren ADAM algoritmasına ait SR gözlemleri ve tahminleri Şekil 5'te çalışma alanı haritası üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4. Modellere ait saçılma grafikleri.



Şekil 4. Test istasyonlarına ait tahminler.

5. TARTIŞMA

Türkiye, konumu itibariyle yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir (Sözen vd. 2004). Türkiye'nin bir yıldaki güneş radyasyonu ortalama 3.6 kWh/m^2 gün ve yıldaki toplam radyasyonu ise toplamda 2610 saattir (Sözen ve Arcaklıoğlu, 2005). Enerji sistemleri başta olmak üzere günlük hayatta pek çok alanının SR ihtiyacının olmasından dolayı SR doğru tahmin edilmesine gereksinim duyulmaktadır (Kılıç ve Kumaş, 2016). Aynı zamanda, SR doğru tahmin edilmesi durumu yeni kurulacak güneş enerjisi tesislerinin tasarımına etki edeceği düşünülmektedir. Fakat SR ölçüm tesislerinin kurulum ve bakım maliyetleri yüksektir (Işık ve İnallı, 2011). SR verilerinin ölçümlerinin yüksek maliyetli olmasından dolayı SR farklı tahmin metodlarına ihtiyaç duyulmaktadır (Gül ve Çelik, 2017).

Literatürde SR tahmin edilmesinde sıcaklık buharlaşma rüzgâr hızı bulutluluk, nem gibi meteorolojik parametreler kullanılmaktadır (Şeker, 2021). Fakat bu parametrelerin aynı periyotlarda temin edilmesi ve veri setinin sürekli olmasının amaçlanması uygulamaları zora sokmakta ve veri setlerinde silinen her bir satır giriş parametresi tahminlerin uygulanabilirliğini düşürmektedir. Ayrıca tüm bu parametrelerin tahmini büyük bütçeler gerektirmektedir. Oysa veri setleri içinde eğitimlerin yapılması ve tahminlerin elde edilmesi hem daha kullanışlı hem de daha ekonomiktir.

Makine öğrenmesi tekniklerinden biri olan DÖ ile yapılan testlerde, modellerin performansının değerlendirilmesinde R^2 , OMH ve KOKH kriterleri kullanılmıştır. SR tahmini için yapılan analiz ortalamaları, Tablo 2'de eğitim aşaması için, Tablo 3'te ise test aşaması için gösterilmiştir. DÖ eğitim algoritmalarından ADAM test aşamasında en yüksek R^2 , en düşük OMH ve KOKH değerlerine sahiptir. Makine öğrenmesi teknikleriyle gerçekleştirilen tahminlerde R^2 değerinin 1'e yaklaşırken OMH değerinin 0'a yaklaştığı modeller en başarılı modeller olarak literatürde kabul edilmektedir (Gültepe, 2019). Bu açıdan test sonuçları değerlendirildiğinde DÖ mimarisi ve ADAM eğitim algoritması SR'nin tahmininde kullanılabilir bir modeldir.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada tüm Türkiye'yi temsilen 81 adet vilayet istasyonunun 2004-2018 yılları arasında Heliosat

modeliyle elde edilmiş ortalama aylık SR verileri kullanılarak bir tahmin çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 60 istasyon verisi modellerin eğitiminde kullanılırken 21 istasyon ise test aşamasında kullanılmıştır. Modellemelerde 3 farklı DÖ eğitim algoritması kullanılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 1 ve 2 girişli analizlerde, sadece enlem ve boylam parametrelerinin kullanıldığı girişlerde sonuçlar kabul edilebilir sınırlarda olduğu düşünülmektedir (ortalama $R^2 > 0.6$ ve OMH, KOKH ≈ 0), yükseklik parametresi ile daha hatalı sonuçlar elde edilmiştir.
- Modellemelere periyodiklik parametresinin ilave edilmesiyle (4. giriş) tahminlerin gerçek verileri temsil etme gücü daha da atılmış $R^2=0.99$ 'lara kadar ulaşmıştır.
- En başarısız sonuçlar 1 girişin kullanıldığı veri setinde elde edilmiş, en başarılı sonuçlar ise 4 girişin kullanıldığı veri setinde elde edilmiştir. Çalışmada giriş sayısının artması çalışmanın genel performansını artırmaktadır.
- En başarılı algoritma ise ADAM ardından RMSProp-SGDM gelmektedir.

Elde edilen sonuçlar SR modelleme (ara noktalara ait tahminlerde veya eksik verilerin tamamlanması gibi) çalışmalarında DÖ yönteminin kullanılabilir olduğu göstermektedir. Bu çalışmada DÖ, LSTM mimarisi 0-10 ara tabaka ve 0-100 iterasyon denemesiyle gerçekleştirilmiştir. SR modellemesinde gerek ara tabaka sayısı gerekse iterasyon sayısı değişimiyle sonuçların değişimi araştırılması gibi çalışmalarla literatüre katkıda bulunulabilir. Ayrıca farklı makine öğrenmesi teknikleriyle veya farklı DÖ mimarileriyle modellemeler yapılabilir. Modelleme performansı, modelleme için sarf edilen zamana göre karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Alizamir, M., Kim, S., Kisi, O., & Zounemat-Kermani, M. (2020). "A Comparative Study of Several Machine Learning Based Non-Linear Regression Methods in Estimating Solar Radiation: Case Studies of The USA and Turkey Regions". *Energy*, 197, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117239>
2. Bengio, Y. (2009). "Learning Deep Architectures for AI". *Foundations and Trends in Machine Learning*, 2(1), 1-27. <https://doi.org/10.1561/2200000006>
3. Bora, E., Mine, T., & Etöz, M. (2015). "Menemen Ovasında Referans Bitki Su İhtiyacı ve Ölçülen Solar Radyasyonun Zamansal Değişimi". *Anadolu, J. of AARI*, 25(2), 65-76.
4. Citakoglu, H. (2015). "Comparison of Artificial Intelligence Techniques via Empirical Equations for Prediction of Solar Radiation". *Computers and Electronics in Agriculture*, 118, 28-37. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.08.020>
5. Doğan, F., & Türkoğlu, İ. (2019). "Derin Öğrenme Modelleri ve Uygulama Alanlarına İlişkin Bir Derleme". *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(2), 409-445. <https://doi.org/10.24012/dumf.411130>
6. Gul, M., & Celik, E. (2017). "ANFIS Kullanılarak Tunceli İli için Global Güneş Radyasyonu Tahmini", *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 94(428), 891-899.
7. Gültepe, Y. (2019). "Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Hava Kirliliği Tahmini Üzerine Karşılaştırmalı Bir Değerlendirme". *European Journal of Science and Technology*, (16), 8-15. <https://doi.org/10.31590/ejosat.530347>
8. Hinton, G. E. (2007). "Learning Multiple Layers of Representation". *Trends in Cognitive Sciences*, 11(10), 428-434. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2007.09.004>
9. Hinton, G. E., Osindero, S., & Teh, Y.-W. (2006). A Fast Learning Algorithm for Deep Belief Nets. *Neural Computation*, 18(7), 1527-1554. <https://doi.org/10.1162/neco.2006.18.7.1527>
10. Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long Short-Term Memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735-1780. <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>
11. Işık, E., & İnallı, M. (2011). Tunceli İli İçin Güneş Işınımının Yapay Sinir Ağları ile Tahmini. *New World Sciences Academy*, 6(1), 190-194.

12. Jiang, Y. (2009). Computation of Monthly Mean Daily Global Solar Radiation in China using Artificial Neural Networks and Comparison with Other Empirical Models. *Energy*, 34(9), 1276–1283. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.05.009>
13. Kılıç, B., & Kumaş, K. (2016). Burdur İli Güneşlenme Değerlerinin Yapay Sinir Ağları Metodu İle Tahmini. *SDÜ Teknik Bilimler Dergisi*, 6(1), 38-44.
14. Kılıç, H. Ç. (2021). "Uzun-Kısa Süreli Bellek Ağlarının Nehir Akım Tahmininde Farklı Optimizasyonlarla Karşılaştırılması ve Tekil Spektrum Analizinin Etkisi". *European Journal of Science and Technology*, (23), 248–253. <https://doi.org/10.31590/ejosat.864496>
15. Legates, D. R., & McCabe, G. J. (1999). "Evaluating the Use of "goodness-of-fit" Measures in Hydrologic and Hydroclimatic Model Validation". *Water Resources Research*, 35(1), 233–241. <https://doi.org/10.1029/1998WR900018>
16. Nguyen, B. T., & Pryor, T. L. (1997). "The Relationship between Global Solar Radiation and Sunshine Duration in Vietnam". *Renewable Energy*, 11(1), 47–60. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(96\)00122-X](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(96)00122-X)
17. Ozgoren, M., Bilgili, M., & Sahin, B. (2012). "Estimation of Global Solar Radiation using ANN over Turkey". *Expert Systems with Applications*, 39(5), 5043–5051. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.11.036>
18. Şeker, A., Diri, B., & Balık, H. H. (2017). "Derin Öğrenme Yöntemleri ve Uygulamaları Hakkında Bir İnceleme". *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(3), 47–64. Retrieved from <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/394923>
19. Şeker, M. (2021). "Yapay Sinir Ağı (YSA) Kullanılarak Meteorolojik Verilere Dayalı Solar Radyasyon tahmini". *DEU Muhendislik Fakültesi Fen ve Muhendislik*, 23(69), 923–935. <https://doi.org/10.21205/deufmd.2021236920>
20. Ser, G., & Bati, C. T. (2019). "Determining the Best Model with Deep Neural Networks: Keras Application on Mushroom Data. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 29(3), 406–417. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.505086>
21. Sevinç, A., & Kaya, B. (2021). "Derin Öğrenme ve İstatistiksel Modelleme Yöntemiyle Sıcaklık Tahmini ve Karşılaştırılması". *European Journal of Science and Technology*, (28), 1222–1228. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1014106>
22. Soydaner, D. (2020). "A Comparison of Optimization Algorithms for Deep Learning". *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 34(13), 1-26. <https://doi.org/10.1142/S0218001420520138>
23. Sözen, A., & Arcaklioğlu, E. (2005). "Solar Potential in Turkey". *Applied Energy*, 80(1), 35–45. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2004.02.003>
24. Süzen, A. A., Yıldız, Z., & Yılmaz, T. (2019). "LSTM Tabanlı Derin Sinir Ağı ile Ayak Taban Basınç Verilerinden VKİ Durumlarının Sınıflandırılması", *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 8(4), 1392–1398.
25. Yaseen, Z. M. (2021). An Insight into Machine Learning Models Era in Simulating Soil, Water Bodies And Adsorption Heavy Metals: Review, challenges and solutions. *Chemosphere*, 277, 130126. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130126>
26. URL 1. (2021) Türkiye Global Güneş Radyasyonu Uzun Yıllar Ortalaması (2004-2018) Heliosat Model Ürünleri https://www.mgm.gov.tr/kurumci/radyasyon_iller.aspx (Erişim Tarihi: 09.01.2021)
27. URL 2. (2021) Heliosat 2021 Heliosat Model Kullanarak Türkiye İçin Global Güneş Radyasyonu Tahmini <http://uzalmet.mgm.gov.tr/tammetin/11.pdf> (Erişim Tarihi: 09.01.2021)
28. URL 3. (2021) Uydu Tabanlı Model Yardımı ile Global Güneş Radyasyonunun Tespiti <https://www.mgm.gov.tr/FTPDATA/arastirma/radyasyon/heliosat.pdf> (Erişim Tarihi: 09.01.2021)



PRODUCTION OF p-CdTe FILMS USED IN SOLAR CELL PRODUCTION BY CRYOGENIC SUBSTRATE EFFECT

Melih MANIR

Recep Tayyip Erdogan University, Engineering and Architecture Faculty, Department of Energy Systems Engineering, Rize, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5791-8937>

Gamze GENÇ

Erciyes University, Engineering Faculty, Department of Energy Systems Engineering, Kayseri, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1133-2161>

Murat TOMAKİN

Recep Tayyip Erdogan University, Arts and Sciences Faculty, Department of Physics, Rize, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1887-848X>

Büşra ILIK

Recep Tayyip Erdogan University, Engineering and Architecture Faculty, Department of Energy Systems Engineering, Rize, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0635-4275>

Vagif NEVRUZOĞLU

Recep Tayyip Erdogan University, Engineering and Architecture Faculty, Department of Energy Systems Engineering, Rize, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8758-4760>

ABSTRACT

Semiconductor materials (CdS, CdTe, CdSe, ZnS and ZnSe) belonging to the AIBVI group are widely used in photodevice production due to their characteristic properties. On the other hand, the high vapor pressure (S, Se, Te) of this group of semiconductors causes defects to occur during production. For this reason, it is a difficult technological process to produce the said materials perfectly on heated substrate surfaces. With the effect of temperature, defects such as donor cadmium interstitials (Cd_i) and acceptor sulphur, tellurium, selenium cavities (V_s , V_{Te} , V_{Se}) are formed in the crystal structure, giving the structure n-type electrical conductivity. Film formation on a heated substrate surface occurs by islet growth mechanism and displays a porous structure. This situation hinders the production of nano-sized photodevices. As can be seen, it is important to develop new technological methods in the production of non-porous nanoscale semiconductor films with high vapor pressure. Film production is carried out on the surface of the cooled substrates with the cryogenic substrate effect mechanism designed by us. This apparatus consists of two main parts, the cooler and the reactor parts. In the cooler part, there is a copper tube that can circulate liquid nitrogen for cooling the samples, and in the reactor part, there is the saturated vapor of the evaporated material. The film formation takes place thanks to the equal sized clusters carried from the saturated vapor medium to the substrate surface. The formation of clusters in saturated vapor environment will prevent the occurrence of Cd_i and V_{Te} defects. In this study, CdTe films were produced in the substrate temperature range of 100-300 K and their characteristics were investigated. From the XRD diffraction patterns, it was observed that there was reflection from the (111), (220) and (311) planes of the cubic structure. The energy band gap of the film produced at a substrate temperature of 200 K was calculated as $E_g = 1.53$ eV. From electrical measurements, the resistivity of the film produced at 200 K substrate temperature was calculated as $\rho = 6.63 \times 10^3$ Ohm.cm and carrier density $N = 5.68 \times 10^{16}$ cm⁻³. The films produced from the hot point probe method and Hall measurements was found to have p-type electrical conductivity. From the initial results, it was understood that low-cost photodevices can be widely produced on the basis of high vapor pressure semiconductors using the cryogenic substrate technique.

Keywords: Photodevice, Cryogenic Effect, CdTe, Electrical Conductivity.

INTRODUCTION

The solution of the rapidly developing complex energy and environmental problems in the world is seen as impossible without the widespread use of alternative energy sources. In this context, solar energy is one of the most promising branches of renewable energy. The biggest obstacle to the widespread use of solar cells is the high cost of production. The efficiency values obtained in solar cells produced today do not coincide with the theoretical efficiency values [1,2]. One of the main reasons for this incompatibility is due to the production methods used. As it is known, semiconductors belonging to the AIBVI group (CdS, CdSe, CdTe, ZnTe and ZnSe) contain chalcogen elements (S, Te and Se) with high vapor pressure. In general, in the production of CdTe films by vacuum evaporation, the substrate temperature ($T_{\text{substrate}}$) is between 100-400 °C [3,4,5]. The resulting films have predominantly n-type electrical conductivity. The reason for this is the formation of donor cadmium interstitials and sulfur and tellurium (C_{di}, V_s, V_{Te}) cavities in the crystal structure with the effect of temperature [6]. In general, the films obtained by thermal methods are subjected to technological processes again and the necessary properties are gained. This negative process in electrical conductivity during production limits the production of various device types on the basis of these semiconductor structures. On the other hand, mutual diffusion of chemicals occurs in the transition region of CdS/CdTe heterojunctions produced on heated substrate surfaces, and many CdTe_{1-x}S_x phases are formed in this region. The energy levels of these defect phases, which are formed uncontrollably in the junction region, are reflected in the forbidden energy band gap. This creates a trap center in the device for the charge carriers responsible for the photovoltaic parameters. The defects that occur in the structure due to the high temperature applied during production negatively affect the efficiency of the photodevices produced. In the study by Muzafarov (2008), it was reported that at least four different layers belonging to the CdTe_{1-x}S_x structured defect phases were formed in the contact region of the n-CdS/p-CdTe binary structure produced at 220 °C substrate temperature. It has been observed that two of these uncontrolled layers (CdTe_{0.68}S_{0.32} and CdTe_{0.79}S_{0.21}) occur in all thermal production methods [7]. Since the defect phases have different chemical components and electrical conductivity (n-type and p-type), new heterojunctions are formed in the junction region. This complicates the electrical conduction mechanisms of the photodevice. In addition, in this study, it was determined that the CdTe_{0.68}S_{0.32} layer had n-type electrical conductivity and the CdTe_{0.79}S_{0.21} layer had p-type electrical conductivity. A technological process applied in the production of p-CdTe today is the annealing of this structure in CdCl₂ vapor at 400-450 °C for 20-30 minutes [8]. The main purpose in this process is to impart p-type electrical conductivity to the CdTe film. However, the series resistance is reduced by forming Cl_{Te}-V_{Cd} defect complexes with crystalline acceptor properties. Khrypunov (2005), in his study, examined the effect of chlorine density on the efficiency of CdS/CdTe solar cell annealed in CdCl₂ environment [9]. It has been observed that the 2Cl_{Te}-V_{Cd} type defect density can be adjusted by adjusting the chlorine density in the structure during annealing. In this case, it has been seen that it is possible to produce CdTe films with the required resistivity values depending on the chlorine concentration. Bacaksiz et al. (2007) produced CdTe thin films at two different substrate temperatures (200 K and 300 K) and their structural properties were investigated [10]. The CdTe film produced at a substrate temperature of 300 K consists of islets of different sizes and has a rough surface. However, the film produced at 200 K consists of grains of equal size and exhibits a homogeneous surface appearance. This result shows that the CdTe film produced at the substrate temperature of 200 K occurs by the soliton growth mechanism.

CdTe is one of the most promising materials for thin-film solar cells due to its physical properties. It has a high absorption coefficient of 10^5 cm^{-1} and a direct band gap of 1.5 eV [7,11, 12]. Considering these features, it is seen that the use of CdTe in solar cell production is important.

In this study, it was aimed for the first time to produce p-CdTe films with the effect of cryogenic substrate without additional technological processes. For this purpose, CdTe films were produced at different substrate temperatures (100-300 K) on the surface of glass substrates and their characteristics were investigated.

EXPERIMENTAL METHOD

In the study, CdTe films were produced on the surface of glass substrates by using CdTe powder with 99.99% purity, in the range of 100-300 K substrate temperature, with 25 K steps by cryogenic substrate effect and their characteristics were investigated. The difference of the cryogenic substrate method from other methods is that the coating process is performed on the cooled substrate surfaces. Film formation on the cooled substrate surface occurs thanks to the equal sized clusters carried from the saturated steam environment. This is because

the layers are formed by the soliton growth mechanism. Figure 1 shows the schematic model of the cryogenic substrate assembly.

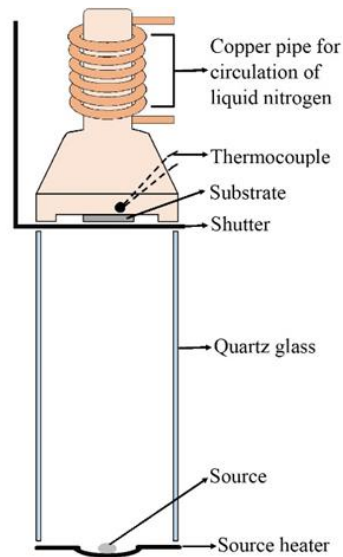


Figure 1. Schematic representation of the cryogenic substrate technique.

XRD analysis of the produced CdTe films was made using Rigaku brand SmartLab x-ray diffractometer device. $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1.5408 \text{ \AA}$) was used as the X-ray source. The analysis was performed at room temperature, in the range of $10^\circ \leq 2\theta \leq 80^\circ$, in steps of 0.02° . SpectraMax M5 spectrophotometer was used for optical measurements of CdTe thin films.

RESULTS AND DISCUSSION

It was observed from the XRD patterns that the CdTe films produced at all substrate temperatures mainly grew in cubic structure. In Figure 2, the XRD pattern of the CdTe film produced at 200 K substrate temperature is given. It is seen in the figure that there are reflections from (111), (220) and (311) planes with $2\theta = 23.88^\circ$, 29.50° and 46.65° peaks. It is known that these reflections belong to the cubic phase. The distance between the planes d and the lattice parameter a were calculated with reference to the $2\theta = 23.88^\circ$ high diffraction intensity peak. $a = 6.44 \text{ \AA}$ and $d = 3.72 \text{ \AA}$ and particle size $D=31.64 \text{ nm}$. The results obtained from the X-ray diffraction patterns are in agreement with the work done by Khan et al., 2012 [13].

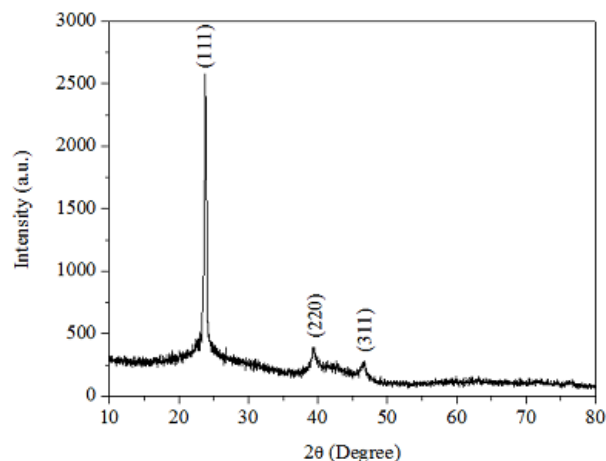


Figure 2. XRD plot of CdTe film produced at 200 K substrate temperature

Layer thicknesses of CdTe films produced at 9 different substrate temperatures (100 K, 125 K, 150 K, 175 K, 200 K, 225 K, 250 K, 275 K, 300 K) for 30 minutes were determined by SEM images. The layer thickness was found to be approximately 250 nm for all substrate temperatures. It can be seen from Figure 3 that the thickness of the CdTe film produced at a substrate temperature of 200 K is approximately 250 nm.

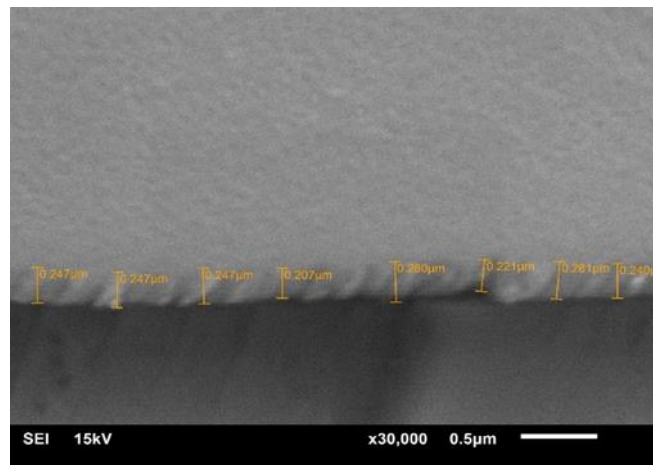


Figure 3. SEM image of CdTe film produced at 200 K substrate temperature

Optical transmittance spectrum of CdTe films is given in Figure 4. It can be seen from the figure that the optical transmittance values increase with decreasing substrate temperature. This confirms that thin films have semiconductor properties; because it is a proven fact that pure semiconductor compounds have a sharp absorption edge [14]. The decrease in grain size with decreasing substrate temperature caused an increase in optical transmittance.

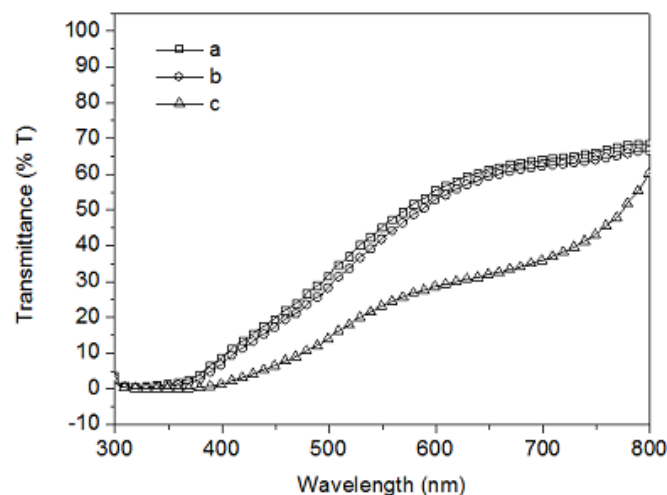


Figure 4. Optical transmittance spectrum of CdTe films a) 100 K, b) 200 K, c) 300 K substrate temperature.

By using the optical transmittance data, the band gaps of all films were calculated as shown in Figure 5. The energy band gap values of the films obtained at all substrate temperatures are given in Table 1. As seen in Table 1, the energy band gap values increase from 1.43 eV at 300 K to 1.60 eV at 100 K, respectively, with decreasing substrate temperature. The energy band gap values of CdTe films are in agreement with the studies [3,15].

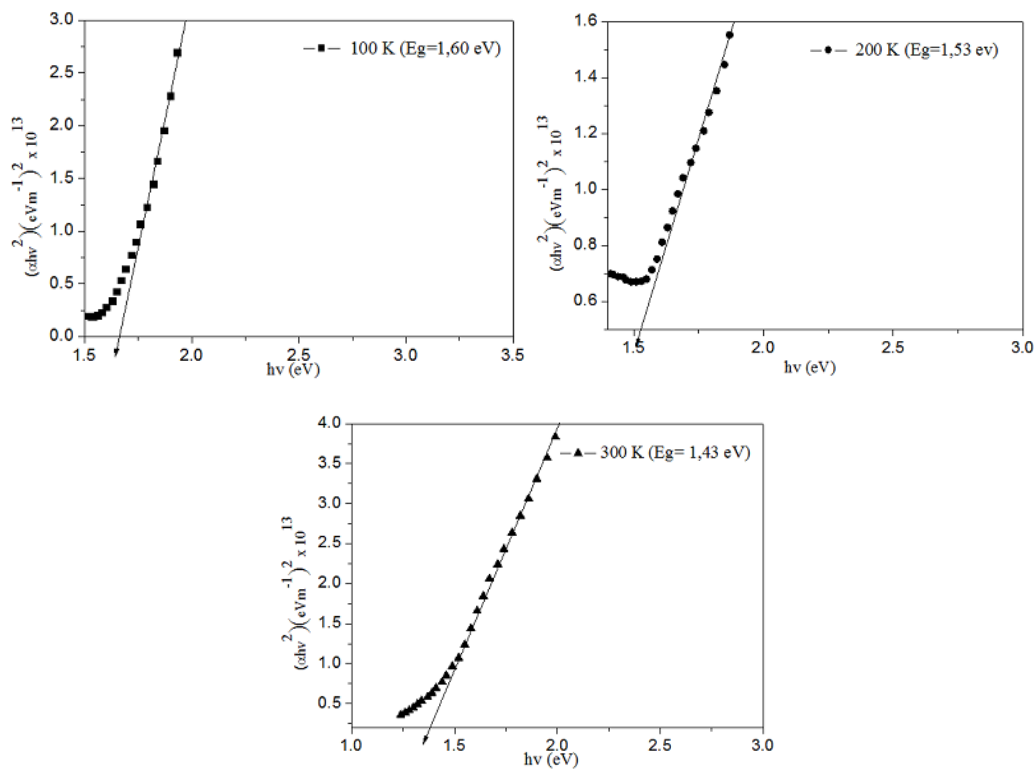


Figure 5. Variation graphs of $(\alpha hv)^2$ of CdTe films according to photon energy

Table 1. Energy band gap values of CdTe films produced at different substrate temperatures

Substrate Temperature (K)	Energy Band Gap (eV)
300	1.43
275	1.43
250	1.48
225	1.51
200	1.53
175	1.53
150	1.54
125	1.55
100	1.60

Carrier density values of CdTe films produced at different substrate temperatures are given in Table 2. From the table, it was seen that the carrier density values decreased from $1.30 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ at 300 K to $5.6 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ at 100 K with decreasing substrate temperature. It is known that the CdTe carrier density value varies between 10^{15} and 10^{17} cm^{-3} [16]. In addition, it has been observed that the resistivity values of the produced films vary between $\rho = 6.63 \times 10^3 - 7.25 \times 10^3 \text{ Ohm.cm}$ with the change of substrate temperature.

Table 2. Carrier density values of CdTe films produced at different substrate temperatures

Substrate Temperature (K)	Carrier Density (cm ⁻³)
300	1.30×10^{18}
275	8.48×10^{17}
250	6.71×10^{17}
225	3.79×10^{17}
200	5.68×10^{16}
175	2.64×10^{16}
150	2.32×10^{16}
125	1.50×10^{16}
100	5.60×10^{15}

The electrical conductivity type was determined in the films produced by using the hot point probe method and Hall measurements. From the results obtained, it was determined that the CdTe film produced at 175 K substrate temperature had more stable p-type electrical conductivity.

CONCLUSION

The characterization of CdTe films obtained at different evaporation times by the effect of cryogenic substrate was performed. It was determined that CdTe films produced from XRD patterns at all substrate temperatures mainly grew in cubic structure. The thickness of the CdTe films was found to be approximately 250 nm for all substrate temperatures. It was determined that the optical transmittance values increased with the decrease of substrate temperature. When the results are examined, it has been seen that films with controlled electrical conductivity (n-type and p-type) in semiconductor groups with high vapor pressure (such as CdTe, CdS, ZnS, CdSe, ZnSe, TeSe) can be produced with the effect of cryogenic substrate and can be used in the manufacture of photodevices with low cost.

REFERENCES

- [1] De Vos, A., Parrott, J., Baruch, P., Landsberg, P. (1994). Bandgap effects in thin-film heterojunction solar cells. Proceeding 12th European Photovoltaic Solar Energy Conference. Amsterdam, 1315-1319.
- [2] Nykyruy, L. I., Yavorskyi, R. S., Zapukhlyak, Z. R., Wisz, G., Potera, P. (2019). Evaluation of CdS/CdTe thin film solar cells: SCAPS thickness simulation and analysis of optical properties. Opt. Mater. (Amst), 92, 319-329.
- [3] Hu, P., Li, B., Feng, L., Wu, J., Jiang, H., Yang, H. & Xiao, X. (2012). Effects of the substrate temperature on the properties of CdTe thin films deposited by pulsed laser deposition. Surface and Coatings Technology. 213. 84–89. 10.1016/j.surfcoat.2012.10.022.
- [4] Birkmire, R., McCandless, B. (2010). CdTe thin film technology: Leading thin film PV into the future. Current Opinion in Solid State & Materials Science - Curr Opin Solid State Mat Sci. 14. 10.1016/j.cossms.2010.08.002.
- [5] Bosio, A., Romeo, N., Mazzamuto, S., Canevari, V. (2006). Polycrystalline CdTe Thin Films for Photovoltaic Applications. Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials. 52. 247-279. 10.1016/j.pcrysgrow.2006.09.001.
- [6] Chou, H. C., Rohatgi, A., Jokerst, N. M., Thomas, E. W., Kamra, S. (1996). Copper migration in CdTe heterojunction solar cells. J. Electr. Mater. 25 (7), 1093-1098.
- [7] Muzafarova, S. A. (2008). Volt-ampere characteristics of n-CdS-p-CdTe heterostructures with intermediate solid solution. Proceedings of the VI International Scientific and Technical Conference, October 21-23, 2008.

- [8] Wu, X. (2004). High-Efficiency Polycrystalline CdTe Thin-Film Solar Cells. *Solar Energy*. 77. 803-814. 10.1016/j.solener.2004.06.006.
- [9] Khrypunov, G. S. (2005). Structural mechanisms of photoelectric properties optimization in the CdS/CdTe thin film heterosystems, *FTP*, 39 (10), 1266-1270.
- [10] Bacaksiz, E., Altunbaş, M., Yılmaz, S., Tomakin, M., Parlak, M. 2007. Effects of CdCl₂ treatment on properties of CdTe thin films grown by evaporation at low substrate temperatures. *Cryst. Res. Technol.*, 42 (9), 890-894.
- [11] Britt J. and Ferekidis, C. (1993). Thin-film CdS/CdTe solar cell with 15.8% efficiency. *Appl. Phys. Lett.* 62, 2851–2852. <https://doi.org/10.1063/1.109629>
- [12] Romeo, N., Basio, A., Tedeschi, R. and Canevari, V., *Mater. Chem. Phys.* 66, 201–206 (2000).
- [13] Khan, Z.R., Zulfequar, M. and Khan, M.S. (2012). Structural, optical, photoluminescence, dielectric and electrical studies of vacuum-evaporated CdTe thin films. *Bull. Mater. Sci.*, Vol. 35 (2), 169-174.
- [14] Nowak, M., (1995). Linear distribution of intensity of radiation reflected from and transmitted through a thin film on a thick substrate. *Thin Solid Films*, 266, (2) 258-262.
- [15] Khairnar, U., Bhavsar, D., Vaidya, R., Bhavsar, G. (2003). Optical properties of thermally evaporated cadmium telluride thin films. *Materials Chemistry and Physics - Mater Chem Phys.* 80. 421-427. 10.1016/S0254-0584(02)00336-X.
- [16] Biswas, K., Du, M. (2012). What Causes High Resistivity in CdTe. *New Journal of Physics.* 14. 10.1088/1367-2630/14/6/063020.



RECYCLING APPLICATIONS IN Si BASED SOLAR CELL

Melih MANIR

Recep Tayyip Erdogan University, Engineering and Architecture Faculty, Department of Energy Systems Engineering, Rize, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5791-8937>

Gamze GENÇ

Erciyes University, Engineering Faculty, Department of Energy Systems Engineering, Kayseri, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1133-2161>

Derya BAL ALTUNTAŞ

Recep Tayyip Erdogan University, Engineering and Architecture Faculty, Department of Bioengineering, Rize, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6544-6271>

Murat TOMAKİN

Recep Tayyip Erdogan University, Arts and Sciences Faculty, Department of Physics, Rize, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1887-848X>

Vagif NEVRUZOĞLU

Recep Tayyip Erdogan University, Engineering and Architecture Faculty, Department of Energy Systems Engineering, Rize, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8758-4760>

ABSTRACT

Today, electronic devices (photodiodes and solar cells) that are running out of efficient life are thrown into the environment and trigger global warming. In this study, the protective glass surface of a commercial n-Si/p-Si amorphous solar cell whose photovoltaic parameters decreased over time was coated with nano-sized Ag layer to gain plasmonic properties. Photovoltaic parameters ($J_{SC} = 1.664 \text{ mA/cm}^2$, $V_{OC} = 1.567 \text{ V}$, $P_{max} = 0.465 \text{ mW/cm}^2$, $FF = 0.178$ and $\eta = 0.5$) of the investigated solar cell before the experimental applications were determined. Then, Ag layers were formed on the glass surface at different substrate temperatures (100-300 K), and the production regime in which the effective surface plasmon resonance (SPR) event occurred was determined by optical measurements. FESEM images showed that Ag layer produced at 200 K substrate temperature was formed by soliton growth mechanism. However, an effective SPR event at a wavelength of 470 nm was observed in the Ag layer coated for 20 seconds. In the next step of the study, the protective glass surface of the solar cell was covered with Ag at 200 K for 20 seconds, and the solar cell was given plasmonic properties. The values of photoelectric parameters ($J_{SC} = 1.751 \text{ mA/cm}^2$, $V_{OC} = 1.599 \text{ V}$, $P_{max} = 0.550 \text{ mW/cm}^2$, $FF = 0.196$ and $\eta = 0.591$) in the designed new solar cell were determined and an increase of 18.2% was found in the efficiency value. The results obtained showed that it is possible to bring photodevices that have exhausted their useful life back into production with the effect of cryogenic substrate.

Keywords: Solar Cell, Cryogenic Effect, SPR, Ag.

INTRODUCTION

The gradual decrease of fossil fuels and their negative contributions to the environment have made the use of alternative energy sources important. In this context, it is seen that studies on renewable energy sources are included in the priority area. Si-based solar cells available on the market have been mass produced since the 1960s. It is known that the efficient use of these solar cells is 15-20 years. On the other hand, it is understood that these chemical-containing solar cells, which have completed their efficient use period, can generate hundreds of thousands of tons of waste.

Among the renewable energy sources, solar energy has an important potential. In this context, researchers focused their studies on solar cells. However, the biggest problem seen in solar cells is that their efficiency decreases in a short time as well as their costs [1]. Today, silicon (Si) wafer-based technology (first generation), thin-film technologies such as Si, CdTe, CIGS (second generation) and polymer, perovskite, dye-sensitized

solar cells (third generation) are used [2]. The main purpose of all studies on solar cells is to reduce costs and increase efficiency.

As it is known, some metallic nanoparticles (Ag, Au, Cu and Al) are characterized by surface plasmon resonance phenomenon (SPR) at visible wavelength [3,4,5]. The plasmon resonance wavelength shifts blue with decreasing particle size and bandwidth, generally increasing with decreasing particle size [6]. However, below a certain grain size, plasmon resonance does not occur [7]. When the metallic nanoparticle acquires a plasmonic feature, more charge carriers are provided in the environment. This situation causes the photovoltaic parameters to increase in photodevices. For an effective plasmonic event to occur, metallic nanoparticles must be of equal size and spherical shape [8]. In order to realize this situation, it is important to produce films using the cryogenic substrate effect. With the effect of cryogenic substrate, the film formation takes place by the soliton growth mechanism. The soliton growth mechanism is based on the interactions between the dislocations occurring in the substrate-film interface region and the particles placed on the surface [9]. As a result of the interactions, it creates soliton waves with non-linear properties that allow the particles to move without loss of energy due to their mass-carrying property. Soliton waves cause only critically sized particles to form. This causes the film to have a homogeneous particle size [10].

In this study, the recycling of a Si-based solar cell that has exhausted its efficient life span is discussed. In this application, a newly designed cryogenic substrate effect mechanism is used. In this direction, the protective glass surface of the solar cell was covered with Ag nanoparticles with a new method and the solar cell was given the plasmonic effect feature.

EXPERIMENTAL METHOD

The difference of the new method used in the study from other methods is that the coating process is carried out on cooled substrate surfaces. Film formation on the cooled substrate surface occurs in clusters of equal size. This is because the layers are formed by the soliton growth mechanism. In addition, more effective plasmonic events occur in nano-sized metallic layers coated with this method. A schematic model of the cryogenic substrate assembly is given in Figure 1. Substrate were mounted on the sample holder and substrate temperatures were monitored using thermocouples. When the pressure of 6×10^{-6} Torr was reached, the substrate was cooled with liquid nitrogen through the substrate cooler made of copper tube.

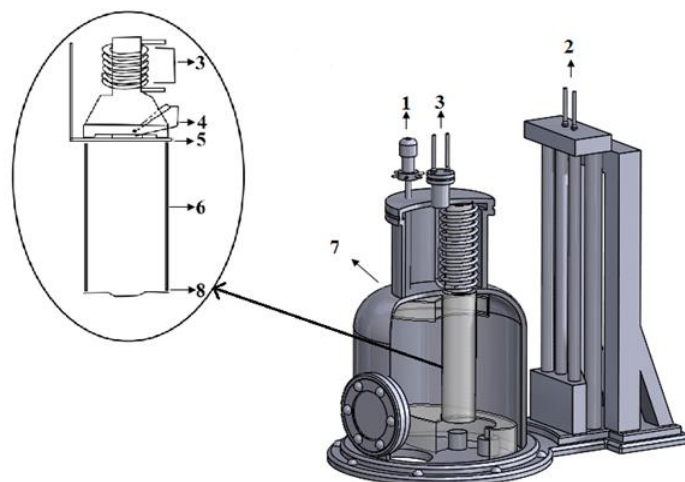


Figure 1. Schematic drawing of vacuum chamber and evaporation apparatus (1. Window adjustment lever, 2. Vacuum chamber height adjustment lever, 3. Liquid nitrogen inlet, 4. Thermocouple, 5. Adjustable window, 6. Quartz reactor, 7. Vacuum chamber, 8. Evaporative source).

In Figure 2, the schematic model of the commercially available Si-based solar cell is given.

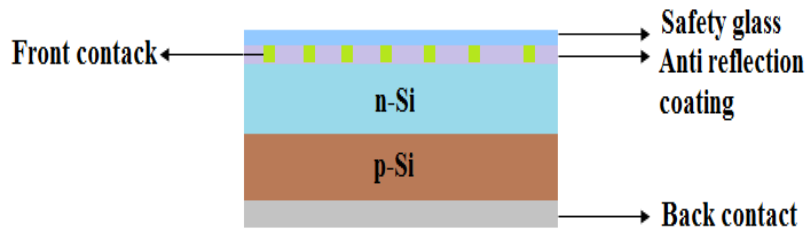


Figure 2. Commercially produced Si-based solar cell structure.

In the first stage of the study, Ag layers were produced at different substrate temperatures (300-100 K) on the surface of glass substrates. Then, the characteristics of the layers were examined. XRD analysis was performed using Rigaku brand SmartLab x-ray diffractometer. $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1.5408 \text{ \AA}$) was used as the X-ray source. The analysis was performed at room temperature, in the range of $30^\circ \leq 2\theta \leq 70^\circ$, in steps of 0.02° . SEM images of Ag thin films were taken with Jeol JSM 6610. SpectraMax M5 spectrophotometer was used for optical measurements of Ag thin films. Photovoltaic measurements of the solar cell were carried out using a solar simulator (Keithley 2410) under an illumination intensity of 93 mW/cm^2 .

RESULTS AND DISCUSSION

From the X-ray diffraction patterns, it was determined that the Ag layer grew in cubic structure (PDF Card No: 00-004-0783). From the FESEM images given in Figure 3, it is seen that the films grow as islets at a substrate temperature of 300 K. At a substrate temperature of 200 K, the films consist of clusters of equal size. This shows that the films are formed by a soliton growth mechanism at a substrate temperature of 200 K.

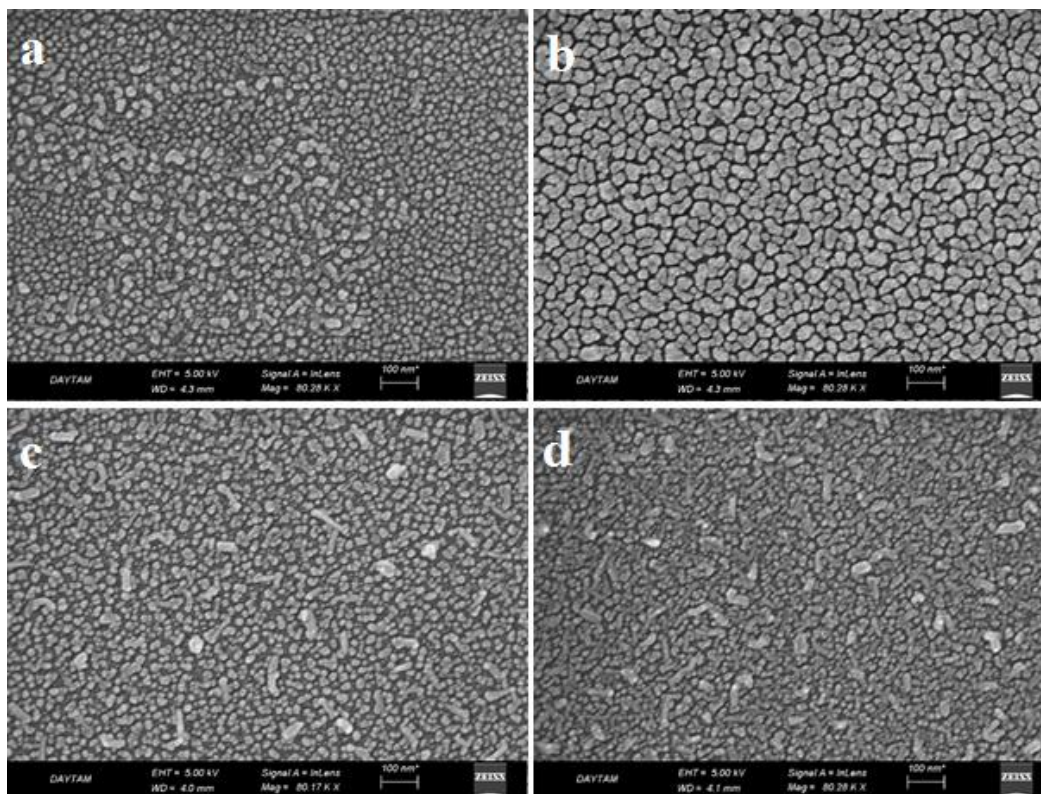


Figure 3. FESEM images of Ag thin films prepared at a) 300 K 10 s b) 300 K 20 s, c) 200 K 10 s, d) 200 K 20 s.

In Figure 4, optical transmission spectra of Ag layers formed at different times (5 s, 10 s, 15 s, 20 s, 25 s, 30 s) on the glass surface at 200 K substrate temperature are given. As can be seen, SPR event occurs at wavelengths of 450-550 nm in Ag layers. The most important point in this spectrum is that the SPR event shifts to longer wavelengths as the evaporation process progresses. This is due to the change in grain size in the films. However, it is seen that the optical transparency values are very high. By Pillai et al. obtained similar results for Ag nanoparticles deposited by thermal evaporation [1]. As is known, the surface plasmon resonance behavior depends on the size and shape of the nanoparticles, the dielectric functions of the relevant medium, and the electromagnetic interaction between them [11, 12]. The plasmon resonance wavelength of the spherical Ag nanoparticles can be adjusted between 400 and 530 nm by varying the particle size and the local refractive index near the particle surface, and also the peak position for Ag nanoparticles in rod or plate shapes is shifted to the infrared region [13,14,15,16]. The interesting result in this study is a shift of the plasmon peak position from 500 to 470 nm for the 20 s plating time at 200 K. The results obtained show the existence of an optimum value for the particle size.

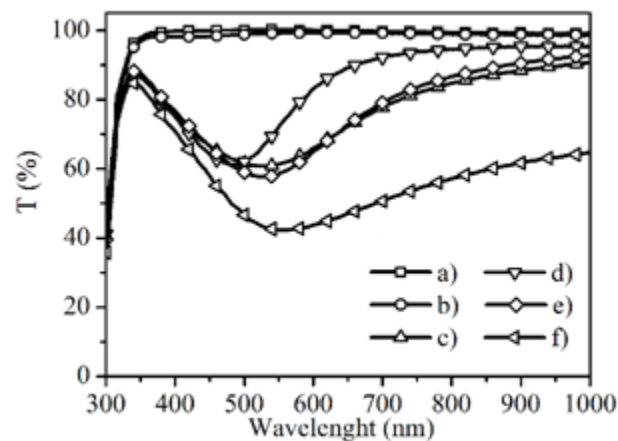


Figure 4. Optical transmission spectra of Ag thin films prepared on glass substrates at 200 K for different coating times (a. 5 s, b. 10 s, c. 15 s, d. 20 s, e. 25 s, f. 30 s)

Figure 5 shows the Ag nanoparticle coated Si-based solar cell model.

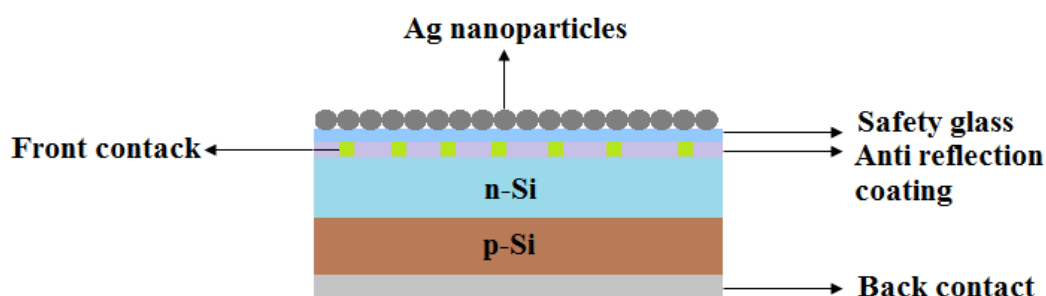


Figure 5. Ag nanoparticle coated Si-based solar cell model

In Figure 6, the variation of the photocurrent according to the wavelength in the solar cell coated with Ag at different times at 200 K substrate temperature is given. As can be seen from the figure, the solar cell coated for 20 seconds exhibits the highest spectral sensitivity in photocurrent density.

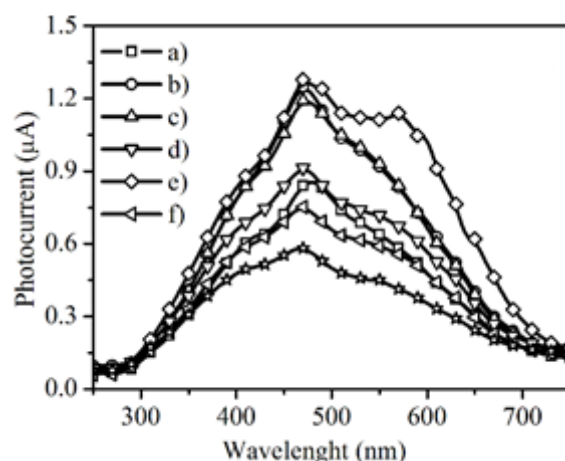


Figure 6. Photocurrent spectrum of Ag coated solar cell at 200 K substrate temperature a) Uncoated, b) 5 s, c) 10 s, d) 15 s, e) 20 s, f) 25 s and g) 30 s coating time

In Table 1, the values of photovoltaic parameters of Ag coated solar cells are given. By examining the experimental results obtained, it was decided that it would be more appropriate to cover the protective glass surface of the solar cell for 20 seconds at a substrate temperature of 200 K. This result is consistent with the optical transmittance and photocurrent results.

Table 1. Photovoltaic parameters of uncoated and Ag coated solar cells at 200 K substrate temperature for different durations

Evaporation Time	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	P_{max} (mW/cm ²)	FF	η (%)
Uncoated	1.664	1.567	0.465	0.178	0.500
5 s	1.709	1.583	0.495	0.183	0.532
10 s	1.796	1,614	0.547	0.189	0.588
15 s	1.593	1.599	0.502	0.197	0.540
20 s	1,751	1.599	0.550	0.196	0.591
25 s	1.706	1.594	0.524	0.193	0.563
30 s	1.577	1.587	0.510	0.204	0.548

CONCLUSION

With this study, it has been understood that it is possible to recycle photodevices that have completed their productive life by using the cryogenic substrate effect technique. It was determined that there was an 18.2% increase in photovoltaic parameters in the solar cell model examined under 93 mW/cm² illumination. It is thought that the widespread use of this new method in production technologies may contribute to the environment. Thus, it can be said that metallic thin films with homogeneous nano-sized particles can be formed with the cryogenic substrate method and an optimal plasmonic effect can be obtained for a critical particle size-thickness ratio.

REFERENCES

- [1] Habas S.E, Platt H.A, van Hest M.F, Ginley D.S. Low-cost inorganic solar cells: from ink to printed device. *Chem Rev.* 2010 Nov 10;110(11):6571-94. doi: 10.1021/cr100191d.
- [2] Manir, M., Nevruzoglu, V., Tomakin, M. (2021). The investigation of stability of n-CdS/p-Cu₂S solar cells prepared by cold substrate method. *Semiconductor Science and Technology.* 36. 10.1088/1361-6641/abe05c.
- [3] Lee K.C., Lin S.J., Lin C.H., Tsai C.S., Lu Y.J. Size effect of Ag nanoparticles on surface plasmon resonance. *Surf. Coat. Technol.* 2008;202:5339–5342. doi: 10.1016/j.surfcoat.2008.06.080.

- [4] Nevruzoglu, V., Manir, M., & Ozturk, G. (2020). Investigation of the electrical properties of AG/N-SI schottky diode obtained by two different methods. *Journal of Ceramic Processing Research*, 21(2), 256-262. doi:10.36410/jcpr.2020.21.2.256
- [5] Oulton R. F. (2012). Surface plasmon lasers: sources of nanoscopic light. *Mater. Today* **15**, 26–34. doi.org/10.1016/S1369-7021(12)70018-4
- [6] Moinul, I.M., Sankar, M., Srijit, B. (2018). Investigation of the Growth Kinetics and Multipolar Plasmonic Properties of Silver Nanoparticle Cluster by Experiment and Numerical Simulations. *Plasmonics*. 13, 1803–10. 10.1007/s11468-018-0694-6.
- [7] Peiris S., McMurtrie J. and Zhu H Y. (2015). Metal nanoparticle photocatalysts: emerging processes for green organic synthesis. *Catal. Sci. Technol.* **6**, 320–38. doi.org/10.1039/C5CY02048D
- [8] Gür, E., Baltakesmez, A., Tüzemen, S., Yenisooy, A. (2015). "Improved growth quality of the ZnO thin films on Au nano-particles/p-Si", IEEE Regional Symposium on Micro and Nanoelectronics (RSM), Kuala-Terengganu, Malezya, 19-21 Ağustos, 321-324.
- [9] Belyaev, A.P., Rubets, V.P. and Kalinkin, I.P. (2003). "Soliton Heteroepitaxy" in The Formation of Epitaxial Films of II-VI Compounds Under Highly Nonequilibrium Conditions, *Mater. Phys. Mech.*, 6, 58-62.
- [10] Belyaev, A.P. and Rubets, V.P. (2001). Heteroepitaxy of II–VI compound semiconductors on cooled substrates. *Semiconductors*, 35, 279-282.
- [11] Kelly, K.L., Coronado, E., Zhao, L.L., and Schatz, G.C. (2003). The Optical Properties of Metal Nanoparticles: The Influence of Size, Shape, and Dielectric Environment. *The Journal of Physical Chemistry B*. 107 (3), 668-677 doi: 10.1021/jp026731y
- [12] Kreibig, U., Vollmer, M. *Optical Properties of Metal Clusters*, 25th edn. (Springer, Berlin, 1995)
- [13] Ho, W.J., Fen, SK., Liu, JJ. Plasmonic effects of silver nanoparticles with various dimensions embedded and non-embedded in silicon dioxide antireflective coating on silicon solar cells. *Appl. Phys. A* 124, 29 (2018). <https://doi.org/10.1007/s00339-017-1451-y>
- [14] Lufsyi, M., Edi, S., Agung, U., Kamsul A. (2015). Optical Properties of Silver Nanoparticles for Surface Plasmon Resonance (SPR)-Based Biosensor Applications. *Journal of Modern Physics*. 06. 1071-1076. 10.4236/jmp.2015.68111.
- [15] Ma, Y.-W., Zhang, Y., Wu, Z.-W., Zhang, L.-H., Zhang, J., Jian, G.-S., Wu, S.-F. (2009). Theoretical studies of the optical properties of plasmon resonance on silver nanoparticles in the near-field optics. *Appl. Phys.* 105, 103101
- [16] Mankad, V., Kumar, R. & Jha, P. (2013). Investigation of Blue-Shifted Plasmon Resonance: An Optical Properties Study of Silver Nanoparticles. *Nanoscience and Nanotechnology Letters*. 5, 1.



INFLUENCE OF SiO₂ NANOPARTICLE DOPING ON THE OPTICAL CHARACTERISTICS OF SOLUTION BASED METAL OXIDES THIN FILMS

İmran KANMAZ

Department of Renewable Energy Resources/Technologies, Karadeniz Technical University, 61080 Trabzon, Turkey
ORCID ID: 0000-0001-8827-1590

Abdullah ÜZÜM

Department of Electrical and Electronics Engineering, Karadeniz Technical University, 61080 Trabzon, Turkey
Department of Renewable Energy Resources/Technologies, Karadeniz Technical University, 61080 Trabzon, Turkey
ORCID ID: 0000-0001-5324-8892

ABSTRACT

HfO₂-SiO₂ mixed solutions and SiO₂ solutions doped with smaller size SiO₂-nanoparticles were analyzed. Thin films were formed on p-type crystalline silicon (c-Si) substrates by spin coating technique. The lowest average reflectance of the c-Si surfaces coated with SiO₂-nanoparticle doped SiO₂ thin films was 16% with minimum of 9.9% which is significantly lower than that of the bare silicon surface (~40%). For the c-Si surfaces coated with SiO₂-nanoparticle doped HfO₂-SiO₂ mixed solution based thin film, lowest average reflectance was 15.7% and the minimum was 5.9%. Effective carrier lifetime of the samples coated with HfO₂-SiO₂ mixed solution based thin films with SiO₂ nanoparticles were lower than that of the samples coated with SiO₂ based thin films. Afors-Het solar simulation program was used to assess the effect of the coated films on the crystalline solar cell performances. Power conversion efficiency of 11.68% was confirmed for the solar cells which has no antireflection coating on the illuminated surface. For example, efficiency could be improved up to 16.56% with the effect of SiO₂-nanoparticle doped SiO₂ thin films as antireflection coating. On the other hand, efficiency of 16.62% was achieved with the effect of SiO₂-nanoparticle doped HfO₂-SiO₂ mixed solution thin films as an antireflection coating.

Keywords: Silicon dioxide, nanoparticles, hafnium oxide, reflectance, solar cells

1. INTRODUCTION

Considering the working mechanism of a solar cell, some of the photons coming to the surface pass through the cell and can produce carriers to contribute current when the solar cell is illuminated, while some portion of the photons would be reflected from the surface. Reducing the reflected rays to a minimum, increases the power conversion efficiency of the solar cell. Minimizing the reflection losses in solar cells can be achieved by coating the surface of the solar cell with anti-reflective coatings. SiN_x is the commonly used anti-reflective coating, as there are numerous of research for alternative dielectric materials such as SiO₂, Al₂O₃, HfO₂, TiO₂ and ZrO₂ etc. [1-6]. In addition, passivation of the surface and bulk is another important parameter to increase the efficiency of the solar cell [7]. Physical vapor deposition, atomic layer deposition, sputtering, vacuum thermal evaporation, electron beam evaporation, laser beam evaporation, chemical bath deposition and sol-gel methods can be used as thin film coating techniques. [8-11]. Solution processible methods have some advantages compared to other methods such as more affordable cost, easy coating and achieving homogeneous films [12].

In this study, SiO₂ nanoparticle doped into SiO₂ and HfO₂-SiO₂ (1:1) solutions and thin films were coated on the p-type c-Si surface using the spin coating method. Anti-reflection and passivation properties of resulted thin films on silicon substrates were investigated. The structural, optical, and electrical characteristics of the thin films were analyzed by reflectivity measurements, carrier lifetime measurements, scanning electron microscopy (SEM) measurements and solar cell simulations.

2. EXPERIMENTAL

In this study, p-type CZ-Si (100) substrates with a size of 2 cm × 2 cm and a thickness of 725 μm were used for reflectance studies. The anti-reflective effects of single-layer SiO₂/p-Si, HfO₂-SiO₂/p-Si structures were investigated by using SiO₂ nanoparticle (Nprt) dispersion in water (28 nm, 26 wt%) doped SiO₂ and HfO₂-SiO₂ mixture solutions. After adding smaller-diameter SiO₂Nprt to the SiO₂ solution prepared according to our previous work [13] it was mixed with a magnetic stirrer for 10 minutes at a substrate temperature of 50°C to make it ready for the coating process. For SiO₂-Nprt doped SiO₂ films, the doping ratios of SiO₂-SiO₂Nprt (40:1), (20:1), (5:1), SiO₂-SiO₂Nprt (2:1), SiO₂-SiO₂Nprt (1:1) were carried out. The coating process was performed by the spin coating technique. SiO₂Nprt doped SiO₂ thin films were coated on a p-type Si substrate at 4000 rpm for 30 seconds. Annealing temperature was 950°C and annealing time was 7 minutes [13]. For SiO₂-Nprt doped HfO₂-SiO₂ films, after adding SiO₂Nprt solution at the ratios of (HfO₂-SiO₂)-SiO₂Nprt (40:1), (20:1), (10:1), (5:1) into the HfO₂-SiO₂ solution (prepared according to our previous work [14], it was mixed with a magnetic stirrer at 50°C for 10 minutes. After forming of the films with a coating speed of 3500rpm, annealing was performed for 90 min at the annealing temperature of 700°C [14]. The passivation effects were also investigated by preparing sandwich-layers: SiO₂/p-Si/SiO₂ and HfO₂-SiO₂/p-Si/HfO₂-SiO₂. In the passivation experiments, double-sided polished p-type CZ-Si (100) substrates with a size of 3.5 cm × 3.5 cm and a thickness of 525 μm were used. The substrates were ultrasonically cleaned with ethanol and water subsequently, and air-dried for 15 min, then cleaned in HF acid (diluted 1:5 by volume), followed by a rinse in distilled water. Finally, the air-drying process was applied again before the coating process. Both surfaces of the substrates were coated with the spin coating method and similar thermal treatments were carried out as in reflectance studies.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The reflectance-wavelength graph of SiO₂Nprt doped SiO₂ thin films in ratios of SiO₂-SiO₂Nprt (40:1) and SiO₂-SiO₂Nprt (5:1) and SiO₂Nprt doped HfO₂-SiO₂ thin films in ratios of HfO₂-SiO₂/SiO₂Nprt (5:1), HfO₂-SiO₂/SiO₂Nprt (10:1), HfO₂-SiO₂/SiO₂Nprt (20:1) and HfO₂-SiO₂/SiO₂Nprt (40:1) from which homogeneous films are obtained are shown in Figure 1, and the values of the measurements are shown in Table 1. The minimum reflectance values of SiO₂-SiO₂Nprt (40:1) and SiO₂-SiO₂Nprt (5:1) samples were measured as 9.90% (at 650 nm) and 18.40% (at 520 nm), respectively.

The average and minimum reflectance values were deteriorated as the content of SiO₂Nprt increases in the HfO₂-SiO₂ mixture solution. The average and minimum reflectance values for the HfO₂-SiO₂/SiO₂Nprt (40:1) sample with the lowest doping ratio are 15.72% and 5.90%, respectively, while the HfO₂-SiO₂/SiO₂Nprt (5:1) sample with the highest doping ratio for these values were measured as 25.07% and 16.60%, respectively. Moreover, average reflectance of the silicon surface coated with the SiO₂-SiO₂Nprt (40:1) solution was 16% after annealing process which is >3% lower than that of the reflectance of the wafers coated with prepared SiO₂ solution [13].

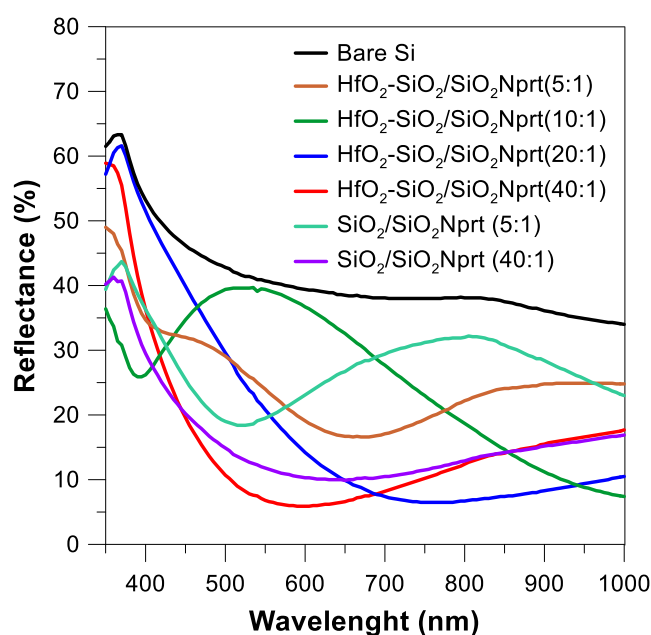


Figure 1. Reflectance graphs of the silicon surface covered with SiO₂Nprt doped SiO₂ and SiO₂Nprt doped HfO₂-SiO₂ thin films depending on the doping ratio.

Table 1. Reflection values of SiO₂Nprt doped SiO₂ and HfO₂-SiO₂ mixture thin films depending on doping ratio

Sample	Average. Ref. (350-1000 nm)	Min. Ref (%)	Min. Ref. point (nm)
Bare Si	41.04	34.00	1000
HfO ₂ -SiO ₂ /SiO ₂ Nprt (5:1)	25.07	16.60	675
HfO ₂ -SiO ₂ /SiO ₂ Nprt (10:1)	25.63	7.40	1000
HfO ₂ -SiO ₂ /SiO ₂ Nprt (20:1)	19.16	6,50	765
HfO ₂ -SiO ₂ /SiO ₂ Nprt (40:1)	15.72	5.90	598
SiO ₂ -SiO ₂ Nprt (5:1)	27.80	18.40	520
SiO ₂ -SiO ₂ Nprt (40:1)	16.00	9.90	650

The surface morphology of SiO₂Nprt doped SiO₂ thin films and SiO₂Nprt doped HfO₂-SiO₂ thin films formed on c-Si substrate are shown in Figure 2. In SiO₂Nprt doped coatings, a surface with cracks is observed with its porous particulate structure (Figure 2a-b) which can be due to forming of denser films due to the smaller size doped particles and the increased stress at high temperature. Also, the surface morphology of the HfO₂-SiO₂/SiO₂Nprt (5:1) thin film coated on the c-Si surface with a coating speed of 3500 rpm and annealed at 700°C for 90 min is shown in Figure 2c-d. It is seen that a thin film of nanoparticles is formed and has a porous structure.

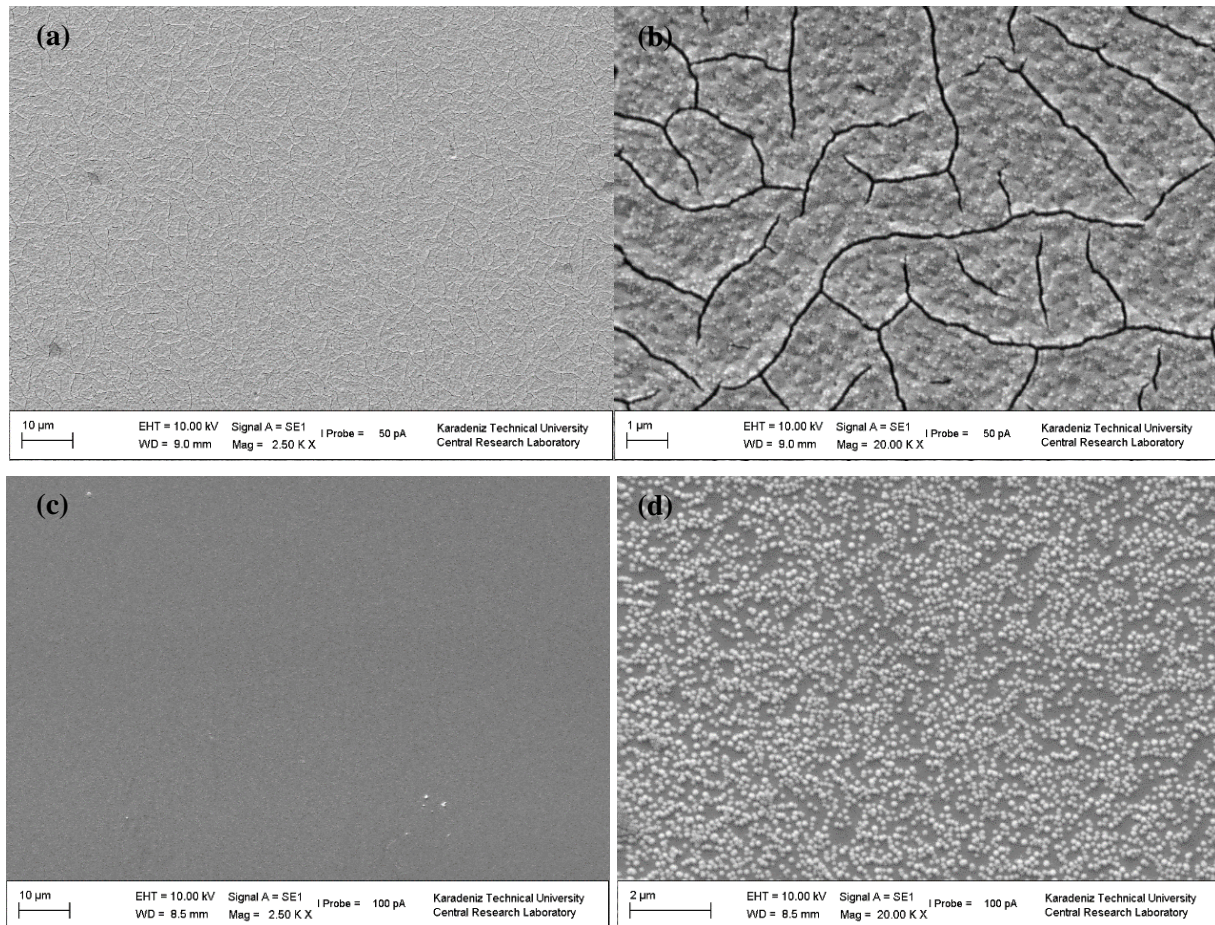


Figure 2. SEM images of SiO₂Nprt doped SiO₂ thin films (a-b) and SiO₂Nprt doped HfO₂-SiO₂ thin films (c-d)

Figure 3a shows the graph of effective carrier lifetime vs. minority carrier density of the sandwiched p-type c-Si wafer with thin films formed by SiO₂Nprt doped or non-doped solutions. Carrier lifetimes measured on such structures with SiO₂ thin films on both sides corresponding to the 10¹⁴ cm⁻³ minority carrier density value was measured as 7.29. The effective carrier lifetime for the structures with SiO₂/SiO₂Nprt (40:1) thin film was 6.04 μs, while it was 2.88 μs for the structures with HfO₂-SiO₂/SiO₂Nprt (40:1). According to these results, one can conclude that the SiO₂Nprt additive has a passivation effect compared to the bare silicon surface without any coating (~2 ms) but shows less effect when compared with undoped counterpart. Implied V_{oc} (iV_{oc}) values changes accordingly with the lifetime of the samples (Figure 3b).

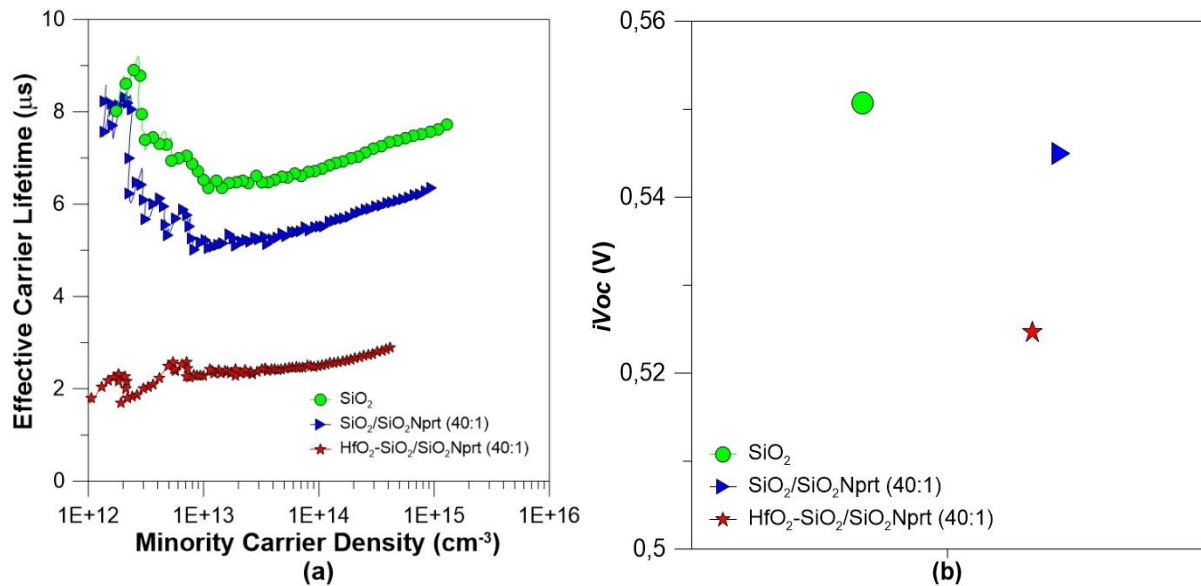


Figure 3. Effective carrier lifetimes vs. minority carrier density (a) and iV_{oc} values (b) for optimum solutions SiO_2 , $\text{SiO}_2/\text{SiO}_2\text{Nprt}$ (40:1) and $\text{HfO}_2\text{-SiO}_2/\text{SiO}_2\text{Nprt}$ (40:1)

The antireflection effect of SiO_2Nprt doped thin films on c-Si solar cells was investigated using Afors-Het software [15] as well. Efficiency values for the c-Si solar cell were obtained by setting initial parameters such as emitter thickness, emitter doping concentration, base thickness, base doping concentration, series resistance, parallel resistance, back surface field (BSF) thickness, BSF doping concentration, as shown in Table 2, together with the average reflectance values obtained for each thin film prepared.

Table 2. Initial parameters for simulated c-Si solar cells

Emitter thickness (μm)	0.3
Emitter doping concentration (cm^{-3})	1×10^{20}
Base Thickness (μm)	200
Base doping concentration (cm^{-3})	1.5×10^{16}
BSF doping concentration (cm^{-3})	1.0×10^{19}
BSF Thickness (μm)	7
Serial resistance (Ωcm^2)	0.8
Parallel resistance (Ωcm^2)	10000

The J-V graphs of the solar cells with SiO_2 , $\text{HfO}_2\text{-SiO}_2$ (1:1) and SiO_2Nprt doped thin films on the illuminated surface is shown in Figure 4. In addition, the characteristic parameters of each solar cell are summarized in Table 3 where the power conversion efficiency (PCE) and electrical parameters of the solar cell without anti-reflective coating was compared with those of the cells with an anti-reflective layer. Best average reflectance values of SiO_2Nprt doped SiO_2 and SiO_2Nprt doped $\text{HfO}_2\text{-SiO}_2$ (1:1) coated surfaces in this study were used for the simulations. Values of previously achieved undoped SiO_2 and $\text{HfO}_2\text{-SiO}_2$ (1:1) [13, 14] coated surfaces were used as well for the solar cell simulations for comparison purposes. In the case of $\text{SiO}_2/\text{SiO}_2\text{Nprt}$ (40:1) thin film applied on to the solar cell, an increment of 0.7% in efficiency achieved as a result of increase in the short circuit density (J_{sc}) from 28.33 to 29.47 mA/cm^2 and the open circuit voltage (V_{oc}) from 693.40 to 694.40 mV when comparing to pure SiO_2 thin film applied on the surface solar cell.

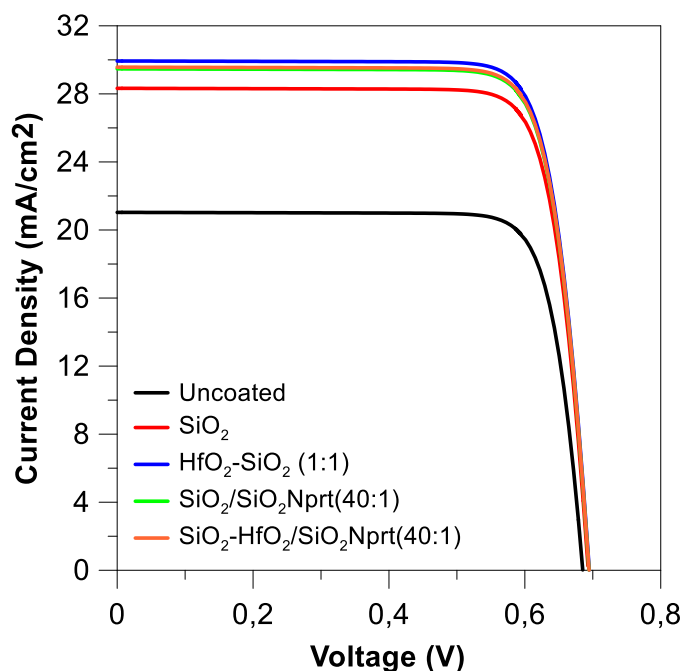


Figure 4. J-V graphs of simulated c-Si solar cells depending on the thin film coating on the surface of the solar cells

Table 3. Electrical characteristics of SiO₂, HfO₂-SiO₂ (1:1) and SiO₂Nprt doped thin film coated solar cells

Anti-reflection Coating	J _{sc} (mA/cm ²)	V _{oc} (mV)	FF (%)	Eff (%)
Uncoated	20.87	685.1	81.64	11.68
SiO ₂	28.33	693.4	81.01	15.91
HfO ₂ -SiO ₂ (1:1)	29.93	694.9	80.88	16.82
SiO ₂ /SiO ₂ Nprt (40:1)	29.47	694.4	80.92	16.56
HfO ₂ -SiO ₂ (1:1)/SiO ₂ Nprt (40.1)	29.57	694.5	80.91	16.62

Similar effects of decreasing reflections on the surface of solar cells and increasing J_{sc} and V_{oc} on PCE have been reported practically in the literature [16, 17]. This confirms the importance and great impact of anti-reflection coatings on the solar cell. All simulated solar cells with SiO₂, HfO₂-SiO₂ (1:1) and SiO₂Nprt doped thin films show an anti-reflective effect and increase the PCE. These results suggest that the SiO₂Nprt doping into the SiO₂ solution may decrease the passivation effect of the thin films formed on the p-type silicon substrate but decreasing the surface reflection of incoming light can increase the overall solar cell efficiency.

4. CONCLUSION

Doping effect of smaller size SiO₂-nanoparticles into the separately prepared SiO₂ and HfO₂-SiO₂ mixed solutions was investigated in this work. Thin films were formed on p-type c-Si substrates by spin coating technique. Average reflectance of the silicon surface coated with the HfO₂-SiO₂/SiO₂Nprt (40:1) solution was 15.72%, while those of the samples coated with the HfO₂-SiO₂/SiO₂Nprt (5:1) solution was 25.07%. Average reflectance of the silicon surface coated with the SiO₂-SiO₂Nprt (40:1) solution was 16% after annealing process which significantly lower than that of the bare silicon surface. Despite the relatively good anti-reflectance effect of SiO₂Nprt, passivation effect of such doping was poor. Therefore, the tradeoff of the passivation and antireflection properties of such films should be considered when applying to a semiconductor device processing.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by Scientific Research Projects Coordination Unit of Karadeniz Technical University under project number 8651. Authors also thank for the measurements: SEM measurements were carried out in Karadeniz Technical University Central Research Laboratory, Effective carrier lifetime measurements were carried out in Center for Solar Energy Research and Applications (GUNAM).

REFERENCE

1. Bencherif, H., et al., *Improving the efficiency of a-Si: H/c-Si thin heterojunction solar cells by using both antireflection coating engineering and diffraction grating*. Optik, 2019. **182**: p. 682-693.
2. Liu, H., et al., *Stress compensated anti-reflection coating for high power laser deposited with IBS SiO₂ and ALD Al₂O₃*. Applied Surface Science, 2019. **476**: p. 521-527.
3. Ji, L., et al., *Localized dielectric breakdown and antireflection coating in metal–oxide–semiconductor photoelectrodes*. Nature materials, 2017. **16**(1): p. 127-131.
4. Liao, K., et al., *Study about the effect of antireflection coating stacks (TiO₂–SiO₂/SiO₂/SiN_x) on the performances of multicrystalline silicon solar cells under the encapsulation condition*. Optical Materials, 2020. **109**: p. 110318.
5. Shin, W.J., W.-H. Huang, and M. Tao, *Low-cost spray-deposited ZrO₂ for antireflection in Si solar cells*. Materials Chemistry and Physics, 2019. **230**: p. 37-43.
6. Kanmaz, I., A.M. Mandong, and A. Uzum, *Solution-based hafnium oxide thin films as potential antireflection coating for silicon solar cells*. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 2020. **31**(23): p. 21279-21287.
7. Fan, P., et al., *Low-temperature laser generated ultrathin aluminum oxide layers for effective c-Si surface passivation*. Applied Surface Science, 2019. **480**: p. 35-42.
8. Abegunde, O.O., et al., *Overview of thin film deposition techniques*. AIMS Materials Science, 2019. **6**(2): p. 174-199.
9. Sheng, J., et al., *Atomic layer deposition for oxide semiconductor thin film transistors: Advances in research and development*. Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films, 2018. **36**(6): p. 060801.
10. Birney, R., *Current Research in Thin Film Deposition: Applications, Theory, Processing, and Characterisation*. 2020, Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
11. Jilani, A., M.S. Abdel-Wahab, and A.H. Hammad, *Advance deposition techniques for thin film and coating*. Modern Technologies for Creating the Thin-film Systems and Coatings, 2017. **2**: p. 137-149.
12. Islam, M.R., et al., *Structural, optical and photocatalysis properties of sol–gel deposited Al-doped ZnO thin films*. Surfaces and Interfaces, 2019. **16**: p. 120-126.
13. Kanmaz, İ. and Ü. Abdullah, *Silicon dioxide thin films prepared by spin coating for the application of solar cells*. International Advanced Researches and Engineering Journal, 2021. **5**(1): p. 14-18.
14. Uzum, A. and I. Kanmaz, *Passivation properties of HfO₂-SiO₂ mixed metal oxide thin films with low reflectivity on silicon substrates for semiconductor devices*. Thin Solid Films, 2021: p. 138965.
15. Varache, R., et al., *Investigation of selective junctions using a newly developed tunnel current model for solar cell applications*. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2015. **141**: p. 14-23.
16. Salman, K.A., K. Omar, and Z. Hassan, *Effective conversion efficiency enhancement of solar cell using ZnO/PS antireflection coating layers*. Solar Energy, 2012. **86**(1): p. 541-547.
17. Ali, K., S.A. Khan, and M.M. Jafri, *Effect of double layer (SiO₂/TiO₂) anti-reflective coating on silicon solar cells*. Int. J. Electrochem. Sci, 2014. **9**(12): p. 7865-7874.



A NUMERICAL ANALYSIS ON THE EFFECT OF ARRANGEMENT OF THE BATTERY CELLS IN LITHIUM-ION BATTERIES

Orhun BATURAR

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, 38039, Kayseri, Turkey

Gamze GENÇ

Erciyes University, Engineering Faculty, Department of Energy Systems Engineering 38039, Kayseri, Turkey

ABSTRACT

In recent years, studies on lithium-ion batteries have been increasing day by day due to their high power density and long life in the field of energy storage. Lithium-ion batteries are sensitive to extreme heat and extreme cold. Although extreme cold causes a decrease in instantaneous capacities, it does not cause permanent damage. However, extreme temperatures cause deterioration in the structure of Li-ion batteries. Therefore, it changes the battery arrays in the design so that lithium-ion batteries are not affected by temperature. In this study, a lithium-ion battery used in industry was selected. This selected lithium-ion battery will be designed in SOLIDWORKS, a computer-aided design program that runs embedded in the SIEMENS FLOEFD program. The thermal analysis of the designed lithium ion battery will be made using the battery module of the SIEMENS FLOEFD program. Liquid water will be used as the refrigerant in the thermal analysis of the battery, and steady-state conditions will be realized by using the k-epsilon turbulence model in the battery simulations in the SIEMENS FLOEFD program. Thermal analysis results of designs with different battery arrays will be examined. Thus, the design of this battery in the most optimum operating temperature range will be created.

Keywords: Lithium Ion, Energy Storage, FloEFD, Thermal Analysis

Introduction

Batteries are used in many areas of daily life. Batteries are devices that generate electrical energy from chemical energy. In addition, batteries are devices that store energy and make this energy portable. Thanks to batteries, we can benefit from wireless electronic devices and electrical energy where there is no electricity. With the increasing energy demand today, batteries that provide great advantages by storing energy are divided into two groups. These are primary batteries and secondary batteries. Primary batteries are non-rechargeable batteries [1]. Primary batteries are disposable batteries. Secondary batteries are rechargeable batteries. It stores chemical energy and converts chemical energy into electrical energy when needed. They have a long service life as they can be charged. Secondary batteries, which we encounter in many areas today, attract attention due to their superior properties in portable electronic and electrical devices. In addition, secondary batteries, which provide uninterrupted power supply, increase the durability of the device. There are many types such as nickel cadmium (NiCd), nickel metalhydride (NiMH), lithium ion (Li-ion), lithium polymer (Li-polymer) [2].

Due to the ever-increasing customer demands that push the limits of our imagination, there is a rapid technological consumption in every field from transportation to communication, from health to defence. Today, it is known that almost every individual has at least one of the portable electronic devices (computers, mobile phones, cameras, cameras, MP3 players, CD players, DVD players, radios, televisions) for fast, efficient and easy communication [3].

Batteries with mostly the same chemical structure, dimensions and electrical capacities can be brought together one by one to form battery groups, and these can be called battery blocks or, as it is called, batteries. While batteries are used individually in devices such as radios, flashlights, toys, mobile phones, etc., wireless power tools such as drills, screwdrivers, cameras, cordless phones, emergency lighting systems and the like use batteries.

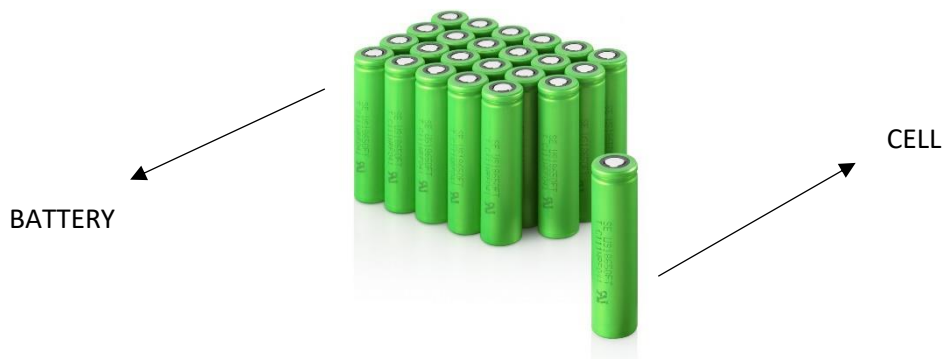


Figure 1. Battery and cell difference.

Literature

Day by day, most of the electrical appliances we use at home are becoming cordless. The basic condition for all these portable electronic products to maintain their developed functions for a long time and effectively is to have an energy source with high energy density, safe, long-lasting, easy to maintain, rechargeable in a short time and not harming the environment. Lithium-ion batteries, which are in the secondary battery group, are widely used in portable electronic and electrical goods thanks to their superior properties [4]. Many studies have revealed that lithium-ion batteries will be used to store the energy required for many vehicles (car, heater, etc.) working with the energy provided by petroleum resources, which are expected to be depleted in the near future. However, research has focused on lithium-ion batteries and batteries.

One of the most important elements in all wireless electronic devices and electric vehicles is the battery. For this reason, the selection of the appropriate battery type is of great importance. Considering the different battery types, lead acid, nickel-cadmium, nickel-metal hybrid, lithium ion, lithium ion polymer, lithium ion phosphate, zinc air, lithium sulfide and lithium air batteries come to the fore as batteries that can be used. Among these batteries, lithium-ion batteries are seen as the most suitable battery to use with their features such as high energy density, high volumetric energy density, high specific power, high cycle life and suitable operating temperature [5]. Lithium-ion batteries generally have cylindrical or prismatic geometric features and are connected to each other in series or parallel to form battery packs.

The most important parameter affecting the performance, life, safety and cost of the batteries is the operating temperature. It has been revealed that the suitable operating temperature for lithium-ion batteries is between 15°C-40°C [6]. When the battery management systems are examined, it is seen that there are different methods such as air cooling, liquid cooling, heat pipe cooling, phase change material cooling and thermoelectric cooling. The advantages and disadvantages of these methods are given in Table 1 [7]. In practice, liquid and air cooling are the most used methods among these methods.

Despite the low specific heating temperature and efficiency disadvantages compared to liquid cooling at low thermal loads, air cooling can become advantageous with its direct contact, lightness, easy maintenance and low cost features. At high thermal loads, liquid cooling comes to the fore with its high cooling capacity compared to air.

Table 1. Comparison of battery thermal methods [7].

Method	Advantages	Disadvantages
Air cooling	Direct contact, light weight, easy maintenance	Low specific heating heat, no homogeneous distribution, low efficiency
Liquid cooling	High specific heating heat, high efficiency	High cost, leakage problem, complex structure
Cooling with heat pipe	High thermal conductivity, high efficiency	High cost, complex structure
Material cooling with phase changer	Low cost, homogeneous temperature distribution, high efficiency	Low thermal conductivity, leakage problem
Thermoelectric cooling	Being still and silent, low maintenance cost, long life	Low efficiency, need for additional power

Park and Jung [8], investigated the effects of air and liquid systems on the design and energy consumption of cylindrical lithium-ion batteries. They stated that the use of wide battery modules in air cooling and the use of narrow battery modules in liquid cooling are appropriate. They also stated that air-cooled batteries consume more power than liquid-cooled batteries at high thermal loads. They stated that air cooling is suitable for use at low thermal loads and suggested that liquid cooling should be used as a more effective method at high thermal loads.

In this study, it is aimed to create the most optimum design by determining the operating temperatures of 3 different batteries consisting of 18650 type cylindrical lithium-ion batteries in the case of liquid cooling.

Materials of Method

First of all, literature research on lithium-ion batteries was conducted. 3 different lithium ion batteries are designed to work in the same place. The most important thing that affects the life of a lithium-ion battery is temperature. In this study, it is focused on the temperature differences that occur in the thermal analysis due to the designs. In this study, thermal analyzes were carried out in Siemens FloEFD program. The designs were made in the SOLIDWORKS program, which is embedded in the Siemens FloEFD program.

Simcenter FLOEFD software puts the power of CFD simulation in your hands. Use it directly in NX, Creo, CATIA V5, Solid Edge or Solidworks in order to explore the full potential of your ideas quickly, without disrupting your design process. Understand the impact of changes in the geometry or boundary conditions on the results effortlessly, conduct fast and frequent what-if analysis, and generate insightful reports inside your preferred CAD platform. Built on a foundation of intelligent, fast and accurate technology, Simcenter FLOEFD can help reduce the overall simulation time by as much as 75% and enhance productivity by up to 40x.

In this study, different designs of the battery consisting of 18650 type cylindrical 4 series and 2 parallel lithium ion batteries used in the market have been realized. Figure 1 shows the exterior of 3 different battery cases. Figure 2 shows the cooling channel, busbars and battery arrays inside the coils.

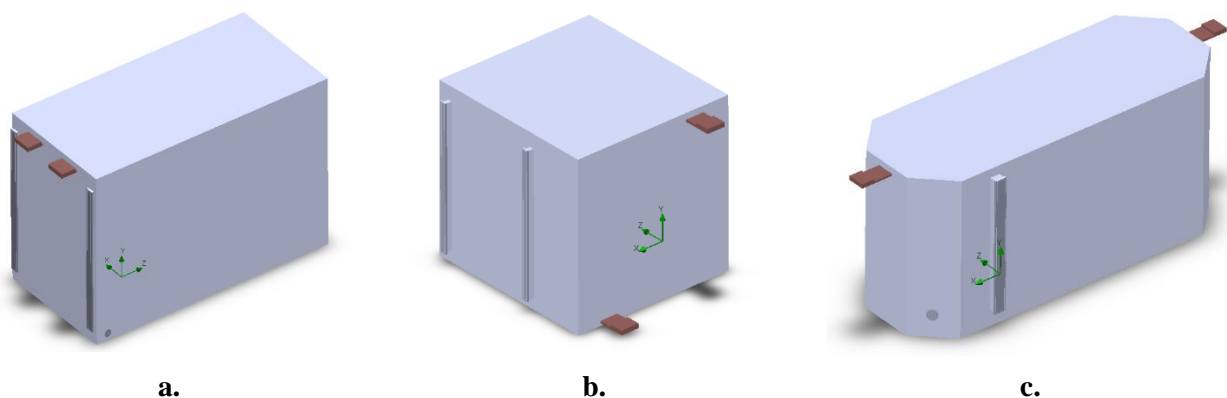


Figure 2. a. Case 1 b. Case 2 c. Case 3

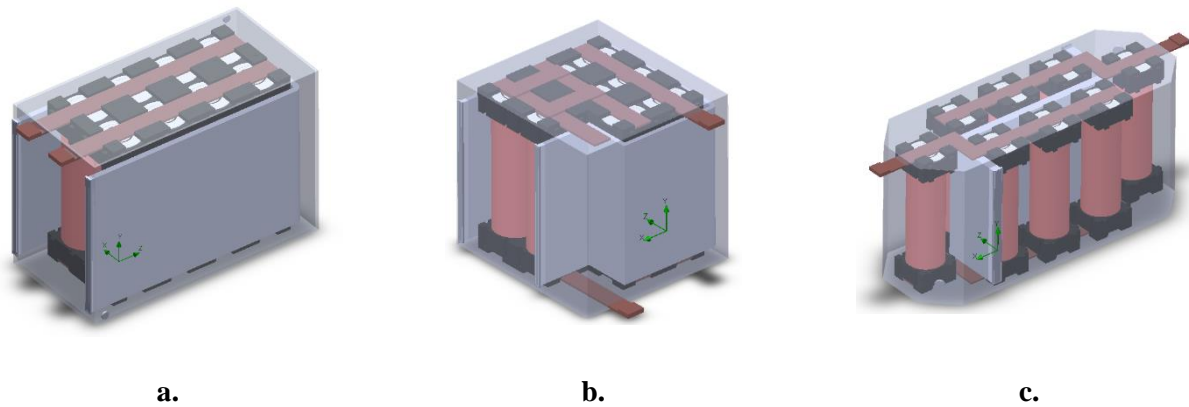


Figure 3. a. Case 1 b. Case 2 c. Case 3

Simcenter FLOEFD can simulate battery packages using electro-thermal Equivalent Circuit Model (ECM) or Electro-Chemical Thermal Model (ECTM). With the variety of battery cells today it can be challenging to find parameters describing your particular cell as a compact model. However conducting a simple experiment can be possible. Extraction of Equivalent Circuit Model parameters from the measurement data solves the challenge of getting the correct compact definition of a battery cell thus providing high accuracy of battery cell electro-thermal simulation. [10].

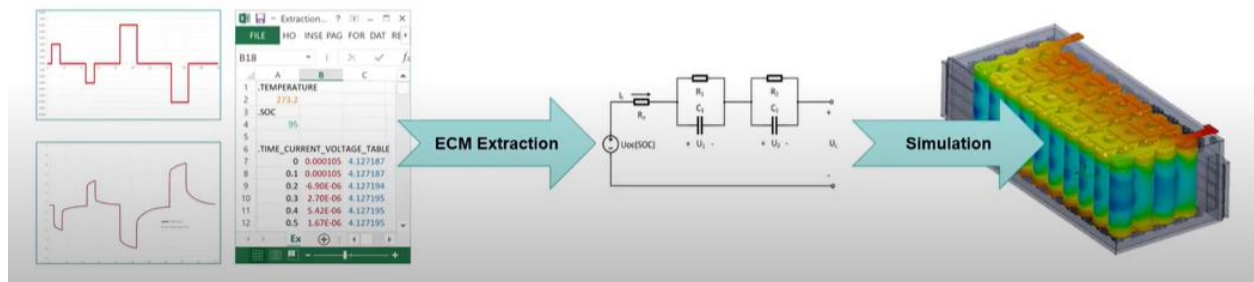


Figure 4. Equivalent Circuit Model (ECM)

In order to extract the battery model in the FloEFD program, the following should be observed. These;

- 1- Adjust environment conditions to keep battery Temperature constant.
- 2- Adjust measurement equipment to record the voltage and current values with 0.1 second time step, if it is not possible use the minimum available time step.
- 3- Start recording when the current is zero, Voltage= U_{oc} .
- 4- Make impulse charge or discharge(or series of impulses), so that the SOC is almost constant during the measurement.
- 5- After each impulse wait until voltage reaches U_{oc} state. This may take time but it is a prerequisite for successful extraction.
- 6- Stop recording data when voltage reached U_{oc} .

All designs consist of 8 lithium-ion batteries in total, 4 series and 2 parallel. But the battery arrays are different. Case 1 is 4x2, Case 2 is 3x3x2, Case 3 is 3x3x1x1. Figure 5 shows the lithium-ion battery arrays.

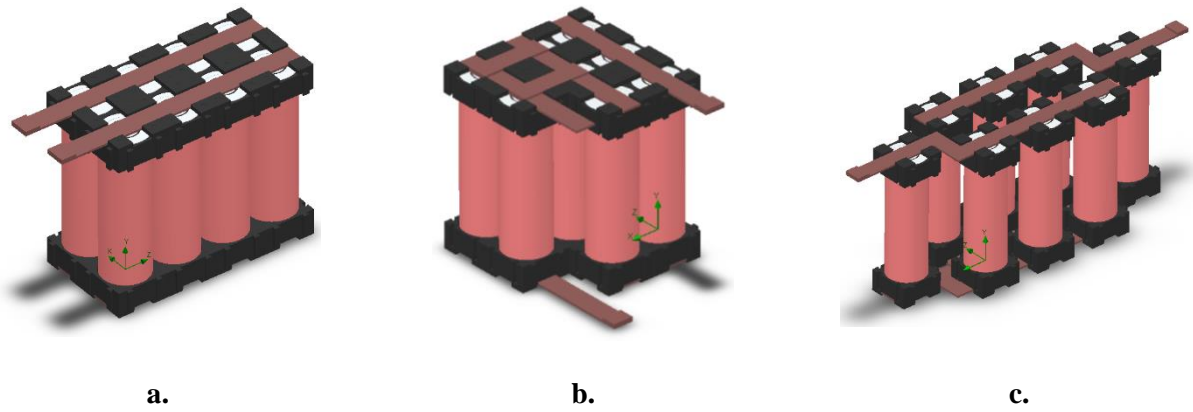


Figure 5. a. Case 1 b. Case 2 c. Case 3

Thermal analyzes of the designed lithium ion batteries were carried out. The voltage value is entered as zero to complete the equivalent circuit model. The current value is entered from 1 amp to 8 amps for each lithium ion battery. In the thermal analysis, k epsilon was used as the turbulence model. Approximately 2,500,000 meshes were put into each lithium-ion battery. Mesh structures are shown in Figure 6.

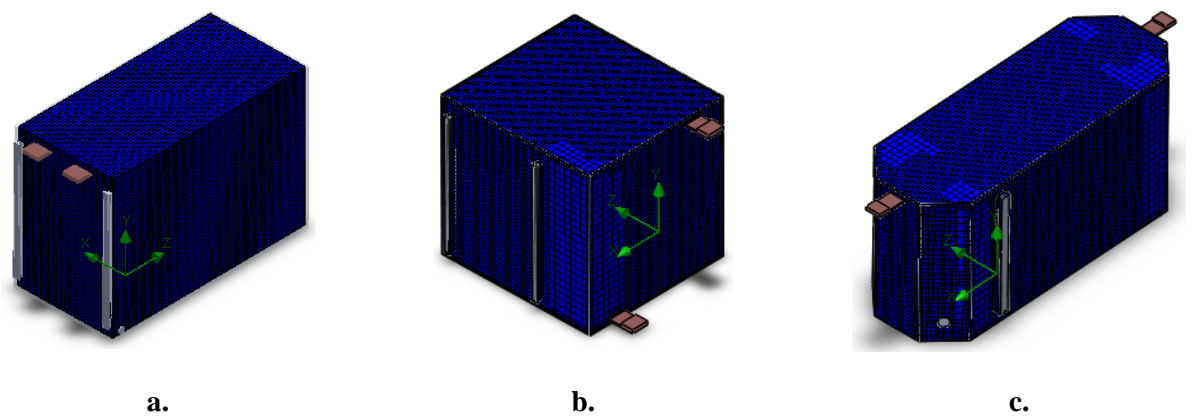
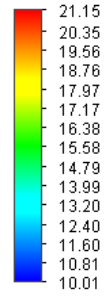


Figure 6. A. Case 1 b. Case 2 c. Case 3

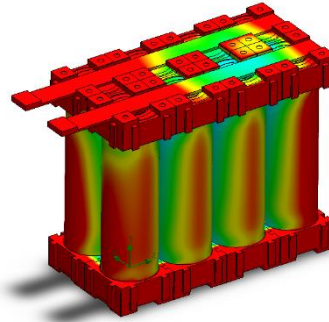
Conclusion and Discussion

Thermal analysis results of three different lithium-ion batteries designed to be used in the same place were evaluated. When the distributions in the batteries were evaluated, it is seen that the busbars were generally more heated. The maximum temperatures in the batteries for Case 1, 2 and 3 were found as 21,15°C, 24,70°C and 29,54°C respectively. For the case 1, lithium-ion batteries work at a more suitable temperature and cool. The future studies will be focused on the development of the battery in Case 1.

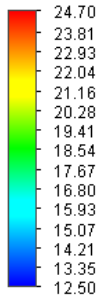


Sıcaklık (Kat) [°C]

Yüzey Grafiği 1: konturlar

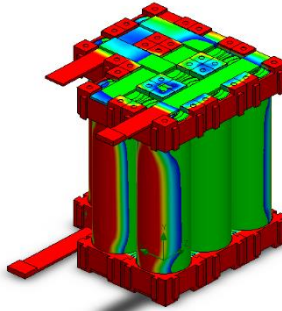


a.

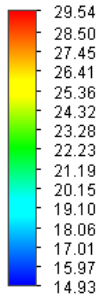


Sıcaklık (Kat) [°C] [log]

Yüzey Grafiği 1: konturlar

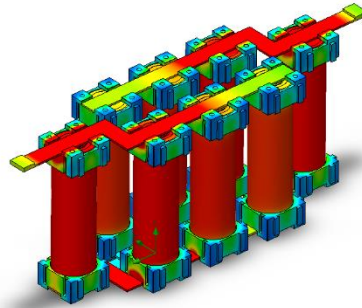


b.



Sıcaklık (Kat) [°C]

Yüzey Grafiği 1: konturlar



c.

Figure 7. **a.** Case 1 **b.** Case 2 **c.** Case 3

References

- [1] <https://www.pilsitesi.com/news14/Pil-Nedir->
- [2] W. Strunk Jr., E.B. White, *The Elements of Style*, third ed., Macmillan, New York, 1979.
- [3] Yoshio, M., Brodd, R.J. and Kozawa, A., 2009. *Lithium-Ion Batteries: Science and Technologies*, Springer Science and Business Media, Newyork, USA, pp. 1-7.
- [4] Hackney, S.A. and Kumar, R.V., 2010. *High Energy Density Lithium Batteries*, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, pp. 70-73.
- [5] Yong, JY, Ramachandaramurthy VK., Tan KM, Mithulananthan, N.. A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects. *Renewable Sustainable Energy Rev* 2015; 49: 365-385.
- [6] Wang Q, Jiang B, Li B, Yan, Y. A critical review of thermal management models and solutions of lithium-ion batteries for the development of pure electric vehicles. *Renewable Sustainable Energy Rev* 2016; 64: 106-128.
- [7] Siddique ARM, Mahmud S, Van Heyst B. A comprehensive review on a passive (phase change materials) and an active (thermoelectric cooler) battery thermal management system and their limitations. *J. Power Sources* 2018; 401: 224-237.
- [8] Park S, Jung D. Battery cell arrangement and heat transfer fluid effects on the parasitic power consumption and the cell temperature distribution in a hybrid electric vehicle. *J. Power Sources* 2013; 227: 191-198.
- [9] <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/simcenter/floefd.html>
- [10] https://www.efd.com.tw/uploads/1/3/2/1/13213742/simcenter_floefd_power_electrification_module.pdf



α - VE β -NAFTİL MODİFİYE ÇOK DUVARLI KARBON NANOTÜPLERİN SENTEZİ VE HİDROJEN DEPOLAMA ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

SYNTHESIS OF α - AND β -NAPHTHYL MODIFIED MULTI-WALLED CARBON NANOTUBES AND DETERMINATION OF HYDROGEN STORAGE PROPERTIES

Ümit Çalışır

Siirt Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7699-2008>

Mehmet Doğan

Balıkesir Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya, Balıkesir, Türkiye.
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3707-0497>

Baki Çiçek

Balıkesir Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya, Balıkesir, Türkiye.
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1257-1188>

ÖZET

Nanoyapılar, olağanüstü özellikleri nedeniyle son yıllarda birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir. Nanoyapıların birçok özelliği, yüzeyleri modifiye edilerek geliştirilmiştir ve geliştirilmeye devam etmektedir. Çalışmamızda, çok duvarlı karbon nanotüpler (MWCNT), Suzuki-çapraz kenetlenme reaksiyonları ve mikrodalga destekli sentez yöntemiyle kovalent bağlar üzerinden literatüre göre modifiye edildi. Sentezlenen bileşiklerin hidrojen depolama özellikleri araştırıldı. α - ve β -naftil modifiye MWCNT'ler sırasıyla ağırlıkça %0.876 ve ağırlıkça %0.281 hidrojen depolama kapasitesine sahip olduğu tespit edildi. Modifiye edilmiş MWCNT'lerin hidrojen depolama kapasitesinin, daha önceki karbon nanomalzemeler ile yapılan çalışmalarda elde edilen verilere uyumlu olduğu belirlendi.

Anahtar Kelimeler: MWCNT, Kovalent modifikasyon, Suzuki-çapraz kenetlenme reaksiyonu, Mikrodalga destekli sentez, Hidrojen depolama.

ABSTRACT

Nanostructures have attracted the attentions of many researchers in past few years due to their unusual features. Many features of nanostructures can be enhanced by modifying the surface. Multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) were covalently modified for this purpose via Suzuki-cross coupling reactions and microwave-assisted synthesis according to literature. The synthesized compounds' hydrogen-storage characteristics were investigated. α - and β -naphthyl modified MWCNTs have a hydrogen storage capacity of 0.876 wt and 0.281 wt percentages, respectively. The hydrogen storage capacity of functionalized MWCNTs was in line with previous studies on carbon nanomaterials.

Keywords: MWCNT, Covalent modification, Suzuki-cross coupling reaction, Microwave-assisted synthesis, Hydrogen storage.

GİRİŞ

Yer değiştirme reaksiyonlarından olan Suzuki-Miyaura çapraz kenetlenme reaksiyonlarının kullanımı 1979'a kadar uzanmaktadır. Suzuki-Miyaura çapraz kenetlenme reaksiyonu (veya Suzuki Coupling), temel şartlarda, tipik olarak Pd, bir alkenil (vinil), aril veya alkinil organoboran (boronik asit veya boronik ester, özel durum; aril trifloroboran) ve halojenür veya triflat arasında metal katalizli bir reaksiyondur. Bu reaksiyon, konjuge alken, stiren veya biaril bileşikleri sistemleri üretmek için karbon-karbon bağları oluşturmak için kullanılır^[1,2]. Suzuki-Miyaura reaksiyonunun katalitik döngüsü bir oksidatif katılma, bir transmetalizasyon ve bir redüktif eliminasyondan oluşan bir sekans içermektedir. Suzuki-çapraz kenetlenme reaksiyonlarının karbon

nanotüplere (CNT) ilk kez uygulanması, 2006 yılında Cheng ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiştir. Cheng bu çalışmada aromatik gruplar içeren tek duvarlı karbon nanotüpleri (SWCNT), p-iyodofenil modifiye SWCNT ile porfirin, fluoren ve bitiyofenin boronik ester türevlerinin Suzuki-çapraz kenetlenme reaksiyonlarıyla Cs_2CO_3 bazı varlığında ve $Pd(PPh_3)_4$ katalizörü kullanılarak gerçekleştirmiştir^[3-4]. Bununla beraber kovalent bağlar üzerinden modifiye edilmiş Pd içeren CNT'lerin Suzuki reaksiyonunda katalizör olarak kullanımı oldukça yaygındır^[5-11]. Yenilenebilir enerji ailesinin en popüler üyesi olan hidrojenin; yakıt olarak kullanılması, depolanmasının ve işlenmesinin güvenilir olmasına bağlıdır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda katı içerisine adsorbe ederek depolama oldukça başarılı sonuçlar vermiştir^[12]. Farklı adsorbanların hidrojen depolama kapasitesinin belirlenmesi amacıyla silika, alümina, zeolit, grafit, aktif karbon, karbon nanofiber materyalleri ile 1 bar basınç altında ve 77 K sıcaklıkta denemeler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre sadece uygun çapa sahip hacimli bir mikropor içeren adsorbanların daha iyi hidrojen depolamaya sahip oldukları gözlenmiştir^[13]. Karbon nanotüplerin geniş yüzeyleri ve doymamış yapıları, adsorpsiyonla hidrojen depolama çalışmalarında kullanımını gündeme getirmiştir^[14-16]. Nanotüplerdeki adsorpsiyon işlemi karbon atomlarının hidrojen moleküllerine uyguladığı Van Der Waal's kuvveti ile gerçekleşmektedir. Nanotüpler, hidrojen depolamanın yanında hidrojen kullanarak elde edilen enerji sistemlerinde de kullanılabilir. Bu sebeple teorik ve deneysel olarak birçok bilim insanı karbon nanoyapılarının hidrojen depolama kapasitesini araştırmıştır. Bu çabalar her zaman başarılı olmamakla birlikte genel olarak çelişkili olduğu gözlenmiştir^[17]. Ortalama çapı 1.85 nm olan bir başka SWCNT ile gerçekleştirilen hidrojen depolama çalışmasında yaklaşık 500 mg ağırlığında bir nanotüpün yüksek basınç altında (~10 MPa) kütlece % 4,2 hidrojen depolama kapasitesine sahip olduğu tespit edilmiştir^[18]. Ritschel ve arkadaşları farklı karbon nanoyapılarının (SWCNTs, MWCNTs ve CNFs) hidrojen depolama kapasitesini incelemiştir. Saflaştırılmış SWCNTs, oda sıcaklığında ve 45 bar basınç altında % 0,63'lük bir geri dönüşümlü depolama kapasitesi gösterirken MWCNT ve CNF'lerin hidrojen depolama kapasitesi daha düşüktür^[19]. Kajiura ve arkadaşları ise nanofiberlerin (CNF'ler) oda sıcaklığında hidrojen depolama kapasitesini 8 MPa basınç altında ağırlıkça maksimum % 0,43 olarak elde etmiştir^[20]. Bununla birlikte, H_2 ile adsorban malzeme arasındaki zayıf Van der Waals kuvvetleri etkileşimi baskın olduğu için, ortam koşulları altında sadece küçük bir miktar depolanabilmektedir. Nanotüplerin fiziksel adsorpsiyon ile hidrojen depolayabilen hafif nanoporlar, heteroatomlar ve hafif metal atomları içeren materyalleri sentezlenirse H_2 gazı ile adsorban arasındaki bağların güçlenmesi sağlanabilecek ve hidrojen depolama oda koşullarında yüksek oranlarda gerçekleştirilebilecektir^[17,21].

Bu çalışma kapsamında mikrodalga destekli sentez yöntemiyle, literatüre göre α - ve β -naftil modifiye MWCNT'ler elde edilmiştir^[25]. Son olarak sentezlenen bileşiklerin hidrojen depolama kapasiteleri 0-9 MPa basınç aralığında belirlenmiştir.

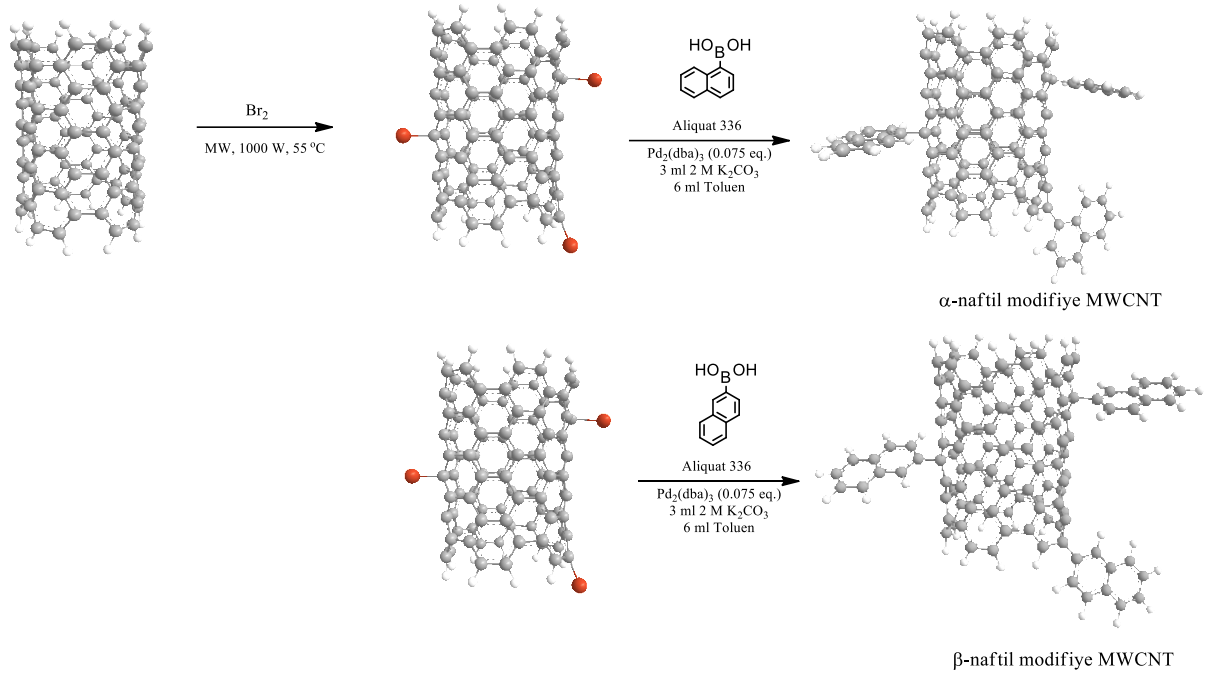
ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Materyal

Bu çalışmada kullanılan MWCNT ticari olarak Nanografi'den temin edildi (teknik özellikler, saflık: %92, dış çap: 8-10 nm, ortalama uzunluk: 1-3 μm). Numunelerin hidrojen gazı adsorpsiyon ölçümleri bir Hidden IMI PSI hidrojen depolama cihazı kullanılarak gerçekleştirildi.

Sentez

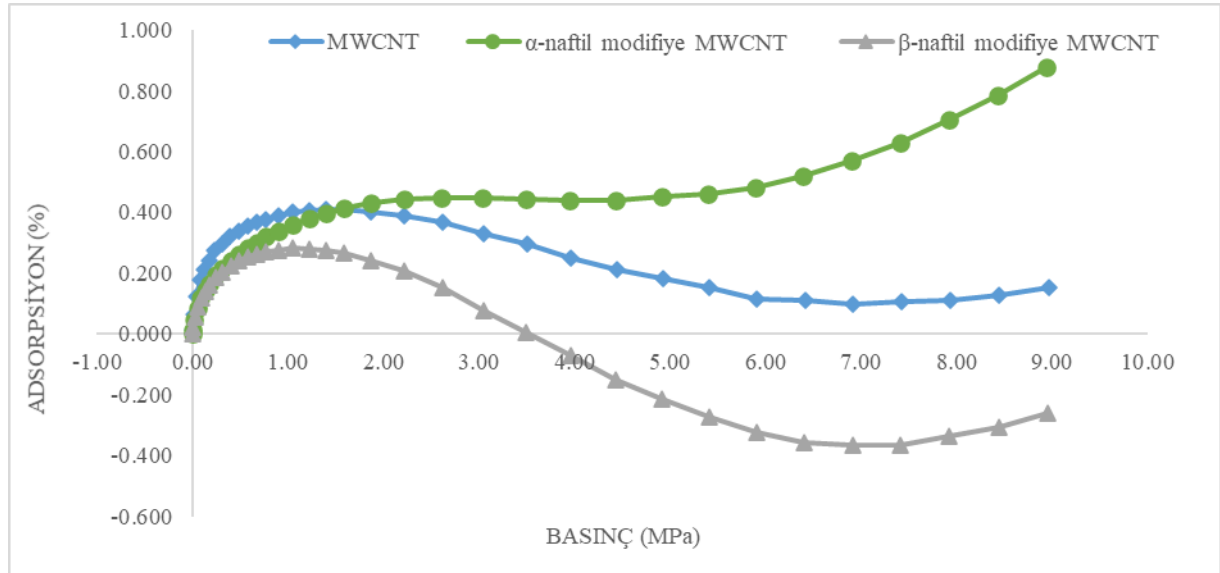
MWCNT bileşiğinden yola çıkarak, öncü bileşik olan bromlanmış MWCNT bileşiği, α - ve β -naftil modifiye MWCNT bileşiklerinin sentezi literatüre göre gerçekleştirilmiştir^[25-29].



Şekil 1: α - ve β -naftil modifiye MWCNT bileşiklerinin sentezi.

Hidrojen depolama özelliklerinin belirlenmesi

Ham yıkanmış MWCNT ile sentezlenen α - ve β -naftil modifiye MWCNT bileşiklerinin hidrojen depolama özelliklerini belirlemek için her bir numuneden yaklaşık 100-150 mg alınmış ve 105 °C'de etüvde 24 saat gazdan arındırılmıştır. Numunelerin hidrojen depolama kapasitesi, oda sıcaklığında volümetrik yöntem kullanılarak Hiden marka bir IMI PSI hidrojen depolama cihazı kullanılarak yapılmıştır. Hidrojen adsorpsiyonu, -196 °C'de 0-90 bar (0-9 MPa) basınç aralığında belirlendi ^[30].



Şekil 2: α - ve β -naftil modifiye MWCNT bileşiklerinin hidrojen depolama özellikleri.

SONUÇ

Bu çalışmada, aromatik bileşiklerle çok duvarlı karbon nanotüplerin modifikasyonunda Suzuki çapraz kenetlenme reaksiyonları kullanılarak, kovalent olarak modifiye edilmiş α - ve β -naftil modifiye MWCNT

bileşikleri literatüre göre sentezlendi. Sentezlenen bileşikler FT-IR, NMR, TGA ve TEM teknikleri ile karakterize edildi [25]. Sentezlenen ve karakterize edilen bileşiklerin hidrojen depolama özellikleri Hiden IMI PSI hidrojen depolama cihazı ile incelenmiştir.

Literatüre göre sentezlenen α - ve β -naftil modifiye MWCNT bileşiklerinin, 77 K ve 0-9 MPa basınçta α - ve β -naftil modifiye MWCNT bileşiklerinin hidrojen depolama özellikleri belirlendi. Sentezlenen bileşiklerde π -konjugasyonu nedeniyle, güçlü Van der Waals etkileşimleri hidrojen depolama özelliğini iyileştirmiştir. 90 bar ve kriyojenik sıcaklıkta α -naftil modifiye MWCNT bileşiğinin ağırlıkça %0.876 ile en yüksek hidrojen depolama kapasitesine sahip olduğu ve β -naftil modifiye MWCNT ağırlıkça %0.281 hidrojen depolama kapasitesine sahip olduğu tespit edildi. Elde edilen sonuçların daha önceki literatür verileriyle benzer olduğu belirlendi.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2018/148, 2019/066 ve 2020/053 numaralı projelerle desteklenmiştir. Bu çalışmanın bir bölümü Ümit Çalışır tarafından doktora tezinde sunulmuştur.

KAYNAKÇA

- [1] S. R. Chemler, D. Trauner, S. J. Danishefsky, *Angew. Chemie Int. Ed.* **2001**, *40*, 4544–4568.
- [2] M. Çağlı, SÜBSTİTÜE KARBAZOLLERİN SENTEZİ, KARAKTERİZASYONU VE HESAPSAL ÇALIŞMALARI, Balıkesir Üniversitesi, **2014**.
- [3] C. A. Dyke, J. M. Tour, *J. Am. Chem. Soc.* **2003**, *125*, 1156–1157.
- [4] F. Cheng, A. Adronov, *Chem. Mater.* **2006**, *18*, 5389–5391.
- [5] J.-X. Wang, Z. L. Y. Hu, B. Wei, L. Bai, *J. Chem. Res.* **2009**, *2000*, 484–485.
- [6] B. Višić, H. Cohen, R. Popovitz-Biro, R. Tenne, V. I. Sokolov, N. V. Abramova, A. G. Buyanovskaya, S. L. Dzvankovskii, O. L. Lependina, *Chem. - An Asian J.* **2015**, *10*, 2234–2239.
- [7] A. M. P. Salvo, V. La Parola, L. F. Liotta, F. Giacalone, M. Gruttadauria, *Chempluschem* **2016**, *81*, 471–476.
- [8] A. R. Hajipour, Z. Khorsandi, *Appl. Organomet. Chem.* **2016**, *30*, 256–261.
- [9] A. Ben-Yahia, M. Naas, N. El Brahmı, S. El Kazzouli, J.-P. Majoral, E. Mokhtar Essassi, G. Guillaumet, *Curr. Org. Chem.* **2013**, *17*, 304–309.
- [10] F. Yang, C. Chi, S. Dong, C. Wang, X. Jia, L. Ren, Y. Zhang, L. Zhang, Y. Li, *Catal. Today* **2015**, *256*, 186–192.
- [11] D. V. Jawale, E. Gravel, C. Boudet, N. Shah, V. Geertsen, H. Li, I. N. N. Namboothiri, E. Doris, *Catal. Sci. Technol.* **2015**, *5*, 2388–2392.
- [12] Y. E. Sarıbuğa, “Hidrojen Üretimi ve Depolanması Nanoteknoloji ile Artık Daha Kolay,” can be found under <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/hidrojen-uretimi-ve-depolanmasi-nanoteknoloji-ile-artik-daha-kolay/8457#ad-image-0>, **2013**.
- [13] M. G. Nijkamp, J.E.M.J. Raaymakers, A. J. van Dillen, K. P. de Jong, *Appl. Phys. A Mater. Sci. Process.* **2001**, *72*, 619–623.
- [14] G. E. Froudakis, *J. Phys. Condens. Matter* **2002**, *14*, 453–465.
- [15] A. C. Dillon, K. E. H. Gilbert, P. A. Parilla, J. L. Alleman, G. L. Hornyak, K. M. Jones, M. J. Heben, in *Proc. 2002 U.S. DOE Hydrog. Progr. Rev.*, **2009**, pp. 1–18.
- [16] A. Hosseini, A. A. Ghoreyshi, K. Pirzadeh, M. Mohammadi, *Trans. C Chem. Chem. Eng.* **2017**, *24*, 1230–1240.
- [17] G. E. Froudakis, *Mater. Today* **2011**, *14*, 324–328.

- [18] Liu C., Fan Y. Y., Liu M., Cong H. T., Cheng H. M., Dresselhaus M. S., *Science* (80-.). **1999**, 286, 1127–1129.
- [19] M. Ritschel, M. Uhlemann, O. Gutfleisch, A. Leonhardt, A. Graff, C. Täschner, J. Fink, *Appl. Phys. Lett.* **2002**, 80, 2985–2987.
- [20] H. Kajiura, S. Tsutsui, K. Kadono, M. Kakuta, M. Ata, Y. Murakami, *Appl. Phys. Lett.* **2003**, 82, 1105–1107.
- [21] G. E. Froudakis, G. G. Wallace, P. C. Innis, L. A. P. Kane-maguire, M. Yeadon, Z. L. Wang, R. Ulrich, K. J. Kirkby, R. P. Webb, P. Knauth, *Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology*, **2007**.
- [22] U. Calisir, B. Çiçek, *J. Mol. Struct.* **2017**, 1148, 505–511.
- [23] S. Caddick, R. Fitzmaurice, *Tetrahedron* **2009**, 65, 3325–3355.
- [24] I. J. Cutress, F. Marken, R. G. Compton, *Electroanalysis* **2009**, 21, 113–123.
- [25] Ü. Çalışır, B. Çiçek, M. Doğan, *Fullerenes Nanotub. Carbon Nanostructures* **2021**, 29, 899–906.
- [26] M. Pudlo, D. Cs, F. Moreau, Z. Riedl, J. Sapi, **2007**, 63, 10320–10329.
- [27] E. Zeynalov, M. Wagner, J. Friedrich, M. Magerramova, N. Salmanova, G. Hidde, A. Meyer-Plath, *J. Adhes. Sci. Technol.* **2017**, 31, 988–1006.
- [28] P. X. Hou, S. Bai, Q. H. Yang, C. Liu, H. M. Cheng, *Carbon N. Y.* **2002**, 40, 81–85.
- [29] I. Mazov, D. Krasnikov, A. Stadnichenko, V. Kuznetsov, A. Romanenko, O. Anikeeva, E. Tkachev, *J. Nanotechnol.* **2012**, 2012, DOI 10.1155/2012/954084.
- [30] Y. Turhan, P. Turan, M. Doğan, M. Alkan, H. Namli, Ö. Demirbaş, *Ind. Eng. Chem. Res.* **2008**, 47, 1883–1895.



ASSESSMENT OF CONTAMINATION WITH HEAVY METALS IN ENVIRONMENT: WATER, SLUDGE AND SOIL, AROUND KOSOVO POWER PLANTS

Skender Demaku

University of Pristina "Hasan Pristina", Faculty of Natural Science and Mathematics, Department of Chemistry, 5, "Nënë Tereze"str., 10000 Pristina, Kosovo.

Gani Kastrati

University for Business and Technology, Lagjja Kalabria str., 10000 Pristine, Kosovo

Jeton Halili

University of Pristina "Hasan Pristina", Faculty of Natural Science and Mathematics, Department of Chemistry, 5, "Nënë Tereze"str., 10000 Pristina, Kosovo.

Abstract

Ensuring the regular production and supply of electricity is a prerequisite for the economic development of a country. In Kosovo, the current production of electricity depends mainly on its generation, which is based on the burning of lignite in the power plants "Kosovo power plant A and B". In this research, the findings indicated that there were significant changes in the concentrations of heavy metals at various sediment, soil and water sample locations. Physico-chemical parameters such as temperature, pH, dissolved oxygen, chemical oxygen demand, and total dissolved solid, biochemical oxygen demand, and main ions (SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- , and NH_4^+) were monitored to obtain accurate and representative data. Also, the study indicates that there is mild contamination from these elements in the river, but in order to reach a clear conclusion, it is prudent to do additional research in the study area. The sampling took place over a three-month period in 2018 (April, July and October). The data analysis revealed that the concentration of heavy metals such as Pb, Zn, Fe, Ni, Cd, Mn, Al, Cu, and Cr in several examined samples exceeds the maximum permissible limits. The findings show substantial levels of metal pollution in the tested samples, which were collected in three distinct locations. Atomic Absorption Spectroscopy was used to measure heavy metals.

Keywords: pollution, water, soil, sludge, power plants, heavy metals.

1. Introduction

Given the region's economic troubles, it is evident that assistance from other foreign funding sources is required for the development of additional energy capacities. Kosovo energy strategy, for the period 2009–2018, drafted by the Ministry of Energy and Mining (MEM) and approved by the Assembly of Kosovo in 2009, confirms the fact that in the long run, lignite will remain the main fuel for production of electricity for the entire territory of Kosovo [1].

The same has been confirmed in the revised Energy Strategy of Kosovo, for the period 2017-2026, where the development of lignite mining in the coming period is foreseen to take place in the northern part of the "Kosovo" lignite basin [2]. In general, the current production of electricity in Kosovo depends on the obsolete power plants "Kosova A and B", which burn lignite extracted from the existing mines of Bardhi and Mirash, located in west of the capital of Kosovo–Pristina [2]. Therefore, in this regard, it is required that lignite as a local source, should be putted to use for electricity production, with a responsible environmental and socio-economic treatment. Also, after the exploitation of mining and lignite supply of existing and new power plants, built in phases with generating capacities of 2 x 1000 MW, it is required that the exploited mining areas be filled and rehabilitated and then re cultivated [2]. The result of these processes will be changes in the spatial structure, expressed as in configuration, environment, soil use, landscape, extent of settlements, *etc.*

Sitnica River flows through many cities in Kosovo (around 90 km long). Mentioning this fact, it can contribute to hoarder pollution in these cities, as well as soil and water pollution in those areas. Before crossing the power

plants of Kosova, the Sitnica River is joined by three other rivers, [3] such as Drenica, Graçanka, and Prishtevka River, which carry the wastewaters and ash dumps of these power plants, respectively.

The activity of these power plants derived from the exploitation of lignite resources: (burning, production, and distribution of electricity) are some of the activities that have a direct impact on the environment, including the water of the Sitnica River. Today, it is well known that lignite combustion generates a large amount of smoke and dust, which contains: sulphur oxides (SO_x), nitrogen oxides (NO_x), carbon dioxide (CO_2), hydrocarbons, ammonia (NH_3) and hydrogen sulphide (H_2S). Ash dumps also contain inorganic compounds, the most important of which are toxic metals such as Pb, Ni, Cd, Al, Cr [2]. Heavy metals in water diffuse in a variety of physicochemical forms, including inorganic forms, organic complexes, and metal ions, which are absorbed by various types of solid and colloidal particles. Usually surface natural waters are characterized by low values of ecotoxic metals, where pollution of surface waters with ecotoxic metals results from anthropogenic activity, respectively the development of various industries, where concrete is the Sitnica River, in which direct sewage discharges are made from the Kosovo Power plants, from the disposal of ash dumps [4] as well as from urban wastewater, of cities such as; Prishtinë, Fushë Kosovë, and Kastriot. Pollution is also caused by open mines, such as the “Bardhi and Mirash” mines, all as a result of coal exploitation, as well as during atmospheric precipitation. All of these pollutants have an impact on a large area of central Kosovo, in surface water, groundwater, and also affect the agricultural areas in the vicinity of power plant complexes.

The primary goal of this study is to assess the influence of thermal power plants on water, soil and sludge pollution in the area around Kosovo Power stations by monitoring a series of physico-chemical parameters such as temperature, pH, dissolved oxygen, chemical oxygen demand, total dissolved solid, biochemical oxygen demand, main ions (SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- , and NH_4^+) and heavy metals.

2. Methods

Reagents

Chemicals used in this study were of analytical MERCK grade purity. Multielement standard solution for ICP, ACS reagents 37% HCl, 69% HNO_3 , 37% H_2O_2 , and deionized water of high purity was used (conductivity 0.05 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Study area and sampling

This study provides an overview of the Sitnica River in April, July, and October of 2018. The image below depicts a map of Kosovo, with the study area of the Sitnica River highlighted, which is only a few kilometres from Pristina, Kosovo's capital city.

Water, sludge, and soil samples were collected at three different locations along the river (Figure 1). The first sample (S.1) was collected parallel to the Lismir village, before the Sitnica River flows through the landfill of the Kosovo A power plants. The second sample point (S.2) runs parallel to the village of Lajthisht, and this area is considered to have the highest potential impact due to wastewater discharge from power plants as well as separately from the Kosova power plant B (ash dumps). Sample (S.3) is purposefully chosen at a distance of about 10 km from the power plants, parallel with Plemetin village, to assess the water's ability to self-purify.



Figure 1. Sampling sites in the study area: S.1.Vilage Lismir; S.2.Vilage Lajthisht; S.3.Vilage Plemetin.

The sampling and sample preparation were carried out in accordance with standard procedures [5]. Plastic/polyethylene bottles were used to hold water samples (volume of 2L). The bottle was placed in the opposite direction of the water flow for sampling. Immediately, another bottle was filled and treated with nitric acid to preserve it for heavy metal determination.

Sample preparation

First, water samples were filtered, before placing a 50 mL aliquot into Teflon vessels. Samples were then treated with 1mL of HCl and 5 mL of HNO₃ and digested in a BERGHOF-Speed Wave microwave [6].

A 3.5 gram of solid sample (soil and sludge) was weighed and placed in Teflon vessels. Samples were then treated with 10 mL of aqua regia and digested in the microwave. After the microwave digestion was finished, samples were filtered, diluted to 100 mL using deionized water [7].

Instrumentation and statistical analyses

Atomic absorption spectroscopy (Analytikjena contra-300) was used to measure the concentrations of heavy metals. For each group of analytical samples, two spiked blanks and two method blanks were simultaneously processed. Calculation and presentation of statistical charts were done with the Minitab Software program and are shown separately for each element parameters.

3. Results and discussion

The primary purpose of this research is to investigate the impact of thermal power plants on water, land, and sludge pollution in the Kosovo Power Station area. The result of the physical-chemical study is present in table 1.

The collected results were compared to the Water Framework Directive (DKU-WFD, 2000/60) [8] and found to meet the directive's standards.

Table 1. Results of physico-chemical parameters.

Parameters	Sampling Point: S.1 VillageLismir			Sampling Point: S.2 VillageLajthisht			Sampling Point: S.3 Village Plemetin		
	April	July	October	April	July	October	April	July	October
pH	8.1	7.65	8.95	8.8	7.9	8.2	8.9	8.8	9.3
DO, mg/L	4.16	5.23	5.2	5.61	5.5	5.6	5.5	5.7	6.61
COD, mg/L	8.22	10.6	13.8	5.89	7.65	6.12	12.9	17.7	20.6
TDS, mg/L	194	201	254	295	325	364	284	251	328
BOD ₅ , mg/L	3.21	5.23	7.35	8.9	10.6	5.24	4.6	9.1	4.21
SO ₄ ²⁻ , mg/L	112	119	163	149	181	168	191	144	121
PO ₄ ³⁻ , mg/L	0.911	1.49	0.895	1.135	1.846	1.986	1.101	1.138	1.087
Cl ⁻ , mg/L	30.8	57.1	81.3	30.1	31.4	30.8	33	43.6	73.4
NO ₃ ⁻ , mg/L	22.9	38.5	28.3	24.08	49.3	39.7	18.8	29.9	23.5
NO ₂ ⁻ , mg/L	1.8	2.1	1.9	1.36	2.61	1.9	1.17	2.25	10.9
Cond., (µS/m)	1249	1668	1489	1371	1774	1560	1398	1993	1994
NH ₄ ⁺ , mg/L	5.89	15.78	18.64	22.11	23.89	26.31	19.87	20.13	23.64

In the first sample in the village of Lismire, (S.1) although the Sitnica River water is still not directly affected by the potential area, there is still contamination with sulphates, nitrates, nitrites, and phosphates. The physical and chemical properties show some insights regarding the water quality [9], but they do not offer the complete image and regarding the water pollution.

The average value measured at three stations in Sitnica River indicates that the water has alkaline nature. The pH values exhibited small variations (minimum value of 7.65 and a maximum value of 8.39), the average value being 8.04, as seen from the respective values. This narrow variation of pH values indicates that there is a significant impact of civil and industrial discharges in the monitored surface water flow. The measured pH values in the water of Sitnica River lie in the normal range at all three measuring stations, based on this comparison, except; (sampling point: S.3.VilagePlemetin-October).

The TDS parameter values varied from 194 mg/L to 364 mg/L. The minimum value of 194 mg/L was determined for the sampling point S.1.VilageLismir (April), the maximum value of 364 mg/L was obtained at the measuring sampling point S.2.VilageLajthisht (October), the average TDS value being 328 mg/L.

In principle, water conductivity shows an upward trend in dry seasons with low rainfall. The change in electrical conductivity of the water at a constant temperature is closely related to the change of water mineralization, [10].

It is an important indicator of hydrogeological research. The lowest (minimum) value was obtained at the measuring sampling point S.1.Vilage Lismir 1249 µS/cm, whereas the maximum value was obtained at the measuring sampling point S.3.Vilage Plemetin 1994 µS/cm, the average value being 1560 µS/cm.

Ammonium is present in many samples of surface and ground water. As such, it results from the microbiological activity of the dissolution of organic compounds of nitrogen. Its presence in the water is indicative of new organic pollution. The ammonia risk in water depends on temperature, pH value, oxygen, and dissolved carbon dioxide. The monitoring and analysis of this parameter in the water Sitnica River showed the value from: 5.89 mg/L (S.1.Vilage Lismir) to 26.31 mg/L (S.2.Vilage Lajthisht), the average NH₄⁺ value is 18.64 mg/L.

Nitrates constitute a higher degree of oxidation of the nitrogen in nature. The drinking water must not contain more than 15 mg/L of nitrate as nitrogen. In surface waters, they are present in small quantities [11], whereas in groundwater they are found in larger amounts. Nitrates are present the final product of biological oxidation of organic pollution. This indicates for this water, it's polluted in the monitoring time, by the United Nations Economic Commission for Europe (Table 2). The minimum value was 18.8 mg/L (S.3.Vilage Plemetin), the maximum value was 39.7 mg/L (S.2.Vilage Lajthisht) and the average value is 29.9 mg/L.

Table 2. Classification of river quality by UNECE (content, mg/L).

Category	<i>P. Total</i>	NO_3^-	<i>OT</i>	<i>BOD</i> ₅	<i>COD</i>	NH_4^+
I	<10	<5	>7	<3	<3	<0.1
II	10–25	5–25	7–6	3–5	3–10	0.1–0.5
III	25–50	25–50	6–4	5–9	10–20	0.5–2
IV	50–125	50–80	4–3	9–15	20–30	2–8
V	>125	>80	<3	>15	>30	>8

Nitrites are toxic and the maximal acceptable amount in drinking water is 0.2 mg/l of nitrite, the limit of detection of nitrites being of 0.005 mg/L. The obtained results at the sampling place of Sitnica River showed the following values: at sampling point Village Plemetin the minimum value was 1.17 mg/L, while the maximum value was 10.9 mg/L, obtained at sampling point Village Plemetin the average value was 2.61 mg/L. The maximum values were obtained at sampling point Village Lajthisht 1.986 mg/L, whereas the lowest values were obtained at S.1. Village Lismir, the values were 0.895 mg/L, thus the average value was 1.135 mg/L.

Sulphide of heavy metals may be transformed into more soluble oxidized sulphates when flooded soil becomes drained and aerated. Sulphates of heavy metals are also readily available to plants, and their occurrence in soils has practical importance in agriculture [8].

Sulphates pose a threat to water bodies in that they provoke anaerobic phenomena during their transformation into sulphate by consuming the water oxygen. Chemical analyses in the water of Sitnica River at the three-sampling point S.1.Vilage Lismir showed the minimum of the values of 112 mg/L maximum 163 mg/L, S.2.Vilage Lajthisht showed the minimum of the values of 149 mg/L maximum 181 mg/L and S.3.Vilage Plemetin showed the minimum of the values of 121 mg/L maximum 191 mg/L of SO_4^{2-} .

Chlorides as the most soluble salts occur only in soils of arid or semiarid climatic zones, chloride affinity for forming easily soluble complexes with Cd is of environmental concern. Thus, Cl geochemistry, similar to Br geochemistry, is closely related to water chemistry and to evaporite deposits [12].

This indicator in the water of Sitnica River at the three sampling point S.1.Vilage Lismir showed the minimum of the values of 30.08 mg/L maximum 81.3 mg/L, S.2.Vilage Lajthisht showed the minimum of the values of 30.01 mg/L maximum 31.4 mg/L and S.3.Vilage Plemetin showed the minimum of the values of 33 mg/L maximum 73.4 mg/L, at all three sites, allowable values are presented according to Directive 2000/60/EC., 2000[8].

In terms of BODs, at the sampling site S.1.Vilage Lismir the average results were, from 3.21 mg/L - 7.25 mg/L, whereas in the sampling site S.2.Vilage Lajthisht, from 5.24 mg/L-10.6 mg/L, and the sampling site S.3.Vilage Plemetin, from 4.2 mg/L-9.1 mg/L, which indicates that the waters of this part along the Sitnica River, are classified as 2nd class waters.

The situation more or less begins to stabilize at the S.3 sampling point in Plemetin village. The values of physico-chemical parameters begin to decrease, with BOD decreasing in particular and improving, in: 4.21 mg/L, increasing the amount of DO, in: 6.61 mg/L, and this stabilization of such values of physicochemical parameters results from the water's ability to auto purification, but also to the sedimentation of many other elements [11].

In terms of heavy metals, at the sample location (S.2), the considerable influence from the open mines of "Mirash and Bardhi" on one side, and ash dumps on the other, [4] resulted in a rise in heavy metal concentration (Figure 2, 3, 4), with the greatest difference at: Cd, which at maximum values increases to: Cd > 0.09 mg/L, then Cr > 0.19 mg/L, Pb > 0.5 mg/L, Mn > 0.7 mg/L, Fe > 0.3 mg/L and Ni > 0.1 mg/L [2], while elements such as: Al, Cu, and Zn are almost within the permissible limits of water Intended for Human Consumption [13]. The environmental pollutant reference values according to Dutch Standard are given in Table 3, which includes the analysis and measurement regulations for all compounds for which intervention values have been defined [14].

Table 3. Environmental pollutant reference values according to Dutch Standard [14].

Metals	Concentration of metals in soil (mg/kg dry matter)		Concentration of metals in groundwater ($\mu\text{g/L}$)	
	Target value*	Intervention value**	Target value*	Intervention value**
Cadmium (Cd)	0.8	12	0.4	6
Chromium (Cr)	100	380	1	30
Copper (Cu)	36	190	15	75
Nickel (Ni)	35	210	15	75
Lead (Pb)	85	530	15	75
Zinc (Zn)	140	720	65	800

The target values indicate the level at which there is a sustainable soil quality;

**The soil remediation intervention values indicate when the functional properties of the soil for humans, plant and animal life, is seriously impaired or threatened.

The presented results in this section (mg/L) are in the comparative figures of three sampling points (S.1, S.2 and S.3) measured in water. Also, the correlation of these figures is with dendrogram showed below (Figure 5) that presents the similarity distribution of these elements in the three sampling points of water.

It is implied that the sample (S.2), have a potential impact area of pollution which is marked by a significant increase in heavy metal concentration, as this sample is directly exposed to the activity of power plants of Kosovo "A & B".

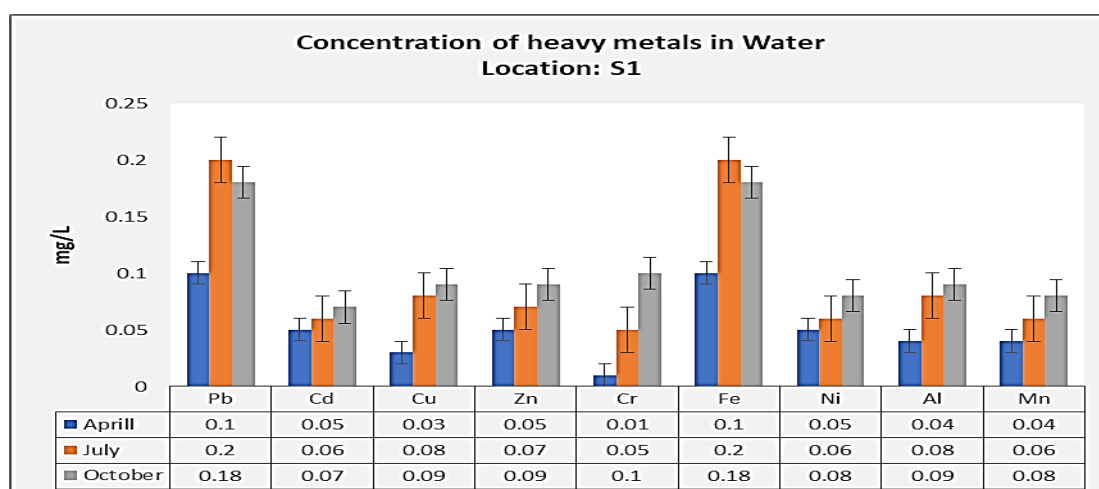


Figure 2. Concentration of heavy metals in water samples in location S.1.Vilage Lismir.

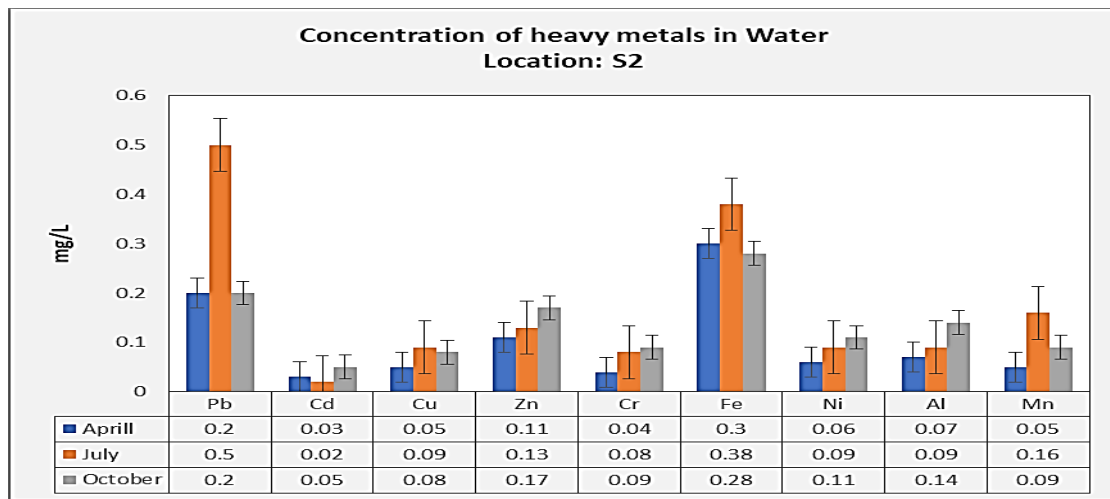


Figure 3. Concentration of heavy metals in water samples in location S.2.Vilage Lajthisht.

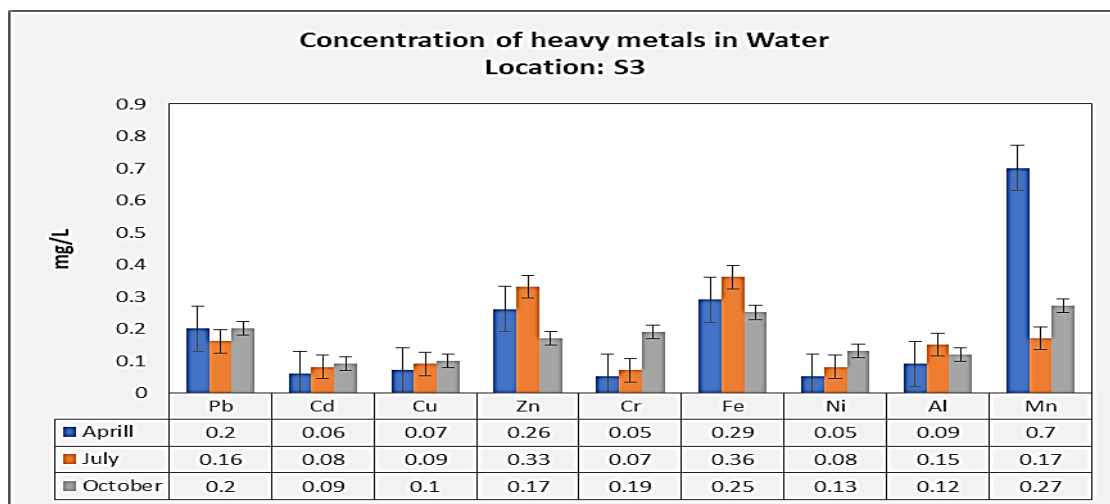


Figure 4. Concentration of heavy metals in water samples in location S.3.Vilage Plemetin.

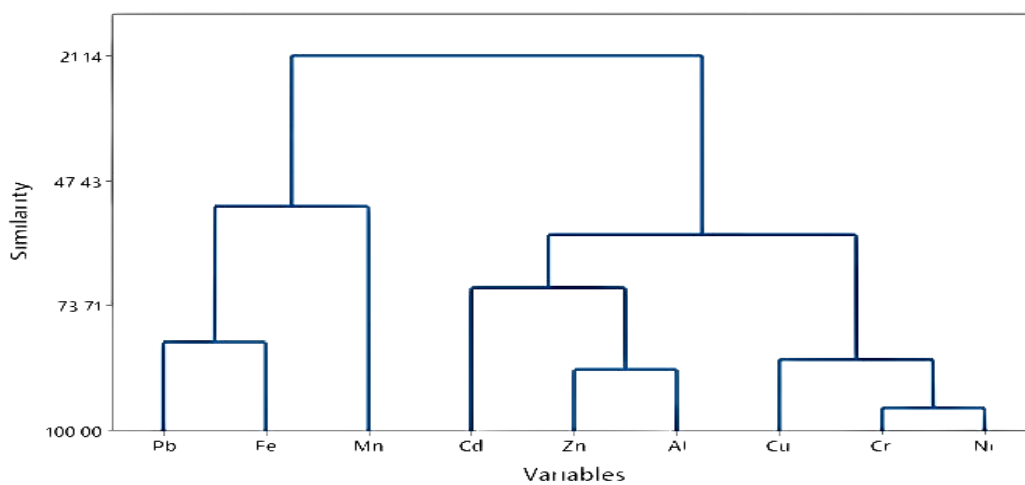


Figure 5. Dendrogram analysis of the elements measured in the water, at the three samples (S.1VilageLismir, S.2VilageLajthisht and S.3VilagePlemetin).

The following figure below (Figure 5) shows the similarity distribution of elements in water samples compared in three different sampling points. The dendrogram analysis (Figure 5) shows that the highest similarity is observed for elements: Cd, Zn, Ni, Al, Cu, Mn, and Cr, while there is an essential difference, for Pb and Fe [15]. The approximate concentration of Pb and Fe is due to the merger of the Drenica River into the Sitnica River in the village Vragoli, where these two rivers merge. Drenica River is polluted by the “New Ferronickel” complex that enriches Fe-Ni, and other elements [13].

The presented results in this section (mg/kg) are in the comparative figures of three sampling points (S.1, S.2 and S.3) measured in sludge. Also, the correlation of these figures is with dendrogram showed below (Figure 9), which presents the similarity distribution of these elements in the three sampling points of sludge.

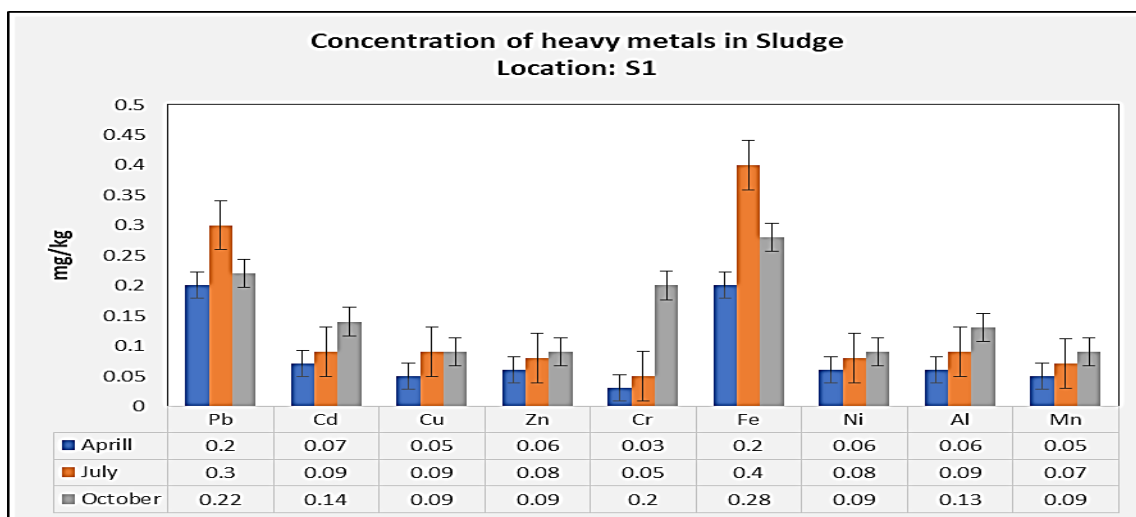


Figure 6. Concentration of heavy metals in sludge samples in location S.1.Vilage Lismir.

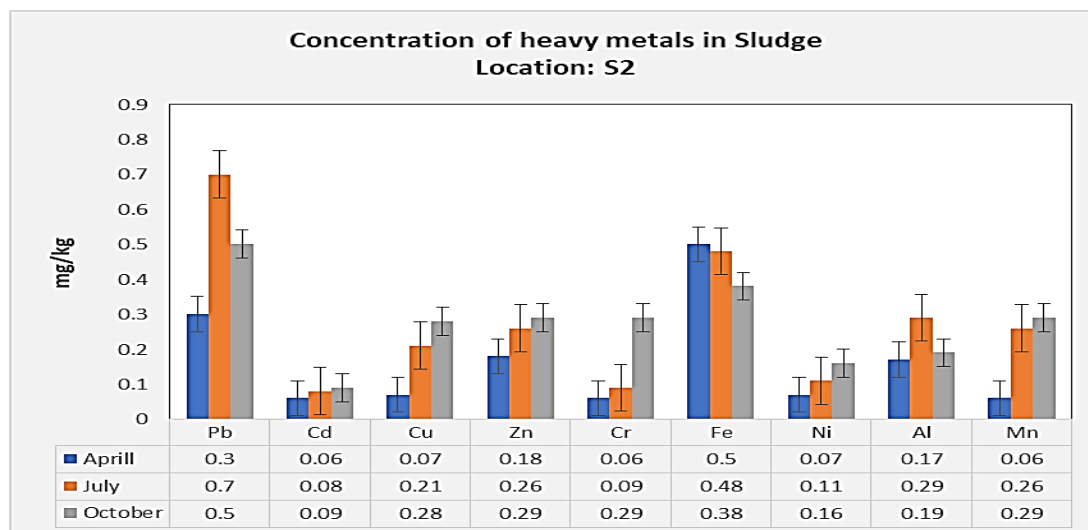


Figure 7. Concentration of heavy metals in sludge samples in location S.2.Vilage Lajthisht.

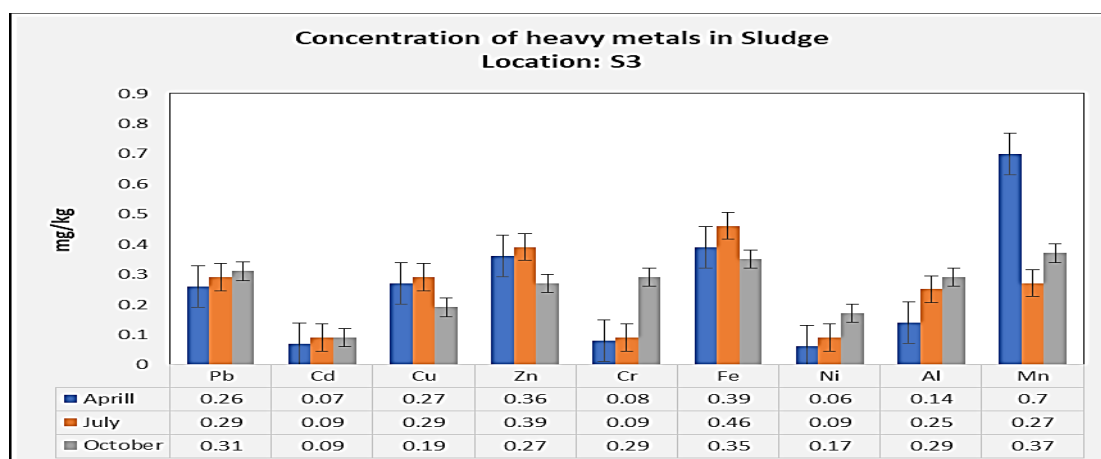


Figure 8. Concentration of heavy metals in sludge samples in location S.3.Vilage Plemetin.

As expected, the highest concentration of elements are in the sludge samples (Figure 6 -8), due to the sedimentation of the chemical elements in the sludge layer. A particular emphasis on the sample (S.2), namely in October, because in this season's timers the water of the river is shallower, and the concentration of chemical elements is focused on sediment, namely the bottom material of the riverbed[16].

High values of heavy metals, we have especially for Pb > 0.7 mg/kg, Cd > 0.14 mg/kg, Cr > 0.29 mg/kg, Fe > 0.5 mg/kg, Ni > 0.17 mg/kg, Al > 0.29 mg/kg and Mn > 0.7 mg/kg [17], while elements Zn and Cu are below permitted values according to the (World Health Organization) [18], more complete than the WHO Standards (1993).

The following figure below (Figure 9) shows the similarity distribution of elements in sludge samples, compared in three different sampling points. The concentration of Pb and Fe as expected the highest values are in the sludge, the same as in the case of the water sample. This distribution due to Pb and Fe mobility in the environment can reach relatively high concentration values, [17]. As in the case of water samples, the highest similarity (based on dendrogram analysis, Figure 9) is found for other elements: Cd, Cu, Mn, Ni, Cr, Zn, and Al.

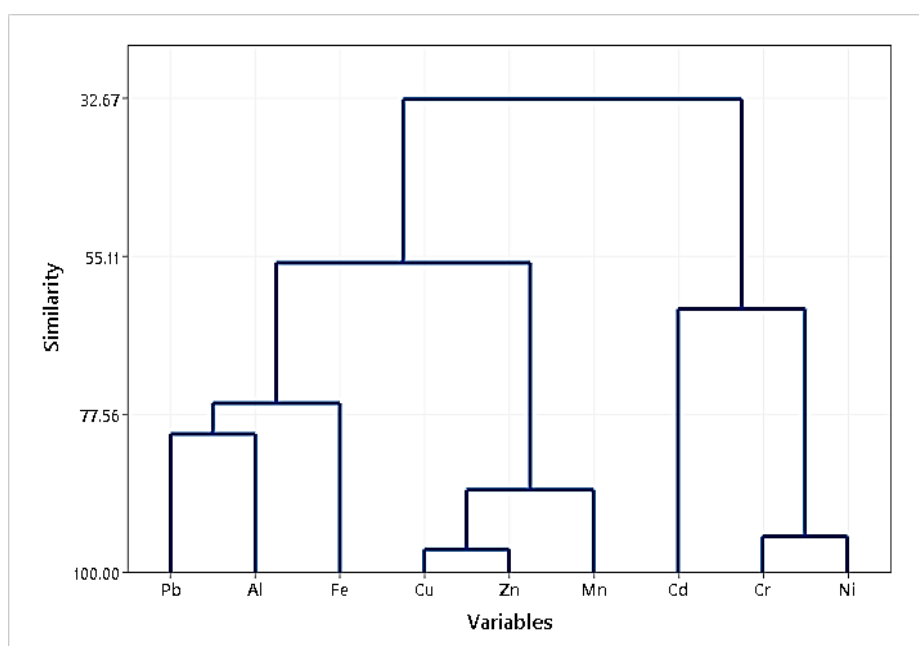


Figure 9. Dendrogram analysis of the elements measured in the sludge, at the three samples (S.1VilageLismir, S.2VilageLajthisht, S.3Vilage Plemetin).

Approximately the same concentrations of chemical elements are also present in the soil samples, at the three-sampling point shown (Figure 10-12), even in this case, the dominant values are almost the values of the elements, such as $Pb > Fe > Ni > Cd > Mn > Al > Cu > Zn$ and $> Cr$, especially at the sample (S.2), where higher values of heavy metals, occur in agricultural lands [19].

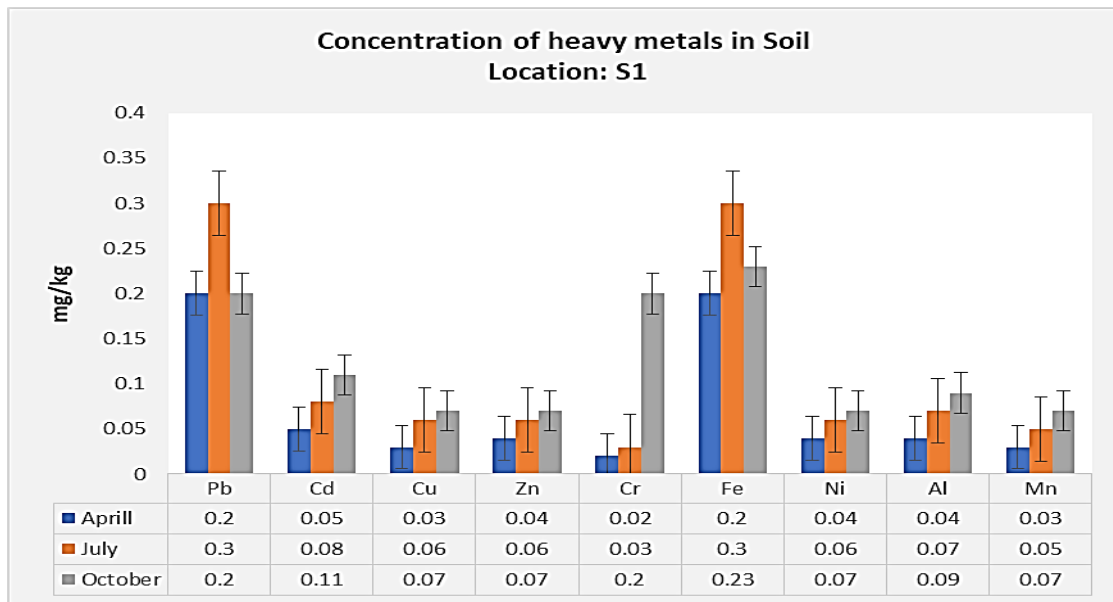


Figure 10. Concentration of heavy metals in soil samples in location S.1.Vilage Lismir.

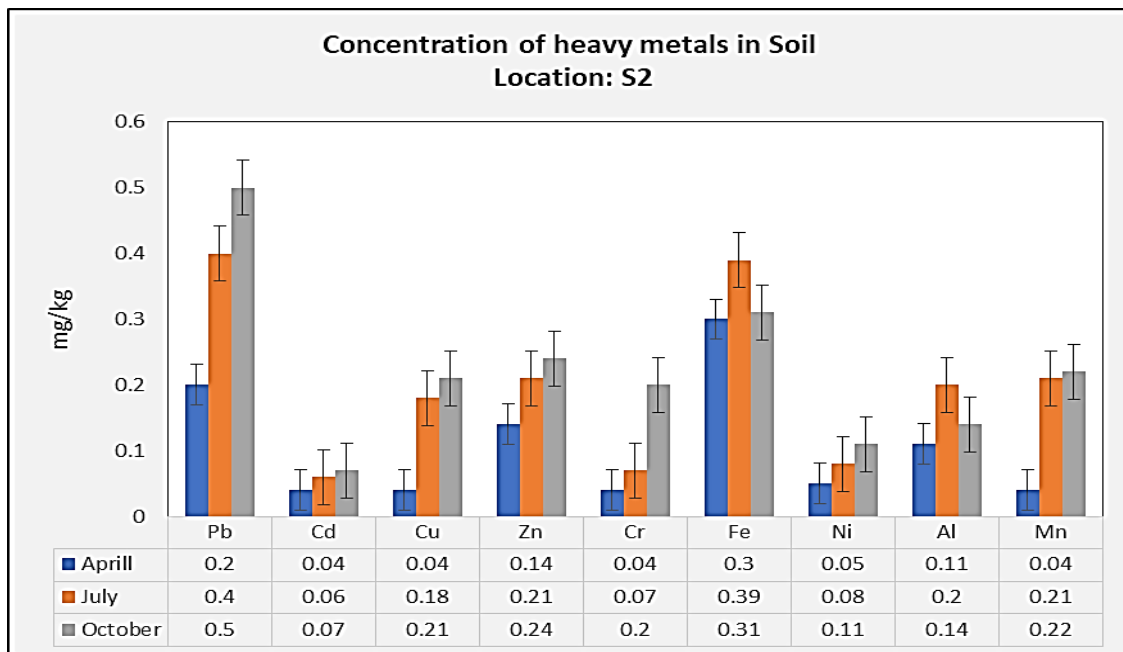


Figure 11. Concentration of heavy metals in soil samples in location S.2.Vilage Lajthisht.

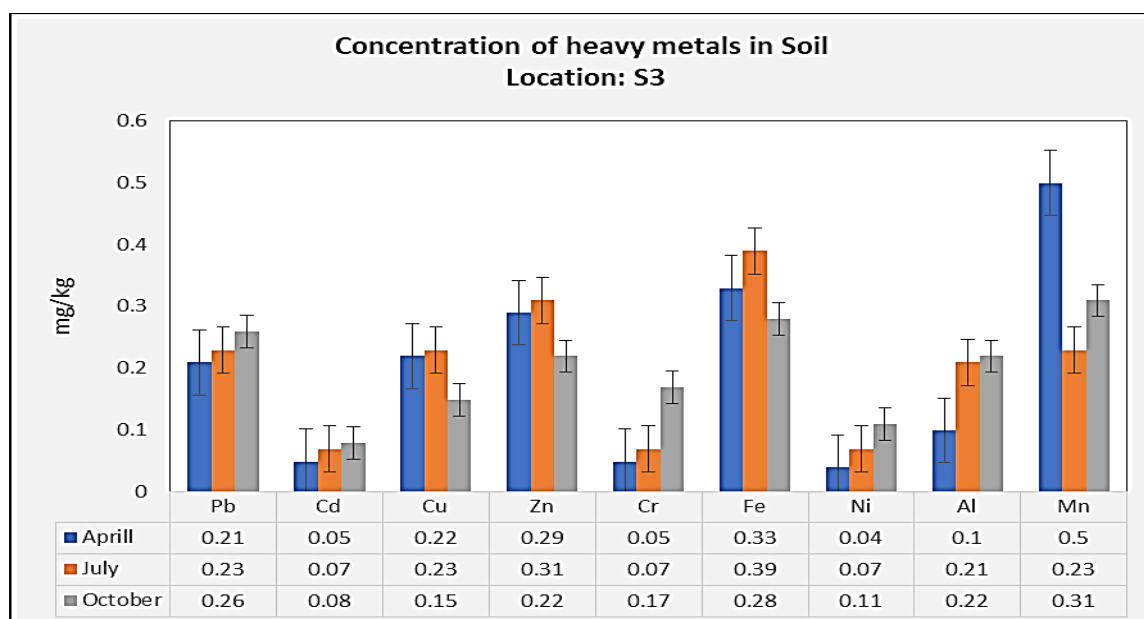


Figure 12. Concentration of heavy metals in soil samples in location S.3.Vilage Plemetin.

The presented results in this section (mg/kg) are in the comparative figures of three sampling points (S.1, S.2 and S.3) measured in soil. Also, the correlation of these figures is with dendrogram showed below (Figure 13) that presents the similarity distribution of these elements in the three sampling points of soil. For the Mn, the increased concentration in the soil samples is found for the sampling site in (Village Plemetin/ October).

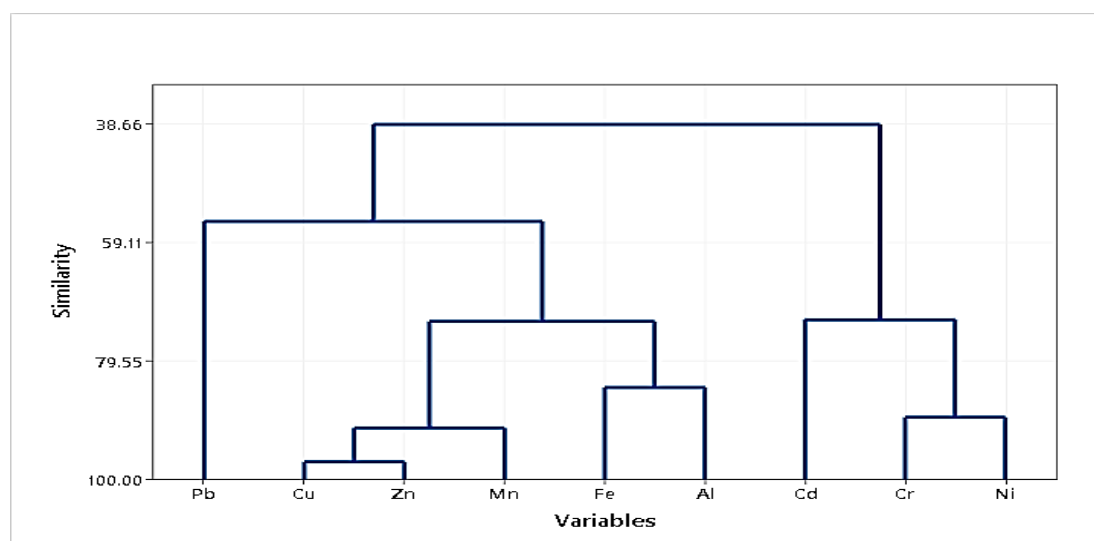


Figure 13. Dendrogram analysis of the elements measured in the soil, at the three analysed samples (S.1VilageLismir, S.2VilageLajthisht, and S.3VilagePlemetin).

Based dendrogram analysis (Figure 13) (as in the case of Fe) the major difference among the sampling sites was Village Lismir and Lajthisht Village [10,20]. The same conclusion as for Pb and Fe can also be drawn for Mn, compared to other heavy metals that were in soil samples.

Even though Kosovo does not yet have a legislative provision for permissible hazardous metal concentrations in natural water resources, the findings of this study are a little contribution to gaining a clear overview of the statement in this field of environmental quality assurance.

4. Conclusions

The primary purpose of this research was to investigate the impact of thermal power plants on water, soil, and sludge pollution in the vicinity of Kosovo Power Stations. Therefore, ecological and environmental issues coming from Kosovo Power Plants (A and B), have been aggravated over the last few decades, threatening environmental devastation not only in that region but throughout Kosovo. The specific risk associated with these heavy metals in the environment, is bioaccumulation through the food chain and their persistence in nature.

In this research, several metals (Pb, Cd, Cu, Zn, Cr, Fe, Ni, Al and Mn) were analysed in three types of samples: water, soil, and sludge at nine sampling points, in the months of April, July, and October, in 2018.

Results demonstrate that the presence of these metals in environmental samples, has a common source: the coal type used from activities of the Power Plants (A and B), whereas the most physicochemical parameters, are in accordance with the Water Framework Directive (DKU-WFD) 2000/60 and classification of river quality by UNECE (content, mg/L).

In terms of heavy metals in water, notice the influence of the open mines of “Mirash and Bardhi” at the sample location (S.2), as well as the concentration of heavy metals following the orders: Cd > 0.09 mg/L, followed by Cr > 0.19 mg/L, Pb > 0.5 mg/L, Mn > 0.7 mg/L, Fe > 0.3 mg/L, and Ni > 0.1 mg/L, whereas Al, Cu, and Zn are practically below the acceptable limits of water intended for human consumption.

Chemical elements with large concentrations were identified in sludge samples in the following order: Pb > 0.7 mg/kg, Cd > 0.14 mg/kg, Cr > 0.29 mg/kg, Fe > 0.5 mg/kg, Ni > 0.17 mg/kg, Al > 0.29 mg/kg, and Mn > 0.7 mg/kg, while elements Zn and Cu are below permitted values according to the World Health Organization.

Approximately the same concentrations of chemical elements are also present in the soil samples, at the three-sampling point. Even in this case, the dominant values, such as Pb > Fe > Ni > Cd > Mn > Al > Cu > Zn and > Cr, are almost the same in the soil samples, especially at the three-sampling point shown (S.2)

The study confirms that the Power Plants (A and B), has a notable impact on the distribution of metals, in the vicinity of the Kosovo Power Stations. But, to make matters worse, the thermocentrales is surrounded by residential areas, including a major city less than 15 km away. Due to the high levels of contamination, proper disposal of ash waste should be done in order to decrease the risk of environmental disasters and to protect public health.

Finally, according to the obtained results, it can be inferred that the studied zone around the power plants (the River Sitnica) is contaminated due to coal being used as a fossil fuel, for the purpose of generating heat. It was thereby concluded that the concentration of heavy metals, with a special focus on Pb, Cd, Cu, Zn, Cr, Fe, Ni, Al and Mn, in most areas are in toxic levels, and thus contaminating water, sludge and soil, in the study area.

References

- [1]. Energy strategy of the Republic of Kosovo for the period 2009–2018. Pristine, 2009. Ministry of Energy and Mining.
- [2]. Energy Strategy of the Republic of Kosovo 2017–2026. Pristine-March 2017. Ministry of Economic Development.
- [3]. Demaku, S.; Bajraktari, N. (2019). Physicochemical Analysis of the Water Wells in the Area of Kosovo Energetic Corporation (Obiliq, Kosovo). *Journal of Ecological Engineering*, 20(7), pp. 155-160. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/109874>
- [4]. Demaku, S., Shehu, I., Jusufi, S., Arbnesi, T. and Dobra, B. (2011). Heavy metals in coal ash, soil, water and sludge near the two coal-fired power stations in Kosova. *Journal of International Environmental Application and Science*, 6 (3), pp. 412–416.
- [5]. US Environmental Protection Agency Office of Water, Washington, DC (1996), Sampling ambient water for trace metals at EPA water quality criteria levels. USEPA, J. Method 1669.

- [6]. Canbay, H.S.; Doğantürk, M. (2017). Metals determination by Microwave digestion ICP-OES of some dietary supplements and diet products in Turkey. *Eurasian Journal of Analytical Chemistry*, 12 (1), pp. 45–53. DOI: <https://doi.org/10.12973/ejac.2017.00143a>.
- [7]. US Environmental Protection Agency Office of Water, Washington, DC, Method 3050B-Acid digestion of sediments, sludges and soils. *Test Methods for Evaluating Solid Wastes: Physical/Chemical Methods EPA SW-846*, USEPA Office of Solid Waste and Emergency Response Washington, DC. 1, 3050B – 1. 1996.
- [8]. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*, 22, 2000.
- [9]. Szalinska, E.; d'Obyrn, K. (2018). Long-term changes in surface and groundwater quality in the area of a municipal landfill (Barycz, Poland). *Environment Protection Engineering*, 44 (1), pp. 103-115. DOI: 10.37190/epe180108.
- [10]. Musliu, M.; Bilalli, A.; Durmishi, B.; Ismaili, M.; Ibrahim, H. (2018). Water Quality Assessment of the Morava e Binçës River Based on the Physicochemical Parameters and Water Quality Index. *Journal of Ecological Engineering*, 19 (6), pp. 104-112. DOI 10.12911/22998993/92676.
- [11]. Kara, G.T.; Kara, M.; Bayram, A.; Gündüz, O. (2017). Assessment of seasonal and spatial variations of physicochemical parameters and trace elements along a heavily polluted effluent-dominated stream. *Environmental Monitoring and Assessment*, Springer. 189, art.no. 585. DOI: 10.1007/s10661-017-6309-4.
- [12]. *Environmental inorganic chemistry—properties, processes, and estimation methods*. Edited by I. Bodek; W. Lyman; W. F. Reehl and D. H. Rosenblatt. —New York Oxford / Beijing Frankfurt / Sao Paulo / Sydney/ Tokyo / Toronto: Pergamon Press 1988. ISBN 0-08-036833-6.
- [13]. World Health Organisation. *Drinking Water Parameter Cooperation Project (2017): Support to the revision of Annex I Council Directive 98/83/EC on the Quality of Water Intended for Human Consumption (Drinking Water Directive)*. WHO: Geneva, Switzerland.
- [14]. Dutch Target and Intervention Values, 2000 (the New Dutch List), 51 p.
- [15]. Fulekar, M.H.; Naik, D.S.; Dave, J.M. (1983). Heavy metals in Indian coals and corresponding fly-ash and their relationship with particulate size. *International Journal of Environmental Studies*, Taylor & Francis, 21 (2), pp. 179–182.
<https://doi.org/10.1080/00207238308710074>.
- [16]. Kadhum, S.A.; Ishak, M.Y.; Zulkifli, S.Z. (2016). Evaluation and assessment of baseline metal contamination in surface sediments from the Bernam River, Malaysia. *Environmental Science and Pollution Research*, Springer. 23, pp. 6312–6321. DOI: 10.1007/s11356-015-5853-0
- [17]. Wang, Y.; Wang, P.; Bai, Y.; Tian, Z.; Li, J.; Shao, X.; Mustavich, F.L.; Li, B.L. (2013). Assessment of surface water quality via multivariate statistical techniques: a case study of the Songhua River Harbin region, China. *Journal of Hydro-Environment Research*, Elsevier. 7, pp. 30–40. DOI: 10.1016/j.jher.2012.10.003
- [18]. World Health Organization *santé, O. mondiale de la, programme, W.--W., Zdrowia, Ś.O., Organization, W.H., WHO and Staff, W.H.O. (2004) Guidelines for drinking-water quality*.
- [19]. Kabata-Pendias, A. (2010). *Trace elements in soils and plants*. CRC press, 548 p.
- [20]. Tahri, M.; Benyaich, F.; Bounakhla, M.; Bilal, E.; Gruffat, J-J; Moutte, J.; Garcia, D. (2005). Multivariate analysis of heavy metal contents in soils, sediments and water in the region of Meknes (central Morocco). *Environmental Monitoring and Assessment*, Springer. 102, pp. 405–17. DOI: 10.1007/s10661-005-6572-7.



IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON RESIDENTIAL ELECTRICITY CONSUMPTION COINTEGRATION ANALYSIS: A SAMPLE OF ERBIL CITY

Muhammed Hanifi VAN

Van Yüzüncü Yıl University, Faculty of Economics and Administrative, Econometrics, Van, Turkey.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6093-011X>

Zewar Omar ISMAEL

Salahaddin Univesity, College Adminstration and Economic, Statistics, Erbil, Iraq
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0922-3425>

Abstract

Identifying changes in energy consumption can be affected by climate change. The rising intensity of climate change, especially global warming, will have a negative impact on energy consumers and power companies economically. As a result, it is vital to identify the primary challenges that will determine how changes in the economy, environment, and technology as a result of climate change affect the energy system's future. The objective of studu is to analyze the long-term link between electricity usage and climatic factors such as air temperature, humidity, and wind speed in Erbil city of Iraq, using monthly data from 2009 to 2019. Data were obtained from two sources. First one, the electricity load data was obtained from the Erbil directorate of electricity. The latter, wind speed, temperature, and rate of humidity, were obtained from the general directorate of agriculture and weather. In this study, the dependent variable is electrical load, and the independent variables are humidity, temperature, and wind speed. For this purpose, firstly, the graphs of the series were examined to see the general course of the series. Then, ACF and PACF graphs were examined to understand whether there was seasonality or not. Then, the stationarity of the series was examined by conventional unit root tests. The cointegration relationship between the electricity load and wind speed series, which are stationary in their first difference, is tested with the Jonahansen cointegration method. The cointegration relationship between the electrical load, wind speed, and air temperature and humidity series, which are stationary at different levels, was tested using the ARDL method. According to the results obtained, it has been determined that the series of electric load and wind speed move together in the long run. According to the ARDL model estimation results, it was found that there is a statistically significant long-term relationship between electric charge and humidity, wind speed and air temperature. These results show that climate change will increase energy use.

Keywords: Climate Change, Electricity Consumption, Cointegration Analysis.

1. INTRODUCTION

Climate change can have an impact on determining changes in energy consumption. The increasing intensity of climate change, the increase in carbon dioxide emissions leads to global warming. Thus, there is a need to identify key challenges that how changes in economic, environment and technology under climate change will affect the future of power system. The connection between power system, climate change and economic has many aspects and it is complicated Queiroz et al (2016). A major effect of climate change on energy usage is how much it raises or lowers the temperature. There are a number of empirical studies that suggest temperature is the most important weather component when it comes to determining how much energy people consume. Buildings need to be heated in cold weather, and cooled in hot weather (Silhvola at al;2010; Sailor and Muñoz, 1997).

Iraq has performed relatively few research on the coincidental link between climate change and energy consumption. Electricity is heavily utilized for heating in the winter and cooling in the summer, particularly in Erbil. However, the felt air temperature, humidity and wind speed can increase or decrease the electrical load. Cooler or warmer weather introduces a high demand for temperature conditioning in tropical and subtropical countries. The main source of indoor temperature conditioning is electricity. The fluctuation of weather can have a major impact on electricity via different aspects such as socially and economically.

Erbil city has suffered a huge damages of electricity supply as the result of Gulf was in 1991 and civil war between 1992-1996. Most of the stations, transmission lines and distributional stations were destroyed. The main source of electricity for was from the hydropower stations of Dokan and Derbandikhan in Sulaymaniya province (Kadir, 2020). The system power load is equal to the total of all users' electrical loads. The purpose of predicting system-level power load is to forecast future system-level electricity load. A thorough grasp of the system's features enables the development of realistic forecasting models and the selection of relevant models for various scenarios. Erbil city is very cold in winter and very hot in the winter. Most people are relying on electricity for the main sources of cooling and heating.

The purpose of this study is to examine the link between climate change and power usage in Iraq using time series data from 2009 to 2019. To avoid omitted variables that occur from bivariate models this study will apply a multivariate model by including several variables, which are humidity, temperature, and wind speed, in order to examine cointegration and casual relationship between climate change and energy consumption. Research Aim 1: To review the available literature on the relationship between climate change and energy consumption Research Aim 2: To assess the long run and short run relationship between electricity load and other factors such as temperature, wind speed and rate of humidity in Erbil

2. METHODOLOGY AND APPLICATION

In this study we provides the main results of the study. It provides graphical presentation to detect stationarity of time series, explanatory of data analysis, unit root test including ADF and Phillip Perron approaches. We have provided the results for cointegration analysis.

We have provided some descriptive statistics for the data in order to know the characteristic of the data set. The descriptive statistics for the data including mean and standard deviation have been calculated. We have collected the data between 2009 and 2019. We have obtained data from two sources for the period of 2009 and 2019. Several variables were collected including wind speed, temperature, electricity load, rate of humidity and time. The electricity load data is obtained from Erbil directorate of electricity. Wind speed, temperature and rate of humidity are obtained from general directorate of agricultural and weather.

Table 1: Descriptive statistics

Variable	N	Mean	Std. Dev.	Min.	Max.
Total electricity load	132	23451.36	8645.417	53880.58	53880.58
Rate of humidity	132	38.79517	7.273610	13.90189	62.58136
Tempreture	132	21.96987	1.466530	16.69333	27.20889
Wind speed	132	6.165348	3.595883	1.375000	17.54000

of the obtained data

Table 1 show that the average electricity load is 23,451 KW in 10 years while the average of humidity rate is 38.8. The average of temperature in Erbil is below 22 for 10 years. Additionally, the average of maximum wind speed is 6.2 () for 10 years in Erbil.

2.1. Unit root test

We tested for unit root to see if the time series data was stationary. The unit root has been tested using Augmented Dickey-Fuller (ADF) (1979) æ and Phillip Perron (PP) methods.

Table 2: Augmented Dickey-Fuller (ADF) results

Variable	Intercept		None	
	Level	1 st Difference	Level	1 st Difference
T_Loadsa	-1,66	-9,95***	0,75	-9,83***
O_Rhsa	-7,93***	-13,76***	-0,43	-13,81***
o_Tcsa	-7,61***	-11,58***	-0,28	-11,63***
m_Ws	-1,37	-10,69***	-0,15	-10,71***

Note: Statistical significance is shown by ***, **, and * at percentages of 1, 5, and 10%.

Table 2 shows the result of an Augmented Dickey Fuller test for the unit root. Variables are tested including wind speed, electricity load, temperature, and rate of humidity. We have used Augmented Dickey Fuller approach to test unit root for all variables separately. The null hypothesis is that each variable has unit root. The tests for unit root in levels with no intercept illustrates all the variables are non-stationary. After taking first difference, the variables became stationary. However, it can be noticed that the ADF test results with allowing intercept reveal that only variables of rate of humidity and temperature are stationary. After taking first difference with allowing intercept, all the variables exhibit unit root process. It is worth mentioning that the ADF tests do not allow for the presence of structural breaks. Thus, the results may be biased (Glynn et al, 2007). We can conclude that not all the four series are stationary, so we have taken difference and all the series become stationary with or without allowing intercept. We know from the unit root test that the three series aren't stationary, so we make them stationary by taking the first difference between each of them.

Table 3: Philip Perron test results

Variable	Intercept		None	
	Level	1 st Difference	Level	1 st Difference
T_Loadsa	-2,59	-18,47***	0,33	-17,74***
O_Rhsa	-3,06*	-9,07***	-0,28	-9,09***
o_Tcsa	-7,60***	-33,18***	-0,61	-33,07***
m_Ws	-1,64	-10,34***	-0,41	-10,37***

Note: Statistical significance is shown by ***, **, and * at percentages of 1, 5, and 10%.

Table 3 shows the result of a Phillip Perron test for the unit root for all variables separately. The same asymptotic distribution as the ADF can be obtained for the PP Y_t and Y_π under the null hypothesis which is $\pi = 0$. One of the advantages of the PP test is that it can be robust to the general form of heteroskedasticity in the error term u_t unlike the ADF test. Also, it is not necessary to specify lag length for the test. The tests for unit root in levels without intercept illustrates all the variables are non-stationary. After taking first difference, the variables became stationary. Additionally, it can be noticed that the PP test results with allowing intercept reveal that only variables of rate of humidity and temperature are stationary. After taking first difference with allowing intercept, all the variables exhibit unit root process.

2.2. Cointegration

Since wind speed and load are stationary at the same level, the cointegration relationship between them has been investigated.

Table 4: Johansen cointegration results

Null Hypothesis	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.
No Cointegration	21.47371	20.26184	0.0339
At most 1	4.342999	9.164546	0.3634
Null Hypothesis	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.
No Cointegration	17.13071	15.89210	0.0318
At most 1	4.342999	9.164546	0.3634

The long-run relationship between the covariates estimated applying Johansen cointegration method. There results of trace statistics reveals that there at least one cointegration equation. We test the null hypothesis of no cointegration in which there is no cointegration among variables. Since the trace statistic value is greater than 5% critical value, we reject null hypothesis. At most 1 reveals that there is at least one cointegration equation and it is statistically significant (trace statistics is lower than 5% critical value).

Thus, from the cointegration test results given in Table 4; from the trace statistics and the maximum eigenvalues, it is seen that there is at most one cointegration between the series.

RESULT

The objective of this study was generally to assess the relationship between climate change and electricity consumption in Iraq using the cointegration analysis for the time series data between 2009 and 2019. We obtained the data from the two sources and the obtained variables were electricity load, temperature, humidity rate and Wind speed. We have provided descriptive statistics to know the mean and SD of the variables and we have provided various graphs to see whether the stationarity is presented for all variables. We have found using graphic inspection that variables of rate of humidity, wind speed and temperature were not stationarity. We adjusted seasonality for the variables of rate of humidity and wind speed.

Additionally, we have used Augmented Dickey-Fuller (ADF) and Phillip Perron (PP) approaches to test unit root. The tests for unit root in levels with no intercept using ADF revealed that all the variables were non-stationary. After taking first difference, the variables became stationary. The ADF test results with allowing intercept revealed that only variables of rate of humidity and temperature were stationary. After taking first difference with allowing intercept, all the variables exhibited unit root process. There are some studies that used ADF to test stationarity of weather data using ADF approach. For example, Tran et al (2020) have used ADF method to test their temperature data.

The long-run relationship between the covariates estimated applying Johansen cointegration method. There results of trace statistics revealed that there at least one cointegration equation. We looked at the null hypothesis of no cointegration, which says that no variables are linked together. Null hypothesis was ruled out since the trace statistic value exceeded the crucial value by 5 percent. We thus rejected it. Wind speed and electrical load have a long-term connection, which means that when wind speed increases, so can the power load.

Similar results have been obtained by Cheng Zhang et al. (2019) as studied Climate effects such as temperature and electricity consumption as they found that increasing daily temperature influences the electricity consumption in the rural area. Moreover, A. Ngah Nasaruddin et al showed with a positive relationship between temperature-electricity consumption, and rainfall-electricity consumption and Hernández, L et al have found a correlation between weather and electric power demand, as they designed a new ANN-based architectural models for electric load forecasting.

REFERENCE

- Sailor, D. J., & Muñoz, J. R. (1997). Sensitivity of electricity and natural gas consumption to climate in the USA—Methodology and results for eight states. *Energy*, 22(10), 987-998.
- Pilli-Sihvola, K., Aatola, P., Ollikainen, M., & Tuomenvirta, H. (2010). Climate change and electricity consumption—Witnessing increasing or decreasing use and costs?. *Energy Policy*, 38(5), 2409-2419.

Glynn, John; Nelson Perera, Reeta Verma(2007):Unit Root Tests and Structural Breaks: A Survey with Applications. www.upo.es/RevMetCuant/art 1.pdf.

Zhang, S., Li, Z., Lin, X., & Zhang, C. (2019). Assessment of climate change and associated vegetation cover change on watershed-scale runoff and sediment yield. *Water*, 11(7), 1373.

Queirós, A. M., Huebert, K. B., Keyl, F., Fernandes, J. A., Stolte, W., Maar, M., ... & Peck, M. A. (2016). Solutions for ecosystem-level protection of ocean systems under climate change. *Global Change Biology*, 22(12), 3927-3936.

Kadir, D. H. Time Series Modeling to Forecast on Consuming Electricity: A case study Analysis of electrical consumption in Erbil City from 2014 to 2018.

Tran, T. T. K., Lee, T., Shin, J. Y., Kim, J. S., Kamruzzaman, M., 2020. Deep Learning-Based Maximum Temperature Forecasting Assisted with Meta-Learning for Hyper parameter Optimization. *Atmosphere*, 11(5): 487-495.

Dickey, D. A., Fuller, W. A. (1979). Distribution of estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association* 74:427–431.

Kwiatkowski, D., Phillips, P. C. B., Schmidt, P., Shin, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we that economic time series have a unit root? *Journal of Econometrics* 54:159–178.

Johansen, S. (1995). Identifying restrictions of linear equations with applications to simultaneous equations and cointegration. *Journal of econometrics*, 69(1), 111-132.

Johansen, S., & Juselius, K. (1990). Maximum likelihood estimation and inference on cointegration—with appucations to the demand for money. *Oxford Bulletin of Economics and statistics*, 52(2), 169-210.



PRIVATE SECTOR AND CLIMATE FINANCE LANDSCAPE IN DEVELOPING COUNTRIES: A PERSPECTIVE OF PRIVATE SECTOR ORGANIZATIONS IN NIGERIA

Abdulgaffar Muhammad

Independent Researcher, ORCID NUMBER: 0000-0003-3701-1160

Abubakar Musa

Federal University Dutse

Umar Hamisu

Nigerian Institute of Transport Technology

Tolulope Comfort Ojo

Air Force Institute of Technology

Maryam Ammani Lawal

Kaduna State University

Abstract

The world, more than ever, needs an urgent attention to climate adaption and therefore requires financing from all the global players such as government agencies, international partners and the private sector organizations. Attempts to effectively ensure that climate change strategic action plans are implemented through the active involvement of the private sectors especially the private multinational corporations and investors in addition to their regular economic, social and environmental benefits. It is based on this position that this study seeks to the effectiveness of the private sector investment on climatic financing in developing countries with specific attention on private sectors organizations operating in Nigeria in a bid to providing environmental sustainability that will not only guarantee the existence of their businesses but to reduce treat to mankind. In carrying out this research, this study adopts qualitative research design where data were collected from strategic management officers of selected private companies and investors with operational offices in developing economies with specific reference to Nigeria. This study administered questionnaire to one hundred respondents across ten corporations that are involved in climate financing in Africa which were retrieved and analysed using simple linear regression analysis through the use of statistical package for social scientist (SPSS v. 22). The findings of the study reveal that the private sector investment has no significant positive effect on awareness of climate change and mitigating against climate change in developing countries. The study further reveals that private sector investment has significant positive effect in reducing climate risks and improving climate adaptation in developing countries. This study therefore concludes that private sector engagement in climate financing will catalyze greater and more frequent investments, which could lower the costs, accelerate the replication of climate-resilient technologies and approaches in core development sectors, especially in developing countries. Based on the findings, this study recommends that developing countries should institute legal framework to compel adequate and representative climate financing from private companies and investors especially in the energy, oil and sector that carry out operations within their shores.

Keywords: Private companies, private investors, climate finance, climate adaptation, developing countries

1.0 INTRODUCTION

The world needs an urgent attention to climate adaption as a result of the climate change and therefore requires financing from all the global players such as government agencies, international partners and the private sector organizations (Ahmed, 2020). Attempts to effectively ensure that climate change strategic action plans are implemented through the active involvement of the private sectors are made, especially by the private multinational corporations and investors, in addition to their regular economic, social and environmental benefits (Allan, Bahadur, Venkatrami & Soundarajan 2019). The discourse on climate change has evolved

greatly, from being an issue largely viewed principally as an environmental challenge to one with far wider ramifications. Indeed, the link between climate change and human development is increasingly well documented and has come into clearer focus by policy makers. Many steps have been in establishing robust policy frameworks, coordination mechanisms and appropriate budgets that involve the private sector to address its impacts adequately (Khan, Robinson & Weikmans, 2019).

Private finance is by far the biggest and largely untapped pool of capital. If sufficient international public climate finance resources are deployed to mobilize this pool, it will be possible to improve the effectiveness of climate adaptation (Pauw, 2015). While there is a new momentum in the engagement of the private sector in climate action, private capital is not flowing fast enough to finance the low-carbon and climate-resilient transition. And private finance for climate action remains highly concentrated sectorally and geographically; most of the current stock of private sector climate investment is in advanced economies (Pillay, Aakre & Torvanger 2017).

Over the past few years, the global debate on climate finance has increasingly focused on the potential of the private sector to contribute to and/or leverage climate finance (Suhardiman, 2019). At the outset, discussion on the role of the private sector in climate finance was focused on mitigation to reduce the climate risks such level of greenhouse gases emissions, carbon level, environmental degradation and climate risk (Pigato, 2019). Today the role of the private sector is increasingly relevant as regards the global adaptation debate.

Private capital is essential to scale up climate finance in light of restricted public resources (Allan, et al., 2019). However, the term 'private sector' includes a highly diverse group of actors and activities operating at international, national and local levels. This makes analysis of the contribution of the private sector to adaptation especially challenging. Evidences have shown that ninety percent (90%) of people in developing countries depend on private sector generated income and the private sector represents close to seventy five percent (75%) of global climate finance flows (World Bank, 2019).

Adaptation to climate change comprises all actions aimed at reducing the vulnerability of human and natural systems to the current and future effects of climate change, including climate variability (Averchenkova, Crick, Kocornik-Mina, Leck & Surminski, 2015). Several actions are essential for the private sector to become more fully engaged and effective in responding to climate change in developing countries. First, increase greater awareness about the significance of climate change; second, include the private sector in national and international adaptation efforts; and third, engage the private sector in developing products and services that can reduce the costs and impacts of climate change.

The private sector is especially weak in the poorest countries, when compared to many middle-income countries. This limits the opportunities to mobilize finance from local companies. At the same time, investment opportunities for foreign companies also decrease with the level of income as a result of worsening business conditions and the increased informality of the economy. It is against this backdrop that this study considers the effectiveness of the private sector investment on climate adaptation in the developing countries with focus on Nigeria.

Problem Statement

Climate change is already disproportionately impacting the economically disadvantaged and slowing development a disparity which is likely to increase as global warming exceeds tolerable levels and climate change accelerates. In the industrialized countries, extreme weather events are already a business risk, and awareness of climate change appears to be increasing (Ahmed, 2020). In contrast, in developing countries, engaging the business community has been given much less emphasis and remains unusual. Climate change is a key challenge to national development given the crosscutting nature of climate change, governments will not be able to address its economic, social and environmental impacts unless they start integrating their response throughout private sector partnership. Close collaboration with all relevant stakeholders across the region is emphasized to achieve better integration of climate change into planning systems and their translation into concrete allocations in both government and private sector budgets (Bathiany, Dakos, Scheffer & Lenton 2018).

Private sector finance for climate adaptation is usually integrated into development interventions or business activities and therefore difficult to measure. Private financing in 2013 in OECD countries was US\$12.8 billion

which rose to US\$14.6 in 2020. Eventhough, private domestic investment levels are rising in developing countries and, if this trend holds true for micro and small-sized enterprises, a portion of those funds is likely to be spent on climate adaptation-relevant activities, (OECD, 2020). However, many scholars are skeptical of the contribution that private businesses are making to climate resilience (e.g. Goldstein *et al.*, 2019; Pauw, 2015; Surminski, 2014). Private sector's businesses have prioritized short-term profit making over long-term sustainability and the climate adaptive innovations and financing where available are often not in line with the long-term needs. Private sector disclosures on climate adaption and risks reveal a significant preference for a reactive adaptation strategies, such as business continuity planning and energy efficiency installations rather than areas of environmental sustainability disaster relief programmes and coastal ecosystem restoration that begin to consider nonlinear change (Goldstein *et al.*, 2019). With the growing expectation of more rapid increases in global temperature and predictions of more frequent and severe extreme weather events, there is an urgent need to engage the private sector in efforts to improve adaptation to climate change and reduce climate risks especially in the developing countries.

Objectives of the Study

The main objective of this study is to evaluate the effectiveness of the private sector investment on climatic financing in developing countries with specific attention on private sectors organizations operating in Nigeria. However, the specific objectives of the study are:

- i. To determine the effect of private sector investment on awareness of climate change in developing countries
- ii. To determine the effect of private sector investment on mitigating against climate change in developing countries
- iii. To determine the effect of private sector investment in reducing climate risks in developing countries
- iv. To determine the effect of private sector investment in improving climate adaptation in developing countries.

2.0 CONCEPTUAL EXPLORATION

This study considers the concepts of private sector, climate financing and the relationship between private sector organizations and climate financing.

Concept of Private Sector

The private sector can be referred to as smallholder organizations or small-and-medium-sized companies that implement adaptation activities, large multinationals with complex supply chains, or to private financiers (private equity funds, commercial banks) who finance climate adaptation activities directly, either independently or together with public actors. It can also refer to private insurance and reinsurance companies that cover losses related to extreme weather events, such as droughts (Brown *et al.*, 2015).

Concept of Climate Financing

According United National Environment Program (UNEP, 2016) climate finance is describe to mean local, national or transnational financing, which may be drawn from private, public and alternative sources of financing or combination of sources. Climate finance is very relevant to addressing climate risks and change because of the large-scale investments that are required to substantively reduce emissions, notably in sectors that emit large quantities of greenhouse gases (Oliver, Clark & Meattle 2018). Climate finance is equally important for adaptation, for which significant financial investment and resources are similarly required to allow economies and societies to adapt to the negative adversities and mitigates against the impacts of climate change. Hence, climate financing to support mitigation and adaptation actions that will address climate change and such mobilization of climate finance represents a progression. In addition, through the finance initiative, United Nations Environment Programmes focus on supporting private sector financial institutions including

banks, investors and insurers to understand and mitigate climate risks, seize the commercial opportunities from climate action, and ultimately take the necessary actions to fully align strategies with the mitigation and climate adaptation vision of the Paris Agreement (Oliver, Clark & Meattle 2018).

Strategic Ways of Increasing Climate Finance from Private Sector

Given the increase in the number of publications on the topic under discussion, it is important to map current research efforts in order to identify current opportunities and gaps (Pauw & Scholz, 2012). From a government perspective (that is, public investors increasing the contribution of the private organization to meet the climate financing and adaptation needs of developing countries) tools can be categorized into two different groups, viz: direct and indirect instruments.

Direct instruments: Direct instruments seek to facilitate private sector investments in adaptation projects through financial instruments that can be used to incentivize this behaviour. In the experience of development finance institutions (DFIs), including multilateral development banks (MDBs), working with the private organizations have usually served as the starting point and model for this intervention (Pigato, 2019).

Indirect instruments: Indirect instruments are based on the implementation of mechanisms that influence or affect the behaviour of private organizations. In general these mechanisms are created with one of the two following targets in mind: raising additional climate adaptation finance; or increasing private sector investments in climate adaptation (Pillay, Aakre & Torvanger 2017).

An avenue to encourage private sector to adopt ambitious climate finance projects standards is through corporate social responsibility strategies (CSR). In addition, another way in which the costs of adaptation could be internalized is by including climate vulnerability criteria in the risk evaluations performed by rating agencies. This would provide a very strong incentive for private companies to adopt a climate financing strategies. In this study therefore, attention is focused on the indirect instrument of increasing private sector investment in climate adaptation financing. This is because, this means have proving to show significant impact on the climate adaption and hence can easily be evaluated in research.

Challenges of Private Sector Investment in Climate Financing

In developing economies like Nigeria, a set of barriers slows the adoption of climate finance practices, services, and technologies at the level that is required. Hallmeyer and Tonkonogy (as cited in Oliver, Clark & Meattle 2018) developed a set of barriers framework that impede climate adaptation investment. They separated hitches into three categories: context challenges, corporate model challenges and internal capacity challenges.

- a. **Context Challenges:** Markets have properties that may either enable investment or pose more challenges to it. Context challenges are specific to the private corporation that which to implement the climate finance projects. This is particularly pertinent to private capitals, which is partly driven by the body of incentives generated by the regulatory and policy framework which may not incorporate the climate finance. Inadequacies in such frameworks are often considered as constraints private sector investments on climate finance.
- b. **Corporate Model Challenges:** Corporate model challenges relate to the adaptation product or service being offered. While climate finance are more often than not a cost-saving nature to end-users and look at a long-term horizon, corporate prioritizes revenue generating and short-term investments. The benefits of a climate-resilient investment normally shows over long time frames, while private sector often faces pressure to make investment decisions based on short-term factors, over the longer-term impacts of climate change (Suhardiman, 2019).
- c. **Internal Capacity Challenges:** In developing countries, a lack of operative companies offering climate adaptation products and/or services limits the potential supply at scale. The internal capacity of a product and/or service provider determines whether it is investment-ready and whether it has the capacity to expand to new geographies or sectors, especially in developing countries. Micro, small, and medium sized enterprises (MSMEs) are often limited by internal capacities, especially in developing countries (Oliver, Clark & Meattle 2018). These internal capacity limitations include lacking good governance, lacking financial records and information and lacking accounting functions, all of which add to investment risk.

Empirical Studies

Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD, 2020) survey suggests that private sector awareness of climate risks is increasing, however, that minority of respondent businesses have conducted risk assessments and not so much still have evaluated adaptation options. While suggesting that governments may be able to enhance and promote greater private sector awareness and response, the OECD report also substantiate that the reality that there is still much to be considered and learned about the position of private sector investment in climate risks, adaptation and strategies to make it more efficient and effective.

According to Allan, Bahadur, Venkatrami and Soundarajan (2019), many segments of the private sector business's community are showing a great deal of leadership and ambition to advance the net zero climate risk agenda. The recent Green Horizons summit has pointed out and highlighted that there is significant positive energy and drive in the private finance space. Despite the impact of COVID-19, corporate momentum on climate action continues to build through 2020. There have been new announcements by giant tech-companies especially Amazon, Microsoft, BP, Reliance and Google among others accompanied by growing evidence of the link between climate responsibility and good risk-returns (Ahmad, 2020).

According to Micale, Tonkonogy and Mazza (2018), stronger public-private partnerships will also be an important vehicle to enhance climate resilience and at the same time create business opportunities. Private firms will develop many of the products and services that will enable lower costs and more effective responses to climate change and can be the basis for growing, profitable businesses. Ultimately, a paradigm shift is required for business to fully integrate the value associated with managing climate risks.

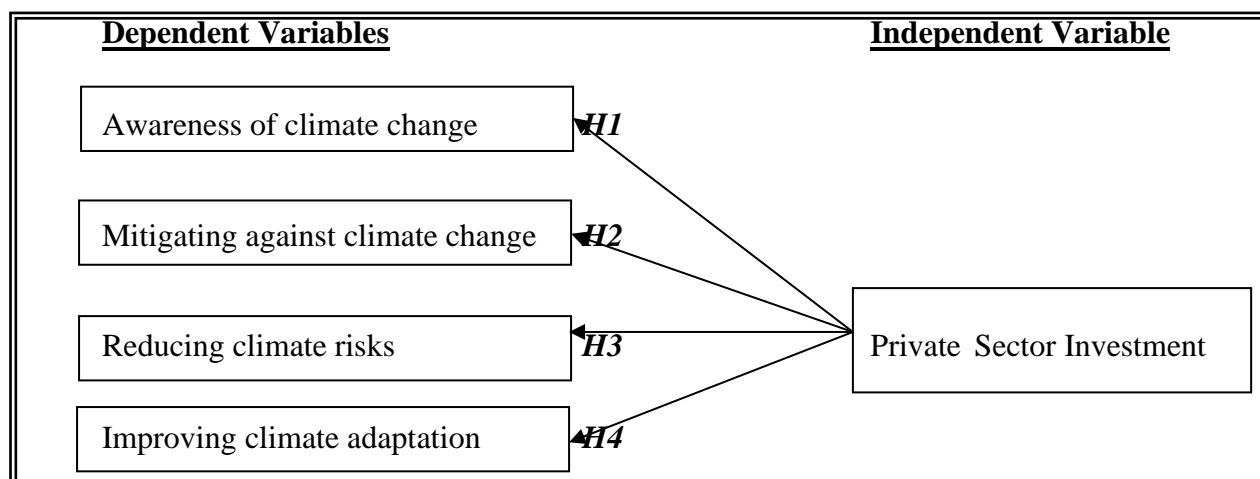
Bonizella and Alan (2015) posit that engaging the private sector in identifying climate change risks, response measures, and adaptation needs to be a much higher priority in developing countries. The importance of the private sector role is evident from the increasing availability of empirical experience including lessons from adaptation projects supported by climate funds. Successful private sector engagement in adaptation will catalyze greater investment in vulnerability reduction; this will accelerate the replication of climate-resilient technologies and services in core development sectors, especially in developing countries where investment in long-lived infrastructure is growing rapidly. Private sector organizations should integrate adaptation into their strategies and investments for their economic interest, for their clients' interest, and for the interests of their countries of operation. Unfortunately private sector climate risk mitigations and adaptation efforts are not widely understood or seen as good business practice, and in general are impeded by several obstacles. The study therefore recommends that public policy should provide appropriate incentives for such investments through communication of risks, incentives for resilience enhancing procedures and measures, and where necessary regulation to avoid shifting risks onto the general public or public corporations.

3.0 METHODOLOGY

Research Framework and Hypotheses

The areas of public sector investment considered in this study are awareness of climate change, mitigating against climate change, reducing climate risks and improving climate adaptation and they will serve as the dependent variables of the study while private sector investment served as the independent variable. The research framework is therefore presented in the figure below:

Fig. 1: Research Framework of the Study



Source: Researcher’s Compilation (2021)

Research Hypotheses

Base on the research model as shown in figure 1, the hypotheses are presented below:

- H₀₁: Private sector investment has no significant positive effect on awareness of climate change in developing countries
- H₀₂: Private sector investment has no significant positive effect in mitigating against climate change in developing countries
- H₀₃: Private sector investment has no significant positive effect in reducing climate risks in developing countries
- H₀₄: Private sector investment has no significant positive effect in improving climate adaptation in developing countries

Method of Data Collection

In carrying out this research, this study adopts qualitative research design where data were collected from strategic management officers of selected private companies and investors with operational offices in developing economies with specific reference to Nigeria. This study administered questionnaire to one hundred respondents across ten multinational corporations that are involved in climate financing in developing countries with operational offices in Nigeria. The multinational corporations selected are those involved in energy, oil and gas sectors because of their strict regulations to issues of climate change and adaption in their host countries. The means of data collection was via both physical and virtual-based questionnaires administered to randomly selected strategic management staff. A total of 100 respondents were selected for the survey therefore, 100 copies of questionnaire were distributed out of which 84 copies representing 84% were validly returned and confirmed suitable for the analysis.

Model Specification

The estimation technique that is employed in this study in functional form is expressed as:

$$CF = f(PSI)$$

Based on the research framework of this study, the model specifications of this study are represented in the econometric function as below:

$$ACC = \alpha_0 + \alpha_1 PSI + \varepsilon_1 \dots \dots \dots \text{Hypothesis} \dots \dots \dots 1$$

$MCC = \alpha'_0 + \alpha'_1PSI + \varepsilon'_1$ Hypothesis 2

$RCR = \mu_0 + \mu_1PSI + \varepsilon_1$ Hypothesis.....,..... 3

$ICA = \mu'_0 + \mu'_1PSI + \varepsilon'_1$ Hypothesis..... 4

Where *CF* = climate finance, *PSI* = private sector investment, *ACC* =awareness of climate change, *MCC* = mitigating against climate change, *RCR* = reducing climate risks, *ICA* = improving climate adaptation, α, μ = slopes of the graphs, $\varepsilon, \varepsilon'$ = error of estimates.

Methods of Data Analysis

The validity of the adopted instrument was established through content, face and constructs validity. However, the reliability test of each of the constructs was carried out using Cronbach’s Alpha and the average results show that the data were normally distributed and the scale reliability was 0.775 on a scale of 1. Correlation analysis was carried out to establish the relationship between climate finance project and private sector investment. The hypotheses of the study were tested using simple linear regression analysis; this is to allow for the evaluation of the extent of the effect of private sector investment on climate finance. These analyses were carried out using statistical data for social scientist (SPSS v.22).

This study ensures that respondents stayed anonymous with confidentiality of all information provided by them. The study utilized research assistants to ensure prompt responses that were free from repetition of participants and data.

4.0 RESULTS AND DISCUSSION

Correlation analysis

The correlation analysis shows the relationship between climate finance project and private sector investment and private sector investment in developing countries.

Table 1: Correlation Analysis

<i>Variables</i>	<i>PSI</i>	<i>ACC</i>	<i>MCC</i>	<i>RCR</i>	<i>ICA</i>
Private sector investment	1.000				
Awareness of climate change	0.154 0.318	1.000			
Mitigating against climate change	0.189 0.451	0.143 0.125	1.000		
Reducing climate risks	0.209* 0.016	0.434 0.274	0.238 0.267	1.000	
Improving climate adaptation	0.197* 0.012	0.123 0.181	0.271* 0.015	0.317 0.224	1.000

Source: SPSS Output, 2021

* Correlation is significant at the level 0.05 level (2-tailed)

The correlation analysis in the table 1 reveals that the correlation between climate finance projects (awareness of climate change, mitigating against climate change, reducing climate risks and improving climate adaptation) and private sector investment. The analysis shows that there are positive and statistically significant (i.e. $p < 0.05$) relationship between private sector investment and reducing climate risks and improving climate adaptation respectively. However, there is no such significant relationship (i.e. $p > 0.05$) between private sector investment and awareness of climate change, mitigating against climate change respectively in the developing countries.

Regression Analysis

The results of the hypotheses testing using multiple regression analysis are presented in table 2:

Table 2: Model Analysis for Hypotheses

Variables	Coefficient	Std. Error	t stat	p-value
Constant	1.324	2.121	0.124	0.045
Awareness of climate change	0.112	1.289	0.176	0.719
Mitigating against climate change	0.102	1.263	1.381	0.242
Reducing climate risks	0.213	1.166	1.235	0.024*
Improving climate adaptation	0.178	0.782	0.427	0.018*
R	0.631	Variables		Values
R-squared	0.311	S.E of regression		2.423
Adj. R-squared	0.235	Df		83
No of Obs	84	f- stat		5.526

Source: SPSS output, 2021

*level of significance = 5%

The result presented above reveals that all the variables; that is, private sector investment has significant positive effect on climate financing projects at 5% significant level in both long and short-run ($p = 0.045$; $f\text{-stat} = 5.526$). It further indicates that R value of 0.311 reveals that the climate financing projects have a weak relationship with the private sector investment in developing countries. Also, the adjusted R square value of 0.235 reveals that 23.5% of the variations in the climate financing projects are explained by variations in the private sector investment.

Hypothesis One:

H₀₁: Private sector investment has no significant positive effect on awareness of climate change in developing countries

The p-value of 0.719 (i.e $p > 0.05$) indicates that the null hypothesis accepted, that is, private sector investment has no significant positive effect on awareness of climate change in developing countries.

Hypothesis Two:

H₀₂: Private sector investment has no significant positive effect in mitigating against climate change in developing countries

The p-value of 0.242 (i.e $p > 0.05$) indicates that the null hypothesis accepted, that is, private sector investment has no significant positive effect in mitigating against climate change in developing countries.

Hypothesis Three:

H₀₃: Private sector investment has no significant positive effect in reducing climate risks and adaptation in developing countries

The p-value of 0.024 (i.e $p < 0.05$) indicates that the null hypothesis which states that private sector investment has no significant positive effect in reducing climate risks in developing countries is rejected.

Hypothesis Four:

H₀₄: Private sector investment has no significant positive effect in improving climate adaptation in developing countries

The p-value of 0.018 (i.e $p < 0.05$) indicates that the null hypothesis which states that private sector investment has no significant positive effect in improving climate adaptation in developing countries is rejected.

Summary and Discussion

Firstly, this study reveals that private sector investment has no significant positive effect on awareness of climate change in developing countries. This finding is consistent with the results of the related studies reviewed (Allan, et al., 2019; Goldstein, et al., 2019 and Micale, Tonkonogy & Mazza 2018).

Secondly, this study reveals that private sector investment has no significant positive effect in mitigating against climate change in developing countries. This finding is consistent with the expected results of the related studies reviewed (Nakhooda, 2014; Suhardiman, 2019).

Thirdly, this study reveals that private sector investment has significant positive effect in reducing climate risks in developing countries. Also, a unit increase in climate finance project will reduce climate risk by 0.21%. This finding is consistent with the results of the related studies reviewed (Bonizella & Alan 2015; Surminski, 2013; Jones, Jaspars, Pavanello, Ludi, Slater, Arnall, Grist & Mtisi 2010).

Lastly, this study reveals that private sector investment has significant positive effect in improving climate adaptation in developing countries. Also, a unit increase in private sector investment will lead to improvement in climate adaptation by 0.17%. This finding is consistent with the expected results of the related studies reviewed (Pillay, Aakre & Torvanger 2017; Brown, Stadelmann, Wang, Boni, Jachnik & Kato 2015; Pauw & Scholz 2012).

5.0 CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

The role of the private sector in climate finance will be significant to provide both the necessary services to better understand climate change, climate risks, climate adaptation and the technologies and business models that will make current and future investments climate resilient. Successful private sector engagement in climate financing will catalyze greater and more frequent investments, which could lower the costs, accelerate the replication of climate-resilient technologies and approaches in core development sectors, especially in developing countries. Consequently, climate change may present an opportunity to engage private sector investors in countries with small economies that would not typically attract these kinds of interventions

Private sector companies needs to integrate adaptation into their strategies and investments for their economic interest, clients' interest, countries of operation by ensuring that climate change strategic action plans are implemented through actual budget policies and financing framework.

Governments should get more involved and begin to set minimum rules that all private sector players must follow in areas of climate financing projects. In the same vein, national regulators and international bodies should consider how to accelerate the shift toward reliable, comparable, and consistent reporting of climate-related risks by private sector companies especially in the energy, oil and gas sectors, including through regulatory approaches. In addition, partnerships between private-sector financial institutions and public development finance institutions should accelerate progress toward designing, deploying, and demonstrating new financial models for private sectors that can be scaled up.

References

- Agrawala S, Carraro M, Kingsmill N, Lanzi E, Mullan M, Prudent-Richard G. (2011). "Private Sector Engagement in Adaptation to Climate Change: Approaches to Managing Climate Risks." OECD Environment Working Papers, No. 39, OECD Publishing. Available at: <http://dx.doi.org/10.1787/5kg221jkf1g7-en> accessed on 19 November, 2021.
- Ahmed, M. (2020). 'Opinion: could innovative finance help climate-vulnerable nations build resilience?' Devex. <https://www.devex.com/news/opinion-could-innovative-finance-help-climate-vulnerable-nations-build-resilience-96328> accessed on 16 November, 2021.

- Allan, S. Bahadur, V., Venkatrami, S., & Soundarajan, V. (2019). The Role of Domestic Budgets in Financing Climate Adaptation, Rotterdam and Washington D.C. www.gca.org accessed on 16 November, 2021.
- Averchenkova A, Crick F, Kocornik-Mina A, Leck H, Surminski S. (2015). “Multinational corporations and climate adaptation - Are we asking the right questions? A review of current knowledge and a new research perspective.” Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment Working Paper, No. 183 accessed on 16 November, 2021.
- Bathiany S, Dakos V, Scheffer M, Lenton TM. (2018). “Climate models predict increasing temperature variability in poor countries.” *Science Advances*. 4(5). Available at: <http://advances.sciencemag.org/content/4/5/eaar5809> accessed on 16 November, 2021.
- Bonizella B. and Alan M. (2015) Engaging the Private Sector in Adaptation to Climate Change in Developing Countries: Importance, Status, and Challenges, *Climate and Development*, 5, (3) 242-252
- Brown J, Stadelmann M, Wang W, Boni L, Jachnik R, Kato T. (2015). “Estimating mobilized private finance for adaptation: exploring data and methods.” Climate Policy Initiative and OECD. Available at: <http://climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2015/11/Estimating-mobilized-private-finance-for-adaptation-Exploring-data-and-methods.pdf> accessed on 11 November, 2021.
- Buhr B, Donovan C, King G, Lo Y, Murinde V, Pullin N, Volz U. (2018). “Climate Change and the Cost of Capital in Developing Countries.” UN Environment. Available at: <http://unepinquiry.org/publication/climate-change-and-the-cost-of-capital-in-developing-countries/> accessed on 10 November, 2021.
- Goldstein, A., Turner, W.R., Gladstone, J. (2019). The private sector’s climate change risk and adaptation blind spots. *Nature Climate Change*, 9, 18–25.
- Jones, L., Jaspars, S., Pavanello, S., Ludi, E., Slater, R., Arnall, A., Grist, N. and Mtisi, S. (2010) Responding to a Changing Climate: Exploring How Disaster Risk Reduction, Social Protection and Livelihoods Promote Features of Adaptive Capacity. Working Paper 319, ODI, London
- Khan, M., Robinson, S., Weikmans, R. (2019). Twenty-five years of adaptation finance through a climate justice lens, *Climatic Change*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-019-02563-x#citeas> accessed on 16 November, 2021.
- Mazza F, Falzon J, Buchner B. (2016). “Global Climate Finance: An Updated View on 2013 & 2014 Flows.” Climate Policy Initiative. Available at: <http://climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2016/10/Global-Climate-Finance-An-Updated-View-on-2013-and-2014-Flows.pdf>
- Micale, V., Tonkonogy, B., & Mazza, F. (2018). Understanding and Increasing Finance for Climate Adaptation in Developing Countries, Climate Policy Initiative Report. <https://climatepolicyinitiative.org/publication/understanding-and-increasing-finance-for-climate-adaptation-in-developing-countries/> accessed on 14 November, 2021.
- Nakhoda, S., (2014), Climate finance: is it making a difference? A review of the effectiveness of multilateral climate funds, Overseas Development Institute, London. <https://www.odi.org/publications/8518-climate-finance-it-making-difference-review-effectiveness-multilateral-climate-funds> accessed on 16 November, 2021.
- Oliver P., Clark A. and Meattle C. (2018). Global Climate Finance: An Update View 2018. Climate Policy Initiative, November 2018. Available at: <https://climatepolicyinitiative.org/publication/global-climate-finance-an-updated-view-2018/> accessed on 16 November, 2021.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD 2020). “Climate Related Development Finance at the activity level”. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development’s Development Assistance Committee (DAC). At: <http://www.oecd.org/dac/stats/climate-change.htm> accessed on 13 November, 2021.
- Pauw W. (2014). “Not a panacea: Private-sector engagement in adaptation and adaptation finance in developing countries.” *Climate Policy*, 15(5), 1-21. Available at: <https://dspace.library.uu.nl/bitstream/handle/1874/330659/panacea.pdf?sequence=1>
- Pauw, P. & Scholz, I. (2012) Private financing of adaptation to climate change in poor countries? The Current-Column, German Development Institute / Deutsches Institut für Entwicklungspolitik (DIE)

Pauw, W.P. (2015). Not a panacea: private-sector engagement in adaptation and adaptation finance in developing countries, *Climate Policy*, 15(5), 583-603.

Pigato, M. (2019). Fiscal Policies for Development and Climate Action, World Bank. <http://documents.worldbank.org/curated/en/340601545406276579/Fiscal-Policies-for-Development-and-Climate-Action>

Pillay K, Aakre S, Torvanger A. (2017). "Mobilizing Adaptation Finance in Developing Countries." Centre for International Climate Research (CICERO). Available at: <https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2435614/Torvanger%202017%2002%20web.pdf?sequence=1>. accessed on 16 November, 2021.

Schalatek, L., & Nakhooda, S. (2012). The Green Climate Fund (Climate Finance Fundamentals Paper 11, Heinrich Boll Stiftung North America). London: ODI and HBF. Retrieved from: <http://www.odi.org.uk/sites/odi.org.uk/files/odi-assets/publications-opinion-files/7918.pdf>

Suhardiman, D. (2019). Review of water and climate adaptation financing and institutional frameworks in South Asia. Background paper 3. Colombo, Sri Lanka. International Water Management Institute. <https://ageconsearch.umn.edu/record/296733/> accessed on 14 November, 2021.

Surminski, S. (2013). Private-sector adaptation to climate risk. *Nature Climate Change*, 3, 943-945.

United National Environment Program (UNEP, 2016). The Adaptation Finance Gap Report, Nairobi, Kenya. United National Environment Program. <https://unepdtu.org/publications/the-adaptation-finance-gap-report/> accessed on 21 November, 2021.

World Bank, (2019), The Coalition of Finance Ministers for Climate Change: An Overview. World Bank. <http://pubdocs.worldbank.org/en/646831555088732759/FM-Coalition-Brochure-final-v3.pdf>.



USING OF RENEWABLE ENERGY AT AIRPORTS

Haydar KEPEKÇİ

Nisantasi University, Engineering Faculty, Mechatronic Engineering Department, Istanbul, Turkey.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0037-8332>

Kagan Cenk MIZRAK

Usak University, Vocational School of Civil Aviation, Civil Air Transportation Management, Uşak, Turkey.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4447-2141>

Abstract

In the rapidly globalizing world, the value of energy is increasing day by day with the developing technology. The rapid depletion of fossil-based energy sources and their harmfulness to the environment leads people to alternative energy sources. Since it is seen as the cause of climate change and natural disasters frequently encountered recently, the fight against global warming has been started in the international arena. As a result, the importance given to energy management and sustainability by enterprises is increasing. The fact that businesses care about the environment and are sustainable is one of the reasons why they are preferred by customers. Airports, where energy consumption is quite high, increase the tendency to use alternative energy sources. In this study, the possibilities of using renewable energy sources in order to reduce the energy costs and carbon emissions of airports are examined. Solar energy, wind energy, biomass energy, geothermal energy, hydroelectric energy are discussed under separate headings. Information is given about the airports where each is used. As a result of the comparisons made among themselves, it has been seen that airports have significant benefits in the use of solar energy from alternative energy sources. In order to benefit effectively from these benefits, it has been concluded that the installation of renewable energy systems at airports should be increased and more emphasis should be placed on sustainability.

Keywords: Renewable energy sources, Energy management strategy, Sustainability.

1. INTRODUCTION

In the last two decades, primary energy consumption and CO₂ emissions have increased by 50% worldwide. Today, despite the uncertainty regarding the economic growth outlook in the short and medium-term, forecasts indicate that global energy demand will increase sharply and will increase by a third in the 2015-2040 period. This rapid increase in energy consumption is likely to cause a significant environmental impact in the near future. Global energy demand is increasing rapidly, especially due to population growth and economic growth [1]. In order to meet the rapidly increasing global energy demand, the search for alternative energy sources is increasing and the greenhouse gases emitted by existing fossil fuels cause global warming and climate changes. The use of fossil fuel resources such as oil, natural gas, coal, and nuclear energy causes economic and social instability, increased resource scarcity and environmental degradation, as well as global warming and climate change. Replacing fossil fuels with renewable energy provides rebalancing while maintaining a sustainable environment [2].

Strategic management is used for institutions and policies to achieve maximum output and return with limited raw material input. Efficiency and economy are very important in this regard. Energy is an indispensable resource for the country's economy, security, development, and sustainable development. The strategic management of energy is shaped as the most appropriate management form for its limited nature. This situation, which is valid for both the world and Turkey, finds its meaning in the direction of using limited energy resources with maximum benefit. In this way, it is expected that foreign dependency will be reduced and the renewable energy potential will be determined and used widely [3].

Airports are defined areas on land or water that are intended, in whole or in part, for the use of landing, take-off, ground movements. Airports are almost like a small cities in terms of energy consumption. These facilities need the energy to operate their infrastructure and provide their services [4]. The most important energy

sources used in airports are electricity and fuel. Electricity is usually supplied from the grid. Another possible energy source for airports is renewable energy sources. The global aviation community is continually examining and adopting sustainable practices in airport management plans. Sustainability in global aviation is achieved through various applications such as reduction of engine emissions, low noise output, recycling practices, waste management, and use of renewable energy sources. These practices constitute the main environmental criteria. It represents the sub-criteria related to monitoring and minimizing the damage caused by airport activities to nature [5]. Environmentally friendly building design represents the secondary sub-criteria of noise reduction, emission reduction, efficient water use, efficient energy use, waste and material management, water pollution reduction, and biodiversity protection and land use. Efficient use of water includes practices such as increasing potable water efficiency, collecting and reusing wastewater, collecting and reusing rain and floodwaters, planting local plant species, and reducing water demand. Waste and materials management using recyclable materials, using non-chemical liquids with reduced chemistry includes the separation and recycling of wastes, the purification of polluted waters, and their evaluation for operations such as landscape irrigation, waste reduction, collection of wastes from airport facilities, and allocating sufficient space for waste storage and separation processes. Environmental impacts of transportation activities represent the secondary sub-criteria of flight and ground handling operations, noise pollution caused by airport road transportation, air quality, water use, energy use, waste disposal, water pollution, biodiversity, and land use [6].

Greenhouse gases and their increasing impact are a major concern all over the world. The increase in atmospheric carbon dioxide concentration is estimated to have increased by 40% over the last 250 years, from 280 ppm in 1750 to 400 ppm in 2015. The aviation industry has contributed to greenhouse gas emissions since its inception. Exhaust gas from aviation currently contributes to 3.5% of global emissions and is expected to double over the next fifteen years [7].

The aviation industry consists of airports, airplanes, and related services such as taxi, flight catering. Airports act as an interface between land-side access to airspace and air-side access to the ground [8]. Recently, it can be seen that airports have turned into transportation and infrastructure center that caters to the commercial, industrial, and business of the aviation industry. As a result, the area around many international airports is turning into a city and is better described as an airport metropolis. Therefore, the ecological impact during the construction and operation of the airport will increase in the future. Additional facilities such as airports and terminal buildings have high electrical energy demands due to their unique requirements such as electric gates, electrical appliances, baggage handling systems, and airport lighting. Airports are one of the most suitable places for the use of renewable energy, both because they consume energy 24 hours a day and they have enough space for the installation of renewable energy facilities [9].

The energy obtained by using renewable energy technologies at airports is used to feed electricity, heating, cooling, and various transportation vehicles. The process of using renewable energy by airports depends on the type of airport, geographical location, and available resources. Airport operators can conduct an energy audit before deciding to invest in renewable energy projects [10]. This energy audit can help operators understand the airport's energy consumption and act strategically on investments in energy efficiency technologies. For example, if airport hot water boilers are responsible for a significant portion of airport energy consumption, replacing this system with a geothermal or solar water heating system may be a high priority to reduce operating costs. Alternatively, an airport operator can list the energy-saving measures it wants to follow and have airport staff work towards and support these goals. When operators understand energy use and where the best and most cost-effective opportunities for improvements are, they may consider investing in renewable energy projects at the airport [11].

In this study, the possibilities of using solar energy, one of the renewable energy sources, were examined in order to reduce energy costs and emissions at airports. The complexity, social, technical and operational sufficiency of solar energy system projects at airports, opportunities, risks, challenges and benefits have been evaluated. Today, some airports using solar energy in the world have been examined. The current situation of airports using solar energy in Turkey has been evaluated and suggestions have been made to increase the use of renewable energy resources at airports.

2. RESEARCH AND FINDINGS

Industrialization and urbanization developed and took its present form thanks to the abundant and cheap energies. Humanity has gained mass production opportunities thanks to this energy. Everything from lighting to heating, to space technology, has been made possible by the abundance of energy and making it easily available. However, these developments have made the sharing of energy resources the most important problem of humanity. As a result of excessive consumption of fossil fuels, which have been formed over thousands of years, the gradual decrease has caused the world public opinion to worry. This concern is shared by many scientists working on energy, and it is said that fossil fuels will be exhausted in the near future by calculating the existing resources and consumption expenditures. Making extensive research on this subject, Commoner (1976) proves with figures that reliance on exhaustible resources such as oil, coal and natural gas, which are becoming increasingly expensive, will cause inflation in the long run and the future of countries that are dependent on such energy resources will be dark [12].

It is estimated that fossil fuels, especially oil, can be consumed in about 50-60 years, and coal in 100-150 years, with today's consumption rate. These predictions herald alarm bells even for the near future. It is seen that the end of countries based on oil and coal is approaching. In the face of depleted energy sources, the tendency towards alternative energy sources has increased at an increasing rate [13].

Airports are actively developing renewable energy sources in order to meet the increasing energy demands. In order to use renewable energy at an airport, the availability of sufficient natural resources to produce renewable energy at airports, the applicability of the project, the adequacy of infrastructure and capacity should be analyzed. The realization of these analyzes will enable the airport to evaluate renewable resource opportunities and develop a long-term plan that optimizes the development of renewable energy projects, waste reduction, recycling initiatives [14].

When we look at renewable resource alternatives that can be used to determine the best renewable resources for airports, instead of using fossil resources to provide electricity service, resources such as small wind turbines, photovoltaic systems or off-site renewable energy systems can be used. Identifying the best options for an airport based on electricity service alone can be difficult. Therefore, when determining the renewable energy sources that can be used at the airport, it is necessary to analyze the advantages of various options and how these options fit into current airport operations and future strategic planning. But other options, such as photovoltaic systems or wind turbine projects, require more planning and execution. All of these options can have major impacts on an airport's electricity costs and carbon emissions [15].

Airports are the centers of regional economic activities and play a critical role in regional transportation networks. Therefore, it is of great importance to provide economical and reliable electricity at airports. While there are many viable renewable energy alternatives, including solar, wind, biomass, geothermal, hydroelectric and fuel cells, none of them is clearly superior to the others and all have been used on a limited basis at airports to date [16].

2.1. Solar Energy

All energy types counted among alternative energy sources are solar energy itself or its derivatives. The sun is also the source of energy for all natural phenomena that exist in the world. Thanks to the extraordinary level of energy it sends to the world every day, natural life can exist and be sustained. Considering that all ecological cycles proceed with solar energy, and that everything we eat is produced by plants that capture solar energy through photosynthesis, it is understood how important an energy source the sun is [17].

The most widely used renewable energy technology in airports is photovoltaic systems. One of the reasons for the widespread application of photovoltaic systems at airports is that they can be harmoniously integrated into the airport environment. Due to its relatively simple modular structure, photovoltaic panels are a technology that can be easily integrated into an existing field without major modifications. This means that photovoltaic panels can be placed in areas that are not used for aviation activities for airports. Photovoltaic panels installed at airports can typically be installed on the ground, building surfaces, or above parking lots to provide shade in less-used portions of the airport [18].

The growth of the solar industry has increased the tendency of developers to apply photovoltaic systems to airports. While these trends offer advantages in terms of energy costs and emissions, they also introduce some

new and unforeseen safety problems. It has led the aviation community to broadly question whether solar power generation is compatible with aviation, especially due to issues such as glare, radar clutter, and physical penetration of airspace. Since the solar panel profiles have low heights, they do not physically penetrate the airspace. This provides the opportunity to install photovoltaic systems both on the roofs of the airport buildings and in the parking areas. Also, metal components on the panels can cause reflected signals. However, since the photovoltaic systems installed at airports have low altitudes, they cannot emit electromagnetic waves at distances that will cause radar interference. Therefore, the risk of radar confusion is very low [19].

However, another area of influence of photovoltaic panels that has been detected in recent years is that they produce glare that can visually affect air traffic controllers and pilots. The Federal Aviation Board (FAA), headquartered in the United States, has developed a flare modeling tool that can be easily used to determine whether the photovoltaic system, which is planned to be installed at a certain capacity in a certain area, can produce a flare in the air traffic control tower or in the pilots arriving for landing while it is still in the design phase. In this way, the project in question can be evaluated in terms of potential glare effects and an alternative design or location can be selected[20].

2.2. Wind Energy

Another derivative of solar energy is wind energy. Solar energy, which comes to different parts of the world differently throughout the year, is absorbed and stored differently by the land and sea. As a result, the air masses, which are quite heavy, move between the different heated regions and in this way the solar energy is transformed into wind energy. Today, wind-powered water pumps, home heating and cooling systems, small and large power plants have been built [21].

Wind energy is one of the most sustainable and beneficial alternatives among renewable energy sources. There are various types of wind turbines that can be selected for installation at the airport. Of these turbine types, large-scale wind turbines can be mounted on the ground, while small-scale wind turbines can be mounted on the roofs of airport buildings. The typical characteristics that make the roofs of airport buildings suitable for the installation of photovoltaic panels also make these roofs suitable for the installation of small wind turbine arrays. Another option available for airports is the use of vertical axis wind turbines. Such turbines are suitable for installation in areas close to people and buildings. However, the increased size of modern wind turbines can pose a hazard to aviation, especially when placed very close to airports and flight paths. For this reason, the heights of the wind turbines should not exceed the obstacle limitation surfaces in terms of flight safety. Obstacle limitation surfaces are imaginary surfaces that define lower boundaries where objects above the airspace (wind turbines, etc.) interfere with aircraft operations [22].

In wind energy, it is critical that the place where the wind power plant will be established is close to a defined source area in order to generate sufficient electricity. Similar to photovoltaic panels at airports, wind turbines can pose new and unforeseen safety concerns such as physical penetration and radar interference. For this reason, the British Civil Aviation Authority (CAA) requests that a wind turbine planned to be built in an area within a 15 km radius of an airport be notified of its wind turbine construction application in order to be able to analyze whether it will cause potential radar confusion for pilots and flight operations. In addition, unlike photovoltaic panels, the rotating blades of wind turbines create turbulence. Such turbulence can be dangerous, especially for small and light aircraft [23].

Looking around the world, 20 roof type wind turbines, each 10 ft. tall and 1 kW in power, have been installed in the Office Center of Boston Logan International Airport. A unique design has been used in the installed wind turbines to enable them to capture the airflow even in low wind conditions. In addition, at East Midlands Airport in England, there are 2 large-scale wind turbines with a hub height of 30 meters and three blades of 15 meters in length, each with a power of 250 kW. The electricity produced by the turbines meets 6% of the airport's electricity needs [24].

2.3. Biomass Energy

Biomass is also called vitality energy, bioenergy. All living things use solar energy. For this reason, all kinds of biological materials contain energy, and this energy is released when burned. Therefore, waste materials of biological origin have significant amounts of energy. One of the resources to be used in order to provide energy

in a sustainable manner without causing environmental pollution is biomass energy. Biomass energy is seen as a suitable and important energy source because it is an inexhaustible resource, can be obtained everywhere, and helps socio-economic developments, especially for rural areas. Studies have calculated that an energy equivalent of 75 billion tons per year or 1500 million barrels per day can be obtained with biomass production. Considering that the energy of organic materials comes from the sun and is renewed every year, it is understood that it is an inexhaustible and renewable resource [25].

Biomass energy is another renewable energy option for airports, depending on the availability of raw material supply chains. Biomass can be converted into fuel that can be used in a variety of applications, including heating, cooling and electricity generation of terminal buildings at airport campuses. In other renewable energy technologies, since the energy source is free, it results in an economic investment in the long run, while raw materials are needed to produce power with biomass [26].

In airports, biomass can be used in two ways for revenue and cost savings. The first of these is to grow crops that will be the raw material of bioenergy on the airport lands, and the second is to produce energy by burning the raw material. Although biomass is called a renewable energy source, it is important to note that it is not emission-free. However, since the amount of carbon emitted into the atmosphere during the life cycle of the biomass power plant is considered to be equal to the amount of carbon it captures, it can be classified as carbon neutral [27].

Biomass can be converted into fuel that can be used in various applications of buildings at airports. A new terminal building with a biomass boiler has been built at Grant County Airport in the USA. There is a raw material storage bin used for the biomass plant. Biomass is incorporated into the terminal building to meet the requirements for the silver certification level of the US Green Building Council LEED Program. The biomass burns wood grain supplied by a local workshop and provides 50% of the terminal building's heating needs. There is also a biomass plant with a capacity of 11.5 MW at Heathrow Airport [28].

2.4. Geothermal Energy

Geothermal energy is the heat energy carried to the surface by hot water, steam and gases, which can contain more dissolved minerals, various salts and gases than the surrounding underground and surface waters, where the temperatures formed by the heat and pressure accumulated in various depths of the earth's crust are above the regional atmospheric average temperature [29].

Electricity or heat generation from geothermal sources at airports is not as easily accessible as other renewable energy sources, as it depends on hot water reserves or specific geological structures beneath the airport, such as hot rocks. Geothermal energy systems can be used for heating and cooling airport buildings. If the water from the underground layer is boiling water (usually found in very deep underground layers), steam can be obtained to drive a turbine that will generate electricity. Obtaining geothermal energy largely depends on the geological condition of the airport. The majority of geothermal energy systems are underground and therefore do not disrupt aviation operations, but these systems are often complex to install [30]. Portland International Airport and Juneau Airport in the USA are airports that use geothermal energy [31].

2.5. Hydropower Energy

The applicability of hydroelectric resources at airports is limited to airports adjacent to flowing rivers and ocean areas. Every airport has an amount of sunlight that can generate electricity from photovoltaic panels, but due to the amount of sunlight it may be uneconomical to install the PV system. However, the use of hydroelectric energy at the airport requires the airport location to be close to the water source. However, the use of hydroelectric energy at the airport requires the airport location to be close to the water source. Also, the environmental impact of developing a hydroelectric system near airports will not be suitable for many airports. Some Asian airports built on reclaimed land surrounded by oceans can benefit from hydropower provided that all environmental sustainability criteria are met [32].

2.6. Airports Using Solar Energy

As efforts to reduce energy consumption, reduce energy costs and increase energy efficiency at airports increase, the use of renewable energy technologies is becoming more and more widespread. The conditions of airport campuses are completely different, and governments require airport operators to conduct an analysis of their current situation to determine which renewable energy projects are viable. Many of the major airports not only produce renewable energy but also promote sustainable development [33].

Solar power can be installed on the large and idle lands of airports, on the large roofs of buildings, or above car parks to provide shade, but also poses safety concerns such as glare, radar and physical penetration. Considering all these aspects, many airports around the world are trying to reduce their carbon footprint. By using power generated from renewable energy sources, airports can indirectly reduce the pollution index [34]. Solar PV installed near airport facilities appears to be very successful in reducing airport ground emissions. The amount of power that can be produced by solar energy depends on the available space. The required land area for a MW scale solar power plant should be large, shadowless and low cost regardless of solar radiation. Although the efficiency of the solar PV plant is low, the energy source (solar) is freely available. Airports have mandatory empty spaces called sound buffer zones, which are the ideal location for a solar power plant [35].

Many airports in the world use solar energy. Photovoltaic systems have been installed at more than 100 airports around the world, and due to their convenient installation possibilities, this system can be designed for most existing airports. Cochin International Airport in India has become the world's first facility to run entirely on photovoltaic panels. Cochin International Airport with 12 MWp solar energy generates all of the energy it needs from 46,150 solar panels installed on the apron area. Galapagos Airport in South America uses only renewable energy to operate all its facilities. There is an 830 kWp grid-connected PV power plant at Kaumu International Airport, located at an altitude of 1228 m in Malawi. A grid-connected PV system with a power of 281 kWp was installed at Moshoeshoe International Airport in Lesotho. Incheon International Airport, located in Seoul, the capital city of South Korea, and the largest airport in South Korea, installed 957 kW photovoltaic panels in the recycled water treatment building and long-term parking garage to reduce the electricity load during rush hours. According to the South Korean government's plan, Incheon International Airport plans to continue reducing greenhouse gas emissions by installing a 4 MW photovoltaic system and a 5.5 MW geothermal plant a few years from now. The ground-mounted photovoltaic system at Lakeland Linder International Airport has an installed capacity of 6 MW and is one of the airports with the highest installed capacity in the USA. The Neuhardenberg airport solar power plant is one of the largest photovoltaic energy projects in Germany and has an installed capacity of 145 MW. Lulea, Ronneby and Visby airports operated by the Swedish airport operator Swedavia in Europe are net zero carbon emission airports. Swedavia aims to achieve net zero emissions for all airports in Sweden, including the Stockholm-Arlanda hub, by 2020. While Hamburg airport set this target for 2022, Amsterdam-Schiphol, Eindhoven and Copenhagen airports and Norwegian airport operator Avinor set it for 2030. PV panels with a total installed capacity of 2.4 MWp at California Fresno Yosemite International Airport meet more than 50% of the airport's electrical energy needs and are estimated to save 13 million dollars in energy costs in 20 years. A photovoltaic system with a total power of 367 kW was installed, with 274 kW in the Boston Logan International Airport Terminal A building and 93 kW in the Terminal A satellite building. The facilities produce all of the electricity consumed in buildings (approximately 475000 kWh per year). Chattanooga Metropolitan Airport in the USA, where more than 61,000 flights take place annually, has become the first airport in the USA to operate entirely on solar energy by establishing a 2.64 Megawatt (MW) solar power plant on a 12-decare area [36].

There are 60 civil airports in Turkey. International flights take place at 38 of these airports, and 18 are used for both civilian and military purposes. There are also 18 airports in the country that are only used for military purposes. While the importance given to renewable energy sources in Turkey is increasing day by day, the projects in this field are also becoming more and more diversified. However, the share of renewable energy in the total energy consumed at airports in Turkey is very small. While the importance given to renewable energy sources in Turkey is increasing day by day, the projects in this field are also becoming more and more diversified. However, the share of renewable energy in the total energy consumed at airports in Turkey is very small [37].

In Turkey, one of the first solar power plant projects was carried out at Erzincan Airport. For the project, a total of 3779 photovoltaic panels with a power of 325 W/m² and each approximately 1.7 m² were used, and 2.09 MW of power was reached. The facility is designed to meet nearly half of the electrical energy consumed

at Erzinan Airport with the electricity it will produce in a year, and to transfer the surplus to the grid. Within the scope of the project requested by the General Directorate of State Airports Authority, a solar power plant with an installed power of 250 kW was installed at Antalya Airport using a total of 962 photovoltaic panels with a power of 260 W. The system was completed and commissioned in December 2013. Izmir Adnan Menderes Airport has become one of the 20 most environmentally friendly airports in Europe by neutralizing carbon emissions, one of the main causes of climate change. In addition, the airport, which has 5200 m² of photovoltaic panels in its new terminal, generates 450 MW of electricity annually from solar energy [38].

3. RESULTS

The main environmental problems caused by the environmental effects of the rapid and global growth of civil aviation at local, regional and global levels are global climate change, air pollution and emissions, ecology and natural habitat, noise, land and material use, energy consumption, water consumption, water pollution and classified as waste. In terms of environmental interaction, there is a reciprocal relationship between the policies developed in the aviation industry and the environment. Developments in the aviation industry and aviation technology have a significant impact on the environment. Airports have high energy demands for safe flights and operation of their buildings. Greenhouse gases emitted by fossil fuels used to meet this energy demand cause global warming and climate changes. The use of renewable energy at airports provides financial and public policy benefits as well as reducing greenhouse gases. In this study, the possibilities of using solar energy, one of the renewable energy sources, were examined in order to reduce energy costs and emissions at airports. Today, airports using solar energy in the world and in Turkey have been examined.

The use of renewable energy sources in airport campuses, which are similar to small or medium-sized cities in terms of energy consumption, is very important. Renewable energy increases the energy options available for airports. Airports are the most suitable places for the use of renewable energy, as they consume energy uninterruptedly and have large idle lands for the installation of renewable energy facilities. The decrease in the costs of renewable energy technologies increases the possibilities of using renewable energy sources at airports. The energy obtained by using renewable energy technologies at airports can be used to feed electricity, heating, cooling and various transportation vehicles.

Before deciding to invest in renewable energy at an airport, an energy audit should be carried out at the airport. This gives an understanding of energy use and where the best and most cost-effective opportunities for improvements are. Many renewable energy alternatives such as solar, wind, biomass, geothermal, hydroelectric and fuel cells can be applied to airports. The most widely used renewable energy technology in airports is photovoltaic systems. When applying photovoltaic systems to airports, safety concerns such as glare, radar interference and physical penetration must be considered. Wind turbines can cause physical penetration and radar interference, similar to photovoltaic panels at airports, and turbulence unlike photovoltaic panels. Unlike other renewable energy technologies, power generation with biomass requires raw materials and biomass is not emission-free. However, since the amount of carbon emitted into the atmosphere during the life cycle of the biomass power plant is considered to be equal to the amount of carbon it captures, it is classified as carbon neutral. Geothermal electricity or heat generation is not as easily accessible as other renewable energy sources as it depends on the specific geological structures located below the airport. The use of hydroelectric energy at the airport requires the airport location to be close to the water source.

The most widely used renewable energy at airports in the world is solar energy and can be used in many of the existing airports due to their convenient installation possibilities. The share of solar energy in the total energy consumed at airports in Turkey is very small. Efforts should be increased to make effective use of solar energy at airports in Turkey. Considering that aviation is the fastest growing sector in recent years, technical support should be given to projects in order to use renewable energy sources at airports.

REFERENCES

1. Ortega S., Manana M. (2016) Energy research in airports: A review. *Energies*, 9(5), 349-359.
2. Stevens N. (2006) City airports to airport cities. *Qld. Plan.* 46, 37.
3. Kahraman Ö. (2020). Strategic Energy Management and Energy Policies: Aegean Sea and Its Region, *Route Educational & Social Science Journal*, 7 (11), 135-146.
4. *Aerodrome Design and Operations* (2009) International Civil Aviation Organization, 5th edition, Montreal, QC, Canada.
5. Costa A., Blanes L., Donnelly C., Keane M. (2012) Review of EU Airport Energy Interests and Priorities with Respect to ICT Energy Efficiency and Enhanced Building Operation, 12th International Conference for Enhanced Building Operations, Manchester, UK.
6. Clean, green conferencing (2004) *Nature*, 43, 257-264.
7. Weisbrod E., Reed S., Neuwirth R. (1993) Airport area economic development model, PTRC International Transport Conference.
8. Giustozzi F., Toraldo E., Crispino M. (2012) Recycled Airport Pavements for Achieving Environmental Sustainability: An Italian Case Study, *Resources, Conservation & Recycling*, 68, 67-75.
9. Shukla A., Sudhakar K. (2016) Exergetic assessment of BIPV module using parametric and photonic energy methods: a review, *Energy Build*, 119, 62-73.
10. Cochin International Airport Limited, CIAL annual report 2016. http://cial.aero/userfiles/cialwebsite/CIAL_Annual_Report_2016.pdf.
11. Sugathan V., John E., Sudhakar K. (2015) Recent improvements in dye sensitized solar cells: a review, *Renew. Sustainable Energy*, 52, 54-64.
12. Güneş Kent, Güneş Yayınevi, Çetin GÖKSU 1999.
13. Shukla A.K., Sudhakar K., Baredar P. (2016) Renewable energy resources in South Asian countries: challenges, policy and recommendations. *Resources Efficient Technology*, 12, 45-51.
14. Shukla A.K., Sudhakar K. (2016) Exergetic assessment of BIPV module using parametric and photonic energy methods: a review, *Energy Build*, 119, 62–73.
15. Cochin International Airport Limited, CIAL annual report 2015. http://cial.aero/userfiles/cialwebsite/CIAL_Annual_Report_2015.pdf.
16. Kılış B. (2014) Energy consumption and CO2 emission responsibilities of terminal buildings: a case study for the future Istanbul International Airport, *Energy Build*, 76, 109-118.
17. Kılış S. Benchmarking airports based on a sustainability ranking index, *Journal of Cleaning Production*, 130, 248–259.
18. Rubeis T., Nardi I., Paoletti D., Di Leonardo A., Ambrosini D., Poli R. (2016) Multi-year consumption analysis and innovative energy perspectives: the case study of Leonardo da Vinci International Airport of Rome, *Energy Conversion Management*, 128, 261–272.
19. Kumar B., Sudhakar K. (2015) Performance evaluation of 10 MW grid connected solar photovoltaic power plant in India, *Energ*, 1, 184–192.
20. Sundaram S., Babu J. (2015) Performance evaluation and validation of 5 MWp grid connected solar photovoltaic plant in South India, *Energy Conversion Management*, 100, 429–439.
21. Rowlings A. (2016) Sustainable Energy Options for the Future Airport Metropolis, Science and Engineering Faculty Queensland University of Technology, Master Thesis.
22. Rowlings A., Walker A. (2008) Sustainable Energy Options for the Future Airport Metropolis, 4th International Conference on Energy, Environment, Ecosystems and Sustainable Development, Algarve, Portugal.

23. Padmavathi K., Daniel S. (2013) Performance analysis of a 3 MWp grid connected solar photovoltaic power plant in India, *Energy Sustainable Development*, 17, 615–625.
24. Whiteman A., Bannard D., Smalinsky T., Korovesi I., Plante J., DeVault T. (2015) Renewable Energy as an Airport Revenue Source, *Airport Cooperative Research Program*, Washington, ABD.
25. Ünlü D., Hilmioğlu N.D. (2018) Review of Renewable Biofuels in the Aviation Sector, *Advances in Sustainable Aviation*, 25-39.
26. Sidi C., Ndiaye M., Bah M., Mbodji A., Ndiaye A., Ndiaye P. (2016) Performance analysis of the first large-scale grid-connected photovoltaic plant in Mauritania, *Energy Conversion Management*, 119, 411–421.
27. Carrillo J., Muñoz J., Makibar A., Luna A., Narvarte L. (2014) The open-source simulation tool of pv systems developed in pvcrops Instituto de Energía Solar –Universidad Politécnica de Madrid.
28. DeVault T., Seamansa T., Schmidta J., Belantb J., Blackwella B., Mooersa N. (2014) Bird use of solar photovoltaic installations at US airports: implications for aviation safety, *Landsc. Urban Plan*, 122, 122-128.
29. Whiteman A., Bannard D., Smalinsky T., Korovesi I., Plante J., DeVault T. (2015) Renewable Energy as an Airport Revenue Source. Washington, ABD.
30. Shukla A., Sudhakar K., Baredar P. (2016) Design, simulation and economic analysis of standalone roof top solar PV system in India, *Solar Energy*, 136, 437–449 .
31. Shukla A., Sudhakar K., Baredar P. (2016) Exergetic analysis of building integrated semitransparent photovoltaic module in clear sky condition at Bhopal India, *Case Stud. Therm. Eng.*, 8, 142–151.
32. Sukumaran S., Sudhakar K (2017) Fully solar powered airport: A case study of Cochin International airport. *Journal of Air Transport Management*, 62, 176-188.
33. Sukumaran, S., Sudhakar K. (2017) Fully solar powered Raja Bhoj International Airport: a feasibility study. *Resource-Efficient Technologies*, 3(3), 309-316.
34. Radoomska M., Chernyak L., Samsoniuk O. (2018) The Improvement of Energy-Saving Performance at Ukrainian Airports, *Advances in Sustainable Aviation*, 189-203.
35. Yıldız Ö., Yılmaz M., Çelik A., Edip (2020) Havalimanlarında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, *Journal of Aviation*, 4(1), 162-174
36. Yılmaz M., Yıldız Ö. (2018) Havalimanlarında Enerji Tüketimi ve Enerji Verimliliği, 4th International Anatolian Energy Symposium, Edirne, Türkiye.
37. Yıldız Ö., Yılmaz M., Çelik A. (2019) Havalimanlarında Fotovoltaik Sistemlerin Kullanılması, 22th Congress of Thermal Sciences and Technology, Kocaeli, Türkiye.
38. Akyüz M., Altuntaş Ö., Söğüt M., Karakoç H., Kurama S. (2018) Determination of Optimum Insulation Thickness for Building's Walls with Respect to Different Insulation Materials: A Case Study of International Hasan Polatkan Airport Terminal, *International Journal of Sustainable Aviation*, 4, 147-161.



THE RISK OF EXPOSURE OF URBAN POPULATION TO AIR POLLUTION: ANALYSIS OF MORPHO-CLIMATIC CHARACTERISTICS AFFECTING FINE PARTICLES DISPERSION OF THE CANYON STREETS OF ALGIERS

KHELLAF LOUBNA

University Saâd Dahlab of Blida 1, ETAP Research Laboratory: Environment and Technology for Architecture and Heritage

NAIMI AITAUDIA Meriem

.2University Saâd Dahlab of Blida 1, ETAP Research Laboratory: Environment and Technology for Architecture and Heritage.

Abstract

Outdoor air pollution is a major problem for the city of Algiers. This phenomenon is strongly aggravated in the urban center because of the emission of several pollutants. In this respect, the passive dispersion of fine particles (PM_{2.5} and PM₁₀) combined with morphoclimatic parameters becomes a key issue in sustainable urban planning and design strategies. The urban configurations and physical conditions of Algiers remain relevant, due to the nature of the site and its history, as well as to enrich the debate around the issue related to concentration and passive dispersion of pollutants. To achieve this objective, the analysis of morpho-climatic parameters of the selected urban canyons aims to decipher the problem of passive dispersion of pollutants. The results of this study show that the key parameters of the passive dispersion of fine particles within the selected canyon streets: BEN MHIDI street, BÂB-EL-OUED street, MOHAMED KHEMISTI boulevard, and 19 MAI 56 street, are wind speed (2.71 m/s; 2.72 m/s; 6.11 m/s; 3m/s), H/W aspect ratio (2.37; 1.7; 0.33; 2.01), building density (15.8; 15, 76; 12.06; 6.18), horizontal vegetation area (172.536 m²; 9.25m²; 4246.94m²; 0m²) respectively. In this sense, higher concentrations of fine particles (PM_{2.5} and PM₁₀) within the canyons were supported by low wind speed, high presence of vegetation, the importance of the H/W aspect ratio greater than 1, and building density. The results of this study could contribute to provide guidance for healthy design and urban planning strategies.

Keywords: Outdoor air pollution, City of Algiers, Passive dispersion of fine particles (PM_{2.5} and PM₁₀), Canyon streets, Morpho-climatic analysis.

Introduction

Outdoor air quality outside of our living spaces is a well-known and worrisome problem, especially in the world's major cities, where the density of urban forms, population size and diversity of activities remain enormous. This phenomenon continues to grow at an alarming rate worldwide and particularly in poor cities. As a result, premature deaths are due to the high concentration of suspended fine particles PM_{2.5} and PM₁₀ in the atmosphere; microparticles alone are responsible for 3 million premature deaths each year worldwide [WHO, 2016]. Like many cities around the world, Algiers city is suffering from the rampant problem of degradation of the outdoor air quality, because of the development on the urban and industrial activities. In this respect, several Algerian researches showed that there are probably three major sources of pollution: The road traffic which is the main responsible of the atmospheric pollution in urban area of the city, the industry, and the waste. These three sources are at fault for the emission of the main pollutants such as (SO₂) Sulfur Oxides, (NO_x) Nitrogen Oxides, (PM) Particulate Matter, (NMVOCs) Volatile Organic Compounds (non-methane), (CO) Carbon Monoxide [Algiers: O.N.S., 2006; Official Journal, 2006; Rahal Farid, 2014; Rabah Kerbachi et al., 2016]. These last ranges of pollutants have various harmful consequences on health (lung cancers, acute respiratory infections in children and chronic bronchitis in adults, throat irritations, exacerbation of cardiovascular and respiratory diseases, and so on; on natural environment, for example, air pollution exerts a negative effect on agricultural crops yield; and also on building envelope, especially historical monuments, whose restoration can be very expensive [Bensmain Leïla, 2010].

The relationship between morpho-climatic parameters and particle dispersion has been the subject of several European researches, including the study of [RATTI et al., 2002; Zaki et al., 2014, 2020; Junting Zhong, 2018; L. Thouron et al., 2017; Schindler et Caruso, 2014; Asmaa M. Hassan et al., 2020; Ilten et Selici, 2008].

As mentioned above, we are interested in studying the morpho-climatic parameters characteristics of different configurations of canyon streets in Algiers and their abilities to make the fine particle dispersion pathway passive, by adopting an analysis of the morpho-climatic parameters of selected canyon streets in Algiers city and comparing them with previous relevant studies in order to propose explanations to the issue of passive dispersion of fine particles (PM_{2.5} and PM₁₀) in the urban environment of Algiers. The aims of this study could contribute to provide guidance for sound design and urban planning strategies.

2- Urban form characteristics of the city of Algiers

It is good first to make a presentation of the region to be studied so that we can proceed to an appropriate reading and analysis, then to understand the various aspects and urban phenomena which compose the image, the structure, and the form of the urban fabric of Algiers city.

2.1. Presentation of Algiers capital city

The department of Algiers is located in the North of Algeria. It has a population of 3,136,582 inhabitants with an area of 1,531 km². Therefore, its population density is estimated at 2,048.7 inhabitants per km² [DB-City; <https://fr.db-city.com>, 13/08/2021]. The department of Algiers is limited in the north by the Mediterranean Sea with 80 km of coast, in the south by the department of Blida, in the west by the department of Tipaza, and in the east by the department of Boumerdes.

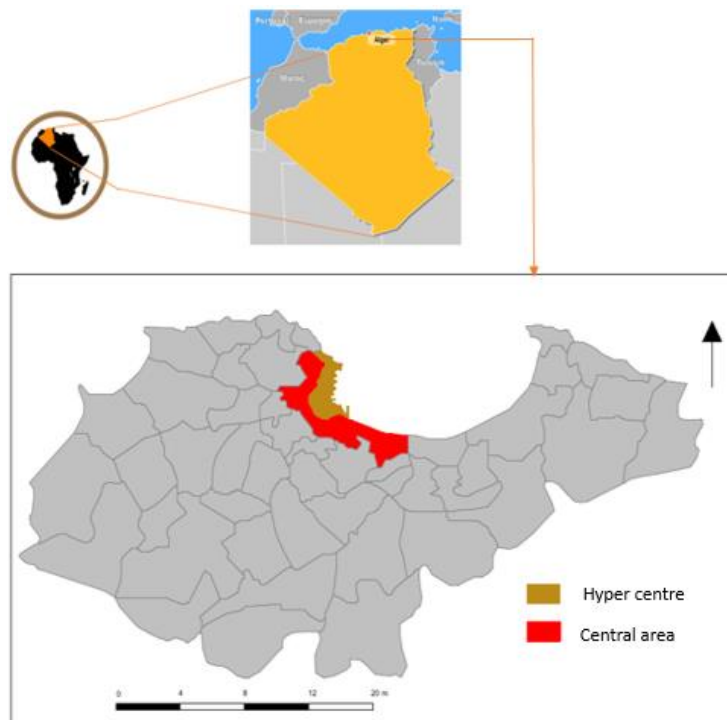


Fig. 1: Global situation of the city of Algiers center (hyper center and the central zone).

Source: [Mohammed Bakour et al., 2018 ; Algerian Tourist Offices (8/12/2021)].

Algiers, "El BAHDJA, The White, is the political, administrative and economic capital [<http://www.aniref.dz>, 13/08/2021]. According to the Official Site of the *wilaya* (i.e. Department) of Algiers; the importance of Algiers is due to its position, its size, its functions, its facilities and also because it includes various large urban projects. It was thus classified as the first city of Algeria [<http://www.wilaya-alger.dz/>, 14/08/2021]. It is also

economic heart of the country because it is characterized by the fact of containing 4 industrial parks, 26 activity parks, and a quarter of the foreign investments. It is also the seat of all the major administrations, economic and financial institutions, in addition to being the main center of decision-making and diplomatic representation. The urban population of the city of Algiers represents 97.04% of the total population of the Department. The hyper center includes the commune of Algiers center, Sidi M'hammed, Casbah, and Bab El Oued with a density of approximately 41 136 inhabitants/km². The central zone consists of the communes of Oued Koriche, El Biar, El Mouradia, Belouizdad, Hussein Dey, and El Magharia with a density of about 17,116 inhabitants/km²; noticing that the population density decreases as one moves away from the main center [Rahal Farid, 2014]. The climate of the Department of Algiers has two constraints such as the dominant west winds which require windbreaks and hail which occurs on average 12 days/year on the Sahel. In addition, the sirocco, which is a violent, very dry and very hot Saharan wind, can last up to 20 days per year on average. As for the mean annual temperature, it fluctuates between 16 and 18°C, with a very hot summer [<http://www.aniref.dz>, (Accessed : 13/08/2021)].

2.2. Natural characteristics of the site

The city of Algiers is a very remarkable morphological artifact. What made the urban fabric more complex and important are mainly both historical actions, related to the succession of dynasties, and physical conditions [Radhwane Boukelouha, 2019].

The complex image of the city of Algiers, from an urban point of view, is related to the factors which shape it, in particular those related to the nature of the site. Consequently, the evolution of the morphological structure of the two urban zones "hyper-center" and "downtown", which represent the basic fabric of the department of Algiers, follow the site topography of which of Bouzareah mountain with an altitude of 500 m, and which protects the Algiers bay of the dominant winds of west. The urban area is located between two narrow ravines excavated by the two rivers Knis and Mghasal. Thus, the original shape of the urban core was a triangle formed by the two previous rivers and the base represented by the old port. The axis of spatial development was from north to south, in other words from the port to the Mitidja plain. This is explained in the following image [[**Madani Safar Zitoun quoted by himself, 2009** (Marges et Villes, <https://marges.hypotheses.org>, Accessed : 15/08/2021); **Lesp R, 1930**].

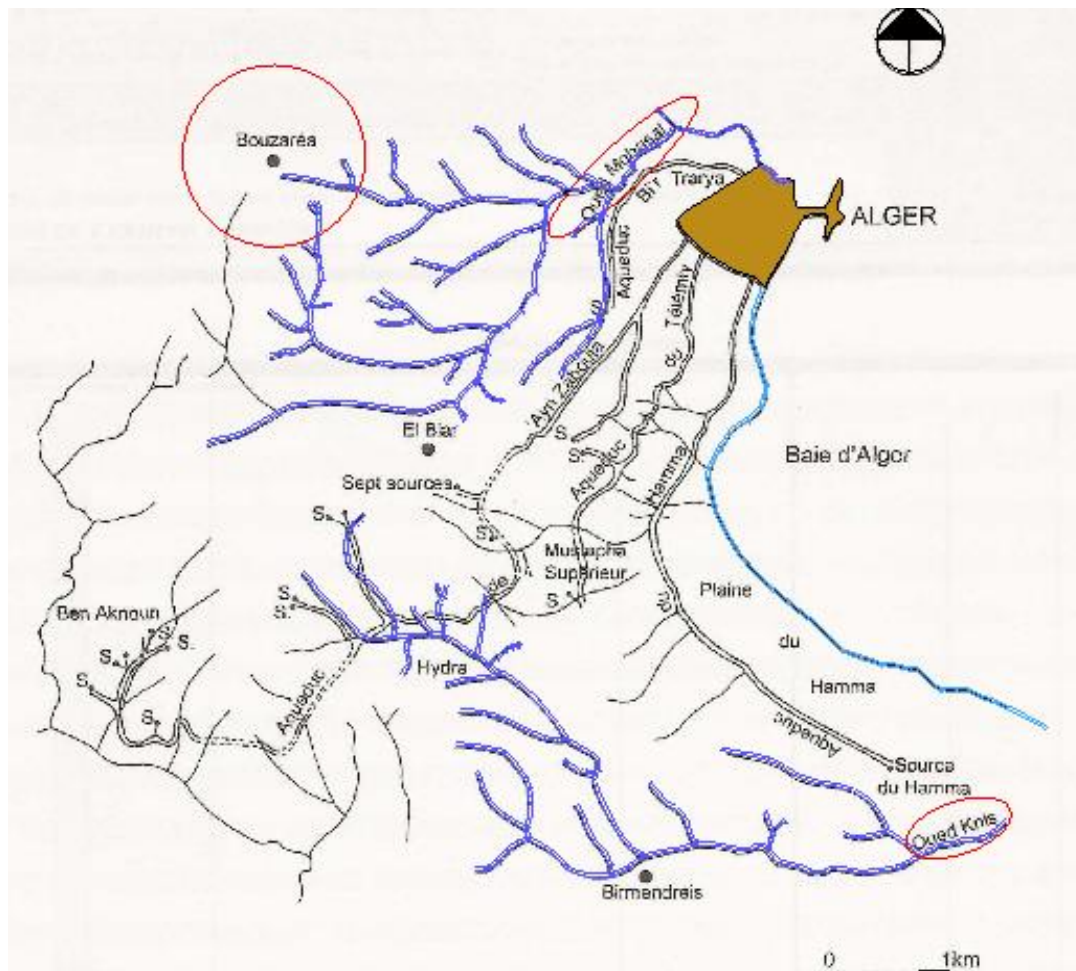


Fig. 2: The physical and natural factors contributing to the formation of the urban fabric of the city of Algiers "Oued Knis, Oued Mghasal, the Bouzareah massif and the port". **Source :** [Leila Ouled Cadi Montebourg, 2014], Processed by the author.

2.3 Urban form historical evolution

Among the various dynasties and occupations that the city of Algiers knew over time, we quote the Ziride dynasty that founded the city, the Andalusian and Moorish presence (992 à 1609), the Ottoman presence (1518 à 1830), and the French rule (1830 à 1962) [Samia Chergui, 2009; <http://www.apc-algercentre.dz>, 13/08/2021]. The result of this accumulation of civilizations is heterogeneous central urban fabrics with reduced accessibility. After that, a form of urban development in continuity with the irregular site on the axis "Downtown-East of the agglomeration" on the one hand, and on the other hand, a form of discontinuous development that has been noticed on the axis "Downtown South" and "Downtown West", in addition to urban spaces formed near small colonial centers and isolated villages located on the heights of the city [Madani Safar Zitoun cited by himself, 2009; Lesp R, 1930].

In this section, we will focus more on the pre-colonial and colonial periods, as our field of application belongs to these historical and dominant urban entities in the city of Algiers, in order to define and clarify the variety and heterogeneity of this spatial model of the Algiers city center. Two families of urban configurations distinguish the form of the urban fabric in its three dimensions, as well as the scenic urban image that they gave to Algiers. We find in the same context:

Medieval fabric (the medina) before 1830

The precolonial configuration where the birth of the city of Algiers appeared under the name EL DJAZAIR BENI MEZGHENNA (EL DJAZAIR: the islands). This city goes back to the purely Berber Islamic origins,

the Zirides, and thanks to Bologhine son of Menad, the city of Algiers was built on the ruins of ICOSIUM. As time goes by, and from a morphological point of view, the urban core is protected by a wall containing certain doors leading to the outside that are Bab El Djan, Bab Azzoun, Bab El Djazira, Bab El Bhar, and Bab El Oued. The morphological characteristics of this period are: Hierarchization of the roads, grouping of the districts, a central place in which converge the main ways and where also used to take place meetings and exchanges. Among the most important equipments, we find the Mosques, Zaouïa and Medersas (Quranic schools), and Hammams (moorish baths). In the city center, we find palaces, stores that are located along streets, and souks in squares [Houssameddine Ammi, 2019]. In addition, the Kasbah configuration, from a morphological point of view, is characterized by: an urban organization of arborescent form, an architectural design adapted to the climate, the streets are narrow and too dark having different widths relative to the importance of the way, the houses are large and small with spacious courtyards, overcrowded and very narrow in relation to each other. [Leila Ould Cadi Montebourg, 2014; Radhwane Boukelouha, 2019; Bouzid Boudiaf, 2003]. The following figure shows the old fabric of the city:

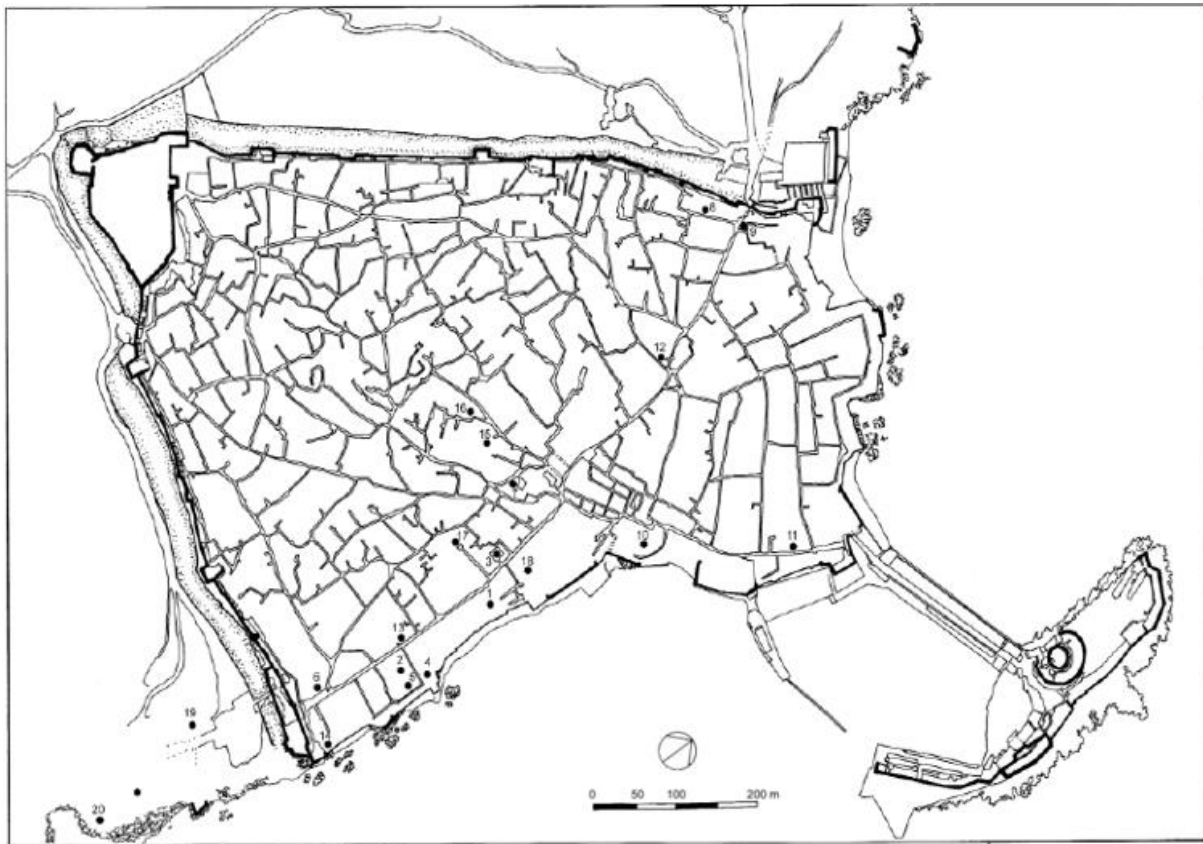


Fig. 3: The urban fabric of the medina of Algiers before the advent of the French colony (1830). **Source:** [Sakina Missoum,2003]

Colonial fabric (1830-1962)

The French period is distinguished by two major interventions types: intramural transformations in the lower Casbah and the period of extramural extension. This morphological typology is conceived in contrast with the city old fabric, for reasons notably of accessibility, salubrity and also military power. This was done by creating breakthroughs in the heart of the most compact residential urban fabric, i.e. creation of a large open space with tight streets, currently Martyres square, which is the meeting point of the three main roads: Bâb-Azzoun, Bâb-El-Oued and Bâb-El-Djazîra; widening works of the narrow streets that affected first the Chartres street and Consuls street, widened from 6 to 8 m in width, and then La Lyre street; and creating the Randon square and the Gambetta Boulevard. [Ben-Hamouche Mustapha, 2018]. The following plans show the first French interventions in the lower Casbah:



Fig. 4: The first urban transformations affecting the lower Casbah 1832. **Source:** gallica.bnf.fr/National Library of France.



Fig. 5 : Intramural urban development. **Source :** gallica.bnf.fr/Bibliothèque nationale de France. Edited by the authors.

Following these intramural transformations, Algiers experienced continuous extramural urban development along the waterfront. The mode of conception of the new urban zones is based on the principles of urbanism of alignment and embellishment predominant in this era. This new urban morphology will largely respond to the concern of salubrity, aeration and safety by creating public gardens, open spaces, esplanades, and so on. Among the distinctive expansions of this stage, we find first of all the extensions towards Bab Azzoun with a residential complex born around Isly street, a set of squares and streets was alternated to ensure the articulation with the new extensions and the continuity with the old core on one on, and on the other hand, the appearance of neighborhoods such as the Mustapha neighborhood, Agha and Hamma. This gave an unbalanced rhythm of urban growth between the two sides of the old city of Algiers North and South. The figure below presents this reflection:

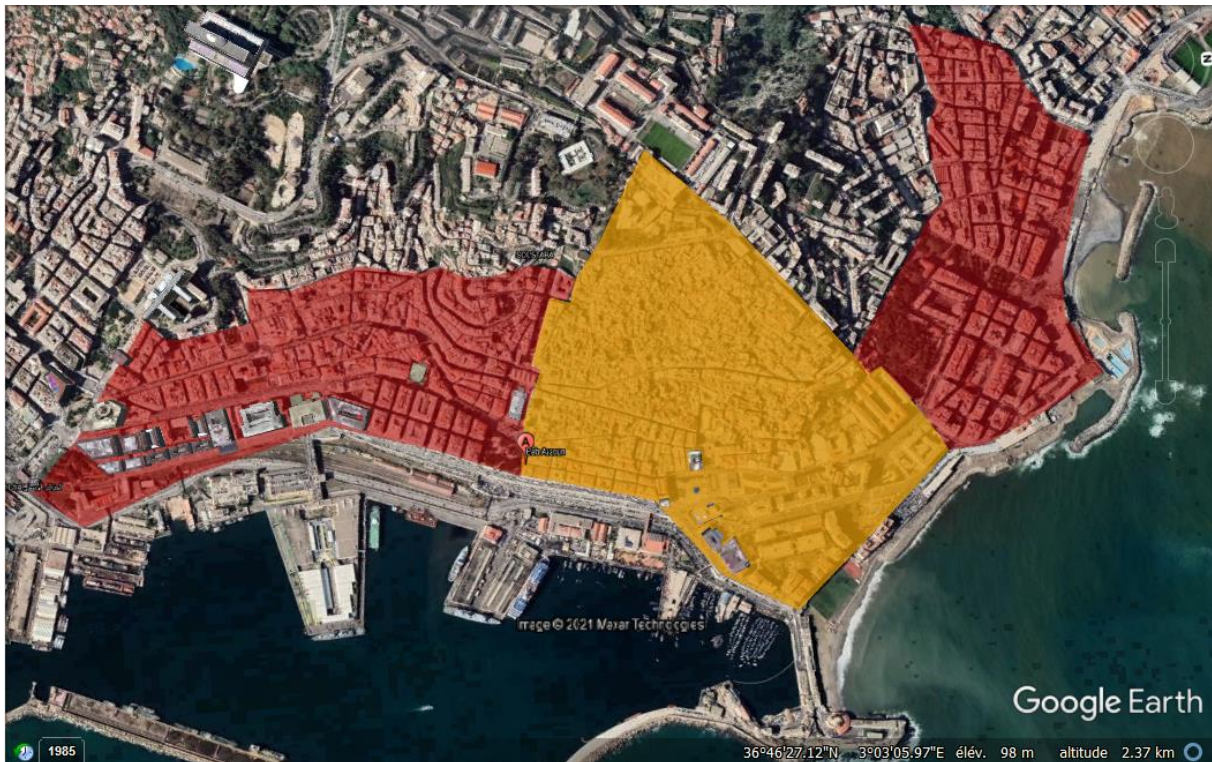


Fig. 6: Extramural urban development. **Source:** gallica.bnf.fr/Bibliothèque nationale de France, Google Earth Pro. Edited by the authors.

3. Relationship between urban morphology, meteorological parameters and passive dispersion of fine air pollutants

3.1. Presentation of the studied streets and selection criteria

The following figure shows the location of the canyon streets specified for the study, which are located in the pre-colonial and colonial urban fabric. The case study consists of Bab El Oued street located in the lower Casbah fabric; and Larbi Ben M'hidi street, Mohamed Khemisti Boulevard and 19 Mai 56 street, located in the colonial extramural fabric.

The study criteria were chosen because of their strong use in the study of air pollutants dispersion in previous researches, as well as they were also selected because of their conformity with the characteristics of the study area. The table 1 presents the criteria selected for this study.



Fig. 7: Location of the selected streets in the city of Algiers; A (Bab El Oued street), B (Larbi Ben M'hidi street), C (Mohamed Khemisti Boulevard), D (19 Mai 56 street).

Source: Google Earth Pro. Processed by the authors.

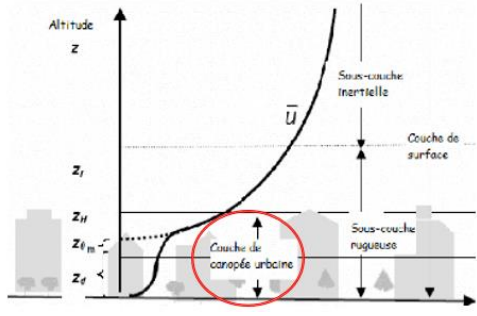



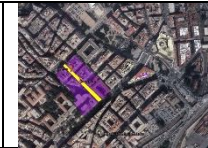




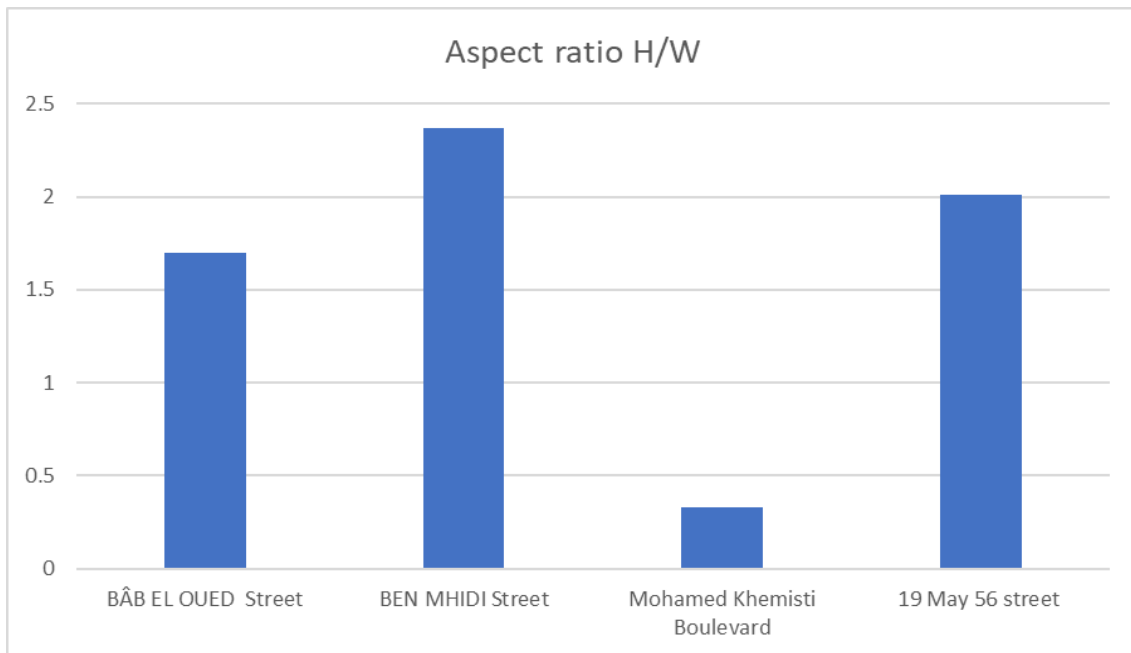
Studied canyon streets	(Bâb El Oued Street)	(Ben Mhidi Street)	(Mohamed Khemisti Boulevard)	(19 Mai 56 Street)
Morpho-climatic indices				
Scale of application : Atmospheric layer (urban canopy)	<p>Scale very well known in the study of urban climate and where all the changes of emission, transformation and dispersion of atmospheric pollutants take place.</p>  <p>Fig. 8: The atmospheric layer (urban canopy); scale of application. Source: https://www.google.com, 13/08/2021.</p>			
Location				
Type of streets	Mechanical street Without vegetation	Mechanical street with vegetation	Mechanical street with vegetation	Mechanical street without vegetation
Aspect ratio H/W	<p>Aspect ratio H/W is the ratio of the average height of the building to the width of the street. If this ratio is equal to 1, the street is as wide as it is high. If this ratio is smaller than 1, the buildings are smaller than the street width and conversely, if this ratio is larger than 1, the buildings are higher than the street width (deep canyon). Ratio height/width = 0, low fine particle concentration, this indicates that the streets are open.</p>			
Density of buildings surrounding canyon street	<p>The density around the selected street is determined based on the area and volume of the blocks surrounding the street.</p>			
Wind (speed and direction)	<p>A key element in the study of atmospheric pollutant dispersion phenomena. A weak wind favours the accumulation of pollutants and vice versa.</p>			
Vegetation surface	<p>The amount of vegetation in urban areas has a significant effect on the dispersion and concentration of fine particles (pm2.5 and PM10) in the air.</p>			
Topography	<p>The site topography has an impact on the wind flow, it can slow down or speed up the wind speed.</p>			
the intensity of road traffic	<p>The car has a negative impact on the dispersion path of pollutants and also on the quantity of air pollutants emissions.</p>			
Orientation of the streets in relation to the prevailing winds (southwest)				

Table. 1: Criteria for the choice of study parameters and their contribution to the dispersion of air pollutants. **Source :** [Zhiwen Jiang et al., 2021 ; Kokkonen, Tom V., et al., 2021 ; Athamena, K. 2012]. Processed by the authors.

3.2. Distinctive morpho-climatic characteristics of the selected canyon streets

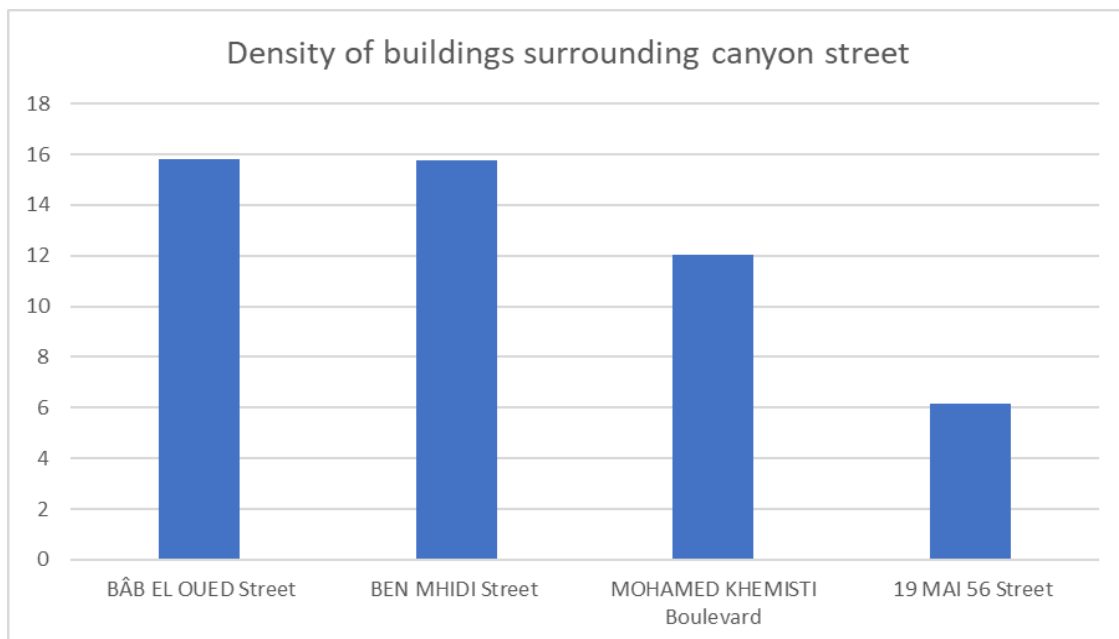
After taking the necessary measurements and calculating the morphoclimatic parameters by adopting various tools, including the laser rangefinder for measuring horizontal and vertical distances and the two software programs Météonorm7.3 and Likes environmental, version 8.0.2 for the production of the wind rose for each selected street. The following graphs are the results related to the distinctive morphological climatic for each type of canyon street selected in the city of Algiers parameters (Aspect ratio H/W, Density of buildings surrounding the canyon street, Wind speed (m/s), Horizontal surface of the vegetation (m²)):

Aspect ratio H/W:



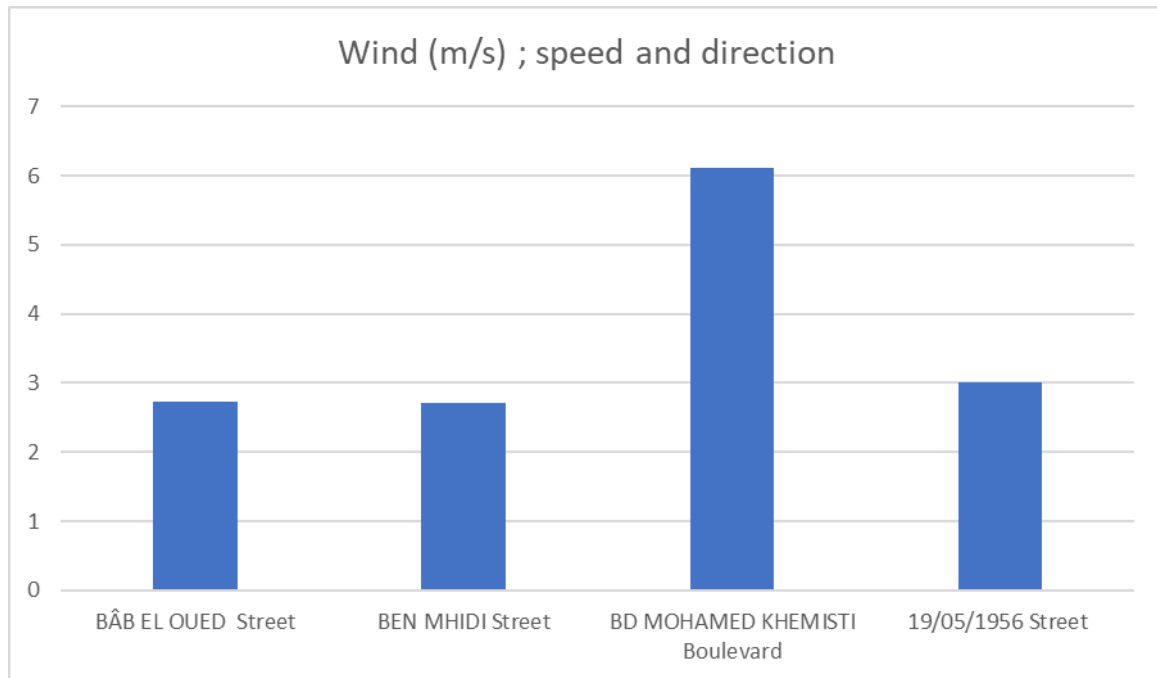
Graph. 1: Aspect ratio given to each type of canyon street selected.

Density of buildings surrounding canyon street:



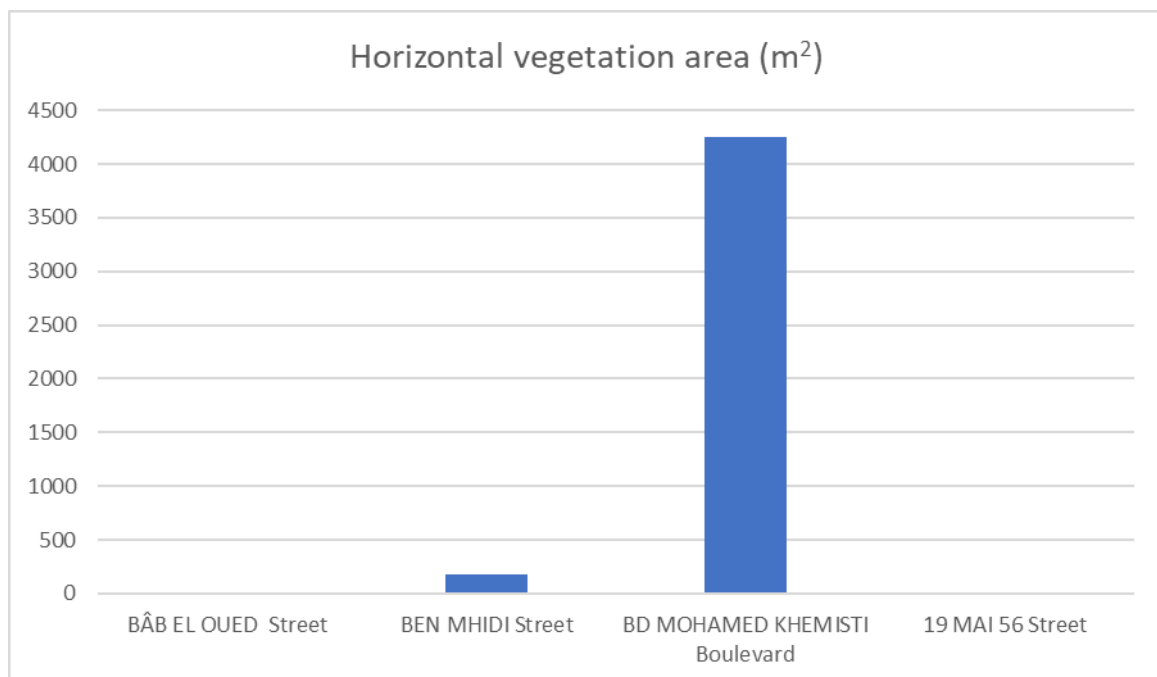
Graph. 2: Density H/V for each type of selected canyon street.

Wind; speed and direction (m/s):



Graph 3: Typical wind speed for each type of canyon street selected.

Horizontal surface of the vegetation (m²):



Graph 4: Vegetation density of each type of selected canyon street.

3.3. Explanation of the pollutants dispersion in the selected canyon streets

Based on the table of selection criteria, the results of the calculated parameter values presented in the graphs, and the relevant studies such as the study by Sadia REMILI, 2010; S. Bouketta and Y. Bouchahm, 2012; Stella Tsoka, 2012; Abdeldjouad Meriem, 2014; Tom V. Kokkonen et al., 2021, it can be concluded that the dispersion of pollutants in the selected streets is as follows:

- Bab El Oued street, the aspect ratio is greater than 1, therefore, the street is deep, the density of vegetation is low, it is close to the main road with dense traffic, whereas poorly oriented to the prevailing wind (south-west), the fabric is compact and the permeability is average. As a result, the dispersion of pollutants is difficult which explains the accumulation of pollutants.

- Ben Mhidi Street (Isly street), H/W is higher than 1, thus, the street is very deep, the traffic is dense, the vegetation density is low, the fabric is impermeable, the street is poorly oriented to the prevailing wind (south-west). Therefore, the dispersion of pollutants is passive and more alarming than Bab El Oued street.

- Mohamed Khemisti boulevard, density of vegetation is important, the aspect ratio is less than 1 i.e. the street is open, the fabric is very permeable, the traffic is too dense, the amount of green space is strong, and the street has good orientation to the prevailing wind. Consequently, the dispersion of pollutants within this street is very easy and positive.

- 19 May 56 street, aspect ratio is greater than 1, so the street is deep, vegetation density is almost zero, the fabric is permeable which signifies the existence of ventilation corridors, the traffic is average, the road is not badly oriented to the prevailing wind. Therefore, the dispersion of pollutants is acceptable.

At the end of these findings, we could say that the variety of morpho-climatic parameters, can complicate the dispersion path of air pollutants within the canyon street, so where most of the parameters that stimulate passive dispersion, the concentration of pollutants will be important and higher and vice versa.

4. Conclusion and recommendations

Based on the results of the values obtained in the above table, and the results of previous studies related to the evaluation of pollutant dispersion in dense urban environment such as the study of C. Nick Hewitt, et al., 2020; YANG, Junyan, et al., 2020; An Karl et al., 2019 and so on. Several thoughts can be identified regarding the dispersion issue of fine pollutants (PM_{2.5} and PM₁₀) in the canyon street:

- When the geometry and depth of the street are significant, this contributes to increased pollutant concentration levels at the street level;
- When the street has a poor orientation to the prevailing winds, it also has a negative effect on the dispersion and accumulation of pollutants;
- When the surrounding site is impervious, the dispersion of pollutants will be difficult at the given canyon street level and also the urban ventilation will be poor;
- When the traffic density is high, the exposure of pedestrians to the harmful effects of the emitted pollutants will be in great proportion with poor auditory comfort, it also uproots the stagnant particles on the surface of the ground and thus disturbs the path of pollutant dispersion, and it contributes to the creation of vortexes and turbulence;
- Plants have two important roles in terms of dispersion of pollutants, on the one hand, they allow to clean the air of suspended particles by fixing them as an example on the leaves, and on the other hand, they slow down the wind speed and therefore the dispersion of pollutants is not favored.

Based on these results, we can conclude that Mohamed Khemisti boulevard is the best in terms of pollutant dispersion than Ben Mhidi street, as it contains a wide range of parameters that improve the urban air quality within a canyon street.

As a conclusion we can argue that the relationship between urban air quality, urban morphology, technology and public health must be well studied and integrated in future sustainable urban projects in order to reduce the pollution problem in urban areas.

References

1. World Health Organization, <https://www.who.int> (Accessed : 11/08/2021).
2. National Statistics Office, <https://www.ons.dz>(Accessed : 11/08/2021).
3. Official Journal, 2006 / <https://onedd.org>
4. RAHAL, Farid, BENHARRATS, Nassira, BLOND, Nadège, et al. Modelling Of Air Pollution In The Area Of Algiers City, Algeria. *International Journal Of Environment And Pollution*, 2014, Vol. 54, No 1, P. 32-58.
5. KERBACHI, Rabah, BOUGHEDAOU, Ménéouèr, KOUTAI, Nadia, et al. La Pollution Par Les Oxydes D'azote Et L'ozone A Alger. 2268-3798, 2016.
6. BENSMAIN, Leila et ABDOUN, Fatiha. Etude Des Relations Entre Les Paramètres Météorologiques Et La Pollution Atmosphérique A Alger. 2010. Thèse De Doctorat.
7. RATTI, Carlo, DI SABATINO, Silvana, BRITTER, Rex, et al. Analysis Of 3-D Urban Data Bases With Respect To Pollution Dispersion For A Number Of European And American Cities. *Water, Air And Soil Pollution : Focus*, 2002, Vol. 2, No 5, P. 459-469.
8. ZAKI, Sheikh Ahmad, HAGISHIMA, Aya, TANIMOTO, Jun, et al. Estimation of Aerodynamic Parameters of Urban Building Arrays Using Wind Tunnel Measurements. *Journal of Engineering Science and Technology*, 2014, vol. 9, no 2, p. 176-190.
9. ZAKI, Sheikh Ahmad, OTHMAN, Nurnida Elmira, SYAHIDAH, Siti Wan, et al. Effects of Urban Morphology On Microclimate Parameters In An Urban University Campus. *Sustainability*, 2020, Vol. 12, No 7, P. 2962.
10. ZHONG, Junting, ZHANG, Xiaoye, DONG, Yunsheng, et al. Feedback Effects Of Boundary-Layer Meteorological Factors On Cumulative Explosive Growth Of Pm 2.5 During Winter Heavy Pollution Episodes In Beijing From 2013 To 2016. *Atmospheric Chemistry And Physics*, 2018, Vol. 18, No 1, P. 247-258.
11. THOURON, Laëtitia, SEIGNEUR, Christian, KIM, Youngseob, et al. Simulation Of Trace Metals And Particulate Matter Atmospheric Pollution Over Greater Paris: Concentrations And Deposition On Urban Surfaces. *Atmospheric Environment*, 2017, Vol. 167, P. 360-376.
12. SCHINDLER, Mirjam et CARUSO, Geoffrey. Urban Compactness And The Trade-Off Between Air Pollution Emission And Exposure: Lessons From A Spatially Explicit Theoretical Model. *Computers, Environment And Urban Systems*, 2014, Vol. 45, P. 13-23.
13. HASSAN, Asmaa M., ELMOKADEM, Ashraf A., MEGAHED, Naglaa A., et al. Urban Morphology As A Passive Strategy In Promoting Outdoor Air Quality. *Journal Of Building Engineering*, 2020, Vol. 29, P. 101204.
14. ILTEN, Nadir et SELICI, A. Tülay. Investigating The Impacts Of Some Meteorological Parameters On Air Pollution In Balikesir, Turkey. *Environmental Monitoring And Assessment*, 2008, Vol. 140, No 1, P. 267-277.
15. DB-CITY, <https://fr.db-city.com>(Accessed : 13/08/2021).
16. BAKOUR, Mohammed, BAOUNI, Tahar, et THEVENIN, Thomas. La dépendance automobile à Alger: entre efficacité du système automobile et précarité du système de transport. *RTS-Recherche Transports Sécurité*, 2018, vol. 2018, p. 26.
17. ANIREF, <http://www.aniref.dz>(Accessed : 13/08/2021).
18. Official site of the Wilaya of Algiers, <http://www.wilaya-alger.dz/>, 14/08/2021.
19. BOUKELOUHA, RADHWANE et GAUTHIER, PIERRE. Une Forme Urbaine Marchable ? La Performance Morphologique Des Tissus Urbains A L'égard De La Marchabilité Dans Le Contexte Algérien. *Revue: Le Carnet De Recherche Du Centre Jacques Berque*. Researchgate. 2019.
20. Marges et Villes, <https://marges.hypotheses.org>(Accessed : 15/08/2021).

21. LESPÈS, René. Alger, Etude De Géographie Et D'histoire Urbaines. F. Alcan, 1930.
22. CHERGUI, Samia. Les morisques et l'effort de construction d'Alger aux xviiie et xviiiie siècles. Cahiers de la Méditerranée, 2009, no 79, p. 303-317.
23. Official website of the City Hall of Algiers Centre, <http://www.apc-algercentre.dz>, 13/08/2021.
24. AMMI, Houssameddine. Villes Et Développement Economique En Algérie. 2019. Thèse De Doctorat. Toulon.
25. MONTEBOURG, Leïla Ould Cadi. Alger, Une Cite Turque Au Temps De L'esclavage : À Travers Le Journal D'alger Du PereXimenez, 1718-1720. Presses Universitaires De La Mediterranee, 2014.
26. BOUDIAF, Bouzid. Les Trois Ages De La Ville Algérienne. Villes En Parallèle, 2003, Vol. 36, No 1, P. 28-47.
27. MISSOUM, Sakina. Alger à l'époque ottomane: la médina et la maison traditionnelle. Édisud, 2003.
28. HAMOUCHE, Mustapha Ben. L'architecture Et L'urbanisme Au Maghreb Aux XIX-XX Siècles. Cas d'Alger (1800-2000). Medina Foundation. ENAG Alger. 2018.
29. JIANG, Zhiwen, CHENG, Haomiao, ZHANG, Peihao, et al. Influence of urban morphological parameters on the distribution and diffusion of air pollutants: A case study in China. Journal of Environmental Sciences, 2021, vol. 105, p. 163-172.
30. KOKKONEN, Tom V., XIE, Yuning, PAASONEN, Pauli, et al. The effect of urban morphological characteristics on the spatial variation of PM 2.5 air quality in downtown Nanjing. Environmental Science: Atmospheres, 2021, vol. 1, no 7, p. 481-497.
31. ATHAMENA, Khaled. Modélisation et simulation des microclimats urbains: Etude de l'impact de la morphologie urbaine sur le confort dans les espaces extérieurs. Cas des éco-quartiers. 2012. Thèse de doctorat. Ecole Centrale de Nantes (ECN).
32. REMILI, Sadia. Optimisation Des Methodes De Modelisation De La Pollutiondu Trafic Automobile. 2010. Memoire De Magistere. Universite Des Sciences Et De La Technologie Mohamed Boudiaf Oran.
33. BOUKETTA, Samira et BOUCHAHM, Y. L'effet de la géométrie urbaine sur l'écoulement du vent et la ventilation naturelle extérieure. Journal of Renewable Energies, 2012, vol. 15, no 4, p. 639–659-639–659.
34. TSOKA, Stella. Relations entre morphologie urbaine, microclimat et confort des piétons: application au cas des écoquartiers. 2011. Thèse de doctorat. Centre Scientifique et Technique du Bâtiment [CSTB], Nantes.
35. ABDELJOUAD, Meriem. Impact de la morphologie du bâtiment sur la dispersion des polluants atmosphériques Cas d'étude: ville d'Annaba. 2014. Thèse de doctorat. Université Mohamed Khider Biskra.
36. HEWITT, C. Nick, ASHWORTH, Kirsti, et MACKENZIE, A. Rob. Using green infrastructure to improve urban air quality (GI4AQ). Ambio, 2020, vol. 49, no 1, p. 62-73.
37. YANG, Junyan, SHI, Beixiang, SHI, Yi, et al. Air Pollution Dispersion In High Density Urban Areas: Research On The Triadic Relation Of Wind, Air Pollution, And Urban Form. Sustainable Cities And Society, 2020, Vol. 54, P. 101941.
38. AN, Karl, WONG, Sze-Ming, et FUNG, Jimmy Chi-Hung. Exploration of sustainable building morphologies for effective passive pollutant dispersion within compact urban environments. Building and Environment, 2019, vol. 148, p. 508-523.



RESEARCH OF THE EFFECT OF FIN DESIGN ON THE COOLING OF HEATED ELECTRONIC COMPONENTS IN A CHANNEL WITH IMPINGING JET-CROSS FLOW

ÇARPAN JET-ÇAPRAZ AKIŞLI BİR KANALDA ISINMIŞ ELEKTRONİK ELEMANLARIN SOĞUTULMASINDA KANATÇIK TASARIMI ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Koray KARABULUT

Sivas Cumhuriyet University, Sivas Technical Sciences Vocational High Sch., Electric and Energy Dept., Natural Gas and Installation Technology Prog., Sivas, Turkey, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5680-0988>

Doğan Engin ALNAK

Sivas Cumhuriyet University, Technology Fac., Manufacturing Engineering Depart., Energy Systems M.F.S., Sivas, Turkey. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0126-1483>

Abstract

Electronic components operate at low voltage current. Excessive heat lowers the electrical resistance of the equipments, increasing the current. As a result of this, it is observed decrease in the performance of the device. To prevent this situation, the electronic element must be at the ideal operating temperature. By improving the heat transfer with the impinging jet-cross flow application, the amount of cooling is increased and a desired efficient cooling can be achieved. In the presented study, heat transfer from copper plate hollow patterned surfaces with constant heat flux in the channel was researched numerically using impinging jet-cross flow. Numerical investigation was carried out by solving the energy and Navier-Stokes equations as three dimensional and steady, using the Ansys-Fluent computer program with $k-\epsilon$ turbulence model. In order to direct the flow in the channel to the heated patterned surfaces, a fin with 45° , 60° and 90° angles and a length of D jet inlet diameter was placed in the channel horizontally with the impinging jet surface. The fluid used in the channel is water, and the upper and lower surfaces of the channel and the fin are adiabatic. Hollow patterned surfaces have a constant heat flux of 1000 W/m^2 . The distance between the jet and the plate is 60 mm, and the jet Reynolds number range is 7000-11000. The results of the study were compared with the experimental results of the study in the literature and it was determined that they were consistent with each other. The results were presented as the mean Nu number and surface temperature variations for each hollow patterned surface. At $Re = 9000$, velocity and temperature contour distributions of the impinging jet-cross flow along the channel with 45° , 60° and 90° fin angle and without fin were evaluated comparatively. Compared to the impinging jet-cross flow channel without fin at $Re = 11000$, a 10.42% increase in the mean Nu number was obtained for the hollow patterned surfaces in the channel with 90° fin angle.

Keywords: Impinging Jet-Cross Flow, Fin, Hollow pattern, Electronic component, Cooling.

Özet

Elektronik bileşenler düşük voltaj akımında çalışırlar. Aşırı ısı, donanımların elektrik direncini düşürerek akımı artırır. Bunun sonucu olarak da cihazın performansında düşüş gözlenir. Bu durumu önlemek için elektronik elemanın ideal çalışma sıcaklığında olması gerekir. Çarpın jet-çapraz akış uygulamasıyla ısı transferi iyileştirilerek soğutma miktarı artırılmakta ve istenen verimli bir soğutma sağlanabilmektedir. Sunulan çalışmada, kanalda bulunan sabit ısı akısına sahip bakır plakalı oyuk desenli yüzeylerden olan ısı transferi çarpın jet-çapraz akış kullanılarak sayısal olarak araştırılmıştır. Sayısal inceleme, sürekli ve üç boyutlu olarak enerji ve Navier-Stokes denklemlerinin $k-\epsilon$ türbülans modeli Ansys-Fluent bilgisayar programının kullanılarak çözülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Kanaldaki akışı ısınmış desenli yüzeylere yönlendirebilmek amacıyla 45° , 60° ve 90° açılı ve D jet girişi çapı uzunluğunda kanatçık, çarpın jet yüzeyiyle yatay olarak kanala yerleştirilmiştir. Kanalda kullanılan akışkan su olup, kanalın alt ve üst yüzeyleri ve kanatçık adyabatiktir. Oyuk desenli yüzeyler, sabit 1000 W/m^2 ısı akısına sahiptir. Jet-plaka arası uzaklık 60 mm olup, jet Reynolds sayısı aralığı 7000-11000' dir. Çalışmanın sonuçları, literatürdeki çalışmanın deneysel sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve birbirleriyle tutarlı oldukları belirlenmiştir. Sonuçlar, her bir oyuk desenli yüzey için ortalama Nu sayısı ve yüzey sıcaklık değişimleri olarak sunulmuştur. $Re = 9000$ ' de 45° , 60° ve 90° kanatçık açılı ve kanatçıksız

kanallar boyunca çarpan jet-çapraz akışın hız ve sıcaklık konturu dağılımları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. $Re = 11000$ ' de kanatçiksız çarpan jet-çapraz akışlı kanalla kıyaslandığında 90° kanatçık açısına sahip kanalda oyuk desenli yüzeyler için ortalama Nu sayısında %10.42 artış elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çarpan jet-çapraz akış, Kanatçık, Oyuk desen, Elektronik eleman, Soğutma.

1. GİRİŞ

Aşırı ısınma, elektronik bileşen elemanlarının elektrik dirençlerini azaltıp, üzerlerinden geçen elektrik akımının artmasına sebep olmaktadır. Bu durum da elektronik cihazların çalışma performanslarında düşüşe yani çalışma hızlarında azalmayla sonuçlanmaktadır. Bunun yanı sıra, ısınan elektronik devre elemanları soğutulularak, çalışma sıcaklıkları güvenli sınır aralığına çekilemezse, cihazın bozulma problemiyle karşılaşılabilir. Bu elemanların soğutulabilmesi için çeşitli soğutma teknikleri uygulanabilmektedir. Bu tekniklerden en bilineni çapraz akış ile soğutma yöntemidir. Bu teknik, soğuk akışkanın fan ile bütün elektronik devre üzerine yollanması ve böylece devre elemanlarının tümünün soğutulması prensibine dayanır. Fakat bu teknik, tüm devre elemanlarının soğutulmasını temel aldığından çok yüksek sıcaklıklara ulaşmış elemanların soğutulmasını sağlayamayabilir. Bir diğer soğutma tekniği ise, çarpan jet ile soğutma tekniğidir. Bu teknikte, soğuk akışkan lüle ile yüksek sıcaklıktaki bir yüzeye noktasal olarak püskürtülür. Çarpan jetler, çok yüksek sıcaklığa ulaşmış bir elektronik devre elemanın soğutulmasını sağlayabilirken, devrenin tümünün soğutulmasında başarısız olabilmektedir.

Bir elektronik devre sıcaklık değerleri birbirinden oldukça farklı olan birçok eleman bulundurabilmektedir. Bu nedenle, tek tip bir soğutma tekniği ile tüm devreyi güvenli çalışma sıcaklıkları içinde tutabilecek duruma ulaşmada sıkıntı yaşanabilir. Bundan dolayıdır ki; çarpan jet ve çapraz soğutma tekniğinin birlikte kullanılması soğutma verimi yüksek bir faydalı durum sağlayabilir. Çapraz akış ile devre elemanlarının tümü belirli bir dereceye kadar soğutulurken, devrede yalnızca çok yüksek sıcaklıklara ulaşmış olan elemanlar ise çarpan jet akışı ile yersel olarak soğutulabilmektedir. Böylece, ana kartı meydana getiren bütün elektronik devre elemanlarının sıcaklıkları güvenli bir sınırdan tutulabilmektedir [1-2].

Literatür araştırıldığında sadece çapraz akış veya sadece jet akışın kullanıldığı birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmada da araştırılan geometri daha çok jet akışa benzerlik gösterdiğinden, literatür incelemesinde jet akış üzerinde durulmuştur. Ayrıca, literatürde çarpan jetler üzerine çok sayıda deneysel ve sayısal inceleme bulunmaktadır. Bu çalışmalarda ise esas itibarıyla çarpan jetler için akışkan seçimi, akış alanın geometrisi, kullanılan türbülans modeli, Re sayısı, jet ile çarpma yüzeyi arasındaki mesafe ve elektronik elemana uygulanan ısı akısı gibi değişkenlerin ısı transferine olan etkilerine odaklanılmıştır. Bununla birlikte, çapraz akış ve çarpan jet akışının kombine olarak kullanıldığı elektronik devre soğutma teknikleri ile ilgili gerçekleştirilen çalışma sayısı oldukça az olup, akışın kanal içerisinde yüzeyler üzerine yönlendirilmesine yönelik herhangi bir çalışmaya ulaşılan literatürde rastlanmamıştır.

Kılıç [1], yüksek ısı akılı elektronik devre elemanlarının dört farklı nanoakışkan ve çarpan jet tekniği uygulanarak soğutulmasını ve akış özelliklerini sayısal olarak araştırmıştır. Farklı hacimsel oranlardaki nanoakışkanların (%2, %4, %6 ve %8) ısı transferine olan etkilerini de incelemiştir. En yüksek ısı transferi miktarına %8 hacimsel oran için ulaşmış olup, hacimsel oranının %2' den %8' e artışıyla ortalama Nu sayısında %15.2 artış sağlamıştır. Hadipour vd. [3], sabit ısı akılı iç bükey bir yüzey üzerine gönderilen çarpan dairesel bir jet akışının akış ve ısı transferi karakteristiklerini, farklı jet-plaka oranları için deneysel ve sayısal olarak araştırmışlardır. H/D (kanal yükseklik/jet giriş çapı) oranı 0.1-4, Reynolds sayısı aralığı 10000-35000 ve jet çapları 18-30 mm değerlerini için inceleme yapmışlardır. Aynı Re sayısında jet çapı artışının, ısı transferini arttırdığını saptamışlardır. Küçük H/D oranlarında daha iyi bir soğutma etkisi elde etmişlerdir. Re sayısının 10000 ve H/D oranının 0.1 olduğu durumda, sırasıyla H/D oranı 0.4, 1 ve 4 olduğu durumla kıyaslandığında ortalama Nu sayısında %44.5, %55.3 ve %92.2 lik artışlar elde etmişlerdir. Baydar [4], alt yüzeye konumlandırılmış tek ve çift çarpan jetlerin, üst yüzeye doğru dik bir şekilde püskürtülmesiyle meydana gelen akış alanının deneysel araştırmasını gerçekleştirmişlerdir. Re sayısı 500-10000 ve H/D 0.5-4 oranı için değerlendirmeler yapmışlardır. $Re > 2700$ ve $H/D < 2$ için tek ve çift jet uygulamalarıyla çarpma yüzeyinde atmosfer basıncından düşük bölgelerin meydana geldiğini saptamışlardır. Köseoğlu [5], jet ve çarpma yüzeyi arasındaki sıcaklık farkının ısı transferine olan etkisini deneysel ve sayısal olarak araştırmışlardır. Re sayısı aralığı 250-10000, H/D aralığı 2-12 ve 10-3000 ısı akısı değerlerinde çalışmışlardır. Düşük Reynolds sayılı jet akışlarda ısı transferinde %35 civarında artış saptamışlardır. Jet kesit alanının artışıyla ısı transferinde kayda

değer değişiklik gözlemlemişlerdir. Choo vd. [6] deneysel olarak eğimli bir çarpan jetin, küçük jet-plaka mesafelerinde ısı transferine olan etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla, $0^\circ \leq \theta \leq 40^\circ$ eğim açısı, $H/D \leq 1$ jet plaka mesafesi ve 5000-15000 Re sayısında çalışmışlardır. Bölek [7], sayısal olarak çarpan jetlerin farklı düzlemlere çarpıtılmasıyla oluşan akış ve ısı transferini farklı Re sayılarında ve H/D oranlarında etkisini araştırmıştır. En yüksek ısı transferi miktarını Re sayısı 20000 Re sayısı değerinde ve 6 H/D mesafesi için elde etmiştir.

Larraona vd. [8], sayısal olarak sabit ısı akılı elektronik bir devre elemanının çarpan jet ve çapraz akış ile soğutulmasını araştırmışlardır. Ortalama Nu sayısının elektronik elemanın yüksekliği ile ters, kanal Re sayısı ve hız oranlarıyla doğru orantılı olarak arttığını belirlemişlerdir. Jet çapı artışıyla ortalama Nu sayısında küçük bir artış sağladığını gözlemlemişlerdir. Çarpan jet-çapraz akışın, yalnızca kanal akışı kullanılmasına göre daha yüksek soğutma verimliliği sağladığını saptamışlardır. Demircan [9], sayısal olarak bir elektronik devre elemanının, çapraz akış ve çarpan jet uygulamasıyla soğutulmasını araştırmıştır. Re sayısı aralığı 30000–90000, jet ve kanal hız oranının farklı değerleri için incelemeler gerçekleştirmiştir. Re sayısının ve hız oranlarının artışıyla ısı transferinin önemli oranda arttığını belirlemiştir. Mergen [10], sayısal olarak sabit ısı akılı (3500 W/m^2) bir elektronik elemanın çarpan jet ve çapraz akışla soğutulmasını araştırmıştır. Çalışmasının sonucunda jet Re sayısının kanal Re sayısına oranı azaldıkça ısı transferinin azaldığını belirlemiştir. Maghrabie vd. [11], sayısal olarak bir kanal boyunca sıralanmış yedi adet elektronik elemandan oluşan bir sistemin çarpan jet-çapraz akış ile soğutulmasını araştırmışlardır. Jet konumu değişikliğinin ısı transferini etkilediğini saptamışlardır.

Bu çalışmada, kanalda bulunan sabit ısı akısına sahip bakır plakalı oyuk desenli yüzeylerden olan ısı transferi çarpan jet-çapraz akış kullanılarak sayısal olarak araştırılmıştır. Sayısal araştırma, sürekli ve üç boyutlu olarak enerji ve Navier-Stokes denklemlerinin k-ε türbülans modeli ile Ansys-Fluent bilgisayar programından faydalanarak gerçekleştirilmiştir. Kanaldaki akışı ısınmış desenli yüzeylere yönlendirebilmek amacıyla 45° , 60° ve 90° açılı ve D jet giriş çapı uzunluğunda kanatçık, çarpan jet yüzeyiyle yatay olarak kanala yerleştirilmiştir. Kanalda kullanılan akışkan su olup, kanalın alt ve üst yüzeyleri ve kanatçık adyabatiktir. Oyuk desenli yüzeyler, sabit 1000 W/m^2 ısı akısına sahiptir. Jet-plaka arası uzaklık 60 mm olup, jet Reynolds sayısı aralığı 7000-11000' dir. Kanalda referans çalışmalar dikkate alınarak üç adet oyuk desenli yüzey kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçları, literatürdeki çalışmanın deneysel sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve birbirleriyle tutarlı oldukları belirlenmiştir. Sonuçlar, her bir oyuk desenli yüzey için ortalama Nu sayısı ve yüzey sıcaklık değişimleri olarak sunulmuştur. $Re = 9000$ ' de 45° , 60° ve 90° kanatçık açılı ve kanatçıksız kanallar boyunca çarpan jet-çapraz akışın hız ve sıcaklık konturu dağılımları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

2. SAYISAL İNCELEME

Çalışmada, üç boyutlu ve sürekli olarak oyuk şeklindeki desenli yüzeyler üzerindeki çarpan jet-çapraz akışın zorlanmış taşınım ile ısı transferinin sayısal hesaplamalı çözümünde Ansys-Fluent programından yararlanılmıştır.

Çalışmada, jet akışı uygulanması sonucu kanal içerisinde düzensiz akış dalgalanmaları oluşacağından çalışma türbülanslı olarak modellenmiştir. Bu nedenle, çalışmada türbülans modeli olarak k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Konu ile ilgili literatürde incelenen çalışmalarda Re sayısının 3500-10000 aralığında olduğu görülmektedir. Bu çalışmada da literature benzer şekilde tam gelişmiş bir türbülanslı akışta çalışabilmek için Re sayısının 7000-11000 aralığında olduğu değerlerde çalışılmıştır. Kanaldaki akış ve ısı transferinin çözümü aşağıda gibi gövde kuvvetinin bulunmadığı kararlı durumdaki türbülanslı akış için zaman ortalamalı kütle, momentum ve enerjinin korunumu denklemlerinden türetilen kısmi türevli diferansiyel denklemlerin çözümüyle gerçekleştirilmiştir [12].

Süreklilik ve momentum denklemleri için yakınsama ölçeği 10^{-6} olup, enerji denklemi için bu değer 10^{-7} 'dir. Simülasyonlarda kullanılan ağ yapısı şekli dörtyüzlüdür (tetrahedral).

Süreklilik denklemi

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

Momentum denklemi

$$\rho \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{u}_i \bar{u}_j) = \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u'_i u'_j} \right] \quad (2)$$

Enerji denklemi

$$\rho c_p \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{u}_i \bar{T}) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[k \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i} - \rho c_p \overline{T' u'_i} \right] \quad (3)$$

Türbülans kinetik enerji denklemi

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon \quad (4)$$

Türbülans kinetik enerji yutulma terimi

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \varepsilon u_i) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (5)$$

Bu denklemlerde ρ akışkanın yoğunluğunu, k türbülanslı akışın kinetik enerjisini, u_i , x, y ve z eksenleri doğrultusundaki hız bileşenlerini, μ akışkanın viskozitesini, σ_k türbülanslı kinetik enerji Prandtl sayısını ($\sigma_k = 1$) göstermektedir. Türbülanslı kinetik enerji üretimi (G_k) ve türbülanslı akışın viskozitesini (μ_t) veren eşitlikler aşağıda verilmiştir [12]

$$G_k = -\rho \overline{u'_i u'_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (6)$$

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (7)$$

$C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$ ve C_μ katsayıları, σ_ε ise türbülans yutulma Prandtl sayısını temsil etmektedir ve sırasıyla $C_{1\varepsilon} = 1.44$, $C_{2\varepsilon} = 1.92$, $C_\mu = 0.09$ ve $\sigma_\varepsilon = 1.3$ olarak alınmıştır [13].

Elektronik elemanların yüzeylerindeki ortalama taşınım ısı transferi katsayısı Eş. 8, Nusselt sayısı (Nu) ise Eş. 9 vasıtasıyla hesaplanmaktadır [14].

$$h = \frac{q''}{T_y - T_a} \quad (8)$$

Nu sayısı, taşınım ile ısı transferinin iletimle ısı transferine oranıdır.

$$-k_a \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_y = h(T_a - T_y) \quad \text{ve} \quad Nu = \frac{h(3.m)}{k_a} \quad (9)$$

Burada, T_a ve T_y sırasıyla su akışkanının ve elektronik elemanın ortalama yüzey sıcaklıkları (K), k_a akışkanın ısı iletim katsayısı (W/m.K), 3.m elektronik elemanın akışkanla temasta olan toplam yüzey uzunluğu (m), h ve h_m sırasıyla yüzey üzerindeki yerel ve ortalama ısı taşınım katsayısı (W/m².K), n yüzeye dik yön olup ortalama Nu sayısı (Nu_m) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

Ortalama ısı taşınım katsayısı

$$h_m = \frac{1}{3.m} \int_0^{3.m} h dx \quad (10)$$

Ortalama Nu sayısı

$$Nu_m = \frac{h_m(3.m)}{k_a} \quad (11)$$

Kanal hidrolik çapı

$$D_{kh} = \frac{4A_k}{P_k} = \frac{4(H.W)}{2(H+W)} \quad (12)$$

Bu denklemde A_k kanalın kesit alanı, P_k kanalın ıslak çevresi, H ve W ise sırasıyla kanalın yükseklik ve genişliğidir. Jetin hidrolik çapı ise jet girişi daire olduğundan D jet girişinin çapına eşittir ($D_{hjet} = D$).

Kanal ve Jet Reynolds sayıları ise sırasıyla Eş. (13) ve Eş. (14) yardımıyla belirlenmektedir.

$$Re_k = \frac{\rho_a V_k D_{hk}}{\mu_a} \quad (13)$$

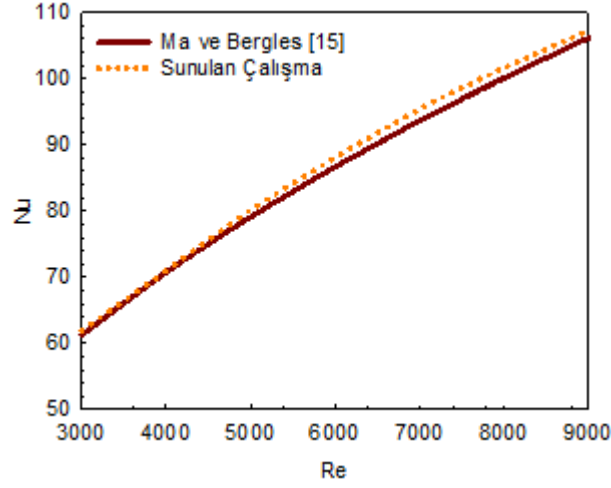
$$Re_j = \frac{\rho_a V_j D}{\mu_a} \quad (14)$$

Bu eşitliklerde, ρ_a ve μ_a sırasıyla suyun yoğunluğu (kg/m³) ve viskozitesi (kg/s.m), V_k ve V_j ise sırasıyla suyun kanal ve jet akış hızlarıdır (m/s).

3. GEOMETRİK MODEL TASARIMI

Çalışmada kullanılan çarpan jet-çapraz akış tasarımlı kanal ve kanaldaki oyuk desenli elektronik elemanlara ait ölçü ifadeleri ve sınır şartları Şekil 1' de gösterilirken, modelin geometrik boyutlandırılmasına ait ölçüler ise Tablo 1' de belirtilmiştir. Bu çalışmada yapılan kabuller şunlardır:

- Akış hacmi üç boyutlu, sürekli ve türbülanslıdır.
- Hem jet akışkanı hem de kanal girişindeki çapraz akış için kullanılan akışkan sıkıştırılmaz sudur.
- Oyuk desenli elektronik eleman yüzeylerine sabit ısı akısı uygulanmıştır.

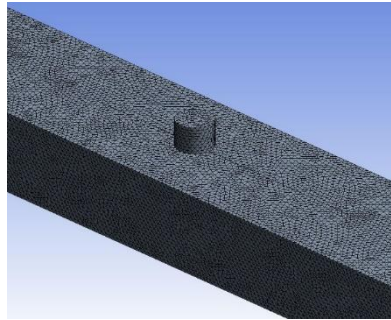


Şekil 2. Sunulan çalışma ve Ma ve Bergles [15]' in deneysel sonucunun karşılaştırılması

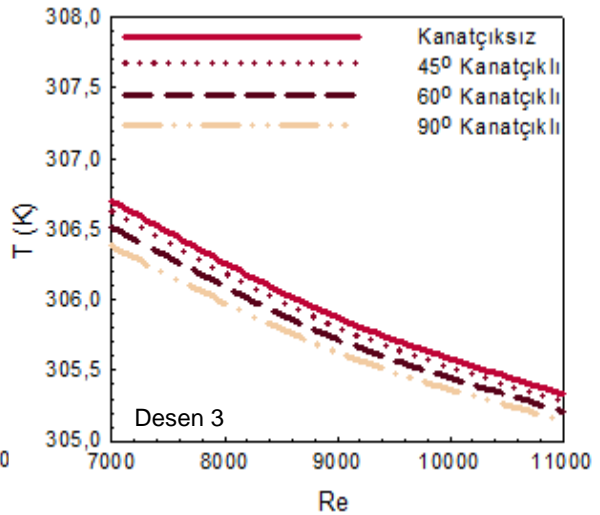
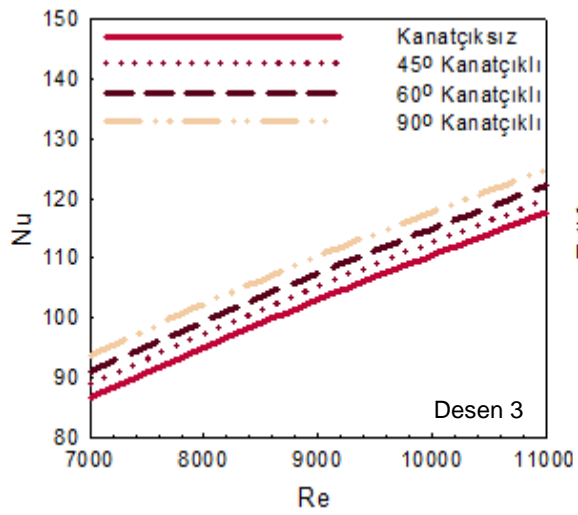
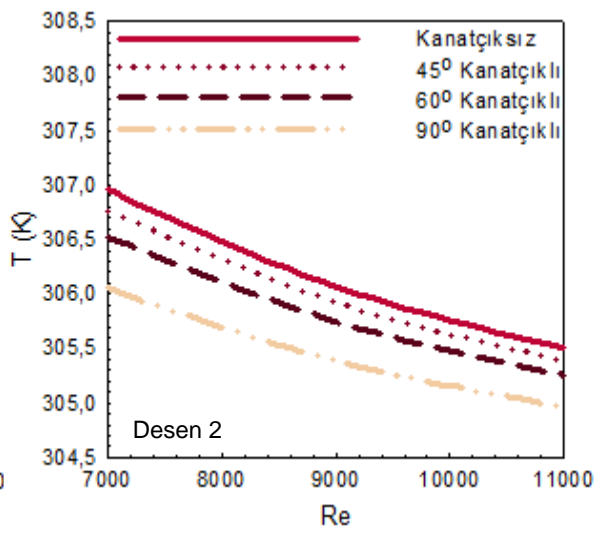
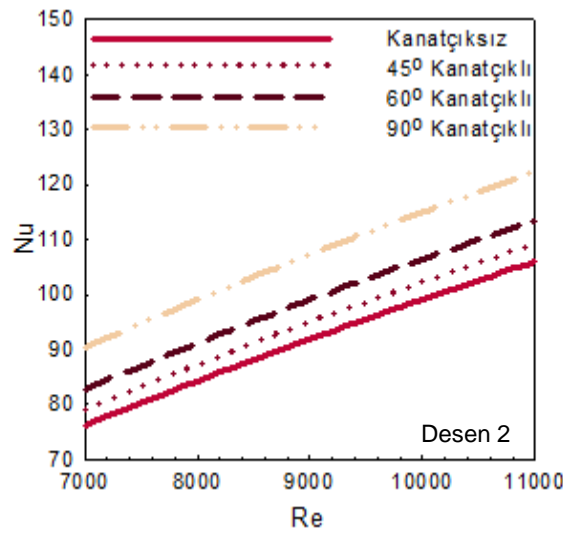
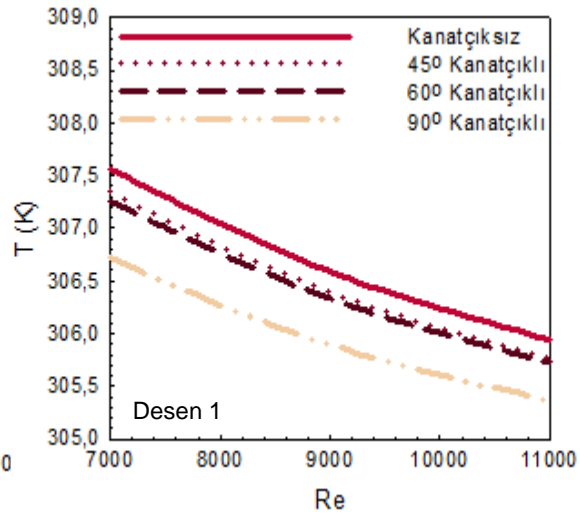
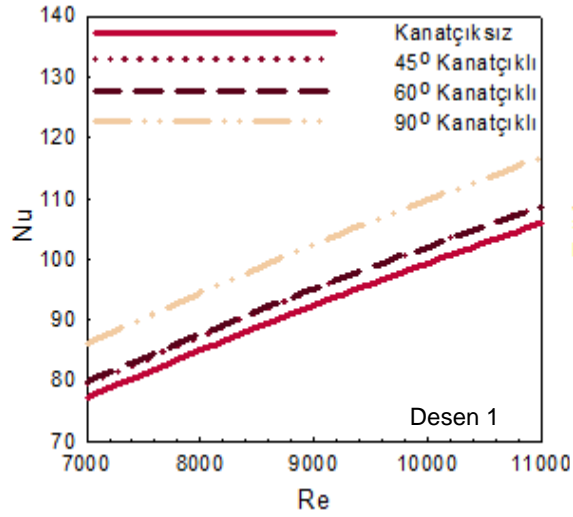
Tablo 2' de ağ sayısının Nu sayısı üzerindeki etkisini belirleyerek kanal için en uygun sayıda ağ elemanı kullanabilmek amacıyla kanatçıksız çarpan jet-çapraz akışlı kanalda ağ sayısının ortalama Nu sayısı üzerindeki etkisi farklı Re sayılarında verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kanatçıksız kanalda 2022840 sayıda ağ elemanının güvenilir sonucu vereceği belirlenmiştir. Bununla birlikte, simülasyonlarda kullanılan ağ yapısı şekli dörtyüzlü (tetrahedral) olup Şekil 3' de daha iyi görselleştirilebilmesi amacıyla yakınlştırılarak gösterilmiştir.

Tablo 2. Ağ elemanı sayısına göre Nu_m sayısının Re sayısı ile değişimi

Ağ elemanı sayısı	Re=5000-Nu	Re=7000-Nu	Re=9000-Nu
1758412	86.48	108.84	127.40
2022840	86.52	108.88	127.43
2245786	86.52	108.87	127.42



Şekil 3. Hesaplama kullanılan desenli yüzeylere ait ağ yapısı



Şekil 4. Oyuk desenli yüzeyler için farklı kanatçık açılarında ortalama Nu sayısının Re ile değişimi

Şekil 5. Oyuk desenli yüzeyler için farklı kanatçık açılarında ortalama yüzey sıcaklığının Re ile değişimi

Şekil 4' de 60 mm jet-plaka arası mesafede (H) kanatçiksız ve farklı kanatçık açılarında sahip (45°, 60° ve 90°) çarpan jet-çapraz akışlı kanalda oyuk desenli yüzeylere ait ortalama Nu sayısının Re sayısı ile değişimleri kanal girişinden başlamak üzere sırasıyla Desen 1, Desen 2 ve Desen 3 için gösterilmektedir. Tüm desen sıraları için Re sayısının artışıyla desenli yüzeylerden olan ısı transferi arttığından ortalama Nu sayısı değerleri artmaktadır. Bununla birlikte, kanallara kanatçıkların eklenmesi jet akışı ve kanaldan gelen çapraz akışı desenli yüzeyler üzerine daha iyi yönlendirebilmesi nedeniyle Nu sayısında kanatçiksız duruma göre daha fazla artışlar elde edilmesini sağlamaktadır. Desen 1, 45° ve 60° lik kanatçık açılarında daha çok çapraz akışın etkisinde olduğundan dolayı Nu sayısı değerleri birbirine oldukça yakındır. Bununla birlikte, kanatçık açısının 90° ye getirilmesiyle akış desen üzerine daha iyi yönlendirilebilmekle birlikte Desen 1' in sağ tarafındaki Desen 2 ile olan arasındaki oyuktaki akış daha iyi hareketlendirilebildiğinden Nu sayısı değeri artmaktadır. Ayrıca, desenli yüzeylerin üzerindeki oyukta akışın desen ile temasında artış sağlamaktadır. Desen 1 için $Re = 7000$ ' de 90° kanatçık açılı durumda 60° açılı duruma göre %7.77 artış sağlanırken, aynı şartlarda kanatçiksız duruma göre bu artış miktarı %11.51 olmaktadır. Desen 2 için özellikle kanatçiksız ve 45° açılı kanatçıklı çarpan jet-çapraz akışlı kanallarda Desen 1'e çok yakın değerler elde edilirken, kanatçık açısının artışıyla (60° ve 90°) çarpan jet etkisine ilaveten, çapraz akış desen üzerine daha iyi yönlendirilerek jet akış etkisi oluşturulabildiğinden Nu sayısında hem Desen 1' e hem de kanatçiksız ve 45° kanatçık açılı durumlara göre daha yüksek Nu sayısı değerlerine ulaşılmaktadır. Desen 2' de $Re = 9000$ ve 90° kanatçık açısı için Desen 1' e göre %4.76' lık artış sağlanırken, bu artış miktarı kanatçiksız duruma göre %16.83 olmaktadır. Desen 3 analiz edildiğinde ise çarpan jet akış etkisi özellikle bu desen için çalışılan kanal yüksekliğinde (H = 60 mm) diğer desen sıralarına göre daha fazladır. Bunun yanı sıra, kanala eklenen kanatçıklarla çapraz akışın kanal sonundaki bu desen üzerinde jet akış etkisi göstermesiyle Nu sayısı kanatçiksız ve kanatçıklı kanallarda Desen 3 için diğer desen sıralarına göre daha fazla olmaktadır. Desen 3 için $Re = 11000$ değerinde 60° açılı kanatçık kullanıldığında sırasıyla Desen 1 ve Desen 2' ye göre sırasıyla Nu sayısında %12.36 ve %7.65' lik artışlar sağlanmıştır. Aynı şartlarda, Desen 3 için kanatçiksız duruma göre ise %3.82' lik artış elde edilmiştir. Desen 3' ün kanatçiksız durumunda, 60° kanat açılı duruma göre artış değerindeki bu görece düşük değer diğer desen sıralarına göre kanatçiksız durumda dahi artan Nu sayısı değeri nedeniyleledir.

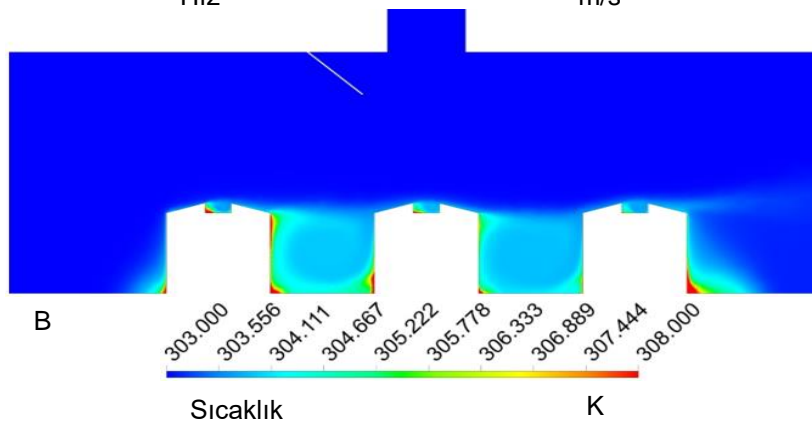
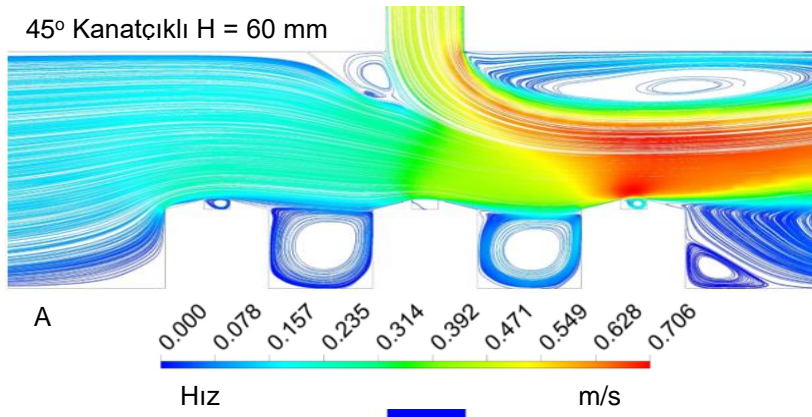
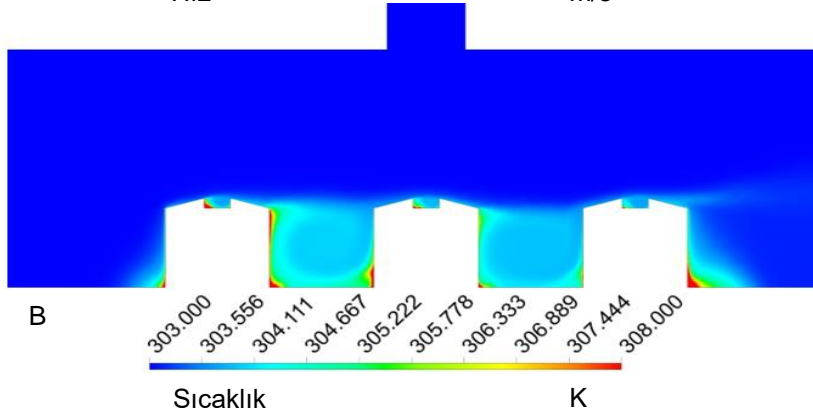
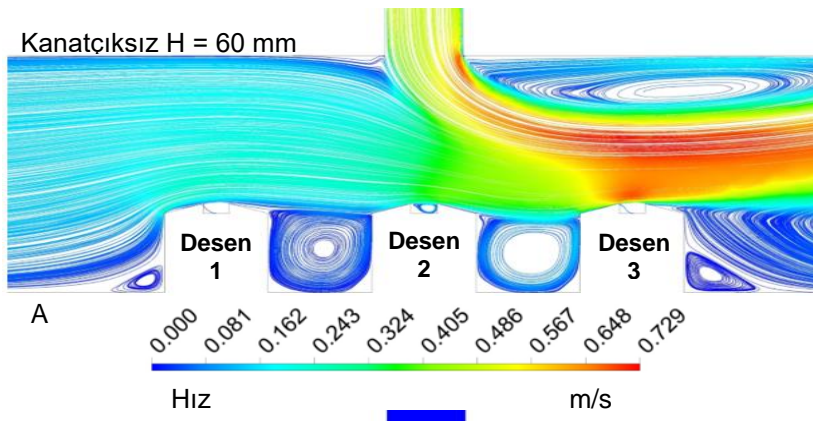
Çarpan jet-çapraz akışlı bir kanalda oyuk desenli yüzeyler için (Desen 1, Desen 2 ve Desen 3) ortalama yüzey sıcaklığının Re sayısı ($Re = 7000, 9000$ ve 11000) ile değişimi Şekil 5' de verilmektedir. Re sayısının artışıyla artan ısı transferine bağlı olarak desenli yüzeylerin sıcaklıkları azalmaktadır. En yüksek ortalama yüzey sıcaklığı tüm desen sıraları için kanatçiksız durumda elde edilmektedir. Bununla birlikte, kanatçık açısı 90° olduğunda yüzeyler üzerindeki çapraz akış-çarpan jet etkisi en yüksek seviyesine ulaştığı için en düşük yüzey sıcaklığı bu açıda görülmektedir. Genel itibarıyla, açının artışıyla desenli yüzeylerin sıcaklık değerleri düşmektedir. Ancak, özellikle Desen 1 ve Desen 3 için çarpan jet-çapraz akışın desen yüzeyleri ve desen aralarındaki oyuk kısımlarındaki hareketlerine bağlı olarak kanatçık açılarında göre yüzey sıcaklık değerleri birbirine yakın olabilmektedir. En düşük yüzey sıcaklık değerlerine Desen 3' de ulaşılmaktadır.

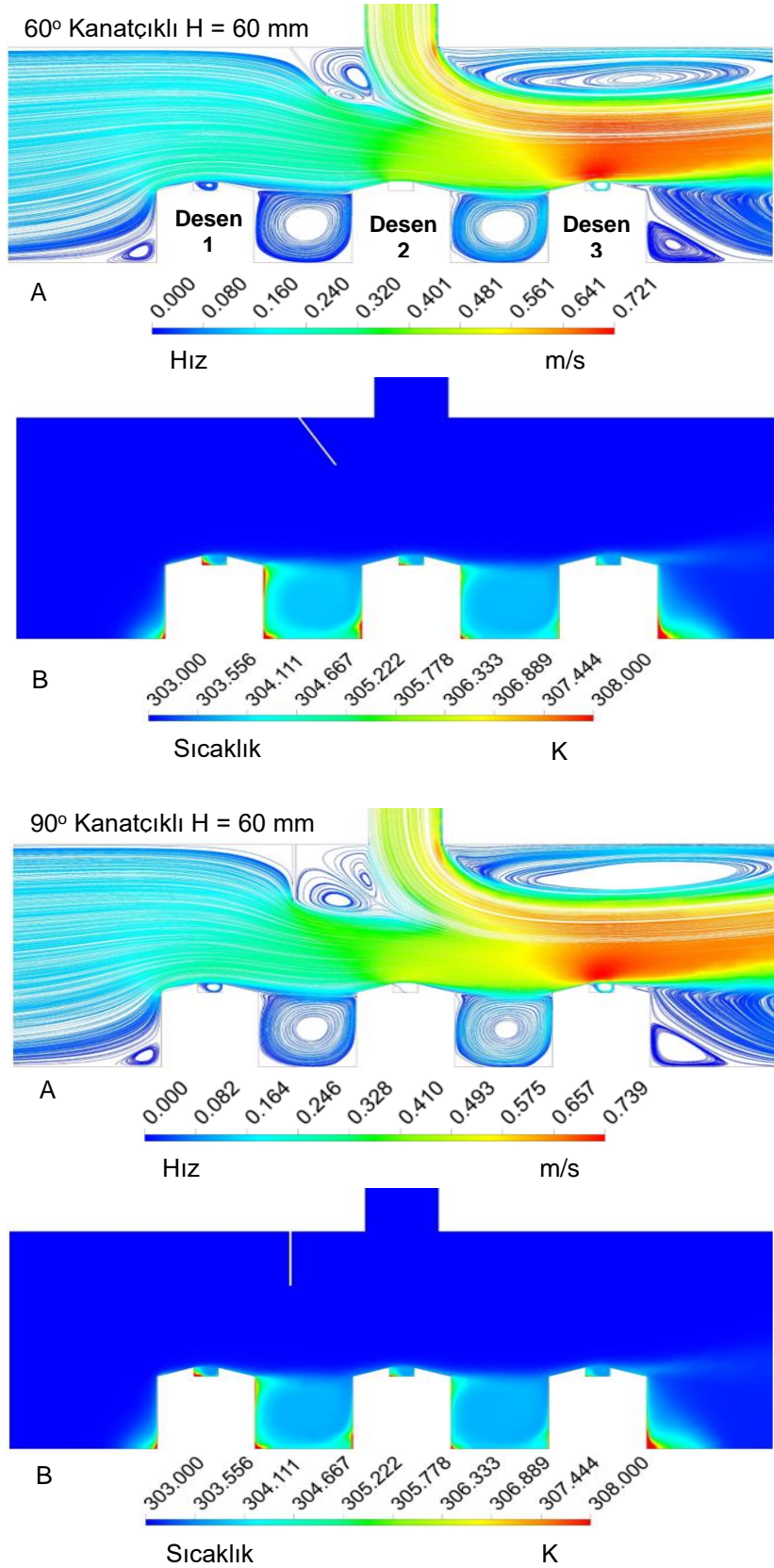
Tablo 3' de her üç oyuk desenli yüzey için farklı Re sayılarında kanatçiksız ve 45°, 60° ve 90° açılı kanatçıklara sahip çarpan jet-çapraz akışlı kanalda ortalama Nu sayısı (Nu_m) ve yüzey sıcaklığının (T_m) değişimi gösterilmektedir. Tablo 3' den de görüldüğü gibi en düşük ortalama Nu sayısına ve buna bağlı olarak da en yüksek ortalama yüzey sıcaklığına kanatçiksız durumdaki çarpan jet-çapraz akışlı kanalda ulaşılmaktadır. Bununla birlikte, eklenen kanatçıklarla Re sayısına bağlı olarak Nu sayısı da artış sergilemektedir. $Re = 11000$ ' de kanatçiksız çarpan jet-çapraz akışlı kanalla kıyaslandığında 90° kanatçık açısına sahip kanalda oyuk desenli yüzeyler için ortalama Nu sayısında %10.42 artış elde edilmiştir. Bunun yanı sıra, kanatçiksız duruma göre kanatçıkların eklenmesi desenli yüzeyler üzerinde akışkanın temasını artırarak yüzey sıcaklığının azalmasını sağlamaktadır.

Tablo 3. Oyuk desenli yüzeylerin tümü için farklı kanatçık açılarında ortalama Nu sayısı (Nu_m) ve yüzey sıcaklık (T_m) değişimleri ($H = 60$ mm)

	Re 7000	Re 9000	Re 11000
Kanatçiksız – Nu_m	80.06	95.82	109.91
45° Kanatçıklı – Nu_m	82.49	98.48	112.66
60° Kanatçıklı – Nu_m	84.57	100.64	114.80
90° Kanatçıklı – Nu_m	90.11	106.77	121.37
Kanatçiksız – T_m (K)	307.07	306.17	305.59
45° Kanatçıklı – T_m (K)	306.91	306.04	305.47
60° Kanatçıklı – T_m (K)	306.76	305.93	305.39
90° Kanatçıklı – T_m (K)	306.38	305.63	305.15

Şekil 6' da $H = 60$ mm kanal yüksekliğinde kanatçiksız ve farklı kanatçık açılı çarpan jet-çapraz akışlı kanallar için A-Hız-akım çizgisi ve B-Sıcaklık konturu dağılımları $Re = 9000$ için sunulmaktadır. Kanatçiksız kanal incelendiğinde kanal girişindeki birinci desen çapraz akış etkisi altındadır. İkinci desene doğru ilerledikçe desen, çarpan jetin de etkisi altına girmektedir. Bu nedenle hızda artış görülmektedir. Kanal sonundaki üçüncü desen ise desen üzerinde oluşan yeniden dolaşım bölgesinin akışkanı üçüncü desenin üzerine baskılamasıyla birlikte hem çarpan jetin hem de çapraz akışın etkisiyle oluşan jet akış ile akışkan temasının en fazla olduğu desen konumundadır. Bu nedenle, sıcaklık konturu dağılımında da görülebildiği gibi desen üzerindeki oyuk kısmı için de sıcaklığın diğer desen sıralarına göre en fazla azaldığı desen özelliğindedir. Ayrıca desen aralarında oluşan oyuklu kanal bölgelerinde akışkan kendi içinde dolaşım halinde olduğundan özellikle kenar bölgelerinde sıcaklıkta artışlar görülmektedir. Ancak üçüncü desen ile ikinci desen arasında çarpan jet-çapraz akışın etkisiyle artan akışkan hareketliliği sıcaklığın azalmasını sağlamıştır. Kanatçık açısının artışıyla birlikte (45°) çapraz akışın desenler üzerine yönlendirilebilmesinin yanında çarpan jetin de yüzeyler üzerindeki etkisinin arttığı hız-akım çizgisi konturu üzerinde görülebilmektedir. Bu duruma paralel olarak yüzey sıcaklık değerleri düşmekte, desenler arasındaki sıcak bölgeler azalmaktadır. Kanatçık açısını daha da artırdığımızda ise (60° ve 90°) kanal girişinden itibaren oyuklu desenler üzerinde jet akışı etkisi daha da artarak desenli yüzeylerden olan ısı transferi artmaktadır. Bu da yüzeyler üzerindeki soğutma etkisini artırıcı etki oluşturarak desenli yüzeylerin sıcaklıklarının güvenli sınırlar içinde kalmasını sağlamaktadır.





Şekil 6. Oyuk desenli yüzeyler için $Re = 9000$ ' de kanatçıksız ve kanatçıklı çarpan jet-çapraz akışlı kanallarda A- Hız konturu B- Sıcaklık konturu dağılımları

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, kanalda bulunan sabit 1000 W/m^2 lik ısı akısına sahip bakır plakalı oyuk desenli yüzeylerden olan ısı transferi çarpan jet-çapraz akış kullanılarak sayısal olarak araştırılmıştır. Sayısal inceleme, sürekli ve üç boyutlu olarak enerji ve Navier-Stokes denklemlerinin k- ϵ türbülans modeli Ansys-Fluent bilgisayar programının kullanılarak çözülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Kanaldaki akışı ısınmış desenli yüzeylere yönlendirebilmek amacıyla 45° , 60° ve 90° açılı ve D jet giriş çapı uzunluğunda kanatçık, çarpan jet yüzeyiyle yatay olarak kanala yerleştirilmiştir. Kanalda kullanılan akışkan su olup, kanalın alt ve üst yüzeyleri ve kanatçık adyabatiktir. Jet-plaka arası uzaklık 60 mm olup, jet Reynolds sayısı aralığı 7000-11000' dir. Çalışmanın sonuçları, literatürdeki çalışmanın deneysel sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve birbirleriyle tutarlı oldukları belirlenmiştir. Sonuçlar, her bir oyuk desenli yüzey için ortalama Nu sayısı ve yüzey sıcaklık değişimleri olarak sunulmuştur. $Re = 9000$ ' de 45° , 60° ve 90° kanatçık açılı ve kanatçıksız kanallar boyunca çarpan jet-çapraz akışın hız ve sıcaklık konturu dağılımları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Desen 1 için $Re = 7000$ ' de 90° kanatçık açılı durumda 60° açılı duruma göre %7.77 artış sağlanırken, aynı şartlarda kanatçıksız duruma göre bu artış miktarı %11.51 olmaktadır.
- Desen 2' de $Re = 9000$ ve 90° kanatçık açısı için Desen 1' e göre %4.76' lık artış sağlanırken, bu artış miktarı kanatçıksız duruma göre %16.83 olmaktadır.
- Desen 3 için $Re = 11000$ değerinde 60° açılı kanatçık kullanıldığında sırasıyla Desen 1 ve Desen 2' ye göre sırasıyla Nu sayısında %12.36 ve %7.65' lik artışlar sağlanmıştır. Aynı şartlarda, Desen 3 için kanatçıksız duruma göre ise %3.82' lik artış elde edilmiştir.
- Sıcaklık değişimleri incelendiğinde; genel itibariyle, açının artışıyla desenli yüzeylerin sıcaklık değerleri düşmektedir. Ancak, özellikle Desen 1 ve Desen 3 için çarpan jet-çapraz akışın desen yüzeyleri ve desen aralarındaki oyuk kısımlarındaki hareketlerine bağlı olarak kanatçık açılına göre yüzey sıcaklık değerleri birbirine yakın olabilmektedir.
- En düşük yüzey sıcaklık değerlerine Desen 3' de ulaşılmaktadır.
- Her üç oyuk desenli yüzey için ortalama Nu sayısı değeri analiz edildiğinde ise $Re = 11000$ ' de kanatçıksız çarpan jet-çapraz akışlı kanalla kıyaslandığında 90° kanatçık açısına sahip kanalda oyuk desenli yüzeyler için ortalama Nu sayısında %10.42 artış elde edilmiştir.
- Sonuç itibariyle, çarpan jet-çapraz akışlı bir kanala kanatçıkların eklenmesi kanaldan gelen çapraz akışı ısınmış desenli yüzeyler üzerine daha fazla yönlendirerek yüzeyler üzerinden olan ısı transferini ve dolayısıyla soğutma miktarını artırmaktadır. Bununla birlikte, kanatçık açısının artışı hem çarpan jetin hem de çapraz akışın desenli yüzeyler üzerine temasını artırmasının yanı sıra kanal içerisinde çarpan jet akışı etkisini artırarak desen aralarındaki akışkanın da hareketlenmesini iyileştirmektedir. Ayrıca, yüzeylere verilen oyuk desen şekilleri yüzeyler üzerinde akışı engellemeden yüzey üzerinde ek bir akışkan temasına olanak sağlayarak soğutma etkisini artırıcı etki oluşturmaktadır. Bu nedenle, desenli yüzey ve kanal tasarımlarında bu etkinin de düşünülmesi önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) birimi tarafından TEKNO-2021-031 proje numarası ile desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] Kılıç, M. Elektronik Sistemlerin Soğutulmasında Nanoakışkanlar ve Çarpan Jetlerin Müşterek Etkisinin İncelenmesi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33 (3), 121-132, (2018).
- [2] Teamah, M.A., Dawood, M.M., Shehata, A. Numerical and Experimental Investigation of Flow Structure and Behavior of Nanofluids Flow Impingement on Horizontal Flat Plate, Experimental Thermal and Fluid Science, 74, 235-246, (2015).

- [3] Hadipour, A., Zargarabadi, M.R. Heat Transfer and Flow Characteristics of Impinging Jet on a Concave Surface at Small Nozzle to Surface Distances, *Applied Thermal Engineering* 138, 534-541, (2018).
- [4] Baydar, E. Confined Impinging Air Jet at Low Reynolds Numbers, *Experimental Thermal and Fluid Science* 19, 27-33, (1999).
- [5] Köseoğlu, M.F. Çarpan Akışkan Jetleri Kullanılarak Elektronik Elemanların Soğutulmasının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007.
- [6] Choo, K., Kang, T.Y., Kim, S.J. The Effect of Inclination on Impinging Jets at Small Nozzle-to-Plate Spacing, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 55, 3327-3334, (2012).
- [7] Bölek, A. Farklı Düzlemler Üzerine Çarpan Jetlerin Akış ve Isı Transfer Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2007).
- [8] Larraona, G.S., Rivas, A., Antón, R., Ramos, J.C., Pastor, I., Moshfegh, B. Computational Parametric Study of an Impinging Jet in a Cross-Flow Configuration for Electronics Cooling Applications, *Applied Thermal Engineering*, 52, 428-438, (2013).
- [9] Demircan, T. Numerical Analysis of Cooling an Electronic Circuit Component with Cross Flow and Jet Combination, *Journal of Mechanics*, 35 (3), 395-404, (2019).
- [10] Mergen, S. Kanal İçi Akış ve Çarpan Jet İle Birlikte Elektronik Eleman Soğutulmasının Sayısal Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2014).
- [11] Maghrabie, H.M., Attalla, M., Fawaz, H.E., Khalil, M. Numerical Investigation of Heat Transfer and Pressure Drop of In-Line Array of Heated Obstacles Cooled by Jet Impingement in Cross-Flow, *Alexandria Engineering Journal*, 56, 285-296, (2017).
- [12] Wang S.J., Mujumdar A.S. A Comparative Study of Five Low Reynolds Number $k-\epsilon$ Models for Impingement Heat Transfer, *Applied Thermal Engineering*, 25, 31-44, (2005).
- [13] Saleha, N., Fadela, N., Abbas, A. Improving Cooling Effectiveness By Use Chamfers on the Top of Electronic Components, *Microelectronics Reliability* 55, 1067-1076, (2015).
- [14] Incropera, F.P., Dewitt, D.P., Bergman, T.L., Lavine, A.S., *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (Sixth Edition), John Wiley&Sons, Indiana, 447-487, (2007).
- [15] Ma, C.F., Bergles, A.E., Boiling Jet Impingement Cooling of Simulated Microelectronic Chips, *Heat Transfer in Electronic Equipment* HTD 28, 5-12, 1983.



AN AIR LUBRICATION APPLICATION FOR RESISTANCE REDUCTION ON CURVED-SHAPED HULLS

Atilla Uygur SÖNMEZ

Gaziantep University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering, Gaziantep, Turkey.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5816-1689>

Cihad ÇELİK

İstanbul Technical University, Faculty of Naval Architecture and Ocean Engineering, İstanbul, Turkey.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2335-0455>

Fuat YILMAZ

Gaziantep University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering, Gaziantep, Turkey.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8910-7231>

ABSTRACT

Significant attention is devoted to reduce the power need of watercraft, which can be achieved by reducing its resistance. Therefore, there is a lot of research working on different types of resistance reduction techniques. Air lubrication techniques are also promising among them. This research proposed an air lubrication technique targeting the curved wetted surface of the watercraft. An air lubrication test has been performed on the test model at the 160 m long towing tank facility of Istanbul Technical University and the total resistance was measured. The model was mainly tested at speeds of 0.537 to 2.987 m/s corresponding 0.11 to 0.63 Froude number. It has shown that the side of watercraft or curved-shaped hulls can be air lubricated. In total, the resistance reduction was achieved up to 57%.

Keywords: Resistance, air lubrication, towing tank, curved-shaped hulls.

1. INTRODUCTION

Resistance reduction is an important goal for Naval architects and researchers as it is directly related to the vessel's effective power, which is a product of resistance and speed. Lower power requirements mean lower fuel consumption, operational costs, and lower investments. Furthermore, this results in lower carbon emissions as an environmental benefit. That's why researchers continue to discover new ways to reduce resistance. There are two main sources of resistance for watercraft - viscous and wave. At low speeds (on vessels such as LNG tankers or container transportation ships), frictional resistance becomes the primary source of total resistance, while at higher speeds wave resistance dominates. Looking at slow-steaming ships, frictional resistance accounts for 80 to 85% of the ship's resistance and on faster ships, it accounts for about 50% of the total resistance [1]. These numbers highlight the importance of having an optimal air lubrication system. The air lubrication system is used to reduce mainly the frictional resistance that the water exerts on the ship's hull. This is accomplished by creating a layer of air between the water and the ship's surface, sometimes in the form of bubbles, resulting in a lower contact surface between the boat and the water, ultimately reducing frictional resistance and fuel consumption.

Among the many interesting methods proposed in literature, there are just a few that are commercially viable for a variety of reasons. One viable alternative is the air lubrication drag reduction system (ALDRS), which has shown promising results in reducing resistance in the laboratory and on ships. The density and viscosity of water are two of the main factors affecting resistance. Air is roughly 1000 times less dense than water with a dynamic viscosity 60 times less than water. The basic concept of ALDRS is to reduce skin friction by forcing the ship to float on less viscous, less dense injected air. There are five types of ALDRS as shown in Fig. 1: air bubble drag reduction (BDR), air layer drag reduction (ALDR), transitional air layer drag reduction (TALDR), Multi-wave partial cavity drag reduction (MWPCDR), and air partial cavity drag reduction (PCDR). However, each presents some serious weaknesses along with its advantages. For example, all models are not suitable to

be applicable for all types of vessels (ships, yachts, warships) and are ineffective in some weather conditions or inefficient.

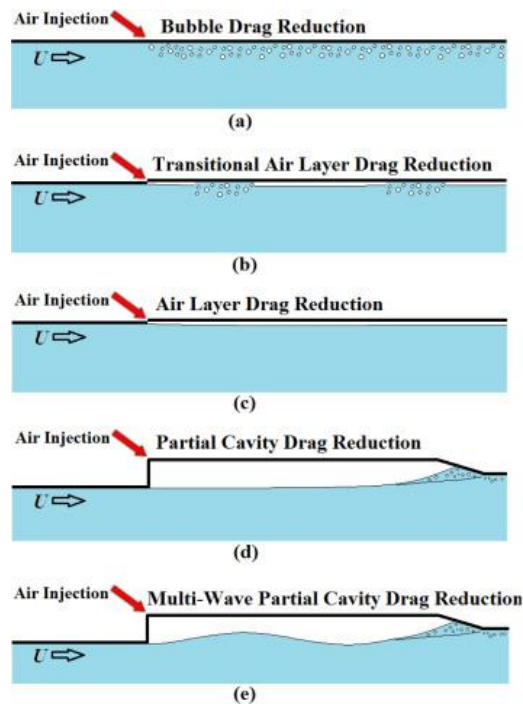


Figure 1. Conceptual sketches illustrating types of air lubrication drag reduction system [2].

McCormick and Bhattacharyya [3] presented a pioneering work for air lubrication and stated that the lubrication technique using electrolysis sourced hydrogen bubble showed great promise for marine vessels and even in freshwater, a weak electrolyte, the viscous resistance was significantly reduced. A mock-up experiment and air blow-off condition experiment on a wharf wall in advance were performed to verify a net energy-saving effect of a maximum of 12% in a sea test using a real carrier [4]. Wu et al. [5] observed that extreme microbubble injection destroyed the formation of the turbulent boundary layer, resulting in a decrease in the drag reduction impact. The findings of Verschoof et al. [6] demonstrated that bubble deformability was crucial in the drag reduction mechanism under turbulent flow. Murai et al. [7] compared the bubble generation performances of symmetric (NACA0012) and asymmetric (NACA4412) hydrofoils and found that the asymmetric hydrofoil produced more bubbles at a higher Froude number. It has also been found that the drag on the asymmetric hydrofoil during bubble formation was smaller at 20° in the angle of attack than the symmetrical one. A flat plate with a high concentration of microbubbles ejected into a turbulent boundary layer was studied by Madavan et al. [8]. The plate tests resulted in a maximum integrated skin friction reduction of more than %80. However, for a floating and moving vessel, the hull shape is a long slender body having extremely three-dimensional curvatures in all directions. Some researchers have presented comparisons of with/without micro-bubbles testing of these types of bodies. In the experimental study of Latorre et al. [9], the self-polishing coating was applied on the surface covered by the micro-bubbles to get the effect on the drag reduction. The results of microbubble injection were measured in the range of 5-8% with no coating and 8-11% with coating. In another study, Yanuar et al. [10] investigated the effects of microbubble injection location and bubble velocity on a navy fast patrol boat type model. It was concluded that the best position to obtain the most effective resistance reduction was behind the mid-ship among the position applied. In this study, the resistance reduction induced by microbubbles was measured in the range of 6-9%.

Considering these studies, although the air lubrication drag resistance reduction effect is found to be quite high on a flat plate, this effect is considerably lower in more complex vessel geometries such as curved surfaces. Two types of vehicle designs are commonly known to be used, one being torpedo-shaped bodies like large fish shapes streamlined for speed and range and the other being box-shaped bodies designed for maneuvering and station keeping [11]. In this study, resistance reduction caused by air lubrication on a curved geometry was

investigated. An application was made to increase drag reduction on a curved-shaped hull by creating dense injection points. The applied geometry is a common geometry used in marines such as torpedoes, submarines, and specified types of underwater unmanned vehicles [11], diver propulsion vehicles or scooters [12], and autonomous underwater vehicles [13]. For this reason, finding the effect of dense injection air lubrication on curved surfaces will be beneficial for many marine vehicles.

2. MODEL AND EXPERIMENTAL SETUP

In the presented study, a curved-shaped model widely used in marine was constructed to examine the air lubrication effect as shown in Fig. 2. The curved-shape diameter and fully assembled length along the main flow direction are 160 mm and 2292 mm, respectively. The length of the two PVC pipes is 900 cm each. The lengths of the two PVC pipes in the assembly are equal and 900 mm. A three-dimensional detailed view of the used model is shown in Fig. 3. It is possible to use pipes with different-sized holes and different patterns during assembly, and it is designed for this purpose. While the steel frame provides the rigidity of the model in water, PVC pipes are used because they can be easily pierced. To create a better air layer distribution, the holes for the bottom half-drilled model are densely applied as shown in Fig. 4. Since all air bubbles will be released from the edges of the half-drilled model surface, this will better demonstrate whether the application of air lubrication works on the curved surface. The pattern of the holes is very important to create a stable layer of air. Each hole pattern was drilled at a fixed distance of 5 mm along the circumference and intervals of 5 mm longitudinally. The offset between the centers of the two longitudinal holes is 2.5 mm to reduce the influence of the holes on each other. The distance between patterns is 15 mm longitudinally. The purpose of the applied dense pattern was to break the boundary layer as much as possible. The case has an injection hole density of 20,000 holes/m² on the patterned PVC part of the model. The two pipes in the front and back of the model's assembly have an air lubrication surface of 0.45 m², so the model has a total of 9000 holes. Hole diameters are 0.7 mm. Thus, the total injection area for 9000 holes is 34.636 cm².



Figure 2. View of the model at the workshop in Gaziantep University.

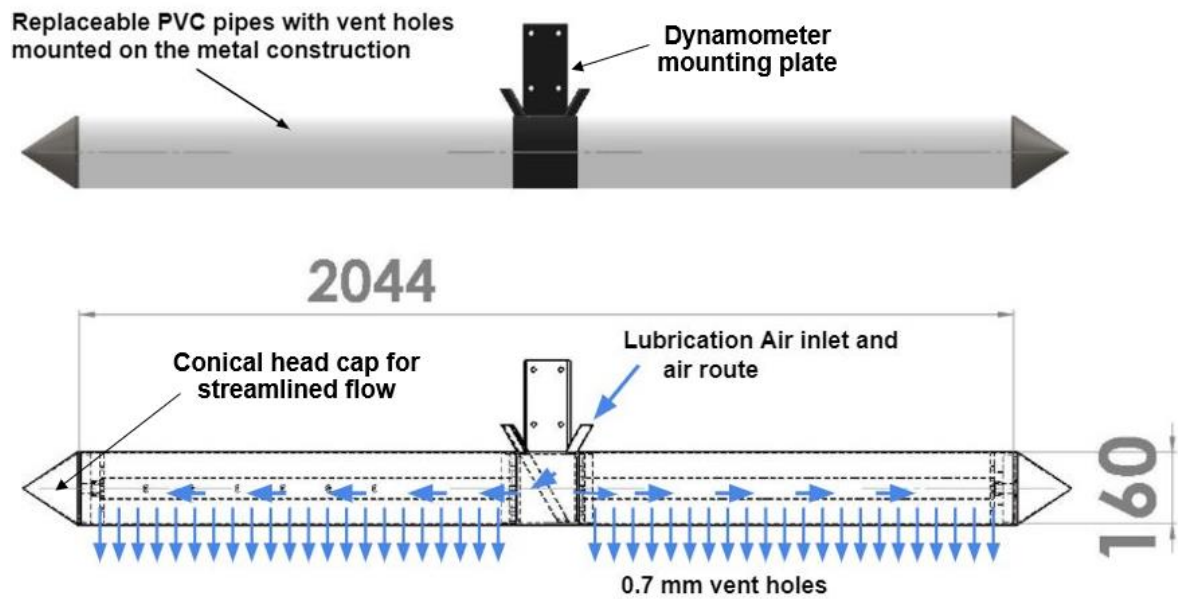


Figure 3. A real view showing the replaceable parts at the top and a schematic view at the bottom showing the detailed information and the airflow injection route.

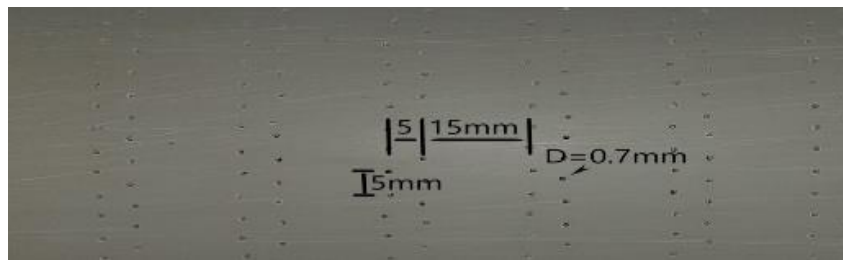


Figure 4. Pattern appearance and detailed information of injection holes.

Experimental measurements have been performed in the towing tank of Ata Nutku Ship Model Testing Laboratory at İstanbul Technical University. Its main dimensions are 160 m long, 6 m wide, and 4 m deep. Towing tank and the model's dimensions are indicative of the absence of significant wall effects on the model. A sectional view of the towing tank is shown in Fig. 5. The carriage speed of the towing tank is up to 5 m/s and up to 5 m models can be tested in the towing tank. The presented model length is 2.29 meters and the maximum test speed is around 3 m/s.

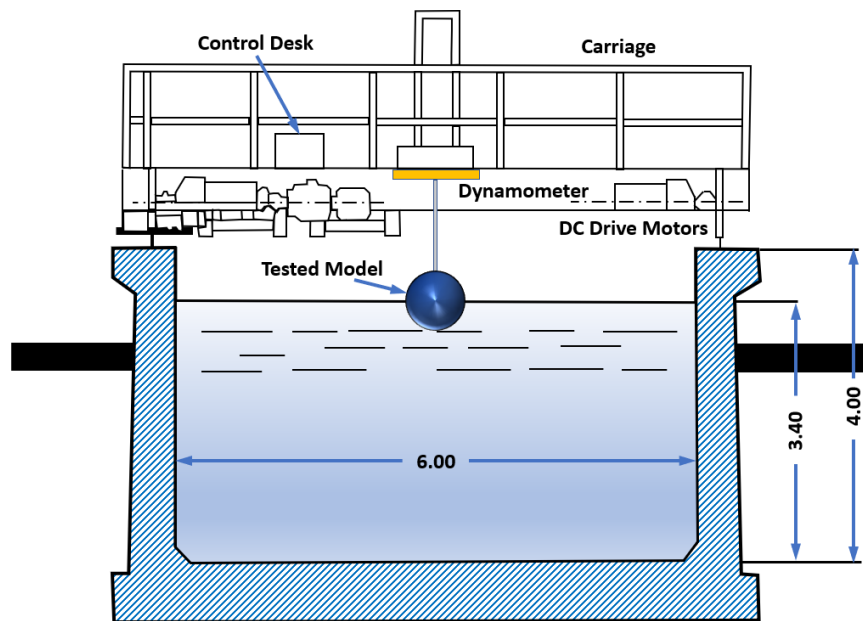


Figure 5. A schematic sectional view of Ata-Nutku laboratory towing tank.

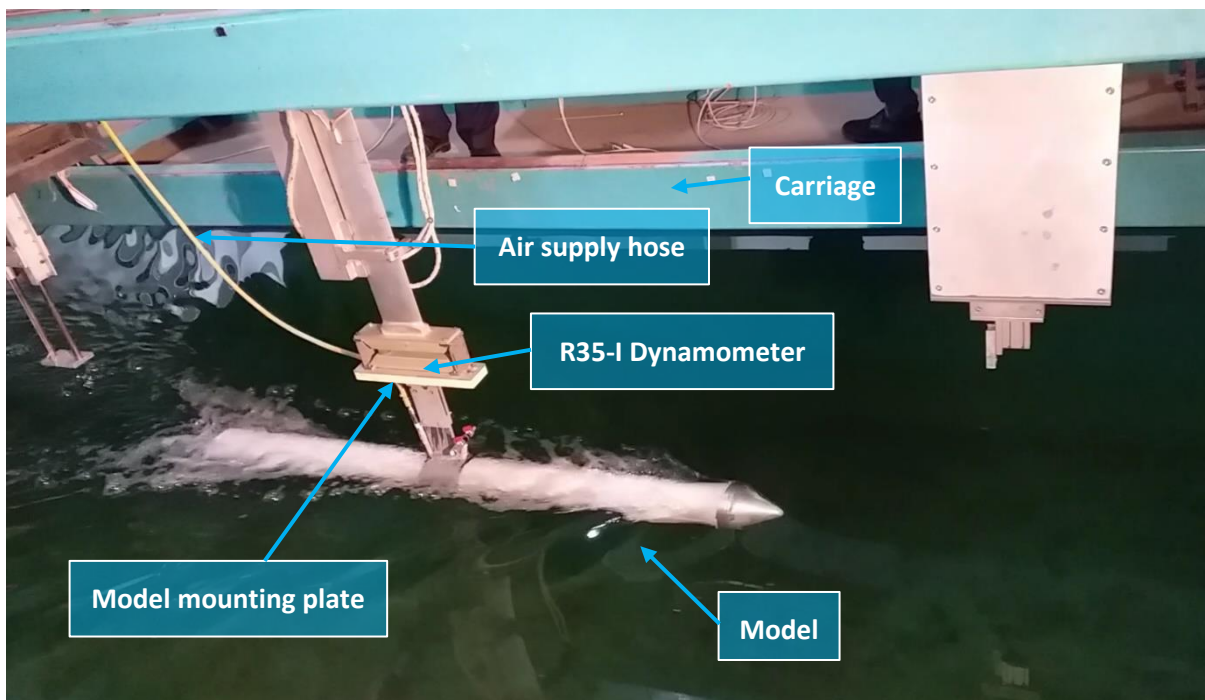


Figure 6. View of the model in the tow tank during the experiment

The model was towed in an upright condition. The long length of the model was parallel to the towing direction. The model is half-submerged in water to use the entire treated surface for air lubrication. The model was tested in the range of towing carriage speed between 0.537 and 2.982 m/s in non-air lubrication experiments and between 0.814 and 2.987 m/s in air lubricated experiments with various increments. Kempf & Remmers R35-I model single component type resistance dynamometer was used to measure force. Ata Nutku Ship Model Testing Laboratory of ITU has been a member of the International Towing Tank Conference (ITTC) since 1972. The command deck has precise speed control devices and synchronized speed and drag recorders. A computer connected to the dynamometer and drivers recorded all the experiment results digitally and control software (CATMAN) made graphic records as well. Air was provided by a hose from an external air source at the rate of 2.5 liter/s. Air was distributed by an internal pipe along the inside of the PVC pipe. Released air

from this internal pipe filled the PVC pipes evenly as much as possible and ejected through the ventilation holes from the model surfaces. The continuous supplying air inside the PVC pipes was able to create only 7-8 cm water column gauge pressure. This is because the holes have a density of 20,000 holes/m². While the bottom of the model does not release enough air; the upper sides release more than average. Before starting the towing tank experiment, the air supply was turned on and the air supply tank pressure was waited to stabilize. Since the total injection area is 34.6 cm² for 9000 holes, the air supplied as 5 bar (at a flow rate of 2.5 l/sec) dropped to the static pressure of 8 cm of water column within the model.

3. RESULTS

Froude numbers were calculated from the velocity measurement result and model information obtained from the towing tank experiments by Equation 1. Figure 7 shows the distribution of resistance reduction and resistance measurement with and without air lubrication versus Froude number.

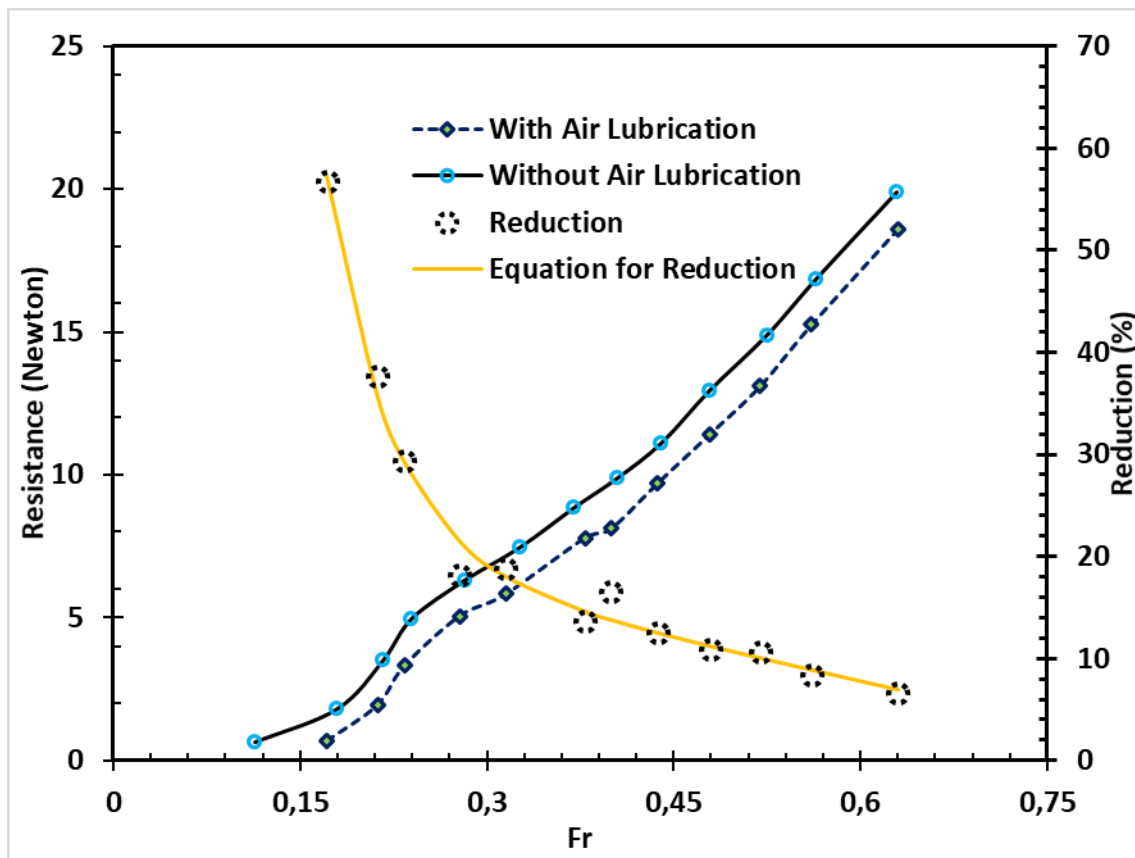


Figure 7. Half-drilled half-submerged model towing tank test results

In non-air lubrication tests, the Froude number range is 0.11 and 0.63. Total resistance results are between 0.639 and 19.875 N with thirteen different velocity increments. As for the air lubricated system, these ranges are between 0.17 and 0.63 for Froude number and between 0.689 and 18.61 N for resistance with twelve different velocity increments.

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{gL}} \quad (1)$$

The highest resistance reduction was obtained at around 57% for 0.17 Froude number and the lowest at 7% for 0.63 Froude number. When the reduction results are examined, it is observed that the resistance reduction

value increases as the Fr number decreases with an Exponential relation. This relationship is given in Equation 2.

$$Reduction = 24.415 - 27.699 * Fr + 1022.903 * e^{(-Fr/0.052)} \quad (2)$$

4. CONCLUSION

Air lubrication on curved surfaces is an important research field for drag reduction since most of the watercraft surfaces are curved or V-shaped. In the present experimental study, the aim was to show the air lubrication effect on curved surfaces. Air lubrication has been shown to provide significant resistance reduction if it is applied extensively across the surface. The resistance reduction induced by dense bubble injection was measured in the range of 7-57%. Using a curved model with intense air lubrication, the effect of speed on resistance reduction was found to be quite significant. The resistance reduction has been achieved in the low-speed region, shows good agreement with expectations. More research is needed to keep the air in the boundary layer longer and to distribute it homogeneously to reduce air consumption.

REFERENCES

- [1] Manen JD, Oossanen P. Principles of Naval Architecture: Resistance and Propulsion (Vol. 2). New Jersey SNAME 1988.
- [2] Mäkiharju SA, Perlin M, Ceccio SL. On the energy economics of air lubrication drag reduction. *Int J Nav Archit Ocean Eng* 2012;4:412–22.
- [3] McCormick ME, Bhattacharyya R. Drag reduction of a submersible hull by electrolysis. *Nav Eng J* 1973;85:11–6.
- [4] Mizokami S, Kawakita C, Kodan Y, Takano S, Higasa S, Shigenaga R. Experimental study of air lubrication method and verification of effects on actual hull by means of sea trial. *Mitsubishi Heavy Ind Tech Rev* 2010;47:41–7.
- [5] Wu S-J, Hsu C-H, Lin T-T. Model test of the surface and submerged vehicles with the micro-bubble drag reduction. *Ocean Eng* 2007;34:83–93.
- [6] Verschoof RA, Van Der Veen RCA, Sun C, Lohse D. Bubble drag reduction requires large bubbles. *Phys Rev Lett* 2016;117:104502.
- [7] Murai Y, Sakamaki H, Kumagai I, Park HJ, Tasaka Y. Mechanism and performance of a hydrofoil bubble generator utilized for bubbly drag reduction ships. *Ocean Eng* 2020;216:108085.
- [8] Madavan NK, Deutsch S, Merkle CL. Reduction of turbulent skin friction by microbubbles. *Phys Fluids* 1984;27:356–63.
- [9] Latorre R, Miller A, Philips R. Micro-bubble resistance reduction on a model SES catamaran. *Ocean Eng* 2003;30:2297–309.
- [10] Yanuar Y, Gunawan G, Jo S, Jamaluddin A. Micro-bubble drag reduction on a high speed vessel model. *J Mar Sci Appl* 2012;11:301–4.
- [11] Anderson JM, Triantafyllou MS, Kerrebrock PA. Concept design of a flexible-hull unmanned undersea vehicle. *Seventh Int. Offshore Polar Eng. Conf.*, 1997.
- [12] Covington D, Lee RH, Toffel S, Bursian A, Krack K, Giordano C. Technical Freediving: An Emerging Breath-Hold Diving Technique. *J Hum Perform Extrem Environ* 2019;15:3.
- [13] Liu F, Long Y, Luo J, Pu H, Duan C, Zhong S. Active Fault Localization of Actuators on Torpedo-Shaped Autonomous Underwater Vehicles. *Sensors* 2021;21:476.



ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ HİBRİT ENERJİ SİSTEMLERİ KULLANAN BİR EVİN ELEKTRİK VE TERMAL YÜK İHTİYACININ KARŞILANMASI: MARMARA ADASI ÖRNEĞİ

MEETING THE ELECTRICAL AND THERMAL LOAD DEMANDS OF A HOUSEHOLD USING OFF-GRID HYBRID ENERGY SYSTEMS: A CASE STUDY OF MARMARA ISLAND

Ahmet Erhan AKAN

Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Tekirdağ, Türkiye.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1806-7943>

Özet

Bu çalışmada, Balıkesir iline bağlı Marmara Adasında, şebekeden bağımsız kırsal bir kesimde bulunduğu kabul edilen bir konutun elektrik ve termal yük ihtiyacının dizel jeneratör, rüzgar türbini ve güneş enerjili hibrit bir sistemden karşılanması durumu, teknik-ekonomik ve çevresel açıdan incelenmiştir. Buna göre incelenen konutun, elektrik yükünün 11,27 kWh/gün, termal yükünün ise 11,25 kWh/gün olduğu kabul edilmiştir. Yapılan incelemenin gerçek şartlara en uygun sonuçlar sunabilmesi için HOMER Pro (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) yazılımından yararlanılmıştır. Bu yazılım sayesinde, incelenen bölgenin rüzgar hızı, güneş ışınım şiddeti gibi iklimsel özellikleri yazılıma entegre edilmiş NASA'nın (Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi) meteoroloji veri tabanından alınmıştır. Ayrıca, dizel jeneratör için üç farklı minimum yük oranı ve iki farklı ısı geri kazanım oranı seçilerek hassasiyet analizleri gerçekleştirilmiştir. En uygun sistem seçiminde, en düşük net şimdiki maliyet değeri baz alınmıştır. Yapılan analizler sonucunda, incelenen bölgedeki konut için en uygun hibrit sistem, dizel jeneratörün minimum yük oranının %25 ve ısı geri kazanım oranının ise %15 olduğu şartlar altında elde edilmiştir. Buna göre en uygun sistemin, 4,51 kW kapasiteli güneş enerjisi, 2 kW kapasiteli MPPT (Maksimum güç noktası takip sistemi) cihazı, 2 kW kapasiteli rüzgar türbini, 2,7 kW kapasiteli dizel jeneratör, 1 kW kapasiteli 9 adet 6V Li-Ion batarya, 5 kW kapasiteli termal yük kontrol cihazı ve 1,86 kW kapasiteli bir konvertör ile kurulacak hibrit sistem olduğu belirlenmiştir. Bu durumda, sistemin ilk yatırım maliyetinin yaklaşık 80.014 ₺, net şimdiki maliyet değerinin 191.314 ₺, birim enerji maliyetinin 1,48 ₺/kWh, olduğu tespit edilmiştir. Ek olarak, sistem tarafından üretilen toplam 7209 kWh/yıl elektrik enerjisinin %66,9'unun güneş enerjisinden, %29,1'inin rüzgar enerjisinden ve %3,93'ünün ise dizel jeneratör tarafından karşılanacağı belirlenmiştir. Bunlara ek olarak, bu sistem ile sadece dizel jeneratörlü bir sisteme göre atmosfere salınacak CO₂ miktarının yıllık 6920 kg engellenebileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hibrit enerji sistemleri, HOMER Pro, Fizibilite analizi.

Abstract

In this study, the situation of meeting the electrical and thermal load needs of a house, which is considered to be in a rural area, off-grid, in Marmara Island of Balıkesir province, from a hybrid system consisting of diesel generator, wind turbine and solar energy, has been examined from a technical, economic and environmental point of view. Accordingly, it was accepted that the electrical load of the examined house was 11.27 kWh/day, and the thermal load was 11.25 kWh/day. HOMER Pro (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) software provided the most suitable results for real conditions. Thanks to this software, the climatic features of the studied region, such as wind speed and solar radiation intensity, were taken from the meteorology database of NASA (American National Aeronautics and Space Administration) integrated into the software. In addition, sensitivity analyzes were performed by choosing three different minimum load rates and two different heat recovery rates for the diesel generator. In selecting the most suitable system, the lowest net present cost value was taken as the basis. As a result of the analyzes made, the most suitable hybrid system for the house in the examined region was obtained under conditions where the minimum load rate of the diesel generator is 25% and the heat recovery rate is 15%. According to this, the most suitable system was determined to be a hybrid system to be installed with 4.51 kW capacity solar energy, 2 kW capacity MPPT (Maximum power point tracking system) device, 2 kW capacity wind turbine, 2.7 kW capacity diesel generator, 1 kW

capacity 9 6V Li-ion batteries, 5 kW capacity thermal load controller and 1.86 kW capacity converter. In this case, it has been determined that the initial investment cost of the system is approximately 80.014 ₺, the net present cost value is 191.314 ₺, and the cost of energy is 1.48 ₺/kWh. In addition, it has been determined that 66.9% of the total 7209 kWh/year electrical energy produced by the system will be met by solar energy, 29.1% by wind energy and 3.93% by a diesel generator. In addition to these, it has been determined that the amount of CO₂ released into the atmosphere can be prevented by 6920 kg per year, compared to a system with only a diesel generator.

Keywords: Hybrid energy systems, HOMER Pro, Feasibility analysis.

GİRİŞ

Hızla gelişen teknoloji ve nüfus artışı enerji kaynaklarına olan ilgiyi sürekli arttırmaktadır. Günümüzde, enerji ihtiyacının büyük bir kısmı fosil kökenli enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Her geçen gün giderek artan enerji gereksiniminin yenilenemeyen ve sınırlı rezerve sahip kömür, petrol, doğalgaz gibi geleneksel yakıtlar ile karşılanması çevre sorunlarına sebep olduğu gibi ekonomik bakımdan değerlendirildiğinde ise geçmişe göre cazibesini yitirmek üzeredir. Bu bakımdan yenilenebilir, çevre dostu enerji kaynakları ve teknolojileri günümüz mühendislik çalışmaları arasında ilk sıralarda yer almaktadır. Yenilenebilir enerji potansiyeli, enerji ihtiyacı karşılanacak unsurun bulunduğu coğrafi konuma göre farklılıklar göstermektedir. Rüzgar ve güneş enerjisi sistemleri şebekeye bağlantılı veya bağlantısız olarak elektrik enerjisi üretebilirler (Mamur, 2015). Güneş enerjisi sistemlerinin çıkış gerilimleri doğru akımdır. Bu sebeple doğru akım yükleri direkt olarak besleyebilirler bunun yanında eviriciler yardımı ile alternatif akım yüklerine de gerilim sağlayabilirler (Kabul & Yaşar, 2014). Rüzgar enerjisi sistemleri ise genellikle alternatif akım gerilimlerine sahiptirler. Fakat dönüştürücüler vasıtası ile doğru akım yükleri de besleyebilirler (Wagh & Walke, 2017). Bu sebeple yenilenebilir enerji sistemleri genellikle, sadece bir tür enerji kaynağına göre değil, birden fazla enerji kaynağını değerlendiren hibrit sistemlerden oluşmaktadır. Bu bakımdan rüzgar ve güneş yenilenebilir enerji sistemlerinin beraber kullanımı oldukça popülerdir (Şenol & Musayev, 2017). Bu tür sistemler hem elektrik hem de termal yük ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir [(Çakmak, Kurban, & Dokur, 2015), (Gupta, Saini, & Sharma, 2007)]. Hibrit sistemler şebekeden uzak kırsal kesimler için oldukça elverişli enerji sistemleridir. Şebekeden uzak olan binaların enerji ihtiyacının karşılanması için genellikle dizel jeneratörler tercih edilse de ulaşım ve sürekli artan yakıt masrafları ile çevreye salınan karbondioksit emisyonları düşünüldüğünde, güneş, rüzgar, batarya grubu ve dizel jeneratör ile oluşturulan hibrit sistemlerin Tekno-ekonomik ve çevresel açıdan daha uygun sonuçlar sergilediği literatürde yapılmış bir çok araştırma tarafından ortaya konmuştur. Bu araştırmalardan bazıları aşağıda sunulmuştur.

Çakmak vd. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin elektrik enerjisi ihtiyacının rüzgar ve güneş enerjili hibrit sistemle karşılanması durumu araştırılmıştır. Sistem tasarımı ve modellemesi için HOMER yazılımından yararlanılmıştır. Bölgenin rüzgar enerjisi potansiyelinin, güneş enerjisi potansiyelinden daha fazla olduğu bu sebeple hibrit enerji sistemi yerine sadece rüzgar türbini ile kurulacak enerji sisteminin geri ödeme süresinin daha kısa olacağı sonucuna varılmıştır. Türkay ve Telli (2011) tarafından yapılan benzer bir çalışmada ise İTÜ Elektrik Elektronik Fakültesinin elektrik enerjisi ihtiyacı araştırılarak HOMER yazılımıyla bölgenin yenilenebilir enerji potansiyeli belirlenmiş ve mevcut potansiyelin incelenen bölgedeki elektrik enerjisi ihtiyacını, şebeke bağlantılı olarak karşılanması durumu için maliyet analizi ile araştırmışlardır. Türkdoğan vd. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada ise kırsal kesimde olduğunu kabul ettikleri 40 haneli bir topluluğun elektrik ve termal yük taleplerinin karşılanması için çeşitli hibrit sistemlerin teknik ve ekonomik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmalar sonucunda, şebekeden bağımsız bir şekilde tasarlanacak sistemlerden elde edilebilecek enerjinin birim maliyet fiyatının incelenen bölgelere farklılık gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada, Gökçeada'dan sonra Türkiye'nin ikinci büyük adası olan (Marmara Adası, 2021) Balıkesir iline bağlı Marmara Adasında, şebekeden bağımsız kırsal bir kesimde bulunduğu kabul edilen bir konutun elektrik ve termal yük ihtiyacının dizel jeneratör, rüzgar türbini ve güneş enerjili hibrit bir sistemden karşılanması durumu, teknik-ekonomik ve çevresel açıdan incelenmiştir. Yapılan incelemelerde HOMER Pro (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) yazılımından yararlanılmıştır. Ayrıca, dizel jeneratör için üç farklı minimum yük oranı ve iki farklı ısı geri kazanım oranı seçilerek hassasiyet analizleri gerçekleştirilmiştir. En uygun sistem seçiminde, en düşük net şimdiki maliyet değeri baz alınmıştır. Yapılan analizler sonucunda,

incelenen bölgedeki konut için en uygun hibrit sistemin, dizel jeneratörün minimum yük oranının %25 ve ısı geri kazanım oranının ise %15 olduğu şartlar altındaki rüzgar, güneş, dizel jeneratör, bataryalı hibrit sistem olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışma ile özellikle yaz aylarında yoğun bir nüfusa sahip, turistik bir bölge olan Marmara Adası için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmek, literatüre katkı sağlamak ve bu konu ile ilgilenen araştırmacılara ve yatırımcılara fikir vermek amaçlanmıştır.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

İncelenen Bölgenin Özellikleri

Marmara Adası (40° 37,4' K, 27° 37,1' D), Marmara Denizi'nin güneybatısında bulunup, Marmara Adaları'nın en büyüğü, Gökçeada'dan sonra ise Türkiye'nin en büyük ikinci adasıdır. Yüzölçümü 117,18 km²'dir. Ada kabaca bir elipsi andırır. Orta kesimleri dağlık, kuzeyi ve güneyi ise genellikle tepeliktir. Bu tepelerin yükseklikleri 337-359 m arasındadır (Marmara Adası, 2021). Bölgede yer yer Akdeniz ve Karadeniz iklimi görülür. Doğal bitki örtüsü bakımından Marmara Takım Adalarından farklıdır. Takım adaların geriye kalan bölümlerinde step ve maki bitki örtüsü görülürken, Marmara Adasında yer yer Kızıldağ ormanlarına rastlanır (İklim ve Coğrafya, 2021). Şekil 1'de adanın genel görünümü verilmiştir.



Şekil 1. Marmara Adası genel görünümü (Marmara Kaymakamlığı, 2021).

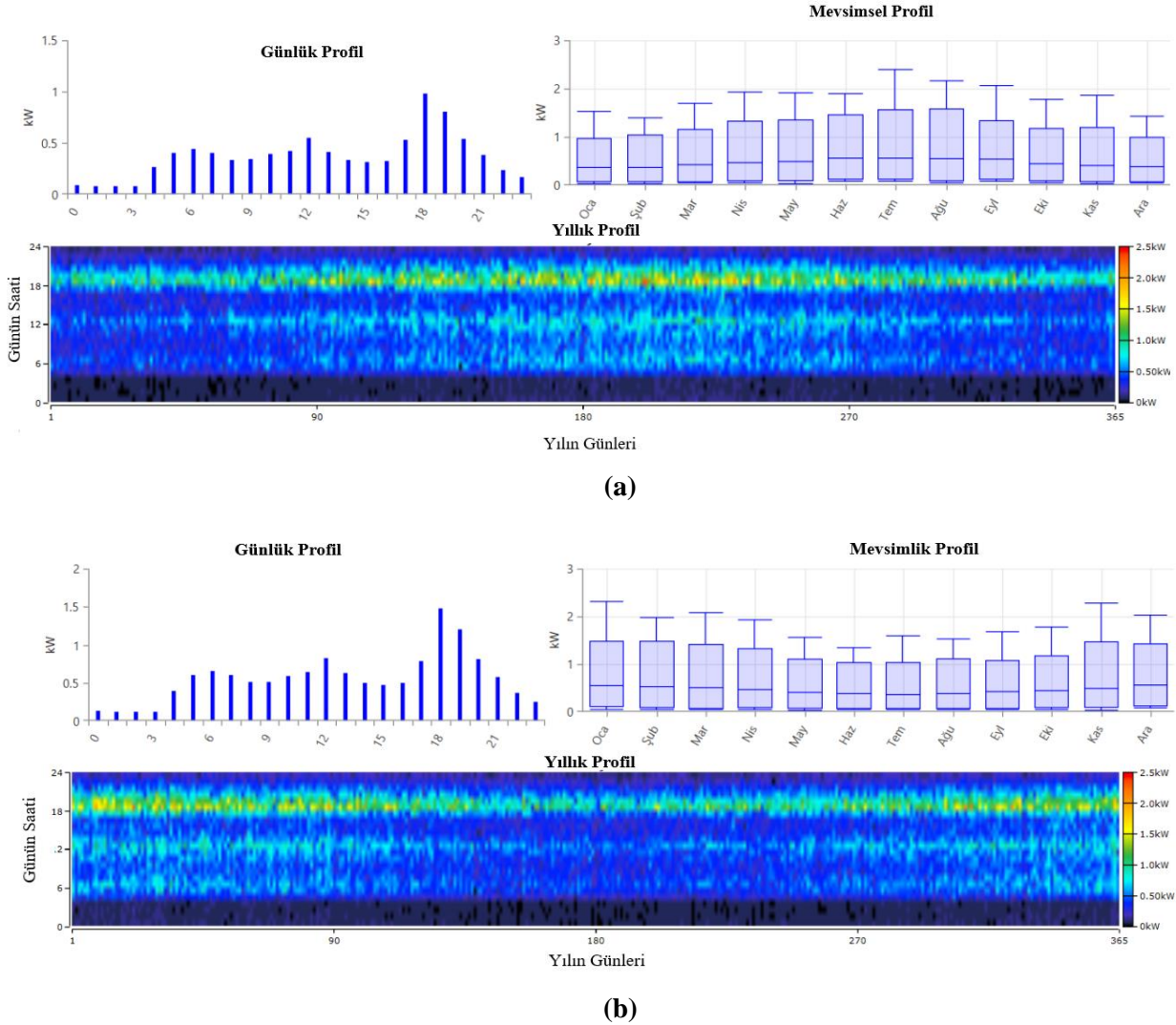
Marmara Adasının güneş ve rüzgar potansiyeli HOMER Pro yazılımına entegre NASA meteoroloji istasyonu verilerinden elde edilmiştir. Buna göre bölgeye ait günlük ortalama yatay küresel güneş ışınım şiddeti, berraklık indeksi ve aylık ortalama rüzgar hızı verileri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Marmara Adası Rüzgar-Güneş enerji potansiyeli verileri

Ay	Berraklık İndeksi	Günlük Ortalama Küresel Işınım (kWh/m ² /gün)	Aylık Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)
Ocak	0.402	1.660	5.680
Şubat	0.439	2.430	7.630
Mart	0.479	3.610	6.660
Nisan	0.503	4.820	5.280
Mayıs	0.557	6.130	4.570
Haziran	0.604	7.000	4.610
Temmuz	0.626	7.060	4.650
Ağustos	0.620	6.250	4.390
Eylül	0.590	4.850	4.610
Ekim	0.495	3.030	7.060
Kasım	0.424	1.880	5.660
Aralık	0.369	1.370	5.960
Ortalama	0.509	4.174	5.560

Elektrik ve Termal Yük İhtiyacı

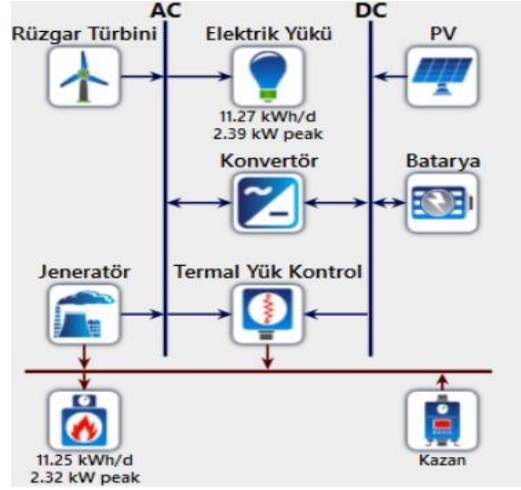
İncelemede örnek alınan konutun elektrik yükünün 11,27 kWh/gün olduğu ve elektrik kullanımının saat 18.00 ile 20.30 arasında en fazla olduğu, aylık olarak değerlendirildiğinde ise yaz aylarında elektrik tüketiminin diğer aylara göre daha fazla olduğu kabul edilmiştir. Konutun elektrik tüketim yükünün büyüklüğü ve saatlik, aylık, mevsimlik dağılımının belirlenmesinde, HOMER Pro yazılımında tipik bir konut için tanımlı olan temel elektrik yükü menüsü kullanılmıştır. Benzer şekilde konutun termal yük değerinin ve zamansal dağılımının belirlenmesinde ise HOMER Pro yazılımında tipik bir konut için belirlenmiş termal yük büyüklüğü ve zamansal dağılımı kullanılmış, termal yük ihtiyacının en fazla olduğu ay olarak Ocak ayı seçilmiştir. Konutun elektrik ve termal yük değerlerinin zamansal dağılımı sırasıyla Şekil 2a ve 2b’de sunulmuştur.



Şekil 2. (a) Konutun elektrik yükünün zamansal dağılımı, (b) konutun termal yükünün zamansal dağılımı

Hibrit Sistem Modeli ve Komponentler

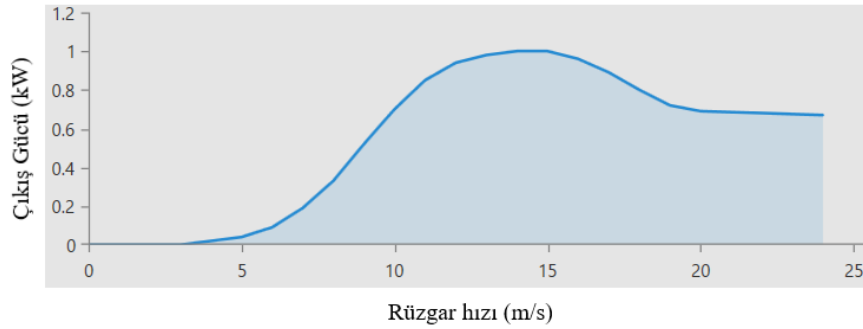
Şebekeden bağımsız olduğu kabul edilen konutun elektrik ve termal yük ihtiyacının karşılanması için, güneş enerjisi sistemi, batarya ünitesi, rüzgar türbini, dizel jeneratör, termal yük kontrol elemanı ve kazan bulunduran hibrit bir sistem modellenmiştir. Sistem ait model şeması Şekil 3’de, sistemi oluşturan elemanlar hakkındaki teknik ve ekonomik özellikler ise aşağıda sırasıyla sunulmuştur.



Şekil 3. Hibrit sistem modelinin şematik gösterimi

Rüzgar Türbini

Sistemde 1 kW kapasiteli rüzgar türbini seçimi yapılmış ve AC barasına bağlandığı kabul edilmiştir. Rüzgar türbininin kW başına ilk kurulum ve yenileme maliyeti 7000 ₺, yıllık bakım ve onarım masraflarının ise 200 ₺ olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca, Rüzgar türbinin göbek yüksekliği 17 m ve ömrü 20 yıl olarak kabul edilmiş, çevre hava sıcaklığındaki değişimlerin rüzgar türbinin ürettiği güce olan etkileri de göz önüne alınmıştır. Seçilen rüzgar türbinin, rüzgar hızı ve çıkış gücü arasındaki bağıntıyı gösteren grafik ise Şekil 4'de sunulmuştur. Sistem optimizasyonu için sistemdeki rüzgar türbini sayısı sıfır ile yirmi arasında seçilmiştir.



Şekil 4. Rüzgar türbini güç eğrisi

Güneş Paneli

Sistemde kullanılan mono-kristal PV panellerin 1 kW için kurulum ve yenileme maliyetlerinin 7000 ₺, yıllık bakım ve onarım masraflarının ise 50 ₺ olduğu, kullanım ömürlerinin ise 25 yıl olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca PV panellerin ömürleri veya kirlilik gölgelenme, kar örtüsü veya kablolama kayıpları gibi çıkış gücünü etkileyen değer düşürme faktörü (Derating factor) %80 olarak kabul edilmiştir. Buna ek olarak güneş panelleri yardımı ile bataryaların verimli şarj edilmesine olanak sağlayan MPPT (Maksimum güç noktası takip) cihazının kapasitesi ise 1 kW ile 9kW arasında seçilerek optimizasyon analizi yapılmıştır. MPPT cihazının kW başına ilk kurulum ve yenileme maliyetinin 500 ₺, bakım ve onarım maliyetinin ise 50 ₺, kullanım ömrünün ise 15 yıl, veriminin %95 olduğu kabul edilmiştir.

Batarya Grubu

Sistemde kullanılan piller, 1 kWh kapasiteli, nominal voltaj değeri 6V 167 Ah, maksimum deşarj akım değeri 500 A olan Li-Ion pillerdir. Pillerin tanesinin 2500 ₺, yıllık bakım masraflarının ise 50 ₺ olduğu kabul

edilmiştir. Minimum şarj durumunun %30, maksimum şarj durumunun %100 olduğu, sistem optimizasyonu için ise pil adedi sıfır ile altı yüz tane arasında seçilerek araştırılmıştır.

Konvertör

Sistemde kullanılan konvertörün 1 kW için kurulum ve yenileme maliyetinin 1000 ₺ olduğu, invertör ve doğrultmacın %95 verime sahip olduğu kabul edilmiştir. Sistem optimizasyonu için konvertör kapasitesi sıfır ile 100 kW arasında seçilmiştir. Ayrıca konvertörün jeneratöre paralel bağlı olduğu kabul edilmiştir.

Dizel Jeneratör

Sistemde seçilen dizel jeneratörün ilk kurulum ve yenileme maliyetinin kW başına 3000 ₺, yıllık bakım masraflarının ise 600 ₺ olduğu kabul edilmiştir. Sistem optimizasyonu ve hassasiyet analizleri için dizel jeneratörün minimum yük oranı %25-50 ve 75 olmak üzere 3 farklı şekilde, atık ısı geri kazanım oranı ise %15 ve 20 olmak üzere iki farklı şekilde seçilmiştir. Ayrıca jeneratörün çalışma süresinin 15000 saat olduğu kabul edilmiştir.

Termal Yük Kontrol Cihazı

Termal yük kontrol cihazı, termal yük sistemiyle elektrik yükü sistemi arasındaki bağlantının kurulmasında kullanılır. Elektrik sisteminde üretilen fazla enerjinin termal yük barasına aktarılmasında kullanılır. Böylece, sistemde ısınma amaçlı fazla enerji kullanımının önüne geçilmiş olunur. (Türkdoğan, Mercan, & Çatal, 2020). Termal yük kontrolörünün kW başına maliyetinin 200 ₺ olduğu kabul edilmiştir.

Kazan

Sistemde termal yük ihtiyacının karşılanması için dizel yakıt tüketen ve verimi %85 olan bir kazan seçilmiştir. Dizel yakıtın litresinin 7 ₺ olduğu kabul edilmiştir.

ANALİZ SONUÇLARI ve TARTIŞMA

HOMER Pro yazılımı aracılığı ile yapılan analizlerde, konutun elektrik ve termal yük ihtiyacını karşılayabilecek birçok farklı simülasyon modeli elde edilmiştir. Net şimdiki maliyet değeri (NPC) ve enerji birim maliyet değeri (COE) baz alınarak sunulan sekiz modelin, oluşturulan diğer modellere göre daha uygulanabilir olduğu belirlenmiştir. Belirlenen bu modeller Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Uygun bulunan hibrit sistem modelleri listesi

	PV (kW)	PV-MPPT (kW)	G1	Gen (kW)	1kWh LI	TLC (kW)	Conv (kW)	Dispatch	COE (₺)	NPC (₺)	Operating cost (₺/yr)	Initial capital (₺)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)
	4.51	2.00	2	2.70	9	5.00	1.86	LF	₺1,48	₺191.314	₺5.538	₺80.014	57.9	500
	4.98	3.00		2.70	12	5.00	2.10	CC	₺1,65	₺205.546	₺6.369	₺77.537	47.5	642
			5	2.70	7	10.0	1.76	CC	₺2,40	₺267.762	₺10.120	₺64.364	31.5	1,008
	12.3	3.00	1		23	10.0	3.46	CC	₺2,59	₺283.194	₺6.267	₺157.246	66.1	333
	15.5	5.00			23	5.00	6.84	CC	₺2,84	₺303.993	₺6.339	₺176.595	66.5	330
				2.70	3	5.00	2.33	CC	₺3,47	₺356.106	₺16.776	₺18.930	0	1,878
	7.72	5.00	6	2.70		15.0	1.49	CC	₺5,12	₺492.256	₺18.964	₺111.115	25.0	1,848
			7	2.70		10.0		CC	₺5,31	₺507.833	₺22.327	₺59.100	6.92	2,277

Tablo 2 incelendiğinde, verilen sekiz adet modelin COE ve NPC değerlerinin en azdan başlayarak en yükseğe doğru sıralandığı görülebilmektedir. Buna göre yapılan simülasyonlar arasında en uygun modelin birinci sırada verilen model olduğu anlaşılmaktadır. Bu modelde, 4,51 kW kapasiteli PV panel, 2 kW kapasiteli MPPT cihazı, 2 kW kapasiteli rüzgar türbini, 2,7 kW kapasiteli dizel jeneratör, 9 adet 1 kWh kapasiteli Li-Ion batarya, 5 kW kapasiteli termal yük kontrol cihazı ve 1,86 kW kapasiteli konvertör bulunmaktadır. Bu durumda, sistemin ilk kurulum maliyetinin 80.014 ₺, yenileme maliyetinin 30,132.00 ₺, bakım ve onarım masraflarının 25.230 ₺/yıl olacağı belirlenmiştir. Ayrıca sistem tarafından üretilen 7209 kWh/yıl'lık elektrik enerjisinin (konutun ihtiyacı 4113 kWh/yıl) %66,9'unun PV panellerden, %29,1'inin rüzgar türbini ve %3,93'ün ise dizel jeneratör aracılığı ile üretileceği tespit edilmiştir. Üretilen toplam elektrik enerjisinin 2773 kWh/yıl'lık (%38,5) miktarının ise sistem tarafından fazladan üretilen enerji olduğu saptanmıştır. Ayrıca karşılanamayan anlık yük değeri bulunmamaktadır. Termal yük ihtiyacının (4105 kWh/yıl) karşılanması araştırıldığında ise sistem tarafından üretilen termal enerji miktarının 5949 kWh/yıl olduğu, bu enerjinin % 50,6'sının kazandan, %2,75'nin ise dizel jeneratördeki atık ısı geri kazanımından, %46,6'sının ise üretilen fazla elektrikten elde edildiği belirlenmiştir. Sistem tarafından üretilen termal enerjinin %44,9'unun (1844 kWh/yıl) fazladan üretildiği tespit edilmiştir. Yakıt tüketimi araştırıldığında, dizel jeneratör ve kazan beraber değerlendirildiğinde, günlük ortalama 1,37 L, yıllık 500 L mazot tüketimi gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu durumda yıllık çevreye salınan emisyon miktarları araştırıldığında ise 1319 kg CO₂, 2,31 kg CO, 0,101 kg yanmamış hidrokarbon, 3,26 kg SO₂ (Sülfür dioksit), 2,17 kg N₂O (Nitrojen oksit) salınacağı belirlenmiştir.

Tablo 2'de, ikinci sırada, hibrit sistemde rüzgar türbinin bulunmadığı durum verilmiştir. Bu model birinci sırada verilen model ile karşılaştırıldığında, PV panel kapasitesinin 0,47 kW, MPPT kapasitesinin 1 kW, jeneratör kapasitesinin aynı, batarya kapasitesinin 3 kW, termal yük kontrol cihazının aynı kapasitede, konvertörün kapasitesinin ise 0,24 kW daha fazla olduğu görülmektedir. Bu sistemin ilk kurulum maliyetinin 77.537 ₺, yenileme maliyetinin 26.582 ₺, yıllık bakım ve onarım masraflarının ise 21.298 ₺ olduğu hesaplanmıştır. Bu sistemden yıllık 6833 kWh elektrik enerjisi alınabileceği, bu enerjinin %88,6'sının güneşten, %11,4'nün dizel jeneratörden elde edileceği görülmüştür. Sistemin ürettiği 2242 kWh/yıl'lık (%32,8) enerjinin fazladan üretildiği tespit edilmiştir. Bu sistemin kullanılması durumunda, dizel jeneratörün birinci duruma göre yıllık 142 L daha fazla mazot tüketeceği bu durumun da çevreye salınan eşdeğer karbon emisyon miktarının birinci duruma göre oldukça fazla olacağı sonucunu doğurmaktadır.

Tablo 2'de üçüncü sırada verilen güneş enerjili sistemin bulunmadığı model, en uygun model olan birinci model ile karşılaştırıldığında sırasıyla şu sonuçların elde edildiği görülebilir. Rüzgar türbini kapasitesinin 3 kW daha fazla, dizel jeneratör kapasitesinin aynı, batarya kapasitesinin 2 kW daha az, termal yük kontrol cihazının kapasitesinin 5 kW daha fazla, konvertörün kapasitesinin ise 0,1 kW daha az olduğu belirlenmiştir. Bu sistemin ilk yatırım maliyetinin 64.364 ₺, yenileme maliyetinin 60.023 ₺, yıllık bakım ve onarım masraflarının ise 30.445 ₺ olduğu saptanmıştır. Bu sistemden elde edilen enerjinin %28'nin jeneratör tarafından, %71,8'nin ise rüzgar türbini tarafından üretileceği tespit edilmiştir. Bu durumda ise 508 L daha fazla yakıt tüketiminin gerçekleşeceği yazılım vasıtası ile belirlenmiştir. Eşdeğer CO₂ emisyonu olarak değerlendirildiğinde, sistem tarafından çevreye salınan emisyon miktarının 2650 kg/yıl olacağı tespit edilmiştir.

Sistem modellemesinde hassasiyet analizleri de gerçekleştirilmiştir. Dizel jeneratörün minimum yük oranının %25-50 ve 75 olması durumu ile ısı geri kazanım oranının %15 ve 20 olması durumu araştırılmıştır. Sistem tarafından sunulan altı hassasiyet analizi sonucunu gösteren çizelge Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Hassasiyet analizleri içeren modellerin listesi

Gen	Gen															
Minimum Load Ratio (%)	Heat Recovery Ratio (%)															
25,0	15,0															
50,0	15,0															
75,0	15,0															
25,0	20,0															
50,0	20,0															
75,0	20,0															

Tablo 3’de verilen hassasiyet analizlerine göre oluşturulmuş hibrit sistem modelleri karşılaştırıldığında,

Dizel jeneratörün minimum yük oranı artırıldığında, aynı ısı geri kazanım oranı için güneş enerjisi sistemi için gerekli olan PV panel kapasitesinin azaldığı, MPPT cihazın kapasitesinin sabit kaldığı belirlenmiştir. Buna ek olarak, jeneratör kapasitesinin incelenen tüm modeller için aynı değerde kaldığı, minimum yük oranı değeri %50 ve ısı geri kazanım oranı %15 olan durum için 1 tane daha batarya gerektiği, buna karşılık konvertör kapasitesinin ise en az değerde olması gerektiği tespit edilmiştir.

Isı geri kazanım oranı %15’den %20’ye çıkarıldığında ise minimum yük oranı değeri %25 olduğunda, PV panel kapasitesinin 0,88 kW, MPPT cihazının kapasitesinin 1 kW, konvertör kapasitesinin ise 0,08 kW azalması gerektiği tespit edilmiştir.

Minimum yük oranı %50 olduğunda ise PV panel kapasitesinin 0,15 kW, Li-Ion batarya kapasitesinin 1 kWh, konvertörün kapasitesinin ise 0,23 kW azalacağı tespit edilmiştir.

Minimum yük oranı %75 olması durumunda ise rüzgar türbinin kapasitesinin 0,75 kW, Li-Ion batarya grubunun kapasitesinin 2 kWh, konvertörün kapasitesinin ise 0,93 kW daha fazla olması gerektiği belirlenmiştir.

SONUÇ

Bu çalışmada, Balıkesir iline bağlı Marmara Adasında, şebekeden bağımsız kırsal bir kesimde bulunduğu kabul edilen bir konutun elektrik ve termal yük ihtiyacının hibrit bir sistemden karşılanması durumu, teknik-ekonomik ve çevresel açıdan incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, incelenen bölgedeki konut için en uygun hibrit sistemin, dizel jeneratörünün minimum yük oranının %25 ve ısı geri kazanım oranının ise %15 olduğu şartlar altında elde edilebileceği belirlenmiştir. Buna göre en uygun sistem bileşenleri ve kapasiteleri sırasıyla, 4,51 kW kapasiteli güneş enerjisi, 2 kW kapasiteli MPPT cihazı, 2 kW kapasiteli rüzgar türbini, 2,7 kW kapasiteli dizel jeneratör, 1 kW kapasiteli 9 adet 6V Li-Ion batarya, 5 kW kapasiteli termal yük kontrol cihazı ve 1,86 kW kapasiteli bir konvertör olarak belirlenmiştir. Bu durumda, sistemin ilk yatırım maliyet değerinin yaklaşık 80.014 ₺, net şimdiki maliyet değerinin 191.314 ₺, birim enerji maliyet değerinin ise 1,48 ₺/ kWh, olduğu tespit edilmiştir. Ek olarak, sistem tarafından üretilen toplam 7209 kWh/yıl elektrik enerjisinin %66,9’unun güneş enerjisinden, %29,1’inin rüzgar enerjisinden ve %3,93’ünün ise dizel jeneratör tarafından karşılanacağı belirlenmiştir. Ayrıca, belirlenen bu hibrit sistemin yerine kırsal kesimde enerji ihtiyacının karşılanması için yaygın olarak tercih edilen dizel jeneratörlü bir sistemin tercih edilmesi durumunda atmosfere salınacak CO₂ miktarının yıllık 6920 kg daha fazla olacağı tespit edilmiştir.

KAYNAKÇA

- Çakmak, Ç., Kurban, M., & Dokur, E. (2015). Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Ekonomik Analizi. *VI. Enerji Verimliliği Kalitesi Sempozyumu ve Sergisi*.
- Gupta, A., Saini, R. P., & Sharma, M. P. (2007). Design of an optimal hybrid energy system model for remote rural area power generation. *ICEE International Conference*, (s. 1-6). Hong Kong.
- İklim ve Coğrafya*. (2021, 11 30). Marmara Kaymakamlığı: <http://www.balikesirmarmara.gov.tr/iklim-ve-cografya> adresinden alındı
- Kabul, A., & Yaşar, E. (2014). Isparta İlinde Fotovoltaik/Termal (PV/T) Hibrit Sistemin Performans Analizi. *SDU International Journal of Technological Science*, 6(1), 31-43.
- Mamur, H. (2015). Design, Application, and Power Performance Analyses of a Micro Wind Turbine. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 23(6), 1619-1637.
- Marmara Adası*. (2021, 11 30). Vikipedi: https://tr.wikipedia.org/wiki/Marmara_Adas%C4%B1#cite_note-co%C4%9F1-1 adresinden alındı
- Marmara Kaymakamlığı*. (2021, 11 30). Marmara Kaymakamlığı: <http://www.balikesirmarmara.gov.tr/fotografarla-marmara#gallery-71> adresinden alındı
- Şenol, Ü., & Musayev, Z. (2017). Rüzgâr Enerjisinden Elektrik Üretimini Yapay Sinir Ağları ile Tahmini. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 1(1), 23-31.
- Türkay, B. E., & Telli, A. Y. (2011). Economic analysis of standalone and grid connected hybrid energy systems. *Renewable Energy*, 36(7), 1931-1943.
- Türkdoğan, S., Mercan, M. T., & Çatal, T. (2020). Şebekeden Bağımsız Hibrit Enerji Sistemleri Kullanılarak 40 Hanelik. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(18), 476-485.
- Wagh, S., & Walke, P. V. (2017). Review on Wind-Solar Hybrid Power System. *International Journal of Research in Science & Engineering*, 3(2), 71-76.



YÜKSEK ÖLÇÜM HASSASİYETİNE SAHİP YENİ TİP ULTRASONİK ISI SAYACI TASARIMI NEW TYPE OF ULTRASONIC HEAT METER DESIGN WITH HIGH MEASUREMENT ACCURACY

Yusuf TEKİN

Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölüm Kayseri, TÜRKİYE.
ORCID NO: 0000-0003-1081-6399

M. Fatih ÖZTÜRK

FNF Teknoloji San. Ve Tic. A.Ş. OSB 8. Cad. No: 20 38070 Melikgazi Kayseri TÜRKİYE.

Fuad SAMADZADE

FNF Teknoloji San. Ve Tic. A.Ş. OSB 8. Cad. No: 20 38070 Melikgazi Kayseri TÜRKİYE.
ORCID NO: 0000-0001-6164-7295

Özet

Geçiş zaman tekniği ile çalışan ultrasonik akış ölçerler doğal gazdan petrole ve suya kadar geniş kullanım alanına sahip ölçüm cihazlarıdır. basit mekanik yapıları, düşük basınç kayıpları, kolay kurulum, düşük maliyet, içerisinde hareketli mekanik aksam bulundurmamaları, yaşlanma ve yıpranma etkilerinin az olması, yüksek doğruluk ultrasonik su sayaçların avantajlarıdır. Gövdesi içerisindeki yansıtıcı aynaların oluşturduğu türbülans, kurulum etkileri ve diğer hata kaynaklarına karşı duyarlı olmaları dezavantajlarıdır. Bu çalışmada gerek gövde içerisindeki yansıtıcı aynalar ve gövdenin yapısından kaynaklanan gerekse de tesisat bağlantılarından kaynaklanan türbülans oluşumlarının incelenerek, bu etkilerin minimize edildiği yeni bir ultrasonik ısı sayacı tasarımı yapılmıştır. Tasarımı yapılan yeni sayaç, metal dış gövde ile aynaların ve akış düzenleyici unsurların yer aldığı plastik iç gövdeden oluşmaktadır. FNF teknoloji bünyesinde tasarladığımız UIS gövdesinin Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) kullanılarak sayısal modelleme ile akış analizleri yapılmıştır. Ansys Fluent’de yapılan analizde akış profili, hız dağılımı, akım çizgileri, hız vektörleri, akıştaki girdaplar ve türbülans şiddeti gibi veriler elde edilip incelenmiş ve tasarıma nihai şekli verilmiştir. Bu tasarımda yansıtıcı pimler kullanılmamış ve iç aksamının geometrisi akışı en az etkileyecek şekilde tasarlanmıştır. Yeni tasarımın giriş kısmının akış düzenleyici geometriye sahip olması ve akış alanı tüpünün 8 mm çapından başlayıp daralarak 6 mm düşmesi en önemli farklarından. Plastik iç gövdenin giriş kısmı, akışı en az seviyede etkileyecek ve tesisat bağlantı elamanlarından kaynaklı akış bozulmalarının düzelterek şekilde tasarlanmıştır. Yeni tasarımdaki bu iyileşme, eski ve yeni sayaçları analizleri ve test verileri incelendiğinde görülmektedir. Tasarlanan ısı sayacı 0,06 m³/h gibi düşük debilerde bile yüksek hassasiyetle ölçüm yapabilmektedir. Tasarımı yapıлып üretilen bu sayacın yurtiçi ve yurtdışı pazarlarda satışı gerçekleştirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ultrasonik ısı sayacı, Ultrasonik, ısı pay ölçer, Ultrasonik akış ölçer

Abstract

Ultrasonic flow meters working with the transition time technique are measurement devices with a wide range of uses from natural gas to oil and water. The advantages of ultrasonic flow meters are simple mechanical structures, low pressure losses, easy installation, low cost, less wear and tear effects, high accuracy in water measurement applications. The disadvantage is that they are sensitive to turbulence caused by reflective mirrors in their body, installation effects, and material roughness. In this study, the factors causing turbulence in the meter were analyzed and a new ultrasonic heat meter (UHM) design with lower turbulence was made. The newly designed meter consists of a metal housing and a plastic inner body with mirrors and flow regulator features. Flow analyzes of the UHM, which designed in FNF SAN. TİC. A.Ş, were carried out using computational fluid dynamics (CFD). In the analysis made in Ansys Fluent, data such as flow profile, velocity distribution, streamlines, velocity vectors, eddies in the flow, and turbulence intensity were obtained and analyzed and the design was given its final shape. In this design, reflective pins are not used and its internal geometry is designed to affect the flow the least. The most important differences are that the inlet part of the

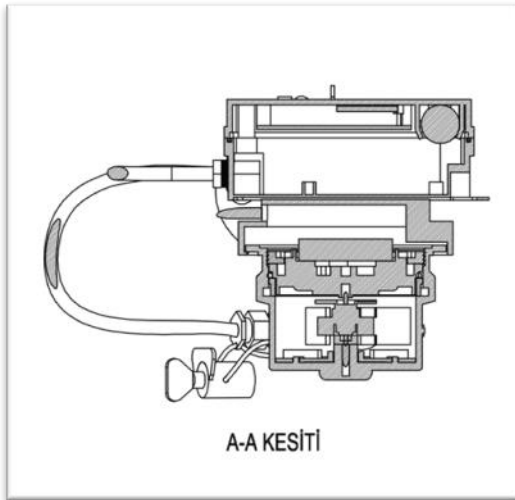
new design has flow-regulating geometry and the flow area tube starts from 8 mm in diameter and narrows to 6 mm. The inlet part of the plastic inner body is designed to affect the flow at the minimum level and to correct the flow disturbances caused by the plumbing fittings. This improvement in the new design can be seen when the old and new meters analyzes and test data are examined. The designed heat meter can measure with high precision even at low flow rates as low as 0.06 m³/h. This meter, which is designed and produced, is sold in domestic and international markets.

Keywords: Ultrasonic heat meter, Ultrasonic, Calorimeter, Ultrasonic flow meter

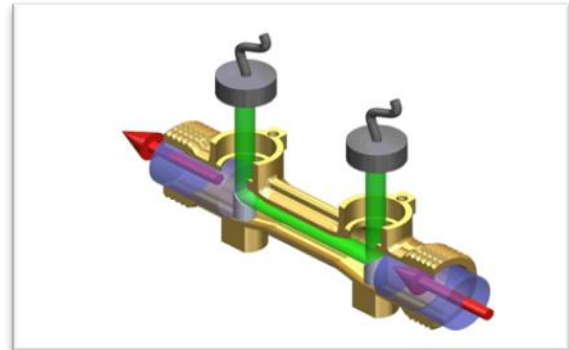
1. Giriş

Dünya nüfuzunun artması ve Küresel ekonominin hızla gelişmesiyle birlikte çevre ve enerji sorunları giderek daha ciddi bir sorun haline geliyor. Uluslararası kurumlar ve Devletler enerji tasarrufu için yeni düzenlemeler yapmakta ve bu konuya daha hassas yaklaşmaktadır. Isı ölçümü cihazlarının kullanılması da bu konuda önem arz etmektedir. Isıtma olan yerlerde enerji tasarrufu sağlamak ve boşa harcanan enerjiyi kullanımı önlemek için Isı sayaçları kullanımı önem arz etmektedir.

Ultrasonik ısı sayacı (UIS) bir ortamın soğutma veya ısıtma sistemlerinde tüketilen enerjiyi ölçmek için kullanılan cihazlardır. UIS ölçüm alanında giren ve çıkan akışkanının sıcaklık farkını ve ultrasonik ölçüm metodu ile akışkanın debisini ölçerek tüketilen enerjiyi hesaplar. Isı sayaçları genel olarak 3 ana kısımdan oluşmaktadır.



Şekil 1. Mekanik ısı sayacı



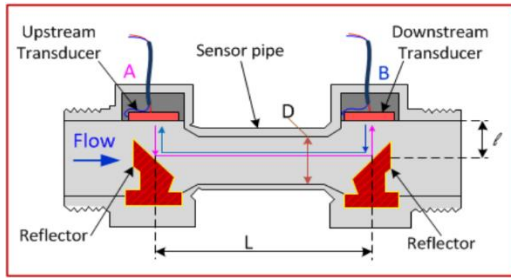
Şekil 2. Ultrasonik ısı sayacı

Debi ölçüm kısmı, sıcaklık ölçüm kısmı ve hesaplayıcı ünite. Debi ölçümüne göre ısı sayaçlarının birkaç çeşidi vardır. Bunlardan en sık kullanılanları Ultrasonik ısı sayaçları (şekil 2) ve Mekanik ısı sayaçlarıdır (şekil 1). Biz bu çalışmada Ultrasonik tip ısı sayacı tasarımı yaptık.

Ultrasonik ölçüm prensibi ile çalışan akış ölçerler doğal gazdan petrole ve suya kadar geniş kullanım alanına sahip ölçüm cihazlarıdır. Su ölçüm uygulamalarında düşük basınç kaybı, düşük bakım maliyetleri ve doğruluk hassasiyeti ve bunun yansira üretim maliyetinin de uygun olması ultrasonik sayaçları daha avantajlı hale getiriyor. UIS sayaçtan geçen akışkanın hacmini ölçmek için ses dalgaları kullanır. Akış yönünde ve akışın tersi yönünde ses dalgası göndererek aradaki zaman farkı ile sayaçtan geçen debiyi hesaplar. Sıcaklık sensörleri ile ısıtılan ve soğutulana alana giren ve çıkan akışkanın sıcaklıkları farklarını hesaplar ve bunları kullanarak hesaplı ünite de tüketilen enerjiyi bulur.

2. ULTRASONİK ÖLÇÜM PRENSİBİ

UIS aslında bir ultrasobik akış ölçere sıcaklık sensörü çiftleri eklenmiş cihazdır ve akışkan analizleri bakımından ultrasonik akış ölçer olarak da değerlendirilebilir. Birçok alanda farklı amaçlar için kullanılan ve kullanımı giderek artan ultrasonik akış ölçerlerin ölçüm teknolojisi 1960'ların sonlarında ve 1970'lerin başlarında ticari uygulamalarda kullanılmaya başlandı. Bu ölçüm tekniğinin gelişmesi 1950'lerde hükümet veya özel sektörler arasında bir ortak proje olarak başlatılmıştır. İlk zamanlarda amacı kanallardan ve barajlardan akan büyük hacimli suyun doğru ölçülmesiydi. Su Kaynakları Departmanı, ABD Jeoloji Araştırması ve ABD Ordusu Mühendisler Birliği, Raytheon Üretim Şirketi ile birlikte 1957'de ultrasonik akış ölçer geliştirmeye başladı. 1960'larda Westinghouse Electric Corporation, kanallarda kullanılmak için California Su Kemeru boyunca yerleştirilecek ultrasonik akış ölçer tasarladı.



Şekil 3. Ultrasonik sayaç gövde şeması

A Ultrasonik akış sensöründen akışın tersi yönde gönderilen ses dalgasının B sensörüne ulaşma zamanı t_{AB} ve B sensöründen akış yönünde gönderilen ses dalgasının A sensörüne ulaşma zamanı t_{BA} ise

$$\Delta t = t_{BA} - t_{AB} \quad (1)$$

olur. Ses hızının (c) suda yayılma hızı suyun sıcaklığına bağlı olarak değişir ve bu değişimi şekil 5 de grafiğe göre hesaplanır. Akışkanın ortalama hızı ise :

$$\bar{u} = \frac{\Delta t}{2L \cos \theta} \bar{c}^2 \quad (2)$$

Burada :

\bar{c} ses hızı

\bar{u} akışkanın ortalama hızıdır.

Δt zaman farkı (UAS lar arasında akış yönünde ve tersi yönde yayılan ses dalgaları arasında zaman farkı)

L Ses dalgasının yol uzunluğu

Sayaçtan geçen akışkanın hacimsel debisi

$$V = \bar{u} A \quad (3)$$

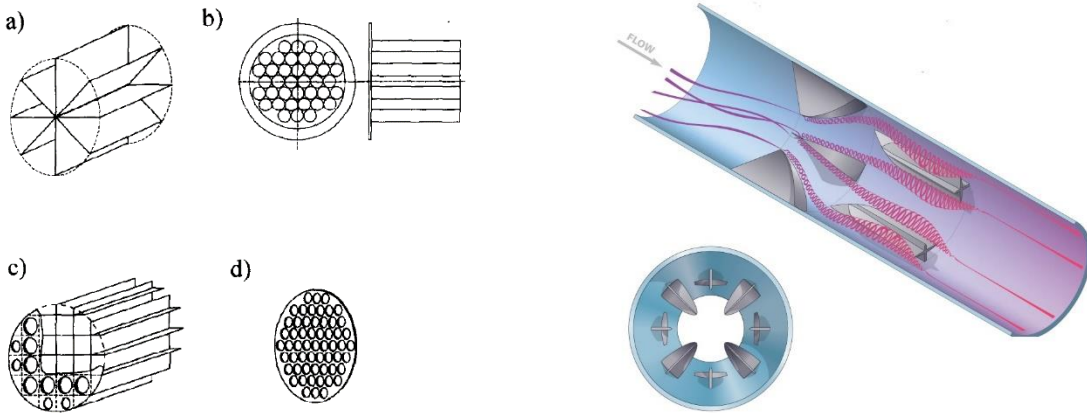
formülünden bulunur.

A Sayaç gövdesinin kesit alanı.

u , c ve L nin hız ölçümü boyunca sabit olduğu ve hız profiline üniform olduğu varsayılır. Bu varsayım sonucunda hız ölçümü boyunca hız akışın her yerinde ortalama olarak kabul edilir. Bu kabuller ses yolu boyunca hızdaki ve ses hızındaki yol uzunluğundaki değişimleri dikkate almaz. Akışın türbülanslı olduğu ve akışın bozulduğu zamanlarda bu değerlerin değişmesi sonucunda sayacın hataları orta çıkar. Ultrasonik akış ölçüm yöntemlerinin % 0,1 ile % 2 arasındaki doğruluklarda olduğu iddia edilmektedir.

3. ÖLÇÜM HASSASİYETİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

UIS'lerinin ölçüm hassasiyeti etkileyen birçok faktör vardır. Hesaplayıcı ünitelerden, sıcaklık sensörlerinden, ultrasonik akış sensörleri (UAS), suyun kalitesinden, tesisat bağlantı elemanlarından ve sayaç gövdesinin geometrisinden kaynaklanan bunlardan bazılarıdır. Bu çalışma sayaç gövde tasarımı olduğu için akış bozukluğuna neden olan, tesisat bağlantı elemanlarından ve sayaç gövde geometrisinden kaynaklanan hataları dikkate alarak bu etkileri minimuma indirecek tasarım yapılmıştır. Tesisat bağlantı elemanlarının ultrasonik sayaçlar üzerinde belirgin etkileri vardır. Dirsekler, boru daralmaları, vanalar gibi tesisat bağlantı elemanları ve aynı zamanda gövdenin geometrisi yani yansıtıcıların kullanılması gibi etkenler akış bozulmalarına, laminar ve türbülanslı akış geçişlerin ve re sirkülasyon alanların oluşmasına, hız profiline dağılmasına ve girdapların oluşmasına neden olur. Tüm bu etkenler suyun gerçek hız alanını ile teorik hız alanı arasında farklılıklara neden olur. Buda sayacın ölçüm hatalarının büyümesi ile sonuçlanır. Sayaçlar üretim aşamasında laboratuvarda kalibre masalarında kalibre edilerek üretilir. Lakin laboratuvar şartları sayacın çalışacağı ortamdaki şartlarda aynı olmaya bilmiyor. Tesisattan bağlantılardan kaynaklanan akış bozulmalarını düzeltmek için sayacın girişinden önce uzun düz borulara gerek vardır. Bazı araştırmalara göre bu borunun uzunluğunun 10D olması yeterli oluyor. Ama bazı uygulamalarda bu uzunluk bile yetmeyebiliyor. Diğer bir çözüm ise sayacın girişine akış şartlandırıcının monte edilmesidir. Akış şartlandırıcının amacı sayaçtan önce yeterli uzunlukta düz borular olmasa bile akışkanın sayaç gövdesine girerken akıştaki girdapları aradan kaldırmaya, tam gelişmiş hız profili oluşturmaya, türbülans etkilerini minimuma indirmeye çalışmasıdır. Akış şartlandırıcının tasarlanmasında önemli faktörlerden biri akış iyileştirmelerini minimum basınç kaybı ile yapmasıdır (Şekil 3).



Şekil 3.

- a) Etoile akış düzenleyici, b) Tube-bundle Akış düzenleyici, c) Zanker Akış şartlandırıcı,
d) Single perforated plate e) Westfall Modell 3000 akış düzenleyici

Akış yönünde ve tersi yönde ses dalgaları göndererek ölçüm yapan ultrasonik sayaçlar akışkanın ölçüm alanında hızın ortalama sabit değer olduğunu ve ses dalgası yolunun sabit olduğunu varsayar. Değişken bir akışkan alanında bu da ölçüm hatasına neden olur.

4. YAPILAN TASARIMLAR

Yapılan tüm UIS tasarımları FNF Teknoloji SAN.TİC.A.Ş bünyesinde yapılmıştır. Bazıları üretilmiş ve test edilmiştir. Firma Bünyesinde kullanılan mevcut DN15 çaplı ultrasonik ısı sayacının (şekil 8) ölçüm verilerinin yeterli olmadığı hem düşük su debilerinde hem de yüksek debilerde hata oralarının yüksek olması ve bu hataların sayaç gövde tasarımıdan kaynaklandığı için yeni UIS gövde tasarımı gerektirdi.

4.1. TASARIM 1

Mevcut gövde tasarımı yeni üretilecek UIS için gerekli olan düşük ($0.006-0.008 \text{ m}^3/h$) debide ölçüm yapamamaktadır. Bu kadar düşük debide ölçüm yapmak için mevcut tasarım modifiye edilerek sayaç gövdesinin giriş çapını ve ölçüm kanalı çapının düşürüldü. Giriş çapı 17 mm ölçüm kanalı çapı 8 mm düşürüldü. Bu yeni gövde (şekil 4) tasarım 1 düşük debide uygun hassasiyete yaklaşırsa de yüksek debilerde ölçüm hatalarının yükseldiği görüldü.

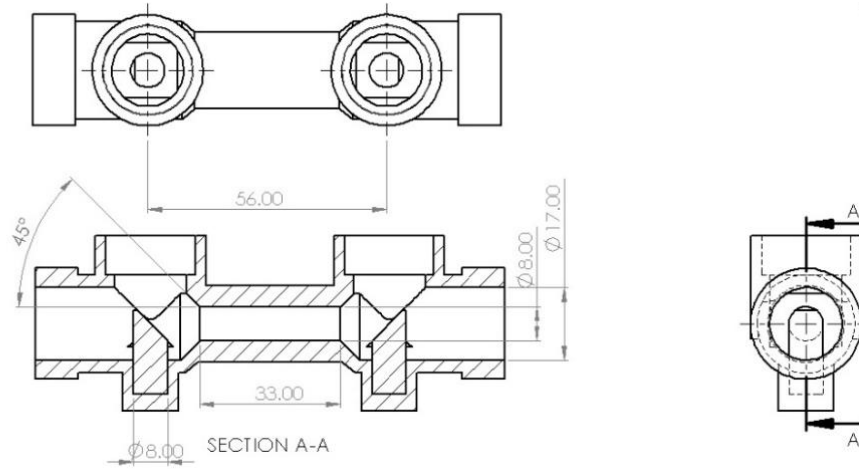
UIS gövde pirinç malzemeden yapılmış. İçinde ses dalgalarını yansıtmak için çapı 8 mm, merkezleri arasında mesafe 56 mm olan iki adet paslanmaz krom 303 malzemeden olan pimler kullanılmıştır. Sayaç gövdesi içinde akışı bozan esas neden yansıtıcılarıdır. Daha detaylı tasarım ölçüleri şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 4. FNF teknoloji dn 15 UIS gövdesi



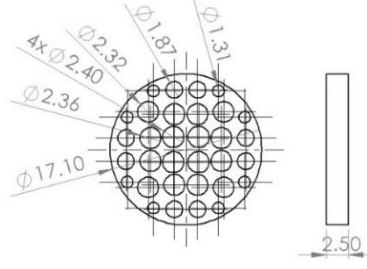
Şekil 5. Tasarım 1 DN 15 UIS gövdesi



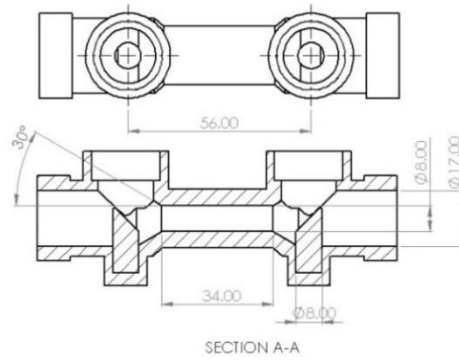
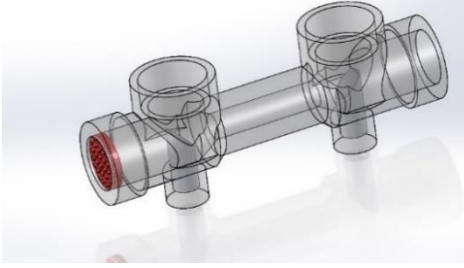
Şekil 6. Tasarım 1 teknik resmi

4.2. TASARIM 2

Firmada yendiden modifiye edilerek tasarlanan tasarım 1 nominal debide çalışırken türbülanslı akıştan dolayı hata oranların artmasının üzerine yeni bir tasarım gerekti. Aynı tasarım üzerinde değişiklik yaparak tasarım 2'yi yaptık. CAD tasarımını oluşturduktan sonra akış analizini yaptım. Gövde'nin giriş çapını ve ölçüm kanalı çapını aynı tutarak (17mm / 8 mm) ölçüm kanalına daralma çapını 30° yaptım. Ölçüm kanalına giriş açısının küçülmesinin nedeni akışın kanal daralmasından daha az etkilenmesidir. Tesisat bağlantılarından kaynaklanan akış bozulmalarını düzeltmek için sayacın girişine akış şartlandırıcı (AŞ) tasarladım (şekil 7). AŞ hem girdapların giderilmesinde ve hız prolinin düzeltilmesinde etkilidir. Tasarım 2' de de ses dalgalarını yansıtmak için aynı şekilde 8 mm çapında pslanmaz krom 303 öalzemedden yapılmış yansıtıcılar kullanılmaktadır. Yansıtıcıların merkezleri arası mesafe 56 mm. Daha detyalı ölçüleri ve teknik resöi şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 7. Akış şartlandırıcı



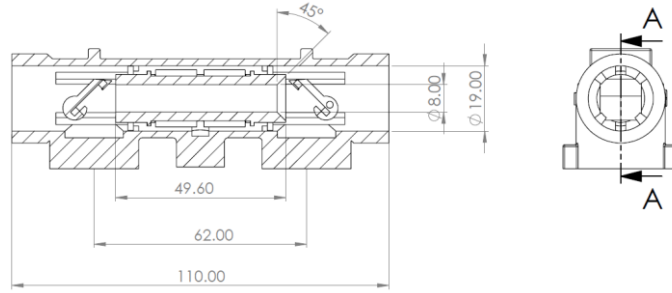
Şekil 8. Tasarım 2 CAD modeli ve teknik resmi

4.3. TASARIM 3

FNF teknolojide kullanılan diğer bir model ise tasarım 3'tür. Bu model diğer tasarımlardan farklı bir geometriye sahiptir. UIS gövde olan bu tasarım 3 parçadan oluşmaktadır. Metal gövde kısmı, ölçüm alanı olan plastik kanal ve bu kanalı metal gövde içinde kalmasını sağlayan diğer plastik tutucu kısım. Tasarım 3 yurt dışında kullanılmakta olan bir UIS gövdesine benzer bir tasarımı olan firma bünyesinde yapılmış bide modeldir (şekil 9). Yapılan tasarımda pirinç gövde iç çapı 19 mm , iş kısmındaki plastik tutucunun dış çapı 19 mm ve ölçüm alanı olan plastik kanalın iç çapı 8 mm ve daralma açısı 30° dir. Bu tasarımın ön nemli farklarında biri yansıtıcı aynalar olarak metal çubuk kullanılmamasıdır. Bunu yerine gövde içinde yansıtıcı olarak plastik tutucuda üzerine 1.5 mm kalınlığında paslanmaz 304 krom sac monte edilerek tasarlanmıştır (Şekil 10). Yansıtıcılar arası mesafe 62 mm olup bu tasarımın önceliklerden ayıran önemli bir özelliktir. Ses dalgası yolunun daha uzun olması daha iyi ölçüm almada avantaj sağlar.



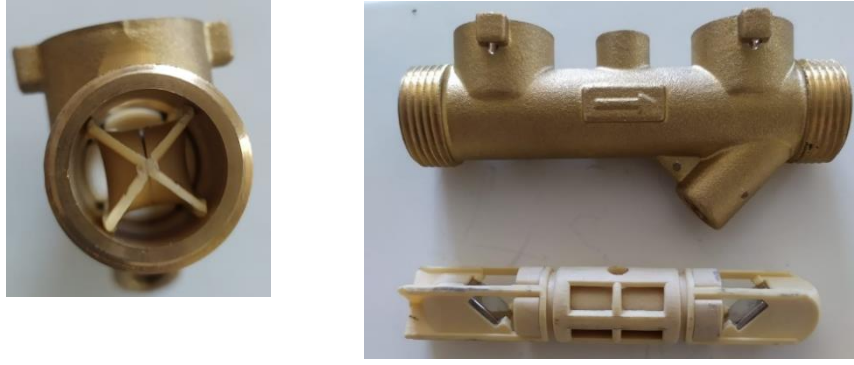
Şekil 9. Tasarım 3 gerçek görüntüleri



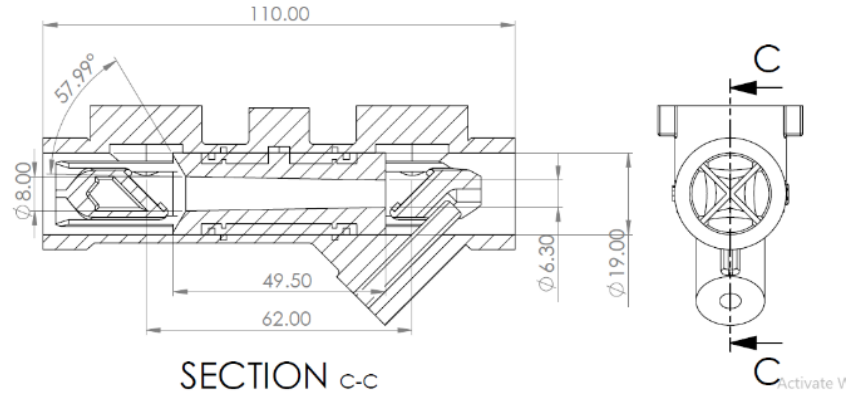
Şekil 10. Tasarım 3 Teknik Resmi

4.4 TASARIM 4

Tasarım 3'ün deney sonuçları nominal debide ($1.5 \text{ m}^3/\text{h}$) makul sonuçlar verse de yine de istenen düşük debilerde hata oranları istenen değerlere ulaşmadı. Bunun üzerine tamamen FNF Teknolojide tasarladığımız tasarım 4 (şekil 11) bir önceki tasarıma benzemekte ancak iç plastik ve dış metal gövde geometrisi tamamen farklı. Tüm akış analizleri inceledikten sonra prototip yapılmış ve deney sonuçları da analizlerde olduğu gibi iyi sonuçlar vermiştir. Bu UIS gövdesi tasarımıyla sayaç istenen minimum debide de ($0.06 \text{ m}^3/\text{h}$) makul ölçüm yapmaktadır. Plastik tutucu iç parçanın ön kısmının aerodinamik tasarımı akış bozulmalarını ve hız profilini düzelterek şekilde tasarlanmıştır. Dolayısıyla yüksek debilerde de daha iyi ölçüm yapmaktadır. Tasarım 3'de olduğu gibi yansıtıcı olarak metal çubuklar kullanılmamıştır. Bununla da gövde içinde akışın bozacak etkenler aradan kaldırılmıştır. Ses dalgalarını yansıtılması, plastik iç parçanın kendisinin üzerine yansıtıcı olarak krom sac monte edilerek sağlanır. Yansıtıcılar merkezleri arası mesafe 62 mm olmakta ve bu da önceki tasarımlara göre daha uzun ses yolu sağlayarak ölçüm hassasiyetini pozitif yönde etkilemektedir. Daha detaylı ölçüleri ve teknik resmi şekil 12 de verilmiştir. Tüm tasarımların karşılaştırılmalı özellikleri Tablo 2'de gösterilmiştir.



Şekil 11. Tasarım 4 gereç resimleri



Şekil 12. Tasarım 4 teknik resmi

Tablo 1. Yapılan tasarımların karşılaştırılması

	Tasarım 1	Tasarım 2	Tasarım 3	Tasarım 4
Giriş çapı (mm)	17	17	19	19
Ölçüm kanalı çapı (mm)	8	8	8	8 den 6.5' a küçülür
Daralma derecesi	45	30	45	
Yansıtıcılar arası mesafe (mm)	56	56	62	62
Tipi	8 mm metal çubuk yansıtıcı	8 mm metal çubuk yansıtıcı	Pastik iç aksamlar	Pastik iç aksamlar
Akış düzenleyici	Yok	Var	Yok	Kendi aerodinamik yapısında

5. SAYISAL MODELLEME

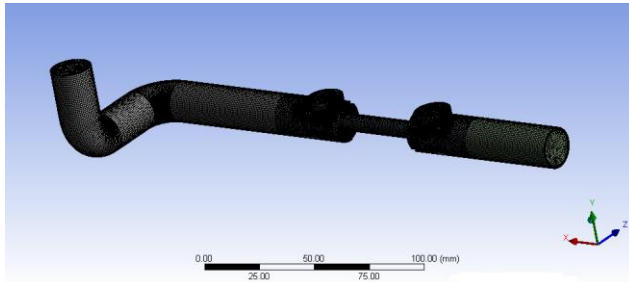
FNF teknoloji bünyesinde tasarladığımız UIS gövdesinin Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) kullanılarak sayısal modelleme ile akış analizleri yapılmıştır. Burada sunulan tüm analizler, simülasyonlar, Ansys Fluent paket programı kullanılarak yapılmıştır.

Analiz için kullanılan Ansys Fluent paket programında türbülans modeli olarak k-e realizible modeli seçilmiştir. Her tasarımın aynı sınır şartlarında analizi yapılmıştır. Giriş sınır şartı olarak ‘‘velocity inlet’’ seçilmiş ve girişteki hız (debi 1500L/h için) 1.83 m/san. Çıkış sınır şartı olarak ‘‘pressure outlet’’ seçilmiş ve etkin basınç 0.5MPa olarak ayarlanmıştır. Suyun yoğunluğu 50 derece sıcaklıktaki yoğunluğuna uygun olarak 983.3 kg/m³ ve dinamik viskozitesi ise 0.0047. olarak ayarlanmıştır. Girişte (Çapı 17 mm giriş borusun) Reynoldns sayısı 6 5741.5 türbülans intensity ise 3.9

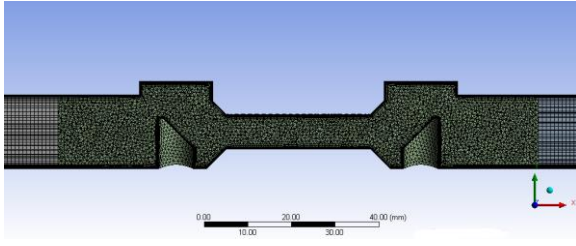
Türbülanslı akış yaratmak CAD gemotry’de sayacın önüne için çift 90 dereceli dirsek ve 3D uzunluğunda düz boru modellenmiştir (Şekil 13). Tesisatlarda,boru sistemlerinde dirsekler ve çift dirsekler en yaygın boru tertibatlarıdır. Ve bu boru tertibatları akış profilinde güçlü bozulmalar yarattıklarından birçok sayaç performansı üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. Tasarım 1’de ağ düğüm sayıları sırasıyla 347166 ve 791253 element sayıları ise 633356 olub tasarım 3 ve 4’ de ise düğüm sayısı sırasıyla 1163299 ve 193 6991ve element sayısı ise 2618593 ile 5725726 olmaktadır (Tablo 3).

Tablo 2 : Mesh detayları

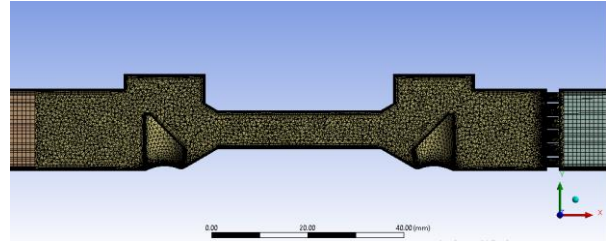
mesh			
	nodes	elements	
model1	347166	633356	
mdel 2	791253	1723001	
model3	1163299	2618593	
model4	1936991	5725726	
body size mesh		0.9	mm



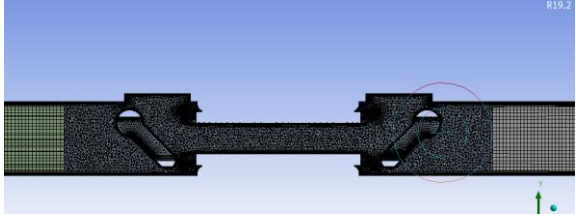
Şekil 13. Ansys CAD geometry



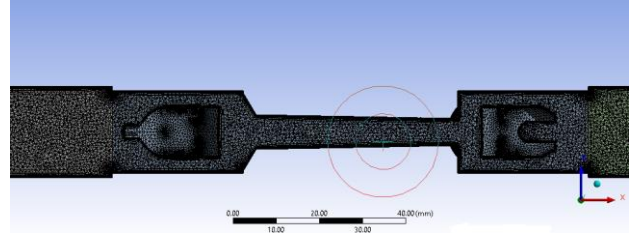
a)



b)



c)



d)

Şekil 14. Tüm tasarımlar ağ şekilleri

a) Tasarım 1

c) Tasarım 3

b)Tasarım 2

d)Tasarım 4

6. SONUÇLARIN İNCELENMESİ

Ansys Fluent’de yapılan analizde akış profili, hız dağılımı, akım çizgileri, hız vektörleri, akıştaki girdaplar ve türbülans şiddeti gibi veriler elde edilip incelenmiştir. Bu sonuçları görmek için geometrinin hem XY ekseninde ve YZ ekseninde düzlemler eklenmiştir. YZ ekseninde gövdenin ölçüm alanında yansıtıcıların merkezinden itibaren 6 eşit mesafeye bölünerek düzlemler eklenmiştir (şekil 15). Düzlem 1 giriş taraftaki yansıtıcının merkezinde, düzlem 6 ise çıkış taraftaki yansıtıcının merkezinden geçer. Basınç düşüşünü ölçmek için ise gövdenin giriş ve çıkışına da YZ ekseninde düzlem eklenmiştir.

**Şekil 15.** XY ekseninde düzlemler

6.1 Hız dağılımı

Sayacın ölçüm alanında hız dağılımının gövdenin merkezine göre simetrik olması istenir. Aşağıdaki Resimlerde her tasarım için YZ eksenindeki düzlemlerde hız dağılımları gösterilmiştir (Şekil 16 a).

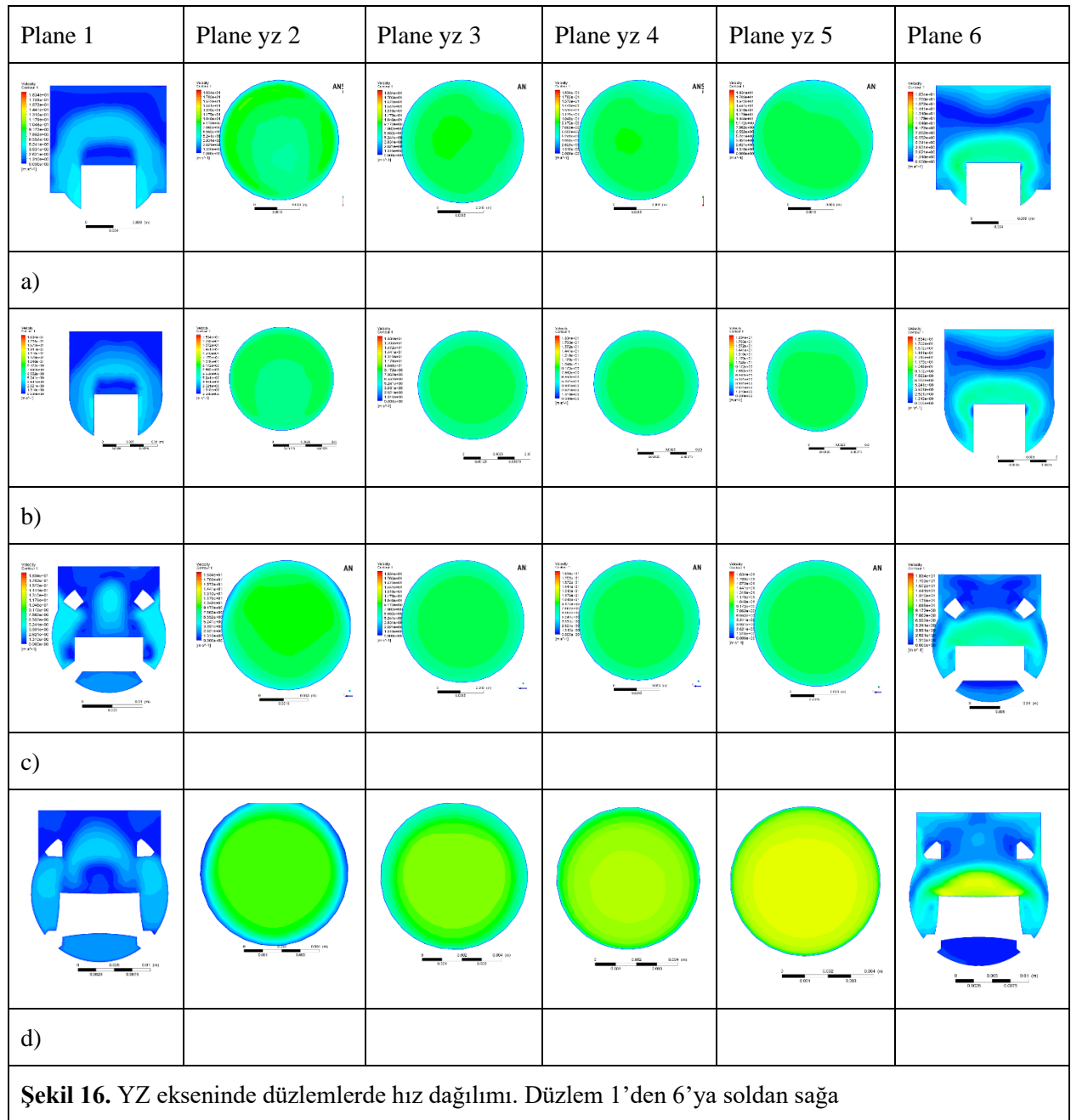
Tasarım 1’de simetrik olmayan hız dağılımı görülmektedir. XY eksenindeki gövdenin merkezinden geçen düzlemde hız dağılımı görüntüsü şekil 20 a’ da gösterilmiştir. Burada da hız dağılımının simetrik olmadığı ve giriş yansıtıcının üzerindeki ve ön kısımlarında hızın çok düşük olduğu görülmektedir.

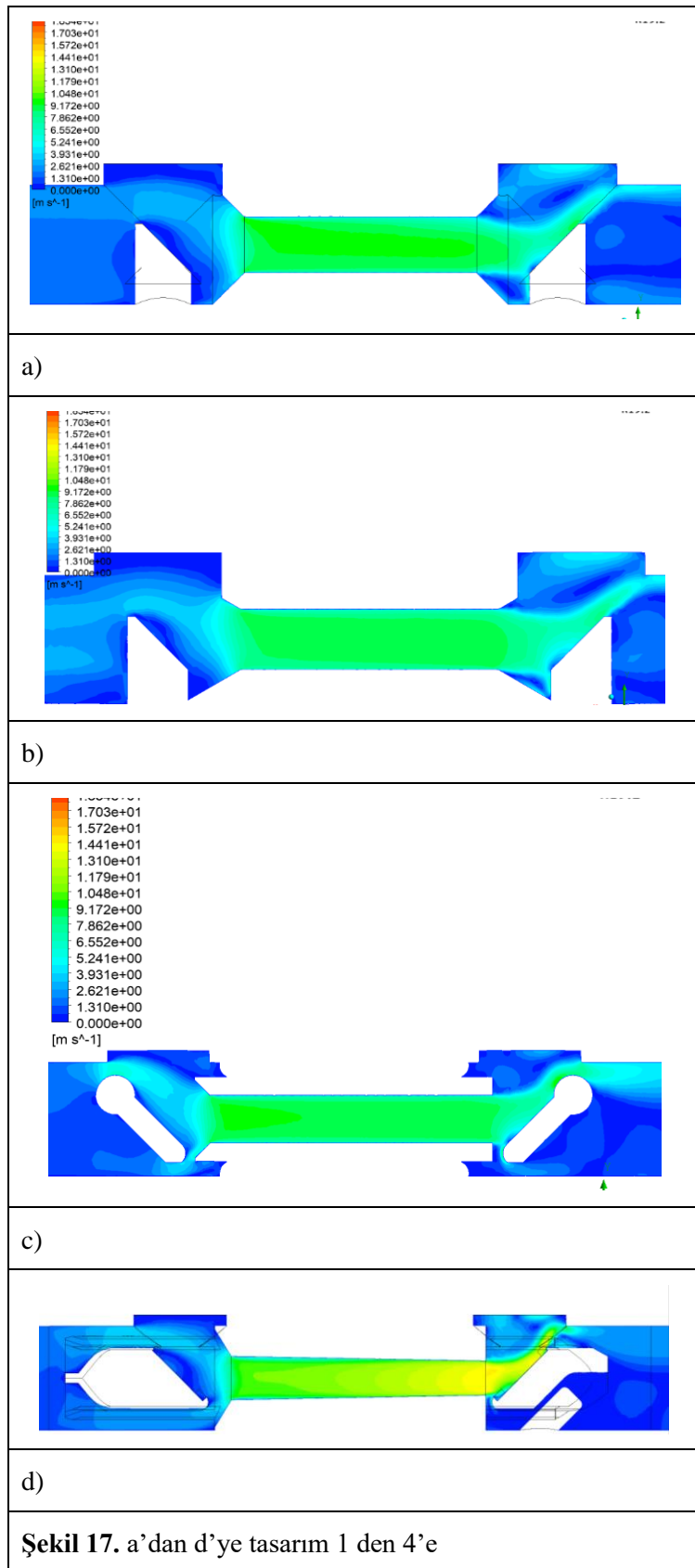
Tasarım 2 için YZ eksenindeki düzlemde hız dağılımları incelediğimizde tasarım 1’e göre yeniden CAD geometrisini tasarladığımız tasarım 2’de hız dağılımının önceki modele göre daha geliştiği görülmektedir.

yansıtıcıdan hem sonraki konum olan düzlem 2 hız dağılımının simetrik olmadığı görülmektedir. Düzlem 3'ten sonra hız dağılımı tasarım 1'den daha iyi sonuç göstererek daha simetrik hız dağılımına ulaşmıştır.

Tasarım 3'ün YZ eksenindeki düzlemlerde hız dağılımı inceliginde önceki tasarımlara göre daha gelişmiş akış görülmektedir. Düzlem 2 de giriş yansıtıcıdan hemen sonraki düzlem olduğundan burada tam simetrik bir hız dağılımı oluşmamaktadır. Yalnız tasarım 1 ve 2'ye göre daha simetrik bir hız dağılımı vardır. Çıkış yansıtıcıya kadar olan diğer düzlemlerde simetrik bir hız dağılımı görülmektedir. XY eksenindeki düzlemdeki hız dağılımı incelendiğinde Hız dağılımının akış ölçüm kanalı boyunca nerdeyse simetrik hız dağılımı vardır.

YZ ekseninde eklediğimiz düzlemlere baktığımızda ölçüm alanında olan her 3 düzlemde de simetrik hız dağılımı görülmektedir. Yansıtıcıdan hemen sonraki düzlemde bile hız dağılımının simetrik olup en iyi hız dağılımı sonucu Tasarım 4'te inceliyoruz. XY ekseninde boru merkezinden geçen düzlemde de hız dağılımını incelediğimiz zaman yine bu düzlemde de h en iyi sonucu veren tasarım olduğunu görüyoruz.

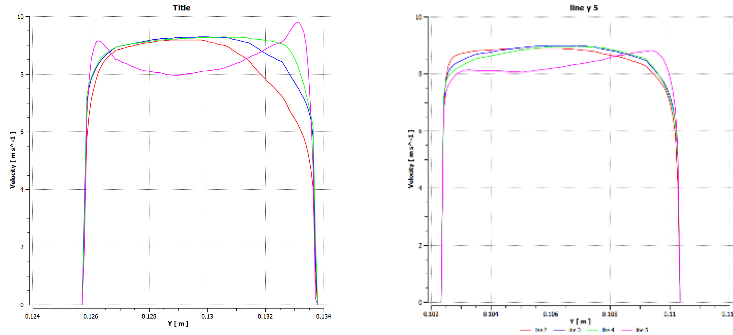




6.2 Hız profili

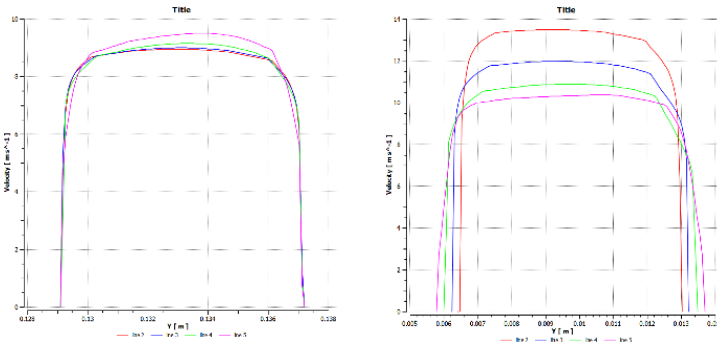
Akıшта Türbülanslı dalgalanmalarını görmek için hız profillerini inceleyeceğiz. Her tasarım için yz eksenin eklediğimiz konumlarda düzlemin ortasından geçen, y yönünde düz çizgiler atılmıştır. Bu çizgiler üzerinde deki noktalardan elde edilen verilerden hız profilleri çıkarılmıştır (Şekil 18).

Akış ölçümü için boru içindeki türbülanslı akışın hız profilinin tam gelişmiş Türbülanslı akış profili olması istenir. Tasarım 1'in hız profilleri incelendiğinde (şekil 18'a) düzlem 1'de türbülans dalgalanmalı hız profili gözükmemektedir. Diğer düzlemlerde de hız profili tam gelişmiş hız profili olmadığı görüyoruz. Tasarım 2'de (şekil 18 b) giriş yansıtıcıdan hemen sonraki düzlem 2'de hız profilin dalgalanmalı olduğu ama diğer düzlemlerde tasarım 1'e göre daha düzgün hız profili görülmektedir. Tasarım 3 ve 4'ü izlediğimiz zaman tam gelişmiş türbülanslı hız profiline yakın sonuçlar görülmektedir.



a)

b)



c)

d)

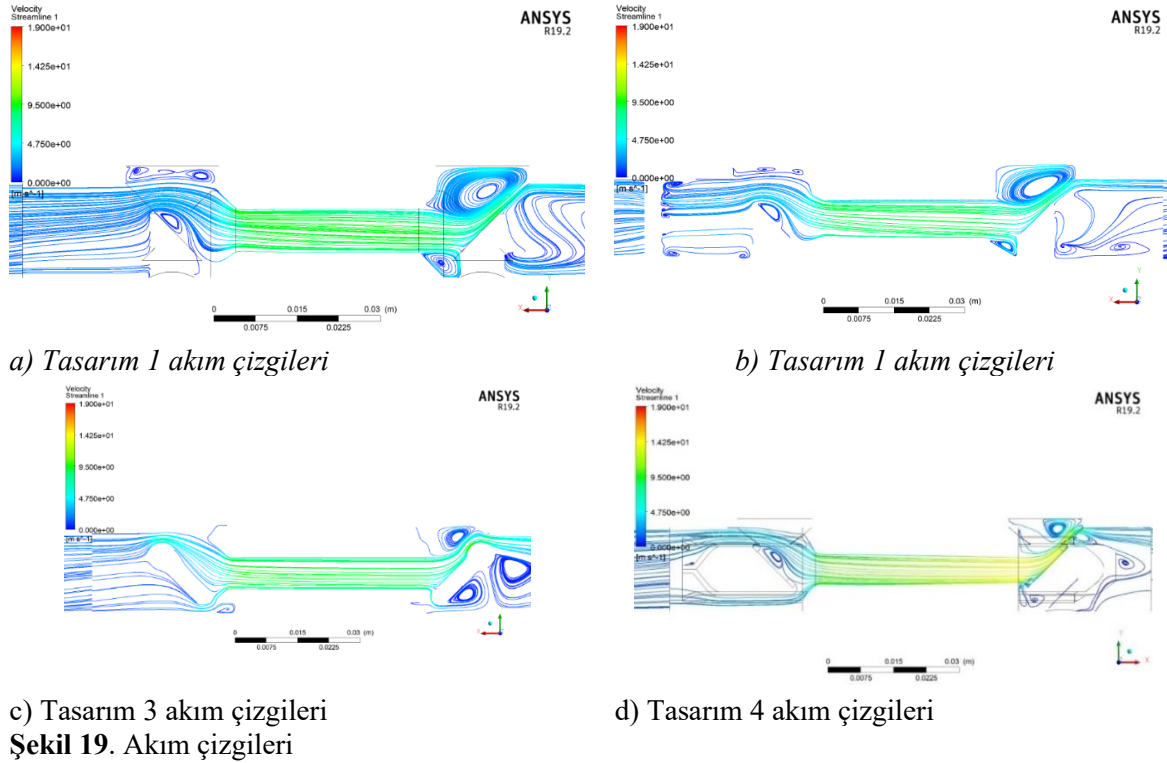
Şekil 18. Tasarımların hız profili.
Pembe renkli çizgiler düzlem 2

Mavi renkli çizgiler düzlem 4
Kırmızı renkli çizgiler düzlem 5
Yeşil renkli çizgiler düzlem 3

6.3 Akım çizgileri

Akım çizgileri hız vektörlerinin daimi teğet olduğu anlık eğridir. İki akım çizgisi arasındaki geçiş debi bu akım çizgileri arasındaki farka eşittir. Akım çizgilerinin sık olduğu yerler hızın arttığı yerlerdir. Akım çizgilerini inceleyerek akış ayrılmalarını ve devridaim (resirkülasyon) bölgelerini görebiliriz (Şekil 19). Devridaim bölgelerinin oluşması sayaç ölçümünü olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle tasarlanan sayaç gövdelerinde minimum devridaim bölgesi olması istenir.

Tasarım 1 akım çizgilerini incelediğimizde (şekil 19 a) giriş yansıtıcın üzerinde devridaim bölgelerinin oluştuğunu göre biliriz. Ve UAS hücresinde de aynı şekilde devridaim bölgesi gözükmemektedir. Tasarım 2'de (şekil 19 b) de giriş yansıtıcın üzerinde ve UAS hücresinde devridaim bölgeleri oluşmaktadır. Tasarım 3 geometrisinin farklı olması e yansıtıcıların akışı daha az bozmasından dolayı burada devridaim bölgesi oluşmamaktadır. Tasarım 4'de ise giriş yansıtıcının üzerinde az seviyede devridaim bölgesi oluşmaktadır.



Şekil 19. Akım çizgileri

5.5 Türbülans yoğunluğu (turbulence intensity)

Türbülansı türbülans yoğunluğu (I) olarak ölçeriz. Buda bize hangi tasarımda Türbülansın daha yüksek olduğuna dair bilgi verir. Aşağıdaki formüller kullanılarak tasarladığımız sayaç gövdeleri içindeki akışta Türbülans yoğunluğunu hesaplayabiliriz.

$$I = \frac{u'}{U} \quad (4)$$

Burada u' türbülanslı hız dalgalanmalarının (çalkantı) karekök ortalamasıdır ve U ortalama hızı ifade eder.

$$u' = \sqrt{\frac{1}{3}(u_x'^2 + u_y'^2 + u_z'^2)} \quad (5)$$

Eğer türbülans kinetik enerjisi (TKE) (k)biliniyor ise u'

$$u' = \sqrt{\frac{2}{3}k} \quad (6)$$

Yazıla bilir.

Ortalama hız olan U ortalama hız bileşenleri olan U_x , U_y ve U_z 'den aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$U = \sqrt{U_x^2 + U_y^2 + U_z^2} \quad (7)$$

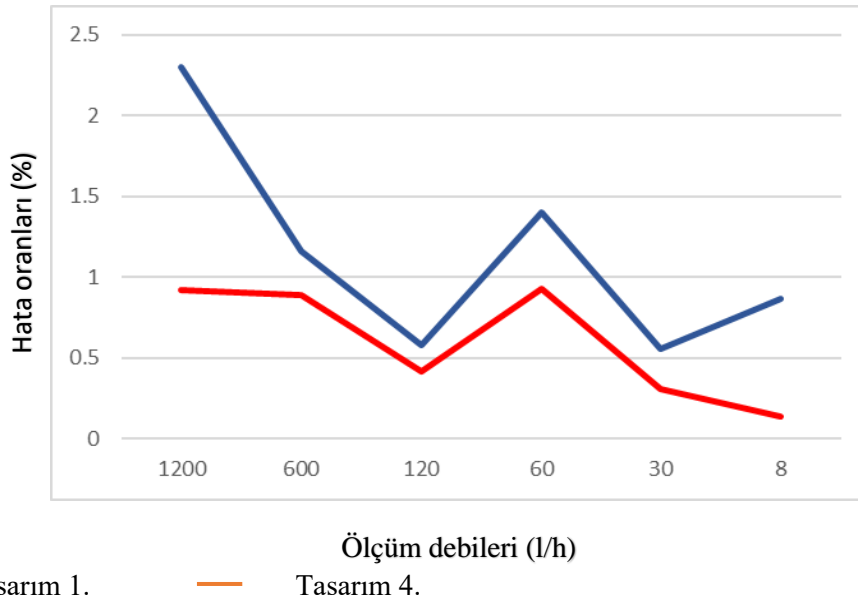
Her tasarımda YZ ekseninde oluşturduğumuz düzlemlerde (1) formülünden Türbülans Yoğunluğunu hesapladık. Bunun için önce formül (2)'den TKE enerji kullanarak türbülans hız çalkantılarını (u') hesapladık, daha sonra bu değeri o düzlemdeki ortalama hıza bölerek (1) TY bulduk. Her tasarım için hesapladığımız TY sonuçları Tablo 3' de verilmiştir. En düşük sonuçlar tasarım 4 de görülmektedir.

Tablo 3. Türbülans yoğunluğu sonuçları

Düzlem 3				
	k	U	u'	I
Tasarım 1	0.816225	8.3703	0.737665	8.81
Tasarım 2	0.655908	8.2746	0.661265	7.99
Tasarım 3	1.15735	8.33175	0.878389	10.54
Tasarım 4	0.742046	9.6936	0.703347	7.26
Düzlem 4				
	k	U	u'	I
Tasarım 1	0.574518	8.36019	0.61888	7.40
Tasarım 2	0.476821	8.27577	0.563809	6.81
Tasarım 3	0.714551	8.33083	0.690194	8.28
Tasarım 4	0.565451	11.0027	0.613977	5.58
Düzlem 5				
	k	U	u'	I
Tasarım 1	0.454559	8.35656	0.55049	6.59
Tasarım 2	0.375811	8.27304	0.50054	6.05
Tasarım 3	0.490963	8.32489	0.572109	6.87
Tasarım 4	0.450672	12.5848	0.548131	4.36

7. DENEY SONUÇLARI

Akış analizleri yapılan tasarımlar daha sonra FNF Teknoloji firma bünyesinde Test kalibrasyon tezgâhlarında her tasarım için 16 örnek için deneyler yapılmıştır. Her tasarım için 6 farklı debide 50 derece su sıcaklığında deneyleri testlere tabi tutulmuş daha sonra bu test sonuçlarına göre kalibre edilmiştir. Deney sonuçlarından da görüldüğü gibi en düşük hata sonuçları tasarım 4 de görülmektedir.



Şekil 20. Tasarım 1 ve Tasarım 4 için test sonuç grafikleri

8. SONUÇ VE İRDELEME

UIS Ultrasonik ölçüm prensibi ile çalışan ısı sayacıdır. Bu ölçüm prensibi ile çalışan sayaçlar önceki bölümlerde de söylediğimiz gibi bir çok avantajları vardır. Bunun yansira bu sayaçlar akış bozulmalarından etkilenmekte ve sayaçta büyük hatalara neden olmaktadır. Çalışmamızda Tesisat bağlantı elemanlarından kaynaklanan akış bozulmalarını düzenleyecek ve kendi aerodinamik yapısı ile akışı en az şekilde etkileyecek tasarımlar yapıldı ve FNF TEKNOLOJİ firma bünyesinde DN15 UIS sayaçları tasarımı yapılmış ve deney testleri yapılmıştır (Tablo 4).

Tüm analiz ve kalibrasyon testlerinden elde edilen verilere göre en iyi sonuçlar Tasarım 4' de görülmektedir. Tasarım 4'ün aerodinamik yapısı akış bozulmalarını minimuma indirecek şekilde tasarlanmış ve akış düzenleyici giriş geometrisi sayesinde tesisat bağlantılarından kaynaklanan akış bozulmaları düzeltilmektedir. Yüksek debide ve daha düşük debilerde de hassas ölçüm yapma bilmesi, üretim kolaylığı ve üretim işçiliğinin daha az olması önemli avantajlarındandır.

KAYNAKLAR

1. Francis J. Weber, Jr. (2003), "Ultrasonic Beam Propagation in Turbulent Flow", a Dissertation Submitted to the Faculty of Worcester Polytechnic Institute
2. Neil Colin T. (2002), "Optimisation of an Ultrasonic Flow Meter Based on Experimental and Numerical Investigation of Flow and Ultrasound Propagation", A thesis submitted in fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, University of New South Wales
3. A. Hilgenstock ve R. Ernst (1996), "Analysis of installation effects by means of computational fluid dynamics", Dorsten, Germany
4. S. Foad Mousavi ve S. Hassan Hashemabadi (2020), "Calculation of Geometric Flow Profile Correction Factor for Ultrasonic Flow Meter Using Semi-3D Simulation Technique", Ultrasonic dergisi, <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2020.106165>
5. T. Strunz, A. Wiest, A. Fleury Ve T. Fröhlich (), "Influence Of Turbulence On Ultrasonic Flow Measurements", Endress + Hauser Flowtec AG, 4153, Reinach, Switzerland , torsten.strunz@flowtec.endress.com
6. Ei Muramatsua, Hideki M. Daiki H. Katsumi S. Hitoshi A. Sanehiro W. Noriyuki F. (2018), "Applicability of hybrid ultrasonic flow meter for wide-range flow-rate under distorted velocity profile conditions", Experimental Thermal and Fluid Science Dergisi, <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2018.01.032>
7. LIU Yong-hui, DU Guang-sheng, TAO Li-li ve SHEN Fang (2010), "The Calculation Of The Profile-Linear Average Velocity In The Transition Region For Ultrasonic Heat Meter Based On The Method Of Les", School of Energy and Power Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China
8. Alexander Y. G. Mikhail G. Yuri G. G. ve Armando M. L. (2017), "Synthetic turbulence modeling for evaluation of ultrasonic cross-correlation flow measurement", Flow Measurement and Instrumentation Dergisi, <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2017.12.013>
9. A.Weissenbrunner, A.Fiebach, S.Schmelter, M.Bär, P.U.Thamsen ve T.Lederer (2016), "Simulation Based Determination Of Systematic Errors Of Flowmeters Due To Uncertain In Flow Conditions", Flow Measurement and Instrumentation Dergisi, <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> , Berlin, Germany
10. SHI Shuo, SUN Jian-ting, Guang-sheng ve ZHANG Min (2015), "Numerical Study Of Impurity Distribution In Ultrasonic Heat Meter Body" , China
11. B. Iooss, C. Lhuillier ve H. Jeanneau (2002), "Numerical Simulation Of Transit-Time Ultrasonic Flowmeters: Uncertainties Due To Flow Profile And Fluid Turbulence", Elsevier Science dergisi, France
12. A. Hallangera, C. Saetrea ve K.E. (2018), "Flow Profile Effects Due To Pipe Geometry In An Export Gas Metering Station Analysis By CFD Simulations", Flow Measurement and Instrumentation Dergisi, <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2018.03.015> , Norway

13. Yong Chen, Yiyong Huang ve Xiaoqian Chen (2012), “Acoustic Propagation In Viscous Fluid With Uniform Flow And A Novel Design Methodology For Ultrasonic Flow Meter”, Ultrasonic dergisi, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultras.2012.10.005> , China
14. FNF TEKNOLOJİ <https://www.fnfteknoloji.com/>



RENEWABLE ENERGY DEVELOPMENT IN TURKEY AND ITS POTENTIAL TO HELP COMBAT CLIMATE CHANGE

Sırrı UYANIK

KTO Karatay University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Energy Management, Konya, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-9455-2986

Ayşegül UÇKUN ÖZKAN

KTO Karatay University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Energy Management, Konya, Turkey
ORCID ID: 0000-0001-8430-9686

Abstract

Primary energy consumption is increasing day by day due to Turkey's growing population, rapid urbanization and rapid economic growth. A large part of the energy need is provided from fossil fuels. This causes approximately 73% of Turkey's total energy consumption to be met through imports. In this respect, renewable energy is very important for a country like Turkey that meets its energy needs generally with imported fossil energy sources, and therefore, its dependence on foreign energy reaches serious dimensions. Therefore, Turkey should determine a low-carbon and climate-compatible development model. This may be possible with more investment in renewable energy in electricity generation, and then with a gradual transition towards carbon-free energy sources in transportation, industry and domestic-building heating systems. Therefore, Turkey's energy policy is based on basic objectives such as ensuring resource diversification by giving priority to domestic resources, increasing the share of renewable energy resources in energy supply, increasing energy efficiency, and taking measures to reduce the risks arising from energy imports. Because, one of the most important steps that can be taken in the fight against climate change is to reduce CO₂ emissions. The way to do this is to increase the use of renewable energy. At the same time, it is not possible to transition to low-carbon development policies without increasing the use of renewable energy. The fight against climate change, which is emphasized in the 11th Development Plan (2019-2023), is directly related to energy efficiency, increasing electricity production from renewable energy sources and sustainable environment vision. In this direction, renewable energy is encouraged in Turkey with support mechanisms such as YEKDEM and YEKA. Turkey, which has an important potential in terms of renewable energy, ranks 4th in the world with its geothermal energy total capacity and 10th with its hydroelectric capacity. Despite the COVID-19, more than 260 GW of renewable energy capacity was added globally in 2020, reaching 2,799 GW. Turkey has a share of 1.76% of the global renewable power capacity with a total renewable energy capacity of 49 GW. There is significant potential for renewable energy in Turkey and it can play a key role in the fight against climate change.

Keywords: Turkey, renewable energy, climate change

INTRODUCTION

Climate change poses the greatest threat to humanity. The average temperature of the earth increased by 0.85°C from 1880 to 2012. It has been revealed that if the current increase rate of greenhouse gas emissions continues, the temperature increase may reach 4°C in 2060 and 6°C in 2100. In order to prevent this, the target of limiting the temperature increase to 2°C has been determined with the Paris Agreement (Yeldan vd., 2015). For this reason, there is a reality and danger defined as "climate change" on the world's agenda. Therefore, climate policies are also the main starting point and accelerator of the energy transformation issue. Turkey has taken its place as a part of this process and has made great progress in the field of renewable energy by using support mechanisms.

Turkey's energy policy is basically based on the following objectives:

- Ensuring resource diversification by giving priority to domestic resources,
- Increasing the share of renewable energy sources in energy supply,

- Increasing energy efficiency,
- Ensuring free market conditions to function properly and improving the investment environment,
- Ensuring resource diversity in oil and gas fields and taking measures to reduce the risks arising from imports,
- Making Turkey an energy corridor and terminal by effectively using our geostrategic position within the framework of regional cooperation processes in the field of energy

Primary energy consumption is increasing day by day due to Turkey's growing population, rapid urbanization and rapid economic growth. Turkey's primary energy consumption constitutes 1% of the world's primary energy consumption. Total energy consumption, which was 78.3 mtoe in 2000, increased to 155 mtoe in 2019. Oil (31.2%) meets most of the energy need, followed by coal (26.1%) and natural gas (24%). Turkey's electricity production in 2019 is 308.5 terawatt hours. Approximately 56% of electricity production is provided from fossil fuels, which are natural gas, coal and oil. On the other hand, hydroelectricity has a significant share of 28.9% in electricity generation, as illustrated in Figure 1. Turkey meets about 73% of its total energy consumption through imports (99.09% of natural gas and 94.6% of crude oil consumption through imports). Natural gas imports, which were 45.207 billion m³ in 2019, increased by 6.45% and reached 48.125 billion m³ in 2020 (Energy Market Regulatory Authority (EMRA), 2021). In this respect, renewable energy is very important for a country like Turkey that meets its energy needs generally with imported fossil energy sources, and therefore, its dependence on foreign energy reaches serious dimensions.

Figure 1: Turkey's Energy and Electricity Production by Source as of 2019

Primary energy consumption by source	mtep	%	Electricity consumption by source	Terawatt hour	%
Oil	48,4	31,2	Oil	0,2	0,06
Gas	37,2	24	Gas	58,1	18,8
Coal	40,6	26,1	Coal	114,6	37,1
Hydroelectric	18,8	12,1	Hydroelectric	89,2	28,9
Renewables	9,7	6,3	Renewables	45,3	14,6
Total	155	100	Total	308,5	100

Source: (BP Statistical Review of World Energy, 2020).

One of the most important steps that can be taken in the fight against climate change is to reduce carbon dioxide emissions. The way to do this is to increase the use of renewable energy. At the same time, a transition to low-carbon development policies is unlikely without increasing the use of renewable energy. The fight against climate change, which is emphasized in the articles 7, 157, 489.2 and 491 within the scope of the Eleventh Development Plan (2019-2023), prepared by the Presidency of the Republic of Turkey Strategy and Budget Department, is directly related to the vision of energy efficiency, increasing electricity production from renewable energy sources and sustainable environment. In this direction, renewable energy is encouraged in our country through support mechanisms such as the Renewable Energy Resources Support Mechanism (YEKDEM) and the Renewable Energy Resource Area (YEKA).

The remainder of the article is organized as follows. Section 2 gives some information about the renewable energy developments in the World and Turkey. Section 3 focuses on the renewable energy and climate change. Section 4 contains Turkey's goals and the contribution of renewable energy in achieving these goals. Section 5 contains the concluding remarks.

2. RENEWABLE ENERGY DEVELOPMENTS IN THE WORLD AND TURKEY

Renewable energy installed capacity in the World has increased almost 4-fold from 2000 to 2020. 34, 1 is the share of renewable energy capacity in total electricity production capacity as of 2019. Additionally, renewable energy has 28,6% share in total power generation as of 2020 (Figure 2).

Figure 2: World's Total Renewable Energy Development

Years	Renewable energy capacity		Renewable power generation	
	Million kW (installed capacity)	Share in total electricity production capacity (%)	TWh	Share of renewable energy in total power generation (%)
2000	738	21,3	2986,1	19,1
2001	757	21,2	2923,1	18,5
2002	781	21	3002,4	18,3
2003	811	21	3031	17,9
2004	839	21	3258,6	18,3
2005	871	21,1	3403,1	18,4
2006	915	21,2	3559,3	18,5
2007	964	21,4	3673,6	18,3
2008	1,026	22	3926,6	19,2
2009	1,106	22,7	4004,2	19,7
2010	1,189	23,3	4344	20,1
2011	1,292	24,2	4557,9	20,4
2012	1,403	25,2	4866,6	21,3
2013	1,524	26,3	5189,3	22,1
2014	1,659	27,6	5463	22,7
2015	1,809	28,8	5671,1	23,3
2016	1,975	30	6086,6	24,4
2017	2,147	31,4	6466,4	25,2
2018	2,320	32,6	6875,5	25,7
2019	2,501	34,1	7233,8	26,7
2020	2,766	-	7675,6	28,6

Source: Power generation data from BP Statistical Review of World Energy, 2020; capacity data from Energy Information Administration, 2021.

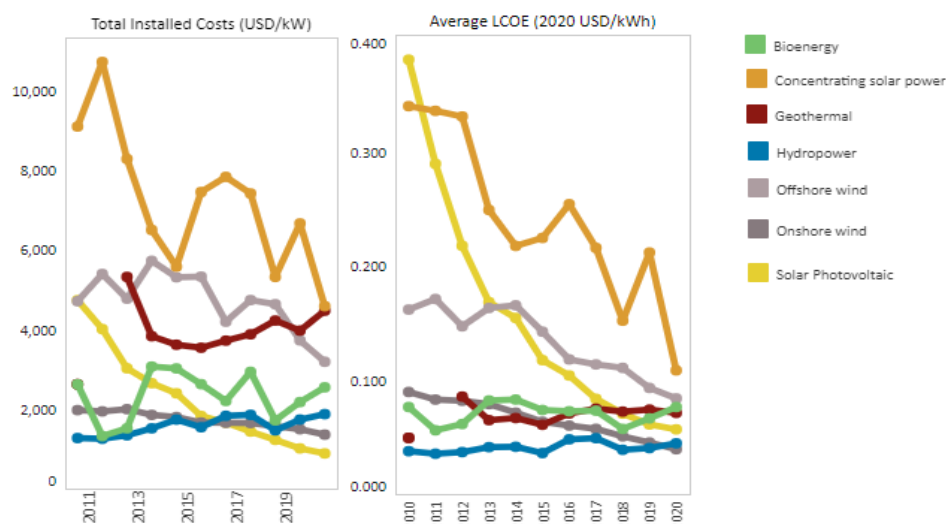
Figure 3 shows the history of renewable energy generation by source in the World. While electricity generation from hydroelectric has increased 1,6-fold from 2652 TWh in 2000 to 4296,8 TWh in 2020, electricity generation from wind and solar has increased 50,6-fold and 778-fold, respectively. Despite such a rapid increase in electricity generation from the solar power, it has the least share of the three sources.

Figure 3: Renewable Electricity Generation (TWh) by source in the World

	Hydroelectric	Wind	Solar	Geothermal, Biomass and Other
2000	2652,0	31,4	1,1	186,0
2001	2583,9	38,4	1,4	191,8
2002	2631,8	52,3	1,8	206,3
2003	2627,6	62,9	2,3	217,9
2004	2820,7	85,1	3,0	235,2
2005	2916,4	104,1	4,2	254,5
2006	3027,7	132,9	5,7	271,6
2007	3079,3	170,7	7,8	294,7
2008	3257,4	220,6	12,6	315,3
2009	3252,5	276,0	20,9	338,8
2010	3435,8	346,5	33,7	381,0
2011	3501,1	440,4	65,2	402,6
2012	3649,8	530,6	101,2	436,2
2013	3795,9	635,5	138,9	471,1
2014	3894,2	705,8	197,8	510,5
2015	3885,0	831,4	256,4	546,6
2016	4018,7	962,2	328,4	560,7
2017	4066,7	1140,3	446,1	593,8
2018	4176,7	1269,5	577,0	632,2
2019	4227,9	1418,2	707,9	663,1
2020	4296,8	1591,2	855,7	700,1

Source: BP Statistical Review of World Energy, 2020.

“Renewable power generation costs have fallen sharply over the past decade, driven by steadily improving technologies, economies of scale, competitive supply chains and growing developer experience” (IRENA, 2019: 11), as we can see in the Figure 4. These cost reductions are promising, because there is a reality that replacing existing 500 gigawatt coal plants (with the highest operating costs) with new solar PV and onshore wind will provide to reduce annual system costs by up to 23 billion USD per year. Besides, this replacement will reduce annual CO₂ emissions by approximately 1.8 gigatons, and provide an incentive worth \$940 billion, or about 1% of global GDP (IRENA, 2019). Solar photovoltaics (PV) had the most cost reductions at 82% between 2010 and 2019. After PV, the biggest cost reductions are as follows: concentrating solar power (CSP) at 47%, onshore wind at 40% and offshore wind at 29%. “Electricity costs from utility-scale solar PV fell 13% year-on-year in 2019, reaching USD 0.068 per kilowatt-hour (kWh). For projects commissioned in 2019, the global weighted-average LCOE of onshore and offshore wind both declined about 9% year-on-year, reaching USD 0.053/kWh and USD 0.115/kWh, respectively. Costs for CSP – still the least-developed among solar and wind technologies – fell 1% to USD 0.182/kWh” (IRENA, 2019: 12), as illustrated in Figure 4.

Figure 4: Variation of the Levelized Cost of Energy (LCOE) and Total Installed Costs


Source: International Renewable Energy Agency (IRENA), 2021.

Renewable energy installed capacity in Turkey has increased almost 4-fold from 2000 to 2020. 51,7 is the share of renewable energy capacity in total electricity production capacity as of 2019. Additionally, renewable energy has 42,3 % share in total power generation as of 2020 (Figure 5). In terms of both the share of renewable energy capacity in total electricity production capacity and share of renewable energy in total power generation, the development of renewable energy is undeniably admirable.

Figure 5: Turkey's Total Renewable Energy Development

Years	Renewable energy capacity		Renewable power generation	
	MW (installed capacity)	Share in total electricity production capacity (%)	TWh	Share of renewable energy in total power generation (%)
2000	11288	40,7	31	24,8
2001	11786	42,8	24,1	19,6
2002	12360	37,5	33,8	26,1
2003	12695	36,1	35,5	25,2
2004	12743	36,1	46,2	30,6
2005	13004	33,3	39,7	24,5
2006	13234	31,7	44,5	25,2
2007	13655	34,1	36,4	18,9
2008	14329	33,3	34,4	17,3
2009	15529	35,5	38,1	19,5
2010	17369	36,1	55,6	26,3
2011	19086	37,2	58,1	25,3
2012	22186	40,7	65,2	27,2
2013	25551	42,6	69,2	28,8
2014	27940	42,4	52,6	20,8
2015	31516	45,7	83,6	31,9
2016	34446	46,6	90,2	32,8
2017	38746	48,1	87,2	29,3
2018	42230	49,4	97,7	32
2019	44587	51,7	132,2	43,5
2020	49398	-	129,2	42,3

Source: Installed capacity from IRENA, 2021; power generation data from BP Statistical Review of World Energy, 2020; capacity data from Energy Information Administration, 2021.

Figure 6 shows the historical evolution of renewable energy installed capacity by source in Turkey. While hydroelectric installed capacity has increased 2,7-fold from 11175 MW in 2000 to 30984 MW in 2020, installed capacity of wind, biogas and geothermal has increased 464-fold, 187-fold, and 90-fold, respectively. Solar power installed capacity has increased from 0,1 MW to 6668 MW in 2020.

Figure 6: Renewable Energy Installed Capacity (MW) by Source (Turkey)

	Hydroelectric	Wind	Solar	Biogas	Geothermal
2000	11175	19	0,1	4	18
2001	11673	19	0,3	4	18
2002	12241	19	0,6	9	18
2003	12579	19	1	9	15
2004	12645	19	2	9	15
2005	12906	21	2	9	15
2006	13063	59	3	14	23
2007	13395	146	3	16	23
2008	13829	364	4	33	30
2009	14553	792	5	55	77
2010	15831	1320	6	71	94
2011	17137	1729	7	89	114
2012	19609	2261	12	132	162
2013	22289	2760	19	162	311
2014	23643	3630	41	204	405
2015	25868	4503	250	252	624
2016	26681	5751	834	297	821
2017	27273	6516	3422	376,5	1064
2018	28291	7005	5064	438,5	1238
2019	28503	7591	5996	534	1515
2020	30984	8832	6668	748	1613

Source: IRENA, 2021.

Figure 7 shows the history of renewable energy generation by source in Turkey. While electricity generation from hydroelectric has increased 2,8-fold from 30879 GWh in 2000 to 88823 GWh in 2020, electricity generation from wind, biogas and geothermal has increased 658-fold, 123,7-fold, and 117,7-fold, respectively. Electricity generation from solar power has increased from 1 GWh in 2002 to 9253 GWh in 2019.

Figure 7: Renewable Electricity Generation (GWh) by source (Turkey)

	Hydroelectric	Wind	Solar	Biogas	Geothermal
2000	30879	33	-	21	76
2001	24010	62	-	24	90
2002	33683	48	1	26	105
2003	35330	61	1	31	89
2004	46084	58	2	30	93
2005	39561	59	3	29	94
2006	44244	127	4	35	94
2007	35851	355	4	70	156
2008	33270	847	5	118	162
2009	35958	1495	7	222	436
2010	51795	2916	8	296	668
2011	52339	4724	10	327	694
2012	57865	5861	17	559	899
2013	59420	7558	29	844	1364
2014	40645	8520	20	1047	2364
2015	67146	11652	197	1208	3425
2016	67231	15517	1046	1560	4819
2017	58218	17904	2892	1781	6127
2018	59938	19949	7803	2159	7431
2019	88823	21731	9253	2598	8952

Source: IRENA, 2021.

3. RENEWABLE ENERGY AND CLIMATE CHANGE

It is an undeniable fact that there has been a global warming as a result of greenhouse gas emissions, especially as a result of the use of fossil fuel-based energy, and that this has changed the climate, and that climate change has brought a series of problems from food security to water and energy security, ultimately threatening life and the future of humanity. For this reason, policies and measures are developed to slow down climate change at the global level, limit its effects or aim to adapt to it by better managing its consequences. Therefore, today's energy transition is the transition process from fossil-based to zero-carbon. For the purposes of the Paris Agreement, energy decarbonization is vital to keep the rise in global temperatures below 2°C. This requires increasing the share of renewable resources to 65% of the world's primary energy supply by 2050 (IRENA, 2017). In this direction, renewable energy is encouraged in Turkey with support mechanisms such as YEKDEM and YEKA. Turkey, which has an important potential in terms of renewable energy, ranks 4th in the world with its geothermal energy total capacity and 10th with its hydroelectric capacity. Despite the COVID-19, more than 260 GW of renewable energy capacity was added globally in 2020, reaching 2,799 GW. Turkey has a share of 1.76% of the global renewable power capacity with a total renewable energy capacity of 49 GW. There is significant potential for renewable energy in Turkey and it can play a key role in the fight against climate change.

According to the reference scenario, Turkey's reduction of greenhouse gas emissions by 21% in 2030 means that it needs to reduce emissions by 246 million tons (Figure 8). This reduction is expected to come from emission reduction policies, especially in relation to rehabilitation, efficiency increase, optimization or efficiency improvements and preferred grid access for renewable resources (Uyanık et al., 2019). If Turkey implements three main policy instruments called "Climate Policy Package", namely the collection of carbon taxes, the use of these taxes for electricity generation from renewable sources through renewable investment funds, and autonomous increases in energy efficiency, it can reduce carbon emission intensity (annual CO₂ emissions/GDP) by 20% (Yeldan et al., 2015: 54).

Figure 8: Turkey: Scenarios of GHG Development

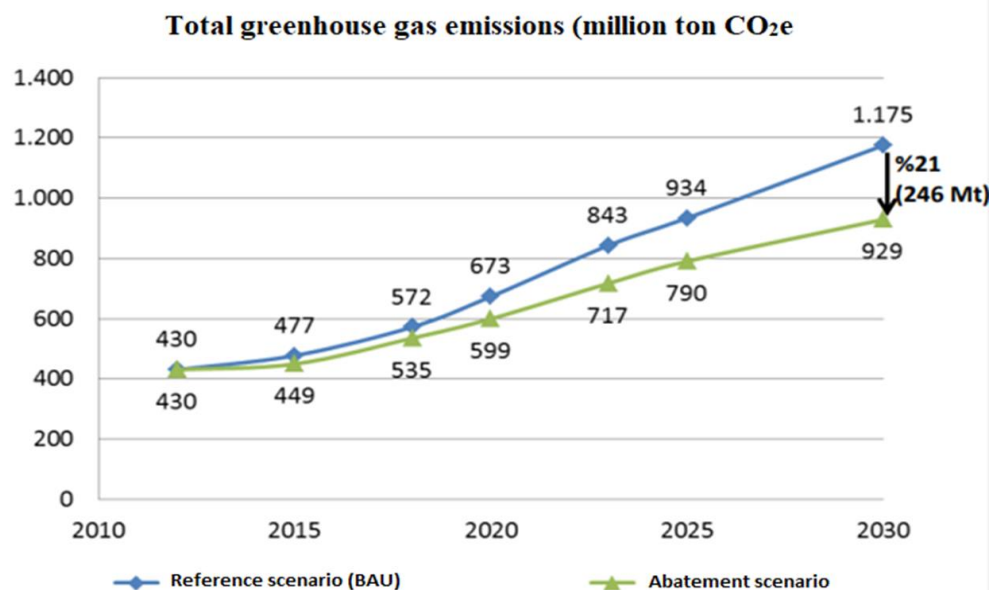


Figure 9 gives information about which energy source causes how much emission. The energy source that causes the most GHG emissions is imported coal with 54 million ton. Then, lignite and natural gas comes after imported coal with 40 and 25 million ton GHG emissions, respectively. In terms of emission per unit (kg/MWh), asphaltite, lignite and imported coal are the energy sources that cause the most emissions per unit.

Figure 9: Power Energy and Emissions (2020)

	2020 Production (MWh)	Emission per unit (kg/MWh)	GHG emissions (million ton)
Natural gas	69.307.467	367	25
Imported coal	62.466.466	865	54
Lignite	38.148.076	1040	40
Hard Coal	3.539.742	727,5	3
Asphaltite	2.222.875	1100	2
FO	313.039	763	0
Biomass	5.132.992		
Geothermal	9.884.549		
Hydroelectric	78.084.435		
Wind	24.591.438		
Solar	420.223		
Unlicensed	11.347.655		
TOTAL	305.458.957		124
Natural gas	69.307.467		25
Coal	106.690.198		99
Renewable	129.461.292		
Grid emission factor	0,407	ton CO ₂ /MWh	
Fossil emission factor	0,707	ton CO ₂ /MWh	
Non-renewable GHG emission	92	million ton CO ₂	

Emissions will decrease as the use of renewable energy increases. Renewable energy, the amount and rate of which will increase in the target years in the future, will contribute to Turkey's GHG emission reduction. The share of renewable energy in electricity generation is expected to increase over time, and even to reach 90% by 2050. This will contribute to the avoidance of GHG emissions. The use of renewable energy in electricity generation provides reductions from to be increased emissions. In other words, it is expected to reduce 661 million tons of GHG emissions by 2050 (Figure 10).

Figure 10: Potential of Renewable Energy for GHG Reduction

		2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Projection constants	Correlation of economic growth/electricity production increase		1	1	0,9	0,8	0,7	0,6
	Correlation of economic growth/GHG emission increase		1	1	0,9	0,8	0,7	0,6
	Annual economic growth		5%	5%	5%	5%	5%	5%
	electricity demand annual change		5%	5%	5%	4%	4%	3%
	GHG annual change		5%	5%	5%	4%	4%	3%
	Share of renewable energy in electricity generation	42%	45%	50%	60%	70%	80%	90%
	Electricity generation (TWh)	305	390	498	620	754	896	1089
GHG emissions (million ton/year)	Official NDC	BaU	673	934	1175			
		With reductions	599	790	929			
	Total GHG release	510	651	831	1035	1260	1496	1734
	Non-electrical emissions	386	499	665	860	1100	1369	1661
	Emissions from electricity generation	124	152	176	175	160	127	73
	Renewable contribution (avoided GHG emissions)	92	124	176	263	373	507	661

4. TURKEY'S GOALS AND THE CONTRIBUTION OF RENEWABLE ENERGY IN ACHIEVING THESE GOALS

The Ministry of Energy and Natural Resources (MENR) published the 2019-2023 Strategic Plan in 2019 and the first target it has set under the aim of ensuring sustainable energy supply security is as follows (MENR, 2019): It will be ensured that the ratio of the electricity installed power based on domestic and renewable energy sources to the total installed power will be increased from 59% to 65%. In line with this target, Turkey needs to increase its installed power connected to renewable resources by 28% until 2023 (TMMOB, 2020). In this direction, targets have been set. In the Turkish National Renewable Action Plan for wind published in 2014, the WPP installed power target of 20,000 MW for 2023 was withdrawn and the 2023 target was reduced to 11,883 MW in the MENR 2019-2023 Strategy Plan. It has been determined that the installed power of electricity based on solar energy will reach 10,000 MW by 2023, the installed power based on hydroelectric energy will reach 32,037 MW, and the installed power based on geothermal energy and biomass (including biogas) energy will reach 2,884 MW. In order to reach these targets, RES and SPP with a capacity of 1000 MW and HEPP with a capacity of 890 MW should be commissioned every year (TMMOB, 2020).

In 2015, Turkey submitted a national contribution statement to reduce greenhouse gas emissions up to 21% by 2030, in order to meet its main target in Article 2 of the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC).

The plans and policies envisaged to be implemented related to the renewable energy with the Intended Nationally Determined Contribution (INDC) are as follows:

- Increasing capacity of production of electricity from solar power to 10 GW until 2030
- Increasing capacity of production of electricity from wind power to 16 GW until 2030
- Tapping the full hydroelectric potential

Yeldan, E., Voyvoda, E., Berke, Ö., & Şahin, Ü. (2015). *Türkiye İçin Düşük Karbonlu Kalkınma Yolları Ve Öncelikleri*. Sabancı Üniversitesi İstanbul Politikalar Merkezi.



HYDROELECTRIC POWER OUTLOOK IN TURKEY

Alaeddin BOBAT

Kocaeli University Faculty of Agriculture, Arslanbey Campus, 41285 Kartepe-KOCAELİ
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4654-0208>

ABSTRACT

Turkey's primary energy resources are quite diversified such as hard coal, lignite, asphalted, oil, NG, hydro, geothermal, wood, animal. Although Turkey's oil and NG reserves seem limited, coal reserves are quite abundant. Energy is one of Turkey's most important development priorities. Turkey's energy demand is growing at a rate of about 8% per year. Over the next 10 years, about 3,500 MW of new energy generation capacity has to be installed annually to meet the country's demand. To meet this requirement, both private and public financial sources are being utilized.

Hydroelectric power together with other renewables already accounts for about 50% of electricity demand, and there is much additional potential for growth. Turkey's electric power demand has been growing steadily, averaging 8-10 % annual growth over the past 20 years. Turkey is rapidly growing in terms of both its economy and its population. In parallel, its demand for energy, particularly for electricity, is increasing fast.

Turkey's hydraulic potential is 55,000 MW, and the share of hydraulic installed power, which reached 31,391 MW from 11,175 MW in 2000 as of 31 December 2020, in total installed power is 32.9 % hydraulic installed capacity will be about 32 GW in 2023 according to Ministry of Energy and Natural Resources' Strategic Plan 2019-2023.

In cooperation with the public - private sector, 714 Hydroelectric Power Plants (public +private) with an installed capacity of 31.391 MW and a power generation potential of 108 billion kWh have been completed and put into service. Construction of those made by the public from these facilities is carried out by the DSI (State Hydraulic Works) and their operation is transferred to EUAS (Electricity Generation Corporation), while those made by the private sector, except for the EMRA license, other (water Use agreement, project, construction, water structures acceptance, etc.) operations are performed by DSI.

From 714 facilities; 68 plants with an installed power of 13.766 MW with a power generation potential of 49 billion kWh by DSI; 646 plants with an installed power of 17.625 MW and a power generation potential of 59 billion kWh were built by the private sector and put into operation.

This study aims to overview the status of hydropower in Turkey.

Key Words: Hydroelectric, Turkey, Status, Outlook

1. INTRODUCTION

Water is a valuable resource that is gradually decreasing. Population growth, industrialization and urbanization have led to a significant increase in water consumption in the world. Contrary to the general perception, Turkey is neither a country rich in freshwater resources nor the richest country in its region [1,2].

On the other hand, energy, especially renewables, is also considered to be a key factor in the generation of wealth, social development and improved quality of life in all developed and developing countries in the world. Therefore, produced and consumed energy resources and renewable energy sources have a very important value [3-6]. Renewable energy sources such as solar, wind, hydropower, and biomass and geothermal are potential candidates to meet global energy requirements in a sustainable way and supply nearly 14% of the total world energy demand. These energy sources are primary, domestic, clean inexhaustible sources. In this regard, hydropower is already the most important renewable and sustainable energy source. Hydropower contributes one-fifth of the power generation of the world [7-10].

More than 60 % of the energy consumed in Turkey is supplied from imported sources that are completely dependent on foreign sources. The impact on the country's economy of imported energy raw materials (natural gas, coal and others) for the production of electrical energy alone is over \$ 10 billion. The most important goal of a country is development, and the most important pillar of development is production either. For the continuity of production, it is extremely significant to meet the energy needs without interruption. In energy; the biggest obstacle to growth for Turkey is the need for energy dependent on imports.

As in the whole world, energy is a vital issue for Turkey as well. Therefore in order to have a self-sufficient, continuous, reliable and economical electrical energy all alternatives, especially hydroelectric power, which is not dependent on the outside and is a domestic energy source, should be considered. Hydropower can be greatly benefited of this potential energy due to Turkey's mountainous landscape, abundance of rivers, and its position surrounded by three seas. Hydropower resources are the basis for sustained renewable electricity generation [11,12].

For this reason, the use of water, which is one of the most important renewable energy sources in Turkey, as energy within the framework of efficiency, taking into account environmental problems, is of great importance.

The scope of this study is to reveal the potential of hydropower, to make predictions about the future and to examine the issue with a holistic approach for Turkey.

2. HYDROPOWER AS AN ENERGY RESOURCE IN TURKEY

Due to its geographical location, Turkey needs to build dams and hydroelectric power plants more than other countries, as it is not a country that receives precipitation every season. Hydroelectric power plants, environmental friendliness, revitalization of the economic and social structure in rural areas, low potential risk it is important because they carry and can respond to sudden changes in demand. For this reason, hydroelectric energy investments are continued with the development of hydroelectric potential with State-private sector cooperation, the introduction of the state in projects where the private sector is insufficient.

The theoretical hydroelectric potential in Turkey is calculated as 433 billion kWh/year, and the technically evaluable potential is calculated as 216 billion kWh/year. The technical hydropower potential of Turkey corresponds to 1.5% of the world's technical hydropower potential and 18% of the European technical hydropower potential. The USA has developed 86% of its technical hydropower potential, Japan 78%, Norway 72%, Canada 56%, and Turkey 50% [12,13].

Turkey's hydraulic potential is 55,000 MW, and the share of hydraulic installed power, which reached 31,391 MW from 11,175 MW in 2000 as of 31 December 2020, in total installed power is 32.9 % hydraulic installed capacity will be about 32 GW in 2023 according to MENR's Strategic Plan 2019-2023[14,15].

In cooperation with the public - private sector, 714 Hydroelectric Power Plants (public +private) with an installed capacity of 31.391 MW and a power generation potential of 108 billion kWh has been completed and put into service. Construction of those made by the public from these facilities is carried out by the DSI (State Hydraulic Works) and their operation is transferred to EUAS (Electricity Generation Corporation), while those made by the private sector, except for the EMRA license, other (water use agreement, project, construction, water structures acceptance, etc.) operations are performed by DSI.

From 714 facilities;

68 plants with an installed power of 13.766 MW with a power generation potential of 49 billion kWh by DSI;

646 plants with an installed power of 17.625 MW and a power generation potential of 59 billion kWh were built by the private sector and put into operation (Table 1) [15].

Table 1. Hydroelectric Potential Development of Turkey as of 31 December 2020

Stage of Project	Operator (Public/Private)	Quantity	Installed Capacity(MW)	Production Potential (GWh/year)	Ratio (%)
In Operation	DSI(Public)	68	13.766	48.952	27.2
	Private	646	17.625	59.053	32.8
	Total	714	31.391	108.005	50
Construction	DSI(Public)	2	700	2.569	1.4
	Private	35	579	2.009	1.1
	Total	37	1.279	4.578	1.5
Inspection and Project	Private	204	7.343	20.758	11.5
	Private(declared in Table)	6	777	922	0.5
	DSI(Prelicense-Planned)	42	1.574	4.704	2.6
	Total	252	9.194	26.384	14.6
Total potential (Operation-construction-inspection-project)		1,003	41.864	138.967	77.1

Turkey added 2.5 GW of new hydropower capacity - its largest increase since 2013 - for a total of 30.9 GW. The fast pace of commissioning was driven in part by the pending expiration of the country’s feed-in tariff scheme, applying to facilities brought online before the end of the year. By early 2021, a new FIT was announced for 2021-2025 that reduced the hydropower tariff by around one-third. The largest hydropower facilities that went online in 2020 were the 540 MW Yusufeli dam, the 500 MW Lower Kaleköy plant, the 420 MW Çetin plant and the 1.2 GW Ilisu dam (the second largest dam in the country, located on Tigris River, which began production after some delays). The intense drought in the Black Sea region in 2020 reduced Turkey’s hydropower production 12% compared to 2019. Hydropower represented nearly one-third of the country’s power capacity mix by the end of 2020 and around 56% of the new power generating capacity added that year [16].

Turkey is very rich in hydroelectric, geothermal, solar and wind energy sources and has a very high potential to develop these resources. Accordingly, development of renewable energy sector in Turkey is highly encouraged. At the end of December 2020, share of renewable energy in total installed capacity exceeded 50% (Figure 1) [17,18].

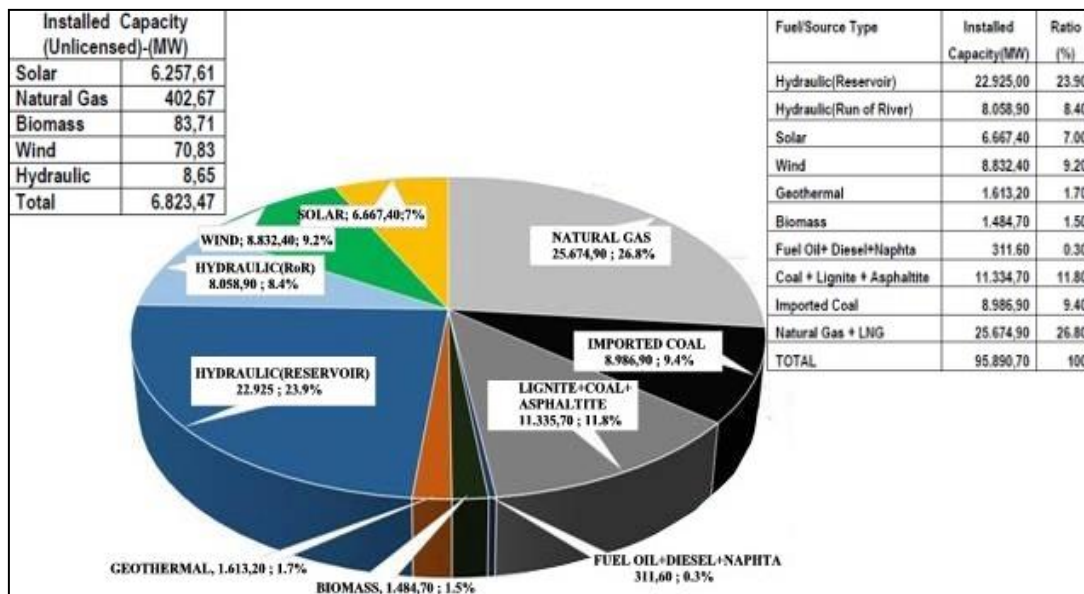


Figure 1. Breakdown of Installed Capacity by Resources in 2020

Turkey has the resources and ability to fully provide its own generated energy. As of 31 December 2020, total installed capacity was 95,891 MW, compared to 69,516 MW in 2014. The installed capacity increased thanks to the installation of new natural gas, solar power, hydro power and wind power plants. Within the energy mix, hydropower has become the primary source of energy, accounting for 32.31 per cent of the installed capacity. As for the other energy sources, 26.78 per cent can be attributed to gas fired power plants, 21.19 per cent to coal (hard coal+lignite), almost 9.21 per cent to wind, 6.95 per cent to solar power, 2.06 per cent to other renewable sources (geothermal and waste heat), 1.16 per cent to biomass and 0.33 per cent to other fuels (oil, diesel, naphtha) (Figure 1).

While installed capacity increased by more than 150% from 2000 to the end of 2020, this increase has exceeded 50% in the last decade (Figure 2)[17].

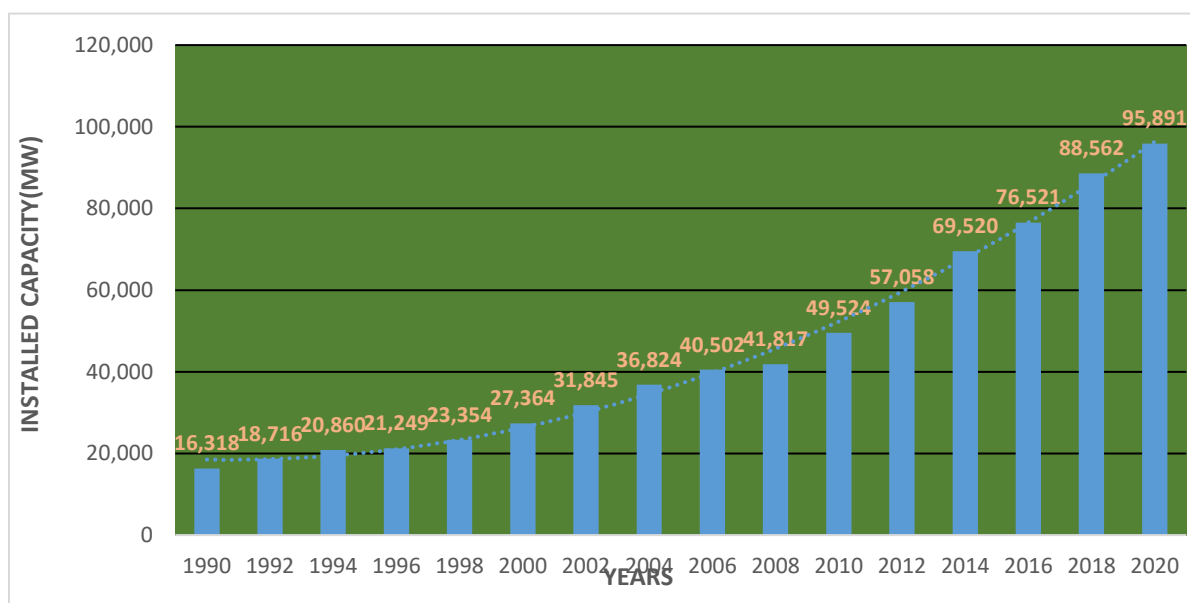


Figure 2. Breakdown of Installed Capacity by Year between 1990 and 2020

While the share of the public sector in installed capacity was 60.3 % and the share of the private sector 39.7 % in 2006, this figure was in favour of the private sector 22.34 % and 77.66 % in installed capacity and 18.26 % and 81.74 % in electricity generation respectively in 2020.

3. HYDROPOWER IN ELECTRICITY GENERATION

The electrification ratio across the country is 100 per cent. In the last year (in 2020), there has been an increase in electricity production by 7.8% and electricity consumption by 5.8 %. The share of the installed capacity and electricity generated from privately-owned plants has been rising steadily since 2006. Of electricity generation 57.64 % is obtained from fossil sources and 42.36 per cent from renewable sources. And 56.73 % of electricity generation is provided from domestic sources and 43.27 % from imported energy sources. The share of hydropower in electricity generation was around 26% in 2020, while the share of renewable energy including hydropower remained around 42% (Figure 3 and 4) [17,18].

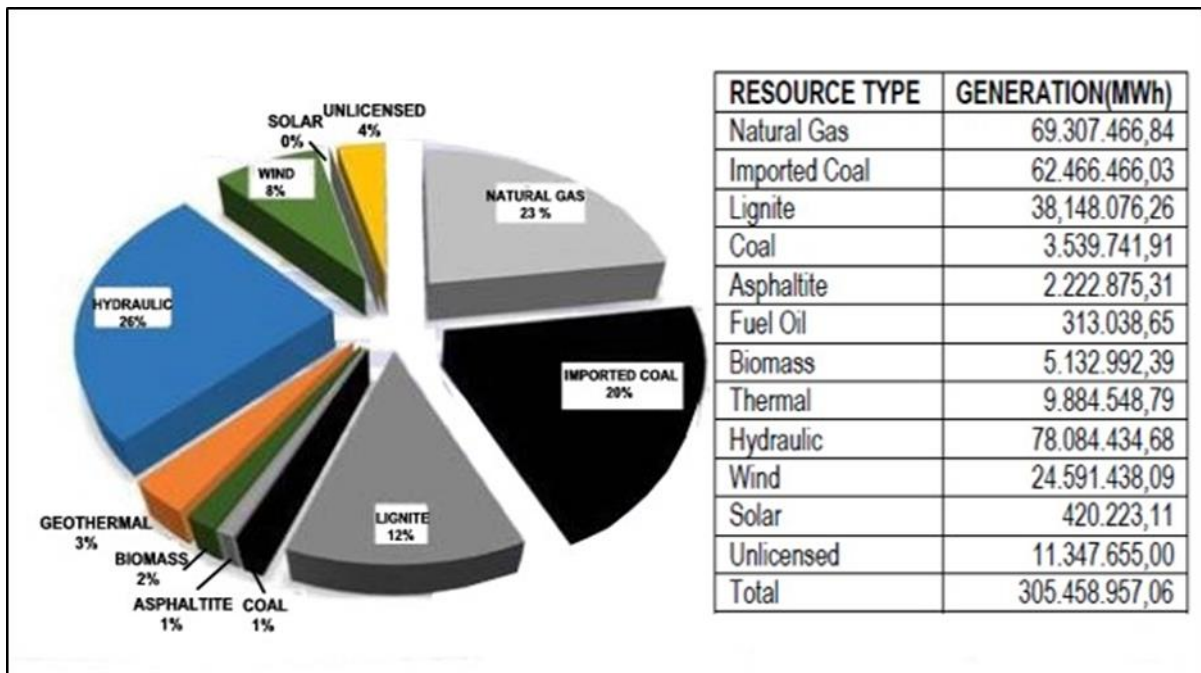


Figure 3. Breakdown of Electricity Generation by Energy Resources in 2020

Of electricity 0.14 % generated is met as a model of Transfer of Operation Rights (ToOR), 2.58% as a model of Built-Operate-Transfer (BOT), 3.71% as a model of unlicensed and 75.29% as a model of Free Generation from private sector (Figure 4).

Company	Generation GWh
EÜAŞ(PUBLIC)	55791,2
ToOR	7889,7
BOT	436,2
FREE GENERATION	229994,2
UNLICENSED	11347,1
TOTAL	305458,4

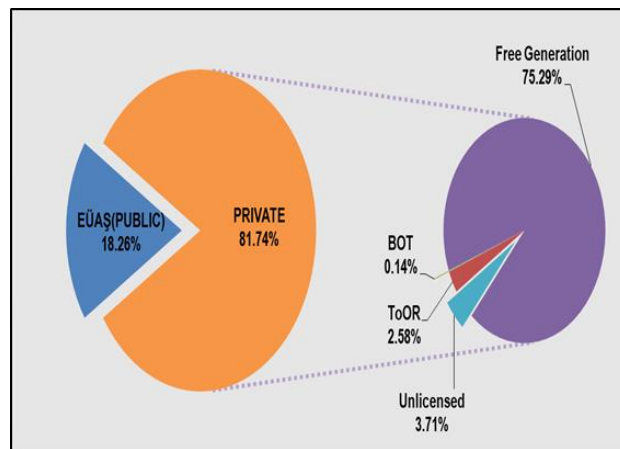


Figure 4. Breakdown of Electricity Generation by Operators in 2020

As for electricity generation, the latest data available refer to December 31th, 2020 when the total annual electricity generation was 305.4 TWh. Within power generation, coal had the dominant role contributing approximately by 34.83 per cent, hydropower by 25.57 %, natural gas by 22.71 %, wind and solar renewable sources by 11.78 % and biomass and geothermal by 1.77 and 3.24 % respectively. Turkey imported 1,888 GWh and exported 2,484 GWh electrical energy in 2020[18].

Turkey, aims in electricity sector to ensure generation adequacy to meet rapidly growing demand and to promote the use of domestic energy resources in order to decrease import dependency. As part of its effort to increase the use of domestic energy, the 11th Development Plan (2019-2023) sets out targets to achieve 219.5 TWh of electricity production from domestic resources, based on total electricity demand of 375.8 TWh by 2023. As part of this projection, Turkey plans to commission 10 000 MW each of solar and wind power capacity over 2017-2027[14].

4. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

Like all developing countries, it is observed that electricity energy consumption has increased in parallel with the fact that the Turkish economy has shown significant development in recent years. To meet this growing demand for electrical energy and in order to reduce the current account deficit, the importance of commissioning hydroelectric power plants, which have low operating costs and are one of the domestic and renewable energy sources, is clearly and clearly seen. However, energy is an issue connected with many sectors, the economic, social and environmental aspects of which are the same.

Especially with the widespread distribution of natural gas in recent years, the use of natural gas in both homes and industry has increased, and “Natural Gas Cycle Power Plants” have been established to meet the increasing energy needs. As a result, the share of energy produced from hydropower has decreased in recent years, and the share of thermal energy production has increased. The European Union has adopted on supporting green energy (hydropower, wind, solar and biomass) in its energy policies. In this case, the energy policies in force in Turkey and the related it has become mandatory to decouple the differences between the legal legislation and the legislation of the European Union. In this context, it is very important to use the renewable energy potential, which is the natural resources of a country, to the maximum extent, and this is a state policy. As a result, it is necessary to increase the share of hydroelectric energy in the total energy production in Turkey by improving the hydroelectric potential and making it available for the benefit of the country's economy.

Annual electricity consumption per capita in Turkey is at the level of 3,300 kWh/year, and this amount remains below the average electricity energy consumption of European countries. The share of hydroelectric power generation decreased from around 29% last year to 26% this year. The biggest reason for this decline can be said to be the drought experienced this year and the increase in the share of other energy sources. Hydraulic installed capacity will be about 32 GW in 2023 according to MENR's Strategic Plan 2019-2023. However, this prediction seems to have come true from today.

Energy efficiency policies, on the one hand, are directly related to the sustainability of economic growth and social development goals. And on the other hand, due to the key role played in reducing total greenhouse gas emissions, are among the areas that need to be dealt with sensitively. While using water to meet basic human needs, such as drinking and using, and producing electricity, it is also important to restructure and implement it within an understanding that guarantees the continuity of ecosystem services and the protection of freshwater species and habitats.

Turkey is vulnerable to climate change and it causes additional stress to water availability in Turkey. This situation may significantly jeopardize the use of both water resources and hydraulic energy in the future. Therefore, in addition to diversifying energy, it is necessary to take the path of benefiting from water resources by providing maximum efficiency.

Over the past years hydropower installed capacity has steadily increased. However, HEPP still has to face barriers of different types. Renewable Energy Law No. 5346 applies to small hydropower or hydropower production facilities having a reservoir area less than 15 km² making no limitation regarding installed capacity. This guideline encourages the private sector to move towards investment in large hydropower systems for the potentially higher profits. Turkey is among the countries most affected by climate change or variability. Therefore, hydropower investments are adversely affected due to the decrease in surface waters. Additionally, environmental reactions of public opinion against hydropower facilities could affect the investors, due to wrong or inappropriate site selection, exclusion of stakeholders, and unplanned basin management.

REFERENCES

1. Bobat, A.2016. Reasons and results of water shortage in Turkey : The case study of Kocaeli, 2nd EWaS International Conference “**Efficient & Sustainable Water Systems Management toward Worth Living Development**”, Proceedings, 1-12, 1- 4 June, 2016 - Chania, Crete/Greece
2. Turkish Ministry of Foreign Affairs. 2021. Turkey's Policy on Water Issues, https://www.mfa.gov.tr/turkey_s-policy-on-water-issues.en.mfa, Retrieved from : November 15, 2021
3. Ozturk M, Bezir NC, Ozek N. 2009. Hydropower-water and renewable energy in Turkey: sources and policy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13:605-15.

4. Kaygusuz K.2002.Sustainable development of hydroelectric power. Energy Sources 24, 803-815.
5. Edinger R, Kaul S. 2000. Humankind's detour toward sustainability: past, present and future of renewable energies and electric power generations. Renewable and Sustainable Energy Reviews 4, 295-313.
6. Capik, M., Yilmaz, A.O., Cavusoglu, İ. 2021. Hydropower for sustainable energy development in Turkey: The small hydropower case of the Eastern Black Sea Region, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, 6160-6172.
7. Muneer, T. Maubleu, S., Asif, M. 2006. Prospects of solar water heating for textile industry in Pakistan.Renew Sustainable Energy Rev 10, 1-23.
8. Binder, J. 2000. Small hydroelectric power plants : a most efficient contribution to renewable energy, Karntner Elektrizitats Aktiengesellschaft(KELAG). Sixty International Summer School Solar Energy. Applications-Sustainable Energy Issues, University of Klagenfurt, Klagenfurt/Carinthia, Austria, 204-214.
9. Kaygusuz K. 2004. Hydropower and world's energy future. Energy Sources 26,215-224.
10. Yılmaz, A.,O.2008. Renewable energy and coal use in Turkey. Renewable Energy 33,950-959.
11. Bobat, A. 2017. Environmental impact assessment of hydropower projects in Turkey : Applications and problems, **Fresenius Environmental Bulletin**, 26(2), 1192-1200.
12. DSI (State Hydraulic Works), 2021. Activity Report-2020, Ankara.
13. MENR (Ministry of Energy and Natural Resources of Turkey), 2021.Hydraulic Energy, Retrieved from : <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-hidrolik>
- 14.MENR, 2019. *Strategic Plan 2019-2023*. Retrieved from: http://www.sp.gov.tr/upload/xSPStratejikPlan/files/muqpM+Stratejik_Plan_2019-023.pdf
15. DSI, 2021. Hydroelectric Potential Development of Turkey, Retrieved from : <https://enerji.dsi.gov.tr/Duyuru/Detay/842>
16. REN21. 2021. Renewables 2021 Global Status Report (Paris: REN21 Secretariat). ISBN 978-3-948393-03-8, file:///C:/Users/kou/Downloads/GSR2021_Full_Report.pdf
17. The Chamber of Electrical Engineers, 2020. Electricity statistics of Turkey, Retrieved from: https://www.emo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=88369
18. Energy Market Regulatory Authority (EMRA), 2021. Monthly Energy Sector Reports-2020, Retrieved from:<https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-23/elektrikaylik-sektor-raporlar>



SMALL HYDROPOWER OVERVIEW IN TURKEY

Alaeddin BOBAT

Kocaeli University, Faculty of Agriculture, Arslanbey Campus, 41285 Kartepe-KOCAELİ
ORCID ID: 0000-0003-4654-0208

Abstract

Although there is no legal definition in Turkey, hydropower plants with an installed capacity of less than 10 MW are widely considered as small hydropower (SHP). In Turkey, there are currently 351 SHPs in operation as of 31 December 2020. Of these, 14 are operated by the DSI and 337 are operated by the private sector; and the installed capacity of the operating SHPs is 1.662,20 MW, their total production potential is 6.279.926 GWh/year. Moreover, 38 SHPs are under construction. In addition, 613 SHP projects of 2.594.29 installed capacities and of 8.569.956 GWh/year productions potential were cancelled.

Regionally, 34.18 % of SHPs (120 SHP) are in the Black Sea Region of Turkey. 21.08 % of them (74 SHP) is located in the Mediterranean Region; 15.67 % (55 SHP) in the Eastern Anatolia Region; 13.68 % (48 SHP) in the Central Anatolia Region; 8.5 % (30 SHP) in the Marmara Region and 6% (21 SHP) in the Aegean Region(Figure 1).

This article intends to discuss SHP's in Turkey as a whole and examine the place and importance of SHP's in the sector.

Key Words: Hydropower, SHP, overview, Turkey

1. INTRODUCTION

Hydroelectric power plants (HEPP) convert the power of flowing water into electricity. The amount of energy in the flowing water determines the flow or drop rate of the water. Water flowing in a large river carries a large amount of energy, or when water is reduced from a very high point, a high amount of energy is obtained. In both ways, the water that is taken into the ducts or pipes flows into turbines, allowing turbines with arms like propeller to turn to produce electricity. Turbines depend on generators and convert mechanical energy into electrical energy. Hydroelectric power plants; it is the most important renewable energy source in terms of obtaining energy from water, creating no greenhouse gas emissions, building with local facilities, long technical life and lack of fuel costs, low operating maintenance costs, creating employment opportunities, revitalizing economic and social structure in rural areas[1].

Turkey's growing demand for energy and its dependence on foreign energy is a reality. In recent years, there has been a great trend towards hydroelectric energy in Turkey in order to meet this increasing demand and to reduce dependence on foreign markets. The most important contribution of using hydropower to the economy and the environment is to reduce dependence on external energy and mobilize clean energy sources.

Hydropower development in Turkey has been carried out for about a century for different purposes, namely electricity generation, land irrigation, water supply for domestic and industrial utilization and flood control in the surrounding area. Therefore, since its inception, the construction of water storage facilities and hydro plants has always been given priority by the Republic of Turkey.

Because of increasing concern regarding greenhouse gas emissions and global warming phenomena in recent years, there is worldwide renewed interest in hydropower generation, especially in small hydro development. Small hydro plants offers significant benefits in terms of faster deployment, distributed generation, small business opportunities, and significantly reduced concerns about regional environmental/ecological system disturbances, although their cost of energy generation is usually higher than from large hydro plants [2-4].

Turkey's hydraulic potential is 55.000 MW, and the share of hydraulic installed power, which reached 31.391 MW from 11.175 MW in 2000 as of 31 December 2020, in total installed power is about 32 %.

In cooperation with the public - private sector, 714 Hydroelectric Power Plants (public +private) with an installed capacity of 31.391 MW and a power generation potential of 108 billion kWh has been completed and put into service. From 714 facilities; 68 plants with an installed power of 13.766 MW with a power generation potential of 49 billion kWh by DSI; 646 plants with an installed power of 17.625 MW and a power generation potential of 59 billion kWh had been built by the private sector and put into operation as of December 31th, 2020 [5,6]. A very small part of the installed capacity such as about 1.662 belongs to small hydroelectric power plant and most of these small power plants are also concentrated in the eastern Black Sea region.

In this article, Small Hydropower Plants (SHPs) in Turkey are discussed as a whole and the place and importance of SHPs in the sector is examined.

2. SMALL HYDROPOWER DEVELOPMENT AND POTENTIAL IN TURKEY

The hydropower generation can be classified based on its capacity: large, small, mini and micro. As for small hydro generation, there is still no internationally agreed definition of 'small' hydro but the upper limit varies between 2.5 and 25 MW (Table 1). A maximum of 10 MW is the most widely accepted value worldwide. In Turkey, the upper limit is accepted as 50 MW. In addition, small, mini and micro-hydro plants are usually defined as plants less than 10 MW, 2MW and 100 kW, respectively. Small-scale hydro's turbine is used mostly a type of 'run of river,' so does not involve the construction of large dams and a little or no water is stored. In medium (5 m < head < 15 m) or high-head (head >15 m) installations water is carried to the fore bay by a small canal. Low-head installations (head < 5 m) generally involve water entering the turbine almost directly from the weir [7-11]. Although there is no legal definition in Turkey, hydropower plants with an installed capacity of less than 10 MW are widely considered as small hydropower (SHP).

Table 1. SHP definitions by installed capacity (MW) in various countries

Country	MW	Country	MW
Brazil	≤ 30	Armenia	≤ 30
Canada	< 50	Azerbaijan	≤ 10
China	≤ 25	Georgia	≤ 13
EU Linking Directive	≤ 20	Iraq	≤ 10
India	≤ 15	Jordan	≤ 12
Norway	≤ 10	Lebanon	≤ 10
Sweden	≤ 1.5	Syria	≤ 10
Turkey	< 10	USA	5 ≤ W ≤ 100

Small hydropower stations are typically run-of-the-river. They combine the advantages of hydropower with those of decentralized power generation, without the disadvantages of large scale installations. Advantages include low distribution costs, no/low environmental costs as with large hydro, low maintenance and local implementation and management. Power generated with small hydro station can be used for agro-processing, local lighting, water pumps and small businesses. The constructions and integration into local environments of SHP schemes typically takes less time and effort compared to large hydropower plants. For this reason, the deployment of SHPs is increasing in many parts of the world, especially in remote areas where other energy sources are not viable or are not economically attractive [12].

In Turkey, the development of small hydropower plants started in 1902. Since then many hydropower plants in rural areas have installed that were operated by municipalities, private companies and by DSI (State Hydraulic Works). In the period of 1930s, a small power plant with a capacity of 1 MW was installed in Trabzon city. The increasing demand on electricity, a number of small hydropower plants were installed from 1950s to the 1960s. A total installed capacity reached 38 MW in 1955 [13]. In Turkey, while, 279 of hydropower plants were between 0-10 MW and their installed capacity was 1490 MW until 2010 [14].

In Turkey, there are 351 SHPs in operation as of 31 December 2020. Of these, 14 are operated by the DSI and 337 are operated by the private sector; and the installed capacity of the operating SHPs is 1.662,20 MW, their total production potential is 6.279.926 GWh/year. Moreover, a total of 38 SHP is under construction of which 19 are DSI and 19 are by the private sector. The installed capacity of the SHPs under construction will be

202.66 MW, and the production potential will be 736.778 GWh. In addition, 613 SHP projects of 2.594,29 MW installed capacities and of 8.569.956 GWh/year generations potential were cancelled (Table 2) [5,6].

Table 2. SHP’s potential development in Turkey

Stage of Project	Operator (Public/Private)	Quantity	Installed Capacity (MW)	Generation Potential (GWh/year)	Ratio (%)
Operation	DSI(Public)	14	42,57	145.100	0.9
	Private	337	1.619,63	6.134.826	35.8
	Total	351	1.662,20	6.279.926	36.7
Construction	DSI(Public)	19	101.83	368.389	2.2
	Private	19	101.83	368.389	2,2
	Total	38	202.66	736.778	4.4
Inspection and Project	Private	36	1.613.0	548.549	4,5
	Private(declared in Table)	34	194.68	681.382	3.2
	DSI(Preliminary-Planned)	6	31,19	94,290	0.3
	Total	76	287,17	1.325.221	8.0
Total potential(Operation-construction-inspection-project)		476	2.297,16	8.493.338	49.9
Cancelled SHP projects		613	2.594,29	8.569.956	50.1
Total potential of SHPs		1.089	4.891,45	17.063.294	100

SHP capacities between 2013 and 2021 vary. Installed capacity increased from 175 MW in 2013 to 1.156,4 MW in 2016; continued to increase to 2.961,3 in 2019; but decreased to 1.662,2 MW in 2021. The potential capacity was 6.500 MW between 2013 and 2019, and decelerated to 4.891.5 MW in 2021 (Figure 1) [15-18].

The reason for these changes is the commissioning of new projects and the cancellation of some projects. Also, this amount indicates economically operable SHPs and the described projects.

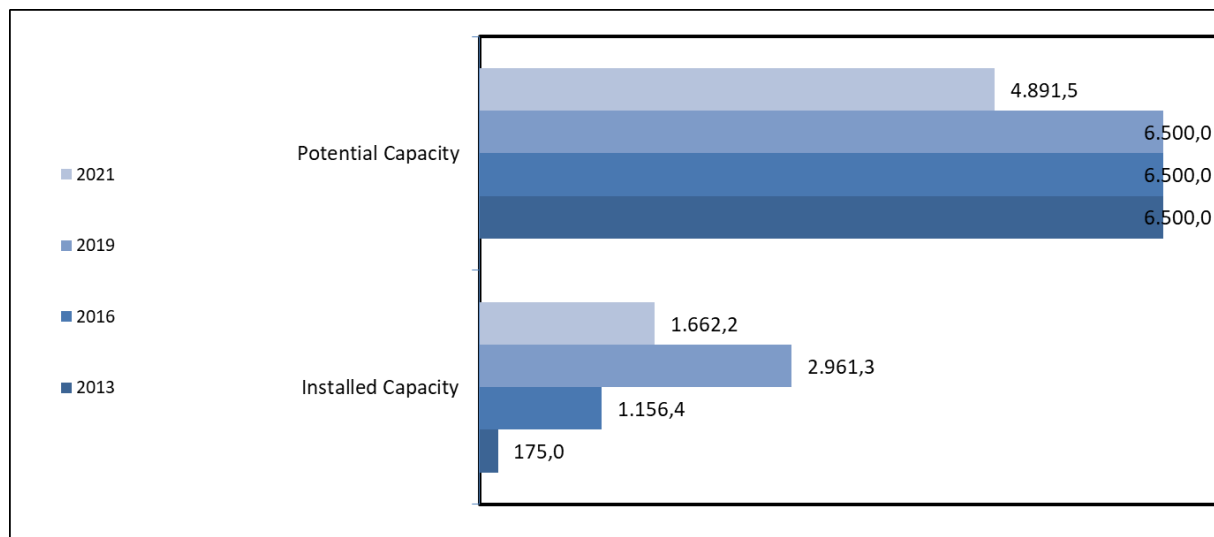


Figure 1. The changes in SHP capacities between 2013 and 2021

The regional distribution of facilities is also highly variable in Turkey. Regionally, 34.18 % of SHPs (120 SHP) is located in the Black Sea Region of Turkey. 21.08 % of them (74 SHP) is located in the Mediterranean Region; 15.67 % (55 SHP) in the Eastern Anatolia Region; 13.68 % (48 SHP) in the Central Anatolia Region; 8.5 % (30 SHP) in the Marmara Region and 6% (21 SHP) in the Aegean Region(Figure 2)[18].



Figure 2. Local breakdown of SHPs in Turkey

From these data, it is understood that the facility is most concentrated in the eastern Black Sea region.

3. SMALL HYDROPOWER POLICY AND LICENCING PROCESS

In Turkey SHP's policy is the same as the renewable energy resources policy. Designated forested areas, land privately owned by the Treasury, or land under the disposal of the state in its entirety can be utilized for the purposes of the renewable energy generation if permission is granted by the Ministry of Agriculture and Forestry or the Ministry of Treasury and Finance. Forestry Peasant Development Revenue and Forestation and Erosion Control Revenue are not charged to the renewable energy generation facilities. Permission, lease, easement and usufruct permission fees are discounted by 85% for renewable energy generation facilities during the initial ten years of investment and operation of power transmission lines, including those under operation.

Pursuant to Provisional Article 4 of the Electricity Market Law No. 6446, for all types of generation plants (including renewables) that will be operational by December 31, 2025, transmission system usage fees are discounted by 50% for the first five years of operation. Pursuant to the Article 43.4 of the Electricity Licensing Regulation, for the facilities generating electricity from the local natural resources and the renewables, the license holders are not required to pay the yearly license fees for the first eight years following the date of completion of the power plants [19].

As regards the realization of small hydropower projects, firstly, the projects are studied and then posted on website in order to be applied by companies. Companies wishing to apply within the specified period submit to the projects published on the website. The applicant companies submit the required documents to DSI. Afterwards, candidate companies are invited to the DSI meeting in order to bid. As a summary, Hydroelectric Energy Department studies feasibility reports for planned hydropower projects, and taking their rant ability into considerations posts the economically feasible ones on its website for a bid meeting. After the meeting, the company that will carry out the project is decided. In the next process, the company prepares a detailed feasibility report and submits it to DSI for approval. After completion of the process of environmental impact assessment, water usage rights agreement between DSI and companies is signed. The company moves to the construction phase. Through construction phase of the project, Hydroelectric Energy Department supervises its construction and inspects it. After the completion of the project, Hydroelectric Energy Department with some other DSI departments makes a pre-final inspection [19,20]. If the plant passes that inspection, it is commissioned and will be granted permission to electricity (Figure 3).

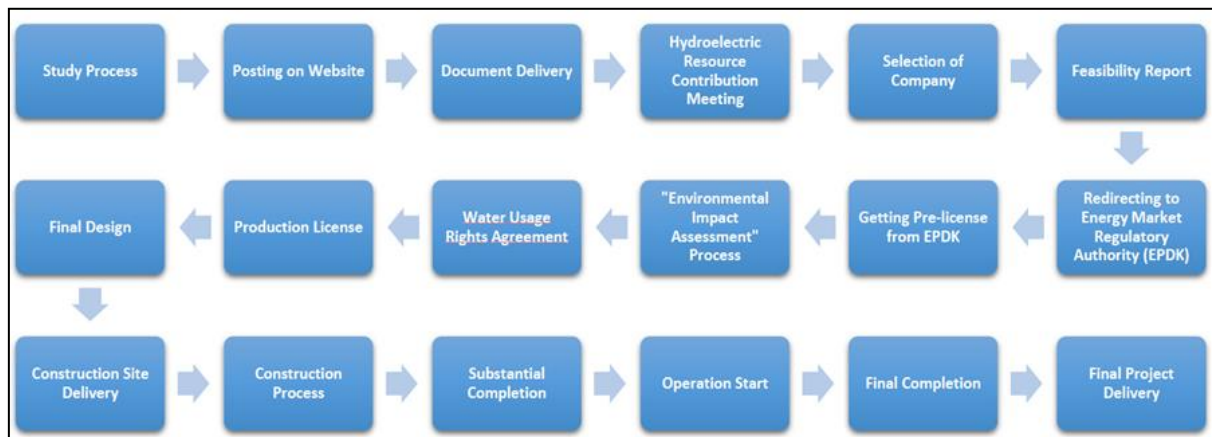


Figure 3. The process of the hydropower project

In Turkey, all market activities must be licensed. For each facility, to be granted a separate license is an obligation. Before granted a license, all generation facilities have to apply for a pre-license during which site related works such as land permission, environmental effect analysis etc. stated in the electricity market legislation have to be accomplished by pre-license holder company. Small scale generation plants using renewable sources up to 5 MW and micro-co-generation plants have been exempted from obligations for receiving a license and establishing a company. And generation facilities for municipal waste disposal facilities also are an exception.

4. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

Turkey utilizes diverse energy sources to meet its electricity demand. Even though fossil power plants occupy a major part of energy generation (about 57% of the total installed capacity), renewable energy sources such as hydropower, wind, geothermal and solar power are also significant contributors to meeting the energy demand of the country. Among these renewable energy sources hydropower accounted for 26 % of electricity generation in 2020.

National targets for 2023 based on renewable energy sources according to national energy policies and strategy documents are determined as 38.5 % in renewable energy. When these targets are analyzed, it can be said that the target of increasing electricity generation from renewable sources to at least 30% in the National Energy and Mining Policy has already been exceeded. It has been observed that the target of increasing the share of all renewable energy sources in total electricity generation to 38.8 % in the 11th Development Plan is exceeded as of the current situation.

In most of the sites of small-hydro plants the primary requirement of the local communications agricultural land as their survival depends upon it. Therefore, many of small hydropower plants are normally operated to serve customer in remote area. When electricity and water are available able, the living standards will be enhanced by better education, internet, job opportunities, communication and others facilities. Also, they create job opportunities in rural areas addressing prevent migration to other places [21].

Over the past years SHP installed capacity has steadily increased. However, SHP still has to face barriers of different types as legal, social and environmental issues. Legally, Renewable Energy Law No. 5346 applies to small hydropower or hydropower production facilities having a reservoir area less than 15 km² making no limitation regarding installed capacity. This guideline encourages the private sector to move towards investment in large hydropower systems for the potentially higher profits. Socially environmental reactions of public opinion against hydropower facilities could affect the investors, due to wrong or inappropriate site selection, exclusion of stakeholders, and unplanned basin management. And environmentally Turkey is among the countries most affected by climate change or variability. Therefore, SHP investments are adversely affected due to the decrease in surface waters.

By eliminating all these negative factors, it is possible to construct and operate small hydroelectric power in a sustainable sense within a certain plan.

5. REFERENCES

1. Atalay, O., Yilmaz Ulu, E. 2018. Hydropower Capacity of Turkey and Actual Investments, The Eurasia Proceedings of Science, Technology, Engineering & Mathematics (EPSTEM), Volume 4, 162-166.
2. Kaygusuz, K. 2018. Small hydropower potential and utilization in Turkey, Journal of Engineering Research and Applied Science, 7 (1), 791-798.
3. Gatte, M.T. Kadhim, R, A.2013. Hydro Power. In “Renewable Energy”.INTECH Publishing.
4. IHA(International Hydropower Association). 2017. Global hydropower report 2017, IHA Publ..
5. DSI (State Hydraulic Works), 2021. Activity Report-2020, Ankara.
6. DSI (State Hydraulic Works), 2021. Unpublished Data and personal communication.
7. GTZ, 2007. Eastern Africa Resource Base: GTZ Online Regional Energy Resource Base: Regional and Country Specific Energy Resource Database: I - Energy Technology.
8. Barış, K. and Kucukali,S. 2016. World Small Hydropower Development Report, Western Asia, United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) and International Center on Small Hydro Power, China(in press), 1-5.
9. Gurbuz, A. 2006. The role of hydropower in sustainable development. European Water 13/14, 63-70.
10. Mohamad, H., Mokhlis, H., Abu Bakar, A.H., Ping. H.W. 2011. A review on is landing operation and control for distribution network with small hydropower plant, Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, 3952-3962.
11. Yuksek, O., Komurcu, M.I., Yuksel, I, Kaygusuz, K. 2006. Energy Policy. The Role of Hydro-power in Meeting Turkey’s Electric Energy Demand 34,3093-3103.
12. Steinmetz, M. and Sundqvist, N. 2014. Environmental Impacts of Small Hydropower Plants -A Case Study of Borås Energi och Miljö’s Hydropower Plants, MSc. Thesis in the Master Degree Programme, Industrial Ecology, Department of Energy and Environment Division of Environmental System Analysis, Report no. 2014:3, Chalmers Univ. of Technology, Gothenburg, Sweden.
13. Hepbasli, A., Özgener, O.2004. Turkey’srenewableenergysources:Part1.Historical Development, EnergySources 26, 961-969.
14. Capik, M., Yilmaz, A.O., Cavusoglu, İ. 2021. Hydropower for sustainable energy development in Turkey: The small hydropower case of the Eastern Black Sea Region, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, 6160-6172.
15. Dursun, B. Gokcol,C. 2013. Turkey. Turkey, In : World Small Hydropower Development Report 2013, 312-314, UNIDO and ICSHP Publ.
16. Bobat, A., Selvitop, Ö. 2016. Turkey, In : World Small Hydropower Development Report 2016, 537-542, UNIDO and ICSHP Publ.
17. Bobat, A., Selvitop, Ö. 2019. Turkey, In : World Small Hydropower Development Report 2019, 190-194,UNIDO and ICSHP Publ.
18. Bobat, A. Selvitop, Ö. 2022. Turkey, In : World Small Hydropower Development Report 2022, UNIDO and ICSHP Publ., in press.
19. DSI (n.d). Hidroelektrik Santral Projelerine Müracaat Edecek Firmaların İzleyecekleri Yol (The path that companies that will apply for Hydroelectric Power Plant Projects will follow), Available from : <https://cdnis.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/426/KonuIcerik/774/1122/DosyaGaleri/hidroelektrik-santral-projelerine-m%C3%BCracaat-edecek-firmalar%C4%B1n-izleyecekleri-yol.pdf>

20. RG (Official Gazette), 2019. Official gazette dated 12 May 2019 and numbered 30772, Available from: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/05/20190512-1.htm>
21. Bobat, A. 2016. Environmental management aspects in hydro projects, 9th International Conference on Sustainable Energy and Environmental Protection (SEEP2016), Proceedings, 478-489, 22-25 September 2016, Erciyes University, Turkey.



CONVERGENCE IN ECOLOGICAL FOOTPRINT ACROSS EMERGING COUNTRIES: A CLUB CONVERGENCE APPROACH

Ph.D., Uğur URSAVAŞ

Zonguldak Bülent Ecevit University, FEAS, ORCID No: 0000-0003-1918-1457

Abstract

In this paper, we analyze the convergence in ecological footprint across 29 emerging countries over the period 1981-2017. To do so, we use the Phillips and Sul (2007) methodology which allows us to test overall convergence across countries and identify possible convergence clubs. The log-t test results show that emerging countries do not converge to the same equilibrium point in terms of ecological footprint. However, the club clustering algorithm identifies two convergence clubs and one divergent group.

INTRODUCTION

Since the neoclassical growth model was introduced by Solow (1956), the convergence hypothesis has become one of the main issues in the literature. After the seminal papers testing the convergence empirically of Baumol (1986) and Barro and Sala-i-Martin (1992), the convergence hypothesis has been tested by many studies using different econometric methodologies and samples. The studies have been tested convergence in different measures, such as house prices, happiness, public debt, inflation, etc.

In recent years, many studies have been tested environmental convergence which argues that initially poor countries experience higher environmental degradation than rich countries; however, differences in the quality of their environments diminish over time (Brock ve Taylor 2003, p. 2).

In this context, this study investigates the convergence in ecological footprint per capita across 29 emerging countries over 1981-2017 by using the club convergence methodology developed by Phillips and Sul (2007) which allows us to test the overall convergence and identify possible sub-convergence groups.

The next part of the study, we give a summary of the related empirical literature. Section three presents the data set and econometric methodology. Section four provides the empirical results. Finally, section five concludes.

2. LITERATURE

There are numerous studies analyzing the convergence in ecological indicators in the literature. While former studies mainly focus on convergence in carbon dioxide (CO₂), recent studies have used a more comprehensive ecological indicator, ecological footprint. Ulucak and Apergis (2018) analyze the club convergence in ecological footprint across EU countries over 1961-2013 using the methodology developed by Phillips and Sul (2007). The club clustering algorithm identifies multiple convergence clubs. Solarin (2019) test the convergence in CO₂ emissions, carbon footprint, and ecological footprint across OECD countries over 1961-2013. The results of RALS-LM and LM unit root tests indicate that conditional convergence exists in 12, 15, and 13 countries for CO₂ emissions per capita, carbon footprint per capita, and ecological footprint per capita, respectively. Haider and Akram (2019) analyze the club convergence in per capita ecological footprint and carbon footprint for 77 countries over 1961 - 2014 using Phillips and Sul (2007) method. The club clustering identifies two convergence clubs, each converging to a different state. Yilanci and Pata (2020) analyze the convergence in ecological footprint across the ASEAN-5 countries over 1961-2016 using a two-regime threshold autoregressive (TAR) panel unit root test. The results reveal that the ecological footprint of ASEAN-5 countries is non-linear, and the authors identified Vietnam as the transition country. Erdogan and Okumus (2021) test the convergence in ecological footprint for different level income groups over 1961-2016. The club clustering identifies four, two, and two convergence clubs across high, middle and low income countries, respectively. Apaydin et al. (2021) analyze the convergence in ecological footprint across 130 countries over

1980-2016. The club clustering identifies five convergence clubs. Isik et al. (2021) investigate the convergence in per capita ecological footprint for the USMCA (The North America Free Trade Agreement) countries for the period 1961-2016 using the TAR (threshold autoregressive) panel unit root test. The findings reveal that the convergence of per capita ecological footprint exists in the second regime and divergence in the first.

3. DATA & METHODOLOGY

In this study, we use ecological footprint per capita (global hectares) data for 29 emerging countries¹. The ecological footprint includes six components: the cropland, grazing land, fishing grounds, forest land, built-up land, and carbon footprints. Table 1 shows the descriptive statistics of panel data.

Table 1: Descriptive statistics

Variable	Obs	the year 1981		the year 2017	
		Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.
efc	29	2.765568	2.001988	3.27036	2.565472

To test the convergence in ecological footprint across countries, we use the club convergence procedure² (i.e., “log-*t* regression test) developed by Phillips and Sul (2007) which allows us to analyze overall convergence and identify possible convergence clubs within the panel.

Phillips and Sul (2007) show that the null of convergence can be statistically tested using the log-*t* regression below:

$$\log\left(\frac{H_1}{H_t}\right) - 2\log L(t) = \hat{\alpha} + \hat{b}\log t + \varepsilon_t,$$

where $H_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (h_{it} - 1)^2$ indicating the calculation of the cross-sectional variance ratio $\frac{H_1}{H_t}$; and $h_{it} = \frac{x_{it}}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{it}}$ represents the relative transition parameter. The null hypothesis of convergence is rejected at the 5% level of significance when $t_{\hat{b}} < -1.65$.

4. RESULTS

To analyze the overall convergence in ecological footprint across 29 emerging countries, we apply log-*t* convergence test introduced by Phillips and Sul (2007). The results of log-*t* convergence test in Table 2 show that the null hypothesis of full convergence is rejected at 5% (-8.7302 < -1.65), which implies that 29 emerging countries do not convergence the same steady-state equilibrium in terms of ecological footprint per capita.

Table 2: Log-*t* test results (29 countries)

Variable	Coefficient	Standard Error	T-statistic
Ecological footprint	-0.1732	0.0198	-8.7302*

Notes: * denotes the rejection of the null hypothesis of convergence at 5% significance level. *t*-statistic at 5% significance level: -1.65

¹ Argentina, Bangladesh, Brazil, Bulgaria, Chile, Egypt, Greece, Hungary, India, Indonesia, Iran, Israel, Malaysia, Mauritius, Mexico, Morocco, Peru, Poland, Qatar, Romania, Saudi Arabia, South Africa, Thailand, Turkey, Venezuela, Nigeria, Pakistan, Philippines, Colombia.

² We briefly introduced the Phillips and Sul (2007) methodology. For more detailed information, see Phillips & Sul (2007, 2009).

Since the null hypothesis of overall convergence in ecological footprint per capita is rejected, we can analyze the existence of possible convergence clubs in the full sample. The results of the clustering algorithm in Table 3 show that there are three convergence clubs.

Table 3: Club classification

Clubs	Countries	Coefficient	T-statistic
Club 1	Bangladesh Chile India Iran Israel Malaysia Mauritius Morocco Qatar Saudi Arabia Thailand	0.249	7.582
Club 2	Argentina Brazil Bulgaria Egypt Greece Hungary Indonesia Mexico Peru Poland Romania South Africa Turkey Venezuela	0.178	5.020
Club 3	Nigeria Pakistan Philippines	2.120	2.325
Non-convergent group	Colombia		

Notes: t-statistic at 5% significance level: -1.65.

The club clustering algorithm tends to overestimate the actual number of clubs (Phillips and Sul, 2009). Therefore, we apply the merging test procedure to test whether any of the subgroups can be merged to form larger clubs.

Table 4: Merging test results

log(t)	Club 1+ 2	Club 2+3	Club 3+ Group 4
Coefficient	-0.018	-0.291	-0.224
T-statistic	-0.582	-60.085	-2.950

The results support the merging of Clubs 1 and 2. Table 5 shows the final convergence clubs for ecological footprint per capita across 29 emerging countries. The first and the second clubs include twenty-five and three countries, respectively.

Table 5: Final club classification

Clubs	Countries	Coefficient	T-statistic
Club 1	Argentina Bangladesh Brazil Bulgaria Chile Egypt Greece Hungary India Indonesia Iran Israel Malaysia Mauritius Mexico Morocco Peru Poland Qatar Romania Saudi Arabia South Africa Thailand Turkey Venezuela	0.449	11.475
Club 2	Nigeria Pakistan Philippines	-0.237	-0.639
Non-convergent group	Colombia	-1.137	-1.115

5. CONCLUSION

The environmental convergence hypothesis has been tested using different ecological indicators and econometric methods for different samples. In recent years, ecological footprint data, which is more comprehensive than carbon dioxide, has been widely used in the literature.

In this paper, we study the convergence in ecological footprint across 29 emerging countries. To do so, we use the club convergence methodology developed by Phillips and Sul (2007) which allows us to analyze overall convergence and identify possible convergence sub-groups.

The results show that the countries do not converge to the same steady-state point in terms of ecological footprint per capita. Then, we test the existence of possible convergence clubs within the sample. The club clustering algorithm identifies three convergence clubs and one divergent country. Then, we apply the merging test to check whether any of the convergence clubs can be merged. After applying the merging test, the final club classification includes two convergence clubs. The first and the second convergence clubs consist of twenty-five and three countries, respectively.

References

- Apaydin, Ş., Ursavaş, U., & Koç, Ü. (2021). The impact of globalization on the ecological footprint: do convergence clubs matter?. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(3), 53379-53393.
- Barro, R. J., & Sala-i-Martin, X. (1992). Convergence. *Journal of Political Economy*, 100(2), 223–251.
- Baumol, W. J. (1986). Productivity growth, convergence, and welfare: What the long-run data show. *The American Economic Review*, 76(5), 1072–1085.
- Brock, W. A. & Taylor, M. S. (2003). The kinder-garten rule of sustainable growth, NBER Working Paper, 9597.
- Erdogan, S., & Okumus, I. (2021). Stochastic and club convergence of ecological footprint: an empirical analysis for different income group of countries. *Ecological Indicators*, 121, 107123
- Haider, S., & Akram, V. (2019). Club convergence analysis of ecological and carbon footprint: evidence from a cross-country analysis. *Carbon Management*, 10(5), 451-463.
- Haider, S., & Akram, V. (2019). Club convergence of per capita carbon emission: global insight from disaggregated level data. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(11), 11074-11086.
- Işık, C., Ahmad, M., Ongan, S., Ozdemir, D., Irfan, M., & Alvarado, R. (2021). Convergence analysis of the ecological footprint: theory and empirical evidence from the USMCA countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-12.
- Phillips PCB, Sul, D. (2009) Economic transition and growth. *Journal of applied econometrics*, 24(7), 1153-1185.
- Phillips, PCB & Sul, D. (2007) Transition modeling and econometric convergence tests. *Econometrica*, 75(6), 1771-1855.
- Solarin, S. A. (2019). Convergence in CO2 emissions, carbon footprint and ecological footprint: evidence from OECD countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(6), 6167-6181
- Solow, R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65–94.
- Ulucak, R., & Apergis, N. (2018). Does convergence really matter for the environment? An application based on club convergence and on the ecological footprint concept for the EU countries. *Environmental Science & Policy*, 80, 21-27.
- Yilanci, V., & Pata, U. K. (2020). Convergence of per capita ecological footprint among the ASEAN-5 countries: evidence from a non-linear panel unit root test. *Ecological Indicators*, 113, 106178.



THE PRODUCT MAPPING ANALYSIS OF ENERGY SECTORS IN EU COUNTRIES

Assoc. Prof. Zerrin KILIÇARSLAN

Kayseri Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Pazarlama ve Dış Ticaret Bölümü, Kayseri, Türkiye.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0905-3067>

Assist Prof. Selma BÜYÜKKANTARCI TOLGAY

Kayseri Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Pazarlama ve Dış Ticaret Bölümü, Kayseri, Türkiye.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0591-7822>

Assoc. Prof. Yasemin DUMRUL

Kayseri Üniversitesi, Develi Hüseyin Şahin MYO, Büro Hizmetleri ve Sekreterlik Bölümü, Kayseri, Türkiye
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5961-2931>

Abstract

The energy sector has an important role in the development policies of countries due to the increase in energy prices with the increase in world energy demand and the tendency of energy resources to run out around the world. This situation negatively affects the world economy and economies with high foreign dependency such as the EU. With this study, it is important to determine the competitiveness of EU countries in the energy sector and to create policies that increase energy efficiency in energy-intensive production and reduce energy demand. This study aims to examine the competitiveness and foreign trade balance of EU countries in the energy sector by using the data for the period of 2015-2019 and the Product Mapping Method proposed in Widodo (2009) for EU countries. The results obtained from the study are summarized as follows: Bulgaria, Czechia, France, Sweden, Slovenia, Romania, Portugal and Estonia in the electricity and derived heat sector; Bulgaria, Czechia, Estonia, Croatia, Lithuania, Latvia, Austria and Portugal in the biofuel sector; Denmark in the petroleum and petroleum products sector (in 2017 only); Czechia (in 2016 only) and Poland (in 2015, 2016, 2017) in the solid fossil fuels sector; In the natural gas sector, the Netherlands (in 2015, 2016, 2017) is in Group A. Countries in Group A both have comparative advantage and are net exporters in the relevant sectors. The number of countries in Group A is higher in the electricity and derived heat and biofuels sectors. However, it has been determined that the number of countries in Group D is quite high in the natural gas, solid fossil fuel and petroleum and petroleum products sectors. Countries in Group D are countries that have a comparative disadvantage in the relevant sectors and are net importers.

Keywords: Revealed Symmetric Comparative Advantage Index, Trade Balance Index, Product Mapping

1. INTRODUCTION

Since energy is an indispensable input for almost all goods and services sectors, it shows itself as a necessity in the development of countries and in maintaining this development. In this sense, sustainability of energy is needed for a sustainable development. Maintaining a balance between competitiveness, energy supply security and environmental protection, protecting the share of coal in total energy consumption, increasing the share of natural gas, creating maximum safety conditions for nuclear power plants, and increasing the share of renewable energy sources are the objectives of the EU's energy policy.

Although the EU is not poor in terms of energy resources, half of the consumed energy is imported from third countries. The EU meets its energy needs both from the energy produced in the EU and from the energy imported from third countries. In 2019, the EU produced about 39% of its own energy needs and imported 61% (Eurostat, 2021). One of the goals of EU energy policy is to prevent disruption of energy supply. One approach to ensuring EU energy supply security is the diversification of energy resources. The more diverse the energy sources used, the less dependent the EU will be on foreign sources. In this context, it is important to reveal the competitiveness of EU countries in the energy sector.

The energy sector has an important place in the development policies of countries due to the increase in energy prices with the increase in world energy demand and the tendency of energy resources to run out around the world. This situation adversely affects economies such as the EU, which are highly dependent on foreign energy. This study is important in determining the competitiveness of EU countries in the energy sector, creating policies that increase energy efficiency in energy-intensive production and reduce energy demand. This study aims to examine the competitiveness and foreign trade balance of EU countries in the energy sector together with the Product Mapping Method proposed by Widodo (2009) for EU countries with the data of the 2015-2019 period.

2.APPLIED LITERATURE

In the literature, there are studies that analyze the trade balance and international competitiveness by using the product mapping method for different sectors and different countries. As can be seen from the conclusions of the studies, there is no study in the literature that examines the energy sector in detail and creates a product map of the energy sector. In Table 1, studies that analyze the trade balance and international competitiveness using the product mapping method are presented.

Table 1. Studies on Product Mapping Analysis

Author	Country	Period	Sector	Results
Widodo (2009)	ASEAN	1985-2005	All Sectors	In the case of ASEAN countries, the higher the comparative advantage for a particular product, the higher the probability that the country is a net exporter. This finding strongly supports the theory of comparative advantage.
Oelgemöller (2012)	Portugal, Ireland, Greece, Spain	1995-20011	All Sectors	Portugal and Greece have competitive power in agriculture and natural resources, Ireland in high-tech and medical/chemical products. Spain is not competitive in low and medium low technology products.
Agustin et al. (2014)	Indonesia and China	1995-2011	Wood products, paper products and furniture industry	Indonesia is a net exporter for these products. Other manufacturing products, which are counted as 73.91 percent of the manufacturing industry production, are net importers since they do not have a comparative advantage.
Ishchukova and Smutka (2014)	Russia	1990-2014	Agricultural Product	The majority of agricultural products in Russia fall into category D. It is concluded that the product is not comparatively superior and Russia is a net importer country.
Sabaruddin (2015)	Indonesia and China	2010	Agricultural Product	Indonesia has a disadvantage in agricultural produce, while China has a comparative advantage in agricultural produce. In agricultural production, China is a net exporter while Indonesia is a net importer.
Şahbudak and Şahin (2016)	Turkey, EU-15	2000-2014	Textile and apparel industry	Turkey has a high competitive power in the textile and ready-made clothing sector, while the competitiveness of the EU-15 country is low.
Girik Allo et al. (2017)	Indonesia	1984-2014	Food and livestock, Agricultural products	Indonesia is a competitively disadvantaged and net importer of the products examined.
Bakkalcı (2018)	Turkey	2001-2016	Textile industry	The Turkish textile industry is foreign-dependent in terms of raw material input.

				Turkey is a net exporter in world production of carpet group products.
Bashimov and Aydın (2018)	Baltic Economies	2001-2015	Aquaculture sector	Baltic countries have competitive power in aquaculture. Latvia and Lithuania have a comparative advantage in the aquaculture sector but are net importers. Estonia, on the other hand, is both a comparative advantage and a net exporter in aquaculture.
Kesgingöz (2018)	Turkey	2001-2017	Agricultural products	Turkey has comparative advantage in 12 chapters and competitive power in 11 chapters in the sector. In addition, Turkey is a net exporter in 18 chapters according to TEI values. The agricultural sector product map has an important place in 9 of Turkey's exports of 24 chapters since 2001.
Maqbool et al. (2020)	Pakistan	2003-2018	Mining Industry	Pakistan was a net importer in this sector in the 2003-04 period and a net exporter in the 2005-18 period.
Keskingöz et al. (2020)	Turkey	2001-2017	Iron and Steel industry	Turkey has a competitive power in the iron and steel industry. (It has been found that the sector has competitive power. On the other hand, based on the Trade Balance Index, it has been emphasized that the sector is a net importer in Chapter 72 and a net exporter in Chapter 73. According to the product mapping method, although chapter 72 is comparatively superior, it is a net importer and chapter 73 is a comparatively superior and net exporter).
Başkol and Bektaş (2021)	Turkey	2000-2019	Iron and Steel industry	It is a net exporter with a comparative advantage in three of the nine sub-sectors. Two sectors are net importers with comparative disadvantage and two sectors are net importers despite having comparative advantage in recent years. An industry that was a comparatively disadvantaged net importer in 2000 became a comparatively advantageous net exporter in 2018 and 2019. Conversely, a sector has a comparative disadvantage despite being a net exporter.

3. RESEARCH METHODOLOGY

In the study, export and import data of solid fossil fuel, petroleum and petroleum products, natural gas, biofuel, electricity, and derived heat sectors for the period 2015-2019 were used. These data are taken from the Eurostat database. The Product Mapping (PM) Method enables the energy sector to be evaluated from two different perspectives: trade balance and international competitiveness. In this study, firstly, the Revealed Comparative Advantage (RCA) Index, which was created to reveal the competitiveness of the EU 27 countries in the energy sector, and the Revealed Symmetric Comparative Advantage (RSCA) Index, which is a simple decreasing monotonic transformation of the RCA index, will be explained. Then, information will be given about the Trade Balance Index (TBI) as an indicator of export and import activities. Finally, the Product Mapping Method, which is a matrix consisting of the combination of both indices, will be briefly explained. Then, the analysis will be carried out using these methods for EU 27 countries. The analysis part of the study consists of the following 3 stages.

Stage 1: Calculation of RCA and RSCA Indexes

Stage 2: Calculating the Trade Balance Index

Stage 3: Product Mapping Analysis

3.1. Revealed Comparative Advantage Index

The Revealed Comparative Advantage (RCA) index is a widely accepted method for analyzing trade data. This index attempts to determine whether a country has a "revealed" comparative advantage, rather than identifying the reasons for a country's comparative advantage. RCA_{ij} , which represents the comparative advantage of country i for product (sector) j , is represented by the following formula. (Balassa, 1965):

$$RCA_{ij} = (X_{ij}/X_i) / ((X_{jw})/X_w)$$

X_{ij} represents the total exports of country i in product/sector j , and X_i represents the total exports of country i . X_{jw} represents the total world exports of product/sector j , and X_w the total world exports. RCA index values range from 0 to ∞ . A RCA_{ij} greater than one means that country i has a comparative advantage in product/sector j . On the other hand, if RCA_{ij} is less than one, it shows that country i has a comparative disadvantage in product j .

3.2. Revealed Symmetric Comparative Advantage Index

The Revealed Symmetric Comparative Advantage index (RSCA), used by Dalum et al. (1998) and Laursen (1998) as an indicator of comparative advantage, is a simple decreasing monotonic transformation of the RCA index. The $RSCA_{ij}$ index for product/sector j of country i is formulated as follows (Dalum et al., 1998; Laursen, 1998):

$$RSCA_{ij} = (RCA_{ij} - 1) / (RCA_{ij} + 1)$$

The $RSCA_{ij}$ index takes values between -1 and +1. If $RSCA_{ij}$ is greater than zero, country i has a comparative advantage in product/sector j . If $RSCA_{ij}$ is less than zero, country i has a comparative disadvantage in product/sector j .

3.3. Trade Balance Index

The Trade Balance Index (TBI) is used to analyze whether a country specializes in exports or imports for a particular product/sector. TBI_{ij} , which represents the trade balance of country i for product/sector j , is formulated as follows (Lafay, 1992):

$$TBI_{ij} = (X_{ij} - M_{ij}) / (X_{ij} + M_{ij})$$

X_{ij} and M_{ij} represent the exports and imports of country i of product/sector j , respectively. TBI values range from -1 to +1. If the TBI value is equal to -1, it indicates that the country only imports in the relevant product/sector, and if the TBI value is equal to +1, it indicates that the country only exports in the relevant product/sector. If the country's TBI is negative, it is called a "net importer", and if the country's TBI is positive, it is called a "net exporter" (Widodo, 2009).

3.4. Product Mapping Analysis

The combination of the Revealed Symmetric Comparative Advantage Index and the Trade Balance Index is called Product Mapping (PM). Product mapping makes it possible to evaluate export products in terms of both domestic trade balance and international competitiveness (Ishchukova and Smutka, 2013: 59). To reveal the international competitive position of country i in a product j , product mapping is created from both a local and an international perspective.

When evaluated from a domestic perspective, an export product with a higher share in the country's total exports can be considered as a product that can generate a large amount of foreign currency for the relevant economy (Saeyang and Nissapa, 2021:1082). When evaluated from the perspective of international

competition, the product in question is a "leading" product with a high comparative advantage in the international market, in an export that constitutes a dominant share of the total world export of the relevant product. According to the RSCA-TBI mapping, exported products are considered competitive products even if they do not contribute significantly to foreign exchange earnings (Widodo, 2009; Ishchukova and Smutka, 2013; Saeyang and Nissapa, 2021). Product mapping consists of four different groups:

A: (RSCA>0, TBI>0) Comparative Advantage and Net Exporter

B: (RSCA>0, TBI<0) Comparative Advantage and Net Importer

A: (RSCA<0, TBI>0) Comparative Disadvantage and Net Exporter

D: (RSCA<0, TBI<0) Comparative Disadvantage and Net Importer

4.RESEARCH RESULTS

In this section, RSCA, TBI and Product Mapping results regarding solid fossil fuel, petroleum and petroleum products, natural gas, biofuel, electricity, and derived heat sectors in EU 27 countries are included. Product Mapping with the calculation of RSCA and TBI values has been done for all EU 27 countries, and the results of the countries in Group A, which shows the presence of competitiveness and comparative advantage, and Group D, which shows the absence of competitiveness and comparative advantage, are included in the study. Firstly, Product Mapping in the Electricity and Derived Heat Sector was made, and the results are presented in Table 2.

Table 2. Product Mapping in Electricity and Derived Heat Sector

COUNTRIES	INDEXES						PM				
		2015	2016	2017	2018	2019	2015	2016	2017	2018	2019
Belgium	RSCA	-0,777	-0,416	-0,444	-0,651	-0,160	D	D	D	D	C
	TBI	-0.795	-0.268	-0.269	-0.668	0.068					
Bulgaria	RSCA	0,767	0,708	0,640	0,671	0,626	A	A	A	A	A
	TBI	0.554	0.411	0.425	0.637	0.488					
Czech Republic	RSCA	0,517	0,493	0,523	0,492	0,473	A	A	A	A	A
	TBI	0.279	0.284	0.302	0.375	0.373					
Estonia	RSCA	0,714	0,696	0,658	0,657	0,437	A	A	A	A	B
	TBI	0.078	0.222	0.375	0.237	-0.285					
Greece	RSCA	-0,439	-0,519	-0,182	-0,244	-0,544	D	D	D	D	D
	TBI	-0.765	-0.809	-0.559	-0.580	-0.816					
Spain	RSCA	-0,232	-0,230	-0,232	-0,272	-0,309	C	D	D	D	D
	TBI	0.004	-0.213	-0.239	-0.301	-0.224					
France	RSCA	0,245	0,204	0,201	0,314	0,295	A	A	A	A	A
	TBI	0.763	0.510	0.487	0.700	0.648					
Italy	RSCA	-0,760	-0,658	-0,713	-0,801	-0,669	D	D	D	D	D
	TBI	-0.838	-0.751	-0.786	-0.870	-0.766					
Luxembourg	RSCA	-0,600	-0,664	-0,672	-0,659	-0,759	D	D	D	D	D
	TBI	-0.593	-0.689	-0.690	-0.689	-0.758					
Hungary	RSCA	-0,026	-0,070	0,051	-0,176	0,078	D	D	B	D	D
	TBI	-0.523	-0.548	-0.482	-0.627	-0.464					
Malta	RSCA	-1	-1	-0,932	-0,978	-0,960	D	D	D	D	D
	TBI	-1	-1	-0.923	-0.967	-0.940					
Netherlands	RSCA	-0,267	-0,272	-0,301	-0,301	-0,280	D	D	D	D	D
	TBI	-0.166	-0.113	-0.085	-0.175	-0.021					
Poland	RSCA	0,024	-0,051	-0,139	-0,288	-0,357	A	D	D	D	D
	TBI	0.011	-0.077	-0.094	-0.260	-0.423					
Portugal	RSCA	0,088	0,366	0,261	0,273	-0,013	B	A	A	A	D
	TBI	-0.163	0.355	0.196	0.190	-0.266					
Romania	RSCA	0,434	0,366	0,262	0,155	-0,080	A	A	A	A	D
	TBI	0.428	0.375	0.230	0.256	-0.160					
Slovenia	RSCA	0,639	0,670	0,650	0,639	0,633	A	A	A	A	A
	TBI	0.003	0.066	0.027	0.027	0.017					
Finland	RSCA	0,013	-0,180	-0,465	-0,295	-0,119	B	D	D	D	D
	TBI	-0.615	-0.750	-0.852	-0.792	-0.720					
Sweden	RSCA	0,411	0,371	0,439	0,439	0,498	A	A	A	A	A
	TBI	0.549	0.291	0.444	0.414	0.591					

Seen in Table 2, in the electricity and derived heat sector, Bulgaria, Czechia, Estonia, France, Portugal, Romania, Slovenia, and Sweden are in Group A. It can be said that these countries are net exporting countries with comparative advantage and competitive power. However, Belgium, Greece, Spain, Italy, Luxembourg, Hungary, Malta, the Netherlands, Poland, Finland are in Group D and these countries are non-competitive net importers.

Table 3. Product Mapping in the Natural Gas Sector

COUNTRIES	INDEXES	2015	2016	2017	2018	2019	PM				
							2015	2016	2017	2018	2019
Belgium	RSCA	-0,559	-0,791	-0,790	-0,534	0,019	D	D	D	D	D
	TBI	-0.835	-0.927	-0.922	-0.873	-0.682					
Bulgaria	RSCA	-0,993	-0,989	-0,899	-0,943	-0,965	D	D	D	D	D
	TBI	-0.999	-0.998	-0.981	-0.992	-0.995					
Czech Republic	RSCA	-1	-1	-1	-1	-1	D	D	D	D	D
	TBI	-1	-1	-1	-1	-1					
Estonia	RSCA	-1	-1	-1	-1	-1	D	D	D	D	D
	TBI	-1	-1	-1	-1	-1					
Ireland	RSCA	-1	-1	-1	-1	-1	D	D	D	D	D
	TBI	-1	-1	-1	-1	-1					
Greece	RSCA	-1	-1	-1	-1	-0,961	D	D	D	D	D
	TBI	-1	-1	-1	-1	-0.994					
Spain	RSCA	-0,139	-0,239	-0,416	-0,199	-0,615	D	D	D	D	D
	TBI	-0.730	-0.781	-0.846	-0.829	-0.941					
France	RSCA	-0,393	-0,515	-0,336	-0,184	0,126	D	D	D	D	D
	TBI	-0.783	-0.852	-0.779	-0.786	-0.672					
Croatia	RSCA	-0,020	0,010	-0,356	-0,451	-0,618	D	B	D	D	D
	TBI	-0.482	-0.530	-0.802	-0.867	-0.930					
Italy	RSCA	-0,953	-0,952	-0,942	-0,885	-0,900	D	D	D	D	D
	TBI	-0.993	-0.994	-0.992	-0.989	-0.991					
Latvia	RSCA	-1	-1	-1	-1	-1	D	D	D	D	D
	TBI	-1	-1	-1	-1	-1					
Lithuania	RSCA	-0,663	-0,822	-0,442	-0,369	0,115	D	D	D	D	D
	TBI	-0.928	-0.962	-0.848	-0.854	-0.683					
Luxembourg	RSCA	-1	-1	-1	-1	-1	D	D	D	D	D
	TBI	-1	-1	-1	-1	-1					
Netherlands	RSCA	0,681	0,722	0,684	0,757	0,735	A	A	A	B	B
	TBI	0.152	0.130	0.017	-0.056	-0.109					
Poland	RSCA	-0,972	-0,623	-0,556	-0,642	-0,641	D	D	D	D	D
	TBI	-0.991	-0.886	-0.854	-0.916	-0.924					
Portugal	RSCA	-1	-1	-1	-1	-1	D	D	D	D	D
	TBI	-1	-1	-1	-1	-1					
Romania	RSCA	-0,998	-0,998	-0,962	-0,941	-0,974	D	D	D	D	D
	TBI	-0.990	-0.999	-0.957	-0.961	-0.990					
Slovenia	RSCA	-1	-1	-0,988	-0,952	-0,992	D	D	D	D	D
	TBI	-1	-1	-0.992	-0.975	-0.996					
Slovakia	RSCA	-1	-1	-1	-1	-1	D	D	D	D	D
	TBI	-1	-1	-1	-1	-1					
Finland	RSCA	-1	-1	-1	-1	-1	D	D	D	D	D
	TBI	-1	-1	-1	-1	-1					
Sweden	RSCA	-1	-1	-0,997	-0,989	-0,981	D	D	D	D	D
	TBI	-1	-1	-0.991	-0.976	-0.958					

Seen in Table 3, although the Netherlands was seen to be a highly competitive and net exporter in 2015, 2016 and 2017, it is seen that it lost this advantageous position in 2018 and 2019. It is seen that other countries do not have competitive power and are net importers.

Table 4. Product Mapping in the Petroleum and Petroleum Products Sector

COUNTRIES	INDEXES						PM				
		2015	2016	2017	2018	2019	2015	2016	2017	2018	2019
Czech Republic	RSCA	-0,525	-0,573	-0,555	-0,568	-0,547	D	D	D	D	D
	TBI	-0.632	-0.638	-0.653	-0.677	-0.675					
Germany	RSCA	-0,572	-0,576	-0,570	-0,564	-0,547	D	D	D	D	D
	TBI	-0.701	-0.700	-0.697	-0.694	-0.705					
Ireland	RSCA	-0,828	-0,845	-0,830	-0,848	-0,869	D	D	D	D	D
	TBI	-0.672	-0.690	-0.654	-0.684	-0.711					
France	RSCA	-0,300	-0,319	-0,322	-0,314	-0,352	D	D	D	D	D
	TBI	-0.654	-0.651	-0.659	-0.654	-0.688					
Cyprus	RSCA	-0,939	-0,960	-1,000	-1,000	-1,000	D	D	D	D	D
	TBI	-0.982	-0.988	-1	-1	-1					
Latvia	RSCA	0,045	-0,050	-0,106	-0,026	-0,283	B	D	D	D	D
	TBI	-0.481	-0.545	-0.544	-0.474	-0.653					
Luxembourg	RSCA	-0,998	-0,997	-0,993	-0,999	-0,998	D	D	D	D	D
	TBI	-0.995	-0.992	-0.982	-0.998	-0.997					
Hungary	RSCA	-0,336	-0,328	-0,302	-0,193	-0,236	D	D	D	D	D
	TBI	-0.530	-0.508	-0.500	-0.465	-0.501					
Malta	RSCA	-0,260	-0,550	-0,732	-0,443	-0,411	D	D	D	D	D
	TBI	-0.673	-0.816	-0.901	-0.790	-0.783					
Austria	RSCA	-0,581	-0,601	-0,603	-0,550	-0,557	D	D	D	D	D
	TBI	-0.667	-0.673	-0.675	-0.650	-0.679					
Poland	RSCA	-0,186	-0,281	-0,446	-0,387	-0,432	D	D	D	D	D
	TBI	-0.580	-0.627	-0.728	-0.707	-0.732					
Slovakia	RSCA	0,011	-0,042	-0,064	-0,108	-0,095	B	D	D	D	D
	TBI	-0.265	-0.293	-0.314	-0.351	-0.352					

According to the results of product mapping in the Petroleum and Petroleum Products Sector, since none of the countries included in the analysis are in Group A, Table 4 shows net importer, non-competitive countries in Group D. The countries in Group D are Czechia, Germany, Ireland, France, Cyprus, Latvia, Luxembourg, Hungary, Malta, Austria, Poland, and Slovakia.

Table 5. Product Mapping in the Biofuels Sector

COUNTRIES	INDEXES						PM				
		2015	2016	2017	2018	2019	2015	2016	2017	2018	2019
Bulgaria	RSCA	0,671	0,600	0,638	0,617	0,614	A	A	A	A	A
	TBI	0.536	0.366	0.633	0.532	0.371					
Czech Republic	RSCA	0,196	0,316	0,340	0,308	0,232	A	A	A	A	A
	TBI	0.798	0.843	0.835	0.839	0.866					
Denmark	RSCA	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	D	D	D	D	D
	TBI	-1	-1	-1	-1	-1					
Estonia	RSCA	0,963	0,970	0,969	0,970	0,969	A	A	A	A	A
	TBI	0.962	0.984	0.984	0.982	0.986					
Greece	RSCA	-0,972	-0,993	-0,654	-0,780	-0,917	D	D	D	D	D
	TBI	-0.938	-0.988	-0.550	-0.675	-0.836					
France	RSCA	-0,562	-0,566	-0,560	-0,595	-0,751	C	D	D	D	D
	TBI	0.117	-0.130	-0.156	-0.169	-0.535					
Croatia	RSCA	0,793	0,794	0,817	0,779	0,762	A	A	A	A	A
	TBI	0.932	0.869	0.887	0.814	0.752					
Italy	RSCA	-0,964	-0,948	-0,920	-0,960	-0,972	D	D	D	D	D
	TBI	-0.989	-0.984	-0.976	-0.989	-0.993					
Cyprus	RSCA	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	D	D	D	D	D
	TBI	-1	-1	-1	-1	-1					
Latvia	RSCA	0,980	0,981	0,980	0,979	0,982	A	A	A	A	A
	TBI	0.849	0.809	0.791	0.761	0.766					
Lithuania	RSCA	0,839	0,839	0,862	0,862	0,863	A	A	A	A	A
	TBI	0.577	0.563	0.547	0.417	0.413					
Austria	RSCA	0,487	0,521	0,554	0,582	0,533	A	A	A	A	A
	TBI	0.206	0.217	0.246	0.285	0.418					
Portugal	RSCA	0,800	0,780	0,728	0,738	0,748	A	A	A	A	A
	TBI	0.826	0.652	0.870	0.798	0.942					
Finland	RSCA	-0,138	-0,385	-0,374	-0,365	-0,567	C	D	D	D	D
	TBI	0.003	-0.184	-0.398	-0.372	-0.541					

The results of Product Mapping in the Biofuels Sector in Table 5, show that Bulgaria, Czechia, Estonia, Croatia, Latvia, Lithuania, Austria, and Portugal are in Group A, while Denmark, Greece, France, Italy, Cyprus, and Finland are in Group D.

Table 6. Product Mapping in the Solid Fossil Sector

COUNTRIES	INDEXES						PM				
		2015	2016	2017	2018	2019	2015	2016	2017	2018	2019
Belgium	RSCA	-0,835	-0,900	-0,848	-0,873	-0,791	D	D	D	D	D
	TBI	-0.946	-0.965	-0.952	-0.968	-0.947					
Bulgaria	RSCA	-0,584	-0,778	-0,693	-0,435	-0,367	D	D	D	D	D
	TBI	-0.939	-0.961	-0.955	-0.909	-0.850					
Czech Republic	RSCA	0,774	0,782	0,769	0,764	0,720	B	A	D	D	D
	TBI	-0.001	0.031	-0.077	-0.145	-0.230					
Denmark	RSCA	-0,770	-0,939	-1,000	-0,935	-0,834	D	D	D	D	D
	TBI	-0.936	-0.986	-1	-0.988	-0.962					
Germany	RSCA	-0,395	-0,453	-0,356	-0,298	-0,275	D	D	D	D	D
	TBI	-0.905	-0.924	-0.908	-0.899	-0.888					
Estonia	RSCA	-0,807	-0,698	-0,537	-0,625	-0,471	D	D	D	D	D
	TBI	0.067	-0.278	-0.406	-0.544	-0.410					
Ireland	RSCA	-0,979	-0,982	-0,979	-1,000	-1,000	D	D	D	D	D
	TBI	-0.987	-0.987	-0.987	-1	-1					
Greece	RSCA	-1	-1	-1	-1	-1	D	D	D	D	D
	TBI	-1	-1	-1	-1	-1					
Spain	RSCA	-0,159	-0,473	-0,565	-0,393	0,163	D	D	D	D	D
	TBI	-0.879	-0.919	-0.960	-0.937	-0.699					
France	RSCA	-0,983	-0,945	-0,995	-0,956	-0,994	D	D	D	D	D
	TBI	-0.996	-0.987	-0.999	-0.993	-0.999					
Croatia	RSCA	-1	-1	-1	-1	-1	D	D	D	D	D
	TBI	-1	-1	-1	-1	-1					
Italy	RSCA	-0,711	-0,706	-0,690	-0,635	-0,686	D	D	D	D	D
	TBI	-0.962	-0.959	-0.958	-0.952	-0.948					
Cyprus	RSCA	-1	-1	-1	-1	-1	D	...	D	D	D
	TBI	-1	...	-1	-1	-1					
Latvia	RSCA	-0,944	-0,833	-0,816	-0,675	-0,830	D	D	D	D	D
	TBI	-0.945	-0.836	-0.841	-0.778	-0.888					
Lithuania	RSCA	-1	-1	-1	-1	-1	D	D	D	D	D
	TBI	-1	-1	-1	-1	-1					
Luxembourg	RSCA	-1	-1	-1	-1	-1	D	D	D	D	D
	TBI	-1	-1	-1	-1	-1					
Hungary	RSCA	0,204	0,208	-0,007	-0,044	-0,017	B	B	D	D	D
	TBI	-0.405	-0.412	-0.666	-0.715	-0.659					
Netherlands	RSCA	-0,886	-0,921	-0,832	-0,895	-0,860	D	D	D	D	D
	TBI	-0.982	-0.988	-0.974	-0.984	-0.974					

Austria	RSCA	-0,872	-0,908	-0,888	-0,869	-0,884	D	D	D	D	D
	TBI	-0.972	-0.982	-0.982	-0.978	-0.982					
Poland	RSCA	0,885	0,890	0,882	0,875	0,863	A	A	A	B	B
	TBI	0.302	0.312	0.028	-0.240	-0.216					
Portugal	RSCA	-1	-1	-1	-1	-1	D	D	D	D	D
	TBI	-1	-1	-1	-1	-1					
Romania	RSCA	0,098	-0,981	-0,984	-0,955	-0,996	B	D	D	D	D
	TBI	-0.674	-0.997	-0.997	-0.992	-1					
Slovenia	RSCA	-1	-1	-1	-1	-1	D	D	D	D	D
	TBI	-1	-1	-1	-1	-1					
Slovakia	RSCA	-0,690	-0,643	-0,601	-0,621	-0,318	D	D	D	D	D
	TBI	-0.971	-0.967	-0.970	-0.976	-0.942					
Finland	RSCA	-0,487	-0,569	-0,368	-0,422	-0,133	D	D	D	D	D
	TBI	-0.942	-0.959	-0.937	-0.953	-0.890					
Sweden	RSCA	-0,840	-0,938	-0,921	-0,972	-0,856	D	D	D	D	D
	TBI	-0.945	-0.983	-0.979	-0.994	-0.966					

It is seen that all countries are net importers, have weak competitive power and are comparatively disadvantaged and are included in Group D in Table 6. Czechia took place in Group B in 2015 and Group A in 2016. Hungary is in group B in 2015 and 2016. Poland is in group A in 2015, 2016, 2017 and in group B in 2018 and 2019.

5. CONCLUSIONS

In this study, the competitiveness and foreign trade balance of EU countries in the energy sector were examined together by using the Product Mapping Method for the EU countries with the data of the 2015-2019 period. A production mapping has been created for the energy sector of EU countries (solid fossil fuel, petroleum and petroleum products, natural gas, biofuels, electricity, and derived heat). The countries in Group A are both net exporters and have a comparative advantage in their respective sectors. The countries in Group A by five sub-energy sectors are listed below: in the electricity and derived heat sector, Bulgaria, Czechia, France, Sweden, Slovenia, Romania, Portugal, and Estonia; in the biofuel sector, Bulgaria, Czechia, Estonia, Croatia, Lithuania, Latvia, Austria and Portugal; in the petroleum and petroleum products sector, Denmark (in 2017 only); in the solid fossil fuel sector, Czechia (in 2016 only) and Poland (in 2015, 2016, 2017). The number of countries in Group A is higher in the electricity and derived heat, biofuels sectors. However, it has been determined that the number of countries in Group D is quite high in the natural gas, solid fossil fuel and petroleum and petroleum products sectors. The countries in Group D are countries that have a comparative disadvantage in the relevant sectors and are net importers. In this study, it has been determined which of the EU 27 countries have high or low competitiveness/comparative advantage in which of these sectors. Sectors with high competition and development potential have been identified. While producing in these sectors, it would be appropriate to establish competitive strategies that consider the damage on the environment and climate for the sustainability of competition.

REFERENCES

- Agustin, G., Ananda, C. F., Maski, G., & Saputra, P. M. (2014). The product mapping analysis of manufacturing industry products in bilateral trade between Indonesia and China in 1995-2011. *Int. J. Eco. Res*, 5(2), 37-49.
- Bakkalci, A. C. (2018). Küresel sistemde Türk tekstil sektörünün ürün haritalaması yöntemiyle analizi. *Yönetim ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 25(3), 569-585.
- Balassa B., (1965). Trade liberalization and “revealed” comparative advantage. *The Manchester School of Economics and Social Studies* 33 (2), 99–123
- Bashimov, G., & Aydın, A. (2018). Su ürünleri sektörünün rekabet gücünün analizi: Baltık Ülkeleri örneği. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 5(1), 48-55.
- Başkol, M. O., & Bektaş, S. (2021). Türkiye demir-çelik sektörünün ürün haritalaması: Widodo yöntemiyle bir analiz. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 19(Özel Sayı), 57-84.
- Dalum B., Laursen K., & Villumsen G. (1998). Structural change in OECD export specialization patterns: de-specialization and 'stickiness'. *International Review of Applied Economics* 12 (3), 423–443.
- Eurostat, (2021). Where does our energy come from?, Access address <https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy/bloc-2a.html>, Date of access: 01.08.2021
- Girik Allo, A., Sukartini, N. M., & Widodo, T. (2017). Dynamic changes in comparative advantage of Indonesian agricultural products. MPRA Paper 80028, University Library of Munich, Germany.
- Ishchukova, N., & Smutka, L. (2014). “Revealed” comparative advantage: Products mapping of the Russian agricultural exports in relation to individual regions, *Oeconomia* 13 (1), 45–61.
- Kesgingöz, H. (2018). Türkiye'nin tarım sektörünün karşılaştırmalı üstünlükler yöntemiyle analizi. *Business & Management Studies: An International Journal*, 6(2), 508-523.
- Kesgingöz, H. Yeldan, M., & Güçlü, U. (2020), Dünya ticaretinde türkiye'nin demir çelik sektörünün analizi. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, C 16, S 4, 854-889.
- Kuşat, N. (2018). Açıklanmış karşılaştırmalı üstünlükler indeksi çerçevesinde AB aday ülkeleri enerji sektörü rekabet gücü analizi (2006-2016). *Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Dergisi (IBAD)*, 3(1), 362-376.
- Lafay G., (1992). The measurement of revealed comparative advantages. In: M.G. Dagenais and P.A. Muet (Eds.). *International Trade Modeling*. Chapman & Hill, London.
- Laursen K., (1998). Revealed comparative advantage and the alternatives as measures of international specialization. Danish Research Unit for Industrial Dynamics DRUID, Working Paper 98 (30).
- Laursen, K. (2015). Revealed comparative advantage and the alternatives as measures of international specialization. *Eurasian business review*, 5(1), 99-115.
- Maqbool, M. S., Rehman, M.A.U., & Ditta, A. (2020). Comparative advantage and the product mapping of exporting sector of minerals in Pakistan. *AJSS*, 4(3), 700-710.
- Oelgemöller, J. (2012). Analyzing the international competitiveness of the industry in Portugal, Ireland, Greece and Spain using revealed comparative advantages (RCA) indicators (No. 61). CAWM Discussion Paper.
- Sabaruddin, S.S. (2015). Analisis product mapping daya saing ekspor produk primer Indonesia, dan China *Jurnal Organisasi Dan Manajemen*, 11(2):99-117.
- Saeyang, R. & Nissapa, A. (2021). Trade competitiveness in the global market: An analysis of four palm oil products from Indonesia, Malaysia and Thailand. *International Journal of Agricultural Technology* 17(3):1077-1094.
- Şahbudak, E., & Şahin, D. (2016). Tekstil ve hazır giyim sektörünün dış ticaret yapısı: Türkiye ve AB ülkeleri örneği. *Kesit Akademi Dergisi*, (4), 125-139.
- Widodo T., (2009). Comparative advantage: Theory, empirical measures and case studies. *Review of Economic and Business Studies* 2 (2), 57–81.



COVID-19 SALGINININ KÜRESEL ENERJİ PİYASALARINA ETKİLERİ: MEVCUT DURUM VE OLASI GELECEK SENARYOLARI ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME

THE EFFECTS OF THE COVID-19 PANDEMIC ON GLOBAL ENERGY MARKETS: AN ASSESSMENT ON THE CURRENT SITUATION AND POSSIBLE FUTURE SCENARIOS

İsmail KAVAZ

Fırat Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Elazığ, Türkiye,
ORCID No: 0000-0002-3044-795X

Özet

Aralık 2019'da ilk olarak Çin'in Wuhan kentinde ortaya çıkan COVID-19 salgını kısa sürede tüm dünyaya yayılarak birçok olumsuzluğu beraberinde getirmiştir. Bu süreçten başta sağlık olmak üzere ulaşım, turizm, üretim ve ticaret gibi çeşitli alanlar ciddi şekilde etkilenmiştir. Söz konusu olumsuz etkiler enerji piyasalarında da derinleşerek devam etmektedir. Salgının henüz başlarında özellikle petrol ürünlerine olan talepte önemli düşüşler gözlemlenmiş bu durum kısa zamanda tüm enerji piyasalarına yansımıştır. Zira salgının yayılmasını önlemek amacıyla alınan tedbirler ekonomik aktivitelerin yavaşlamasına ve hatta zaman zaman durmasına sebep olmuş, böylece enerjiye olan talep azalmıştır. Bu durum enerji arz ve talep eden ülkeleri ayrı ayrı etkilemiştir. Enerji kaynaklarını ihraç eden ülkeler fiyatlardaki azalma neticesinde büyük ekonomik zararlarla karşı karşıya kalmışlardır. Diğer taraftan, bu kaynakları ithal eden ülkelerde meydana gelen talep daralması nedeniyle yaşanan kriz, doğrudan ve dolaylı olarak enerji ihracatçısı ülkelere yansımıştır. Özellikle bütçe gelirlerinde enerji ihracatının büyük payı olan ülkeler açısından petrol fiyatlarının uzun süre düşük seyretmesi ciddi ekonomik sonuçlar doğurmuştur. Enerji kaynaklarını ithal eden ülkelerde ise düşük enerji fiyatları başlangıçta olumlu bir gelişme gibi görünse de geline nokta itibarıyla bu durumun sürdürülebilir olmadığı anlaşılmıştır. Bu bakımdan günümüzde enerji fiyatlarının çok sert bir şekilde yukarı çıkması dikkat çekmektedir. Dolayısıyla, salgının başlarında enerji sektörü talep daralmasının nasıl giderileceğini tartışırken, mevcut durumda aşırı talep artışının enerji fiyatlarını ciddi derecede yükseltmesi ve bu durumun çözüm yollarının araştırıldığı söylenebilir. Gelecekte ise söz konusu fiyat artışlarının bir süre daha devam edebileceği sonrasında ise piyasanın kademeli bir şekilde normal seyrine dönmesi öngörülmektedir. Bu çalışmada, COVID-19 salgınının küresel enerji piyasalarındaki etkileri mevcut durum ve gelecek senaryoları üzerinden değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: COVID-19 Salgını, Enerji Piyasaları, Arz ve Talep, Fiyatlar

ABSTRACT

The COVID-19 epidemic, which first appeared in Wuhan, China in December 2019, spread all over the world in a short time and brought many negativities. Several fields such as transportation, tourism, production and trade, especially health, have been seriously affected by this process. These negative effects continue to deepen in the energy markets as well. Significant decreases were observed in the demand for petroleum products, especially at the beginning of the epidemic, and this situation was reflected in all energy markets in a short time. Because the measures taken to prevent the spread of the epidemic caused economic activities to slow down and even stop from time to time, thus the demand for energy decreased. This situation affected the countries that supply and demand energy resources separately. Countries exporting energy resources have faced great economic losses as a result of the decrease in prices. On the other hand, the crisis occurred due to the shrinkage in demand in energy importing countries, directly and indirectly reflected on energy exporting countries. The low oil prices for a long time had serious economic consequences, especially for the countries that have a large share of energy exports in their budget revenues. As for the countries that import energy resources, although low energy prices seem like a positive development at the beginning, it has been understood that this situation is not sustainable as of the point reached. In this respect, the significant increase on energy prices is noticeable. Therefore, while the energy sector was discussing how to overcome the demand problem at the beginning of the pandemic, in the current situation it can be said that the excessive demand

increase causes energy prices to increase significantly, and solutions are being sought for this situation. In the future, it is foreseen that these price increases may continue for a while, after which the market will gradually return to its normal course. In this study, the effects of the COVID-19 pandemic on the global energy markets are evaluated through the current situation and future scenarios.

Keywords: COVID-19 Pandemic, Energy Markets, Supply and Demand, Prices

1. GİRİŞ

2019 yılı Aralık ayında ilk olarak Çin'in Wuhan bölgesinde görülen COVID-19 salgını kısa sürede tüm dünyaya yayılarak hayatın birçok alanını olumsuz bir şekilde etkilemiştir. Salgının küresel ölçekte yayılmasıyla birlikte hemen hemen tüm ülkeler derin bir ekonomik krize sürüklenmişlerdir. Ekonomiler üzerindeki etkileri itibarıyla COVID-19 salgını dünyayı büyük bir resesyona sokmuştur. 2020'nin ilk çeyreğinde küresel üretimde yaşanan düşüşler ve buna bağlı olarak yükselen işsizlik rakamları ilerleyen dönemlerde derinleşerek devam etmiştir. 2. çeyrekte küresel ekonomi %9,9 küçülme kaydederken salgının Avrupa ve ABD'ye sıçramasıyla birlikte kriz birçok sektörü olumsuz etkilemeyi sürdürmüştür (IMF, 2021a).

2020'nin ikinci yarısında ise tüm dünyada alınan sıkı önlemler ve aşılama çalışmaları sayesinde salgının görece kontrol altına alınmasıyla beraber ülkeler erteledikleri ekonomik aktivitelerini eski seyrine döndürmeye başlamışlardır. Küresel ekonomik faaliyetlerde yılın üçüncü çeyreğinde bir önceki çeyreğe göre belirgin bir toparlanma gözlemlenmesine rağmen geleceğe yönelik belirsizlikler devam etmiştir. 2020'nin son çeyreğinde ise ekonomik toparlanma hızlanmış küresel büyüme oranları yukarı yönlü revize edilmiştir. Ancak yine de ekonomik göstergeler negatif büyüme oranlarına işaret etmiştir. Dünya ekonomisi 2020 yılını %3,4'lük daralma ile geride bırakmıştır (World Bank, 2021).

2021'e başlarken küresel ekonomik görünüm artık COVID-19 salgınının hasarlarını geride bırakma ve yeniden toparlanma sinyalleri vermekteydi. Zira, 2021 ilk çeyreğinde dünya ekonomisi COVID-19 salgınının etkinliğini hissettirmeye başladığı bir önceki yılın aynı dönemine göre %3,1 oranında büyüme performansı göstermiştir. Tablo 1'den görülebileceği üzere 2021 yılının ikinci çeyreğinde ise söz konusu büyüme oranı %12 olarak kayıtlara geçmiştir.

Tablo 1. 2021 Yılı II. Çeyrekte Seçili Ülkelerin Büyüme Oranları (%)

	Bir önceki yılın aynı çeyreğine göre büyüme	Bir önceki çeyreğe göre büyüme
Dünya	12,0	1,0
Gelişmiş Ülkeler	12,6	1,7
ABD	12,5	1,6
Almanya	9,8	1,6
Birleşik Krallık	22,2	4,8
Fransa	19,1	1,1
İtalya	18,7	2,7
İspanya	19,9	2,8
Güney Kore	5,9	0,8
Gelişmekte Olan Ülkeler	10,3	-0,1
Çin	7,9	1,3
Hindistan	20,1	-10,2
Brezilya	12,4	-0,1
Meksika	19,7	1,5
Rusya	10,3	
Endonezya	21,7	0,9
Türkiye	14,8	2,2

Kaynak: Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2021

COVID-19 salgınının küresel ekonomi içerisinde en fazla etkilediği sektörlerden biri de enerjidir. Salgının yayılmasını önlemek amacıyla alınan tedbirler ekonomik faaliyetlerde bir yavaşlama sürecini beraberinde

getirmiştir. Bu da enerji kaynaklarına olan talepte ciddi düşüşe ve özellikle petrol fiyatlarının sert bir şekilde azalmasına neden olmuştur. Ardından doğal gaz ve diğer enerji kaynaklarının fiyatları da kademeli bir şekilde azalmıştır. Bu durumun enerji kaynaklarını ihraç eden ülkeler açısından olumsuz yansımaları olmuştur. Zira bütçe gelirlerinin büyük kısmı enerji ihracatına bağlı olan ülkeler açık pozisyonlarını kapatamamışlardır. Dolayısıyla, 2020 enerji piyasaları ve özellikle rezerv sahibi ülkeler açısından ciddi istikrarsızlıkları yaşandığı bir yıl olarak geride kalmıştır.

2021 ise ekonomilerdeki toparlanma sürecinin hızlanması ile birlikte küresel enerji talebinde artışları beraberinde getirmiştir. Diğer taraftan, bu süreç enerji fiyatlarının sert bir şekilde yükselmesine sebep olmuş ve dünya yeni bir enerji kriziyle karşı karşıya kalmıştır. Üretimden ticarete, konuttan sanayiye tüm sektörlerde önemli ve zorunlu bir girdi konumunda bulunan enerji kaynaklarının fiyatlarında yaşanan olağan dışı gelişmelerin küresel ekonomiyi derinden etkilediği görülürken bu sürecin kısa-orta vadede de devam edeceği tahmin edilmektedir.

Bu çalışmada, COVID-19 salgınının küresel enerji piyasalarındaki etkileri mevcut durum ve gelecek senaryoları üzerinden değerlendirilecektir. İlk olarak COVID-19'un küresel bir salgın olmaya başlaması sonucunda enerji piyasalarında yaşanan talep daralması ve günümüzde ekonomilerin yeniden toparlanma sürecine girmeleriyle birlikte enerji fiyatlarında meydana gelen sert yükselişlerden bahsedilecektir. Ardından yaşanan sürecin gelecekteki etkileri bazı senaryolar üzerinden ele alınacaktır. Çalışma, sonuç ve değerlendirme bölümüyle tamamlanacaktır.

2. KÜRESEL ENERJİ KRİZİ

COVID-19 salgınının tüm dünyaya yayılarak olumsuz etkilerini gösterdiği süreçte turizmden sosyal hayata, iş dünyasından ülke ekonomilerine kadar bir çok alandaki faaliyetler kesintiye uğramıştır. Söz konusu sürecin enerji piyasaları üzerindeki olumsuz etkileri ise derinleşerek devam etmektedir. Bu bölümde, küresel enerji talebi ve fiyat hareketleri üzerine genel bir değerlendirme yapılacaktır.

2.1. Enerji Talebi

Salgının Amerika ve Avrupa kıtasına yayılmasıyla birlikte özellikle petrol ürünlerine olan talepte ciddi bir düşüş yaşanmıştır. Söz konusu talep azalmasının yaklaşık %20 seviyelerine ulaştığı gözlemlenirken bu durum küresel petrol fiyatlarının hızlı bir biçimde gerilemesine neden olmuştur (IEA, 2020a). Dünya bu seviyedeki bir petrol talebi azalması ile ilk kez karşı karşıya kalmış, bunun sonucu olarak da petrol fiyatlarının şiddetli bir şekilde düşerek 20\$ seviyelerine gerilediği gözlemlenmiştir (Bloomberg, 2021). 2020 başlarında Brent petrolün varil fiyatı 58\$ iken aynı yılın Nisan ayında 20\$ seviyesine kadar düşmüştür (Trading Economics, 2021a). Sonrasında yine dalgalı bir seyir izleyen petrol fiyatları 2020'yi 50\$ bandında tamamlamıştır. Söz konusu durumun sadece petrol endüstrisini değil küresel enerji piyasalarının tamamını derinden etkilediği gözlemlenmiştir.

Küresel koronavirüs salgını nedeniyle 2020'nin ilk çeyreğinde gerçekleşen petrol talebindeki azalma ikinci çeyrekte dip seviyesine ulaşmış sonrasında yeniden bir miktar artmıştır. Tablo 2'den görülebileceği üzere 2016 ile 2019 yılları arasında günlük küresel petrol talebi 95-100 milyon varil arasında değişim gösterirken, 2020'nin ilk çeyreğinde bu miktar 92 milyon varil ve ikinci çeyrekte ise 82 milyon varil seviyelerine kadar gerilemiştir.

Tablo 2. Küresel Petrol Talebi (2016-2020, Milyon Varil/Gün)

	2016	2017	2018	2019	1Ç2020	2Ç2020	3Ç2020	4Ç2020	Ort. 2020
Petrol Talebi	95,70	97,42	98,84	99,76	92,92	82,55	90,95	93,56	90,01

Kaynak: OPEC, 2021

Söz konusu süreçte petrol üreticisi ülkelerin aldıkları pozisyonlar oldukça kritik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda piyasadaki dalgalanma ve petrol üretiminde söz sahibi ülkelerin attığı adımlar özellikle Irak, Nijerya,

Cezayir ve Umman gibi gelirlerinin büyük kısmını petrolden sağlayan aktörleri olumsuz bir duruma sokmuştur. Örneğin, Irak merkezi bütçesinin yaklaşık %90'ını ülkenin petrol gelirleri oluşturmaktadır (IMF, 2019). Dolayısıyla, dönemin petrol fiyatları ve gelirleri ile Irak ekonomik bir darboğazın içine girmiştir. Bu da zaten uzun zamandır ciddi bir istikrarsızlık yaşayan ülkeyi ekonomik ve sosyal bakımdan oldukça olumsuz bir şekilde etkilemiştir.

Bunun yanı sıra, koronavirüs salgınının olumsuz olarak etkilediği en önemli sektörlerin başında kuşkusuz ulaşım gelmektedir. Bu da küresel petrol tüketiminin giderek azalmasının arkasındaki en önemli sebepler arasında sayılabilir. Günlük petrol üretiminin yaklaşık %60'ının kullanıldığı sektörün faaliyetleri neredeyse durma noktasına gelmiştir (IEA, 2020b). Bunun sonucunda ise günlük petrol talebinde önemli miktarda düşüşler gerçekleşmiştir. Küresel petrol talebi 2020'de %8,8 oranında daralırken, ekonomik faaliyetlerdeki canlanmayla birlikte 2021'de talepte %6 üzerinde bir artış yaşanması beklenmektedir (IEA, 2021).

Geçmiş dönemlerde petrol piyasasında yaşanan aşağı yönlü sert fiyat hareketleri genel olarak ekonomik krizlerle paralellik göstermekteydi. Ancak COVID-19 salgınının başladığı dönemde sadece ekonomik durumdan kaynaklı değil, aynı zamanda insanların yaşam biçimlerindeki değişimler nedeniyle fiyatlarda bu denli hızlı düşüşler gözlemlenmiştir. Örneğin havacılık sektörü küresel ekonominin yaklaşık %3'ünü oluştururken aynı sektör toplam petrol tüketiminde %10 seviyelerinde bir yere sahiptir (BP, 2021). İnsanların seyahat etmemesi ve küresel ticaretin yavaşlaması gibi nedenlerle söz konusu sektördeki faaliyetler sekteye uğramıştır. Bu da küresel petrol talebini azaltmış ve ülke ekonomilerini olumsuz etkilemiştir. Dolayısıyla, önceden 'sonuç olan' etmenler yaşanan COVID-19 salgını sürecinde 'sebepe olma' durumuna dönüşmüştür.

Enerji açısından son derece önemli bir diğer sektör ise elektrik piyasasıdır. Salgının yol açtığı kriz sonucunda elektrik piyasalarının önemi bir kez daha anlaşılmıştır. Elektrik, günümüz koşullarında vazgeçilemez bir enerji çeşidi olarak karşımıza çıkmaktadır. Salgın sebebiyle insanların yaşam standartlarında ciddi bir kısıtlama gözlemlenmesine rağmen elektrik enerjisine olan talep bu dönemde özellikle hanehalkı düzeyinde artmıştır. Dolayısıyla, COVID-19 sürecinde elektrik arz güvenliğinin son derece kritik bir öneme sahip olduğu bir kez daha anlaşılmıştır. Diğer taraftan, COVID-19 salgınının başladığı dönemlerde ülkelerin uyguladığı kısıtlama politikaları nedeniyle sanayi ve ticaret sektöründe ciddi tüketim azalmaları yaşanmıştır. Böylece küresel elektrik talebi 2020 yılında yaklaşık %1 oranında düşmüştür (IEA, 2021). Bunun yanı sıra 2021 yılında küresel elektrik talebinin özellikle gelişmekte olan ekonomilerdeki hızlı toparlanma süreciyle birlikte yaklaşık %4,5 oranında artacağı öngörülmektedir.

Küresel enerji sistemi bağlamında doğal gaz piyasasındaki gelişmeleri de izlemekte fayda vardır. COVID-19 salgınının başladığı dönemde petrol talebinde görülen azalmanın doğal gaz için geçerli olduğu söylenemez. Ancak petrol fiyatlarındaki sert düşüş küresel doğal gaz piyasasını doğrudan etkilemiştir. Bilindiği üzere doğal gaz piyasasında yapılan sözleşmeler küresel petrol fiyatlarına endeksli bir şekilde sürdürülmektedir. Dolayısıyla, petrol fiyatlarındaki düşme eğilimi doğal gaz fiyatlarını da aşağı çekmektedir. Bu durum doğal gazda dış tedarikçilere bağımlı yapıdaki ülkeler açısından bir avantaj olarak değerlendirilirken kaynak sahibi ülkeler bakımından dezavantajlı bir durum olarak nitelendirilebilir. 2020 yılında 75 milyar metreküp (%1,9) miktarında düşen küresel doğal gaz tüketiminin 2021'de %3,2 oranında artması beklenmektedir (IEA, 2021). Doğal gaz talebinin petrol kadar düşmemesinin nedeni, bu kaynağın sanayi, ticaret, elektrik üretimi ve konut gibi sektörlerde yoğunlukla kullanılması şeklinde izah edilebilir.

Bir diğer fosil enerji kaynağı olan kömür talebinde ise 2020 yılı %4'lük bir azalma ile geride bırakılırken, 2021'de bu talebin %4,5 oranında artacağı tahmin edilmektedir (IEA, 2021). 2021'in son çeyreğinde özellikle doğal gaz fiyatlarında yaşanan yukarı yönlü sert hareketler önümüzdeki süreçte elektrik üretim sektöründe kömürden daha çok faydalanılabileceği şeklinde yorumlanabilir.

2.2. Enerji Fiyatları

COVID-19 salgınının etkisiyle 2020'nin başlarından 2021'in ikinci çeyreğine kadar azalan küresel enerji talebi, bu dönemde özellikle petrol ve doğal gaz fiyatlarında önemli düşüşlere neden olmuştur. Söz konusu düşüşler kısa zamanda tüm enerji piyasalarına yansımış ve küresel anlamda bir fiyat şokuyla karşı karşıya kalınmıştır.

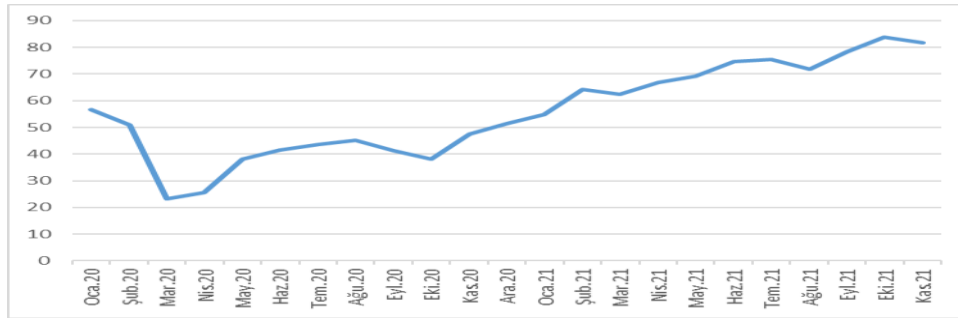
Bu dönemde, düşen petrol fiyatları ekonomisi petrol ve doğal gaz ihracatına bağlı olan OPEC üyeleri ve diğer pek çok ülke için tehdit unsuru haline gelmiştir. Başta Suudi Arabistan olmak üzere Irak, İran, Venezuela ve Libya gibi halihazırda iç karışıklık ve yaptırımlarla mücadele eden ülkelerin 30\$ civarındaki fiyatlarla petrol ticaretini sürdürmesi mümkün değildi. Örneğin, Suudi Arabistan'ın 75-80\$ seviyesindeki petrol fiyatlarına göre bütçesini planladığı bilinmektedir (Kingdom of Saudi Arabia, 2016).

Bir diğer önemli petrol üreticisi olan Rusya ise bu dönemde üretimi artırma kararı almış ve piyasa hakimiyetini güçlendirmek istemiştir. Ayrıca, Rusya'nın bazı üretim sahalarındaki petrol kuyuları üretimin durdurulup yeniden başlatılmasına uygun değildir. Söz konusu kuyularda ağır petrol üretildiğinden ve bahse konu olan özel durumdan dolayı Rusya üretimi kısma veya durdurma konusunda aksi bir tavır sergilemiştir. Rusya'nın bu tutumuna Suudi Arabistan tarafından daha sert bir yanıt verilerek üretimin artırılması, petrol fiyatları savaşını resmen başlatmıştır. Bu süreçte giderek azalan petrol fiyatları ihracatçı konumunda bulunan pek çok ülke için ciddi tehditleri beraberinde getirmiştir.

Hal böyle olunca 9 Nisan 2020 tarihinde OPEC ve OPEC dışı petrol üreticisi ülkeler geniş katılımlı bir toplantı gerçekleştirerek arz kısıntılarını tartışmışlardır. Taraflar bu toplantıda Mayıs ve Haziran aylarında 9,7 milyon varil/gün, Temmuz-Aralık döneminde 7,7 milyon varil/gün, Ocak-Nisan 2021 döneminde ise 5,8 milyon varil/gün arz kısıntısı üzerinde anlaşmışlardır (OPEC, 2020). Ancak, yine bu toplantıda ABD tarafından ambargolara maruz bırakılan İran, Venezuela ve Libya'nın söz konusu kısıtlamalardan muaf tutulması kararı alınmıştır. Yine bazı ülkeler yukarıda bahsedilen ekonomik sebeplerden ötürü söz konusu anlaşmaya katılmamışlardır. Dolayısıyla, bütüncül bir katılım olmadığı için OPEC toplantısında alınan kararlar tam anlamıyla hayata geçirilememiştir.

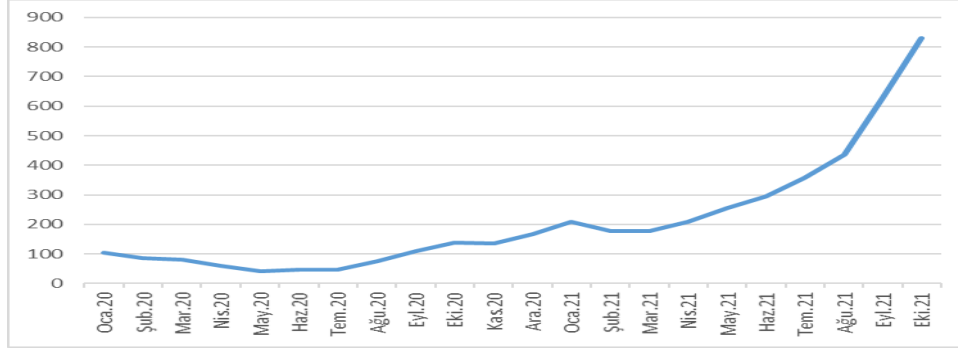
2020'nin ikinci yarısından itibaren küresel ekonomik aktivitelerin toparlanma başlamasıyla birlikte yeniden artan petrol fiyatları yılı 50\$ seviyesinde tamamlamıştır (Trading Economics, 2021a). 2021 ise ekonomik kayıpların kapatıldığı ve şiddetli bir küresel rekabetin yaşandığı bir yıl olarak geride kalmaktadır. Öyle ki hızlı ekonomik toparlanma yarışı öncelikle enerji talebini artırmış ve enerji fiyatlarının sert bir şekilde yükselmesine neden olmuştur. Grafik 1'den de görülebileceği üzere Eylül ayında günlük 87\$ seviyesini test eden Brent petrolün varil fiyatı son dönemde 80\$ bandında hareket etmektedir.

Grafik 1. Küresel Petrol Fiyatlarındaki Değişim (Ocak 2020-Kasım 2021, \$/Varil)

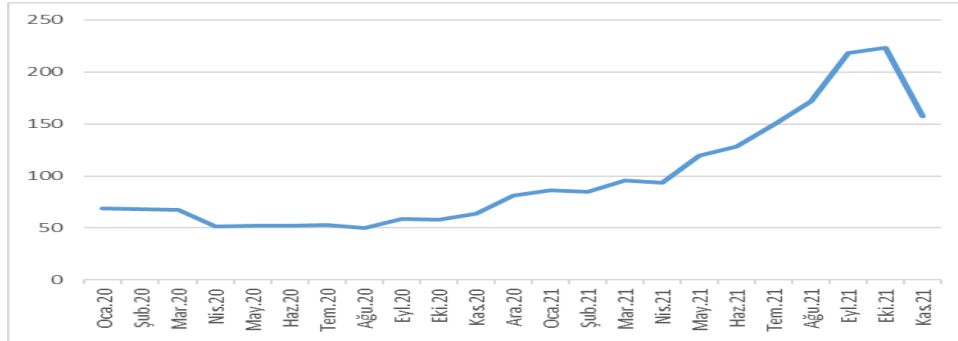


Kaynak: Trading Economics, 2021a

Bir diğer önemli enerji kaynağı olan doğal gazda ise COVID-19 salgınının başladığı ve yayıldığı dönemdeki fiyatlar önce düşmüş sonrasında yatay bir seyir izlemiştir. Grafik 2'den doğal gaz fiyatlarının 2021 başlarından itibaren sert bir şekilde artmaya başladığı gözlemlenmektedir. Bu dönemde küresel ekonomik aktivitelerdeki toparlanma süreci ile birlikte arz noktasında yaşanan sıkıntıların etkileri hissedilmektedir. Dolayısıyla, 2021'in ikinci yarısından itibaren fiyatların aşırı derecede yükseldiği ve 1000 metreküp doğal gaz fiyatının 900\$ bandına ulaştığı görülmektedir.

Grafik 2. Avrupa Birliği Doğal Gaz Fiyatları (Ocak 2020- Ekim 2021, \$/1000 Metreküp)**Kaynak:** IMF, 2021b

2020 yılında petrol ve doğal gaz fiyatlarında yaşanan düşüşlere rağmen kömür fiyatlarının genel olarak yatay bir seyir izlemesi dikkat çekmektedir. Söz konusu dönem için fiyatlar açısından bu durumun devam etmesi sonucunda özellikle elektrik üretiminde kömür yerine doğal gazın daha fazla kullanılması durumu ortaya çıkmıştır. Başka bir ifadeyle kömüre göre ucuz olan doğal gaza doğru bir yönelme yaşanmıştır. Günümüzde ise aşırı derecede artan doğal gaz fiyatları ve Grafik 3'ten görülebileceği üzere kömür fiyatlarının düşme eğilimine girmesi, yeniden kömür tüketiminin artmasına yol açmaktadır. Bu da doğal gaza göre daha fazla karbon salınımı yapan kömürün kullanımını yaygınlaştıran bir unsurdur. Dolayısıyla, eğer petrol ve doğal gaz fiyatları artmaya, kömür fiyatları da düşmeye devam ederse zaten yüksek olan küresel karbon salınımı daha da yükselecektir. Zira Uluslararası Enerji Ajansı tarafından yapılan tahminler de bu görüşü destekler niteliktedir. Ajansa göre 2020 yılında %5,8 oranında azalan küresel karbon salınımının, 2021'de %4,8 oranında artması beklenmektedir (IEA, 2021).

Grafik 3. Küresel Kömür Fiyatlarındaki Değişim (Ocak 2020-Kasım 2021, \$/Ton)**Kaynak:** Trading Economics, 2021b

Enerji kaynakların arz ve talebinde yaşanan dengesizliklerin fiyatları ciddi derecede etkilediği gözlemlenmektedir. Genel olarak fiyatların COVID-19 sürecinde azaldığı veya yatay bir seyir izlediği, 2021 yılı ile birlikte ise sert bir şekilde yukarı yönlü hareket ettikleri söylenebilir. Bu fiyat hareketleri ekonomik aktivitelerle birebir ilişki içerisinde olduğundan sadece enerji sektörünü değil sanayi, üretim, ticaret ve konut gibi alanları da ciddi şekilde etkilemektedir. Artan fiyatlarla mücadele konusunda kısa vadede yapılabilecekler oldukça sınırlı iken orta ve uzun vade için uygulanabilecek yöntemler daha çeşitlidir. Söz konusu yöntemler ve gelecekteki olası fiyat hareketleri bir sonraki bölümde incelenmektedir.

3. OLASI GELECEK SENARYOLARI

Çalışmanın bu bölümünde 3 olası senaryo üzerinden enerji kaynaklarının tüketimleri ve fiyatları değerlendirilecektir. Bunun için düşük, referans ve yüksek senaryolar oluşturularak gelecekteki olası talep ve fiyat değişimlerinin yönü hakkında bir analiz yapılacaktır.

Söz konusu senaryolar oluşturulurken enerji piyasasının temel dinamikleri baz alınmıştır. Burada mevcut durum analizinin ardından gelecekle ilgili tahminlere yer verilmektedir. Dolayısıyla, güncel fiyat hareketleri bahse konu olan senaryoların dayanak noktasını oluşturmaktadır. Fiyat hareketlerini etkileyen başta tüketim ve/veya talep olmak üzere, küresel ticaret hareketleri, ekonomik aktivitelerin hızlanması gibi parametreler analize dahil edilmiştir. Referans, yüksek ve düşük senaryolar petrol doğal gaz ve kömür kaynakları için ayrı ayrı tasarlanarak küresel enerji piyasalarında oluşabilecek olası fiyatlar ile ilgili birtakım çıkarımlar yapılmaktadır.

2021 yılı için günlük petrol talebi mevcut durum ve gelecek tahmini olarak Tablo 3'te verilmektedir. Buna göre 2021 sonu itibarıyla küresel petrol talebinin 2019 öncesi dönemde olduğu gibi 95 milyon varil seviyesinde gerçekleşeceği öngörülmektedir (bkz. Tablo 2). Dolayısıyla, COVID-19 krizinin özellikle petrol piyasasına yaklaşık 3 yıl kaybettirdiği söylenebilir.

Tablo 3. 2021 Küresel Petrol Talebi ve Tahminler (Milyon Varil/Gün)

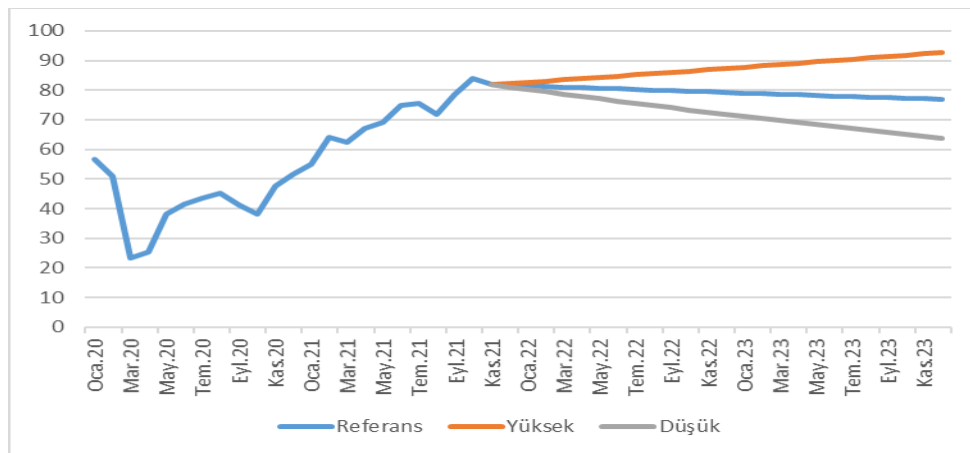
	1Ç2021	2Ç2021	3Ç2021	4Ç2021*	Ort. 2021*
Petrol Talebi	94,17	95,66	96,37	97,38	95,91

Kaynak: OPEC, 2021

*Not: * tahmin değerlerini ifade etmektedir.*

Hal böyle olunca petrol fiyatlarının da tıpkı 2019'da olduğu gibi 70-80\$ bandında hareket edeceği söylenebilir. Grafik 4'ten de görülebileceği üzere referans senaryoya göre fiyatların önce yatay bir şekilde ilerleyeceği, sonraki dönemde ise bir miktar azalacağı öngörülmektedir. Düşük senaryoda fiyatların 2023 sonunda 60\$ bandına çekilmesi, yüksek senaryoda ise 90\$ seviyesini aşması beklenmektedir.

Grafik 4. Küresel Petrol Fiyatları Tahmin Sonuçları (Ocak 2022-Aralık 2023, \$/Varil)



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Küresel doğal gaz talep tahminlerine bakıldığında ise 2023'e kadar ortalama yıllık %1,5 oranında artış yaşanması tahmin edilmektedir (IEA, 2020c). Tablo 4'teki verilere göre 2020'de 3.971 milyar metreküp olan küresel doğal gaz tüketiminin 2025 sonunda 4.370 milyar metreküp seviyesine ulaşacağı tahmin edilmektedir.

Fiyatların ise temelde küresel doğal gaz talebine göre şekilleneceği söylenebilir. Bu bağlamda, talepte yaşanan artışların üretimi de yükselteceği ve böylece mevcut durumdaki fiyatları düşüreceği ifade edilebilir.

Tablo 4. Küresel Doğal Gaz Tüketimi ve Tahminler (2020-2025, Milyar Metreküp)

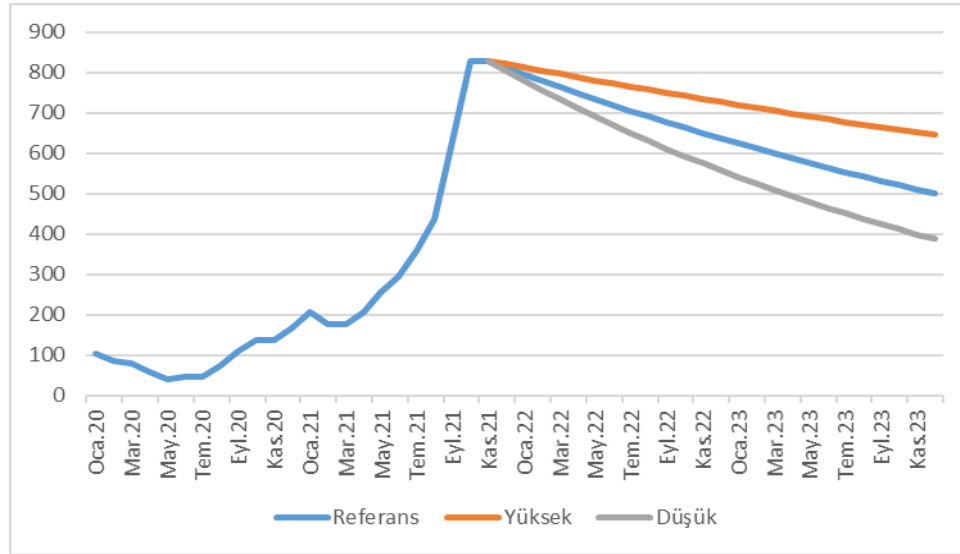
Yıl	Doğal Gaz Talebi
2020	3.971
2021	4.115
2022	4.177
2023	4.240
2024	4.305
2025	4.370

Kaynak: IEA, 2020c

Not: 2021-2025 arası tahmin değerlerini göstermektedir.

Grafik 5'ten doğal gaz fiyat tahminleri incelendiğinde öncelikle 3 senaryoda da aşağı yönlü hareketlerin beklenmesi dikkat çekmektedir. Yüksek senaryoda fiyatları 600-700\$, referans senaryoda 500\$ civarında ve düşük senaryoda ise 400\$ bandında olması öngörülmektedir. Dolayısıyla, küresel doğal gaz fiyatlarının COVID-19 salgını öncesi seviyesine inmesi mevcut durumda mümkün görünmemektedir. Söz konusu yüksek fiyatların kısa vadede azalma eğiliminde olacağı görülürken eski seviyelere inmesinin uzun vadede olası olduğu düşünülmektedir.

Grafik 5. Doğal Gaz Fiyatları Tahmin Sonuçları (Ocak 2022-Aralık 2023, \$/1000 Metreküp)



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Küresel kömür talebi ile ilgili rakamlar Tablo 5'te verilmektedir. Buna göre 2018 ile 2020 arasındaki dönemde kömür tüketimi yıllık olarak sırasıyla %1,8 ve %5 oranlarında düşmüştür. 2021'de bir önceki yıla göre küresel kömür talebinin %2,6 artacağı tahmin edilmektedir. 2022 ve 2023 yıllarında ise 7.400 milyon ton seviyelerinde olması beklenmektedir. Dolayısıyla, kömür talebinin önümüzdeki yıl az bir miktar artması ve sonrasında yeniden düşme eğilimine girmesi olasıdır.

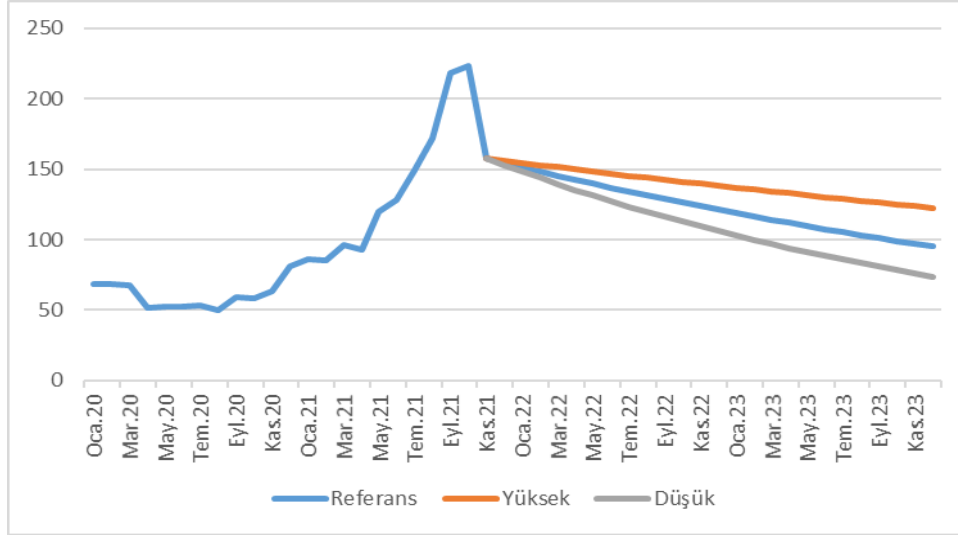
Tablo 5. Küresel Kömür Tüketimi ve Tahminler (2020-2023, Milyon Ton)

Yıl	Kömür Talebi
2018	7.766
2019	7.627
2020	7.243
2021	7.432
2022	7.450
2023	7.400

Kaynak: IEA, 2020d

Not: 2021-2023 değerleri tahminidir.

Söz konusu talep eğilimleri ve özellikle doğal gaz fiyatındaki hareketler küresel kömür fiyatlarındaki değişimleri yakından ilgilendirmektedir. Dolayısıyla, hali hazırda düşme trendine giren kömür fiyatlarının önümüzdeki 2 yıl boyunca bu eğilimi devam ettireceği öngörülmektedir. Bu bağlamda, kömürün ton fiyatının yüksek senaryoya göre 2023 sonunda 125\$ bandına gerilemesi, referans senaryoda 100\$ ve düşük senaryoda ise 75\$ seviyelerine kadar çekilmesi beklenmektedir.

Grafik 6. Küresel Kömür Fiyatları Tahmin Sonuçları (Ocak 2022-Aralık 2023, \$/Ton)

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Çalışmada incelenen enerji kaynaklarının geleceğe yönelik olası fiyat hareketleri genel olarak değerlendirildiğinde 2022-2023 dönemi için petrol fiyatlarının yatay bir seyir izlemesi beklenirken doğal gaz ve kömür fiyatlarının azalması öngörülmektedir. Küresel ekonomik aktivitelerdeki artış eğilimi enerji kaynaklarına olan talebi artırdığından ve bu durum da arz faaliyetlerini hızlandırdığından dolayı enerji kaynak fiyatlarının önümüzdeki dönemde düşme sürecine devam edecekleri tahmin edilmektedir. Diğer taraftan, özellikle petrol piyasalarına yapılacak olan arz kısıtlaması gibi müdahalelerin tüm enerji sektörünü etkileyeceği unutulmamalıdır. Bundan dolayı, ilerleyen dönemde öncelikle petrol piyasasındaki eylemler yakından takip edilecektir.

Artan fiyatlarla mücadele noktasında orta ve uzun vadede çeşitli yöntemler uygulanabilir. Öncelikle enerji ticaretinde kullanılan kontratların güncellenmesi ve fiyatlandırma yöntemlerinin dikkatlice gözden geçirilmesi gerekmektedir. Uzun vadeli kontratlardaki ağır şartlar esnetilmelidir. Bunun yanı sıra depolama teknolojilerinin geliştirilmesi özellikle yaşanan süreç gibi dönemlerde enerji tedarikinde dışa bağımlı yapıdaki ülkelerin arz güvenliklerini sağlamaları noktasında hayati öneme sahiptir. Bu amaçla ülkelerin depolama kapasiteleri artırmaları yerinde olacaktır. Ayrıca geleneksel fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji

ve nükleer güç gibi alternatifler vakit kaybetmeden değerlendirilmelidir. Bu noktada özellikle fosil yakıt rezervlerinden yoksun olan ülkelerin daha stratejik davranarak enerji portföylerini çeşitlendirmeleri önemlidir.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Koronavirüs salgını ile birlikte tüm dünya enerji güvenliğinin ne kadar önemli olduğunu daha iyi anlamıştır. Bu dönemde ortaya çıkan arz-talep dengesizlikleri enerji piyasalarının yeniden yapılandırılmasını gerektirmektedir. Dolayısıyla önümüzdeki süreçte enerji piyasalarının bilindik usullerle yönetilmesi işlemleri de değiştirilebilir. Liberal politikaların tartışılmaya başlandığı son dönemde devletin piyasada daha etkin rol almasının önü açılabilir. Başka bir ifadeyle kamunun piyasalar üzerindeki etkinliği ve sorumluluğu artırılabilir.

Petrol piyasasında yaşanan sert fiyat hareketleri özellikle fosil yakıtlarda dışa bağımlılığı yüksek olan ülkelerin yenilenebilir enerjiye geçişlerini hızlandırabilir. Ancak günümüzde yenilenebilir enerji alanındaki en büyük eksiklik devamlı bir üretim sürecinin olmamasıdır. Bu nedenle ülkeler hem bu alandaki eksiklikleri giderebilecek teknolojik yatırımlarla hem de alternatif kaynaklara yönelerek enerji portföylerini zenginleştirmelidir.

Özellikle son dönemde fosil yakıt fiyatlarında yaşanan sert artışlar küresel aktörleri bir karar verme aşamasına getirmiştir. Yenilenebilir enerji yatırımlarının giderek hızlandığı bir dönemde fosil yakıt fiyatlarındaki dengesizlik, alternatif kaynak arayışlarını -bilhassa da dışa bağımlı ülkeler açısından- artırmaktadır. Ancak küresel enerji altyapısı mevcut durumda fosil yakıtların egemenliğinde olduğundan dolayı söz konusu geçiş kolay olmayacaktır. Zira hali hazırda sanayi, üretim ve ulaşım gibi fosil yakıtların yoğunlukla kullanıldığı sektörler bu dönüşümü tam anlamıyla gerçekleştirememişlerdir. Dolayısıyla, petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil yakıtlara alternatif arayışlarının önümüzdeki süreçte artarak devam etmesi beklenmektedir.

Burada öne çıkan bir diğer önemli alternatif ise nükleer enerjidir. Nükleer enerji kullanımı her ne kadar içerisinde bir takım riskler barındırsa da enerji arz güvenliği anlamında önemli avantajlar sunmaktadır. Fukushima patlamasından sonra nükleer enerjiye olan talep hızla azalsa da günümüzde yeniden eski seviyelerine gelmektedir. Yapılan projeksiyonlar göstermektedir ki özellikle gelişmekte olan ülkeler nükleer enerji kaynağını kullanarak elektrik üretme kapasitelerini giderek geliştireceklerdir.

Ülkeler ilerleyen süreçte gerek ekonomik gerekse enerji piyasalarına yönelik tedbir paketlerini oluştururken kuşkusuz temiz enerji kaynaklarının kullanımını teşvik edici hususlara dikkat çekmelilerdir. Kısa vadede daha temiz enerji kaynaklarına doğru bir kayma beklenirken bu dönüşümün büyüklüğü veya boyutları hakkında kesin bir kanıya varmak oldukça zordur. İlerleyen dönemde kendi kendine yetebilen akıllı ev teknolojileri, elektrikli otomobiller, uygun maliyetli yenilenebilir enerji ekipmanları ve enerji depolayabilen pillerin üretilmesi alanları son derece önemli hususlar olarak öne çıkmaktadır.

Günümüzde koronavirüs salgını ve küresel ekonomik durum ana problemler gibi görünse de enerji piyasaları açısından en önemli sorunlarından biri karbon salınımı ve bunun sonucu olarak iklim değişikliği olgusudur. Salgının belki de en olumlu yanı küresel karbon salınımlarının azaltılması noktasında olmuştur. Bu duruma yol açan faktörler her ne kadar olumsuz olsa da emisyonların düşmesi olumlu bir gelişme olarak nitelendirilmektedir. Fosil yakıt piyasasında yaşanan gelişmeler belki de küresel bir enerji dönüşüm eylemiyle sonuçlanacaktır. Bunun yolu ise temiz enerji kaynakları kullanarak üretim yapılmasından geçmektedir. Ülkelerin bu konudaki yaklaşımları çoğunlukla iyimser olsa da açıklanan rakamlar genel durumun giderek kötüleştiğine işaret etmektedir. Diğer yandan, önümüzdeki dönemde ülkeler karbon salınımları konusunda verdikleri taahhütleri yerine getirip getirmeme konularında kritik bir sınav vereceklerdir. Dahası petrol fiyatları bu denli yüksekken ülkeler önemli bir yol ayrımı ile karşı karşıyadır. Piyasadaki aktörlerin petrol fiyatlarında yaşanan dalgalanmalardan bir ders çıkararak temiz enerji dönüşümüne hız verip vermeyeceklerini ise zaman gösterecektir.

KAYNAKÇA

- Bloomberg. (2021). Brent Petrol Fiyatları, Erişim adresi <https://www.bloomberght.com/emtia/brent-petrol>.
- BP-British Petroleum. (2021). Transport, Erişim adresi <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook/demand-by-sector/transport.html>.
- Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2021). Dünya Ekonomisindeki Son Gelişmeler Bülteni, Erişim adresi <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2021/09/Dunya-Ekonomisinde-Son-Gelismeler-2021-Yili-2-Ceyrek.pdf>.
- IEA-International Energy Agency. (2020a). Oil Market Report-March 2020, Erişim adresi <https://www.iea.org/reports/oil-market-report-march-2020>.
- IEA-International Energy Agency. (2020b). Oil 2020: Analysis and Forecast to 2025, Erişim adresi https://www.oecd-ilibrary.org/energy/oil-2020_cf9397c0-en.
- IEA-International Energy Agency. (2020c). Gas 2020, IEA, Paris, Erişim adresi <https://www.iea.org/reports/gas-2020>
- IEA-International Energy Agency. (2021). Global Energy Review 2021, Erişim adresi <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>.
- IMF-International Monetary Fund. (2019). Iraq: Selected Issues, Erişim adresi <https://www.imf.org/en/Publications/CR/Issues/2019/07/25/Iraq-Selected-Issues-48528>.
- IMF-International Monetary Fund. (2021a). IMF Data, Erişim adresi <https://www.imf.org/en/Data>.
- IMF-International Monetary Fund. (2021b). Primary Commodity Prices, Erişim adresi <https://www.imf.org/en/Research/commodity-prices>.
- Kingdom of Saudi Arabia. (2016). Saudi Vision 2030, Erişim adresi <https://www.vision2030.gov.sa/>.
- OPEC-Organization of the Petroleum Exporting Countries. (2020). The 10th (Extraordinary) OPEC and Non-OPEC Ministerial Meeting Concludes, Erişim adresi https://www.opec.org/opec_web/en/press_room/5891.htm.
- OPEC-Organization of the Petroleum Exporting Countries. (2021). OPEC Monthly Oil Market Report November 2021, Erişim adresi https://www.opec.org/opec_web/en/publications/338.htm.
- Trading Economics. (2021a). Brent Crude Oil, Erişim adresi <https://tradingeconomics.com/commodity/brent-crude-oil>.
- Trading Economics. (2021b). Coal, Erişim adresi <https://tradingeconomics.com/commodity/coal>.
- World Bank (Dünya Bankası). (2021). World Development Indicators, Erişim adresi <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>.



TOWARDS ECOLOGICAL AND ENERGY EFFICIENT DESIGN INSPIRED FROM VERNACULAR DWELLING'S ENVELOPE STRATEGIES: CASE OF VALLEY OUED RIGH AND VALLEY MZAB

ARIGUE Bidjad

University of Mohammed Khider, Department of Architecture, Biskra, Algeria

RAHMANI Soumia

University of Saad Dahlab, Institute of Architecture, Blida, Algeria.

SRITI Leila

University of Mohammed Khider, Department of Architecture, Biskra, Algeria

KAOULA Dalel

University of Saad Dahlab, Institute of Architecture, Blida, Algeria.

Abstract

Recently in Algeria, household energy consumption has grown considerably due to the increase in comfort, needs of occupants and rapid increase in the housing stock resulting from an acute housing crisis. To meet this need, many dwellings have been built, without taking into account thermal quality of the latter, which has led to an energy overconsumption in heating and air conditioning, especially in the south of the although the climate is very harsh in summer as in winter[1].

The production of energy is increasingly expensive, the residential and tertiary sector in Algeria is among the most energy-intensive, the study of thermal behaviour of building's envelope is essential, in order to determine a comfortable indoor microclimate, while optimizing energy consumption in the housing. The objective of this work, is to study thermal behaviour of buildings with different materials located in southern Algeria: the Mzab valley and the oued righ valley; which is characterized by an arid climate. To do this, we carried out research and highlighting of comfort in general as criteria for evaluating the built, to confirm the possibility of exploiting the benefits of the vernacular in the realization of the habitat to give it a modern and sustainable value that ensures maximum comfort as in a place of activity as life.

Furthermore, this study is to enhance the use of local materials (Terracotta) in vernacular buildings in an arid climate. That's why, we analyzed the effect of the architectural design (strategies) and the different materials that make up the building's envelope on thermal comfort and the annual energy consumption of the building. The numerical simulation is carried out using the Energy Plus V7 software. We present the daily evolution of indoor ambient temperatures as well as energy consumption for the coldest and warmest days of the year.

Keywords: Energy, consumption, building energy efficiency, Building envelope, Vernacular architecture, comfort.

Introduction

The latest reports from the experts of the Intergovernmental Group on the Climate (IPCC) are unanimous on the fact that the exponential growth of in recent decades has contributed to changing climatic conditions on the planet [2]. These greenhouse gases, such as CO₂, will double its concentration by 2050 will increase by a few degrees in our regions [3] and [4].

Faced with the danger caused by global warming, public opinion and decision-makers policies, even in developing countries, are becoming increasingly aware of the need to take this scourge into account in development plans such as the building [5]. In the energy context, the building is considered a key economic sector. As a strong energy consumer and greenhouse gas emitter, it is a transition to a more energy-efficient and less carbon-intensive world. In addition, the the building has significant potential to reduce consumption and emissions, due in particular to the existence of numerous, varied and effective technical solutions.

Taking climate information into account and improving techniques at the construction and insulation materials now allow buildings to be built energy efficient and comfortable.

Algeria has experienced in recent years, as a result of increased population growth, completion of a significant number of accommodations; unfortunately most of these housing does not seem to meet the requirements of thermal comfort and economy energy.

This is due to a lack of compliance with current regulations know-how and knowledge in the field. Thanks to the numerical simulation tool Energy Plus we were able to test the efficiency energy for different arrangements, materials and techniques, taking into account the the influence of the climatic parameters of the city of Touggourt in the south of Algeria.

Situation of case study THE RIGH VALLEY

Valley is the name of a geographic area, not a specific valley; it was recently released and referenced by Sheikh Abdul Majeed bin Habba, who stated that "all historians talking about it call it RIGH valley or RIGH lands, whereas Ibn Khaldun calls it RIGHA country..." RIGH is an amazigh word that signifies swamp in English. It's in the northeast corner of Algeria's SAHARA (Fig1.), stretching 170 kilometers north to south between 32.54 and 34.9 degrees north latitude. Although the shore is around 300 km away, the valley has more than 06 months with temperatures above 20 ° C and rainfall of less than 100 mm per year, despite the fact that it is located on a massive Artesia plateau. Ksour and oases were created many millennia ago thanks to aquifers stacked one on top of the other and the nearest to the surface. It is separated into three main palm groves: El Meghaier in the north, Jamaa in the middle, and Touggourt in the south, covering more than 20,000 hectares and containing over 4,000,000 palm trees, making it the biggest oases in the SAHARA and the second largest in the world. And it has 36 human communities, including 26 historic Ksour towns from the 15th century and ten modern ones .



Figure 1. Situation of RIGH valley. [6]

Presentation of the M'Zab Valley

600 km south of Algiers, we meet the first foundations of a rocky plateau, cut in all directions by small irregular valleys, which seem to get entangled in each other. This network of rocks and valleys scattered around the brand towards the south the end of the alfa [7] region, this is the gate of the wilaya of Ghardaïa (figure 2.1) [8]. This wilaya including the valley of M'Zab is supported by a so-called "Hamada plateau" between 32° and $33^{\circ} 20'$ North latitude and $2^{\circ} 30'$ east longitude [9]. With an area of 86,105 Km², with its nine daïras and its thirteen Communes, this wilaya has approximately, (375,000) inhabitants, and bounded by the wilayas of El Bayadh and from Adrar to the east, Tamanrasset to the south, Ouargla in the east and Laghouat, Djelfa in the north (figure 2.2). The plateau of the Hamada is covered by land Quaternary years where considerable erosion caused a limestone plateau to emerge dissected, cut into valleys and ravines which intertwine with each other.

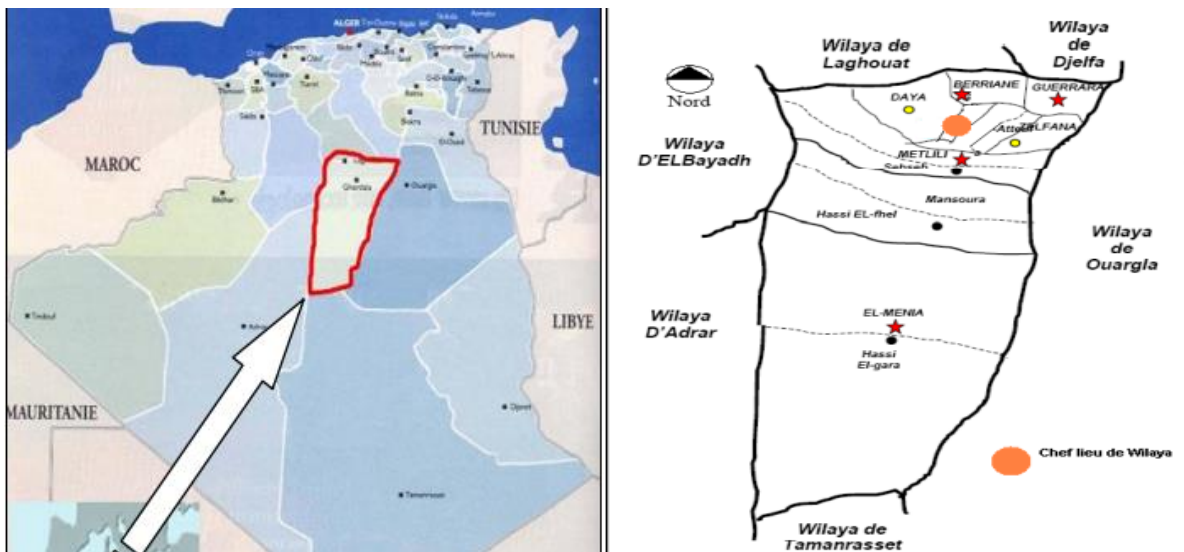


Figure 2.1: Situation of the Ghardaïa Wilaya [8] Figure 2.2: Division of the Ghardaïa wilaya. [8]

General Characteristics of the Town of Touggourt

The town of touggourt is located in the South-East of Algeria and is characterized by a climate arid or hyper arid (Saharan) where temperatures can reach 42°C in summer and -3°C in winter [6]. In recent years this city has undergone a metamorphosis with a very high urbanization. The use of building materials unsuited to the climate In the Sahara region, heating and air-conditioning solutions were used Artificial (appointing devices) which are known to be very energy intensive.

Description of the Building Studied

In order to study the effect of the envelope on the thermal behaviour of the building,

we designed a house based on heating and heating techniques air conditioning used in the past in vernacular architecture.

The establishment of this housing is semi-buried which allows, on the one hand, to reduce the surface of the walls giving on the exterior while minimizing heat loss on the other hand and taking advantage of inertia thermal soil.

The spatial organization of this house (fig.3 and 4) is based on a central patio

buried. It is located at a depth of -2.21 m from the exterior level.

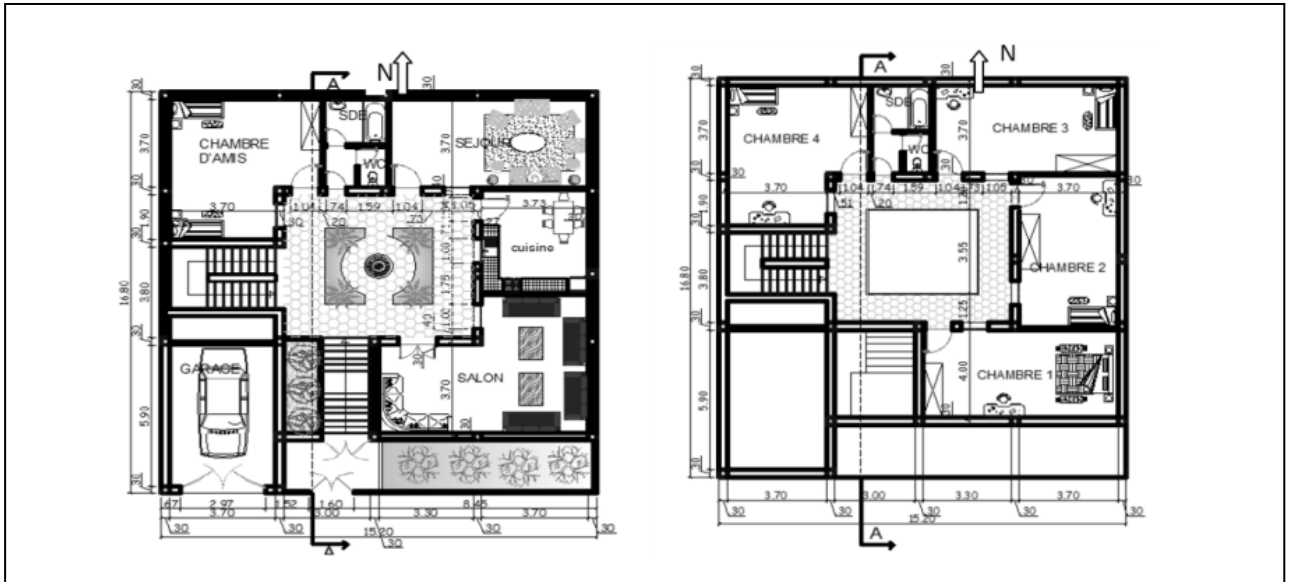


Figure3: Ground Floor Plan

Figure 4: 1st Floor Plan

In the ground floor, are implanted living spaces, a bedroom and a garage. A

Upstairs we find the 4 bedrooms which also overlook the central patio.

Access to the courtyard is through stairs of a height of 2.21 m, in the middle of the patio on finds a water fountain that will allow, while absorbing some of the heat and increase the relative humidity of the air. The presence of the surrounding vegetation will soften the indoor air temperature of this courtyard (fig5).

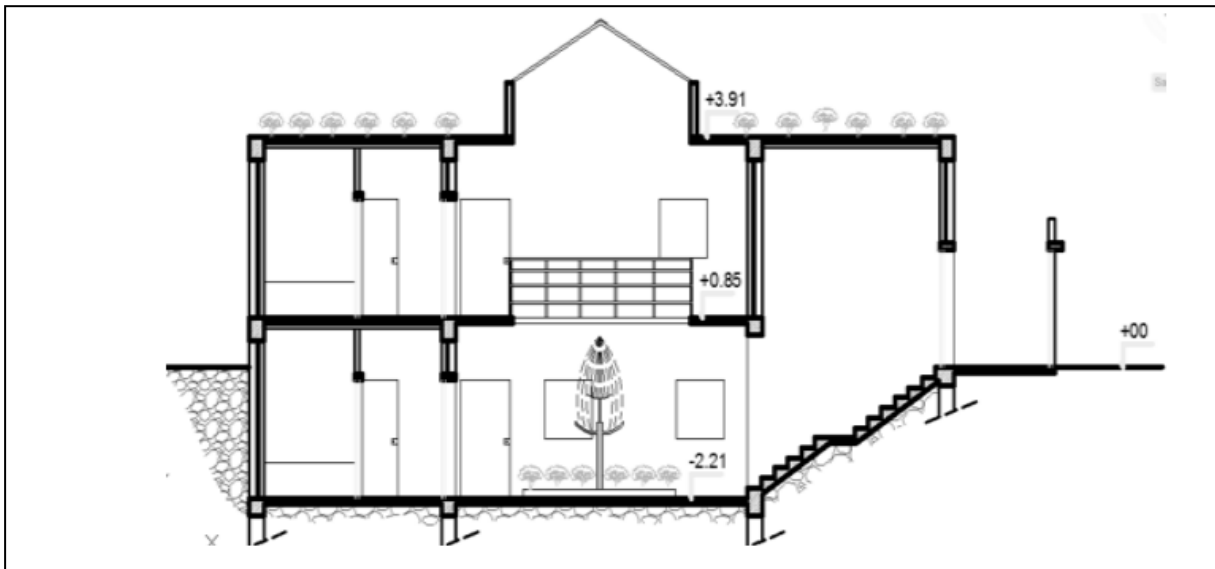


Figure5: Section A-A

The structure of the building consists of a column-beam system, the height of each level is 3.06 m. The characteristics of the housing envelope are:

- the outer walls are either double-walled in hollow terracotta bricks separated by an air blade 5 cm thick, either 20 cm concrete block or 50 cm adobe block of thickness.

- the interior walls are simple 10 cm thick terracotta brick walls.
- the outer coating is cement mortar.
- interior plaster is plaster.
- the roof is composed of a hollow slab and a concrete compression slab (16+4) cm.

Namely that Adobe is a local product composed of a local earth malleable with water and a little straw. The mixture is agglomerated in a block mould. Once Dried it is used for construction of a wall.

The following table summarises the thermophysical properties of the materials used.

Matériaux	Epaisseur(m)	Conductivité thermique λ (W/m.K)	Chaleur Spécifique C (J/kg.°C)	Masse volumique ρ (kg/m ³)
Brique creuse en terre cuite	0.01	0,42	/	650
Brique creuse en terre cuite	0.15	0,42	/	650
Parpaing en béton	0.2	0,95	1080	900
Adobe	0.5	0,65	1008	1600
Lame d'air	0.05	0,024	1024	1,29
Enduit en plâtre	0.02	0,35	936	1000
Enduit en ciment	0.02	1,15	1080	1800
Corps creux + dalle de compression	0.2	1,4	1080	1800
Corps creux en polystyrène + dalle compression	0.05	0,65	1600	600
Polystyrène	0.05	0,036	1450	34

Table 1: Thermophysical characteristics of materials [2]

For the simulation, it was assumed that the house is occupied at most by seven

persons. Each occupant represents a source of heat that emits a 80W. The occupancy rate is 50% between 8H and 17H and 90% for the rest of the day.

In winter, the heating instructions are the same in all areas, the heating automatically triggers when the temperature is below 21°C. For the period In summer, the air conditioners activate when the temperature exceeds 27°C.

Outcomes and Discussions

6.1. Effect of Exterior Wall Type on Building Thermal Behaviour

To study the effect of different materials, the simulation is done in multizones. Six (6) areas on the ground floor, 7 areas on the 1st floor and a laundry area. We present the results of chamber no. 3 (fig.4). The choice of chamber is dictated by its orientation due south, of its opening, its walls and its ceiling which are in contact with the middle outside.

The simulation is carried out for the whole year. The results presented concern only the coldest day (14 January) and the warmest day (28 July). Three

cases of wall figures are studied:

Case n ° 1: exterior walls in terracotta brick (15 + 10) cm separated by an air gap 5 cm thick. The total thermal resistance is equal to 2.866 m² ° C W-1.

Case n ° 2: exterior walls made of concrete block 20 cm thick. The total resistance of the east wall 0.389 m² ° C W-1.

Case n ° 3: exterior walls in adobe 50 cm thick. The total resistance of the wall is 0.939 m² ° C W-1.

As simulation results (fig.6) the temperature of the atmosphere is obtained inside is higher than the outside temperature between 1h and 7am, this is due to heat accumulated throughout the day and stored inside the the chamber.

This is also explained by the high thermal mass of the wall materials used to keep the heat accumulated during the day.

Figure 6 shows the evolution of the indoor air temperature in Chamber n°3 for the coldest day. We are seeing a larger drop in indoor temperature when the walls are made of concrete blocks, the maximum deviation is of the order of 4.5°C around 8 o'clock in the morning. Indoor air temperatures are almost similar when using walls brick or adobe.

For the warmest day (fig.7), indoor air temperatures are the highest in the case of a concrete block wall, where they reach 39°C, on the other hand they do not exceed 36°C for the case of adobe or brick with amplitudes less important thermal.

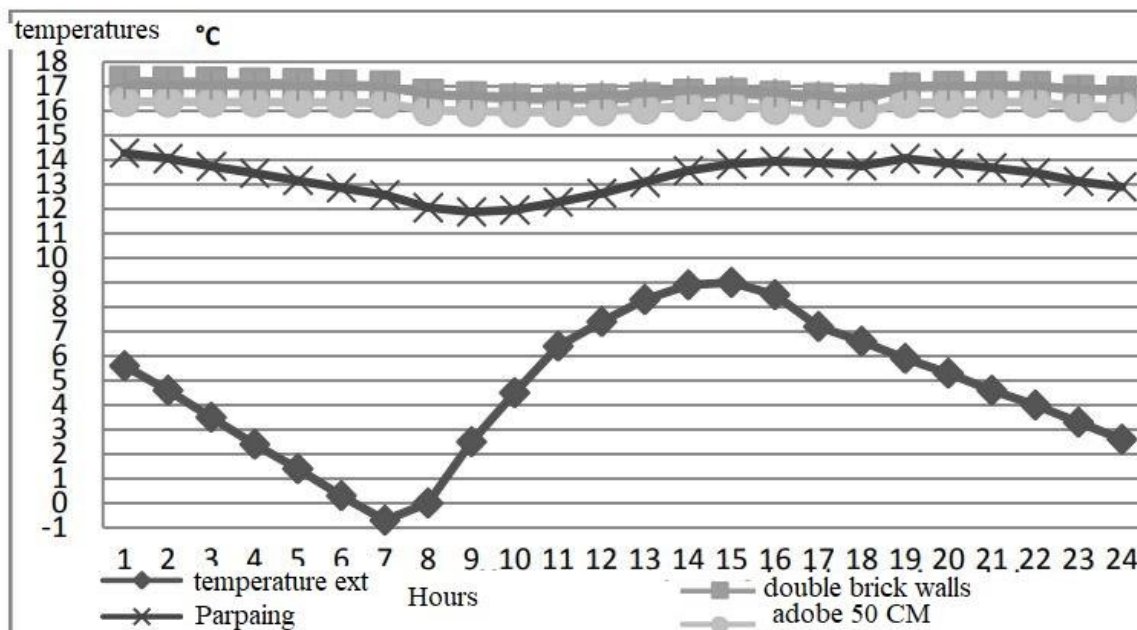


Figure 6: Evolution of indoor air temperature from bedroom n° 3 for the coldest day.

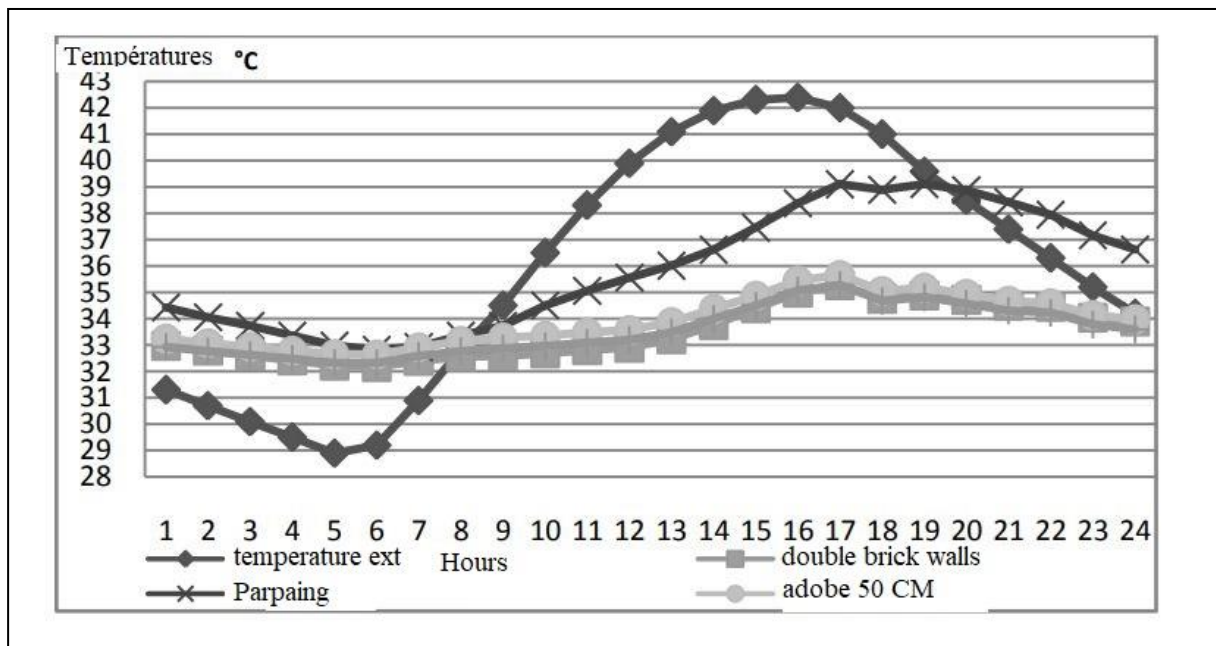


Figure 7: Evolution of indoor air temperature from room n°3 for the hottest day.

Figure 8 shows the energy requirements for heating and cooling in function of different materials constituting the housing envelope (double brick wall, concrete block wall and adobe wall).

We note that for the double wall wall and the Adobe wall heating and air conditioning energy consumption is reduced by more than 90% compared to the brick wall.

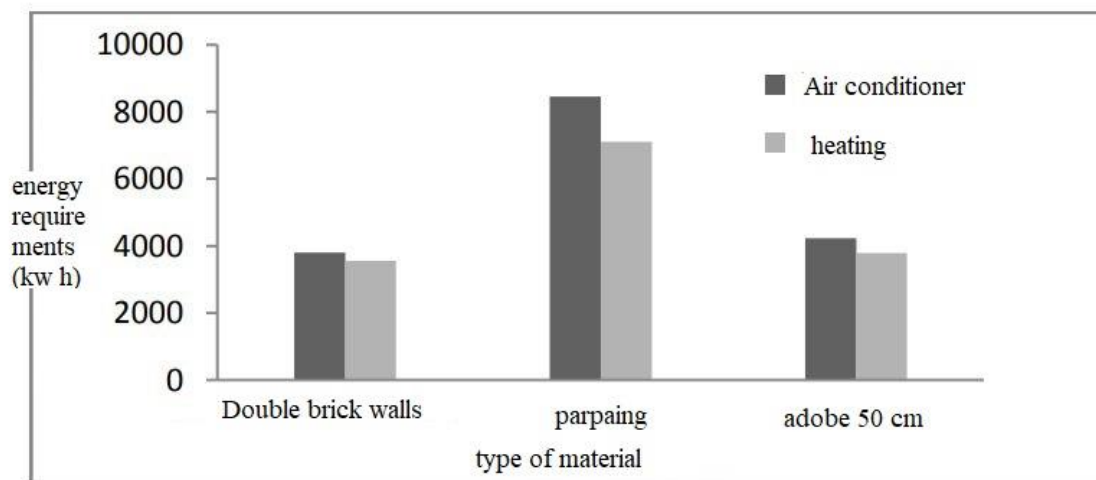


Figure 8: 1st Floor Annual Energy Requirements materials forming the outer walls

To conclude, we can distinguish two best results and almost have similar result, the double hollow brick and terracotta are shown a remarkable result compared to the hollow concrete block; and due to economic and industrial difficulties, because in Algeria there are no factories for terracotta, even known that it shows the best energy balance results, the lake of professional craftsmen that know the secrets of this vernacular

Conclusion

This thermal performance study of a detached house located in the arid climate of the Touggourt area highlighted the effect of the design and choice of the materials constituting the house envelope on the occupant's thermal comfort and on the energy consumption in winter and summer. A poor choice of the material that makes up the building envelope can result in a long-term additional cost to provide thermal comfort. We also find that double brick walls and single adobe walls are significantly more efficient than simple concrete block walls. Moreover, we can add that adobe is a local product that requires less polluting emissions during its production.

References

- [1] H. M'Sellem, D. Alkam, Thermal comfort between perception and evaluation by bioclimatic analysis techniques- Workplace cases in arid climate environments hot and dry-*Revue des Energies Renouvelables* Vol. 12 N°3 (2009), 471 – 488.
- [2] IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2010).
- [3] C.F. Chan, J. Lebedeva, J. Otere, G. Richardson. Urban heat island: a climate change adaptation strategy for Montreal. Climate change action partnership, McGill University School of Urban Planning, Montreal, 78 p. (2007).
- [4] J.-P. Besancenot, Health and Climate Change, The Rise of Concern Delachaux and Niestle, 240 p. (2007).
- [5] Document, Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme, Règlement Thermique des Bâtiments Rules for the Calculation of Heat Losses, DTR C3-2, Paper 1, CNERIB, Algiers (1998).
- [6] ENCARTA, M. 2009 SAHARA. [DVD] ed. Microsoft Corporation.
- [7] Coyne C. (1879) « Le M'Zab », in revue africaine, tome 23, Editions Jourdan, Alger.
- [8] Euromed héritage, Delta Imed (2005) « Développement des systèmes territoriaux, cas de Ghardaïa » <http://www.imednet.it/delta/> figure téléchargée le 21.12.2008.
- [9] Francis O. (2002) « Réseau de gravimétrie absolue Algérien » in revue bimensuelle de l'I.N.C. (Institut National de Cartographie), n° 10. Editions du Centre de la documentation et de la conservation de l'information géographique, Alger



THE RELATION BETWEEN ENVIRONMENTAL DAMAGE, ECONOMIC GROWTH, HOUSEHOLD CONSUMPTION, ECONOMIC INEQUALITY AND POPULATION: AN APPLICATION IN INDONESIA 2009-2020

Arga Paradita Sutiyono

Erciyes University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Economics, Kayseri, Turkey

Tuncay Çelik

Kayseri University, Faculty of Application Sciences, Department of International Trade, Kayseri

Abstract

Many researchers have proven either a nonlinear or linear relationship between economic growth and environmental degradation, while others have not found the relationship. This study uses an environmental quality index as an aggregate of air quality, water quality, and land cover which can minimize estimation bias caused by using merely local pollutants. The objectives of this study are to determine the relationship between environmental damage, per capita income, income inequality, household consumption, and population by using the environmental quality index as the dependent variable and to test the Kuznet's Curve theory in Indonesia. We used data from 33 provinces in Indonesia from 2009 to 2020 and operated two regression models including simple panel regression and quantile regression. The results for simple panel regression have revealed that only income inequality and population have a negative relationship with the environmental quality index. Measurement of the relationship through quantile panel regression indicated various results in each quantile where income inequality and population are negatively related to environmental quality in almost quantiles. Household consumption has a significant relationship with environmental quality in almost all quantiles but in various signs of the relationship. The income per capita is not significantly related to environmental quality. Moreover, the EKC theory in Indonesia is not proven.

Keywords: Environment Quality Index, Income, Inequality, Population, Quantile Panel

I. INTRODUCTION

Research on the relationship between the economy and the environment has become a current trend, driven also by the desire for a paradigm shift in protecting the environment that is agreed upon by the whole world globally. The relationship between humans and the environment has existed since human civilization existed and the factor of fulfilling human needs in limited natural resources has an impact on the environment. Researchers found various results for the relationship between economic growth and the environment. Grossman and Krueger [1] revealed that there is a nonlinear relationship between economic growth and environmental degeneration. They also argue that the inverse U-Shape relationship between per capita income and income inequality shown by Kuznets's Curve hypothesis (EKC) can also be applied to the relationship between per capita income and environmental degeneration. Some researchers such as Selden & Song [2], Baek & Kim [3], and Phimphanthavong [4] found a U-shaped inverse non-linear curve relationship in both the long and short term between CO₂ emissions and economic growth. Several other group researchers Nasir & UrRehman [5] and Rahman, Murad, Ahmad & Wang [6] found evidence of the Kuznet curve hypothesis in the long run and not in the short run. Meanwhile, Day and Grafton [7] did not find the relation in long run but in the short run. Others such as Fodha & Zaghoud, [8] found that the relationship between CO₂ and economic growth is linear and there are several studies by Akbostancı, Türüt-Aşık & Tunç [9], Öztürk and Acaravci [10], which found no evidence of a U-Shape relationship between CO₂ emissions and economic growth. To respond to the differences in the results from previous studies, several studies provide some explanation for the contradiction of the empirical result of the environment protection and economic growth. For example, Öztürk and Acaravci [10] said that methodological lack and variable bias as a reason for conflicting.

Using local pollutants or a single pollutant in the estimation of environmental quality may create a bias towards the determination of environmental quality. Using the environmental quality index as a representation of

environmental conditions can be used as an alternative in building a model of the relationship between the environment and its determining factors. The environmental quality index in Indonesia, established by the Ministry of environment and forestry Republic of Indonesia, is an aggregation of three types of quality indices consists of air quality index, water quality index, and land cover conditions. Each of these indices has various pollutant parameters which are calculated as index values. Therefore, the use of the Indonesian environmental quality index is considered quite representative and reliable to build a model of the relationship between the environment and its determining factors.

Currently, many researchers argue that the relationship between the economy and the environment has added a dimension to one of the fundamental problems in the field. The economists think whether an economic policy should emphasize growth at short/long run expense or income distribution. Torras [11] said that environmental and natural resources accounting has been mostly conducted in national income, but income inequality and poverty statistics are often absent an adequate accounting of environmental losses. He found that environmental damage increases individual defensive expenditures, such as increased health costs resulting from pollution-induced illness. Therefore, although people get similar incomes, the expenditures based on well-being and environmental damage are different. In addition, some researchers tried to estimate variable income through other variables such as households that are related to environmental quality, Heerink, Mulatu, and Bulte [12] as an example who tried to demonstrate the importance of income distribution as an explanatory variable in the environmental quality caused by micro-level income which is household. They found different things from the assumption that income distribution from the rich to the poor could lead the environmental improvement. Instead, they found income inequality and environmental quality could potentially lead to trade-offs driven by governmental or political objectives.

In addition, a factor related to the quality of the environment is the population. The explanation of the impact of population on development originally came from an English demographer and political economist named Thomas Malthus [13]. Malthus argued that population growth was the root cause of poverty and human suffering. Several studies provide an empirical picture of the impact of population on development and its impact on the environment. Becker, Tamura, and Murphy [14] found that population can reduce productivity due to reduced yields from the exploitation of land and natural resources. However, a large population means greater specialization and increased investment in knowledge and technology that drive economic growth. Other examples from Rozelle, Huang, and Zhang [15] who studied the relationship between population, poverty and the environment in China revealed that increasing population especially in agricultural countries may threaten the environment through pesticide pollution, chemical pollution, and land-use changes such as an expansion of grazing areas for livestock.

There are a number of studies related to economic growth, poverty, and income inequality that have been conducted in Indonesia. Torras and Boyce [16] examined the reassembly of EKC Curves in Indonesia. However, the dependent factor is taken from the emission value of air pollutants, so that comprehensive environmental quality is under-represented. On the other hand, since 2009 Indonesia officially had an environmental quality index, which is a combination of water quality, air quality, and forest cover. The purposes of this research are finding the relationship between environmental damage, income, income inequality, household consumption, and population in Indonesia, and testing whether Kuznet's Curve hypothesis occurs in Indonesia by using an environmental index as an endogenous variable instead of using single pollution data. Section 2 gives present the empirical framework used for this analysis. Section 3 present our material, resource, and research method. In section 4 the main empirical result are reported and finally in section 5 is the conclusion of this research.

II. LITERATURE REVIEW

Economic growth, Income Inequality, Household and environment

Economic activities leave traces in the environment. The production and consumption of goods and services have an environmental impact that is causing pollution. For instance, since the beginning of industrialization, unprecedentedly strong economic growth was accompanied by an increase in carbon dioxide emissions in many parts of the world. Another example is that economic activity changes the quality of water, land productivity, etc. One of the first empirical analyses emphasizing the relationship between economic growth and the expansion of pollutants was made by World Bank (1992) [17]. The estimates are based on cross-

country regression analysis, using data from the 1980s. Some pollutants, like municipal waste and CO₂, show a positive relationship with GDP. However, they found evidence that income does not necessarily have to be positively correlated with pollution in each case.

The relationship between per capita income and environmental quality depends on the scale, composition, and influence of technology (Grossman and Krueger [1]). If the intensity of pollution due to the creation of output is constant, it will allow an increase in output causing an increase in pollution (scale effect). On the other hand, environmental quality can improve with increasing income if this scale effect is supported by the use of technology and increased awareness of producers. High-income countries have been able to shift their output to sectors that do not cause a lot of pollution, for example, the service sector. Furthermore, some sectors may adopt environmentally friendly technologies either driven by the market or due to the encouragement of government regulations (Torass and Boyce [16]).

One approach that can affect the environment quality is distribution issues. Boyce [18] argued that the inequality of power and income may be an important determinant of environment degradation, which has already been examined empirically by Torass and Boyce [16]. They prove that greater equality of income results in a high level of environmental quality. However, Scruggs [19] has suggested that economic equality and democracy do not do a good job explaining variation in environmental quality especially if it only relies on national income levels. Scruggs [19] also said that environmental outcomes are referring to complex interactions between individuals, groups, institutions, and power where those preferences are aggregated into social preferences to promote environmental conservation. Hence, Heerink, Mulatu, and Bulte [12], for aggregation argument simplification, tried to explain the relationship between income and degradation from the micro (household) level. On a household scale, income distribution is one of the variables that affect environmental damage. This is because, at the household level, income differences provide different dispersion of environmental damage in the EKC model. The greater the difference in people's income, the greater the difference in environmental values and the turning point of EKC Theory. They state that the use of income alone as an estimator of environmental damage is not sufficient because it will provide a biased estimate of both the level and the turning point. Hence, income distribution is very important in estimating environmental damage.

Several researchers have conducted analyzes to find the relationship between economic growth and environmental quality or environmental damage (**Table 1**). Some of them found an Inverted U-shape relationship, linear relationship, U-shape, or even found no relationship between environmental damage with economic factors.

Table 1. Summary of empirical study between Economic growth, Income Inequality and environment

Authors	Country/Region	Periods	Variables	Major Findings
Selden and Song [2]	USA	1985	Y, SO ₂ , NO, CO, and TSP	Inverted U-shape
Torass and Boyce [16]	42 countries	1977–1991	Y, L, PolR, Urb, GN, SO ₂ , TSP and FC	Literacy and rights have a relationship with pollution in low-income countries. Income has a significant relationship with pollution, ignoring the inequality variable. Meanwhile, if the inequality variable is included, the relationship between income and pollution becomes weak
Scruggs [19]	25-29 Countries	1979-1990	Y, GN, POL, SO ₂ DO, and TSP	Economic equality and democracy do not do a good job of explaining variations in environmental quality
Heerink, Mulatu, and Bulte [12]	Sub-Saharan Africa		Y, GN, CO ₂ , SO ₂ and TSP	Income inequality has a significant negative impact on CO ₂ emission. SO ₂ and TSP have no significant effects on income inequality. Various EKC evidence for each pollutant

Authors	Country/Region	Periods	Variables	Major Findings
Cole [20]	North-South Countries	1980-1997	Y, Mn, Xind	Pollutant has significantly proven to be carried through the North-South trade
Day and Grafton [7]	Canada	1985-1990	Y, CO, CO ₂ , SO ₂ , and TSP	CO was significantly associated with Yin short run, while in the long run there was no single environmental quality variable associated with Y
Dinda and Coondoo [21]	88 Countries	1960-1990	Y, CO ₂	Two-way causality relationship between Y and CO ₂ for Africa, The whole of America, All of Europe, and the World as a whole. No causal relationship between CO ₂ emissions and Y in Asia and Oceania
Akbostancı, Aşık and Tunç [10]	Turkey	1968 -2003 1992-2001	Y, CO ₂ , PM ₁₀ , SO ₂	Linear relation between Y and CO ₂ in the long run and “N” Shape between SO ₂ & PM ₁₀ with Y
Burnett [22]	100 metropolitan cities in USA	2001-2005	Y, CO and NO ₂ , SO ₂ , O ₃ , and TSP	U-Shape between Y and O ₃ , and no evidence for rest variables
Fodha and Zaghdoud [8]	Tunisia	1961-2004	Y, CO ₂ , and SO ₂	Y has a linear relationship with CO ₂ but Y has inverted U Shape with SO ₂ in the long run
Omojolaibi [23]	Ghana, Nigeria, and Sierra Leone	1970-2006	Y and CO ₂	Inverted U-shape by OLS method, while fixed-effect method does not support the EKC hypothesis
Leight [24]	USA	1969-2005	Y, GN, Pol, EV	GN has a significant impact on environmental degradation in the short run. No significant relationship between environmental damage and political control
Öztürk and Acaravci [11]	Turkey	1968-2005	Y, EC, CO ₂	A Negative significant long-term relationship between CO ₂ emissions, EC, and Y. No evidence in EKC Hypothesis
Nasir and Rehman [25]	Pakistan	1972-2008	Y, CO ₂ , EC, TO	Inverted U-shape in long run. Energy consumption and trade openness have a positive relationship with emission
Baek and Kim [3]	South Korea	1971-2007	Y, CO ₂ , EC and THR	Inverted U-shape
Phimphanthavong [4]	Laos	1980-2010	Y and CO ₂	Inverted U-shape
Shahbaz, Mahalik, Shah, and Sato [26]	11 Countries	1972-2013	Y, EC, CO ₂	Y has a positive significant relation with CO ₂ in Bangladesh and Egypt. Y and CO ₂ emissions changed over time in Indonesia and Turkey. And proved Kuznets Curve hypothesis based on CO ₂ emissions in Indonesia and Turkey.
Rahman, Murad, Ahmad, and Wang [6]	Bangladesh, China, India, and Myanmar	1972–2014	Y, Ec, CO ₂ , TO	Y and EC have a positive relation with CO ₂ . EKC Hypothesis only in short term

Note: Y (Growth per capita income), CO₂ (Carbon Dioxide), CO (Carbon Monoxide), SO₂ (Sulfur dioxide), NO (Nitrogen Oxide), O₃ (Ozone), TSP (Total Suspended Particulates), PM₁₀ (Particulate Matter), FC (fecal coliform), DO (Dissolved Oxygen) Mn: (Manufacturing share in GDP), Xind (Export in Industrial Goods), EC (Energy Consumption), GN (Income Inequality), L, (Literacy), PolR (Political Right), Pol (Political

Control), EV (Environmental Damage), TO (Trade Openness), THR (electricity production from conventional & fossil thermal sources)

Population and Environment Issue

There are a number of empirical studies to demonstrate the existence of causal relationships between rapid population growth and environmental degradation, However, most of these findings are valid only within certain contexts and as such cannot be used to establish a general causal relationship between population growth and environmental degradation. Although population growth is important in environmental damage, in fact in countries that have rapid population growth, population growth is best understood when population factors are combined with other variables such as poverty, women's status, and government structures such as land tenure systems or traditions, income distribution, system politics, and social structure (Hussein, [27]).

Several researchers found a negative relationship between demographic factors (population, density, population growth) on environmental quality including Cropper and Griffiths [28], Cole and Neumayer [29], Ahmad, Azhar, Wasti, and Inam [30], Jorgenson and Clark [31], Liyanage and Yamada [32] and Juliansyah, Zulham, and Gunawan [33]. Environmental degradation as a result of population growth can include water and air pollution, forest loss, decreased productivity of agricultural land, and others. Several studies on the relationship between demographics and environmental quality are presented in **Table 2**.

Table 2. Summary of empirical study between population and environment

Authors	Country/Region	Periods	Variables	Major Findings
Cropper and Griffiths [28]	64 developing countries	1961-1991	Dforest, Pop, PopDens, Y	EKC Hypothesis between Y and Deforestation in South America and Africa
Cole and Neumayer [29]	86 Countries	1975-1998	SO ₂ and CO ₂ , PopGr, Urb, Hh	Population growth has a significant positive relationship with CO ₂ , while Population growth has no effect on SO ₂ . Urbanization and Household are positively associated with CO ₂ but not with SO ₂
Ahmad, Azhar, Wasti, and Inam [30]	Pakistan	1972-2001	CO ₂ , Pop, ArableLd	In the long run, population growth and population density lead to increased CO ₂ emissions and decreased productivity of arable land
Jorgenson and Clark [31]	86 countries	1960-2005	CO ₂ and Pop	population size has a large and stable positive relationship with carbon dioxide emissions in both models
Liyanage and Yamada [32]	Srilanka	2003-2013	Pop, PopDens, FC, NO ₃ , COD, BOD and DO	Population has a positive correlation with BOD, COD, and TC
Adu and Denkyirah [34]	West Africa	1970-2013	PopDens, CO ₂ , CoWaste	No significant relationship between population density and CO ₂ and CoWaste
Juliansyah, Zulham, and Gunawan [33]	Indonesia	1990-2017	CO ₂ , Y and PopGr	Economic and population growth are significantly positively related to CO ₂ emissions

Note: Y (Growth per capita income), CO₂ (Carbon Dioxide), SO₂ (Sulfur dioxide), NO₃ (Nitrogen oxide), Dforest (Deforestation), Pop (Population size), PopDens (Population Density), PopGr (Population Growth),

Urb (Urbanization), Hh (Number of Household), ArableLd (Arable Land), FC (fecal coliform)), COD (Chemical Oxygen Dissolved), BOD (Biological Oxygen Dissolved), CoWaste (Combustible Waste).

III. MATERIAL AND METHOD

Resource

This study investigates whether economic activity and other development factors such as population, per capita income, household consumption, and income inequality affect the quality of the environment using data from 2009 to 2020. The environmental quality as the dependent variable is taken through the environmental quality index which is an accumulation of the land cover index, air quality index, and water quality index. Indonesia's environmental quality index has been developed since 2009. The index is a national environmental management performance index and becomes a common reference for all parties in measuring environmental protection and management performance. Calculation of the environmental quality index consists of three components: Water Quality Index, Air Quality Index, and Land Cover Quality Index.

Water quality is measured according to TSP, DO, BOD, COD, Total Phosphate, Fecal Coli, and Total Coliform parameters. Air quality is measured according to the parameters of SO₂ and NO₂ concentration in the air. In addition, land cover quality is measured by land cover area and vegetation changes. The smallest unit of analysis in the National environment index is the Province environment index. In the perspective of the Environment index, the value of this index is not merely a rank or a value, it is also an indication of efforts to improve environmental quality at the provincial and national levels. In this context the parties at the provincial level especially the provincial government can make the environmental quality index as a reference point to go to the ideal number of 100. The lower the value of 100, the greater the efforts to protect and manage the environment that must be done (Ministry of Environment and Forestry of Indonesia, [35]).

Table 3. Summary of Variables

Variable	Label	Data Source	Unit	Statistic
Gini Ratio	GN	Indonesia Statistic Bureau	Ratio	Independent Variable
Household Consumption	LNCON	Indonesia Statistic Bureau	Ln Million	Independent Variable
Per capita GDP	LNGDP	Indonesia Statistic Bureau	Ln IDR Million	Independent Variable
Population size	LNPOP	Indonesia Statistic Bureau	Ln Million	Independent Variable
Environmental Index	LNEV	Statistic of Ministry of Environment and Forestry of Indonesia	Ln Value	Dependent Variable

Source: Indonesia Statistic Bureau [36], Statistic of Ministry of Environment and Forestry of Indonesia [35]

The dependent variable is the environmental index, while the independent variables include the Gini ratio value, household consumption, per capita GDP, per capita GDP square, and population. The Gini ratio is used as a proxy of income inequality where the higher the Gini ratio the less equal (unequal) and the lower the Gini ratio the more equal. We did transformation data for per capita GDP, household consumption, and environmental index and let and leave the Gini ratio and growth data without transformation. All data are provincial data in Indonesia except North Kalimantan province and formed into a 33 province (N=33) data panel with 12 years (T=12).

Normal Distribution

The distribution normality test used in this research is the normality test based on the Skewness and Kurtosis method and the normality test by the Shapiro-Wilk method. According to normality test results using the Skewness and Kurtosis method and Shapiro Wilk Method (**Table. 4** and **Table. 5**), all variables have a

probability test result rejecting the Null Hypothesis (H₀), the data are normally distributed. Therefore, it may be said that all variables are not normally distributed. From the results of this test of normality, it can be said that using the Ordinary Least Square panel data method is unconventional so that other methods could be used including the use of quantitative panel regression.

Table 4. Skewness/Kurtosis tests for normality

Variable	Obs	Skewness/Kurtosis tests for normality			
		Pr (Skewness)	Pr (Kurtosis)	adj chi ² (2)	Prob>chi ²
LNEV	396	0.0612	0.0009	5.64	0.0595
GN	396	0.2454	0.0577	4.96	0.0836
LNCON	396	0.0285	0.5967	-	0.0000
LNPOP	396	0.0000	0.6069	21.40	0.0000
LNGDP	396	0.0000	0.0007	48.20	0.0000
LNGDP ²	396	0.0000	0.0006	48.19	0.0000

Table 5. Shapiro-Wilk W test for normal data

Variable	Obs	Shapiro-Wilk W test for normal data			
		W	V	Z	Prob>Z
LNEV	396	0.98887	3.036	2.641	0.00000
GN	396	0.99190	2.189	1.863	0.03120
LNCON	396	0.94976	13.707	6.226	0.00000
LNPOP	396	0.81911	49.352	9.273	0.00000
LNGDP	396	0.92030	21.745	7.324	0.00000
LNGDP ²	396	0.92031	21.742	7.324	0.00000

Unit Root Test

Something important that must be considered in the development model is stationarity for the variables. The time series variable is stationer if its mean and variance are constant over time, and the value of the covariance between the two time periods depends only on the distance k (lag) between the two time periods and not the actual time t itself (Eduard Baumöhl and Štefan Lyócsa, [37]). The stationarity could be obtained by unit root Test and for panel data model which could obtain from Levin, Lin and Chin method and Im Pesaran-Shin methods (Maddala and Wu, [38]). The LLC tests are based on homogeneity of the autoregressive parameter so that the tests are based on pooled regression. The IPS tests, on the other hand, is based on the heterogeneity of autoregressive parameter. A heterogeneous panel data model is a model in which all parameters (constant and slope coefficients) vary across individuals. In this research, we had checked the panel estimation regression and showed that the panel is heterogeneous due to the F-Stat value. Therefore, the IPS test for the unit root test is better than the LLC test. However, the LLC test still could be conducted in this research due to consideration of the LLC stationary consistency in each pooled data. The Levin-Lin-Chu test has high power if the time dimension T is large. On the other hand, it has low power for a small-time dimension. In this case, one can conclude non-stationarity when in fact most series display stationary behavior. Thus, it is advisable to analyze the outcome of both the Levin-Lin-Chu and the Im-Pesaran-Shin test (Kunst [39]).

There are other stationarity tests, namely the second generation unit root test such as the augmented Dickey-Fuller Pesaran cross-section test (pescadf) and the Im, Pesaran and Shin cross-section test (CIPS). The Pescadf and CIPS tests have a null hypothesis which assumes that all series are not stationary. Pescadf introduced by Pesaran (2003) runs a t-test for unit roots in heterogeneous panels with cross-sectional dependence. In line with the Im, Pesaran, and Shin tests [40], this test is based on the average Dickey-Fuller t statistic (DF) (or ADF) of each unit in the panel. To eliminate cross-dependencies, the standard DF (or ADF) regression is augmented with the cross-sectional mean of the lagging rate and the first difference of the individual series (CADF statistics). The CIPS unit root test is a continuation of the CADF where the calculation of the CIPS

unit root test is based on the simple average of the standard individual CADF Z_t statistics in each panel (Shariff and Hamzah [41])

Result of **Table 6**, the Im-Pesaran-Shin (IPS) method unit root test, Gini ratio (Gn), environment index are stationer at level I(0), meanwhile, household consumption (LnCon) and population (LNPOP) are stationers at 1st difference I(1). Per capita GDP (LNGDP) and per capita GDP square (LNGDP²) are not stationer even at 2nd difference I(2). From Levin-Lin-Chin (LLC) method unit root test, all variables are stationer at level I(0).

Table 6. Panel 1st generation unit root test result

Variable	Level		1 st Difference		2 nd Difference	
	LLC	IPS	LLC	IPS	LLC	IPS
GN	-4.3258*** (0.0000)	-3.5173*** (0.0002)				
LNPOP	-4.8046*** (0.000)	0.6145 (0.7306)		-2.5257*** (0.0058)		
LNGDP	-6.2280*** (0.0000)	-0.4990 (0.3089)		6.1364 (1.0000)		1.8038 (0.9433)
LNGDP ²	-6.2536*** (0.0000)	-0.4539 (0.3250)		6.0169 (1.0000)		1.5835 (0.9644)
LNCON	-8.1459*** (0.0000)	-0.5229 (0.3005)		-13.8024*** (0.0000)		
LNEV	-21.3857*** (0.000)	-10.8618*** (0.000)				

Note: ***Denote significant at 1%. Levin, Liu & Chu Test (LLC), and Im, Pesaran, and, Shin W-Stat test (IPS). Parentheses are *p*-values

From the second generation unit root test (**Table 7**) we can see at CADF result only income inequality variable (GN) and environment quality (LNEV) variables have no unit root (stationer), while the rest variables are not stationer. It is contrary to the CIPS result which only the household consumption variable (LNCON) is not stationer in level while others are stationer. However, from CIPS test shows that LNCON is stationer at first difference.

Table 7. Panel 2nd generation unit root test result

Variable	Level		1 st Difference		2 nd Difference	
	CADF Z[t-bar]	CIPS CIPS*	CADF Z[t-bar]	CIPS CIPS*	CADF Z[t-bar]	CIPS CIPS*
GN	-6.460*** (0.000)	-3.452***				
LNPOP	2.837 (0.998)	-2.513***	1.039 (0.851)			
LNGDP	-0.899 (0.184)	-2.381***	2.300** (0.011)			
LNGDP ²	-0.814 (0.208)	-2.347***	-1.791** (0.037)			
LNCON	-2.372 (0.991)	-1.658	3.039 (0.999)	-2.357***		
LNEV	0.5408*** (0.000)	-2.729***				

Note: ***Denote significant at 1%. Z[t-bar] Pesaran's CADF and CIPS* value compare with critical value Im, Pesaran, and, Shin W-Stat test (IPS). Parentheses are *p*-values

In this study, we are using Panel Ordinary Least Square (OLS) regression and Panel Quantile regression to investigate the relationship between environmental index, income inequality, population, per capita income,

per capita income square, and household consumption. The principle of OLS is to minimize the number of squared errors (residual). However, some assumptions need to be fulfilled in the least-squares estimation in regression analysis. These assumptions include, among others, that the data should not follow a normal distribution, covariance, multicollinearity, and autocorrelation. If all assumptions can be met, estimation results using the least-squares method can satisfy the Best, Linear, Unbiased, Estimator (BLUE) specifications. However, if one or more assumptions are not met, the estimation results obtained cannot match the BLUE nature. (Uthami [42]). We employed the following equation:

$$LNEV_{it} = \beta_0 + \beta_1 GN_{it} + \beta_2 LNPOP_{it} + \beta_3 LNGDP_{it} + \beta_4 LNGDP_{it}^2 + \beta_5 LNCON_{it} + \varepsilon_{it} \dots (1)$$

where $LNEV_{it}$ = Environmental Index, GN_{it} = Income Inequality, $LNPOP_{it}$ = Population Size, $LNGDP_{it}$ = per capita Income, $LNGDP_{it}^2$ = per capita Income square, $LNCON_{it}$ = Household Consumption

IV. RESULT

Original Panel OLS (Fixed Effect)

According to the OLS panel model, shown in **Table 8**, it can be known that income inequality and population have a significant relationship with environmental quality in Indonesia. The rest variables including per capita income and per capita income square, household consumption variables are not significantly associated with environmental quality. Looking at the results of this regression, the squared per capita variable has no relationship with the environmental quality index. The value of all test results for the fixed-effect model relative to the F test that all $u_i = 0$ indicates that the results of accepting H_0 from the fixed-effects model do not differ significantly between the individual data in the model. Regression analysis uses the mean size to see the value of the response variable per unit of the prediction variable. This results in a large residual with data far from the mean. Therefore, further analysis was performed to determine the relationship between the environmental quality index and the predictive variables using quantile regression parameter estimates.

Table 8. Panel Data estimation by OLS

Variables	OLS Panel Data (Fixed Effect)	
	Coefficient	p-value
Dependent: LNEV		
GN	- 0.6563 ***	0.002
LNPOP	- 0.4096 ***	0.002
LNGDP	-4.3849	0.763
LNGDP ²	2.08513	0.974
LNCON	0.0731	0.774
Constant	4.3532	0.000
F-stat	11.22	
R-Square	0.2300	
F test that all $u_i = 0$	0.0000	
Wald Test	chi ² (33) = 1571.3***	

Note: ***, **, * Coefficients are significant at 1%, 5% and 10%

Quantile Panel Regression

Like as OLS method defines the sample mean as a solution to minimize the number of squared errors, median quantile regression defines the median as the solution for minimizing the absolute number of errors. The first step in estimating the median quantitative regression is estimating each n th quantity for each regression coefficient. Thus, the estimated value for each regression coefficient is k -quantile, where k is the number of quantities. Then, the estimated value over the median quantity is chosen as the value of the estimated regression

coefficient. In this study, the quantile regression method is used to obtain a model for each quantity describing how much effect the predictor variables have on the environmental quality index for each quantity, so that the coefficient size for each predictor variable can be obtained. In addition, it can be seen how the effect of the predictor variable affects the environmental quality index in each quantitative.

Due to the quantile panel regression result (Table 9), it can be shown that the population has a significant negative relationship with environmental quality in all quantiles, as well as income inequality has a significant negative relationship in almost all quantiles except q75. Household consumption has various significant relationships (between 5% to 1%) with environmental quality in almost all quantiles. Meanwhile, income per capita and the square of income per capita only have a significant relationship with environmental quality in the q50 quantile. Furthermore, it is shown that population and inequality are strong variables to influence increasing environmental damage in Indonesia. Economic improvement in Indonesia does not seem to have an impact on the quality of the environment. Due to Heerink, Mulatu, and Bulte [12], adding the Gini coefficient to the equation, however, the EKC disappears (t-values are not significant) while the estimated coefficient for the Gini ratio of income inequality is highly significant with environmental quality. In this study, it can also be seen that the EKC theory does not occur in Indonesia where economic growth has not had a positive effect on environmental quality.

Table 9. Panel Data estimation by Quantile Regression

Dependent variable: LNEV	Quantile (θ)				
	q05	q25	q50	q75	q95
Independent Variable:					
GN	-1.3032***	-0.4383**	-0.7195***	-0.1609	-0.868***
LNPOP	-0.0501***	-0.0486***	-0.0839***	-0.0726***	-0.1103***
LNGDP	0.0013	-0.3227	-1.3701**	-5.2180	-0.4397
LNGDP ²	-0.0120	0.0062	0.063452**	0.2533	0.0179
LNCON	0.4392**	0.2204***	-0.0084	-0.1076**	0.4012**
Mean acceptance rate	0.299	0.393	0.266	0.420	0.234

Note: ***, **, * Coefficients are significant at 1%, 5% and 10%

V. Conclusion and policy implication

The purposes of this study are to find a relationship between environmental quality represented by the environmental quality index with independent variables such as income inequality, population, income, household consumption and to investigate the EKC theory in Indonesia. We test this relationship by testing two-panel data models consisting of a simple OLS model (fixed effect) and quantile panel regression. The result of two-panel data models gives mixed results for the estimation and the relationship between the independent variables with the dependent variable. From this study, only income inequality and population have a significant negative effect on environmental quality through the estimation of the OLS fixed effect panel model and quantile panel regression. The use of the quantile regression model was carried out due to the abnormal distribution of the data. The results showed that there is a significant negative relationship between income inequality and population and environmental quality in almost all quantiles. Another significant relationship with environmental quality is household consumption but gives signs of varying relationships. Per capita income and per capita income square are not significantly related to environmental quality in almost all quantiles, so it can be said that EKC Theory in Indonesia is not proven. In the estimation of the effect of per capita income on environmental quality, it generally weakens after we include the income inequality variable, but the effect does not disappear at all. In cases where higher per capita income has better environmental quality, there are at least three possibilities following the research by Torras and Boyce [17]. First, it is very likely that our proxy variable does not fully capture income-related changes so that per capita income increases. Second, individual demand for environmental quality including eco-friendly goods and services may increase

along with the increase in income, so that changes in income distribution are not effective in environmental quality. Finally, as the average income in one province in Indonesia increases, the production of polluting-intensive goods and services can be shifted to other lower-income provinces.

Based on this research, several policy implications could be obtained in the future. Among these implications are first, using the environmental quality index as an endogenous variable may represent the quality of the environment as a whole instead of using only a single pollutant variable. Second, Indonesia is a developing country that still utilizes natural resource extraction in its economy which can cause pollution, waste, and pressure on forest land. Third, income inequality is one of the factors of environmental damage. Economic growth is not only seen from the level of per capita income but must be supported by reducing the level of income inequality. Boyce [19] said that redistributing income for rich to poor households enhances environmental quality. And forth, population control can be considered as an effort to improve the environment, especially in developing countries such as Indonesia.

References

- [1] Grossman, G.M., and Krueger, A.: Economic Growth and the Environment. NBER Working Paper #4634. National Bureau of Economic Research (1994)
- [2] Selden, T.M, and Song, D.: Environmental Quality and Development: Is There a Kuznet Curve for Air Pollution Emissions?. *Journal of Environment and Management* 27, 147-162 (1994)
- [3] Baek, J., Kim, H.S.: Is economic growth good or bad for the environment? Empirical evidence from Korea. *Energy Economics* 36 744–749 (2013)
- [4] Phimphanthavong, H.: The Impacts of Economic Growth on Environmental Conditions in Laos. *Int.J.Buss.Mgt.Eco.Res.*, Vol 4(5),2013,766-774. (2013)
- [5] Nasir, M., UrRehman, F.: Environmental Kuznets Curve for carbon emissions in Pakistan: An empirical investigation *Energy Policy* 39 1857–1864 (2011)
- [6] Rahman, A., Murad, S.M.W., Ahmad, F., Wang': Evaluating the EKC Hypothesis for the BCIM-EC Member Countries under the Belt and Road Initiative. *Sustainability* 2020, 12, 1478; doi:10.3390/su12041478
- [7] Day, K.M., and Grafton, R.Q.: Growth and the Environment in Canada: An Empirical Analysis. *Canadian Journal of Agricultural Economics* 51 197–21(2003)
- [8] Fodha, M., Zaghoud, O.: Economic growth and pollutant emissions in Tunisia: An empirical analysis of the environmental Kuznets curve. *Energy Policy* 38) 1150–1156 (2010)
- [9] Akbostancı, E., Asık, S.T., Tunç, G.İ.: The relationship between income and environment in Turkey: Is there an environmental Kuznets curve? *Energy Policy* 37 861–867 (2009)
- [10] Ozturk, I and Acaravci, A.:CO2 emissions, energy consumption and economic growth in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14 3220–3225 (2010)
- [11] Torras, M.: Environment Damage and Mismeasure of Poverty and Inequality: Applications to Indonesia and Philiphine. *Asian Developmentbank Review* (2002).
- [12] Heerink, N. Mulatu, A. and Bulte, E.: Income inequality and the environment: aggregation bias in environmental Kuznets curves *Ecological Economics* 38 359–367 (2001)
- [13] Malthus, T.: *An Essay on the Principle of Population* (1789)
- [14] Becker, G.S. Tamura, R.F. and Murphy, K.M.: Human Capital, Fertility, and Economic Growth. NBER WORKING PAPER SERIES. Working Paper No. 3414 (1990)
- [15] Rozelle, S., Huang, J., Zhang, L.: Poverty, population and environmental degradation in China. Food Policy Volume 22, Pages 229-251 (1997)
- [16] Torras, M and Boyce, J.K.: Income, inequality, and pollution: a reassessment of the environmental Kuznets Curve. Ecological Economics Volume 25, Issue 2, May 1998, Pages 147-160 (1998)

- [17] World Development Report: Development and the Environment. World Bank (1992)
- [18] Boyce, J.K. 1994.: Inequality as a Cause of Environmental Degradation. *Ecological Economics* vol. 11, (1994)
- [19] Scrugs, L.A.: Political and economic inequality and the environment. *Ecological Economics* 26 259–275 (1998)
- [20] Cole, M.A.: Trade, the pollution haven hypothesis and the environmental Kuznets curve: examining the linkages. *Ecological Economics* 48 71– 81 (2004)
- [21] Dinda, S. and Coondoo, D.: Income and emission: A panel data-based cointegration analysis. *Ecological Economics* 57 167– 181 (2006)
- [22] Burnett, J.W.: Economic Growth and Environmental Degradation. <https://www.researchgate.net/publication/23946643> (2009)
- [23] Omojolaibi, J.: Environmental Quality and Economic Growth In Some Selected West African Countries: A Panel Data Assessment Of Th Environmental Kuznets Curve. *Journal of Sustainable Development in Africa* Volume 12, No.8 (2010)
- [24] Leight, E.H.: The Relationships Between Inequality, Economic Growth, and Political Control: Explorations Using U.S. State-level Panel Data, 1969 – 2005. PhD Thesis Wesleyan University (2010)
- [25] Nasir, M., UrRehman, F.: Environmental Kuznets Curve for carbon emissions in Pakistan: An empirical investigation *Energy Policy* 39 1857–1864 (2011)
- [26] Shahbaz, M., Mahalik, M.K., Shah, S.H., and Sato, J.R.: Time-varying analysis of CO₂ emissions, energy consumption, and economic growth nexus: Statistical experience in next 11 countries. *Energy Policy* 98 33–48 (2016)
- [27] Hussen, A.: Principles of Environment Economics The 2th Edition. Taylor & Francis e-Library (2004)
- [28] Cropper, M. and Griffiths, C.: The Interaction of Population Growth and Environmental Quality. *The American Economic Review*, Vol. 84, No. 2 (1994)
- [29] Cole, M.A and Neumayer, E., 2004. Examining the Impact of Demographic Factors On Air Pollution. *Population & environment*, 26 (1). pp. 5-2
- [30] Ahmad, M.H., Azhar, U., Wasti, S.A., and Inam, Z.: Interaction between Population and Environmental Degradation. *The Pakistan Development Review* 44: 4 Part II (Winter 2005) pp. 1135–1150 (2005)
- [31] Jorgenson, A.K., and Brett, C.: Assessing the temporal stability of the population/ environment relationship in comparative perspective: a cross-national panel study of carbon dioxide emissions, 1960–2005. *Popul Environ* 32:27–41 (2010)
- [32] Liyanage, C.P., and Yamada, K.: Impact of Population Growth on the Water Quality of Natural Water Bodies. *Sustainability* 2017, 9, 1405; doi:10.3390/su9081405 (2017)
- [33] Juliansyah, R., Zulham, T., and Gunawan, E.: The Influence of Economic Growth, Population, and Industrial Sectors on Environmental Degradation in Indonesia. *SIJDEB*, 3 (1), 2019, 93-106 (2019)
- [34] Adu, D.T., and Denkyirah, E.K.: Economic growth and environmental pollution in West Africa: Testing the Environmental Kuznets Curve hypothesis. *Kasetsart Journal of Social Sciences* <https://doi.org/10.1016/j.kjss.2017.12.008> (2017)
- [35] Indonesian Environmental Quality Index Book Ministry of Environmental and Forestry Republic of Indonesia (2009 – 2020)
- [36] Indonesian Statistics Book. Indonesian Statistic Bureau (2009 -2020)
- [37] Baumöhl, Eduard and Lyócsa, Štefan.: Stationarity of time series and the problem of spurious regression. MPRA Paper No. 27926 (2009)
- [38] Maddala, G.S., and Wu, S.: A Comparative Study Of Unit Root Tests With Panel Data And A New Simple Test. *Oxford Bulletin Of Economics And Statistics*, Special Issue (1999) 0305-904 (1999)

- [39] Kunst, R.: Summary based on Chapter 12 of Baltagi:Panel Unit Root Tests. PhD-Course: Panel Data. Department of Economics University of Vienna (2011)
- [40] Im, K.S., Pesaran, M.H., Shin, Y.: Testing for unit roots in heterogeneous panels Journal of Econometrics 115 53 – 74 (2003)
- [41] Shariff, N.S.M., and Hamzah, N.A.: A Robust Panel Unit Root Test in the Presence of Cross Sectional Dependence. Journal of Modern Applied Statistical Methods: Vol. 14 : Iss. 2 , Article 14 (2015)
- [42] Uthami, I.A., Sukarsa, I.K.G., Kencana, I.P.E.N.: Regresi Kuantil Median Untuk Mengatasi Heteroskedastisitas Pada Analisis Regresi. E-Jurnal Matematika Vol. 2, No. 1, Januari 2013, 6-13 (2013)



STRATEGIC RAW MATERIALS" IN GREEN ENERGY TRANSFORMATION

Abdul Vahap Korkmaz

Afyon Kocatepe Üniversitesi, İncehisar MYO, İnşaat Bölümü Afyonkarahisar, Orcid no: 0000-0001-8691-1937

Abstract

Turkey is an important mining country since 80 of the 90 mineral types in the world are found in our country and 60 of them are produced. When all renewable energy power plants are compared with thermal and fossil fueled power plants, 8 times more minerals are required to be used in renewable power plants. In addition, 5 times more mineral is used in electric vehicles than in normal fossil fuel vehicles. In recent years, clean energy transformation has accelerated around the world. Many minerals such as copper, lithium, nickel, manganese, cobalt, zinc, silicon and rare earth elements are used in energy conversion and these mines are included in the critical and strategic raw materials list published by the European Commission in 2010. For example, 54 kilograms of graphite is used in an electric vehicle. 63 kilograms of nickel, 22.5 kilograms of cobalt, 80 kilograms of lithium, an additional 63 kilograms of lithium is required for the battery and battery. One of the important components of green transformation is the clean transformation in energy systems. Strategic mining is vital in this transformation. More contribution will be made to economic development in Turkey through responsible mining, which has an understanding of human, environment and efficiency. In this context, what is the situation in green energy transformation in our country? What are its shortcomings? What types of mines are used in the energy sector and what are the contributions of mining to the green energy transformation? discussed and explained in detail.

Keywords: Green energy, raw material, mining, efficiency

INTRODUCTION

The status of a country in terms of mineral wealth is important both in terms of long-term development plans and mining policies. When resource adequacy is taken as a criterion, a country that has sufficient or exceeding its mineral resources to meet its needs can be considered as sufficient or rich in terms of mineral resources of interest, otherwise poor. This criterion is important in terms of resource-needs assessment. When evaluated in terms of resource adequacy, it is seen that our country has sufficient resources in terms of most mines, especially industrial raw materials. Minerals that we supply most of our need from domestic sources and even export some of them; marble, boron, chrome, lignite, feldspar, perlite, pumice, sodium sulfate, strontium, rock salt, barite, magnesite, meerschaum, dolomite, gypsum, quartzite, silica sands and pyrophyllite (Albayrak, 2019)

Fossil fuels have a share of 90% in Turkey's total primary energy consumption. 80% of fossil fuel consumption is met through imports. This situation clearly reveals the country's dependence on foreign energy in terms of energy. On the other hand, it is known that Turkey has significant lignite potential, although there are quality problems (Yılmaz, 2012; Aykırı, 2018).

Peat, lignite, hard coal, anthracite, asphaltite, bituminous shale, bituminous shale, radioactive minerals (uranium, thorium, radium), leonardite are used as energy raw materials. Many mines such as copper, lithium, nickel, manganese, cobalt, zinc, silicon and rare earth elements are used in energy conversion and these mines are considered as strategic mines. In recent years, clean energy transformation has accelerated around the world. When comparing all renewable energy power plants with thermal and fossil fueled power plants, 8 times more minerals are required to be used in renewable power plants. In addition, 5 times more mineral is used in electric vehicles than in normal fossil fuel vehicles. Strategic mining is vital in this transformation (Anadolu Ajansı, 2021).



Fig.1. Strategic mines used in an electric vehicle

China controls 70 percent of lithium and cobalt from strategic mines. China also produces 62.9 percent of precious metals. The Democratic Republic of the Congo produces 71.4 percent of cobalt. South Africa accounts for 72 percent of global platinum production. In Turkey, the mining industry, whose raw materials we produce, contributes 40 billion dollars to the economy. We can take this much higher. Among these, some mines still have not passed our sector classification. For example, gold mining appears in the chemical industry. Gold worth \$2.5 billion was produced in 2020. Apart from this, there is 1 billion dollars worth of natural soda, and there are also boron products that are not classified in this sector. (Anadolu Ajansı, 2021; Dünya Enerji, 20219).

2. ENERGY RESOURCES IN TURKEY

The operation of industrial facilities, lighting, heating and transportation are largely based on energy. Energy is recognized as an important force in the development of countries. For this reason, the amount of energy they produce and consume is also taken into account when specifying the development levels of countries. Energy resources are divided into two groups as non-renewable and renewable resources. Non-renewable energy sources are fossil fuels consisting of hard coal, lignite, oil and natural gas, and nuclear energy, which have limited reserves and cannot be renewed when exhausted. Renewable energy resources, on the other hand, are self-renewing resources consisting of solar, wind, water and geothermal energy (Koç and Kaya 2015).

Although primary energy production in Turkey is mainly provided by coal and renewable energy resources (hydraulic, biomass, wind, solar and geothermal), consumption is met from these resources as well as oil and natural gas at an increasing rate in recent years. In 2015, approximately 75.9% of the primary energy source demand was met by imports. In 2015, our country ranks 5th in the world with 48 billion m³ natural gas imports, 13th with 35 million tons of oil imports, 8th with 30 million tons of coal imports, and 4th with 4 million tons of petcoke imports. In 2016, 30 billion dollars of foreign currency was spent on oil imports. This amount was around 40 billion in 2017 due to the increasing exchange rate. Although the total energy demand of our country increased by 145.3%, domestic production by 22.1% and energy imports by 30.5% between 1990 and 2015, the rate of meeting the energy demand of domestic production decreased by 50.2% (MENR, 2015). This situation reveals once again the importance of our country to make important projects to meet its energy demand from its own resources and to make investments in renewable energy resources (Kayışoğlu and Diken, 2019).

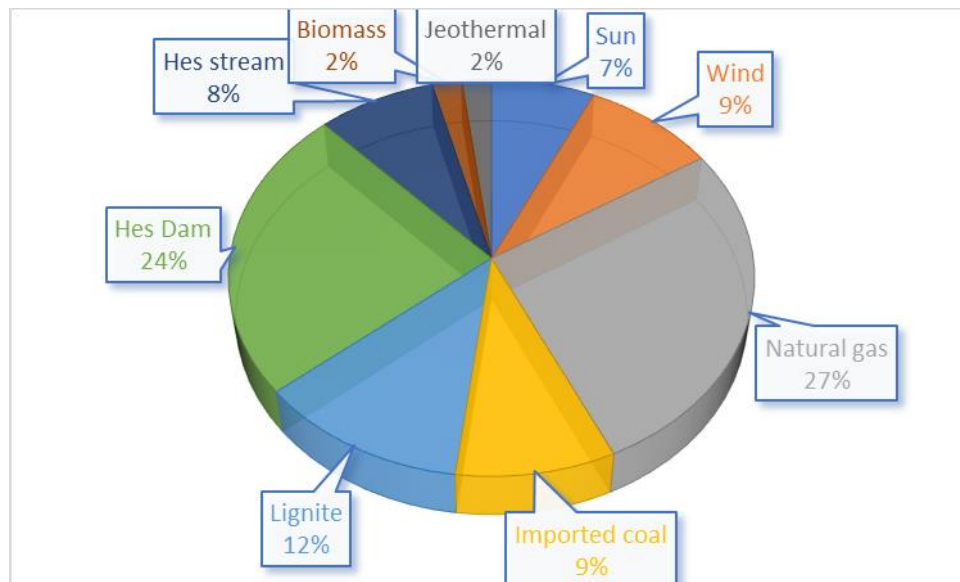


Fig 2. Distribution of electrical installed power by resources

2.1 Coal and Coal Types

It is a sedimentary rock composed of plant origin organic materials and inorganic components. It is formed as a result of the accumulation of plant and tree residues in swamps and their precipitation over a period of millions of years with chemical and physical effects. Carbonization; It is the process of alteration of plants. Peat, lignite, sub-bituminous coal, bituminous coal (hard coal), anthracite and graphite are formed by turning into each other. Depending on the ideal physical and chemical changes, the following carbonization levels are observed (T.C. ENRM Report, 2021).



Peat Lignite Sub Bituminous coal Bituminous coal (Coal) Anthracite Graphite

In the direction of the arrow, metamorphism severity (pressure + temperature effect), carbon percentage and calorie amount increase; As a result, water and volatile substances are reduced. Coal types;

Peat: This type of coal is mostly found in swampy areas. The amount of water in it is high. The carbon percentage does not exceed 60. Peat is one of the young coals that have not yet completed the carbonization stage. It gives 3000 calories or less calories.

Lignite, It is coal that has not yet completed its formation. The carbon percentage is around

Hard coal, It is a high calorie coal. It is mined in the Zonguldak region of our country. Hard coal is a type of coal that is between anthracite and lignite in terms of its degree of coalification. It is also known as mining coal. It is rich in carbon and volatile substances. The carbon percentage reaches 75- 90. It gives heat between 6000-9000 calories.

Anthracite is the most valuable type of coal. It consists of 95% carbon. It is the hardest type of coal and gives more heat than others when burned.

Graphite is pure carbon found in nature. The main difference between graphite and diamond is its amorphous structure. Graphite is used in making arc lamp coals and in lubricants. If it is mixed with clay in a certain ratio, a substance is obtained that is used to make pencil nibs (MTA Coal Research, 2021).



Fig. 3. Fossil fuels used in energy production

2.2. Radioactive Energy Resources in Turkey

The first exploration studies for radioactive raw materials in Turkey were started in 1953 by the MTA Institute and the studies are still continuing. According to the statistics, the total uranium production in the world will be between 71,105 and 81,465 tons in 2020, and between 69,475 and 94,255 tons in 2025; It is estimated that the total uranium consumption in 2025 will be between 61,035 and 82,195 tons. There are decreases in world total production every year, and the gap between uranium production and consumption is constantly widening. This difference is currently covered from stocks; However, there is a possibility that there will be a shortage of raw materials in the near future.

Nuclear power plants in Turkey are at the stage of establishment, and the energy deficit that will arise in the coming years will make it necessary to increase nuclear power plants. 19,736 tons (U_3O_8) uranium reserves that may be economical have been determined by the MTA General Directorate to date. However, it is not clear how much of the beds can be produced, since definitive feasibility studies have not been carried out. In order to obtain some of the raw materials we will use from our own resources, the existing reserves should be increased. Uranium prices in the world markets are between 30-130 USD/kg according to the current conditions. In times of crisis, it is essential to find new resources in order not to be affected by expensive raw materials (MTA Radiactivite Resarch, 2021).

2.2.1. Uranium

Today, uranium and thorium are included in the scope of nuclear energy raw materials. However, since thorium-based nuclear power plants have not yet come into operation on an economic scale, thorium is still a nuclear fuel raw material waiting for its turn. Nuclear energy raw materials are mainly used as fuel to obtain electrical energy in the nuclear reactor. Therefore, the consumption is determined by the installed nuclear energy capacities.

Today, uranium and thorium are included in the scope of nuclear energy raw materials. Uranium is never found free in nature. It combines with various elements to form uranium minerals. There are hundreds of uranium minerals in the earth's crust; however, the vast majority of them do not contain economically uranium. Economical bed formers are autunite, pitchblende (uraninite), coffinite and torbernite. Uranium ore goes through many stages from the way it is found in nature until it is turned into fuel to be used in a nuclear reactor. These:

- i. Ore Search,
- ii. Ore Deposit Operation, Ore Extraction,
- iii. Yellow Cake Production,
- iv. Yellow Paste Treatment (ADU production),
- v. Calcination and Reduction to UO_2 ,
- vi. Conversion of UO_2 to UF_4 ,
- vii. Making UF_6 from UF_4 .

Uranium is traded in international markets in the form of yellow cake as a raw material for nuclear energy. As a product standard, yellow paste is required to contain at least 60%U, and the sum of other elements in a purified uranium compound (such as UO₂, UF₆) should not be more than 300 ppm for 1 gram of uranium.

Since uranium cannot be bought and sold easily like other minerals, its transportation depends on very strict rules, some agreements between countries and international control, countries that establish or plan to establish nuclear power plants aim to find and evaluate their own uranium resources. In international markets, yellow paste is required to contain at least 60%U and the sum of other elements in a purified uranium compound should not be more than 300ppm per 1g of uranium (MTA Uranium Resarch, 2021).

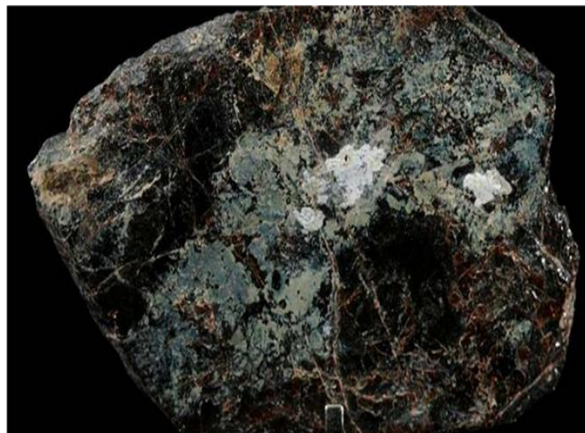
2.2.2. Thorium

Nuclear power, which is obtained as a result of the splitting of the nuclei of uranium and plutonium atoms, makes significant contributions to the supply of controllable energy for human beings in various countries today. Like uranium, thorium is a nuclear fuel raw material. Thorium, like uranium, is not found in free form in nature, but is found in around 60 minerals. Of these, only monazite and thorite are used in the production of thorium. These minerals are also often found together with rare earth elements.

Thorium is a nuclear fuel raw material waiting for its turn. The biggest reason for this is the problem of the nuclear fuel cycle. Thorium-232 can be converted to uranium-233 by some processes. Thorium-233 is a fissile material like uranium-235. As a result of this fragmentation, a great deal of energy is released. Due to the fuel cycle problem, there are currently no commercial-scale power plants powered by thorium, although prototypes of these power plants have been trialled for a long time in the UK, Germany and the USA (MTA Thoirum Resarch, 2021).



Uranium



Thoirum

Fig.4. Radioactive energy raw materials

2.3. Geothermal Energy Resources in Turkey

Geothermal energy is a renewable, clean, inexpensive and environmentally friendly domestic underground resource. Since Turkey is located on an active tectonic belt due to its geological and geographical location, it is in a rich position among the world countries in terms of geothermal. There are many geothermal resources at different temperatures in the form of around 1000 natural outflows spread all over Turkey.

Turkey's geothermal potential is quite high, 78% of the potential areas are in Western Anatolia, 9% in Central Anatolia, 7% in the Marmara Region, 5% in Eastern Anatolia and 1% in other regions. takes. 90% of our geothermal resources are low and medium temperature, suitable for direct applications (heating, thermal tourism, various industrial applications, etc.), while 10% is suitable for indirect applications (electric power generation).

Geothermal resources have a widespread use. Today, electricity production, heating (greenhouse and housing), thermal and health tourism, industrial mineral extraction, fishing, drying etc. from geothermal energy obtained in Turkey. used in such fields. The first electricity generation in geothermal energy applications was started in 1975 with the Kızıldere Power Plant, which was established by the General Directorate of MTA and has a power of 0.5 Mwe.

According to the end of 2018 data, the installed power of geothermal energy in the world is at the level of 14.9 GWe. Top 5 countries in electricity generation from geothermal energy; USA, Philippines, Indonesia, Turkey and New Zealand. Non-electrical use has exceeded 70,000 MWt, and the first 5 countries in direct use applications in the world are the USA, China, Sweden, Belarus and Norway. The exploration and discovery of geothermal resources were initiated by the General Directorate of MTA in 1962, and high-temperature geothermal resources that reached a temperature of 287.5 °C were discovered (MTA Geothermal Research, 2021).

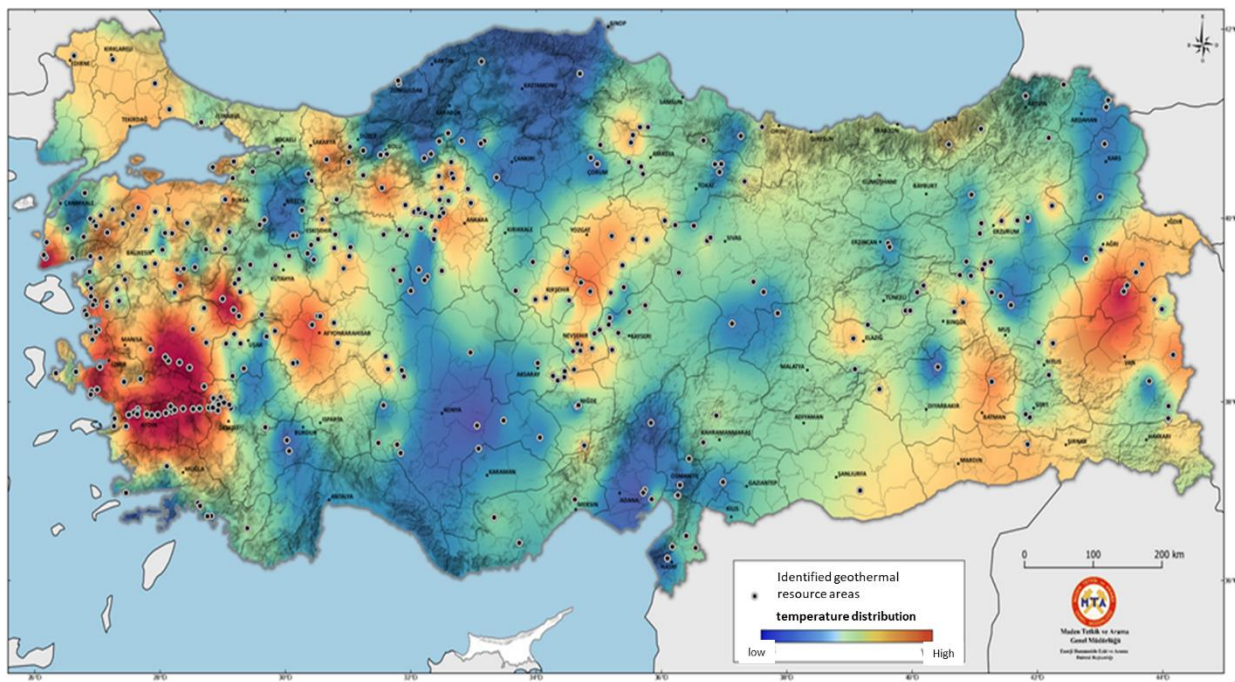


Fig 5. Turkey geothermal resources map (MTA, 2021).

2.4. Boron Energy Resources in Turkey

The decrease in the reserves of fossil fuels such as coal and oil and the increase in the demand for these resources cause the search for alternative energy sources. Continuity of technological developments and increasing world population day by day lead to excessive need for energy. In this direction, research on energy source and production gains importance. The production and consumption of primary energy sources adversely affect natural life, the environment, human health, and national and world economies. With the effective contribution of boron products, it has an important position in the energy sector by creating sustainable, renewable, environmentally and natural life-friendly alternatives for the energy needs of the future (Eti Maden, 2021).

Fuel cells, which are seen among the energy sources of the future and whose research studies are continuing, are converted into electrical energy, have a very important place. hydrogen in the R – D stage; production, storage, transportation, fuel cell development, system integration in usage areas, etc. continues to be developed through scientific research on the subject. Boron, which enables the use of hydrogen energy with high efficiency, is among the important raw materials in the development of sodium borohydride fuel cells. In addition, sodium borohydride is widely preferred in treatment chemicals, cellulose bleaching, cleaning of metal surfaces, precious metal recovery in metal surface treatments, and cleaning of heavy metals from wastewater.

Contributing to the creation of sustainable and high-efficiency energy sources of the future; With its renewable structure, it adds value to the energy sector with sodium borohydride. sodium borohydride; It is a frequently preferred product in electronic devices, vehicles and electricity/heat generation facilities, and fuel cells used for military and civil purposes. Boron has 10.8% hydrogen storage by weight, being non-flammable and non-explosive, keeping hydrogen donor reaction under control, etc. It offers easy use with its features.

The development of sodium borohydride production technology, which is one of the important raw materials of hydrogen storage technology, whose R & D studies are ongoing, is very important in terms of effective use of Turkey's most valuable mineral boron, which is operated and produced by Eti Maden (Eti Maden, 2021).

3. RESULTS

Turkey can only meet 31% of its needs with its known reserves and production of primary energy resources, and the remaining 69% is covered by importing oil, natural gas and hard coal. In order to reduce foreign dependency in Turkey's need for energy raw materials (coal, bituminous shale, asphaltite, uranium, geothermal energy, etc.), the country's energy raw material potentials should be revealed. The quality and reserves of energy raw materials should be determined through exploration and research projects and an energy raw material inventory should be drawn up. In order to meet the energy raw material need of our country from our own resources, importance should be given to the exploration, evaluation and use of geothermal energy, coal, bituminous shale and radioactive raw materials

Clean energy production should be increased and supported, especially instead of energy production from fossil fuels, which increase carbon emissions. Electricity generation from renewable energy sources such as solar, geothermal and wind energy can also play a major role in closing the country's current account deficit. Thanks to clean energy, carbon emissions can be reduced and the effects of global warming can be minimized, both for the country and the world.

KAYNAKLAR

1. Albayrak, K., 2019, The importance of renewable energy sources for Turkey's energy economy and current account deficit (Master's thesis, Institute of Social Sciences).
2. Aykırı, M., 2018, External dependence in energy and healthy growth: the case of turkey. Aydın faculty of economics journal, 3(2), 50-67.
3. Anadolu Ajansı, 2021, <https://www.aa.com.tr/tr/cevre/yesil-enerji-donusumunde-stratejik-madencilik-one-cikiyor/2374590>, Date of access [10 November 2021].
4. Dünya Enerji, 2021, <https://www.dunyaenerji.org.tr/temiz-enerji-donusumunde-kritik-minerallerin-rolu-raporu/>, Date of access [18 November 2021].
5. Yılmaz, M., 2012, Turkey's energy potential and the importance of renewable energy sources in terms of electricity generation. Ankara university journal of environmental sciences, 4(2), 33-54.
6. Koç, E., Kaya, K., 2015, Energy resources – renewable energy status. Engineer and machinery, 56 (668), 36-47.
7. Kayışoğlu, B., Diken, B., 2019, Current situation and problems of renewable energy use in Turkey. Journal of Agricultural Machinery Science, 15(2), 61-65.
8. MTA, 2021, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/komur-arama-arastirmalari>, Date of access [11 October 2021].
9. MTA, 2021, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/radyoaktif-hammadde-arastirmalari>, Date of access [15 November 2021].
10. MTA, 2021, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari>, Erişim Tarihi [19 November 2021].
11. TR, Ministry of Energy and Natural Resources Report, 2019.
12. MTA, 2021, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/uranyum>, Date of access [10 November 2021].

13. MTA, 2021, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/toryum>, Date of access [05 November 2021].
14. Eti Madern, 2021, <https://www.etimaden.gov.tr/enerji>, Date of access [05 November 2021].



FABRICATION OF CHROMIUM (III) OXIDE-ELECTROREDUCED GRAPHENE OXIDE (Cr_2O_3 -ERGO) NANOCOMPOSITE VIA ONE-POT ELECTROCHEMICAL METHOD

Dr. Bingül KURT URHAN

Atatürk University, Department of Nanoscience and Nanoengineering, Nanomaterials Science, Erzurum, Turkey. (Corresponding author) ORCID: ID/0000-0002-8742-6789

Assoc. Prof. Hülya ÖZTÜRK DOĞAN

Atatürk University, Vocational College of Technical Sciences, Department of Chemistry and Chemical Processing Technologies, Erzurum, Turkey. ORCID: ID/0000-0002-4072-7744

Abstract

In this study, Cr_2O_3 -ERGO on fluorine-doped tin oxide (FTO) has been prepared with an electrochemical process, based on co-deposition from a one-pot aqueous solution containing both metal ions and graphene oxide without using specific reducing agents. The chemical and morphological characterization of the synthesized material was investigated by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), energy dispersive X-ray analysis (EDX), and UV-visible (UV-vis) absorption spectroscopy. The analytical and morphological results show also that the surface of the FTO electrode was covered with both Cr_2O_3 and ERGO nanostructures.

Keywords: Chromium (III) oxide, graphene-metal oxides, electrochemical co-deposition

1. INTRODUCTION

Chromium (III) oxide (Cr_2O_3) is an important material that has been widely studied in industrial applications such as catalytic reactions [1], optical coating [2], infrared sensors [3], and gas sensors [4] due to its high-temperature oxidation resistance. Also, Cr_2O_3 is chemically stable and insoluble in both acidic and alkaline mediums [5]. However, the conductivity of Cr_2O_3 is quite poor, which hinders its application in electrochemical research fields. Graphene, an atomically thin two-dimensional carbonaceous material, has attracted extensive interest due to its exceptional electronic, electrical, and mechanical properties. Theoretically, the specific surface area of graphene is up to $2630 \text{ m}^2/\text{g}$ which makes it an ideal template for the synthesis of graphene-based non-precious metal oxides. There are several processes to synthesize graphene/metal oxide composites for their practical application, including hydrothermal processing, co-precipitation, and electrodeposition [6]. Among these methods, the electrochemical method is very simple and convenient for tailoring the size and morphology of the graphene-metal oxide composites with low cost and ease of operation.

We report the fabrication and characterization of Cr_2O_3 -ERGO on FTO. The preparation of Cr_2O_3 -ERGO was achieved through the one-pot electrochemical method, followed by one-step heat treatment.

2. EXPERIMENTAL SECTION

2.1. Synthesis of Cr_2O_3 -ERGO Electrodes

The electrochemical synthesis of Cr_2O_3 -ERGO nanostructures was carried out using a three-electrode cell system. In all cases, an FTO electrode was used as the working electrode, an Ag/AgCl electrode and a Pt wire were used as the reference and counter electrodes, respectively. The FTO electrodes were cleaned before all electrochemical depositions. For this purpose, the FTO electrodes were kept in an ultrasonic bath for 15 minutes in ethanol and distilled water, respectively, and dried under an Ar atmosphere. The mixed aqueous electrolyte solution containing 10 mM $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ (dissolved in 0.1 M KNO_3) and 2.0 mg mL^{-1} GO (dispersion with 0.1 M KNO_3). The co-reduction of Cr_2O_3 and GO was performed by applying a constant potential of -1300 mV vs. Ag/AgCl for 30 min in the three-electrode system. Synthesis procedure completed via thermal annealing of the as-synthesized electrodes in an air atmosphere at $500 \text{ }^\circ\text{C}$ for 1 h.

2.2. Instrumentation

Electrochemical measurements were performed with a BAS-100B/W electrochemical analyzer connected to a three-electrode cell. The morphology of Cr₂O₃-ERGO nanostructures was investigated by field-emission scanning electron microscopy (FE-SEM) (ZEISS Gemini Sigma 300) equipped with energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS). The crystal structures of the prepared electrode were examined by a Rigaku Advance powder X-ray diffractometer with Cu K α radiation ($\lambda=1.5406$ Å). The energy band gap of the Cr₂O₃-ERGO nanocomposite was analyzed by Shimadzu 3101PC ultraviolet–visible (UV–vis) spectrophotometer. All electrochemical measurements were recorded at room temperature.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Fig. 1 shows the XRD pattern of the Cr₂O₃-ERGO/FTO nanocomposite. The positions and intensities of peaks on Cr₂O₃ are well indexed to the standard JCPDS card (No. 38-1479). The diffraction peaks located at 27.0°, 34.1°, 38.2°, 52.8°, 61.9°, and 65.9° correspond to FTO. Furthermore, the peak at 25.4° can be ascribed to the (002) lattice plane of ERGO. The results indicate that the Cr₂O₃-ERGO nanocomposites were successfully synthesized on FTO.

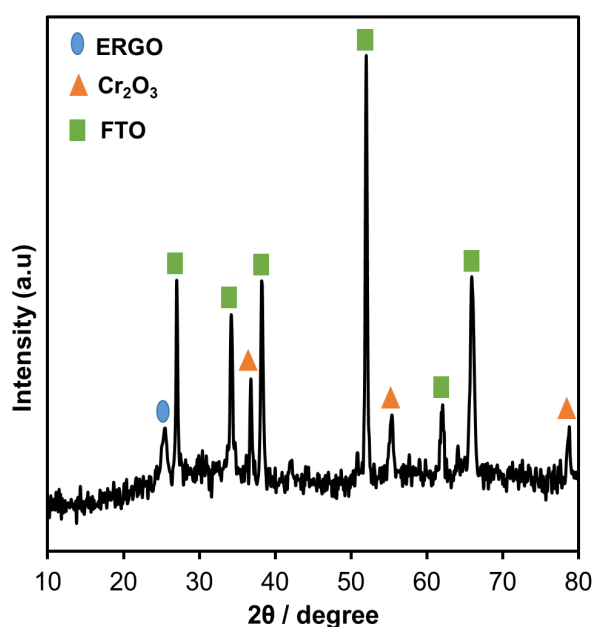


Fig. 1. XRD pattern of Cr₂O₃-ERGO/FTO nanocomposite.

FE-SEM images of annealed Cr₂O₃-ERGO/FTO at 500 °C for 1 h are shown in Fig. 2 (a-b). Cr₂O₃ nanostructures are uniformly anchored on ERGO network. This uniform distribution leads to the formation of a well-defined heterostructure that provides improved electrochemical performance. To explore the elemental compositions of the electrode, EDS spectroscopy was employed. Fig. 2a.(inset) reveals the EDS spectrum of the Cr₂O₃-ERGO/FTO, which mainly consists of Cr, C, and O elements without any impurities.

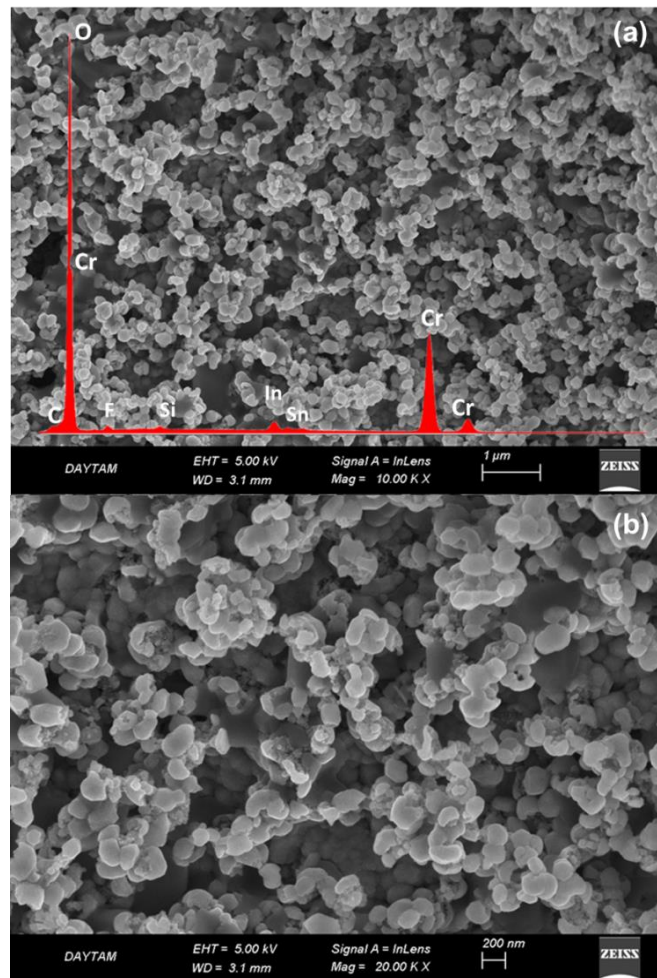


Fig. 2. FESEM images and EDS spectra (inset) of Cr_2O_3 -ERGO nanocomposite.

Fig. 3a demonstrates the UV–Vis absorption spectrum of the as-prepared Cr_2O_3 -ERGO on the FTO electrode. The Cr_2O_3 -ERGO nanocomposite displayed two absorption peaks, which originated from both ERGO and Cr_2O_3 approximately at 358 and 453 nm, respectively. Using the absorption data, the band gap was estimated by Tauc's relationship [7]. An extrapolation of the linear region of plot $(\alpha h\nu)^2$ vs. $h\nu$ gives the value of the optical band gap E_g as shown in Fig. 3b. The band-gap energy of the Cr_2O_3 -ERGO nanostructures was calculated by Tauc plot as 2.74 eV. Therefore, the decrease in the band gap energy with a red shift in the absorption edge can be attributed to the homogeneous dispersion of Cr_2O_3 within the ERGO structure and the formation of conducting network at very low temperature. A suitable energy band gap facilitates the transfer of electrons which may be promising candidates for optical applications.

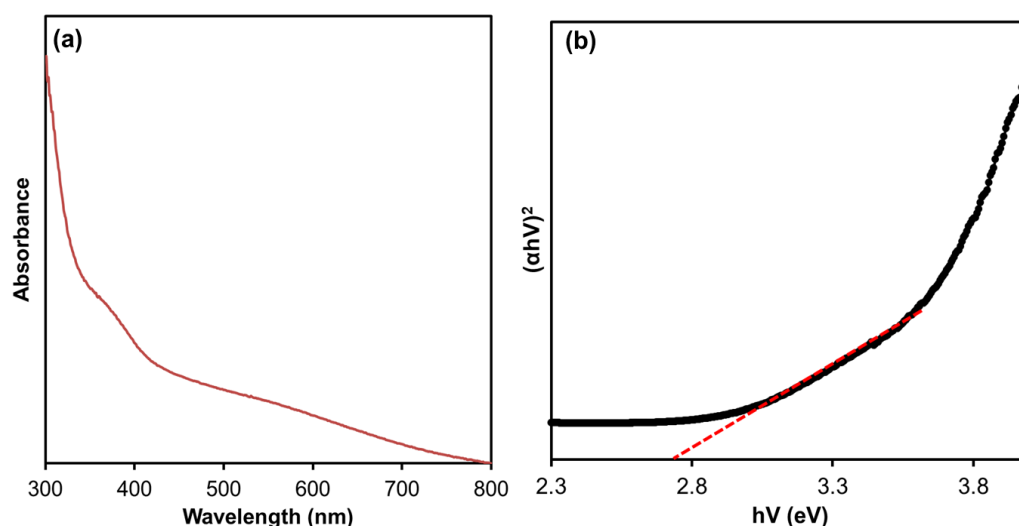


Fig. 3. a) UV–VIS absorption spectra and b) Tauc plot of Cr_2O_3 -ERGO/FTO nanocomposites

4. CONCLUSION

In conclusion, we have synthesized a novel Cr_2O_3 -ERGO by a simple one-pot electrochemical co-reduction approach at room temperature. The as-prepared electrode has been characterized by several physiochemical and electrochemical techniques. XRD study confirms the formation of Cr_2O_3 -ERGO with a crystalline structure. The EDS result also confirms the presence of Cr, C and O elements without any other impurities. Hence, this work provides a simple and efficient method for the fabricated ERGO modified metal-oxides. As-synthesized Cr_2O_3 -ERGO can be used as an electrode material with its high charge transfer and promising results, suggesting potential interest for energy applications in the future.

References

- 1- J. Soldat, G.W. Busser, M. Muhler, M. Wark. *ChemCatChem.*, 8 (2016), 153-156.
- 2- N.G. Semaltianos, J.M. Friedt, R. Chassagnon, V. Moutarlier, V. Blondeau-Patissier, G. Combe, M. Assoul, G. Monteil. *J. Appl. Phys.*, 119 (2016), 204903.
- 3- C.H. Bu, G. He, J.K. Ye, Y. Li, J.X. Liu, J.T. Li. *J. Ceram. Soc. Jpn.*, 124 (2016), 768-773.
- 4- S. Park, G.-J. Sun, C. Jin, H.W. Kim, S. Lee, C. Lee. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 8 (2016), 2805-2811.
- 5- C.-M. Shi, T.-G. Wang, Z.-L. Pei, J. Gong, C. Sun. *J Mater Sci Tech.*, 30 (2014), 1193-1201.
- 6- M.Khan, M. N. Tahir, S. F. Adil, H.U. Khan, M. R. H. Siddiqui, A.A. Al-warthan and W.Tremel. *J. Mater. Chem. A*, 3 (2015), 18753-18808.
- 7- Sagadevan, S., Pal, K., Koteeswari, P. et al. *J Mater Sci: Mater Electron*. 28 (2017), 7892–7898.



ENERJİ TÜKETİMİ VE KARBON SALINIMI

ENERGY CONSUMPTION AND CARBON EMISSION

Arş. Gör. Buket AYDIN

Atatürk Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Erzurum, Türkiye
ORCID NO: 0000-0002-6204-0505

Prof. Dr. Kerem KARABULUT

Atatürk Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Erzurum, Türkiye
ORCID NO: 0000-0002-3159-3289

Özet

Enerji hiç şüphesiz insan varlığının temel ihtiyaçlarından biridir. Sürdürülebilir kalkınmanın bir parçası olarak devam eden enerji tüketimi ile sera gazı salınımı artmakta ve küresel yaşama ciddi zararlar vermektedir. Sanayileşmenin artması, şehirleşme oranlarında artışlar ve nüfus artışı petrol, doğal gaz ve kömür gibi birincil enerji kaynaklarının talebini arttırmaktadır. Üretim en önemli girdilerinden olan enerji, özellikle birincil enerji kaynakları kullanımını beraberinde çevresel bozulmalara yol açmaktadır. Enerji tüketimi artışı emisyon oranlarının artışına neden olmaktadır. Emisyon oranlarındaki artış ise küresel çevre bozulmalarına neden olmaktadır. Çalışmada, Türkiye’de enerji tüketimi ve karbon salınımı ilişkisi incelenmiştir. Enerji tüketimi göstergesi olarak, enerji tüketiminde en çok kullanılan kaynak olduğu için elektrik tüketimi alınmıştır. Değişkenler arası ilişkinin tespiti için Engle-Granger eş bütünleşme testi ve Hata düzeltme modeli kullanılmıştır. Modelin sonuçlarına göre, kısa dönemde enerji tüketimi ve karbon salınımı arasında nedensellik ilişkisi vardır. Uzun dönemde ise %5 anlamlılık seviyesinde enerji tüketiminden karbon salınımına doğru bir nedensellik bulunmuştur. Ayrıca kısa dönemde meydana gelebilecek dengesizliklerin %42’sinin uzun dönemde telafi edileceği sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmada kullanılan modelin istikrarlı olup olmadığını test etmek için CUSUM-SQ testleri yapılmıştır. Test sonucuna göre çalışmada kullanılan modelin istikrarlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çalışma dünya enerji tüketimi arttıkça karbon emisyon oranlarının da artacağı yönündedir. Bu durumun ortaya çıkarttığı olumsuzlukları önleyebilmek için yenilenebilir enerji kaynakları ve karbon emisyonu azaltıcı politikaların uygulanması önemlidir.

Anahtar kelimeler: Karbon Salınımı, Enerji Tüketimi, Nedensellik Analizi

Abstract

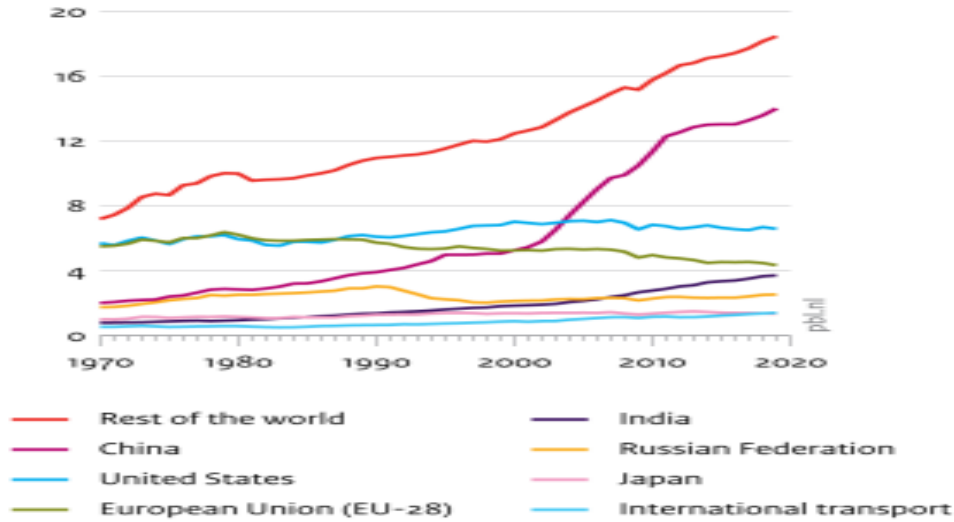
Energy is undoubtedly one of the basic needs of human existence. As a part of sustainable development, continued energy consumption and greenhouse gas emissions increase and cause serious damage to global life. Increasing industrialization, increases in urbanization rates and population growth increase the demand for primary energy sources such as oil, natural gas and coal. The increase in energy consumption causes an increase in emission rates. The increase in emission rates causes global environmental degradation. In the study, the relationship between energy consumption and carbon emissions in Turkey was examined. As the energy consumption indicator, electricity consumption is taken as it is the most used source in energy consumption. Engle-Granger cointegration test and Error correction model were used to determine the relationship between variables. According to the results of the model, there is a causal relationship between energy consumption and carbon emissions in the short run. In the long run, a causality from energy consumption to carbon emissions was found at the 5% significance level. In addition, it has been concluded that % 42 of the imbalances that may occur in the short term will be compensated in the long term. CUSUM-SQ tests were performed to test whether the model used in the study was stable. According to the test result, it was concluded that the model used in the study was stable. The study is in the direction that as the world's energy consumption increases, the carbon emission rates will also increase. In order to prevent the negative effects of this situation, it is important to implement renewable energy sources and carbon emission reduction policies.

Keywords: Carbon Emission, Energy Consumption, Causality Analysis

1. Giriş

Sanayi devrimi ile başlayan ve üretimin itici gücü kabul edilen enerji, ekonomik gelişmişliğinde en önemli göstergelerinden olmuştur. Sanayileşmenin artması, şehirleşme oranlarında artışlar ve nüfus artışı petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil yakıtların talebini arttırmaktadır. Bu fosil yakıtların (petrol, doğal gaz, kömür vb.) yanması sonucu ortaya çıkan karbondioksit gazının yayılması ile karbon salınımı oluşmaktadır. Sektörel açıdan bakıldığında karbon emisyonuna en fazla neden olan enerji sektörüdür. Dünya’da kullanılan tüm enerjinin %82’si petrol, doğal gaz ve kömürden sağlanmaktadır. Özellikle küresel karbon emisyonuna neden olan ülkeler değerlendirildiğinde, enerji tüketiminin çok fazla olduğu sanayileşmiş ülkeler olduğu görülmektedir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde enerji tüketiminin artması sera gazı emisyonu, küresel ısınma ve çevre kirliliği gibi birçok olumsuzluğa neden olmaktadır. Enerji kullanımı ile oluşan emisyonlarının en büyük kaynağını sera gazı emisyonları oluşturur. 2018-2019 dönemi sera gazı emisyonlarının küresel payları (%100); CO_2 ’nin kaynakları %72, CH_4 kaynakları (%19), N_2O %6, F-gaz %3 şeklindedir. 2019 sonu ve 2020 itibariyle CO_2 emisyonlarında ciddi düşüş yaşanmıştır. Bunun nedeni dünya da Covid-19 pandemisinin yaşanmasıdır. 2020 itibariyle enerji kullanımından kaynaklanan karbon emisyonu %6,3 oranında düşüş yaşamıştır. Enerji tüketiminde yaşanan düşüşler, kısıtlamalar ve yasaklar ile petrol talebinde yaşanan daralmadan kaynaklanmıştır. Ancak Çin enerji talebinin artış göstermesi (%2.1) Çin’in karbon emisyon oranlarında artışa neden olmuştur (%1.3) (Olivier ve Peters, 2020).

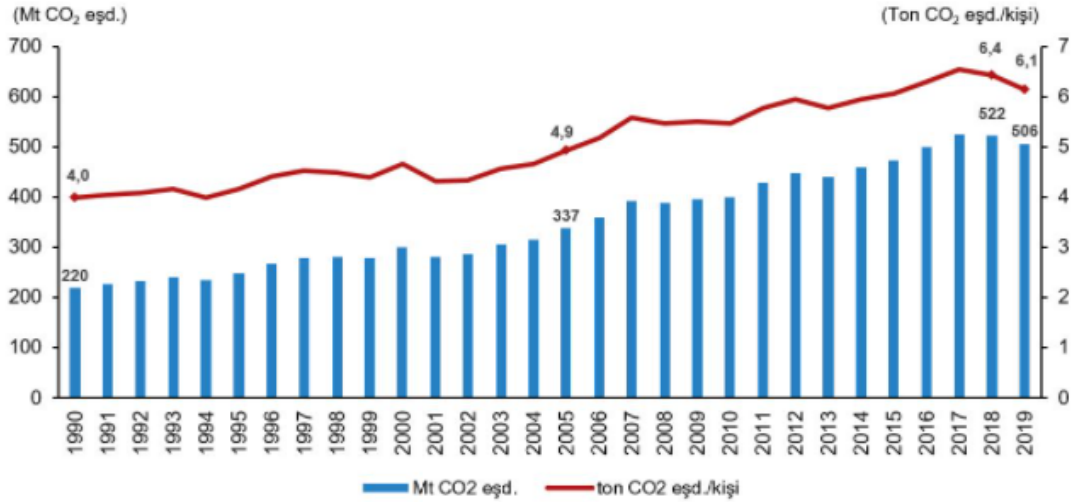
Grafik 1: Sera Gazı Yayılımı



Kaynak: : UNEP, 2020

Küresel anlamda %62 oranında sera gazı yayılımı yapan 6 ülke (Çin, ABD, Avrupa Birliği ülkeleri, Hindistan, Rusya ve Japonya) Grafik 1’de gösterilmiştir. Sera gazı yayılımı ülkeler arasında Çin %26, ABD %13, Avrupa Birliği %9, Hindistan %7, Rusya %5 ve Japonya %3 şeklinde dağılmıştır. 2019 itibariye Avrupa Birliği (%-3,0), ABD (%-1,7) ve Japonya (%-1,6) oranında sera gazı emisyonlarında düşüş görülmektedir. Çin (%3,1), Hindistan (%1,4) ve Rusya (%0,9) ile 2019 itibariyle sera gazı emisyonunun artış gösterdiği ülkeler arasındadır (UNEP, 2020).

Grafik 2: Türkiye’de toplam ve kişi başı sera gazı emisyonu, 1990-2019



Kaynak: TÜİK

Mart 2021 yılında yayınlanan sera gazı emisyonları raporunda,

- 2019 yılı toplam sera gazı emisyon oranı önceki yıla göre %3,1 azalarak toplam 506,1 milyon ton olarak hesaplanmıştır.
- Kişi başı toplam sera gazı emisyonu 1990 yılında 4 ton, 2019 yılında ise 6,1 ton olarak görülmektedir. 2018 yılında 6,4 ton olan kişi başına sera gazı emisyonununun 2019 yılında azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni Covid-19 pandemisi olmuştur (www.tuik.gov.tr)
-

Tablo 1: Türkiye’de Sektörlere Göre Sera Gazı Emisyonları, 1990-2019

	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019	1990-2019 değişim (%)	2018-2019 değişim (%)
Toplam emisyon	219,6	299,0	399,1	473,3	498,9	525,0	522,5	506,1	130,5	-3,1
Enerji	139,6	216,1	287,0	340,9	359,7	379,9	373,1	364,4	161,0	-2,3
Endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı	22,8	26,2	48,1	57,2	61,4	64,0	65,9	56,4	147,1	-14,3
Tarım	46,1	42,3	44,4	56,1	58,9	63,3	65,3	68,0	47,7	4,1
Atık	11,1	14,3	19,5	19,0	19,0	17,8	18,1	17,2	55,7	-5,0

Tablodaki rakamlar, yuvarlamadan dolayı toplamı vermeyebilir.

Kaynak: TÜİK

Toplam sera gazı emisyonları (506,1 milyon ton) içinde en yüksek paya sahip olan sektör enerji sektörü olmuştur. Toplam sera gazı emisyonunun sektörler arasında enerji sektörü %72, tarım sektörü %13,4, endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı emisyonları %11,2 ve atık sektörü %3,4 olarak dağılım göstermektedir. 1990 yılı kıyaslandığında, 2019 yılında enerji sektörü emisyonları %161 oranında, tarım sektörü %47,7 oranında, endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı emisyonları %147,1 oranında ve atık emisyonları ise %55,7 oranında artmıştır. Toplam 506 milyon ton (MT) sera gazını 86,5 milyon (mt) kadarı ormanlar tarafından emilmiştir. Türkiye’nin en büyük sera gazı emisyon kaynağını 154 megaton ile kömür oluşturmaktadır (www.tuik.gov.tr).

2.Literatür

Dünya artan enerji talebi ve bunun sonucu olarak ortaya çıkan karbon emisyonu ilişkisi literatürde dikkat çekici konulardan olmuştur. Özellikle ilgili araştırmalarda, büyüme ve enerji kullanımı ilişkili bulunurken bu iki değişkenin karbon emisyon oranlarını arttırdığı sonucu dikkat çekmektedir. Aşağıdaki tabloda literatür özeti sunulmuştur:

Tablo 2: Literatür Özeti

Yazar	Dönem ve Analiz	Değişkenler	Ülke	Bulgular
Atgür (2021)	1971-2014 dönemi için, Johansen eşbütünleşme, OLS, ECM yöntemi	Reel GSYİH, karbon emisyonları, kişi birincil enerji tüketimi	Çin	Çalışma sonucunda, ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve karbon emisyonu arasında uzun dönemli anlamlı bir ilişki bulunmuştur.
Salari vd. (2021)	1997-2016 dönemi için, Panel veri analizi, OLS	GSYİH, toplam enerji tüketimi, yenilenemez enerji tüketimi, yenilenebilir enerji tüketimi, endüstriyel enerji tüketimi ve konut enerji tüketimi, karbon salınımı	ABD	Yenilenemeyen enerji, endüstriyel enerji ve konut enerji tüketiminin karbon salınımı üzerinde pozitif etkisi varken yenilenebilir enerji tüketimi ile karbon emisyonu arasında negatif ilişki bulunmuştur.
Sheng vd. (2020)	1997-2017 dönemi için, Panel eşbütünleşme analizi	GSYİH, karbon salınımı, nüfus, endüstriyel yapı, pazarlama, emek, sermaye	Çin	Ekonomik büyümenin kısa ve uzun vadede karbon emisyonlarına yol açtığı sonucuna ulaşılmıştır. Çin’de gelişmiş illerde karbon emisyonu ve ekonomik büyüme arasında pozitif ilişki ortaya çıkmıştır.
Batmaz vd. (2019)	1985-2014 dönemi için, Granger nedensellik analizi	GSYİH, karbon emisyonu, (hidroelektrik hariç)yenilenebilir enerji tüketimi	Türkiye	Çalışma sonucunda, karbon emisyonu ve büyüme arasında doğrusal olmayan bir ilişki bulunurken, değişkenler arasında uzun dönemli doğrusal pozitif ilişki ortaya çıkmıştır.
Alper ve Alper (2017)	1985-2014 dönemi için, ARDL sınır testi	Ekonomik büyüme, yurt içi ham petrol tüketimi ve karbon emisyonu	Türkiye	Ekonomik büyüme ve enerji tüketiminin karbon emisyonu ile pozitif yönde ilişkide olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
Ergün ve Polat (2015)	1980-2010 dönemi için Panel eş bütünüleşme analizi, Panel vektör hata düzeltme modeli (VECM)	Enerji tüketimi, karbon salınımı, GSYH	30 OECD ülkesi	Değişkenler arasında eş bütünüleşme ilişkisi ortaya çıkmıştır. Elektrik tüketimi ve karbon salınımı arasında uzun dönemli ilişki bulunurken, kısa dönemde GSYH ve karbon salınımı arasında tek yönlü ilişki, GSYH ve elektrik tüketimi

				arasında ise çift yönlü ilişki bulunmuştur.
Çetin vd. (2014)	1971-2011 dönemi için Panel veri analizi	Enerji tüketimi, karbon salınımı	Düşük, Orta ve Yüksek gelirli ülkeler	Enerji tüketiminden karbon salınımına doğru nedensellik bulunmuştur. Orta ve yüksek gelirli ülkelerde değişkenler arasında uzun dönemli ilişki ortaya çıkmıştır. Çalışmada orta gelirli ülkelerde daha fazla karbon salınımı tespit edilmiştir.
Güllü ve Yakışık (2017)	1971-2010 dönemi için Johansen eşbütünleşme ve Granger nedensellik analizi	Kişi başına karbondioksit emisyonu, reel GSYİH, kişi başına enerji tüketimi	MIST ülkeleri	Çalışma sonucunda, ekonomik büyümeden enerji tüketimi ve karbon emisyonuna doğru tek yönlü nedensellik ortaya çıkmıştır. Ekonomik büyüme arttıkça ülkelerin enerji talebinin ve karbon emisyonunun da artacağı sonucuna ulaşılmıştır.
Karaaslan vd. (2017)	1990-2012 dönemi için, Panel ARDL modeli	Karbon salınım, enerji tüketimi, GSYİH, nüfus artışı, kişi başına düşen milli gelir, yenilenebilir enerji tüketimi	34 OECD ülkesi	Uzun dönemde kişi başına gelirdeki artışın karbon salınımını azaltacağı, yenilenebilir enerjideki artışın hem kısa hem de uzun dönemde karbon salınımını azaltacağı sonucuna ulaşılmıştır. Uzun dönemde büyüme ve CO ₂ arasında pozitif aynı yönlü ilişki bulunmuştur. Kısa önemde nüfus artışı ve enerji kullanımı ile CO ₂ arasında aynı yönlü ilişki tespit edilmiştir.
Arı ve Zeren (2011)	2000-2005 dönemi için, Panel veri analizi	Kişi başına gelir, CO2 emisyonu, Nüfus ve Enerji tüketim	17 Akdeniz ülkesi	Enerji tüketiminin artması üretimi arttıracak, dolayısıyla karbon emisyon oranı ve büyüme artacaktır. Yine çalışmada nüfusun karbon emisyonu ile pozitif ilişkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
Wang vd. (2011)	1995- 2007 dönemi için Panel eş bütünlüşme-Panel vektör hata düzeltme modeli	Karbon salınımı, enerji tüketimi ve GSYİH	Çin (28 eyaleti)	Çalışma sonucunda, Karbon salınımı ekonomik büyüme ve enerji tüketimi arasında çift yönlü ilişki ortaya çıkmıştır.
Ghosh (2010)	1971-2006 dönemi için ARDL sınır testi, Johansen-Juselius, VECM	Reel GSYİH, yatırım, istihdam, enerji arzı ve karbon salınımı	Hindistan	Ekonomik büyümeden enerji arzına, enerji arzından karbon emisyonlarına doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi ortaya çıkmıştır.

3.Ekonometrik Bulgular

Bu çalışmada Türkiye elektrik tüketiminin karbon salınımı üzerine etkisi incelenmiştir. Türkiye’de elektrik tüketiminin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan elde edildiği için, elektrik tüketiminin karbon salınımı üzerine etkisi merak konusu olmuştur. Bu amaçla 1990-2019 dönemleri arası elektrik tüketiminin karbon salınımı üzerine etkileri incelenmiştir. Veriler TÜİK veri tabanından elde edilmiştir. Aşağıdaki Tablo 3’te çalışmada kullanılan veriler tanıtılmıştır.

Tablo 3: Değişkenler

Değişkenler	Modelde Kullanılan Kısaltmaları	Kaynak
Karbon Salınımı	lks	TÜİK
Elektrik Tüketimi	let	TÜİK

Çalışmada kullanılan verilerin birim kök içermemesi elde edilecek sonuçların tutarlı olmasından önem arz etmektedir. Bu nedenle çalışmada kullanılan verilerin birim kök içerip içermediklerini belirlemek için ADF birim kök testinden faydalanılmıştır. ADF birim kök testi sonuçları aşağıdaki Tablo 4’te sunulmuştur.

Tablo 4: ADF Birim Kök Testi

Değişkenler	Sabitli Model	Sabitli ve Trendli Model
lks	-1.097 (0.703)	-2.663 (0.257)
let	-2.145 (0.229)	-1.271 (0.875)
Δ lks	-5.312 (0.001)***	-5.302 (0.001)***
Δ let	-4.203 (0.002)***	-4.854 (0.002)***

- Schwarz bilgi kriteri kullanılmıştır.
- Maksimum gecikme olarak 7 belirlenmiştir
- *** sembolü %1 seviyesinde anlamlılığı belirtmektedir.
- () ifadesi anlamlılık değeri ifade etmektedir.

Tablo 4’te ADF birim kök testi sonuçları yer almaktadır. ADF birim kök testi sonuçlarına logaritması alınan karbon salınımı ve elektrik tüketimi serilerinin düzey değerlerinde hem sabitli hem de sabitli ve trendli modelde anlamlı olmadığı anlaşılmaktadır. Ancak serilerin birinci farkları alındığında hem sabitli hem de sabitli ve trendli modelde %1 düzeyinde anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

Tüm serilerin birinci farkında durağan olması aralarında eşbütünlük bir ilişkinin varlığının araştırılmasına neden olmaktadır. Bu nedenle hem karbon salınımı hem de elektrik tüketimi serilerinin birinci farklarında durağan olması nedeniyle aralarındaki uzun dönemli ilişkiyi araştırma için Engle-Granger Eşbütünlük testi yapılmasına karar verilmiştir. Engle-Granger Eşbütünlük testi sonuçları aşağıdaki Tablo 5’te sunulmaktadır.

Tablo 5: Engle-Granger Eşbütünlük Analizi

Modeller	Engle-Granger Eşbütünlük Modeli	Sabitsiz ev Trendsiz model
model 1	$lks = f(let)$	-3.044 (0.003)***
model 2	$let = f(lks)$	-1.433 (0.138)

- *** sembolü %1 seviyesinde anlamlılığı ifade etmektedir.
- () anlamlılık düzeyini belirtmektedir.

Tablo 5’deki eşbütünlük testi sonuçları incelendiğinde model 1’deki eşbütünlük modelinin sabitsiz ve trendsiz modelde % 1 düzeyinde anlamlı olduğu belirlenmiştir. Diğer bir ifadeyle model 1’den elde edilen hata terimi serisinin birim kök içermediği ve değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Fakat model 2 incelendiğinde sabitsiz ve trendsiz modelde anlamlı olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Model 1'deki sonuçlara göre elektrik tüketimi ile karbon salınımı uzun dönemde birlikte hareket etmektedir. Her iki değişken arasındaki ilişkinin yönünü belirlemek üzere hata düzeltme modelinin kurulmasına karar verilmiştir. Aşağıdaki Tablo 6'da hata düzeltme modelinin sonuçları yer almaktadır.

Tablo 6: Hata Düzeltme Modeli

Değişkenler	Gecikme Katsayısı	ECM Katsayısı	Wald Testi Sonuçları
Model 1	m=1, n=2	-0.424 (0.027)**	11.087 (0.001)***
- ***, ** sembolleri sırasıyla %1 ve %5 düzeyinde anlamlılığı ifade etmektedir.			
- () olasılık değerini göstermektedir.			
- m ve n gecikme değerleri AIC bilgi kriterine göre belirlenmiştir.			

Tablo 6'da yer alan hata düzeltme modelinin sonuçlarına göre, hata düzeltme katsayısı -1 ile 0 arasında yer alıp, %5 düzeyinde anlamlı olduğu görülmektedir. Bu sonuca göre uzun dönemli ilişkiyi incelemek üzere kurulan hata düzeltme modelinin doğru kurulduğu anlaşılmaktadır. Hata düzeltme modelinden elde edilen sonuçlara göre t döneminde meydana gelen bir sapmanın %42'si t+1 dönemde kapandığı sonucu elde edilmiştir. Ayrıca hata düzeltme modelinden Wald testi yardımıyla elde edilen kısa dönem sonuçlarına göre elektrik tüketiminin karbon salınımının nedeni olduğu belirlenmiştir.

4.Sonuç

Bu çalışmada Türkiye'de elektrik tüketiminin karbon salınımı üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışmada kullanılan verilen TÜİK veri tabanından elde edilmiştir. Bu çalışmada özellikle elektrik üretiminde kullanılan fosil yakıtların dolaylı olarak karbon salınımı üzerindeki etkisini araştırmak hedeflenmiştir. Çalışmadan öncelikle serilerin birim kök içerip içermediği araştırılmıştır. Serilerin birinci farklarında durağan oldukları tespit edilmiştir. Bunun üzerine uzun dönemde birlikte hareket edip etmediklerini belirlemek üzere Engle-Granger Eşbütünleşme testi uygulanmıştır. Uzun dönemde birlikte hareket ettikleri anlaşılan serilerin arasındaki ilişkinin yönünü tespit etmek üzere hata düzeltme modeli kurulmuştur. Hata düzeltme modelinin sonuçlarına göre t döneminde meydana gelen bir sapmanın t+1 dönemde giderildiği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca çalışmada seriler arasındaki kısa dönemli ilişkiyi belirlemek üzere Wald testi kullanılmıştır. Wald testi sonucuna göre kısa dönemde elektrik tüketiminin karbon salınımının nedeni olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bu sonuçlara göre Türkiye'de karbon salınımı üzerinde elektrik tüketiminin hem kısa hem de uzun dönemde etkisi olduğu belirlenmiştir. Türkiye'de elektrik üretiminde kullanılan fosil yakıtların ağırlığı, karbon salınımını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle Türkiye'de üretilecek elektriğin yenilenebilir enerji kaynaklı olması karbon salınımını azaltmada etkili olacağı düşünülmektedir. Ayrıca rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, hidroelektrik gibi kaynaklarının kullanımı artırılması, ormansızlaşmanın azaltılması, enerji verimliliği ve karbon nötr politikalar uygulanması emisyon oranlarının azaltılmasında önem taşımaktadır.

Kaynakça

- Alper, F. Ö., & Alper, A. E. (2017). Karbondioksit emisyonu, ekonomik büyüme, enerji tüketimi ilişkisi: Türkiye için bir ARDL sınır testi yaklaşımı. *Sosyoekonomi*, 25(33), 145-156.
- Atgür, M. (2021). Ekonomik Büyüme, Enerji Tüketimi ve Karbon Emisyonları İlişkisi: Çin Örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 23 (1), 172-186.
- Ayşe, A. R. I., & Zeren, F. (2011). CO2 emisyonu ve ekonomik büyüme: Panel veri analizi. *Yönetim ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(2), 37-47.
- Batmaz, T., Bayraç, H. N., & Güllü, M. (2019). Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Büyüme Ve Karbon Emisyonu İlişkisi. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 6(3), 645-658.
- Çetin, M., Doğan, İ., & Hayriye, I. Ş. I. K. (2017). Enerji Tüketiminin Çevre Kirliliği Üzerindeki Etkisi: Bir Panel Veri Analizi. *International Anatolia Academic Online Journal Social Sciences Journal*, 2(1), 15-29.

- Ergün, S., & Polat, M. A. (2015). OECD ülkelerinde CO2 emisyonu, elektrik tüketimi ve büyüme ilişkisi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (45), 115-141.
- Ghosh, S. (2010). Examining carbon emissions economic growth nexus for India: A multivariate cointegration approach. *Energy policy*, 38(6), 3008-3014.
- Güllü, M., & Yakışık, H. (2017). Karbon Emisyonu ve Enerji Tüketiminin Büyüme Üzerindeki Etkileri: MIST Ülkeleri Karşılaştırması. *Sosyoekonomi*, 25(32), 239-253.
- <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Greenhouse-Gas-Emissions-Statistics-1990-2019-37196>
- <https://www.tuik.gov.tr/>
- <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2021>
- Karaaslan, A., Hayri, A., & Çamkaya, S. (2017). CO2 Salınımı Üzerinde Etkili Olan Faktörlerin Araştırılması: OECD Ülkeleri Üzerine Ekonometrik Bir Araştırma. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21(4), 1297-1310.
- Olivier JGJ and Peters Jahw. (2019). Trends in global CO2 and total GHG emissions. 2019 Report. https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2020-trends-in-global-co2-and-total-greenhouse-gas-emissions-2019-report_4068.pdf
- Salari, M., Javid, R. J., & NoghaniBehambari, H. (2021). The nexus between CO2 emissions, energy consumption, and economic growth in the US. *Economic Analysis and Policy*, 69, 182-194.
- Sheng, P., Li, J., Zhai, M., & Huang, S. (2020). Coupling of economic growth and reduction in carbon emissions at the efficiency level: Evidence from China. *Energy*, 213, 118747.
- UNEP (United Nations Environment Programme) (2021). The Emissions Gap Report 2020. United Nations Environment Program (UNEP), Nairobi.
- Wang, S.S., Zhou, D. Q., Zhou, P., & Wang, Q. W. (2011). CO2 emissions, energy consumption and economic growth in China: A panel data analysis. *Energy policy*, 39(9), 4870-4875.



International World Energy Conference

ENERJİ TÜKETİMİ, ENERJİ POLİTİKALARI VE EKONOMİK BÜYÜME: ASYA PASİFİK ÜLKELERİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA

ENERGY CONSUMPTION, ENERGY POLICIES AND ECONOMIC GROWTH: AN APPLICATION ON ASIA PACIFIC COUNTRIES

Arş. Gör. Anıl LÖGÜN

Atatürk Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü, Erzurum, Türkiye
ORCID NO: 0000-0003-2543-3964

Arş. Gör. Buket AYDIN

Atatürk Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Erzurum, Türkiye
ORCID NO: 0000-0002-6204-0505

Özet

18. yüzyılda başlayan ve toplu üretimle devam eden birinci sanayi devrimi olarak bilinen dönemde enerji, bir girdi olarak sanayi üretiminde önem kazanmıştır. Özellikle ikinci dünya savaşından sonra küreselleşme ile birlikte ülke ekonomileri için itici güç olmuştur. Sonraki dönemlerde enerjide yaşanan arz şokları (petrol arz şoku) ile birlikte ülke ekonomilerini etkilediği görülmüştür. Bu nedenle enerji fiyatlarında meydana gelen değişiklikler ülkelerin makroekonomik değişkenlerini etkilemektedir. Bu ise özellikle gelişmekte olan ülkelerin dış ticaret rakamları olmak üzere büyüme oranlarını etkilemektedir. Bu doğrultuda enerji tüketimi sosyo-ekonomik kalkınma ve büyümenin önemli göstergelerinden sayılmaktadır. Enerji kaynakları açısından bazı ülkeler avantajlı bazı ülkeler ise dezavantajlı durumdadır. Bunun nedeni enerji kaynaklarının dünya üzerinde eşit dağılım göstermemesidir. Bu açıdan özellikle enerji bağımlılığı yaşayan ülkeler için enerji tüketiminde verimli olmak sürdürülebilir kalkınma ve ekonomik büyüme için önemlidir.

Bu çalışmada Asya-Pasifik ülkeleri için 1984-2019 dönemleri için enerji tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisi Dumitrescu ve Hurlin (2012) Panel nedensellik analizi ile incelenmektedir. Çalışmada kullanılan verilerden BP ve Dünya Bankası veri tabanından elde edilmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre Avustralya, Bangladeş, Malezya ve Yeni Zelanda için enerji tüketiminin ekonomik büyümenin nedeni olduğu belirlenmiştir. Ancak Çin, Hong Kong, Hindistan, Endonezya, Japonya, Pakistan, Filipinler, Singapur, Güney Kore, Sri Lanka, Tayland ve Vietnam için enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasında bir ilişki tespit edilememiştir. Ayrıca çalışmada kullanılan ülke gruplarının tümünü temsilen enerji tüketiminin ekonomik büyümenin nedeni olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Ekonomik Büyüme, Asya-Pasifik Ülkeleri, Panel Veri Analizi

Abstract

Energy gained importance in industrial production as an input in the period known as the first industrial revolution, which started in the 18th century and continued with mass production. Especially after the second world war, it has been the driving force for its economies with globalization. In the following periods, it was seen that the country's economies were affected by the supply shocks in energy (oil supply shock). Therefore, changes in energy prices affect the macroeconomic variables of countries, affecting the growth rates, especially the foreign trade figures of developing countries. In this respect, energy consumption is considered one of the important indicators of socio-economic development and growth. In terms of energy resources, some countries are advantageous, and some countries are disadvantaged. The reason for this is that energy resources do not show an equal distribution in the world. In this respect, energy consumption is important for sustainable development and economic growth, especially for countries with energy dependence.

This study examines the relationship between energy consumption and economic growth for the 1984-2019 periods for Asia-Pacific countries by Dumitrescu and Hurlin (2012) Panel causality analysis. The data used in the study were obtained from BP and World Bank databases. According to the findings obtained from the study, it has been determined that energy consumption is the cause of economic growth for Australia,

Bangladesh, Malaysia and New Zealand. However, no relationship was found between energy consumption and economic growth for China, Hong Kong, India, Indonesia, Japan, Pakistan, Philippines, Singapore, South Korea, Sri Lanka, Thailand and Vietnam. In addition, it has been determined that energy consumption, which represents all of the country groups used in the study, is the cause of economic growth.

Keywords: Energy, Economic Growth, Asia-Pacific Countries, Panel Data Analysis

1. Giriş

Enerji insanlığın var oluşundan bu yana temel ihtiyaçlarından biridir. Sanayi devrimi ve devamında yaşanan teknolojik gelişmelerle fiziksel emeğin yerini alan bu itici güç, üretimin de temel girdisi kabul edilmiştir. Bu doğrultuda enerji ve enerji tüketimi sosyo-ekonomik kalkınma ve büyümenin önemli göstergelerinden sayılmıştır. Kraft ve Karft (1978) ekonomik büyüme ve enerji tüketimi ilişkisini ele alan öncü çalışmalardandır. 1944-1974 dönemi ABD için yaptığı çalışmada, ekonomik büyümeden enerji tüketimine tek yönlü nedenselliğin ortaya çıkması büyük tartışmaları devamında getirmiştir. Değişkenler arasında nedenselliğin varlığı, yönü ve uygulanacak politikaların önemi çok sayıda çalışmaya konu olmuştur. Ancak elde edilen bulgular sonucu fikir birliğine varılamamıştır (Cheng ve Lai, 1997; Asafu-Adjaye, 2000; Ghali ve Sakka, 2004; Narayan ve Prasad 2008).

Çalışmalarda ekonomik büyüme enerji tüketimi ilişkisi değişkenler arasında nedensellik ve enerji politikaları dikkate alındığında dört kategoride ele alınmıştır. Bunlardan ilki, enerji tüketiminden ekonomik büyümeye doğru uzanan tek yönlü nedenselliklerdir. “büyüme hipotezi” olarak ifade edilen bu görüş, enerji tüketimine ilişkin politikaların ekonomik büyüme üzerinde hiç bir etkisinin olmayacağını ifade eder. İkincisi ekonomik büyümeden enerji tüketimine tek yönlü nedenselliğin olduğu “koruma hipotezi”dir. Bu hipotezde ise gayri safi yurt içi hasılda (GSYH) bir artış eğer enerji tüketimini arttırıyorsa koruma hipotezi desteklenmektedir. Üçüncüsü, iki yönlü nedensellik ilişkisini yansıtan “geri besleme hipotezi”dir. Enerji tüketimi ve ekonomik büyümenin aynı anda belirlendiği ve birlikte etkilendiğini belirtir. Son olarak enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasında ilişkinin olmadığını destekleyen “tarafsızlık hipotezi” ile açıklanmaktadır. Bu hipotez, enerji tüketimine ilişkin politikaların ekonomik büyüme üzerinde etkisinin olmayacağı anlamına gelir (Chen vd. 2007). Ekonomi politikaları uygulanırken ülkenin ekonomik performansı dikkate alınarak ekonomiye ne yönde etki edeceği ve sonuçları göz önüne alınmalıdır. Genel itibariyle değerlendirildiğinde nedenselliğin ekonomik büyümeden enerji tüketimine doğru olabileceği görülmektedir. Bunun nedeni, enerji tüketimi arttıkça büyümenin de artacağı, özellikle büyümeyi hedefleyen ülkelerin enerji tüketimlerinin daha fazla olduğu göstermektedir.

2. Literatür Araştırması

Literatürde enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi araştıran birçok çalışma bulunmaktadır. Tablo 1’de enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi farklı dönemlerde, ülke gruplarında ve yöntemlerde inceleyen çalışmaların özeti sunulmuştur. Bu çalışmaların bazıları tek bir ülkeyi zaman serisi yaklaşımlarıyla inceleyen çalışmalardan oluşmaktadır (Ghalli ve Sakka, 2004; Aydın, 2010; Özata, 2010; Yanar ve Kerimoğlu, 2011; Çetin ve Şeker, 2012; Doğan ve Değer, 2016; Usta ve Berber, 2017). Literatürdeki çalışmalardan bazıları ise panel veri yaklaşımlarıyla enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi araştırmıştır (Soytaş ve Sarı, 2003; Tunalı ve Ulubaş, 2017; Syzdykova, 2018; Hayaloğlu vd., 2019). Usta (2016) ise Türkiye Düzey-2 bölgeleri için panel veri yaklaşımını uygulamıştır.

Tablo 1: Literatür Özeti

Yazar(lar)	Dönem ve Yöntem	Değişkenler	Ülke/Ülkeler	Bulgular
Soytaş ve Sarı (2003)	1950-1992 Eş bütünleşme, Vektör Hata düzeltme modeli (VEC)	GSYH, elektrik tüketimi	Gelişmekte olan ülkeler ve G7 ülkeleri (Çin hariç)	Arjantin’de GSYH↔ET, İtalya ve Kore’de GSYH→ ET, Türkiye,Fransa,Amalya ve Japonya’da ET→GSYH’ye doğru nedensellik ilişkisi bulunmuştur.

Ghalli ve Sakka (2004)	1961-1997 dönemi için, Vektör hata düzeltme modeli (VEC), Granger nedensellik	GSYH, elektrik tüketimi	Kanada	Ekonomik büyüme ve enerji tüketimi arasında çift yönlü ilişki ortaya çıkmıştır.
Aydın (2010)	1996:01- 2004:04 dönemi ve 1980-2004 dönemi için Sıradan En Küçük Kareler Yöntemi (OLS)	Birincil enerji tüketimini oluşturan kaynaklar,GSYH	Türkiye	Enerji tüketiminin büyümeye yol açtığı ve değişkenler arasında pozitif yönlü ilişkinin varlığı tespit edilmiştir.
Özata (2010)	1970-2008 dönemi için Granger nedensellik analizi	GSMH, GSYH, yıllık elektrik tüketimi, toplam enerji tüketimi, petrolün yıllık fiyatı	Türkiye	GSMH →enerji tüketimi, GSMH → petrol tüketimi arasında tek yönlü ilişki bulunmuştur.GSMH ve petrol tüketimi ile enerji tüketimi arasında pozitif ilişki bulunmuştur. Türkiye’de büyüme ortamının enerji tüketimini arttıracığı sonucuna ulaşılmıştır.
Yanar ve Kerimoğlu (2011)	1975-2009 dönemi verileri için Johansen eş bütünlüşme analizi	GSYH, enerji tüketimi, cari açık	Türkiye	Enerji tüketim artışının büyüme oranını arttırdığı ve büyümenin cari açığı arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır.
Çetin ve Şeker (2012)	1970-2009 dönemi için Johansen-Juselius ve Stock-Watson eşbütünlüşme testi ve Toda-Yamamoto nedensellik testi	GSYH, toplam enerji tüketimi, ihracat, işgücü	Türkiye	Enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasında uzun dönemli pozitif ilişki tespit edilmiştir. Nedensellik test sonucuna göre değişkenler arasında herhangi bir nedensellik bulunamamıştır.
Doğan ve Değer (2016)	1970-2013 dönemi için Johansen ve Granger eşbütünlüşme testi	Büyüme (GDP), toplam enerji tüketimi, finansal gelişme	Hindistan	Ekonomik büyümeden enerji tüketimine tek yönlü bir nedensellik ilişkisi bulunmuştur.
Usta (2016)	2004-2011 dönemi verileri ile Panel veri analizi	GSYH, elektrik tüketimi, emek	Türkiye Düzey-2 bölgeleri (26 bölge)	Enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasında pozitif ilişki ortaya çıkmıştır. 26 bölgeden nispeten daha çok gelişen bölgelerde enerji tüketiminin büyüme üzerinde ki etkisi daha fazla bulunmuştur.
Tunalı ve Ulubaş (2017)	1970-2015 dönemi için Panel Regresyon modeli,Hausman spesifikasyon testi	Reel GSYH, kişi başına elektrik tüketimi,brüt sermaye tüketimi,iş gücü	G7 ülkeleri	Enerji tüketimi, iş gücü ve sermaye birikiminin ekonomik büyümeyi pozitif ve anlamlı etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.
Usta ve Berber (2017)	1970-2012 dönemi yıllık verileri için Toda-Yomamoto analizi	GSYH, istihdam, sektörel (tarım, sanayi, ulaştırma ve konut) enerji tüketimleri	Türkiye	Sektörler arasında ulaştırma ve sanayi sektöründe enerji tüketimi ile büyüme arasında çift yönlü nesensellik bulunurken, konut ve tarım sektörlerinde değişkenler arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır
Szydykova (2018)	1991-2016 dönemi için Panel veri analizi	GSYH,birincil enerji tüketimi	Orta Asya ülkeleri	Değişkenler arasında uzun dönemli çift yönlü nedensellik ortaya çıkmıştır.
Hayaloğlu vd. (2019)	1990-2017 dönemi için Eşanlı Panel veri analizi	Reel GSYH, enerji tüketimi, dışa açık, CO2 emisyonu, kentsel nüfus, enflasyon oranı, sabit sermaye yatırımları,	23 OECD ülkesi	Değişkenler arasında çift yönlü ilişki tespit edilmiştir. Enerji tüketiminin CO2 emisyonuna pozitif,şehirleşme ve dışa açıklık üzerine negatif etki ettiği sonucuna ulaşılmıştır.

		yüksek öğretim okullaşma oranı		
--	--	-----------------------------------	--	--

3. Veri

Çalışmada ekonomik büyüme ve enerji tüketimi arasındaki ilişki Asya-Pasifik ülkeleri kapsamında panel veri yaklaşımları kullanılarak araştırılmıştır. Çalışma 1984 – 2019 dönemi yıllık verilerini kapsamaktadır. Ekonomik büyüme göstergesi olarak ülkelerin 2010 sabit fiyatlı kişi başına gayri safi yurtiçi hasıla (kbgseyh) değişkeni kullanılmış ve veriler Dünya Bankası'ndan alınmıştır. Enerji tüketimi (enerji) ise BP'den alınan istatistiksel verilerden elde edilmiştir.

Tablo 2: Tanımlayıcı İstatistikler

Ülkeler	Kişi başına enerji tüketimi (milyar joule)		Kişi Başına gayri safi yurtiçi hasıla (\$)	
	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama	Standart Sapma
Avustralya	232.76	16.96	46085.80	8817.36
Bangladeş	4.75	2.31	800.18	321.13
Çin	19.43	27.64	3669.30	2974.70
Hong Kong	67.10	35.25	30231.40	9077.27
Hindistan	14.30	5.32	948.43	460.21
Endonezya	20.17	7.06	2233.39	769.71
Japonya	157.56	14.32	31.045.68	3703.50
Malezya	93.79	33.59	6790.90	2349.25
Yeni Zelanda	191.52	11.78	32093.13	5079.61
Pakistan	12.68	2.36	1110.45	197.04
Filipinler	12.96	2.48	2156.05	592.05
Singapur	432.71	131.17	37561.43	13709.58
Güney Kore	163.66	61.00	18388.86	8152.97
Sri Lanka	9.32	3.66	2271.33	1024.42
Tayland	47.65	21.71	4026.82	1448.08
Vietnam	14.69	11.39	1201.48	642.31

Tablo 2’de Asya – Pasifik ülkelerinin 1984 – 2019 dönemleri arasındaki enerji tüketim miktarlarının ve kişi başına gayri safi yurtiçi hasıla değerlerinin ortalamaları ve standart sapma değerleri verilmiştir. Tablo 1’e göre enerji tüketiminde en yüksek ortalamaya 432.71 ile Singapur sahipken, en düşük ortalamaya ise 4.75 ile Bangladeş sahiptir. Kişi başına gayri safi yurtiçi hasıla değerlerine göre 46085.80 dolar ile Avustralya en yüksek ortalamaya sahiptir. Ortalama olarak en düşük kişi başına gayri safi yurtiçi hasıla değerini ise 800.18 dolar ile Bangladeş’te olduğu görülmektedir. Enerji tüketimi ve kişi başına gayri safi yurtiçi hasıla standart sapma değerlerine göre Singapur en yüksek değişkenliğe sahiptir.

4. Yöntem ve Bulgular

Panel veri analizlerinde serilerin yatay kesit bağımlılığa sahip olup olmamasının belirlenmesi, yapılacak analizleri etkilemektedir. Bu bağlamda, enerji tüketimi ve kişi başına gayri safi yurtiçi hasıla değişkenleri için yapılan yatay kesit bağımlılık testi sonuçları Tablo 3’te verilmiştir. Breusch-Pagan LM, Pesaran scaled LM ve Pesaran CD testleri sonuçlarına göre serilerin yatay kesit bağımlı olmadığını ifade eden sıfır hipotezi %1 önem düzeyinde reddedilmiştir. Sonuçta, serilerin yatay kesit bağımlılığa sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 3: Yatay Kesit Bağımlılık Testleri

Testler	lkbgsyih	lenerji
Breusch-Pagan LM	3959.072* (0.000)	2990.239* (0.000)
Pesaran scaled LM	247.811* (0.000)	185.273* (0.000)
Pesaran CD	62.869* (0.000)	52.628* (0.000)

Not: * %1 önem düzeyine göre anlamlıdır. Parantez içindekiler prob değerlerini ifade etmektedir. Logaritmaları alınmış seriler incelenmiştir.

Panel veri uygulamalarında birim kök testleri yapılırken serilerin yatay kesit bağımlılığının dikkate alınması önemlidir. Uygulamamızda serilerin yatay kesit bağımlı olması nedeniyle, bu durumu dikkate alan Pesaran (2007) yaklaşımı tercih edilmiştir. Tablo 4'te verilen Pesaran (2007) panel birim kök testi sonuçlarına göre sabit ile sabit ve trendli durumlar için serilerin düzeyde birim köke sahip olduğu görülmüştür. Serilerin birinci farklarının alınması durumunda %1 önem düzeyinde durağan oldukları sonucuna varılmıştır.

Tablo 4: Pesaran (2007) Panel Birim Kök Testi

Değişkenler	Sabit	Sabit ve Trend
lkbgsyih	-0.814 (0.208)	1.983 (0.976)
Δ lkbgsyih	-4.454* (0.000)	-5.085* (0.000)
lenerji	-0.008 (0.497)	-0.992 (0.178)
Δ lenerji	-9.775* (0.000)	-7.857* (0.000)

Not: * %1 önem düzeyinde anlamlılığı ifade etmektedir. Δ , serilerin birinci farkının alındığı göstermektedir. Parantez içindekiler prob değerleridir.

Panel veri seri uygulamalarında yatay kesit bağımlılık ve birim kök testlerinin öneminin yanı sıra değişkenlerin katsayılarının birimlere göre homojen mi veya heterojen mi olduğunun belirlenmesi de önemlidir. Sıfır hipotezi katsayıların homojen olduğunu, alternatif hipotez ise katsayıların heterojen olduğu yönünde kurulmaktadır. Pesaran ve Yamagata (2008) yaklaşımı uygulamalarda kullanılan bir yöntemdir. Tablo 5'teki sonuçlara göre katsayıların heterojen olduğu %1 önem düzeyinde anlamlıdır. Bu bağlamda, heterojen panel veri yaklaşımı olan Dumitrescu ve Hurlin (2012) panel nedensellik yaklaşımıyla analizi devam ettirmek uygun olacaktır.

Tablo 5: Homojenliğin Testi

Testler	Test İstatistiği	Prob.
$\tilde{\Delta}$	11.074*	0.000
$\tilde{\Delta}_{adj}$	11.581*	0.000

Not: *, %1 önem düzeyinde anlamlılığı ifade etmektedir.

Dumitrescu ve Hurlin (2012) panel nedensellik analizi için aşağıdaki gibi iki denklem oluşturulmuştur. Uygun gecikme uzunlukları için Akaike Bilgi Kriterinden (AIC) yararlanılmıştır.

$$\Delta lenerji_{it} = \alpha_0 + \sum_{k=1}^K \mu_k \Delta lkbgsyih_{it-k} + \sum_{k=1}^K \beta_k \Delta lenerji_{it-k} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$$\Delta lkbgsyih_{it} = \alpha_0 + \sum_{k=1}^K \varphi_k lenerji_{it-k} + \varepsilon_{it} + \sum_{k=1}^K \theta_k \Delta lkbgsyih_{it-k} \quad (2)$$

Denklem (1) ve (2)'de i ülke ve t zamanı ifade etmektedir. Denklemlerde değişkenlerin logaritmaları alınmış ve durağan değişkenler analize dahil edilmiştir. $enerji_{it}$, logaritması enerji tüketimini ifade ederken, $kbgsh_{it}$ kişi başına gayri safi yurtiçi hasılayı ifade etmektedir. ε_{it} ise hata terimleridir.

Tablo 6. Panel Nedensellik Analizi Sonuçları

Yatay Kesit	H ₀ : Enerji tüketimi ekonomik büyümenin nedeni değildir.			H ₀ : Ekonomik büyüme enerji tüketiminin nedeni değildir.		
	İstatistik Değeri	p-değeri	Karar	İstatistik Değeri	p-değeri	Karar
Avustralya	9.724***	0.004	Red	0.363	0.551	Reddedilemez
Bangladeş	4.433**	0.043	Red	0.046	0.831	Reddedilemez
Çin	1.221	0.278	Reddedilemez	0.951	0.337	Reddedilemez
Hong Kong	0.607	0.442	Reddedilemez	4.064*	0.053	Red
Hindistan	0.001	0.979	Reddedilemez	0.899	0.350	Reddedilemez
Endonezya	0.479	0.494	Reddedilemez	1.938	1.174	Reddedilemez
Japonya	1.176	0.287	Reddedilemez	0.003	0.959	Reddedilemez
Malezya	2.933*	0.097	Red	0.128	0.723	Reddedilemez
Yeni Zelanda	5.472**	0.026	Red	0.344	0.562	Reddedilemez
Pakistan	2.330	0.137	Reddedilemez	2.450	0.128	Reddedilemez
Filipinler	0.075	0.797	Reddedilemez	0.001	0.987	Reddedilemez
Singapur	0.203	0.656	Reddedilemez	3.787*	0.061	Red
Güney Kore	0.493	0.488	Reddedilemez	0.375	0.545	Reddedilemez
Sri Lanka	0.139	0.711	Reddedilemez	0.674	0.418	Reddedilemez
Tayland	0.091	0.765	Reddedilemez	1.939	0.174	Reddedilemez
Vietnam	0.030	0.863	Reddedilemez	3.747*	0.062	Red
Tüm panel	1.930*	0.054	Red	0.723	0.469	Reddedilemez

Not: ***, **, * sırasıyla %1, %5 ve %10 önem düzeyinde anlamlılığı ifade etmektedir. Gecikme uzunluğu olarak AIC kriterine göre 1 olarak seçilmiştir.

Tablo 6'da Asya – Pasifik ülkeleri için ekonomik büyüme ve enerji tüketimi arasındaki nedensellik ilişkisi panel nedensellik testi ile incelenmiştir. Bu sonuçlar tüm panelin yanı sıra Asya – Pasifik ülkelerinin her biri için elde edilmiştir. Sonuçlar enerji tüketiminin ekonomik büyümenin nedeni olduğunu ifade eden sıfır hipotezinin %10 önem düzeyinde reddedildiğini; buna karşın ekonomik büyümenin enerji tüketiminin nedeni olduğunu ifade eden sıfır hipotezinin ise reddedilemediğini göstermektedir. Asya-Pasifik ülkelerinin tümü için elde edilen bulgular, enerji tüketiminin ekonomik büyümenin nedeni olduğuna işaret etmektedir. Tüm panel için ekonomik büyüme enerji tüketiminin nedeni değildir.

Her bir ülke için elde edilen nedensellik analizi sonuçlarında farklı bulgulara ulaşılmıştır. Bangladeş ve Yeni Zelanda için enerji tüketiminin ekonomik büyümenin nedeni olduğu %5 önem düzeyinde anlamlıdır. Avustralya için elde edilen sonuçlarda %1 önem düzeyinde, Malezya için %10 önem düzeyinde enerji tüketimi ekonomik büyümenin nedenidir. Hong Kong, Singapur ve Vietnam için elde edilen sonuçlar %10 önem düzeyinde ekonomik büyümenin enerji tüketiminin nedeni olduğunu göstermektedir.

5. Sonuç

Enerji, sanayileşme ile birlikte ekonomik gelişmişliğin önemli faktörlerinden olmuştur. Enerji fiyatlarında meydana gelen değişiklikler ülkelerin makroekonomik bir çok değişkenini etkilemektedir. Özellikle enerji bağımlılığı yaşayan ülkelerde enerji fiyat dalgalanmalarının yaratacağı etkiler doğru enerji politikalarının uygulanması açısından önem taşımaktadır. Çalışmada Asya Pasifik ülkeleri için enerji fiyatları ve ekonomik büyüme ilişkisi incelenmiştir. Avustralya, Bangladeş, Malezya ve Yeni Zelanda için enerji tüketiminin ekonomik büyümenin nedeni olduğu belirlenmiştir. Bu kapsamda bu ülkeler için büyüme hipotezinin geçerli olduğu ifade edilebilir. Hong Kong, Singapur ve Vietnam için ekonomik büyümenin enerji tüketiminin nedeni olduğu görülmektedir. Buna göre bu ülkeler için koruma hipotezi geçerlidir. Fakat Çin, Hindistan, Endonezya, Japonya, Pakistan, Filipinler, Güney Kore, Sri Lanka, Tayland için enerji tüketimi ile ekonomik büyüme

arasında bir ilişki bulunamamıştır. Ayrıca çalışmada kullanılan ülke gruplarının tümünü temsilen enerji tüketiminin ekonomik büyümenin nedeni olduğu belirlenmiştir.

Kaynakça

- Asafu-Adjaye, J. (2000). The relationship between energy consumption, energy prices and economic growth: time series evidence from Asian developing countries. *Energy economics*, 22(6), 615-625.
- Aydın, F. (2010). Enerji tüketimi ve ekonomik büyüme. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (35), 317-340.
- Breusch and Pagan, 1980. The Lagrange multiplier test and its applications to model specification in econometrics. *Rev. Econom. Stud.*, 47 (1980), pp. 239-253.
- Can, U. S. T. A., & Berber, M. (2017). Türkiye’de enerji tüketimi ekonomik büyüme ilişkisinin sektörel analizi. *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 13(1), 173-187.
- Chen, S. T., Kuo, H. I., & Chen, C. C. (2007). The relationship between GDP and electricity consumption in 10 Asian countries. *Energy policy*, 35(4), 2611-2621.
- Cheng, B. S., & Lai, T. W. (1997). An investigation of co-integration and causality between energy consumption and economic activity in Taiwan. *Energy economics*, 19(4), 435-444.
- Çetin, M., & Seker, F. (2012). Enerji tüketiminin ekonomik büyüme üzerindeki etkisi: Türkiye örneği. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 31(1), 85-106.
- Doğan, B., & Değer, O. (2016). Enerji tüketimi, finansal gelişme ve ekonomik büyüme ilişkisi: Hindistan örnekleme. *Journal of Yaşar University*, 11(44), 326-338.
- Dumitrescu, E. I., & Hurlin, C. (2012). Testing for Granger non-causality in heterogeneous panels. *Economic modelling*, 29(4), 1450-1460.
- Ghali, K. H., & El-Sakka, M. I. (2004). Energy use and output growth in Canada: a multivariate cointegration analysis. *Energy economics*, 26(2), 225-238.
- Hayaloğlu, P., Artan, S., & Demirel, S. K. (2019). Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Panel Eşanlı Model. *Uluslararası Ekonomi ve Yenilik Dergisi*, 5(2), 405-417.
- Kraft, J., & Kraft, A. (1978). On the relationship between energy and GNP. *The Journal of Energy and Development*, 401-403.
- Narayan, P. K., & Prasad, A. (2008). Electricity consumption–real GDP causality nexus: Evidence from a bootstrapped causality test for 30 OECD countries. *Energy policy*, 36(2), 910-918.
- Özata, E. (2010). Türkiye’de Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkilerin Ekonometrik İncelemesi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (26).
- Pesaran, M. H. (2004). General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels. CESifo Working Paper Series No. 1229; IZA Discussion Paper No. 1240. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=572504>.
- Pesaran, M. H., & Yamagata, T. (2008). Testing slope homogeneity in large panels. *Journal of econometrics*, 142(1), 50-93.
- Soytas, U., & Sari, R. (2003). Energy consumption and GDP: causality relationship in G-7 countries and emerging markets. *Energy economics*, 25(1), 33-37.
- Syzdykova, A. (2018). Orta Asya ülkelerinde enerji tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisi: Panel veri analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 20(1), 87-99.
- Tunali, H., & ULUBAŞ, M. A. (2017). Elektrik enerjisi tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki: G7 ülkeleri üzerine bir uygulama (1970-2015). *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 20(1), 1-13.
- Usta, C. (2016). Türkiye’de Enerji Tüketimi Ekonomik Büyüme İlişkisinin Bölgesel Analizi. *Uluslararası Ekonomi ve Yenilik Dergisi*, 2(2), 181-201.

Yanar, R., & Kerimoğlu, G. (2011). Türkiye’de Enerji Tüketimi, Ekonomik Büyüme ve Cari Açık İlişkisi. *Ekonomi Bilimleri Dergisi*, 3(2), 191-201.

Yu, E. S., & Choi, J. Y. (1985). The causal relationship between energy and GNP: an international comparison. *The Journal of Energy and Development*, 249-272.



SEÇİLMİŞ OECD ÜYESİ ÜLKELERDE EKOLOJİK AYAK İZİNİN DURAĞANLIĞININ İNCELENMESİ: DOĞRUSAL OLMAYAN BİRİM KÖK ANALİZİ BULGULARI

INVESTIGATION ON THE PERSISTENCE OF ECOLOGICAL FOOTPRINT IN SELECTED OECD MEMBER COUNTRIES: NONLINEAR UNIT ROOT ANALYSIS FINDINGS

Dr. Ali Eren ALPER

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, İ.İ.B.F., Maliye Bölümü, Niğde, Türkiye.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0008-1202>

Dr. F. Özlem ALPER

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, İ.İ.B.F., İktisat Bölümü, Niğde, Türkiye.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7829-8551>

Özet

Bu çalışma seçilmiş Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) üyesi ülkelerin kişi başına ekolojik ayak izlerinin durağanlığını incelemeyi amaçlamaktadır. Bir değişkenin stokastik hareketlerinin belirlenmesi, değişkeni etkilemek için uygulanacak olan politikaların etkinliğinin belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Eğer incelenen seriler seviyede durağan bulunurlarsa yaşanan şokların serilerde geçici etkiler bırakacağını; seriler seviyede durağan bulunmazlarsa şokların kalıcı etkiler bırakacağı tespit edilmiş olur. Dolayısıyla seviyede durağan bulunan ülkelerde ekolojik ayak izini etkileyecek politikaların kalıcı etkileri olmadığı; seviyede durağan bulunmayan ülkelerde ise ekolojik ayak izini değiştirmeye yönelik politikaların kalıcı etkiler bırakacağı belirlenmiş olacaktır. Serilerin durağanlık özelliklerinin bilinmesi, serinin gelecekteki hareketlerinin tahmin edilip edilemeyeceği konusunda da bilgi vermekte ve gelecekte uygulanabilecek politikaların oluşturulmasında politika yapıcılara kolaylık sağlamaktadır. Seviyede durağan bulunan serilerin gelecekteki hareketleri tahmin edilebilirken; seviyede durağan bulunmayan serilerde geleceğe yönelik tahmin mümkün değildir. Serilerin durağanlık özellikleri Hepsağ (2021) birim kök testi ile sınanacaktır. Hepsağ (2021) birim kök testi hem lojistik yumuşak geçişli yapısal kırılmayı hem de doğrusal olmama durumunu birlikte dikkate alan bir birim kök testidir. Analize ekolojik ayak izi verilerine ulaşılabilen 27 OECD üyesi ülke dahil edilmiştir. 1961-2017 yıllık veriler ile yapılan analiz sonucuna göre ABD, İngiltere, Portekiz, Lüksemburg, Kolombiya, Kanada, İtalya, İsviçre, İsrail, İspanya, Hollanda, Fransa, Danimarka, Belçika, Avusturya ve Avusturalya'da ekolojik ayak izinin seviyede durağan olmadığı dolayısıyla da uygulanacak politikaların kalıcı sonuçları olacağı belirlenirken; Türkiye, Şili, Polonya, Norveç, Meksika, Yunanistan, Kosta Rika, Kore, Japonya, İsveç ve Almanya'da ekolojik ayak izinin seviyede durağan ve dolayısıyla da uygulanacak politikaların geçici etkileri olacağı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ekolojik ayak izi, ESTAR, Durağanlık, OECD.

Abstract

This study aims to examine the persistence of per capita ecological footprints in selected member countries of the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). Detecting the stochastic movements of a variable is crucial in terms of determining the effectiveness of the policies to be imposed to affect the variable. If the investigated series are found to be stationary at the level, the experienced shocks would have temporary impacts on the series; whereas if the series is not found to be stationary at the level, it is determined that the shocks would inflict permanent impacts. Therefore, in countries with stationary series at the level, policies that would affect the ecological footprint do not have permanent impacts; whereas in countries with nonstationary series at the level, policies to change the ecological footprint would inflict permanent impacts. Detecting the stationarity properties of the series also provides information on whether or not the future movements of the series can be predicted and facilitates policymakers in formulating policies that can be imposed in the future. Although the future movements of the series that are stationary at the level can be predicted; it is not possible to predict the future for series that are found nonstationary at the level. The stationarity properties of the series would be tested by performing Hepsag (2021) unit root test. Hepsag (2021)

unit root test takes into account both logistic smooth-transitional structural break and nonlinearity. 27 OECD member countries whose ecological footprint data could be accessed were included in the analysis. According to the results of the analysis conducted using the annual data over the period 1961-2017, it was determined that the ecological footprint was not stationary in the USA, the UK, Portugal, Luxembourg, Colombia, Canada, Italy, Switzerland, Israel, Spain, Netherlands, France, Denmark, Belgium, Austria, and Australia, therefore, the policies to be implemented would have had permanent consequences. On the contrary, it was determined that the ecological footprint in Turkey, Chile, Poland, Norway, Mexico, Greece, Costa Rica, Korea, Japan, Sweden, and Germany would have been stationary, and therefore, the policies to be implemented would have had temporary impacts.

Keywords: Ecological footprint, ESTAR, Stationarity, OECD.

1. GİRİŞ

Dünya nüfusundaki artış hızı ve teknolojik gelişmeler sonucunda artan tüketim ve üretim faaliyetleri, çevreye verilen tahribatın katlanarak artmasına neden olmuştur. Ekonomik sistem mal ve hizmetlerin üretim ve tüketiminde temel girdi olarak kullanılan yenilenebilir ve yenilenemez kaynakları ekolojik sistemden sağlamakla birlikte, ekonomik faaliyetler sonucu oluşan her türlü atığı da ekolojik sisteme bırakmaktadır. Ekonomik sistemin, ekolojik sistem üzerindeki zararları etkileri 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren artarak doğal kaynakların tükenmesi, küresel ısınma ve iklim değişikliği, biyolojik çeşitlilik kaybı, ozon tabakasının delinmesi, üretim ve tüketim sonucunda ortaya çıkan atıkların doğaya bırakılması gibi çevre sorunlarına yol açmıştır (Dağdemir, 2015).

Ekonomik sistemin ekolojik sistem üzerindeki etkisi ve çevrenin ekonomi için önemi araştırmacıların bu konuya olan ilgisini arttırmıştır. Çevresel kirliliği temsil eden çok farklı göstergeler (karbondioksit [CO₂], sülfürdioksit, azotdioksit, ormansızlaşma, vs.) kullanılmakla birlikte, son dönemlerde yapılan çalışmalarda çevresel bozulmanın daha kapsamlı bir göstergesi olduğu düşünülen ekolojik ayak izinin (EF) kullanıldığı görülmektedir (Destek ve Sarkodie, 2019; Ozturk vd., 2016; Ulucak ve Bilgili, 2018; Wang vd., 2013).

İlk olarak Rees (1992) tarafından önerilen, Wackernagel ve Rees (1996) tarafından geliştirilen ve insanlığın doğal kaynaklar üzerindeki talebine yönelik toplu bir gösterge sunan EF, bir toplumun ya da bir ekonominin kaynak tüketimi ve atıklarının emilimi için gereken toprak ve su alanlarını göstermektedir (Wackernagel ve Rees, 1996). Doğanın talep ve arzını ölçen EF, iki farklı noktadan ele alınabilir. Talep tarafından dikkate alındığında EF, belirli bir nüfus tarafından ya da bir ürünün üretimi için tüketilen doğal kaynakları üretmeye yönelik gereksinim duyulan ekolojik varlıklar ve özellikle de karbon emisyonları başta olmak üzere tüketilen doğal kaynakların atıklarının emilimi için ihtiyaç duyulan ekolojik varlıkları ölçer. Arz tarafından ise EF, bir bölgenin biyolojik kapasitesi ekolojik varlıklarının verimliliğini göstermesinin yanı sıra, ayrıca üretilen atıkların doğa tarafından ne kadar sürede emilebileceğini de ölçmektedir (Global Footprint Network, 2019).

Çevre ve insan arasındaki ilişkiyi yeni bir bakış açısıyla ele alan EF, karbon ayak izi, tarım arazisi ayak izi, orman ayak izi, otlak ayak izi, balıkçılık sahası ayak izi ve yapılaşmış alan izi olmak üzere altı bileşenden oluşmaktadır. Fosil yakıtların yanmasıyla ortaya çıkan CO₂ ekolojik ayak izindeki en büyük bileşeni oluşturmaktadır (Ulucak ve Bilgili, 2018).

Birçok hükümet ve Avrupa Enerji Ajansı, Avrupa Birliği, Avrupa Komisyonu ve Birleşmiş Milletler gibi hükümetler arası kuruluşlar tarafından çevresel performansın bir göstergesi olarak kullanılan EF'nin özellikle politika uygulamaları ve etkinliği açısından stokastik davranışlarının belirlenmesi önem taşımaktadır (Ulucak ve Lin, 2017). EF'nin stokastik davranışı durağan olup olmamasına bağlı olarak değişkenlik göstermekte olup, uygulanan politikaların etkinliğinin değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Bu çalışmanın amacı 27 OECD üyesi ülkeye ait EF'nin durağanlık özelliklerini üstel yumuşak geçişli (ESTAR) yapısal kırılmayı ve doğrusal olmama durumlarını birlikte ele alan Hepsağ (2021) birim kök testi ile sınamak ve çalışma kapsamındaki OECD ülkelerine yönelik değerlendirmelerde bulunmaktır.

Dört bölümden oluşan çalışmanın ikinci bölümünde konu ile ilgili yazın taraması özetlenmiştir. Üçüncü bölümde veri seti ve metodoloji hakkında bilgi verilmiş, elde edilen bulgular sunulmuştur. Son bölümde ise elde edilen bulgular çerçevesinde genel bir değerlendirme yapılmıştır.

2. YAZIN TARAMASI

Çevre ekonomisi literatüründe CO₂'nin durağan olup olmadığını çeşitli birim kök testleri ile sınavan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Ancak CO₂ ekolojik ayak izi üzerindeki en büyük payı oluşturmakla birlikte, çevresel bozulmanın sadece CO₂ ile ölçülmesi çevresel sürdürülebilirlik için yeterli olamaz. Bu nedenle son yıllardaki çalışmaların çevresel bozulmanın daha kapsamlı bir göstergesi olarak ekolojik ayak izinin durağan olup olmadığı üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Durağanlık analizleri şokların etkileri ile ilgili olup, meydana gelen şokların değişkenler üzerinde geçici mi yoksa kalıcı mı etkiler bıraktığına odaklanmaktadır.

Ulucak ve Lin (2017), 1961-2013 dönemi yıllık verilerini kullanarak Amerika Birleşik Devletleri'nin EF ve alt bileşenlerine yönelik şokların kalıcılığını araştırmışlardır. Fourier LM, Fourier genelleştirilmiş en küçük kareler (GLS) ve Fourier genişletilmiş Dickey Fuller (ADF) birim kök testlerinin yanı sıra geleneksel birim kök testlerini de kullandıkları çalışmalarında yazarlar, Fourier biçimli testlerin daha güvenilir sonuçlar verdiğinden hareketle EF'nin durağan olmadığını ve uygulanan politikaların kalıcı etkileri olduğunu göstermişlerdir.

Bilgili ve Ulucak (2018), G20 ülkelerinde panel Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS) birim kök testini kullanarak ekolojik ayak izinin EF'nin stokastik ve deterministik durağanlıklarını araştırmışlardır. 1961-2014 dönemi yıllık verilerinin kullanıldığı çalışmanın sonuçları, G20 ülkelerinde çevresel yakınsamanın ortaya çıktığını göstermektedir.

Soların ve Bello (2018), 128 ülkede EF'nin durağan olup olmadığını Kruse (2011) ve Narayan ve Popp (2010) birim kök testlerini kullanarak analiz etmişlerdir. 1961-2013 dönemi yıllık verilerinin kullanıldığı çalışmada, analiz kapsamındaki 96 ülkede EF'nin birim kök içerdiği ve bu ülkelerde uygulanan politikaların EF üzerinde kalıcı etkileri olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.

Yılcı vd. (2021), 1961-2014 dönemi için Akdeniz ülkelerinde EF'ye yönelik şokların kalıcılığını araştırmışlardır. Panel veri analiz yöntemini kullandıkları çalışmalarında yazarlar, EF'nin durağan olduğunu, bir diğer ifadeyle EF'ye yönelik bir şokun geçici etkiye sahip olduğunu göstermişlerdir.

Gökçe (2021), görünüşte ilişkisiz Fourier genişletilmiş Dickey Fuller (SURFADF) birim kök testini kullanarak 26 OECD ülkesi için EF'ye yönelik şokların kalıcı mı geçici mi olduğunu 1961-2016 önemi için incelemiştir. Yazar, 26 OECD ülkesinden Türkiye, İsveç ve Şili'de EF'nin durağan olduğu, kalan 23 ülkede ise EF'nin durağan olmadığını sonucuna ulaşmıştır.

3. YÖNTEM, VERİ SETİ VE EKONOMETRİK SONUÇLAR

Zaman serisi verilerinde yapısal kırılmalar ve doğrusal olmama özelliklerinin varlığında, bu iki etkiyi aynı anda dikkate almayan geleneksel birim kök testlerinin gücü azalacaktır. Bu nedenle ADF, KPSS vb. testler durağan olan süreci durağan olmayan süreçten ayırt edemeyeceklerdir (Hepsağ, 2021).

Bu sebeple çalışmada ESTAR tipi bir test olan Hepsağ (2021) birim kök testi kullanılmıştır. Hepsağ (2021) birim kök testinde farklı rejimler arasında yapısal kırılmalar lojistik yumuşak geçiş fonksiyonuyla, doğrusal olmama durumu ise Kruse (2011) çalışmasında önerdiği ESTAR model aracılığıyla dikkate alınmaktadır. Test Leybourne, Newbold ve Vougas (1998) ile Kruse (2011) birim kök testlerine bir alternatif olarak geliştirilmiştir. Hepsağ (2021) birim kök testi prosedürü Leybourne, Newbold ve Vougas (1998) çalışmasını takip ederek Denklem 1, 2 ve 3'de belirtilen üç lojistik yumuşak geçiş modelini tanımlayarak oluşturulmuştur (Hepsağ, 2021).

$$\text{Model A: } y_t = \alpha_1 + \alpha_2 S_t(\lambda, \tau) + v_t \quad (1)$$

$$\text{Model B: } y_t = \alpha_1 + \beta_1 t + \alpha_2 S_t(\lambda, \tau) + v_t \quad (2)$$

$$\text{Model C: } y_t = \alpha_1 + \beta_1 t + \alpha_2 S_t(\lambda, \tau) + \beta_2 t S_t(\lambda, \tau) + v_t \quad (3)$$

Ampirik analiz ABD, İngiltere, Türkiye, Şili, Portekiz, Polonya, Norveç, Meksika, Yunanistan, Lüksemburg, Kosta Rika, Kore, Kolombiya, Kanada, Japonya, İtalya, İsviçre, İsveç, İsrail, İspanya, Hollanda, Fransa, Danimarka, Belçika, Avusturya, Avustralya ve Almanya'dan oluşan 27 OECD üyesi ülkeyi kapsamaktadır. Analiz için Global Footprint Network veri tabanından 1961-2017 arası için elde edilen kişi başına küresel ayak izi değişkeni kullanılmıştır.

Hepsağ (2021) birim kök testi sonuçları Tablo 1’de özetlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre ABD, İngiltere, Portekiz, Lüksemburg, Kolombiya, Kanada, İtalya, İsviçre, İsrail, İspanya, Hollanda, Fransa, Danimarka, Belçika, Avusturya ve Avustralya’da ekolojik ayak izinin seviyede durağan olmadığı tespit edilmiştir.

SONUÇ VE POLİTİKA ÖNERİLERİ

Ekolojik ayak izi temel çevresel göstergelerden birisidir ve son dönemde pek çok ampirik çalışmada kullanılmıştır. Dolayısıyla kolay anlaşılabilir ve çevresel bozulmaya yol açan birçok alt değişken tarafından oluşturulan kompozit bir gösterge olması sebebiyle oldukça popülerdir.

Çalışmanın ekonometrik analizinde doğrusal olmama ve yapısal değişime aynı anda izin veren bir test olan Hepsağ (2021) birim kök testi kullanılmıştır. Bu sayede hem yapısal değişime hem de doğrusal olmamaya izin vermeyen ADF, KPSS gibi geleneksel birim kök testlerine göre ve sadece yapısal değişime izin veren ancak doğrusal olmamaya izin vermeyen Fourier ADF, Fourier KPSS gibi birim kök testlerine göre daha güvenilir sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 1. Hepsağ (2021) birim kök test sonuçları

Ülke	$\tau_{SNL\alpha\beta}$	Optimal Gecikme	Sonuç
ABD	10.742	1	Seviyede durağan değil
İngiltere	4.600	1	Seviyede durağan değil
Türkiye	16.977	0	Seviyede durağan
Şili	13.421	1	Seviyede durağan
Portekiz	8.843	0	Seviyede durağan değil
Polonya	19.648	1	Seviyede durağan
Norveç	13.497	1	Seviyede durağan
Meksika	14.629	1	Seviyede durağan
Yunanistan	18.637	1	Seviyede durağan
Lüksemburg	8.718	1	Seviyede durağan değil
Kosta Rika	20.719	0	Seviyede durağan
Kore	21.356	0	Seviyede durağan
Kolombiya	9.871	0	Seviyede durağan değil
Kanada	10.959	1	Seviyede durağan değil
Japonya	12.912	1	Seviyede durağan
İtalya	6.148	0	Seviyede durağan değil
İsviçre	9.937	1	Seviyede durağan değil
İsveç	23.731	1	Seviyede durağan
İsrail	10.012	1	Seviyede durağan değil
İspanya	2.486	0	Seviyede durağan değil
Hollanda	6.288	1	Seviyede durağan değil
Fransa	4.917	1	Seviyede durağan değil
Danimarka	6.830	1	Seviyede durağan değil
Belçika	5.651	1	Seviyede durağan değil
Avusturya	6.798	1	Seviyede durağan değil
Avustralya	4.894	1	Seviyede durağan değil
Almanya	13.751	1	Seviyede durağan

Not: %5 anlamlılık düzeyinde kritik değer 12.404.

Ekonometrik analiz sonucunda seviyede durağan olmadığı tespit edilen ABD, İngiltere, Portekiz, Lüksemburg, Kolombiya, Kanada, İtalya, İsviçre, İsrail, İspanya, Hollanda, Fransa, Danimarka, Belçika, Avusturya ve Avustralya’da kişi başına ekolojik ayak izi değişkenindeki şokların kalıcı etkiler bırakacağı tespit edilmiştir. Bu nedenle bu ülkelerde ekolojik ayak izini azaltacak politikaların etkili olabileceği belirlenmiş olmaktadır.

Kişi başına ekolojik ayak izi değişkeninin seviyede durağan bulunduğu Türkiye, Şili, Polonya, Norveç, Meksika, Yunanistan, Kosta Rika, Kore, Japonya, İsveç ve Almanya’da serinin ortalamaya dönme eğiliminde olduğu ve uygulanacak politikaların etkilerinin geçici olacağı dolayısıyla da etkili olamayacağı tespit

edilmiştir. Ancak bu ülkelerde de ekolojik ayak izinin gelecekteki değerlerinin tahmin edilmesi mümkün olabilecektir.

KAYNAKÇA

- Bilgili, F., & Ulucak, R. (2018). Is there deterministic, stochastic, and/or club convergence in ecological footprint indicator among G20 countries?. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(35), 35404-35419.
- Dağdemir, Ö. (2015). *Çevre Sorunlarına ekonomik Yaklaşımlar ve Optimal Politika Arayışları*. Gazi Kitabevi: Ankara, 3. Baskı
- Destek, M. A., & Sarkodie, S. A. (2019). Investigation of environmental Kuznets curve for ecological footprint: the role of energy and financial development. *Science of the Total Environment*, 650, 2483-2489.
- Global Footprint Network (2019). Ecological Footprint, <https://www.footprintnetwork.org/our-work/ecological-footprint/> (Erişim tarihi:20.11.2021).
- Gökçe, E.C. (2021). Persistence of shocks to Ecological Footprint of the OECD Countries, In Y.A. Unvan ve H.A. Kalay (Eds.), *Administrative, economics and social sciences: Theory, current researches and new trends* (pp.122-140)
- Hepsağ, A. (2021). A unit root test based on smooth transitions and nonlinear adjustment. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 50(3), 625-632.
- Kruse, R. (2011). A new unit root test against ESTAR based on a class of modified statistics. *Statistical Papers*, 52(1), 71-85.
- Leybourne, S., Newbold, P., & Vougas, D. (1998). Unit roots and smooth transitions. *Journal of Time Series Analysis*, 19(1), 83-97.
- Narayan, P. K., & Popp, S. (2010). A new unit root test with two structural breaks in level and slope at unknown time. *Journal of Applied Statistics*, 37(9), 1425-1438.
- Ozturk, I., Al-Mulali, U., & Saboori, B. (2016). Investigating the environmental Kuznets curve hypothesis: the role of tourism and ecological footprint. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(2), 1916-1928.
- Rees, W. E. (1992). Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. *Environment and Urbanization*, 4(2), 121-130.
- Solarin, S. A., & Bello, M. O. (2018). Persistence of policy shocks to an environmental degradation index: the case of ecological footprint in 128 developed and developing countries. *Ecological Indicators*, 89, 35-44.
- Ulucak, R., & Bilgili, F. (2018). A reinvestigation of EKC model by ecological footprint measurement for high, middle and low income countries. *Journal of Cleaner Production*, 188, 144-157.
- Ulucak, R., & Lin, D. (2017). Persistence of policy shocks to ecological footprint of the USA. *Ecological Indicators*, 80, 337-343.
- Wackernagel, M., & Rees, W. (1996). *Ecological footprint: Reducing human impact on the earth*. New Society, Gabriola Island, BC, Canada.
- Wang, Y., Kang, L., Wu, X., & Xiao, Y. (2013). Estimating the environmental Kuznets curve for ecological footprint at the global level: A spatial econometric approach. *Ecological Indicators*, 34, 15-21.
- Yilanci, V., Ulucak, R., & Ozgur, O. (2021). Insights for a sustainable environment: analysing the persistence of policy shocks to ecological footprints of Mediterranean countries. *Spatial Economic Analysis*, 1-20.



KÜRESEL PETROL PİYASALARININ REJİM DİNAMİKLERİNİN İNCELENMESİ INVESTIGATION OF REGIME DYNAMICS OF GLOBAL OIL MARKETS

Kerem Fırat COŞKUN

Araştırma Görevlisi, Atatürk Üniversitesi, İ.İ.B.F., Erzurum, Türkiye
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9227-2414>

Sinem ATICI USTALAR

Araştırma Görevlisi, Atatürk Üniversitesi, İ.İ.B.F., Erzurum, Türkiye
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8475-2581>

Özet

Petrol gibi enerji vadeli işlemleri, emtia fiyat riskinden korunmak ve yaygın olarak kullanılan yatırım araçlarıdır. Ekonomik faaliyetler ve genel fiyatlar ile olan doğrudan ilişkileri nedeniyle, enerji emtiaları (özellikle petrol) da bir portföy çeşitlendirme aracı olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla finansal yatırım kararı sürecinde petrol fiyatlarının dinamiklerinin incelenmesi önem arz etmektedir. Bu bağlamda çalışmanın amacı petrol vadeli işlem fiyatlarının daralma ve genişleme dönemlerini Markov Rejim Değişimi Otoregresif (MS-ARCH) modelini kullanarak analiz etmektir. MS-ARCH modeli koşullu varyansın düşük oynaklığa sahip “düşük riskli rejim” ve yüksek oynaklığa sahip “yüksek riskli rejim” olmak üzere iki rejimli uygulanmıştır. Modelde küresel petrol piyasasını temsil etmesi için Brent petrol vadeli işlem fiyatları kullanılmıştır. Analiz 1 Ocak 2005-1 Kasım 2021 tarihleri için günlük veriler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. MS-ARCH model sonuçlarına göre Brent petrol vadeli işlem fiyatlarının, düşük riskli rejime kıyasla, yüksek riskli rejimde oynaklığının daha duyarlı olduğu görülmektedir. Ayrıca model kapsamında Brent petrol vadeli işlem fiyatlarının düşük ve yüksek riskli rejimler arasındaki geçiş olasılıkları belirlenmiştir. Böylece Brent petrol vadeli işlem fiyatlarının düşük riskli rejimden yüksek riskli rejime geçme olasılığı %3.48 iken yüksek riskli rejimden düşük riskli rejime geçme olasılığı ise %0.68’dir. Düşük riskli rejimde daha yüksek olmak üzere, hem düşük hem de yüksek riskli rejimlerde oynaklık ısrarcılığı (volatility persistence) yüksektir. Model sonuçları ayrıca Brent petrol vadeli işlem fiyatlarının düşük riskli rejimde ortalama 146, yüksek riskli rejimde ise ortalama 28 gün kalmaktadır. Brent petrol vadeli işlem fiyatlarının rejimde kalma ve rejim değiştirme olasılıklarının belirlenmesi, yatırımcıların pozisyonlarını koruyabilme veya değiştirebilme imkânı sağlayabilir. Dolayısıyla portföy çeşitlendirmesine giden bir yatırımcının çeşitlendirmeden elde edeceği faydayı artırmasına neden olabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Petrol Fiyatları, Doğrusal Olmama, MS-ARCH modeli

Abstract

Energy futures such as oil are commonly used investment instruments to hedge commodity price risk. Energy commodities (especially oil) are also used as a portfolio diversification tool due to their direct relationship with economic activities and general prices. Therefore, it is important to examine the dynamics of oil prices in the financial investment decision process. In this context, the aim of the study is to analyze the boom and bust periods of oil futures prices using the Markov Regime Switching Autoregressive (MS-ARCH) model. The MS-ARCH model is applied with two regimes of conditional variance, a “low-risk regime” with low volatility and a “high-risk regime” with high volatility. Brent oil futures prices are used in the model to represent the global oil market. The analysis is carried out using daily data for the dates January 1, 2005 - November 1, 2021. According to the MS-ARCH model results, it is seen that the volatility of Brent oil futures prices is more sensitive in the high-risk regime compared to the low-risk regime. In addition, the transition probabilities of Brent oil futures prices between low and high risk regimes are determined within the scope of the model. Thus, while the probability of Brent oil futures prices to switch from a low-risk regime to a high-risk regime is 3.48%, the probability of switching from a high-risk regime to a low-risk regime is 0.68%. Volatility persistence is high in both low- and high-risk regimes, but higher in the low-risk regime. The model results also show that Brent oil futures prices stay on average for 146 days in the low-risk regime and 28 days in the high-risk regime.

Determining the probability of brent oil futures prices to remain in the regime and to change the regime may provide the opportunity for investors to maintain or change their positions. Therefore, an investor going to portfolio diversification may increase the benefit to be obtained from diversification.

Keywords: Oil Prices, Non-Linearity, MS-ARCH Model

GİRİŞ

Petrol fiyatları dünya ekonomisinin gelişmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Petrol fiyatlarının oynaklığı, risk yönetimi, türev ürünlerinin fiyatlandırılması, riskten korunma ve ticaret için kilit bir göstergedir. Çünkü petrol üretim-tedarik zincirinde önemli bir girdi olduğundan, petroldeki ani ve büyük fiyat değişimleri üretim kapasitesinde şoklara ve dolayısıyla ekonomik dalgalanmalara neden olabilmektedir (Liu vd., 2020). Bu nedenle hem piyasa katılımcıları hem de politika yapımcılar için oynaklık modellemesi ve tahmini önem arz etmektedir.

Çalışmanın amacı brent petrol vadeli işlem getirilerinin oynaklıklarının rejim dinamiklerini Markov Rejim Değişimi Otoregresif (MS-ARCH) modelini kullanarak incelemektir. Bu tür modeller, birçok ekonomik zaman serisinde rejim değişimlerini modellemede oldukça başarılıdır (Hamilton, 1989; Hamilton ve Susmel, 1994; Gray, 1996; Bollen vd., 2000). Markov Rejim Değişimi modelleri, rejimleri tahmin edilen parametrelerden elde edilen gizli değişkenler (latent variables) olarak ele almaktadır. Böylece, getiri serilerinin kendisi herhangi bir gizli rejimi ortaya çıkarmak için kullanılabilir. Ayrıca Markov Rejim Değişimi modelleri sayesinde büyük oynaklık değişimlerinin nedenleri de açıklanabilmektedir (Fong ve See, 2003: 500). Bu nedenle çalışmada brent petrol vadeli işlem getirilerinin oynaklıklarının rejim dinamiklerini belirlemek için MS-ARCH modeli kullanılmıştır.

Analizde kullanılan MS-ARCH modelinde küresel petrol piyasasını temsil etmesi için brent petrol vadeli işlem fiyatları kullanılmıştır. Model 1 Ocak 2005-1 Kasım 2021 tarihleri için günlük veriler kullanılarak sınanmıştır. MS-ARCH model sonuçları brent petrol vadeli işlem getiri oynaklıklarının “düşük riskli” ve “yüksek riskli” rejimler olmak üzere iki rejim arasında hareket ettiğini göstermektedir. Bu durumu göz ardı etmek, oynaklığın oldukça kalıcı ve dolayısıyla oldukça tahmin edilebilir olduğu konusunda yanlış bir izlenime yol açabilecektir (Vo, 2009: 787). Ayrıca brent petrol vadeli işlem getiri oynaklığının, düşük riskli rejime kıyasla, yüksek riskli rejime karşı oynaklığının daha duyarlı olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. MS-ARCH modeli brent petrol vadeli işlem getiri oynaklığının düşük ve yüksek riskli rejimler arasındaki geçiş olasılıklarının hesaplanmasına izin vermektedir. Böylece brent petrol vadeli işlem fiyatlarının düşük riskli rejimden yüksek riskli rejime geçme olasılığı %3.48 iken yüksek riskli rejimden düşük riskli rejime geçme olasılığı ise %0.68'dir. Düşük riskli rejimde daha yüksek olmak üzere hem düşük hem de yüksek riskli rejimlerde oynaklık ısrarcılığı (volatility persistence) yüksektir. Model sonuçları ayrıca brent petrol vadeli işlem fiyatlarının düşük riskli rejimde ortalama 146, yüksek riskli rejiminde ise ortalama 28 gün kaldığını göstermektedir.

MS-ARCH modeli sonucunda brent petrol vadeli işlem getiri oynaklığının rejimde kalma ve rejim değiştirme olasılıklarının belirlenmesi, yatırımcıların pozisyonlarını koruyabilme veya değiştirebilme imkânı sağlayabilir. Dolayısıyla brent petrolü portföyünde bulunduran veya brent petrol vadeli işlem sözleşmesi ile portföyünü uyarlamak isteyen bir yatırımcının portföy çeşitlendirmesinden elde edeceği faydayı artırmasına neden olabilecektir.

Çalışmanın izleyen bölümünde brent petrol vadeli işlem getiri oynaklığının rejim dinamiklerine dair gelişmiş literatür incelenecektir. Üçüncü bölümde MS-ARCH modelinin teorik alt yapısı tanıtılacaktır. Dördüncü bölümde ise MS-ARCH modeli öncesi brent petrol vadeli işlem getiri serisine dair tanımlayıcı test ve istatistiklere yer verilecek ve ayrıca MS-ARCH modeli sonuçları tartışılacaktır. Son bölüm ise sonuç bölümüdür.

LİTERATÜR

Petrol vadeli işlem fiyatlarının oynaklığının analizi finansal yatırımlarda risk yönetimi için önemli iken, reel yatırımlarda ise petrolün küresel üretimde temel bir girdi olması açısından önem arz etmektedir. Bu nedenle reel ve finansal piyasalarda meydana gelen yüksek ve düşük oynaklık dönemlerinde petrol vadeli işlem fiyatlarının oynaklığının tepkisi ve ne yönde hareket ettiğinin belirlenmesi gerekmektedir. Vo (2009) rejim

değişimi modeli ile ham petrol getirisinin oynaklığını 1 Mart 1986/ 1 Nisan 2008 tarihleri için analiz etmiştir. Yazar ham petrol getirisinin oynaklığını rejim değişimlerinin etkilediğini ve özellikle Markov Rejim Değişimi modellerinin petrol getiri oynaklığının rejim dinamiklerini açıklama gücünün yüksek olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Analizde kullanılan MS-ARCH modeli ile elde edilen bulgular ilgili literatür ile paraleldir. Örneğin, Zhang ve Zhang (2015) küresel finans krizi sürecine dikkate alarak, Brent ve WTI ham petrol vadeli işlem getirilerinin oynaklıklarının rejim dinamiklerini incelemiştir. Markov Rejim Değişimi modelinin kullanıldığı analizde kriz öncesi ve kriz sonrası dönemi temsil etmesi için sırasıyla, 3 Ocak 2003/ 25 Mayıs 2007 ve 6 Mart 2009/ 14 Aralık 2012 olmak üzere iki alt dönem dikkate alınmıştır. Markov Rejim Değişimi modeli ile kriz öncesi ve kriz sonrası dönemde Brent ve WTI ham petrol vadeli işlem getiri oynaklıkları için üç rejim belirlenmiştir. Brent petrol getiri oynaklıkları “keskin düşüş”, “ılımlı düşüş” ve “keskin artış” olmak üzere üç rejime sahiptir; WTI ham petrol getiri oynaklıkları ise “keskin düşüş”, “istikrarlı” ve “keskin artış” olmak üzere üç rejime sahiptir. Brent petrol vadeli işlem getiri oynaklığı kriz öncesi dönemde “ılımlı düşüş” rejiminde daha uzun kalırken, kriz sonrası dönemde ise “keskin yükseliş” döneminde daha uzun kalmaktadır. WTI ham petrol vadeli işlem getiri oynaklığı ise küresel finans krizi sürecinde “istikrarlı” rejimde kalmaktadır. Koy (2018) ise çalışmasında Ocak 1990/ Ekim 2017 tarihleri için küresel petrol piyasasının rejim dinamiklerini Markov Rejim Değişimi GARCH (MS-GARCH) modeli ile analiz etmiştir. Küresel petrol piyasasını temsil etmesi için WTI ham petrol vadeli işlem getiri oynaklığı kullanılmıştır. Analiz bulguları WTI ham petrol vadeli işlem getiri oynaklığının “düşük/normal oynaklık” ve “yüksek oynaklık” olmak üzere iki rejim arasında hareket ettiğini göstermektedir. Koy (2018) ile paralel olarak, Dwipa ve Wicaksono (2020) WTI ham petrol vadeli işlem getiri oynaklığının rejim dinamiklerini Temmuz 2018/ Ağustos 2020 tarihleri için MS-GARCH modeli ile incelemiştir. Model sonuçları WTI ham petrol vadeli işlem getiri oynaklığının “düşük oynaklık” ve “yüksek oynaklık” rejimleri arasında hareket ettiğini göstermektedir. Ayrıca WTI ham petrol vadeli işlem getiri oynaklığı düşük oynaklık rejiminde 1 gün kalırken, yüksek oynaklık rejiminde ise 2 gün kalmaktadır.

Reel ve finansal piyasalardaki önemli fonksiyonu nedeniyle yazında petrol fiyatlarındaki oynaklığın rejim dinamikleri Markov Rejim Değişimi modelinin farklı yaklaşımları ile de analiz edilmiştir. Wang vd. (2016) ham petrol getiri oynaklığını Markov Rejim Değişimi Çoklu Fraktal (Markov switching multifractal- MSM) modeli ile incelemiştir. MSM modeli çoklu fraktallık (multifractality)¹, uzun hafıza ve oynaklıkta yapısal kırılmaları yakaladığı ve aynı zamanda oynaklıktaki yüzlerce rejimi kontrol ettikten sonra model parametrelerini elde ettiğinden dolayı tercih edilmiştir. 4 Ocak 1993/ 9 Eylül 2013 tarihlerini kapsayan analizde günlük Brent petrol ve WTI ham petrol spot kapanış fiyatları kullanılmıştır. MSM model sonuçlarına göre WTI ham petrol getiri oynaklıkları için 128 rejimde ve 1024 rejimde hareket ederken, Brent petrol getiri oynaklıkları ise 64 rejimde hareket etmektedir. Model bulguları MSM modelinin petrol opsiyon fiyatlarının modellenmesinde kullanılabileceğini ve yüksek rejim değerlerine izin verildikçe modelin açıklama gücünün arttığını göstermektedir. Di Sanzo (2018) petrol fiyatlarının oynaklığını Markov Rejim Değişimi Uzun Hafıza (MS-ARFIMA) modeli yardımıyla incelemiştir. Bu model hem uzun hafızanın oynaklık özelliklerini hem de doğrusal olmama durumlarının tek bir zaman serisi modeliyle analiz etmeye izin vermektedir. MS-ARFIMA modeli 6 Ocak 1992/ 31 Aralık 2015 tarihleri için Brent ve ham petrol günlük spot fiyatları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Model sonuçları Markov rejim dinamiklerinin hem Brent hem de WTI ham petrol üzerinde anlamlı olduğunu ve iki rejimli MS-ARFIMA modelinin petrol fiyatlarının oynaklığını tanımlamada uygun bir model olduğunu göstermektedir. MS-ARFIMA modelinin tahmini geçiş olasılıkları 1'e yakın elde edilmiştir. Bu durum rejimlerin çok kalıcı olduğunu göstermektedir. Model sonucunda elde edilen uzun hafıza parametresinin hem Brent hem de WTI petrol fiyatları oynaklığı için sıfırdan anlamlı derecede farklı olduğu hesaplanmıştır. Bu nedenle model sonuçları Markov rejim dinamiklerinin petrol fiyatlarının oynaklığındaki kalıcılığın tamamını açıklayamadığına dair bulgu sunmaktadır. Liu vd. (2020) WTI ham petrol spot fiyatlarının oynaklığını genişlettikleri Markov Rejim Değişimi modeli ile incelemiştir. Yazarların kurdukları model,

¹ Varlık Getirilerinin Çoklu Fraktal Modeli (The Multifractal Model of Asset Returns- MMAR) Mandelbrot vd. (1997) tarafından tanıtılmıştır. Model yüksek frekanslı zaman serisi verilerindeki oynaklık kümelenmelerini açıklamak ve varlık getirilerinin dağılımında şişman kuğuğa (fat tail) neden olan “aykırı değerleri (outliers)” ve büyük sapmaları kontrol etmek için kullanılmıştır. MMAR modelinin temel varsayımı, varlıkların farklı işlem zamanlarında (trading time) alınıp satılabiliyor olmasının finansal zaman serilerini çoklu fraktal bir yapıya dönüştürmesidir (Green vd., 2014). Bu nedenle varlık getirilerinde oynaklık kümelenmesi hem gün içinde hem de daha uzun zaman periyotlarında gözlemlenebilmektedir. Engle (1982)'nin ARCH modeli farklı frekanslarda bu oynaklık kümelenmelerini yakalayamadığı (Calvet vd., 1997) için MMAR modeli geliştirilmiştir.

petrol fiyatlarını belirleyen ve son on yılda farklı zaman dilimlerinde oynaklık rejim değişikliğinin olup olmadığını tespit eden bir zaman-sürekli difüzyon (time-continuous diffusion) modelidir. Model iki alt dönem için uygulanmıştır. A dönemi olarak tanımlanan dönem 2 Ocak 2008/ 30 Nisan 2014 tarihlerini; B dönemi olarak tanımlanan dönem ise 1 Ocak 2015/ 1 Temmuz 2019 tarihlerini kapsamaktadır. Model sonuçları A döneminde WTI petrol fiyatlarının oynaklığının iki rejimde hareket ederken, B döneminde ise iki rejimli Markov dinamiklerinin anlamsız olduğunu göstermektedir.

AMPIRİK YÖNTEM

Box ve Jenkins'in sabit parametrelili doğrusal zaman serisi modelleme geleneğine alternatif olarak rejim değişikliklerine izin veren Markov Rejim Değişim modeli geliştirilmiştir. MS-AR modeli (Markov rejim değişim otoregresyon) Hamilton (1989,1990) çalışmalarıyla popülerlik kazanmış ve daha sonraki çalışmalarıyla geliştirilmiştir. MS-AR modelleri arkasındaki temel fikir, AR sürecinin parametrelerinin mümkün tüm durumlardan belirli bir durumda olma olasılığını temsil eden, $s_t \in \{1, \dots, K\}$, gözlemlenemeyen rejim değişkenine bağlı olduğudur (Bildirici vd,2010;69-72). ARCH modeli ailesi yalnızca varyansın zamana göre değiştiği varsayımı altında model parametrelerini elde eden doğrusal modellerdir. ARCH modellerinin zayıf tahmin performansı ve yapay olarak yüksek ısrarcılık gösterdiği ve bu durumun ARCH sürecindeki yapısal değişimle ilgili olabileceği ifade edilmektedir. Oysaki Hamilton ve Susmel (1994) tarafından geliştirilen MSARCH modeli, iki veya daha fazla rejime izin veren ve rejimler arasındaki geçişi ortaya koyan bir Markov sürecidir ve doğrusal olmayan bir yapı altında parametre tahminine izin vermektedir. Bu nedenle özellikle türev ürünler piyasasının oynaklığını analiz etmede MSARCH modelleri kullanışlı modellerdir. Hamilton ve Susmel tarafından ifade edilen model aşağıdaki eşitlikler yardımıyla tanımlanmaktadır.

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_q y_{t-q} + u_t \quad (1)$$

$$u_t = \sqrt{g_{st}} \cdot \tilde{u}_t \quad (2)$$

$$\tilde{u}_t = h_t \cdot v_t \quad (3)$$

Yukarıdaki (3) numaralı eşitlikte koşullu varyansın, h_t 'nin varyansının q . dereceden bir ARCH süreci izlediği varsayılmış ve h_t^2 Eşitlik (4)'te tanımlanmıştır:

$$h_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \tilde{u}_{t-1}^2 + \alpha_2 \tilde{u}_{t-2}^2 + \dots + \alpha_q \tilde{u}_{t-q}^2 + \xi d_{t-1} \tilde{u}_{t-1}^2 \quad (4)$$

$$d_{t-1} = \begin{cases} 1, & \tilde{u}_{t-1} \leq 0 \\ 0, & \tilde{u}_{t-1} > 0 \end{cases} \quad (5)$$

Eşitlik (4) q . dereceden bir Markov Dönüşümlü ARCH süreci izlemektedir. Bu durum $\tilde{u}_t \sim SWARCH(K, q)$ olarak ifade edilir ve K rejim sayısını göstermektedir. Modelde d_{t-1} şeklinde kukla değişken tanımlanmıştır. d_{t-1} ; \tilde{u}_{t-1} sıfırdan küçük ve eşit olduğu durumda 1 değerini alırken, \tilde{u}_{t-1} sıfırdan büyük olduğu durumda 0 değerini almaktadır. Bu sayede d_{t-1} kukla değişkeni yardımıyla modele doğrusal olmayan yapı eklenmiştir. \tilde{u}_t , birinci rejimdeyken $\sqrt{g_1}$ ile ikinci rejimdeyken $\sqrt{g_2}$ ile çarpılmaktadır. g_1 , 1 değerine normalleştirilerek, $j = 2, 3, \dots, K$ için $g_j \geq 1$ sağlanmaktadır. Bu durumda g_2 ikinci rejimin birinci rejime oranla kaç kat daha volatil olduğunu gösterecektir.

$$p(s_t = j | s_{t-1} = i, s_{t-2} = k, \dots, y_{t-1}, y_{t-2}, \dots) = P(s_t = j | s_{t-1} = i) = P_{ij} \quad (6)$$

s_t değişkeni gözlemlenemeyen durum değişkenini ifade etmektedir. P_{ij} geçiş olasılığı olarak tanımlanmakta ve j durumundan i durumuna geçme olasılığını göstermektedir. Geçiş olasılıkları için geçiş matrisi tanımlanabilir. Bu matriste her kolon toplamı 1'e eşit olmalıdır.

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{21} & \dots & p_{K1} \\ p_{12} & p_{22} & \dots & p_{K2} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ p_{1K} & p_{2K} & \dots & p_{KK} \end{bmatrix} \quad (7)$$

p_{11} birinci rejimdeyken bir sonraki dönemde yine birinci rejimde kalma olasılığını gösterirken, p_{22} sürecin ikinci rejimdeyken bir sonraki dönem tekrar ikinci rejimde kalma olasılığını göstermektedir. Bu durum oynaklık ısrarcılığı (volatility persistence) olarak tanımlanmaktadır. p_{12} serinin birinci rejimdeyken bir sonraki dönem ikinci rejime geçme olasılığını gösterirken, p_{21} seri ikinci rejimdeyken bir sonraki dönem birinci rejime geçme olasılığını göstermektedir. Serinin birinci ve ikinci rejimde ortalama kalma süresi Eşitlik (8) yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Rejimde Bekleme Süresi} = \frac{1}{1 - p_{ij}} \quad (8)$$

i rejiminin ortalama bekleme süresi Eşitlik (8)'deki gibi hesaplanır. Burada $s_t = i$ olarak ele alındığında, p_{ii} ne kadar büyük değere sahip olursa takip eden dönemde diğer rejime geçiş olasılığı ($1 - p_{ii}$) düşük olacak ve aynı zamanda i rejiminde geçirilen süre de yüksek olacaktır (Bildirici vd,2010;78).

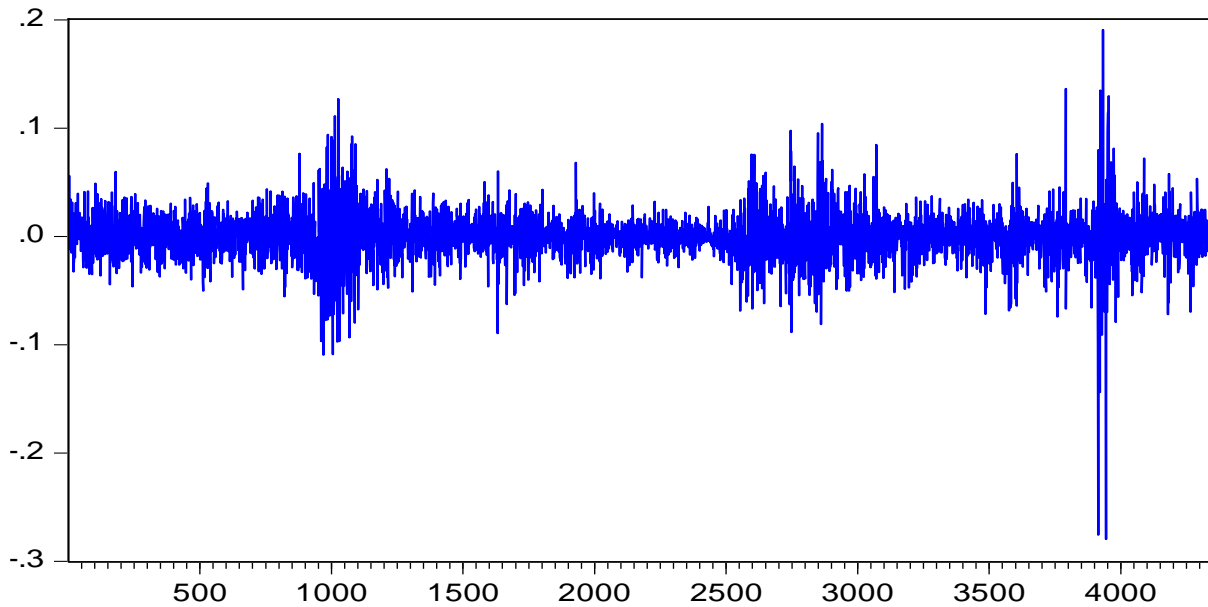
Çalışmada kullanılan Markov rejim değişim modeli, Brent petrol getiri oynaklığının rejim dinamiklerini, rejim değişim olasılıklarını ve farklı rejimlerde kaldığı süreyi tespit etmektedir. Markov rejim değişim modeli sonrasında Brent petrol getiri oynaklığının “düşük riskli” ve “yüksek riskli” olmak üzere iki rejimde hareket ettiği belirlenmiştir. Markov rejim değişim modeli kukla değişken yapısı gösteren bir rejim değişkeni yardımıyla doğrusal olmayan bir yapıyı ifade etmektedir. Bu nedenle Brent petrol getiri serisinin duranlığının ve doğrusallığının sınanması gerekmektedir. İzleyen bölümde MS-ARCH modeli öncesi tanımlayıcı test ve istatistikler ile model sonuçları tartışılacaktır.

AMPİRİK MODEL BULGULARI

Küresel petrol piyasasının rejim dinamikleri için kullanılan MS-ARCH modelinde, küresel petrol piyasasını temsil etmesi için Brent petrol vadeli işlem kapanış fiyatları kullanılmıştır. Kapanış fiyatları “investing.com” adresinden derlenerek kullanılmıştır. Analiz 1 Ocak 2005-1 Kasım 2021 tarihlerini kapsamaktadır. Analizde Brent petrol vadeli işlem kapanış fiyatları Eşitlik (9) yardımıyla getiri serisine dönüştürülerek kullanılmıştır.

$$R_t = \ln \left(\frac{\text{Brent Petrol Vadeli İşlem Fiyatı}_t}{\text{Brent Petrol Vadeli İşlem Fiyatı}_{t-1}} \right) \quad (9)$$

Grafik (1)'de Brent petrol getiri serisine ilişkin grafik yer almaktadır. Grafik (1) incelendiğinde Mandelbrot (1963)'ün de tanımladığı gibi, serinin oynaklık kümelenmelerine sahip olduğu görülmektedir. Brent petrol getiri serisinde yüksek getiri hareketleri yüksek, düşük getiri hareketleri ise düşük hareketleri takip etmektedir. Bu durum varyansın zamana göre sabit olduğu varsayımı altında çalışan klasik tahmin yöntemlerinin yüksek frekanslı zaman serilerinin analizinde sapmalı sonuçlara neden olabilmektedir. Bu nedenle oynaklık kümelenmesinin varlığı durumunda varyansın zamana göre değiştiğini varsayan modeller önerilmektedir.

Grafik 1: Brent Petrol Getiri Serisi Grafiği

Varyansın zamana göre değiştiğini varsayan ve yüksek frekanslı zaman serileri analizinde kullanılan ARCH tipi modellere geçmeden önce, yüksek frekanslı zaman serilerinin asimetri, şişman kuyruk (fat tail), durağanlık ve değişen varyans gibi özelliklerinin de kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle MS-ARCH modeline geçilmeden önce Tablo (1)'de Brent petrol getiri serisine ait tanımlayıcı test ve istatistikler sunulmuştur.

Tablo 1: Brent Petrol Getiri Serisinin Tanımlayıcı İstatistikleri ve Birim Kök Testleri

Tanımlayıcı İstatistikler							
Ortalama	Medyan	Maksimum	Minimum	Std. Sapma	Çarpıklık	Basıklık	Jarque-Bera
0.000167	0.000870	0.190774	-0.279761	0.022866	-0.657688	17.57319	38708.94 (0.000000)
Birim Kök Testleri							
ADF Testi			KPSS Testi		PP Testi		
None	Intercept	Trend and Intercept	Intercept	Trend and Intercept	None	Intercept	Trend and Intercept
-67.40444 (-2.565)*	-67.40048 (-3.431)*	-67.39565 (-3.960)*	0.099515 (0.739)*	0.078009 (0.216)*	-67.38685 (-2.565)*	-67.38296 (-3.431)*	-67.37823 (-3.960)*
ARCH-LM Testi							
Lags	1	2	3	4	5	6	
Test İstatistiği	194.530	204.149	236.792	266.402	296.739	306.715	
Anlamlılık Düzeyi	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

Not: Parantez içindeki değerler ADF, PP ve KPSS testleri için kritik değerleri göstermektedir. *, %1 anlamlılık düzeyini ifade etmektedir.

Tablo 1'de gösterilen tanımlayıcı istatistiklere göre Brent petrol getiri serisinin ortalamasının sıfıra çok yakın olduğu görülmektedir. Çarpıklık değerine göre Brent petrol getiri serisi sola çarpıktır. Diğer bir ifadeyle, Brent petrol getirisi negatif şoklardan daha fazla etkilenmektedir. Basıklık değeri 3'ten büyük olduğu için serinin şişman kuyruk (fat tail) özelliği gösterdiği söylenebilir. Jarque-Bera testine göre normal dağılımın varlığını sınanan sıfır hipotezi reddedilmektedir. Bu sebeple Brent petrol getiri serisi normal dağılıma sahip değildir. Brent petrol getiri serisinin durağanlığını analiz etmek için Augmented-Dickey-Fuller (ADF) birim kök testi, Kwiatkowski-Philips-Schmidt-Shin (KPSS) durağanlık testi ve Philips-Perron (PP) birim kök testi kullanılmıştır. ADF ve PP birim kök testi sonuçlarına göre %1 anlamlılık düzeyinde test istatistikleri kritik

değerlerden küçük olduğu için birim kökün varlığını gösteren sıfır hipotezi reddedilerek serilerin düzeyde durağan oldukları görülmektedir. KPSS testine göre %1 anlamlılık düzeyinde test istatistikleri kritik değerlerden küçük olduğu için serinin duranlığını sınavan sıfır hipotezi kabul edilmektedir. Tüm test sonuçlarına göre, Brent petrol getiri serisi düzeyde durağandır. ARCH etkisinin olup olmadığı ARCH-LM testi ile sınanmıştır. ARCH-LM testi sıfır hipotezi ARCH etkisinin olmadığını göstermektedir. Elde edilen sonuçlara göre sıfır hipotezi reddedildiği için ARCH etkisinin olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Bu bağlamda, Brent petrol getirisinin varyansı zamana göre değiştiğinden dolayı oynaklık modellemesi için ARCH tipi modeller kullanılabilir.

Markov rejim değişim modeli serilerin doğrusal olmadığını varsaymaktadır. Brent petrol getiri serisinin doğrusallığı BDS (Brock, Dechert ve Scheinkman (1996)) testi ile sınanmıştır. Tablo (2)'de Brent petrol getiri serisinin BDS test sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 2: Brent Petrol Getiri Serisine ait BDS Test Sonuçları

Boyut	BDS İstatistiği	Standart Hata	z - İstatistiği	Olasılık (Prob.)
2	0.021601	0.001394	15.49380	0.0000
3	0.041119	0.002213	18.58183	0.0000
4	0.054937	0.002632	20.87163	0.0000
5	0.062585	0.002741	22.83696	0.0000
6	0.066205	0.002640	25.07636	0.0000

BDS testi getiri serisinin bağımsız benzer dağılıma sahip olup olmadığını göstermektedir. BDS test istatistiğinde sıfır hipotezi serinin doğrusal olduğunu göstermektedir. Tablo (2)'deki BDS testi sonuçlarına göre sıfır hipotezi reddedilerek Brent petrol getiri serisinin tüm boyutlarda doğrusal olmadığı tespit edilmiştir. Serinin doğrusal olmadığı belirlendiğinden dolayı doğrusal olmayan zaman serisi yöntemlerinden Markov rejim değişim modelini kullanmak daha sapmasız sonuçlar verecektir. Buna göre Tablo (3)'de MSARCH(2,2) modeli sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 3: MSARCH(2,2) Model Sonuçları

	Katsayı	Std. Hata	T-İstatistiği	Anlamlılık Düzeyi		
α_1	0.0432	0.0197	2.1942	0.0282		
α_2	0.0637	0.0181	3.5070	0.0004		
g_1	0.0002	0.0000	26.0842	0.0000		
g_2	0.0013	0.0001	10.9192	0.0000		
d	0.1857	0.0371	4.9936	0.0000		
ARCH-LM Testi						
Gecikme Uzunluğu	1	2	3	4	5	6
Test İstatistiği	2.542	2.544	2.636	2.719	3.959	4.133
Anlamlılık Düzeyi	0.1108	0.2803	0.4511	0.6058	0.5553	0.6586

Tablo 3'te α_1 ve α_2 model sonuçlarından elde edilen ARCH parametrelerini ifade etmektedir. ARCH parametreleri anlamlı ve pozitif olarak bulunmuştur. ARCH (1) parametresi (0.0637) iken ARCH (2) parametresi (0.0432)'dir. g_1 ve g_2 parametreleri %1 anlamlılık düzeyindedir. Buna göre her iki rejimde de volatilitenin çok yüksek olmamasıyla birlikte yüksek volatil rejimde varyansın düşük volatil rejime göre 6.58 kat daha büyük olduğunu göstermektedir. d parametresi asimetrik etkiyi gösteren parametredir ve istatistiki olarak %1'de anlamlıdır. Asimetrik etki parametresi Brent petrol getiri oynaklığının pozitif ve negatif şoklara karşı tepkisinin asimetrik olduğunu göstermektedir. d parametresinin pozitif olması, Brent petrol getiri oynaklığının pozitif şoklarda, negatif şoklara göre, daha fazla arttığını göstermektedir. MSARCH (2,2) modeli sonrasında, ARCH etkisinin olup olmadığı ARCH-LM testi ile kontrol edilmiştir. ARCH-LM test sonucuna

göre ARCH etkisinin olmadığı sonucuna ulaşılmaktadır. Bu durumda brent petrol getiri oynaklığının rejim dinamiklerinin modellenmesinde MS-ARCH modelinin kullanılabilir bir model olduğu söylenebilir.

MS-ARCH modeli sonrasında brent petrol getiri oynaklıklarının “düşük riskli” ve “yüksek riskli” rejimlerde hareket ettiği saptanmış ve buna göre rejimler arası geçiş olasılıkları hesaplanmıştır. Geçiş olasılıkları matrisi Eşitlik (10)’da gösterilmektedir.

$$P = \begin{bmatrix} 0.9931 & 0.0348 \\ 0.0068 & 0.9651 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Eşitlik (10)’a göre, brent petrol getiri oynaklığının geçiş olasılıkları matrisine göre, oynaklığın düşük riskli rejimdeyken bir sonraki dönem yine düşük riskli rejimde kalma olasılığı 0.993 iken; oynaklığın düşük riskli rejimdeyken bir sonraki dönem yüksek riskli rejime geçme olasılığı ise 0.006’dir. Oynaklık yüksek riskli rejimde iken diğer bir ifadeyle 2.rejimdeyken, bir sonraki dönem oynaklığın yüksek riskli rejimde kalma olasılığı 0.965’dir. Brent petrol getiri oynaklığının yüksek riskli rejimdeyken bir sonraki dönem düşük riskli rejime geçme olasılığı 0.034 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan geçiş olasılıklarından hareketle, Eşitlik (11) ve Eşitlik (12)’de brent petrol getiri oynaklığının düşük riskli ve yüksek riskli rejimlerde ortalama kaldıkları süre hesaplanmıştır.

$$\text{Düşük riskli rejimdeki ortalama süre} = \frac{1}{1 - 0.9931} = 146.62 \quad (11)$$

$$\text{Yüksek riskli rejimdeki ortalama süre} = \frac{1}{1 - 0.9651} = 28.694 \quad (12)$$

Eşitlik (11) ve Eşitlik (12)’ye göre, brent petrol getiri oynaklığının düşük riskli rejimde ortalama kaldığı süre 146 gün iken; yüksek riskli rejimde ortalama kaldığı süre 28 gündür.

SONUÇ

Enerji emtiaları (özellikle petrol) da bir portföy çeşitlendirme aracı olarak kullanılabilirdiği için petrol fiyatlarının dinamiklerinin incelenmesi önemlidir. Bu sebeple çalışmada petrol vadeli işlem fiyatlarının rejim dinamiklerini analiz etmek amaçlanmıştır. Petrol fiyatlarını temsilen 1 Ocak 2005-1 Kasım 2021 tarihleri arasındaki brent petrol vadeli işlem fiyatları getiri serisi haline getirilerek Markov Rejim Değişimi Otoregresif (MS-ARCH) modeli kullanılmıştır. Markov Rejim Değişim Modeli serilerin doğrusal olmadığını ve durağan olduğunu varsaydığı için brent petrol getiri serisini BDS testi ile doğrusal olup olmadığı sınanmış, Augmented-Dickey-Fuller (ADF), Kwiatkowski-Philips-Schmidt-Shin (KPSS) ve Philips-Perron (PP) birim kök testleri ile durağanlığı sınanmıştır. BDS testi sonucunda brent petrol getiri serisinin doğrusal olmadığı saptanmış ve birim kök testleri ile de serinin düzeyde durağan olduğu sonucuna ulaşılmıştır. MSARCH (2,2) model sonuçlarına göre brent petrol vadeli işlem fiyatlarının, düşük riskli rejime kıyasla, yüksek riskli rejimde oynaklığının daha duyarlı olduğu görülmektedir. Ayrıca model kapsamında brent petrol getiri serisinin düşük ve yüksek riskli rejimler arasındaki geçiş olasılıkları belirlenmiştir. Böylece brent petrol getiri serisinin düşük volatil rejimden yüksek volatil rejime geçme olasılığı %3.48 iken yüksek volatil rejimden düşük volatil rejime geçme olasılığı ise %0.68’dir. Model sonuçları ayrıca brent petrol getiri serisinin düşük volatil rejimde ortalama 146, yüksek volatil rejiminde ise ortalama 28 gün kaldığını göstermektedir. Elde edilen bu sonuçlardan yola çıkarak Brent petrol vadeli işlem fiyatlarının rejimde kalma ve rejim değiştirme olasılıklarının belirlenmesi, yatırımcıların pozisyonlarını koruyabilme veya değiştirebilme gibi imkânlar sağlamaktadır.

KAYNAKÇA

Bildirici, M. E., Alp, E. A., Ersin, Ö. Ö., & Bozoklu, Ü. (2010). *İktisatta kullanılan doğrusal olmayan zaman serisi yöntemleri*. Türkmen Kitabevi.

Bollen, N.P.B., Gray, S.F. and Whaley, R.E. (2000) Regime switching in foreign Exchange rates: evidence from currency option prices, *Journal of Econometrics*, 94, 239–276.

Brock, W. A., Dechert, W. D., & Scheinkman, J. A. B. LeBaron. 1996. “A Test for Independence Based on the Correlation Dimension.” *Econometric Reviews*, 15(3), 197-235.

- Calvet, L. E., A. Fisher, & B. Mandelbrot (1997): "A multifractal model of asset returns."
- Di Sanzo, S. (2018). A Markov switching long memory model of crude oil price return volatility. *Energy Economics*, 74, 351-359.
- Dwipa, N. M. S., & Wicaksono, B. (2021, March). Markov Regime Switching-Garch Modeling On World Oil Prices. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1823, No. 1, p. 012048). IOP Publishing.
- Engle, R. F. (1982). Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 987-1007.
- Fong, W. M., & See, K. H. (2003). Basis variations and regime shifts in the oil futures market. *The European Journal of Finance*, 9(5), 499-513.
- Gray, S.F. (1996) Modelling the conditional distribution of interest rates as a regimeswitching process, *Journal of Financial Economics*, 42, 27–62.
- Green, E., Hanan, W., & Heffernan, D. (2014). The origins of multifractality in financial time series and the effect of extreme events. *The European Physical Journal B*, 87(6), 1-9.
- Hamilton, J.D. (1989) A new approach to the economic analysis of non-stationary time series and the business cycle, *Econometrica*, 57, 357–384.
- Hamilton, J. D., & Susmel, R. (1994). Autoregressive conditional heteroskedasticity and changes in regime. *Journal of econometrics*, 64(1-2), 307-333.
- Koy, A. (2018). Regime Related Volatility in Oil Futures Prices. *Available at SSRN 3216428*.
- Liu, Y., Sun, H., Zhang, J., & Taghizadeh-Hesary, F. (2020). Detection of volatility regime-switching for crude oil price modeling and forecasting. *Resources Policy*, 69, 101669.
- Mandelbrot, B. B., Fisher, A. J., & Calvet, L. E. (1997). A multifractal model of asset returns.
- Vo, M. T. (2009). Regime-switching stochastic volatility: Evidence from the crude oil market. *Energy Economics*, 31(5), 779-788.
- Wang, Y., Wu, C., & Yang, L. (2016). Forecasting crude oil market volatility: A Markov switching multifractal volatility approach. *International Journal of Forecasting*, 32(1), 1-9.
- Zhang, Y. J., & Zhang, L. (2015). Interpreting the crude oil price movements: Evidence from the Markov regime switching model. *Applied Energy*, 143, 96-109.



DÜNYA PETROL FİYATLARI İLE İMALAT SANAYİ HİSSE SENETLERİ ARASINDAKİ OYNAKLIK YAYILIMININ ANALİZİ: TÜRKİYE ÖRNEĞİ

ANALYSIS OF THE VOLATILITY TRANSMISSION BETWEEN WORLD OIL PRICES AND MANUFACTURING INDUSTRY SHARES: THE CASE OF TURKEY

Sinem ATICI USTALAR

Araştırma Görevlisi, Atatürk Üniversitesi, İ.İ.B.F., Erzurum, Türkiye
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8475-2581>

Özet

Küresel petrol fiyatlarındaki dalgalanmalar öncelikle petrolü girdi olarak kullanan imalat sanayi sektörünü etkilemektedir. Bu dalgalanmalar üretim maliyetlerini etkileyerek, firmaların beklenen nakit akışı kanalıyla hisse senedi fiyatlarını da etkilemektedirler. Böylece küresel petrol fiyatlarının oynaklığındaki değişim hisse senedi piyasasının da oynaklığını etkileyebilmektedir. Petrol fiyatlarındaki artan oynaklık, ürün talebine ilişkin belirsizliği artırarak iskonto edilmiş temettü ödemelerinin bugünkü değerini etkileyebilir. Ayrıca uluslararası yatırımcının portföy tercihleri petrol fiyatlarındaki oynaklığa oldukça duyarlıdır. Özellikle küresel COVID-19 pandemisi sürecinde petrol fiyatlarındaki keskin değişim, pek çok ekonomik ajanın (örneğin petrol ve petrole dayalı sektörlerin kağıtlarını ellerinde tutanlar, petrol üreticisi ve tüketicisi olanlar) uluslararası finansal varlık yatırımlarında korunma stratejilerini etkilemiştir. Bu bağlamda çalışmanın amacı, küresel pandemi sürecini dikkate alarak dünya petrol fiyatları ile imalat sanayinin hisse senetleri arasındaki oynaklık yayılımını Türkiye için analiz etmektir. Küresel pandemi süreci dikkate alındığından, analiz Türkiye’de ilk vakanın görüldüğü tarih olan 11 Mart 2020 ile 1 Kasım 2021 tarihlerini kapsamaktadır. Dünya petrol fiyatları ile imalat sanayi hisse senetleri arasındaki oynaklık yayılımının incelenmesi için Sabit Koşullu Korelasyon (Constant Conditional Correlation, CCC) modeli kullanılmıştır. Modelde dünya petrol fiyatlarını temsil etmesi için Brent ve ham petrol fiyatları kullanılmıştır. Ayrıca CCC modeli, imalat sanayi borsa endeksi getirisi ile imalat sanayinin alt sektörleri olan gıda, tekstil, kağıt ve kağıt ürünleri, kimya, taş ve toprağa dayalı, metal eşya ve ana metal sanayi sektörlerinin borsa endeksi getirileri üzerine uygulanmıştır. CCC model sonuçlarına göre, tüm alt sektör hisse senedi getirilerinin oynaklığı ile petrol fiyatlarının oynaklığı arasında pozitif koşullu korelasyon bulunmaktadır. Hem Brent hem de ham petrol fiyatlarının oynaklığı arttıkça, imalat sanayi hisse senetlerinin getiri oynaklıkları da artmaktadır. Brent petrol fiyatları ile imalat sanayi hisse senetleri getirileri arasındaki pozitif koşullu korelasyon, imalat sanayi ile kağıt ve kağıt ürünleri, ana metal, gıda, kimya, metal eşya ve tekstil sektörleri için anlamlıdır. Brent petrol fiyatlarının oynaklığındaki artış en fazla metal ana ve kağıt ve kağıt ürünleri sektörlerinin hisse senetlerinin getiri oynaklığını artırmaktadır. Ham petrol fiyatları ile imalat sanayi hisse senetlerinin getirileri arasındaki pozitif koşullu korelasyon ise imalat sanayi ile kağıt ve kağıt ürünleri, metal ana, taş ve toprağa dayalı, kimya ve gıda sektörleri için anlamlıdır. Ham petrol fiyatlarının oynaklığındaki artış en fazla imalat sanayi endeksi ile kimya ve ana metal sanayi sektörlerini hisse senetlerinin getiri oynaklığını artırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Petrol Fiyatları, Hisse Senedi Piyasası, İmalat Sanayi Sektörü, CCC Modeli

Abstract

Fluctuations in global oil prices primarily affect the manufacturing industry, which uses oil as an input. These fluctuations affect the production costs and also affect the stock prices of the firms through the expected cash flow channel. Thus, the change in the volatility of global oil prices may also affect the volatility of the stock market. Increasing volatility in oil prices has increased uncertainty about product demand, resulting in discounting. In addition, portfolio preferences of international investors are very sensitive to volatility in oil prices. Especially during the global COVID-19 pandemic period, the sharp change in oil prices has affected the hedging strategies of many economic agents (for example, those who hold the shares of oil and oil-based sectors, those who are oil producers and consumers) in international financial asset investments. In this context, the aim of the study is to analyze the volatility transmission between world oil prices and manufacturing

industry stocks for Turkey, taking into account the global pandemic process. Considering the global pandemic process, the analysis covers the dates of March 11, 2020, when the first case was seen in Turkey, and November 1, 2021. Constant Conditional Correlation (CCC) model is used to examine the volatility transmission between world oil prices and manufacturing industry stocks. Brent and crude oil prices are used to represent world oil prices in the model. In addition, the CCC model was applied to the manufacturing industry stock market index and the stock market indices of the sub-sectors of the manufacturing industry such as food, textile, paper and paper products, chemistry, stone and soil-based, metal goods and basic metal industry sectors. According to the CCC model results, there is a positive conditional correlation between the volatility of all sub-sector stock returns and the volatility of oil prices. As the volatility of both brent and crude oil prices increases, the volatility of manufacturing industry stocks return also increases. The positive conditional correlation between brent oil prices and manufacturing industry stocks is significant for the manufacturing industry, paper and paper products, basic metal, chemistry, textile, metal goods and food industries. The increase in the volatility of brent oil prices mostly increases the volatility of the stocks return of the main metal and, paper and paper products sectors. The positive conditional correlation between crude oil prices and manufacturing industry stocks return is significant for the manufacturing industry, paper and paper products, metal main, stone and soil-based, chemistry, food industries. The increase in the volatility of crude oil prices mostly increases the volatility of the shares return of the the manufacturing industry index, chemical and basic metal sectors.

Keywords: Oil Prices, Stock Market, Manufacturing Industry Sector, CCC Model

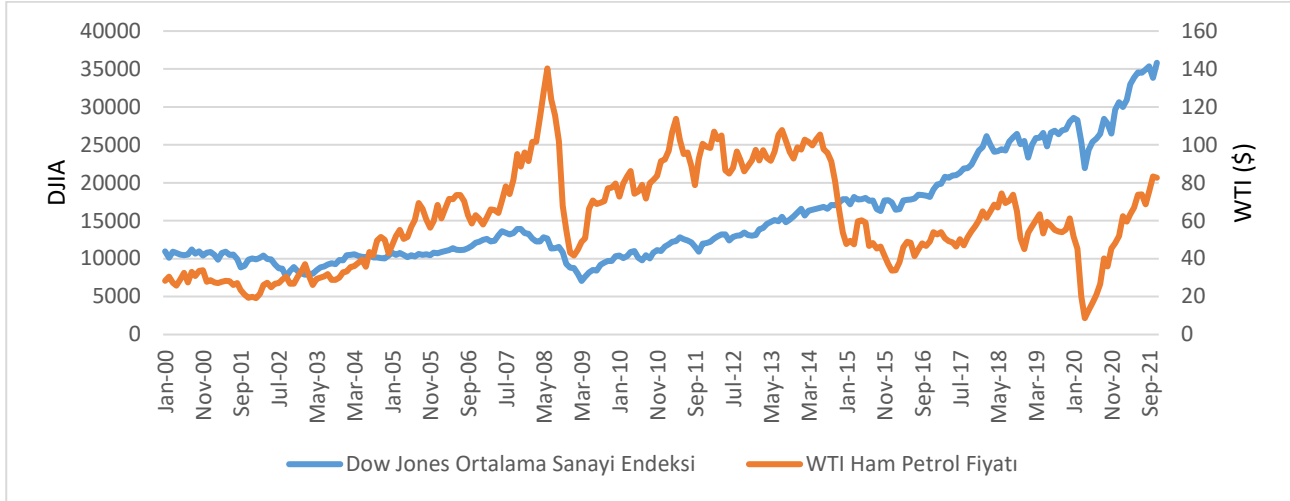
Giriş

Finansal anlamda serbestleşen ekonomilerde, yabancı yatırımcılar uluslararası portföy yatırımlarının avantajından yararlanabilmek için portföy çeşitlendirmesini tercih etmektedirler. Bu nedenle yatırımcılar portföylerini bir piyasadan diğerine kaydırmaya eğilimlidirler (Yeh vd., 2002). Yatırımcı tercihlerinde uluslararası portföylerin bu hareketi, özellikle dünya petrol fiyatlarının ve döviz kurlarının hareketlerine karşı oldukça duyarlıdır (Bagchi, 2016). Bu durum petrol fiyatları ile hisse senedi getirilerinin oynaklığı arasında pozitif bir aktarım mekanizmasını gerekli kılmaktadır. Dolayısıyla yatırımcılar portföy çeşitlendirmesi güdüsüyle petrol ya da döviz kuru piyasalarına yöneldiğinde ortaya çıkan şoklar hisse senedi piyasalarını da etkilemektedir.

20 Mart 2020 tarihinde WTI (West Texas Intermediate) ham petrol fiyatı tarihinde ilk kez negatif seviyelere gerilemiştir. Rusya ve Suudi Arabistan arasındaki petrol fiyatları savaşı ile birlikte bir gün içinde ham petrol fiyatları %20'den daha fazla düşerek, varil başına 37.63 dolara kadar gerilemiştir (International Energy Agency, 2020). Petrol fiyatlarında yaşanan bu şok aynı gün hisse senedi piyasalarına da yayılmıştır ve bu durum kara pazartesi (the Black Monday) olarak adlandırılmıştır (Albulescu, 2020). Petrol fiyatları çeşitli finansal yatırım araçları için bir gösterge fiyatı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca petrol fiyatları pek çok ekonomik ajanın (örneğin petrol ve petrole dayalı sektörlerin kağıtlarını ellerinde tutanlar, petrol üreticisi ve tüketicisi olanlar) uluslararası finansal varlık yatırımı stratejilerini belirleyen önemli bir etkidir. Bu nedenle petrol fiyatlarında yaşanan bu hızlı ve ani dalgalanmalar enerji piyasasına yapılan finansal yatırımlarda risk yönetiminde önemli uyarlamalar yapılmasını gerekli kılabilir. Bu stilize gerçeklik altında petrol fiyatlarındaki ve oynaklıklarındaki değişimin finansal piyasaları nasıl etkilediğini belirlemek önem arz etmektedir.

Petrol fiyatlarındaki dalgalanmalar hisse senedi piyasalarında da dalgalanmaya neden olabilmektedir. Fakat hisse senetlerindeki bu dalgalanmalar sektörlere göre farklılaşabilir. Örneğin, petrolü girdi olarak kullanan firmalar petrol fiyatlarındaki şoklara karşı daha duyarlı iken, petrolü üretim sürecinde daha az kullanan ya da hiç kullanmayan firmaların duyarlılığı daha düşük olabilecektir. Dolayısıyla sektör bazında incelendiğinde, petrol fiyatlarındaki dalgalanmaların hisse senedi piyasası üzerindeki etkisinde farklılaşma beklenebilmektedir.

Şekil 1: Dow Jones Ortalama Sanayi Endeksi ve WTI Ham Petrol Fiyatları



Kaynak: investing.com

Şekil (1), Ocak 2020-Şubat 2021 ayları arasında Dow Jones Ortalama Sanayi Endeksi ile WTI ham petrol fiyatları arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekil (1)'den görüleceği üzere, iki gösterge bazı dönemlerde benzer trendlere sahip iken bazı dönemlerde ise farklı trenlerde hareket etmektedirler. Dolayısıyla tüm hisse senetleri petrol fiyatlarındaki değişikliklere benzer şekilde tepki vermemektedir. Bu bağlamda çalışmanın amacı, petrol fiyatları ile Türkiye'nin imalat sanayi sektöründe faaliyet gösteren firmaların hisse senedi getirileri arasındaki oynaklık yayılımını analiz etmektir.

Çalışmada oynaklık yayılımının analizi için Sabit Koşullu Korelasyon (Constant Conditional Correlation-CCC) modeli kullanılmıştır. Model 11 Mart 2020- 1 Kasım 2021 tarihlerini kapsamaktadır. Modelde küresel petrol piyasasını temsil etmesi için Brent petrol ve WTI ham petrol vadeli işlem fiyatları kullanılmıştır. Modelde oynaklık yayılımı Türkiye'nin imalat sanayi sektörünün alt sektörleri olan gıda, kağıt ve kağıt ürünleri, kimya ve petrol, metal ana, taş ve toprağa dayalı, metal eşya ve tekstil sektörleri için incelenmiştir. Bu sektörleri temsil etmesi için ise XUSIN, XGIDA, XKAGT, XKMYA, XMANA, XTAST, XMESY ve XTEKS Borsa İstanbul endeks getirileri kullanılmıştır. CCC model sonuçlarına göre, tüm alt sektör hisse senedi getirilerinin oynaklığı ile petrol fiyatlarının oynaklığı arasında pozitif koşullu korelasyon bulunmaktadır. Hem Brent hem de ham petrol fiyatlarının oynaklığı arttıkça, imalat sanayi hisse senetlerinin getiri oynaklıkları da artmaktadır. Brent petrol fiyatları ile imalat sanayi hisse senetleri getirileri arasındaki pozitif koşullu korelasyon XUSIN, XKAGT, XMANA, XGIDA, XKMYA, XMESY ve XTEKS endeks getirileri için anlamlıdır. Brent petrol fiyatlarının oynaklığındaki artış en fazla metal ana ve kağıt ve kağıt ürünleri sektörlerinin hisse senetlerinin getiri oynaklığını artırmaktadır. Ham petrol fiyatları ile imalat sanayi hisse senetlerinin getirileri arasındaki pozitif koşullu korelasyon ise XUSIN, XKAGT, XMANA, XGIDA, XKMYA ve XTAST endeks getirileri için anlamlıdır. Ham petrol fiyatlarının oynaklığındaki artış en fazla imalat sanayi endeksi ile kimya ve ana metal sanayi sektörlerini hisse senetlerinin getiri oynaklığını artırmaktadır.

Petrol piyasası ile hisse senedi piyasası arasındaki bir oynaklık yayılımının varlığı, bu piyasalar arasında risk ve bilgi yayılımının da varlığını göstermektedir. Bu bağlamda portföy çeşitlendirmesine giden bir yatırımcının portföyünde petrol vadeli işlemleri tercih etmesi durumunda, imalat sanayi ve alt sektörlerine dayalı hisse senetlerini tercih etmemesi ya da portföyü içinde daha düşük ağırlık vermesi gerekmektedir. Böylece yatırımcı portföy çeşitlendirmesinden elde ettiği faydayı arttırabilecektir.

İzleyen bölümde petrol piyasası ile hisse senedi piyasası arasındaki oynaklık yayılımını inceleyen literatüre yer verilecektir. Üçüncü bölümde Sabit Koşullu Korelasyon Modeli tanıtılacak ve dördüncü bölümde ise ampirik CCC modeli sonuçları tartışılacaktır. Beşinci bölüm ise sonuç bölümüdür.

Literatür Taraması

Teorik olarak petrol fiyatlarındaki değişim hisse senedi piyasalarını beş potansiyel kanal üzerinden etkilemektedir (Degiannakis vd., 2018). İlk kanal olarak petrol fiyatlarındaki değişim hisse senedi piyasasını “*hisse senedi değerlendirme kanalı*” üzerinden etkilemektedir. Petrol fiyatlarındaki değişim firmanın petrol tüketicisi ya da petrol üreticisi olmasına göre, firmanın gelecek nakit akımları pozitif ya da negatif yönde etkileyebilmektedir (Mohanty ve Mandha, 2011). Petrol tüketicisi olan bir firma için, petrol önemli bir üretim girdisidir. Dolayısıyla petrol fiyatlarındaki artış üretim maliyetlerini arttırmakta, firmanın kar oranını azaltabilmekte ve gelecek nakit akışını azaltabilmektedir (Filis vd., 2011). Petrol üreticisi bir firma için ise petrol fiyatlarındaki artış tersi bir etki yaratarak firmanın gelecek nakit akışını arttırabilmektedir. İkinci kanal olarak petrol fiyatlarındaki değişim “*parasal kanal*” üzerinden hisse senedi piyasasını etkilemektedir. Petrol fiyatları yükseldiğinde artan üretim maliyetleri ile birlikte perakende satış fiyatları da yükselmektedir. Bu durum hane halkının enflasyon beklentisini arttırmaktadır (Abel ve Bernanke, 2001). Dolayısıyla para otoriteleri tarafından yükselen enflasyonu baskılamak için kısa dönem faiz oranlarını arttıracaktır (Basher ve Sadorsky, 2016). Kısa dönem faiz oranlarındaki artış firmaların borçlanma maliyetlerini arttırmaktadır bu da hisse senedi fiyatlarının düşmesine neden olmaktadır. Üçüncü kanal ise “*çıkıtı kanalıdır*”. Petrol fiyatlarındaki dalgalanmalar bir ekonominin toplam çıktı düzeyini etkilemektedir (Hamilton, 2009). Örneğin, petrol ithalatçısı bir ülke için petrol fiyatlarındaki artış ticaret hadlerinin o ülke aleyhine kötüleşmesine neden olmaktadır. Bu durum ülke gelirinde azalmaya, tüketim üzerinde negatif servet etkisine ve düşük toplam talebe neden olarak toplam çıktıyı azaltmaktadır (Svensson, 2006). Bu durumda hisse senedi piyasaları olumsuz etkilenmektedir. Petrol ihracatçısı ülkelerde ise petrol fiyatlarındaki artış tersi bir etki yaratmaktadır. Dördüncü kanal ise “*mali kanalıdır*”. Artan petrol fiyatları servetin petrol ithal eden ülkelere petrol ihraç eden ülkelere transferine olanak tanımaktadır ve bu durum hükümet alımlarının artmasına neden olmaktadır (Dohner, 1981). Bu durumda eğer tüketim ile hükümet alımları tamamlayıcı ise, hane halkının tüketimi artacaktır. Böylece özel firmaların beklenen nakit akışları ve karlılıkları yükselecektir. Bu durum firmaların hisse senedi fiyatlarının yükseleceği anlamına gelmektedir. Fakat eğer tüketim ile hükümet alımları ikame ise dışlama etkisi nedeniyle tam tersi bir durum ortaya çıkacak ve hisse senedi fiyatları düşecektir. Petrol fiyatlarındaki değişimler son olarak “*belirsizlik kanalı*” aracılığıyla hisse senedi piyasasını etkilemektedir (Brown ve Yücel, 2002). Özellikle petrol fiyatları yükseldiğinde enflasyon, çıktı ve tüketimde meydana gelen değişimler nedeniyle reel ekonomiye yönelik belirsizlik artmaktadır. Bu da hisse senedi piyasasını olumsuz etkilemektedir.

Petrol fiyatları ile hisse senedi piyasası arasındaki ilişki nedeniyle, petrol fiyatlarının ve oynaklığının hisse senedi piyasası üzerindeki etkisine ilişkin oldukça gelişmiştir. Arouri vd. (2011) Körfez İşbirliği (Gulf Cooperation Council, GCC) ülkelerinde 2005-2010 yılları için petrol ve hisse senedi piyasaları arasındaki oynaklık yayılımını incelemişlerdir. VAR-GARCH modeli ile gerçekleştirilen analiz sonuçlarına göre, petrol ve hisse senedi piyasası arasındaki oynaklık yayılımı pozitif ve anlamlıdır. Petrol arz ve talebini etkileyen politika ve şoklar nedeniyle artan petrol fiyatlarının oynaklığı GCC ülkelerinin hisse senedi piyasalarının oynaklığını arttırmaktadır. Chang vd. (2013) ham ve brent petrol fiyatları ile FTSE100, NYSE, Dow Jones ve S&P500 endeks getirileri arasındaki oynaklık yayılımını analiz etmişlerdir. 2 Ocak 1998- 4 Kasım 2009 tarihlerini kapsayan analizde CCC modeli, VARMA-GARCH, VARMA-AGARCH ve DCC modelleri kullanılmıştır. CCC model sonuçlarına göre, petrol fiyatları ve endeks getirileri arasındaki koşullu korelasyon düşük ve anlamsız hesaplanmıştır. DCC model sonuçlarında dinamik koşullu korelasyon katsayısı anlamlıdır ve en yüksek dinamik koşullu korelasyon brent petrol fiyatı ile FTSE100 endeksi arasında hesaplanmıştır. VARMA-GARCH ve VARMA-AGARCH modellerinin sonuçlarına göre ise petrol fiyatlarından endeks getirilerine doğru anlamlı bir güçlü bir geçişkenlik saptanamamıştır. Salisu ve Oloko (2015) çalışmalarında dünya petrol fiyatları ile ABD hisse senedi piyasası arasındaki oynaklık yayılımını 2 Ocak 2002 ile 4 Nisan 2014 tarihleri için incelemişlerdir. Analizde dünya petrol fiyatlarını temsil etmesi için WTI ham ve brent petrol fiyatları ve ABD'nin hisse senedi piyasasını temsil etmesi için ise S&P500 endeksi kullanılmıştır. VARMA-BEKK-AGARCH modelinin kullanıldığı analiz sonuçlarına göre, ABD hisse senedi piyasasından petrol piyasasına doğru pozitif ve anlamlı bir getiri yayılımı ve iki piyasa arasında karşılıklı oynaklık yayılımı bulunmaktadır. Ayrıca, küresel ekonomik yavaşlamanın yaşandığı dönemlerde petrol piyasasından hisse senedi piyasasına doğru oynaklık yayılımı artmaktadır.

Petrol fiyatları ile hisse senedi piyasaları arasındaki ilişkiyi sektör düzeyinde inceleyen çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Bu bağlamda Sadorsky (2012) çok değişkenli GARCH(1,1) modelini kullanarak temiz enerji ve teknoloji sektöründeki şirketlerin hisse senetleri ile petrol fiyatları arasındaki oynaklık yayılımını incelemişlerdir. 1 Ocak 2001- 31 Aralık 2010 tarihleri için gerçekleştirilen model sonuçlarına göre, temiz

enerji sektöründeki şirketlerin hisse senetleri, petrol fiyatlarından daha çok teknoloji sektöründeki şirketlerin hisse senetleri ile yüksek korelasyona sahiptir. Gençyürek ve Ekinci (2021) çalışmalarında 2004-2019 yılları için ham petrol ile temiz enerji sektörü ve teknoloji sektörü arasındaki oynaklık yayılımını ortalama ve varyansta nedensellik yaklaşımı çerçevesinde incelemişlerdir. Analizde ham petrolü temsil etmesi için WTI spot fiyatı, temiz enerji sektörünü temsil etmesi için ECO (WilderHill Clean Energy) endeksi ve teknoloji sektörünü temsil etmesi için ise PSE (Arca Technology Index) endeksi kullanılmıştır. Analiz sonuçları ortalamada nedenselliğin temiz enerji sektöründen petrol piyasasına doğru olduğunu; varyansta nedenselliğin ise petrol piyasasından temiz enerji sektörüne doğru olduğunu göstermektedir. Diğer bir ifadeyle, petrol piyasasının oynaklığı temiz enerji sektörünün oynaklığını etkilemektedir.

Chen vd. (2018) petrol fiyatları ile Çin'in yenilenebilir enerji sektöründeki firmaların hisse senedi fiyatları arasındaki oynaklık yayılımının varlığını VAR modeli, BEKK, DCC ve CCC modelleri ile sınımışlardır. 1 Ocak 2010- 31 Aralık 2014 tarihlerini kapsayan analiz sonuçları ham petrolün vadeli fiyatlarından Çin'de yenilenebilir enerji sektörü firmalarının hisse senedi fiyatlarına doğru tek yönlü ortalama ve oynaklık yayılma etkilerinin varlığını göstermektedir. Çin'deki yenilenebilir enerji hisse senedi fiyatları, ham petrol vadeli işlem fiyatlarındaki oynaklığa duyarlı olduğu bulgusuna ulaşılmıştır.

Hem Türkiye üzerine yapılan bir çalışma olmasıyla hem de geniş bir sektörü incelemesiyle Abioğlu (2021)'nin çalışması dikkate değerdir. Abioğlu (2021) dünya ham petrol fiyatları ile Türkiye'de BIST100 ve 23 sektör endeksinin getiri oranları arasındaki oynaklık yayımlarını DCC modelini kullanarak 2002-2018 yılları için analiz etmiştir. Model sonuçları ham petrol fiyatlarından BIST100 ve 12 sektörün endeks getirilerine doğru anlamlı bir oynaklık yayılımı olduğunu göstermektedir. Dünya ham petrol fiyatlarındaki oynaklık artışı bankacılık, bilgi teknolojileri, kimya, petrol ve plastik, metal ana, tekstil ve deri, gıda, iletişim, holding ve yatırım, metal ürünler ve makine, mali, hizmetler ve sanayi sektör borsa endekslerinin getiri oynaklığını arttırmaktadır. Ham petrol fiyatlarının oynaklığındaki artış petrolü girdi olarak kullanan kimya, petrol ve plastik, metal ana, metal ürünler ve makineler sektör endeks getirilerinin oynaklığını daha fazla arttırmaktadır.

Ampirik Model: Sabit Koşullu Korelasyon Çok Değişkenli GARCH Modeli

Çok değişkenli GARCH modelleri, koşullu varyans ve kovaryansların hatalarının otoregresif hareketli ortalama yapısına sahip olan çok değişkenli dinamik regresyon modelleridir. Sabit Koşullu Korelasyon Çok Değişkenli GARCH (CCC MGARCH) modeli, tek değişkenli GARCH modellerinin doğrusal olmayan bir kombinasyonunu kullanmaktadır.

Bollerslev (1990) tarafından türetilen CCC MGARCH modeli şu şekilde türetilmektedir:

$$\epsilon_t = H_t^{1/2} v_t \quad (1)$$

Eşitlik (1)'de y_t bağımlı değişkenlerin $m \times 1$ vektörü, C parametrelerin $m \times k$ matrisi ve x_t ise y_t 'nin gecikmeli değerlerini içeren bağımsız değişkenlerin $k \times 1$ vektörüdür. H_t zamana göre değişen koşullu kovaryans matrisi ve $H_t^{1/2}$ ise bu matrise ait Cholesky faktörüdür. v_t ise I.I.D. dağılımının $m \times 1$ vektörüdür. Koşullu kovaryans matrisi ise Eşitlik (2)'de tanımlanmaktadır.

$$H_t = D_t^{1/2} R D_t^{1/2} \quad (2)$$

Eşitlik (2)'deki D_t ise koşullu varyansların diyogonal matrisidir.

$$D_t = \begin{pmatrix} \sigma_{1,t}^2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \sigma_{2,t}^2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \sigma_{m,t}^2 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Eşitlik (3)'teki her bir $\sigma_{i,t}^2$ değeri tek değişkenli GARCH denklemden elde edilmektedir. Bu denklemler Eşitlik (4) ve (5)'de tanımlanmıştır.

$$\sigma_{i,t}^2 = s_i + \sum_{j=1}^{p_i} \alpha_j \varepsilon_{i,t-j}^2 + \sum_{j=1}^{q_i} \beta_j \sigma_{i,t-j}^2 \quad (4)$$

Ya da,

$$\sigma_{i,t}^2 = \exp(\gamma_i z_{i,t}) + \sum_{j=1}^{p_i} \alpha_j \varepsilon_{i,t-j}^2 + \sum_{j=1}^{q_i} \beta_j \sigma_{i,t-j}^2 \quad (5)$$

Eşitlik (5)'de γ_i parametrelerin $1 \times p$ vektörünü, z_i ise bir sabit terimi de içeren bağımsız değişkenlerin $p \times 1$ vektörünü temsil etmektedirler. α_j ARCH parametresi ve β_j ise GARCH parametresidir.

Eşitlik (2)'deki R değişkeni Eşitlik (6)'de şöyle tanımlanmaktadır.

$$R = D_t^{-1/2} \varepsilon_t \quad (6)$$

Eşitlik (6) standartlaştırılmış hataların zamana göre değişen koşulsuz korelasyonlarının matrisini (R) tanımlamaktadır.

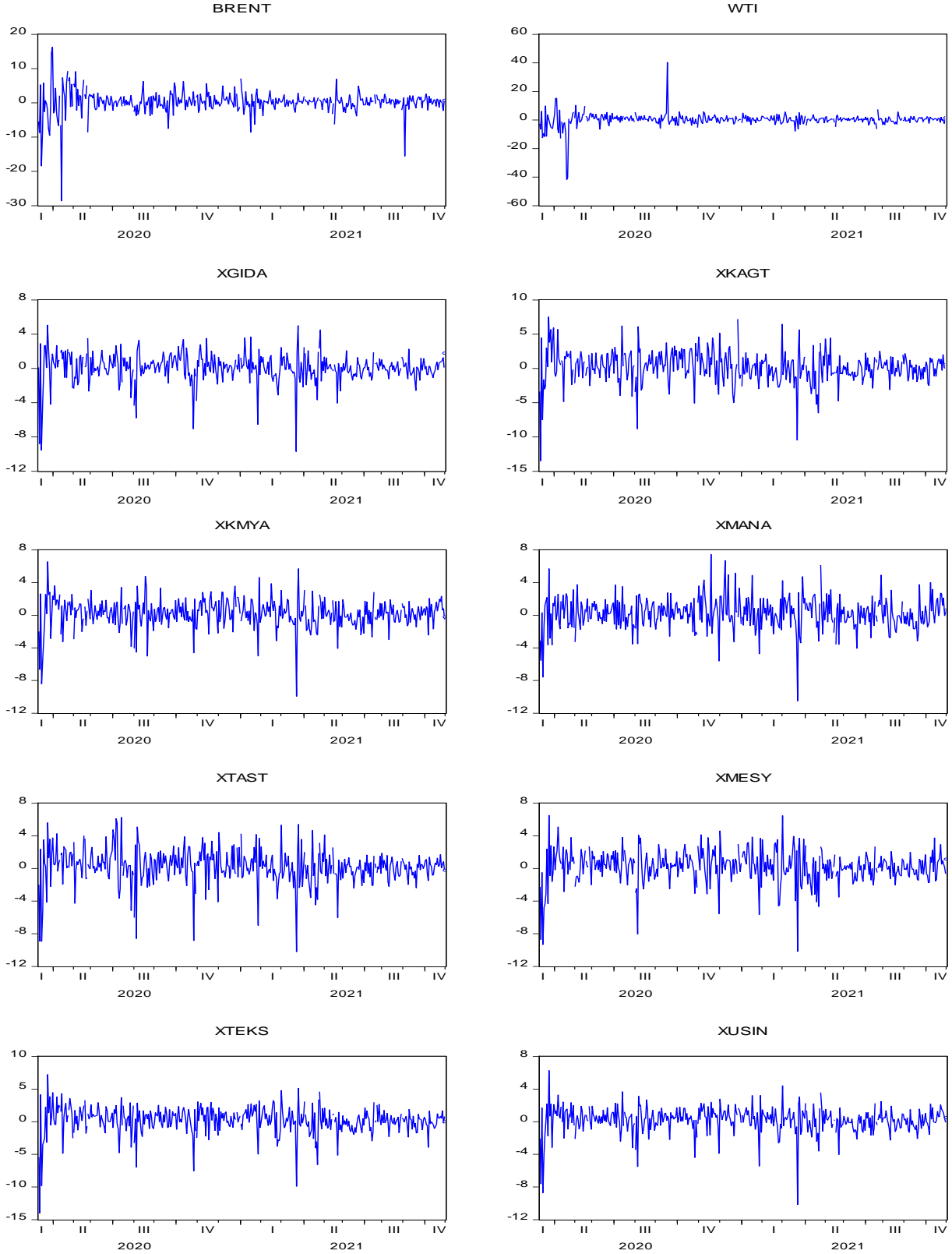
$$R = \begin{pmatrix} 1 & \rho_{12} & \cdots & \rho_{1m} \\ \rho_{12} & 1 & \cdots & \rho_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{1m} & \rho_{2m} & \cdots & 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Eşitlik (7)'deki R zamana göre sabit olduğu için, bu model sabit koşullu korelasyon çok değişkenli GARCH modeli olarak tanımlanmaktadır.

Ampirik Model Bulguları

Dünya petrol fiyatları ile imalat sanayi ve imalat sanayi alt sektör endeksleri arasındaki oynaklık yayılımının analizi için Sabit Koşullu Korelasyon (CCC) modeli kullanılmıştır. Model 11 Mart 2020- 1 Kasım 2021 tarihleri için kurulmuştur. Modelde petrol piyasasını temsil etmesi için WTI ham petrol ve brent petrol spot fiyatları kullanılmıştır. İmalat sanayi sektörünü temsil etmesi için ise borsa endeksleri olan XUSIN, XGIDA, XTEKS, XKAGT, XKMYA, XTAŞT, XMESY ve XMANA endeks kapanış fiyatları kullanılmıştır. Petrol ve borsa endeks kapanış fiyatları *investing.com* sitesinden derlenmiştir. Kapanış fiyatları getiri serilerine dönüştürülerek kullanılmıştır. Şekil (1)'de getiri serilerine ait grafiklere yer verilmektedir.

Şekil 1: Getiri Serilerine Ait Grafikler



Şekil (1)'de tüm getiri serilerinde oynaklık kümelenmeli görülmektedir. Oynaklık kümelenmeleri, yüksek frekanslı zaman serilerinde görülen bir özellik olup, yüksek oynaklıkların yüksek düşük oynaklıkları ise düşük oynaklıkları takip etmesi olarak tanımlanmaktadır (Mandelbrot, 1963). Dolayısıyla CCC model sonuçlarına geçmeden önce, Tablo (1)'de değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler incelenmiştir. Çarpıklık değerlerine bakıldığında tüm getiri serilerinin sola çarpık olduğu ve negatif şoklara karşı daha duyarlı olduğu

görülmektedir. Ayrıca basıklık değerleri de tüm serilerin kalın kuyruk özelliğine sahip leptokurtik seriler olduğunu göstermektedir. Jargue-Bera (JB) istatistiği ise serilerin normal dağılım sergilediğini gösteren sıfır hipotezinin red edildiğini ve serilerin normal dağılıma sahip olmadığını göstermektedir.

Tablo 1: Tanımlayıcı İstatistikler

	BRENT	WTI	XGIDA	XKAGT	XKMYA	XMANA	XTAST	XMESY	XTEKS	XUSIN
<i>Ortalama</i>	0.1992	0.2239	0.0989	0.187	0.2107	0.2256	0.2268	0.2176	0.2052	0.1988
<i>Medyan</i>	0.3496	0.5488	0.1369	0.2308	0.2796	0.2360	0.2994	0.2930	0.3666	0.3070
<i>Maksimum</i>	16.280	40.352	5.0509	7.5189	6.5515	7.4606	6.2514	6.5094	7.2096	6.2760
<i>Minimum</i>	-28.607	-41.765	-9.704	-13.492	-9.937	-10.492	-10.200	-10.169	-13.994	-10.154
<i>Std. Hata</i>	3.3120	4.6996	1.6770	2.2781	1.7347	1.9354	2.1320	1.9755	2.0606	1.5659
<i>Çarpıklık</i>	-1.9216	-1.8714	-1.6584	-0.7665	-0.9961	-0.3062	-0.9706	-1.0343	-1.6777	-1.6911
<i>Basıklık</i>	22.161	44.466	11.325	7.9565	8.1631	6.3489	7.3751	7.6292	11.499	12.082
<i>JB</i>	6445.0*	29252.8*	1355.4*	454.22*	516.84*	195.59*	386.61*	433.83*	1409.10*	1585.23*
Birim Kök Testleri										
<i>ADF Testi</i>	-4.2343 ^a (0.0007)	-4.7579 ^a (0.0001)	-18.2740 ^a (0.0000)	-3.9118 ^a (0.0022)	-19.3186 ^c (0.0000)	-20.1938 ^b (0.0000)	-20.0056 ^a (0.0000)	-11.7294 ^b (0.0000)	-19.2627 ^c (0.0000)	-19.7246 ^c (0.0000)
<i>PP Testi</i>	-18.282 ^a (0.0000)	-15.422 ^a (0.0000)	-18.344 ^a (0.0000)	-18.344 ^a (0.0000)	-19.359 ^c (0.0000)	-20.779 ^b (0.0000)	-20.010 ^a (0.0000)	-18.840 ^b (0.0000)	-19.401 ^c (0.0000)	-19.874 ^c (0.0000)
<i>KPSS Testi</i>	0.0488 ^a	0.1316 ^b	0.0379 ^b	0.5167 ^a	0.1167 ^a	0.0914 ^b	0.5059 ^a	0.1108 ^b	0.2503 ^a	0.1831 ^a
ARCH ve Breusch Godfrey- LM Testi										
<i>ARCH Testi</i>	5.6171 (0.0000)	5.7061 (0.0000)	3.4879 (0.0625)	4.4915 (0.0347)	6.3604 (0.0121)	4.3025 (0.0312)	4.8258 (0.0286)	1.9008 (0.0329)	9.3109 (0.0024)	7.1256 (0.0038)
<i>LM Testi</i>	3.0437 (0.0004)	3.8220 (0.0000)	2.7455 (0.0654)	2.9436 (0.0538)	0.2586 (0.6113)	0.7717 (0.4629)	0.8339 (0.6153)	1.9647 (0.0262)	1.0589 (0.3939)	2.7260 (0.0667)
<i>Gözlem Sayısı</i>	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405

Not: *, yüzde 1 düzeyinde anlamlılığı göstermektedir. a, b ve c sırasıyla sabit terimli, sabitli-trendli ve sabitsiz-trendsiz terim ile gerçekleştirilen test sonuçlarını göstermektedir. ADF ve PP Testi için McKinnon's kritik değeri -2.5776 (sabitli ve trendsiz), PP testi için sabit terimli test sonuçlarında %1 anlamlılık düzeyinde McKinnon's kritik değeri -3.4661'dir. KPSS testi için sabit terimli test sonuçlarında %1'de asimptotik kritik değeri 0.7390'dır. ARCH ve LM Testleri 12 gecikmede yapılmıştır. Parantez içindeki değerler ilgili değerlere ait olasılık değerleridir.

Tablo (1)'de ayrıca birim kök test sonuçları ile değişen varyans ve otokorelasyon testi sonuçları da sunulmaktadır. Serilerdeki birim kök ve durağanlık sınaması için ADF, PP ve KPSS testleri kullanılmıştır. ADF ve PP test sonuçlarına göre tüm serilerde düzeyde birim kök içermemektedir. KPSS testi ise tüm serilerin düzeyde durağan olduğunu göstermektedir. Tablo (1)'de hatalarda değişen varyansın ve otokorelasyonun sınaması için, sırasıyla, ARCH testi ve Breusch Godfrey- LM Testi kullanılmıştır. ARCH testi sonuçlarına göre tüm serilerin hataları zamana göre değişmektedir. LM testi sonuçları ise BRENT, WTI, XGIDA, XKAGT, XMESY ve XUSIN serilerinde hatalarda otokorelasyon problemine rastlanmıştır.

CCC yaklaşımı piyasalar arasındaki koşullu kovaryansın zamana göre değişmediğini, DCC yaklaşımı ise piyasalar arasındaki koşullu kovaryansın ise zaman göre değiştiği varsayılmaktadır. Asimetrik bir yapı izleyen piyasalarda DCC (Dinamik Koşullu Korelasyon) süreci, simetrik bir yapı izleyen piyasalarda ise CCC süreci beklenebilir. Petrol ve hisse senedi piyasaları arasındaki koşullu kovaryansın zamana göre değişip değişmediği Engle ve Sheppard (2001) tarafından geliştirilen Dinamik Korelasyon (ES) testi ile sınanmıştır. Brent petrol ve ham petrol için gerçekleştirilen ES testi sonuçları, sırasıyla, Tablo (2) ve Tablo (3)'de sunulmaktadır.

Tablo 2: Engle ve Sheppard Dinamik Korelasyon Testi Sonuçları: BRENT Petrol

	XUSIN	XGIDA	XKAGT	XKMYA	XMANA	XTAST	XMESY	XTEKS
ES Test (5)	1.5255 (0.9577)	2.6617 (0.8499)	2.8513 (0.8272)	2.6959 (0.8489)	1.6968 (0.9453)	3.4916 (0.7450)	1.9698 (0.9224)	2.0607 (0.9140)
ES Test (10)	5.6457 (0.8959)	10.0886 (0.5224)	6.9989 (0.7991)	10.3348 (0.5005)	5.0311 (0.9296)	13.0094 (0.2927)	9.5632 (0.5700)	6.9243 (0.8051)

Tablo 3: Engle ve Sheppard Dinamik Korelasyon Testi Sonuçları: WTI Ham Petrol

	XUSIN	XGIDA	XKAGT	XKMYA	XMANA	XTAST	XMESY	XTEKS
ES Test (5)	2.1198 (0.9083)	3.5193 (0.7413)	2.2974 (0.8904)	2.6959 (0.8459)	0.9690 (0.9867)	2.4266 (0.8765)	4.4058 (0.6219)	4.2176 (0.6472)
ES Test (10)	7.4530 (0.7612)	8.6800 (0.6513)	7.3130 (0.7731)	10.3348 (0.5005)	4.5015 (0.9528)	4.9738 (0.9324)	8.2930 (0.6868)	8.3830 (0.6786)

Tablo (2) ve Tablo (3)'de yer alan ES testi sonuçları hem brent hem de ham petrol fiyatları için CCC modelinin geçerli olduğu sıfır hipotezinin kabul edildiğini göstermektedir. Petrol piyasaları ile hisse senedi piyasaları arasındaki koşullu kovaryans zamana göre sabittir. Bu bağlamda analiz için CCC modeli tercih edilmiştir. Brent petrol fiyatları ile hisse senedi getirileri üzerine uygulanan model sonuçları ise Tablo (4)'de, ham petrol fiyatları ile hisse senedi getirileri üzerine uygulanan model sonuçları ise Tablo (5)'de sunulmaktadır. Tablo (4) ve Tablo (5)'de ARCH parametreleri getiri serilerinin üzerinde meydana gelen şokun büyüklüğünü, GARCH parametreleri ise şokun kalıcılığını göstermektedir.

Tablo (4)'de brent petrol değişkenine ait ARCH parametresinin XUSIN, XGIDA, XKAGT, XKMYA, XMANA, XTAST ve XTEKS değişkenlerinin ARCH parametrelerinden büyük olması, brent petrolde meydana gelen şokun daha büyük olduğunu göstermektedir. Buna karşın, XMESY değişkeninin ARCH parametresinin brent petrol değişkenine ait ARCH parametresinden büyük olması ise, XMESY sektöründe yaşanan şokun daha yüksek olduğunu göstermektedir. Brent petrol değişkenine ait GARCH parametresinin XUSIN, XMANA, XMESY, XTAST ve XTEKS değişkenlerinin GARCH parametrelerinden büyük olması, brent petrolde meydana gelen şokun hisse senedi piyasasından daha kalıcı olduğunu göstermektedir. Buna karşın, XGIDA, XKAGT ve XKMYA değişkenlerinin GARCH parametresinin brent petrol değişkenine ait GARCH parametresinden büyük olması ise, bu sektörlerde yaşanan şokun kalıcılığının daha yüksek olduğunu göstermektedir. Rho parametresi petrol piyasası ile imalat sanayi sektörlerinin hisse senedi piyasası arasındaki oynaklık yayılımını gösteren parametredir. Rho değerinin pozitif ve anlamlı olması iki piyasa arasında bir oynaklık yayılımının varlığını göstermektedir. XTEKS endeksi hariç, diğer tüm endeksler ile petrol fiyatları arasında pozitif oynaklık yayılımı bulunmaktadır. Petrol fiyatlarındaki oynaklık artışı, XUSIN, XGIDA, XKAGT, XKMYA, XMANA, XTAST ve XMESY endekslerinin oynaklığını arttırmaktadır.

Tablo 4: CCC-MGARCH (1,1) Model Sonuçları: BRENT Petrol

	XUSIN	XGIDA	XKAGT	XKMYA	XMANA	XTAST	XMESY	XTEKS
Koşullu Ortalama Denklemi								
$brent_{t-1}$	-0.0305 (0.0235)	-0.0296 (0.0709)	-0.0192 (0.0703)	-0.0263 (0.0700)	-0.0360 (0.0689)	-0.0179 (0.0697)	-0.0255 (0.0693)	-0.0246 (0.0699)
$hisse_{t-1}$	0.0178 (0.0672)	0.0642 (0.0742)	0.1235** (0.0537)	0.0589 (0.0627)	0.0678 (0.0513)	0.0386 (0.0616)	0.0696 (0.0594)	0.1455*** (0.0598)
<i>sabit terim</i>	0.3127* (0.0898)	0.3316* (0.0610)	0.3682* (0.1121)	0.3585* (0.1114)	0.3514* (0.1100)	0.3681* (0.1117)	0.3607* (0.1107)	0.3736* (0.1115)
Koşullu Varyans Denklemi								
$ARCH_{brent}$	0.3058* (0.1032)	0.3094* (0.1159)	0.3022* (0.0817)	0.3121* (0.1095)	0.3206* (0.1077)	0.3114* (0.1226)	0.3213* (0.1106)	0.3230* (0.1163)
$GARCH_{brent}$	0.6869* (0.0733)	0.6810* (0.0839)	0.6841* (0.0817)	0.6779* (0.0798)	0.6504* (0.0748)	0.6763* (0.0911)	0.6750* (0.0782)	0.6718* (0.0844)
$ARCH_{brent} + GARCH_{brent}$	0.9927	0.9904	0.9863	0.9900	0.9710	0.9877	0.9963	0.9948
$ARCH_{hisse}$	0.1961** (0.1094)	0.1027* (0.1868)	0.1080* (0.0337)	0.1037** (0.0452)	0.2610* (0.1027)	0.2276* (0.0823)	0.3852* (0.0997)	0.2169** (0.0957)
$GARCH_{hisse}$	0.5227* (0.1360)	0.8768* (0.0728)	0.8449* (0.0437)	0.7054* (0.2702)	0.5619* (0.1721)	0.5935* (0.1369)	0.4804* (0.0943)	0.5565* (0.1421)
$ARCH_{hisse} + GARCH_{hisse}$	0.7188	0.9795	0.9529	0.8091	0.8229	0.8211	0.8656	0.7734
$\rho(brent, hisse)$	0.1151* (0.0490)	0.0857*** (0.0503)	0.1354*** (0.0476)	0.0850*** (0.0492)	0.1266** (0.0492)	0.0710** (0.0494)	0.0862*** (0.0494)	0.0785 (0.0486)
Q(10)	37.7451	26.4135	39.1369	33.6433	32.6298	33.1189	38.9182	38.3266
ARCH	8.5964 (0.9992)	9.01639 (0.9999)	7.62674 (0.9996)	35.7930 (0.5719)	19.5076 (0.9943)	9.22141 (0.9997)	20.7141 (0.9898)	6.58574 (0.9995)

Not: Parantez içindeki değerler katsayılar için standart hatalardır. *, ** ve ***, sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyini temsil etmektedirler.

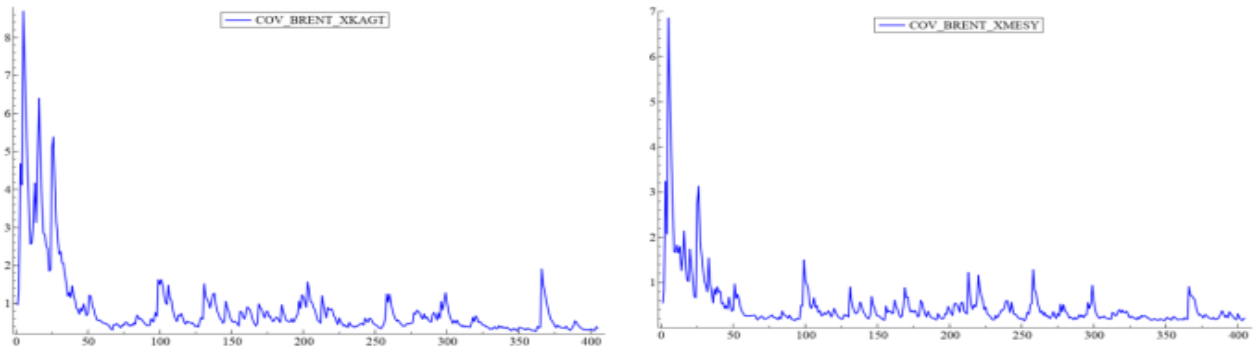
Tablo (5)'de WTI ham petrol değişkenine ait ARCH parametresi XKAGT, XKMYA ve XTAST değişkenlerinin ARCH parametrelerinden büyüktür. Ham petrolde meydana gelen şokun parametresi XKAGT, XKMYA ve XTAST endeks getirilerine gelen şoktan daha yüksektir. Buna karşın, XUSIN, XGIDA, XMANA, XMESY ve XTEKS endeks getirilerinin ARCH parametresinin ham petrol değişkenine ait ARCH parametresinden büyük olması ise, bu sektörlerde yaşanan şokun daha yüksek olduğunu göstermektedir. Ham petrol değişkenine ait GARCH parametresinin XUSIN endeks getirisinin GARCH parametresinden büyük olması, ham petrolde meydana gelen şokun, XUSIN endeks getirisinde meydana gelen bir şoktan daha kalıcı olduğunu göstermektedir. Buna karşın, XGIDA, XKAGT, XKMYA, XMANA, XTAST, XMESY ve XTEKS değişkenlerinin GARCH parametresinin ham petrol değişkenine ait GARCH parametresinden daha büyük hesaplanmıştır. Bu durum ilgili sektörlerde yaşanan şokun kalıcılığının daha yüksek olduğunu göstermektedir. Rho parametresi XMESY ve XTEKS endeksi hariç, diğer tüm modellerde anlamlıdır. Ham petrol fiyatlarındaki oynaklık artışı, XUSIN, XGIDA, XKAGT, XKMYA, XMANA ve XTAST endekslerinin oynaklığını arttırmaktadır.

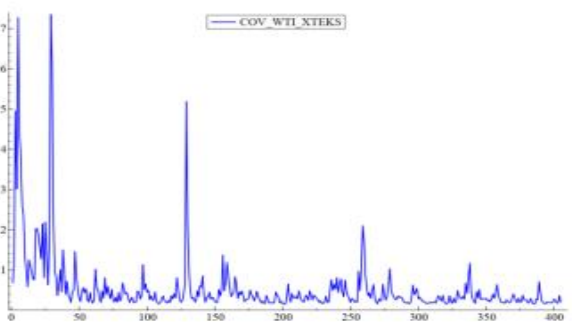
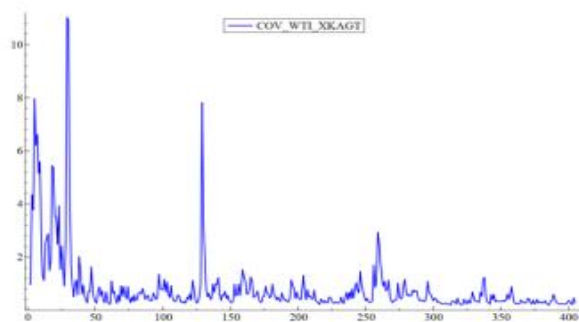
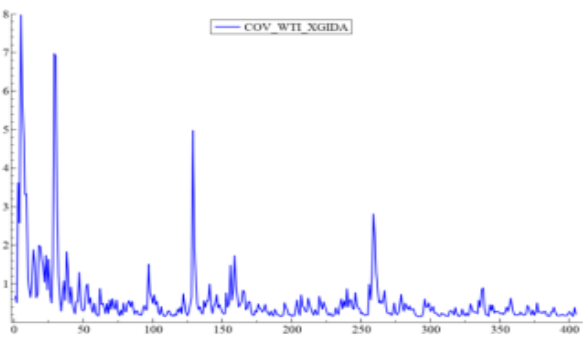
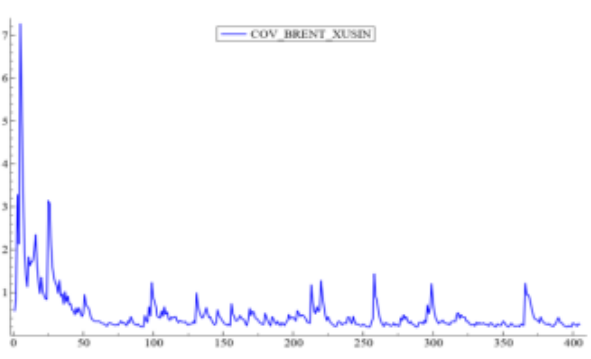
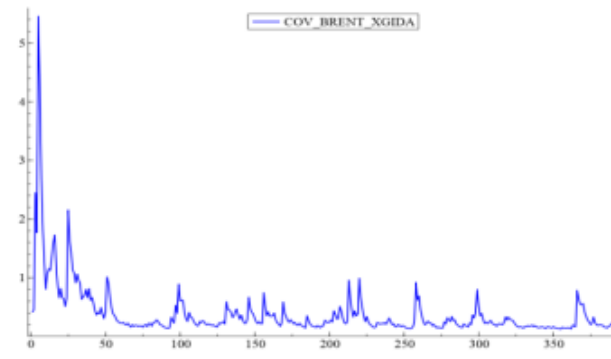
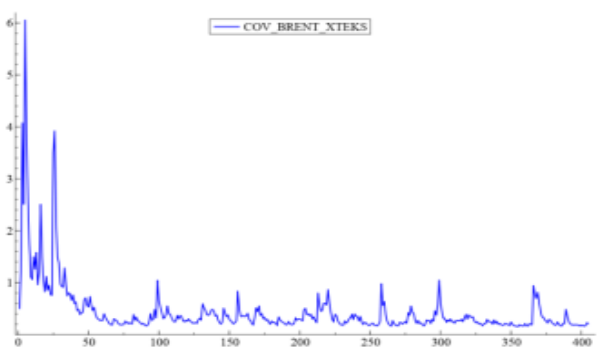
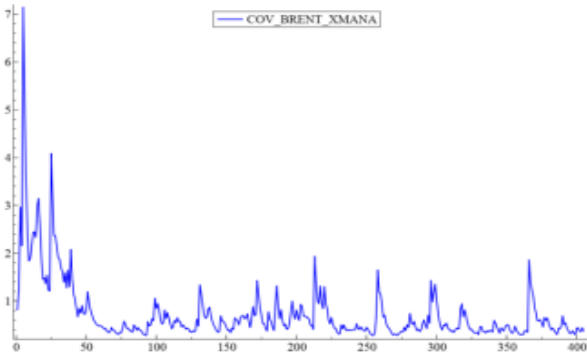
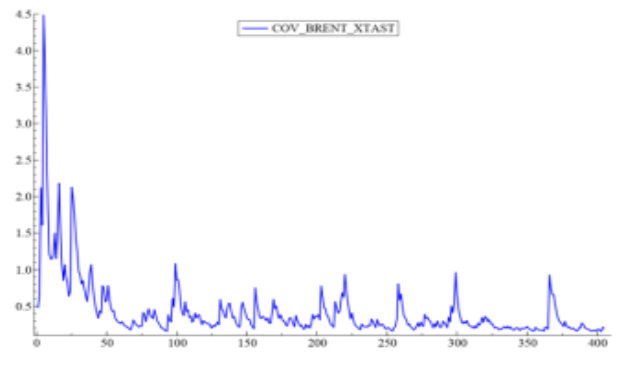
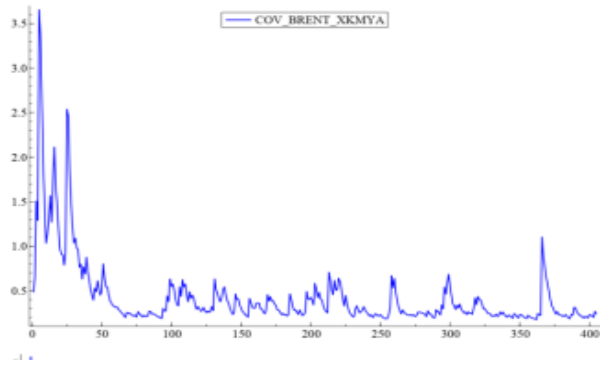
Tablo 5: CCC-MGARCH (1,1) Model Sonuçları: WTI Ham Petrol

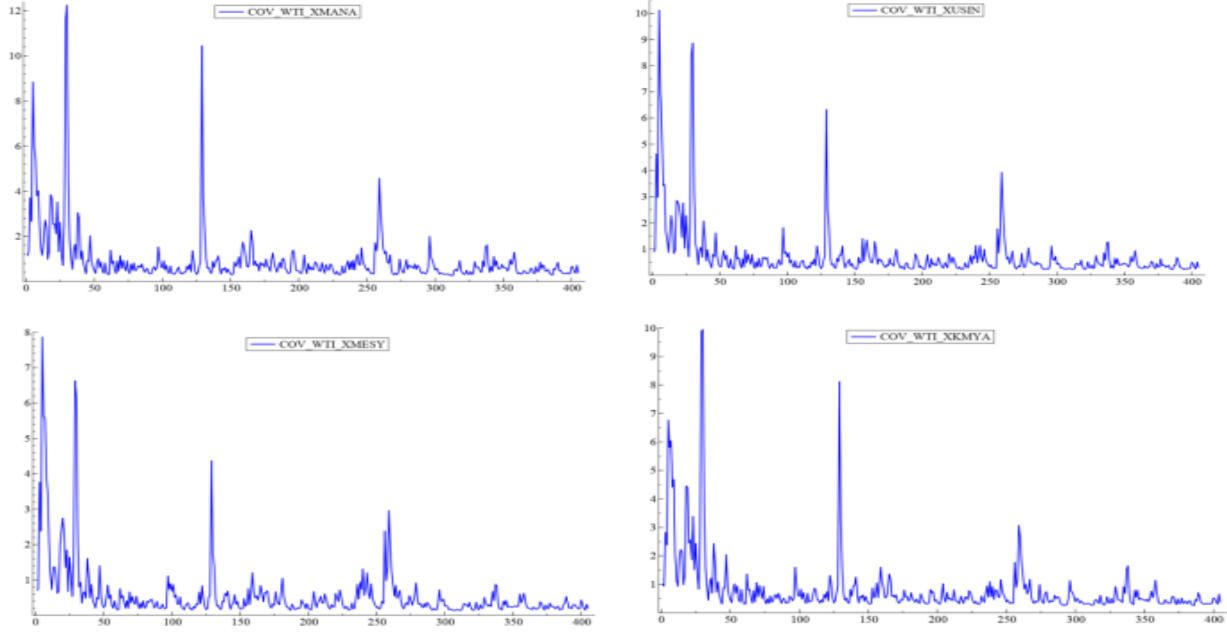
	XUSIN	XGIDA	XKAGT	XKMYA	XMANA	XTAST	XMESY	XTEKS
Koşullu Ortalama Denklemi								
wti_{t-1}	-0.1783* (0.0572)	-0.1598* (0.0584)	-0.1647* (0.0596)	-0.1642* (0.0595)	-0.1624* (0.0579)	-0.1802* (0.0592)	-0.1655* (0.0556)	-0.1539* (0.0583)
$hisse_{t-1}$	0.1953* (0.0690)	0.1450** (0.0690)	0.1145** (0.0450)	0.0893 (0.0609)	0.1178** (0.0543)	0.1647* (0.0464)	0.1370* (0.0479)	0.1210** (0.0529)
<i>sabit terim</i>	0.4263* (0.0956)	0.4429* (0.0974)	0.4363* (0.0968)	0.4284* (0.0967)	0.4344* (0.0960)	0.4244* (0.0975)	0.4063* (0.0947)	0.4200* (0.0999)
Koşullu Varyans Denklemi								
$ARCH_{wti}$	0.2569* (0.1763)	0.1896* (0.1692)	0.2092* (0.1582)	0.3418* (0.1801)	0.1845* (0.1652)	0.2400* (0.1765)	0.3168* (0.1799)	0.2333* (0.1715)
$GARCH_{wti}$	0.6412* (0.0504)	0.1417* (0.0529)	0.1923* (0.0548)	0.6574* (0.0518)	0.1630* (0.0529)	0.1596* (0.0523)	0.1587* (0.0511)	0.1600* (0.0549)
$ARCH_{wti} + GARCH_{wti}$	0.8981	0.3313	0.4015	0.9992	0.3475	0.3996	0.4755	0.3933
$ARCH_{hisse}$	0.3719** (0.1932)	0.2641* (0.0699)	0.1157* (0.0362)	0.1022** (0.0465)	0.2596** (0.1020)	0.2358* (0.0873)	0.3969* (0.1028)	0.2344** (0.1051)
$GARCH_{hisse}$	0.4225* (0.1219)	0.7019* (0.1823)	0.8444* (0.0418)	0.7210* (0.1274)	0.6027* (0.1598)	0.6123* (0.1515)	0.4742* (0.0939)	0.5563* (0.1431)
$ARCH_{hisse} + GARCH_{hisse}$	0.7944	0.966	0.9601	0.8232	0.8623	0.8481	0.8711	0.7907
$\rho(wti, hisse)$	0.1234** (0.0495)	0.0927** (0.0499)	0.0860*** (0.0482)	0.1214** (0.0487)	0.1241** (0.0494)	0.0840*** (0.0493)	0.0598 (0.0496)	0.0738 (0.0487)
Q(10)	38.1062 (0.5557)	40.6669 (0.4409)	50.0667 (0.1321)	33.6433 (0.7506)	33.6568 (0.7501)	47.8384 (0.1844)	38.3622 (0.5441)	41.8852 (0.3890)
ARCH	40.2676 (0.3702)	24.5249 (0.9554)	35.3575 (0.5922)	35.7930 (0.5719)	34.4988 (0.6321)	21.9036 (0.9830)	42.5510 (0.2815)	33.1203 (0.6943)

Not: Parantez içindeki değerler katsayılara ait standart hatalardır. *, ** ve ***, sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyini temsil etmektedirler.

Tablo (4) ve Tablo (5)'de ARCH ve GARCH parametrelerinin pozitiflik şartı sağlanmıştır. Ayrıca hem brent hem de ham petrol model sonuçlarında tüm ARCH ve GARCH parametrelerinin toplamları 1'den küçük elde edilmiştir. Model sonuçlarında yapılan değişen varyans ve otokorelasyon testleri ise, hem brent hem de ham petrol CCC model sonuçlarında değişen varyans ve otokorelasyon sorunlarının olmadığı tespit edilmiştir. Böylece CCC modelinin petrol fiyatları ile hisse senedi getirileri arasındaki oynaklık yayılımı analizi için kullanılabilir bir modeldir.

Şekil 2: CCC-MGARCH(1,1) Modeli Koşullu Kovaryans Grafikleri





Şekil (2)'de tahmin edilen CCC modeline ilişkin koşullu kovaryansların grafikleri yer almaktadır. Koşullu kovaryans grafikleri incelendiğinde hem brent hem de ham petrol fiyatları ile imalat sanayi sektör endeks getirileri arasında pozitif bir oynaklık yayılımı olduğu ve fakat bu pozitif oynaklık yayılımının zaman içinde sönümlendiği gözlenmektedir.

Sonuç

Teorik olarak petrol piyasası ile hisse senedi piyasası arasındaki ilişki, finansal yatırım kararlarında hisse senedi piyasasının petrol fiyatlarına olan duyarlılığının analizini önemli kılmaktadır. Özellikle ekonomik daralmanın yaşandığı dönemlerde dayanak varlık fiyatları ile finansal varlık fiyatları arasındaki korelasyon artmaktadır. Korelasyon yığılması (correlation clustering) olarak tanımlanan bu durum finansal piyasalarda yaşanan kriz dönemlerinde artmaktadır (Torre-Torres vd., 2020). Bu bağlamda çalışmanın amacı, küresel pandemi sürecini de dikkate alarak petrol piyasası ile imalat sanayi hisse senedi piyasası arasındaki oynaklık yayılımını analiz etmektedir.

Sabit Koşullu Korelasyon (CCC) modelinin kullanıldığı analiz 11 Mart 2020- 1 Kasım 2021 tarihlerini kapsamaktadır. Analizde petrol piyasasını temsil etmesi için brent petrol ve WTI ham petrol fiyatları kullanılmıştır. İmalat sanayi hisse senedi piyasasını temsil etmesi için ise gıda, tekstil, kağıt ve kağıt ürünleri, kimya ve petrol, taş ve toprağa dayalı, metal eşya ve ana metal sanayi sektörlerinin Borsa İstanbul endeks getirileri kullanılmıştır. Model sonuçları petrol piyasası ile hisse senedi piyasası arasında risk ve bilgi aktarımının olduğuna dair bulgu sunmaktadır. Petrol fiyatlarındaki oynaklık artışı imalat sanayi sektör endekslerinin getirilerinin oynaklığını artırmaktadır. Brent petrol fiyatlarının oynaklığındaki artış en fazla metal ana ve kağıt ve kağıt ürünleri sektörlerinin hisse senetlerinin getiri oynaklığını artırmaktadır. Ham petrol fiyatlarının oynaklığındaki artış ise en fazla imalat sanayi endeksi ile kimya ve ana metal sanayi sektörlerini hisse senetlerinin getiri oynaklığını artırmaktadır.

Kaynakça

- [1] A.B. Abel, B.S. Bernanke, Macroeconomics, Addison Wesley Longman Inc., New York (2001).
- [2] V. Abioğlu, Volatility Spillovers and Correlations between Oil Prices and Stock Sectors in Turkey: Implications on Portfolio Hedging and Diversification Opportunities, *Sosyoekonomi*, 29 (2020), 79-106.
- [3] C. T. Albuşescu, Coronavirus and oil price crash, *SSRN Electronic Journal*, (2020), 1- 13.
- [4] M.E.H. Arouri, A. Lahiani, D. K. Nguyen, Return and volatility transmission between world oil prices and stock markets of the GCC countries, *Economic Modelling*, 28 (2011), 1815-1825.

- [5] B. Bagchi, Volatility spillovers between crude oil price and stock markets: evidence from BRIC countries, *International Journal of Emerging Markets*, 12 (2016), 352- 365.
- [6] S.A. Basher, P. Sadorsky, Hedging emerging market stock prices with oil, gold, VIX, and bonds: A comparison between DCC, ADCC and GO-GARCH, *Energy Economics*, 54 (2016), 235- 247.
- [7] T. Bollerslev, Generalized autoregressive conditional heteroscedasticity, *Journal of Econometrics*, 31 (1986), 307-327.
- [8] S.P. Brown, M.K. Yücel, Energy prices and aggregate economic activity: an interpretative survey, *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 42 (2002), 193–208.
- [9] C. L. Chang, M. McAleer, R. Tansuchat, Conditional correlations and volatility spillovers between crude oil and stock index returns, *North American Journal of Economics and Finance*, 25 (2013), 116- 138.
- [10] Y. Chen, W. Li, X. Jin, Volatility Spillovers Between Crude Oil Prices And New Energy Stock Price In China, *Romanian Journal of Economic Forecasting*, 21 (2018), 43- 62.
- [11] S. Degiannakis, G. Filis, V. Arora, Oil Prices and Stock Markets: A Review of the Theory and Empirical Evidence, *The Energy Journal*, 39 (2018), 85- 130.
- [12] R.S. Dohner, Energy prices, economic activity and inflation: survey of issues and results, *Energy prices, inflation and economic activity*. Ballinger, Cambridge, MA. (1981).
- [13] R.F. Engle, K. Sheppard, Theoretical and Empirical Properties of Dynamic Conditional Correlation Multivariate GARCH. NBER Working Paper Series, (2001), No: 8554.
- [14] G. Filis, S. Degiannakis, C. Floros, Dynamic correlation between stock market and oil prices: The case of oil-importing and oil-exporting countries, *International Review of Financial Analysis*, 20 (2011), 152–164.
- [15] A.G. Gençyürek, R. Ekinci, Temiz Enerji Sektörü, Teknoloji Sektörü Ve Ham Petrol Arasındaki Yayılım İlişkisi, *Ekonomi, Politika & Finans Araştırmaları Dergisi*, 6 (2021), 60-81.
- [16] J.D. Hamilton, Understanding Crude Oil Prices, *The Energy Journal* 30(2009), 179–206.
- [17] International Energy Agency, 2020. The IEA Oil Market Report (OMR) - April 2020. <https://www.iea.org/reports/oil-market-report-april-2020>.
- [18] B. B. Mandelbrot, The variation of certain speculative prices, *Journal of Business*, 36 (1963), 392–417.
- [19] S.K. Mohanty, M. Nandha, Oil risk exposure: the case of the US oil and gas sector, *Financial Review*, 46 (2011), 165–191.
- [20] P. Sadorsky, Correlations and volatility spillovers between oil prices and the stock prices of cleanenergy and technology companies, *Energy Economics*, 34 (2012), 248- 255.
- [21] A. A. Salisu, T. F. Oloko, Modeling oil price–US stock nexus: A VARMA–BEKK–AGARCH approach, *Energy Economics*, 50 (2015), 1- 12.
- [22] L.E. Svensson, Monetary-policy challenges: monetary-policy responses to oil-price changes, In Prepared for the Bellagio Group Meeting at the Federal Reserve Board (2006).
- [23] O.V.D. Torre-Torres, E.G. Figueroa, J.A. Garcia, A Test of Using Markov-Switching GARCH Models in Oil and Natural Gas Trading, *Energies*, 13 (2020), 1- 24.
- [24] Y. Yeh, T. Lee, J. Pen, Stock returns and volatility under market segmentation: the case of Chinese A and B shares, *Review of Quantitative Finance and Accounting*, 18 (2002), 239- 257.



MINT ÜLKELERİNDE ELEKTRİK TÜKETİMİ İLE EKONOMİK BÜYÜME: EKONOMETRİK BİR ANALİZ

ELECTRICITY CONSUMPTION AND ECONOMIC GROWTH IN MINT COUNTRIES: AN ECONOMETRIC ANALYSIS

Sena TÜRKMEN

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Niğde, Türkiye.
ORCID ID: <https://orcid.org/000-0002-8334-6466>

Emine Dilara AKTEKİN

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Niğde, Türkiye.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4112-2456>

Hilal BUDAK

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Niğde, Türkiye.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2599-8586>

Özet

Sanayileşme sürecindeki gelişmelere bağlı olarak elektrik enerjisinin tüketiminde artış yaşanmaktadır. Farklı ülke ve ülke grupları için yapılan analizlerde elektrik tüketimindeki artışın ekonomik büyüme üzerindeki etkisi incelenmektedir. Ekonomik faaliyetlerde çıktı düzeyinin artırılması üretim fonksiyonu içinde büyük önem arz eden elektrik enerjisi tüketimi ile yakından ilişkilidir. Bu ilişkinin tespiti ekonomi biliminin temel konularından olan üretimde etkinliğin sağlanması için gerekli adımlardandır. Politika yapıcılar için önemli bir konu olarak gösterilen elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisi literatürde sıklıkla tartışılmaktadır. Literatürdeki bulguların, kullanılan değişken, incelenen ülke ya da ülke grupları ve döneme bağlı olarak farklılaşabildiği görülmektedir. Bu çalışmanın amacı, 1980-2019 dönemine ait yıllık veri seti kullanılarak MINT ülkeleri (Meksika, Endonezya, Nijerya, Türkiye) için elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi yeni ekonometrik yöntemlerle tahmin etmektedir. Ampirik sonuçlar, ekonomik büyümenin artması için elektrik arzını arttırıcı politikaların teşvik edilmesi gerektiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ekonomik Büyüme, Elektrik Tüketimi, MINT

Abstract

Depending on the developments in the industrialization process, there is an increase in the consumption of electrical energy. In the analyzes made for different countries and country groups, the effect of the increase in electricity consumption on economic growth is examined. Increasing the output level in economic activities is closely related to electrical energy consumption, which is of great importance in the production function. The determination of this relationship is one of the necessary steps to ensure efficiency in production, which is one of the basic subjects of economics. The relationship between electricity consumption and economic growth, which is shown as an important issue for policy makers, is frequently discussed in the literature. It is seen that the findings in the literature may differ depending on the variable used, the country or country groups studied, and the period. The aim of this study is to estimate the relationship between electricity consumption and economic growth for MINT countries (Mexico, Indonesia, Nigeria, Turkey) with new econometric methods using the annual data set for the period 1980-2019. Empirical results show that policies to increase electricity supply should be encouraged in order to increase economic growth.

Keywords: Economic Growth, Electricity Consumption, MINT

GİRİŞ

Ekonomik büyüme kavramı, ülke ekonomisi için temel makroekonomik bir gösterge olması ve üretim düzeyindeki yıllık değişimleri reel olarak göstermesi nedeniyle niteliği açısından önem arz etmektedir. Bir ülkede üretilen mal ve hizmet miktarındaki artışı, bir başka deyişle reel gayrisafi yurt içi hasıla düzeyinde sürekli artışı ifade etmektedir (Ünsal, 2009; 15). Ekonomik büyüme sağlanması toplum refahında artışı mümkün kılan tüketim düzeyini ve gelişmeleri karşılanması için gereklidir. Bu nedenle ülkelerin ekonomide temel makro hedefleri arasında öncelikli olarak bulunmaktadır. Nüfus ve sanayileşme artışı ile birlikte üretim düzeyinin artışı beraberinde enerji tüketimini arttırmıştır. Üretim fonksiyonu içerisinde yer alan enerji tüketimi üretim artışıyla beraber arttığından enerji tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisi dikkat çeken bir konu olarak literatürde yer almaktadır. Kraft ve Kraft (1978), elektrik tüketimi ile ekonomik büyüme ilişkisini incelediği ve tek yönlü nedensellik ilişkisinin tespit edildiği çalışma literatürde öncü olmuştur.

Elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisini konu edinen çalışmalar incelendiğinde seçilen dönem ve ülkelere göre farklı sonuçlar elde edildiği belirlenmiştir. Bu durumun nedeni üretim fonksiyonunun yapısı ve farklı değişkenlerden etkilenmesiyle açıklanmaktadır. Ancak enerji tüketimi hem üretimin hem de tüketimin gerçekleşmesi için gerekli olduğundan ve birçok alanı etkilemektedir. Enerji kaynakları ve kullanımı açısından değerlendirildiğinde elektrik kolay iletilmesi ve yaygınlığı açısından günlük hayatın büyük bir çoğunluğunda kullanılmaktadır. Üretim ve tüketimin vazgeçilmez bir unsuru olan elektrik tüketiminin ekonomik büyümeye etkisini tespit etmek önem arz etmektedir. Bu çalışmada ise MINT ülkeleri (Meksika, Endonezya, Nijerya, Türkiye) için 1980-2019 döneminde elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki ekonometrik yöntemlerle incelemek amaçlanmaktadır.

1. Literatür Taraması

Kraft ve Kraft (1978), elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisi konusunda öncü olarak kabul edilen çalışmada 1947-1974 yılları arası dönem için A.B.D. için incelemiştir. Sims Metodolojisinin kullanıldığı bu çalışmada ekonomik büyümeden elektrik tüketimine tek taraflı nedensellik tespit edilmiştir.

Ağır ve Kar (2010), Türkiye'nin 81 ili için 2000 yılındaki elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisini yatay kesit analizi yöntemiyle inceledikleri çalışmada, elektrik tüketiminin ekonomik büyümeyi pozitif etkilediğini tespit etmiştir. Saatçi ve Dumrul (2013), Türkiye için 1960-2008 yılları arasını kapsayan dönemde panel veri analizi yöntemini uyguladıkları çalışmada elektrik tüketiminin ekonomik büyümeyi pozitif etkilediği sonucuna ulaşmıştır. Yapılan analiz neticesinde Türkiye için uzun dönem sonuçlarına göre elektrik tüketimindeki %1'lik artışın ekonomik büyümeyi %0.33 ile %0.37 oranında arttıracığı tespit edilmiştir. Shahbaz vd. (2013), Çin'in enerji tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisini 1971-2011 dönemi için incelediği çalışmada pozitif ve anlamlı bir ilişki tespit etmiştir. Ayrıca enerji tüketiminden ekonomik büyümeye doğru tek yönlü nedensellik olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Akbaş ve Şentürk (2013), 9 MENA ülkesinin elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisini 1978-2009 yıllarını kapsayan dönem için sınıadıkları çalışmada çift yönlü nedensellik bulunduğu sonucuna ulaşmıştır. Kantar vd. (2016) düşük, orta ve yüksek gelir grubu olarak üç gruba ayrılmış 64 ülkenin 1971-2008 döneminde elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisini Hiyerarşik Yapı Yöntemi kullanarak incelediği çalışmada güçlü bir nedensellik ilişkisinin mevcut olduğunu tespit etmiştir. Ballı vd. (2018), Bağımsız Devletler Topluluğu üyesi ülkelerin 1992-2013 yılları arasında elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisini incelemiştir; çift yönlü nedensellik olduğunu tespit etmiştir. Kar vd. (2019), gelişmekte olan seçilmiş 15 ülkeye ait 1970-2014 yıllarını kapsayan dönemi için yıllık verileri kullandığı çalışmada elektrik enerjisi tüketiminin ekonomik büyüme üzerinde pozitif etkisi bulunduğu sonucuna ulaşmıştır.

Le (2020), 1990-2014 dönemi için 46 gelişmekte olan ülkenin enerji tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisini kurumsal kalite, finansal gelişme, devlet harcamaları ve ticari açıklık değişkenlerini de analize dahil ederek incelemiştir. Çalışmanın sonucunda enerji tüketimi, finansal gelişme, devlet harcamaları ve ticari açıklığın ekonomik büyümeyi pozitif etkilediği tespit edilmiştir. Zhang vd. (2021), 45 BRI ülkesinde ekonomik büyüme ve elektrik tüketimi ilişkisini 1990-2015 yılları arası dönem için incelediği çalışmada farklı gelir gruplarındaki ülkeler için sonuçlar elde edilmiştir. Tüm ülke grupları için ekonomik büyümeden elektrik tüketimine doğru kısa ve uzun dönemli tek yönlü nedensellik mevcut iken yüksek gelirli ülke grubu için uzun dönemli tek yönlü nedensellik tespit edilmiştir. OPEC ülkelerinde ekonomik büyüme ve elektrik tüketimi arasında kısa dönemli çift yönlü nedensellik olduğu belirlenmiştir. Güzel (2021), G-7 ülkelerinin elektrik tüketimi ve ekonomik

büyüme ilişkisini 1970-2018 aralığındaki dönemde panel veri analizi yöntemiyle incelemiştir. Bu çalışmada kullanılan dönem için yapılan analizler sonucunda G-7 ülkelerinde ekonomik büyümede meydana gelen %1’lik artışın enerji tüketimini %0,169 oranında arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

2. Araştırma ve Bulgular

Elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi ekonometrik yöntemlerle incelemeyi amaçlayan bu çalışmada MINT ülkeleri (Meksika, Endonezya, Nijerya ve Türkiye) için 1980-2019 dönemine ait yıllık veriler kullanılmıştır. Ekonomik büyüme değişkeni için ABD doları cinsinden kişi başına düşen GSYİH verisi logaritması alınarak kullanılmış ve LNKBG olarak gösterilmiştir. Elektrik tüketimi değişkeni için ise elektrik tüketimi verisi logaritması alınarak kullanılmış ve LNET olarak gösterilmiştir. Kullanılan veriler Dünya Bankası veri tabanından elde edilmiştir.

Küreselleşme hareketleriyle birlikte bir ülke ekonomisinde ortaya çıkan bir şokun diğer ülkeleri de etkilemesi söz konusudur. Bu durum, ampirik analizlerde yatay kesit bağımlılık “cross-section dependency” testleri ile belirlenebilmektedir. Yatay kesit bağımlılığı testleri, serilerin birim kök sürecini ve değişkenler arasındaki eş bütünleşme ilişkisinin varlığını birinci nesil mi yoksa ikinci nesil testlerle mi sınamanın doğru olacağına karar vermeye olanak sağlamaktadır (Örnek ve Türkmen, 2019: 120).

Tablo 1’de MINT ülkeleri için değişkenlerin ve eş bütünleşme denkleminin yatay kesit bağımlılığı test sonuçları yer almaktadır.

Tablo 1. Yatay Kesit Bağımlılığı Test Sonuçları

Değişkenler	LKBG		LET	
	İst. Değeri	Olasılık Değeri	İst. Değeri	Olasılık Değeri
CD _{lm1} (BP,1980)	24.055	0.001***	42.753	0.000***
CD _{lm2} (Pesaran, 2004)	5.212	0.000***	10.610	0.000***
CD _{lm3} (Pesaran, 2004)	-4.672	0.000***	-3.911	0.000***
LM _{adj} (PUY, 2008)	50.777	0.000***	16.066	0.000***
Eş Bütünleşme Denklemi				
	İstatistik Değeri		Olasılık Değeri	
CD _{lm1} (BP,1980)	58.956		0.000***	
CD _{lm2} (Pesaran, 2004)	15.287		0.000***	
CD _{lm3} (Pesaran, 2004)	7.344		0.000***	
LM _{adj} (PUY, 2008)	64.607		0.000***	

Not: Sabitli model kullanılmıştır. “***” işareti %1 seviyesinde istatistiki anlamlılığı ifade etmektedir.

Tablo 1’de yer alan yatay kesit bağımlılığı test sonuçlarına göre %1 anlamlılık düzeyinde (LM_{adj}) kesitler arası bağımlılık olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bulgular, ikinci nesil panel birim kök testlerinden olan Nazlıoğlu ve Karul (2017) tarafından ileri sürülen Panel Fourier LM birim kök testini uygulamayı mümkün kılmaktadır. Tablo 2’de Panel Fourier LM birim kök test sonuçlarına yer verilmektedir.

Tablo 2. Panel Fourier LM Birim Kök Testi Sonuçları

Ülkeler	LKBG			LET		
	Fourier tau LM ₁ k=1	Fourier tau LM ₂ k=2	Fourier tau LM ₃ k=3	Fourier tau LM ₁ k=1	Fourier tau LM ₂ k=2	Fourier tau LM ₃ k=3
Meksika	-0.975	-1.896	-1.516	-0.662	-0.914	-1.093
Endonezya	-2.114	-2.650	-1.847	-1.530	-1.932	-1.053
Nijerya	2.301	4.109	3.598	-0.187	1.097	1.055
Türkiye	-2.091	-2.793	-2.493	-0.109	-1.319	-1.267
Z _{LM} (İst. Değeri)	7.260	3.883	4.597	7.578	3.994	4.521
p- değeri	1.000	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000

Tablo 2’de yer alan birim kök testi sonuçlarında MINT ülkelerinde bağımlı ve bağımsız değişkenlerin seviyede birim kök içerdiği bulgusu elde edilmiştir. Dolayısıyla bu durum, eş bütünleşme testinin yapılabileceğini ifade etmektedir. Eş bütünleşme testinin yapılabilmesi için öncelikle Denklem (1)’in eş bütünleşme katsayısının homojen mi yoksa heterojen mi olduğuna karar vermek gerekmektedir. Tablo 3’te eğim homojenliği test sonuçları yer almaktadır.

Tablo 3. Eğim Homojenliği Test Sonuçları

Testler	Model 1	
	Test İst.	Olasılık Değeri
Delta Tilde	-1.256	0.896
Delta Tilde _{adj}	-1.306	0.904

Bulgulara göre, Delta testlerinde modelin homojen olduğunu ifade eden H₀ hipotezi reddedilememektedir. Dolayısıyla MINT ülkeleri için kurulan modelin eğim katsayısının homojen olduğuna karar verilmiştir. Ekonomik yapıları birbirine benzeyen ülke grupları için bu sonuç beklenebilmektedir. Elde edilen sonuç, MINT ülkelerinde elektrik tüketimi değişkeninde meydana gelen bir değişikliğin ekonomik büyüme üzerinde benzer etkiler yarattığını ifade etmektedir.

Değişkenlerin seviyede birim kök içermesi, çoklu yapısal kırılmalara izin veren ve ikinci nesil eş bütünleşme testlerinden olan Westerlund (2006) panel eş bütünleşme testinin uygulanmasına imkan sunmaktadır. Tablo 4’te MINT ülkeleri için yapısal kırılmalı panel eş bütünleşme test sonuçları yer almaktadır.

Tablo 4. Yapısal Kırılmalı Panel Eş Bütünleşme Test Sonuçları

	LM Test İstatistiği	Asimptotik Olasılık Değeri	Bootstrap Olasılık Değeri
Yapısal Kırılmasız Model			
<i>Sabitli</i>	20.623	0.000	0.000***
<i>Sabit ve Trendli</i>	3.126	0.001	0.000***
Yapısal Kırılmalı Model			
<i>Sabitli</i>	1.127	0.130	0.970
<i>Sabit ve Trendli</i>	21.670	0.000	0.430
Kırılma Tarihleri			
	<i>Sabitli Model</i>		<i>Sabit ve Trendli Model</i>
Meksika	1989-1999		1987-1997
Endonezya	1999		1985-2008
Nijerya	2003-2009		1999-2013
Türkiye	1989-1999		2003

Not: Bootstrap olasılık değerleri 100 tekrarlı dağılımdan elde edilmiştir. Asimptotik olasılık değerleri, standart normal dağılımdan elde edilmiştir. Gecikme ve öncül 4 olarak alınmıştır.

Bulgulara göre, eş bütünleşme denkleminde yatay kesit bağımlılığı tespit edildiğinden bootstrap kritik değerleri dikkate alınmaktadır. Analiz sonuçlarına göre, eş bütünleşme ilişkisinin varlığını ifade eden sıfır hipotezi %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerinde reddedilememektedir. Dolayısıyla, yapısal kırılmalı eş bütünleşme testi sonucunda değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki olduğu bulgusu elde edilmiştir. Uzun dönemli ilişkinin tespitinden sonra, eş bütünleşme katsayıları, kesitler arası bağımlılığı dikkate alan Pesaran (2006) Common Correlated Effects Mean Group (CCE) kullanılarak tahmin edilmiştir. MINT ülkelerinin eş bütünleşme katsayıları tahmin sonuçları Tablo 5’de yer almaktadır.

Tablo 5. Uzun Dönem Katsayıları Tahmini (CCE)

	Katsayı	Std. Hata	p-değeri
CCE	0.357	0.129	0.006***
Ülke Sonuçları			
Meksika	0.632	.107	0.000***
Endonezya	0.400	.184	0.030**
Nijerya	0.392	.067	0.000***
Türkiye	0.005	.100	0.954

Not: “***” işareti %1; “**” işareti %5 seviyesinde anlamlılığı ifade etmektedir.

Tablo 6’da yer alan bulgulara göre panel genelinde elektrik tüketimi değişkeninin eş bütünleşme katsayısı istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Sonuçlar ülke bazında incelendiğinde, elektrik tüketiminin ekonomik büyüme üzerindeki etkisinin MINT ülkelerinin Türkiye dışında tamamında pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Buna göre, Meksika, Endonezya ve Nijerya’da elektrik tüketiminde meydana gelen %1’lik bir artış bu ülkelerde ekonomik büyümeyi sırasıyla %0.63; %0.4 ve %0.39 arttırmaktadır. Elde edilen bulgular MINT ülkelerinde elektrik tüketiminin ekonomik büyüme üzerinde etkili olduğuna işaret etmektedir.

SONUÇ

Elektrik tüketimi üretim ve tüketim faaliyetleri içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. Günlük hayat içerisinde zorunlu bir ihtiyaçların giderilmesinde kullanılan elektrik ülke ekonomisi için hem kaynağın sağlanması hem de kullanılması açısından değerlendirilmektedir. Elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisine ait farklı teoriler hükümetlerin politikalarında etkili olmaktadır. Bu teoriler, ilişkinin yönü ve niteliği aracılığıyla şekillenmektedir. Her ülkenin üretim yapısının farklı olması ve farklı kaynaklara sahip olması ilişkiye dair tek bir sonucun olmamasının gerekçesi olarak sunulabilmektedir.

MINT ülkelerinin elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisini panel veri analizi yöntemiyle inceleyen bu çalışmada 1980-2019 yılları arasındaki dönem için Türkiye hariç pozitif ilişki bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır. MINT ülkeleri için elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme arasında eşbütünleşme olduğu tespit edilmiştir. Ülkeler için incelendiğinde ise Türkiye’ye ait sonuçların istatistiki olarak anlamsız olduğu belirlenmiştir.

Elektrik tüketiminde meydana gelen %1’lik bir artışın ekonomik büyümeyi Meksika için %0.63; Endonezya için %0.4 ve Nijerya için ise %0.39 arttırmaktadır. Bu sonuçlar Meksika, Endonezya ve Nijerya için elektrik tüketiminin ekonomik büyüme üzerinde pozitif ve istatistiki olarak anlamlı bir etkisi olduğunu göstermektedir. Analiz sonuçları ekonomik büyümenin artması için elektrik arzını arttırıcı politikaların teşvik edilmesi gerektiğini göstermektedir. Hükümet politikası olarak sürdürülebilir ekonomik büyümenin sağlanabilmesi için elektrik arzını arttırmaya önem verilmedi.

Kaynakça

- Ağır, H. ve Kar, M. (2010) Türkiye’de Elektrik Tüketimi ve Ekonomik Gelişmişlik Düzeyi İlişkisi: Yatay Kesit Analizi, *Sosyoekonomi*, 10EN07.
- Akbaş, Y. ve Şentürk, M. (2013) Mena Ülkelerinde Elektrik Tüketimi ile Ekonomik Büyüme Arasındaki Karşılıklı İlişkinin Analizi, *Erciyes University Journal of Faculty of Economics and Administrative Sciences*, 41, 45-67.
- Ballı, E., Sizege, Ç. ve Manga, M. (2018). Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki: BDT Ülkeleri Örneği. *UIİİD-IJEAS*. 18. EYİ Özel Sayısı, 773-788.
- Breusch, T. S., ve Pagan, A. R. (1980). The Lagrange Multiplier Test and its Applications to Model Specification in Econometrics. *The Review of Economic Studies*, 47(1), 239-253.
- Güzel, İ. (2021) Ekonomik Büyüme ile Ticari Açıklığın Enerji Tüketimi Üzerindeki Etkisi: G7 Ülkeleri için Ekonometrik Bir Analiz, *Ekonomi Bilimleri Dergisi*, 13 (1), 33-50.
- Kantar, E., Aslan, A., Deviren, B. and Keskin, M. (2016) Hierarchical Structure Of The Countries Based On Electricity Consumption And Economic Growth. *Physica A*, 1-10.
- Kar, M., Ağır, H. & Türkmen, S. (2019). Seçilmiş Gelişmekte Olan Ülkelerde Elektrik Tüketiminin Ekonomik Büyümeye Etkisinin Panel Ekonometrik Analizi. *Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 5 (3), 37-48.
- Kraft, J., and Kraft, A. (1978). On the relationship between energy and GNP. *The Journal of Energy and Development*, 401-403.
- Le, H. P. (2020). The Energy-Growth Nexus Revisited: The Role of Financial Development, Institutions, Government Expenditure and Trade Openness. *Heliyon*, 6 (7), 04369.
- Nazlioglu, S. ve Karul, C. (2017). Panel LM unit root test with gradual structural shifts. In *40th International Panel Data Conference*, 7-8.
- Örnek, İ. ve Türkmen, S. (2019). Gelişmiş Ve Yükselen Piyasa Ekonomilerinde Sürdürülebilir Enerji: Çevresel Kuznets Eğrisi Yaklaşımı. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 28(3), 109-129.
- Pesaran, M. H. (2006). Estimation and inference in large heterogeneous panels with a multifactor error structure. *Econometrica*, 74(4), 967–1012.
- Pesaran, M. H. ve Yamagata, T. (2008). Testing slope homogeneity in large panels. *Journal of Econometrics*, (142), 50–93.
- Pesaran, M. H., Ullah, A. ve Yamagata, T. (2008). A bias-adjusted lm test of error cross-section independence. *Econometrics Journal*, 11, 105-127.
- Pesaran, M. H. (2004). General diagnostic tests for cross section dependence in panels. Cambridge: University Of Cambridge, Working Paper.
- Saatçi, M. ve Dumrul, Y. (2013) Elektrik Tüketimi ve Ekonomik Büyüme İlişkisinin Dinamik Bir Analizi: Türkiye Örneği, *Bursa Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 32 (2), 1-24.
- Shahbaz, M., Khan, S., ve Tahir, M. I. (2013). The Dynamic Links between Energy Consumption, Economic Growth, Financial Development and Trade in China: Fresh Evidence from Multivariate Framework Analysis. *Energy Economics*, 40, 8-21.
- Ünsal, E. M. (2009) Makro İktisat, İmaj Yayıncılık, Ankara.
- Westerlund, Joakim (2006). Testing for Panel Cointegration with Multiple Structural Breaks. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 68, 101-132.
- Zhang, H. Zhang, X., Zhao, C. and Yuan, J. (2021) Electricity Consumption and Economic Growth in BRI Countries: Panel Causality and Policy Implications, *Emerging Markets Finance and Trade*, 57 (3).



FROM SKETCH TO PHYSICS SIMULATION IN VIRTUAL LABORATORY USING DEEP LEARNING CASE MECHANICS OF MATERIALS

Mohammed Serrhini

Laboratory of Computer Sciences Research LARI, Mohammed I University in OUJDA, Morocco

Fatima Cheddi

Full address of second author, including country Laboratory of Arithmetic Scientific Computing and Applications, Mohammed I University in OUJDA, Morocco

Ahmed Tahiri

Laboratory of Arithmetic Scientific Computing and Applications, Mohammed I University in OUJDA, Morocco

Driss Bria

Laboratory of Waves, Materials, Energy and Environment, Mohammed I University in OUJDA, Morocco

Abstract

Physics Virtual Labs are simulated learning environments software that allows students to complete laboratory experiments online or offline to explore concepts and theories without stepping into a physical science lab. Developing such software code is a long process, remains a hard task to achieve, and requires a skilled expert developer. Human free-hand sketches have been studied in various fields including sketch recognition, synthesis, and sketch-based image retrieval, etc. This paper will present a new sketch paradigm to generate simulation from Hand sketch. We propose a novel method that uses Convolutional Neural Networks (CNNs) Recurrent Neural Networks(RNN) combined with Laboratory as a Service (LaaS) in order to transform a user-drawing sketch into simulation code. Our approach is based on both SSD (Single Shot Detector) and Mobile-Net as features extraction for object identification in the sketch, called a corresponding web services, and finally regenerate a simulation software. Our method was trained and evaluated using the “Quick,Draw,and IAM” datasets. Experimental especially for Simulation for Mechanics of Materials results demonstrate that the approach achieved over 80 percent of accuracy.

Keywords: Sketch to code, Virtual laboratories, simulated learning environments, User Interface Simulation, CNN.

Introduction

Nowadays, online laboratories (remote and virtual) take an important role in Engineering Education particularly, in applied sciences. Where experimentation simulation is an essential operation in this area.

Virtual laboratory is a piece of software where students interact with a system through Graphical user interface (GUI) such as 2D drawables elements, interactive sketches, buttons, sliders, and input fields.

Moreover, sketching is an intuitive and powerful representation method for people to present their ideas. Despite its relatively concise and abstract character, sketch making is effective in a variety of situations such as communication and design. Even it is the principal means to outline and diagram user interfaces in the development of computer-based design tools [1].

With the development of technologies advances, the virtual laboratory has evolved and has gotten much attention from researchers, many solutions were provided from users to build and implement virtual laboratories, such as Ejss[2], LabVIEW[3], Simulink[4]: Adobe Flash, java Applet and others. However,

adopting such solution requires a high technical effort, specialists with programming skills and is a time-consuming process.

Recently Deep Learning has demonstrated its proficiency for different domains in Visual Recognition [6], such as Facial Point Detection [5], House Numbers Digit Classification [7], Multi-digit Number Recognition from Street View Imagery [8], object detection on the real images and freehand image (sketch). However, a free-hand sketch is fundamentally different from natural images; In particular, Sketches are typically abstract and stylized, depending on the user's artistic ability and containing only the most basic details. On the contrary, the real images contain rich characteristics such as background, colors...

Our contribution is a novel method based on a convolutional and recurrent neural network connected with Laboratory As a Service in order to generate a simulation code from sketched image as input. To achieve this, our work is divided into four essential steps:

first is recognition based on conventional and Recurrent neural network technology for identifying and detecting objects that exist (Elements, texts, values, bottom ...) in input image that drawn by user, we choose Single Shot Detector (SSD) [12] with MobileNet) [13] for computer vision and RNN for optical character recognition.

The second step is possessing which is based on paradigm Laboratory As a Service (LAAS) [9] [10] and modular components [11]. The end step is the regeneration of the experimentation simulation. This paper is structured as follows: in section 2 related works we present an overview of existing in the field of sketch-based deep learning. Section 3 describes the proposed approach. In Section 4 we elaborate our application for testing the approach proposed. Finally, a conclusion in section 5, gives some future work of the item.

Related works

In this section, we introduce the some applications in transformation of sketches into code. Furthermore, we present some studies where deep learning were used for sketch. The automatic generation of code from sketch images using Machine-learning algorithms is a new fields of research. Some related works in transformation of sketches into code are as follows Beltramelli [14] proposed a new method of transformation a screenshots into code based on deep learning. This model can generate a code from Screenshots for three platforms: web, iOS, and Android. It uses a Convolutional Neural Network (CNN) and Recurrent Neural Network (RNN) to convert the raw input image to a learned representation and performs language processing on the textual description of the matching image. In 2018 another application deals with the same subject proposed by Nguyen ET. al. named REMAUI [15] that automatically transform conceptual drawings into code for iOS and Android mobile devices.. REMAUI merges between computer vision algorithms and Optical Character Recognition (OCR) [16] to classify items from the input image, such as photos, messages, containers, buttons, inputs, and lists, and builds a new application that looks exactly like one of the input screenshot. In 2019, Alexander Robinson introduced a method name sketch2code [17] for generating websites from designs. The author of this paper provides two approaches for automating this interaction, one based on classic computer vision and the other on a novel use of deep learning segmentation networks, to convert sketches into code. In 2019 another application is proposed called Sketch2Code [18]. This work presents a novel approach utilizes Deep Neural Network which aims to convert a sketch into its corresponding User Interface. Sketch2Code converts a hand-drawn image on a white surface into a JavaScript Object Notation (JSON).This project produce UI code for a variety of platforms (web, Android and iOS). Another application named Sketch-Based Physics Tutoring Systems [19] is a framework proposed by Salman Cheema and Joseph J. LaViola Jr. in 2018 that offers animation support for a variety of physics topics. The objective is to create animations from a student's written response to a physics problem, giving visual feedback in the context of the problem. with the advance of deep learning many models are proposed on sketch field, included sketch classification [20], sketch recognition [21–22], sketch-based image retrieval(SBIR). [23] and sketch-based 3D model retrieval [24] . Yue

et al [25] proposes a novel deep CNN named Sketch-a-Net for hand-drawn sketch recognition. This CNN is based on sequential stroke in sketches, and Applying joint Bayesian fusion, for merging a multi-scale Sketch-A-Net ensemble. L. Li[26] propose a new method named Sketch-R2CNN integrating CNN on top of RNN, utilize a vector sketch with assembled sequences of points as input. And applies Recurrent Neural Network (RNN) in vector space for stroke attention estimation and a CNN for pixel space 2D feature. Prabhu et al. [27] proposed an approach based on the distribution-aware binarization of neural networks. Sarvadevabhatla et al. [28] proposed an approach for sketch recognition that applies an RNN network that makes use of the sequential process of drawing, by plotting each training sketch as a linear sequence of cumulative stroke of sketches. However, various contributions in sketch generation, such as The Generative Adversarial Networks (GANs) [29], have demonstrated impressive results on photo image-to-sketch synthesis. The basic goal of GANs is to develop excellent data representations using two networks: a generative network and a discriminative network. Several algorithms were presented. Such as DCGAN [30], StackGAN [31], WGAN [32], CGAN [33], Laplacian Pyramid GAN (LAPGAN) [34], cycle GAN [35], Dual GAN [36] were a derivative of GANs.

Methodology of “sketch to simulation”

In this section we present the “sketch to simulation” architecture consisting of five steps, we give the details of each step in the following subsections.

Pipeline of the Proposed Architecture:

Our contribution “sketch to simulation” is a novel method based on CNN and RNN combined with LaaS allowing us to transform a sketch as input into simulation code. To achieve this goal, we divided our solution into four steps. The pipeline of our proposed model as shown in Fig. 1. First step is a web based white paint interface where user draw an experience. Second step is Detection /Recognition to understand the input sketch and deducing the items present (Elements, positions, texts, values ...). The third step processing is responsible for providing all services called. The last step regeneration represents a decoder which building an output simulation code in user web browser.

Our model takes a sketch as an input, firstly the input sketch will go to block recognition which consists of three sub-parts, the first based convolutional neural network is to extract and identify the elements present, second concern optical character recognition(OCR) we adopted a Recurrent neural network for inferring different kinds of hand-written such as (text, numbers,...) and finally use the result of both previous parts to generate a file contains a description of input sketch, in this case, we choose a JSON format. The output of previous block ”recognition” is considered as input to third step Processing, in this step, a process request-response method is enabling between the “input file” and virtual laboratory which is based on the Laboratory as a service (LaaS) [8][37] and smart device laboratory paradigms. for implementing a laboratories as independent elements and developing them as a set of services to be utilized an abstract level and virtualization. And finally, a decoder will generate an output simulation code.

Step 1: Input Image

An input image is a sketch drawn by users on a white paint background using his/her mouse or stylus of graphic tablet. This sketch consisting of one or more objects and descriptions of the sketch experimentation such as values, functions.... The input sketch have a dimensions 64*64 pixels.

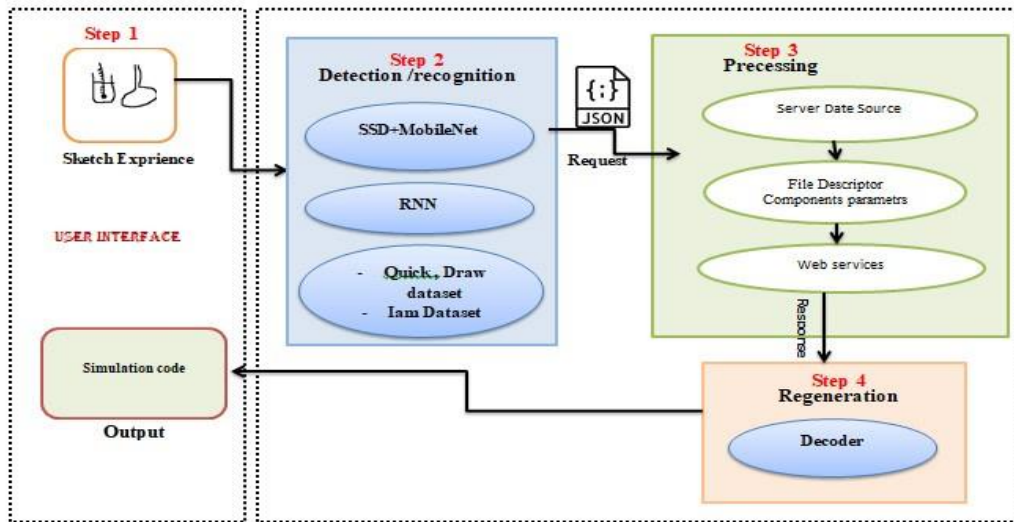


Fig. 1 Model Pipeline Architecture

Step 2: Detection/Recognition

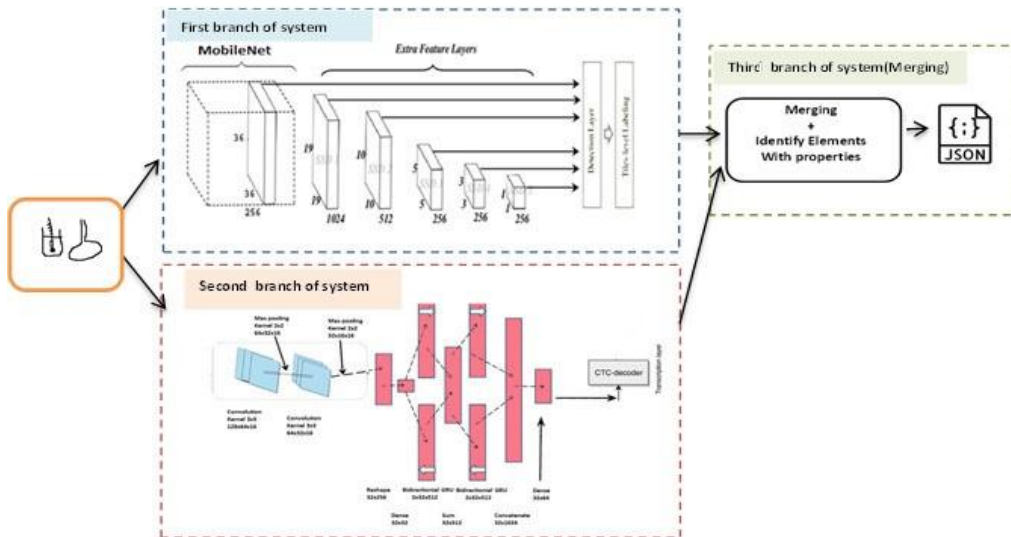


Fig.2. Detection Recognition Model Architecture.

A sketch can be contained by both hand-drawn images and handwritten text. For this reason, we propose a two-branch neural network (fig.2) that combines computer vision and character optical recognition (OCR).

Computer vision: The first branch, shown in Figure 2, is composed of two main parts: features extraction and objects detection. In this work, we used Mobile-Net as a feature extractor and Single Shot Detector SSD as a convolutional object detector.

Optical Character Recognition: The network (second branch) begins with two convolution layers, followed by maximum pooling. The convolution stride is 1 and the max-pooling stride is 2. The first convolution layer employs 32 convolution filters to construct the convolution output matrix’s 32 dimensions. The result is scaled to be a two-dimensional matrix after the second max pooling; a dense layer in a direction, other than the temporal direction, will reduce the dimension of this matrix.

The two neural networks have been trained independently. In this work in the first branch, we used a convolutional object detector SSD was created by Wei Liu in 2016 [12] with pre-trained Model “MobileNet” [13] for computer vision, model developed for use in mobile and embedded vision systems. Was developed to enhance the real-time performance of deep learning. Therefore, in the second branch, we utilize Recurrent Neural Network layers with CTC for Optical Character Recognition. Finally, we concatenate their results to obtain a merging representation.

Merging branch: Result of recognition detection step is a merging process that is used to concatenate the results of two previous steps computer vision and OCR to structure outputs representation features found in input sketch. This output is a set of information that represent the notations of the sketch. In this case, we used JavaScript object notation (JSON) format.

Step 3: Processing

In this section we will explain the communication process between the generated file by the previous steps and the laboratory provider. The main idea is the adoption of a Deconstruction Modular laboratory paradigms [37] allowing to separate all functionalities from each other, and Laboratory as a service LaaS aims to convert laboratories into a set of services. This process builds through an API that is responsible to transfer the parameters by means of sending the request and receiving responses. The virtual laboratory provider researches the “services description file” in a database using a request defined according to information that exists in (file.json). all services provided by the laboratory are composite in “service description file”. Moreover, LAAS is exposed as a set of web services RESTful HTTP, each service representing a virtual laboratory element. The internal specifics of these web services are masked to the final service consumer. The output of this block is a set of customized services according to the user’s needs. Each service is a table describing all configurations that the smart element provides and each element is identified by the ID, the full name, and description of all functions.

Step 4: Regeneration

The automatic generator is a decoder that generates a simulation code using the configuration obtained from the web server. For this contribution, we deployed a generator based on the NodeJS server, and for connection between the client and the Server, we utilized WebSocket. Since we are using web services, we have chosen HTML/JavaScript as an output code. Which can be executed on any modern web browsers. It is worth mentioning that the method does not generate HTML directly; instead, they employ a domain-specific language (DSL) to represent the structure of the functions.

Experimental setup

Datasets: Our proposed method is trained on sketch datasets: QuickDraw dataset and Iam for OCR.

QuickDraw [38]: Google publicly released a Quick, Draw! dataset containing over 50 million images across 345 categories.

Iam [39] : As part of the execution of the proposed framework for handwriting recognition, we are looking into the use of a large dataset including images of handwritten text. This dataset is composed of over 1500 scanned text pages handwritten by 657 different writers, submitted by 657 authors. this dataset is divided into three parts: for training set has 747 documents (6,482 lines), in the validation set contains 116 documents (976 lines) and the test set has 336 documents (2,915 lines).

Subjects and Experiment Procedure

We conducted our experiments with 20 students to obtain the performance of our proposed system sketch to simulation”. We recruited these participants (10 female and 10 male) from the specialized technician level, for our informal evaluation. The participants were chosen using convenience sampling and were between 18 and 22 years of age. All participants had studied physics cours of (Mechanics of Materials). Each participant took 30–45min to complete the experiment tasks. First students were given an explication about the system’s functionality. We demonstrate how to sketch experiences using there mouse, as well as the use of comments (arrows, texts, variables...). Participants were invited to provide three examples of each experience. We used these examples to evaluate our proposed system.

Qualitative Results

To test and validate our previous architecture we have developing our first system for some basic experiments in MECHANICS OF MATERIALS and power domain (Conical Pendulum, Power Applied on Ballistic Pendulum, Fall of a Ball with a limit speed, Newton’s Pendulum, Atwood Machine ...). The obtained results as shown in Table1 present some simulations realized with the proposed approach.

Title	sketched Experience	Generated Simulation	Description
Conical pendulum		<p>Conical pendulum</p>	<p>A mass M is attached to an inextensible wire of length L and of negligible mass. The other end of the wire is attached to a vertical axis which rotates at the uniform angular speed ω. α is the angle between the wire and the vertical. The mass M is subjected to the force F resulting from its weight P and the tension of the thread T. $F = P + T$.</p>
power applied on ballistic Pendulum			<p>The ballistic pendulum is a device which makes it possible to determine the speed V of a projectile of mass m. This projectile is sent into a block of mass M much greater than m. The block M is suspended by two rods of the same length L and of negligible mass. The whole constitutes a pendulum which can oscillate in the figure plane.</p>

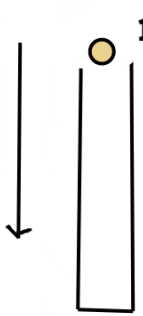
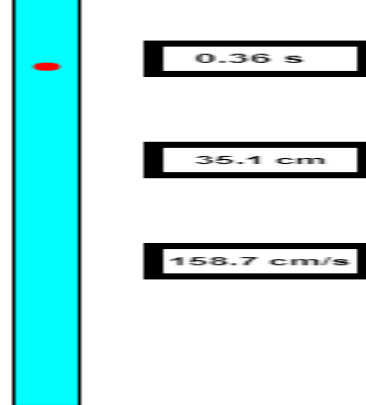
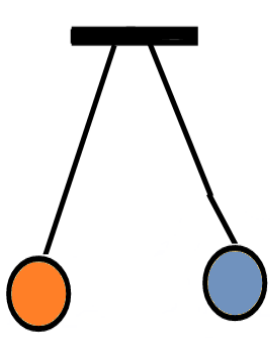
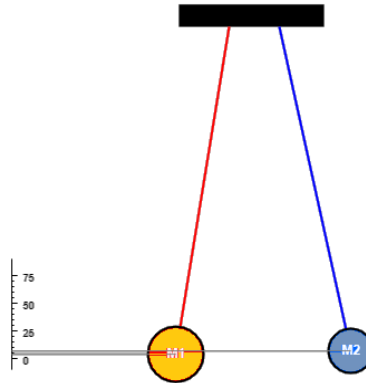
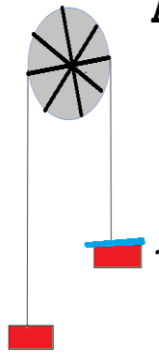
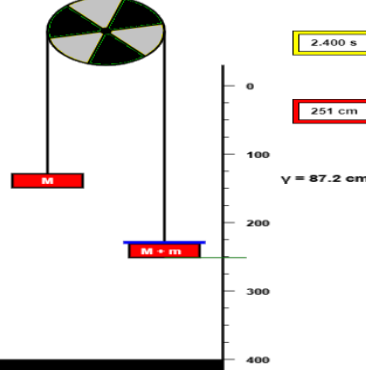
<p>Fall of a ball with a limit speed</p>	<p>Fall of ball</p>  <p>$m = 7 \text{ g}$ $R = 2 \text{ cm}$</p>	 <p>0.36 s 35.1 cm 158.7 cm/s</p>	<p>We consider a ball of density $m = 7 \text{ g}$ and 2 cm of radius R. We drop (without initial speed) this ball in a tube filled with glycerin (density $\mu = 1.24 \text{ g / cm}^3$ and viscosity $\eta = 10$ poises at room temperature). The dimension of a viscosity is $M. L^{-1}. T^{-1}$. The poise corresponds to $1 \text{ gram} \cdot \text{second}^{-1} \cdot \text{centimeter}^{-1}$;</p>
<p>Newton's Pendulum</p>	 <p>$m = 2$</p>	 <p>75 50 25 0</p> <p>M1 M2</p>	<p>We consider two simple pendulums made up of steel spheres of masses M_1 and M_2. Suspensions of the same length are bifilar to force the spheres to move in a plane. At equilibrium, the two spheres are tangent. We set $K = M_1 / M_2$. The sphere M_1 is moved away from its position of equilibrium by raising its center of gravity by the height h_1 and it is released without initial speed. Show using the conservation of mechanical energy that at the moment of impact with M_2, the speed of the mass M_1 is equal to: $V_1 = (2 \cdot g \cdot h_1)^{1/2}$.</p>
<p>Atwood Machine</p>	<p>Atwood Machine</p>  <p>$m = 25 \text{ g}$</p>	 <p>2.400 s 251 cm $v = 87.2 \text{ cm/s}$</p> <p>0 100 200 300 400</p> <p>M M + m</p>	<p>Atwood machine allows the study of falling bodies with a low value of acceleration. Two identical masses M are connected by an inextensible wire passing over a pulley of radius R of mass M_p and moment of inertia I. We neglect the mass of the wire, friction and air resistance and we assume that the wire does not slip on the pulley.</p>

Table 1. Presentation of some simulations generated by our system

Discussion

Our contribution is the recognition of shapes, texts, and numeric values. The system utilizes the text and values to provide more information in order to make a better representation of the sketch. Processing step is used to add meaning and context to identify elements, their properties, associated values for each parameter and

provide the desired service. Moreover, our prototype is deconstructed and modular for: Creation of customized simulations, Add more services and improvements to each step in isolation.

The efficiency and power of our approach are the combination methods between sketch analysis (recognition/detection of shapes, optical character recognition) and the use of laboratory as a service. It should be mentioned this approach is applicable for all areas such as chemistry, electricity ...)

These results are interpreted for the following reasons:

- The bad recognition of the values affect the configuration of the experience - the bad detection of the elements in the sketch effect regeneration of errors services
- CSS Color of our simulation is not customized in our prototype. we used the default colors.

CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

We proposed a new architecture called sketch-to-simulate based on deep Neural Networks a novel method to generate a simulation in virtual laboratory given a sketch of experiment as input. Our approach was trained, tested, evaluated on a relatively dataset quick draw and IAM. The future work is to create a dataset that concerns only scientific labs and also, we try to evolve our model to prolong to create a complete software based on our dataset and to create online laboratories and regenerate interfaces web-based on the intelligent screenshot.

References

- [1] Wang,Z., Shang. Y., Liu. J. and Wu X. A LabVIEW based automatic test systemfor sieving chips, Measurement402–410, January 2013.
- [2] de la Torre, L., Sanchez, J., Andrade, T.F., Restivo, M.T.: Easy creation and deployment of javascript remote labs with ejss and moodle. In: 2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV). pp.260–261. IEEE (2016).
- [3] MathWorks Inc. Natick, Massachusetts, Matlab (<https://www.mathworks.com/>).
- [4] Hearst, M. A.; Gross, M. D.; Landay, J. A.; and Stahovich, T. F. 1998. SketchingIntelligent Systems. IEEE Intelligent Systems 13(3):10–19.
- [5] Sun Y, Wang X, Tang X. Deep Convolutional Network Cascade for Facial Point Detection[C]// Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2013 IEEE Conference on. IEEE, 2013:3476-3483.
- [6] Lecun Y, Kavukcuoglu K, Farabet C. Convolutional networks and applications invision[C]// Circuits and Systems (ISCAS), Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on. IEEE, 20 10:253 - 256.
- [7] Lecun P S. Convolutional Neural Networks Applied to HouseNumbers Digit Classification[C]// Pattern Recognition (ICPR), 2012 21st International Conference on. IEEE, 2012:3288 - 3291.
- [8] Goodfellow I J, Bulatov Y, Ibarz J, et al. Multi-digit number recognition fromstreet view imagery using deep convolutional neural networks[J]. arXiv preprint arXiv:1312.6082, 2013.
- [9] M. Tawfik et al., “Laboratory as a Service (LaaS): a Novel Paradigm for Developingand Implementing Modular Remote Laboratories,” Int. Journal of Online Engineering, vol. 10, no. 4, pp. 13–21, 2014.
- [10] C. Salzmann, S. Govaerts, W. Halimi, and D. Gillet, “The SmartDevice specification for remote labs.” IEEE, Feb. 2015, pp.199–208.

- [11] L. Tobarra et al., "Creation of Customized Remote Laboratories Using Deconstruction," in *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 10, no. 2, pp. 69-76, May 2015, doi: 10.1109/RITA.2015.2418011.
- [12] W. Liu, D. Anguelov, D. Erhan, C. Szegedy, S. Reed, C.-Y. Fu, and A. C. Berg. Ssd: Single shot multibox detector. In *European Conference on Computer Vision*, pages 21–37. Springer(2016).
- [13] A. G. Howard et al., "MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications," 2017
- [14] T. Beltramelli : pix2code: Generating code from a graphical user interface screenshot . *Proceedings of the ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems*. ACM, p. 3 (2018).
- [15] T. A. Nguyen and C. Csallner : Reverse engineering mobile application user interfaces with remaui . in *Automated Software Engineering*, 2015 30th IEEE/ACM International Conference on. IEEE, pp. 248–259 (2018).
- [16] G. Nagy, T. A. Nartker, and S. V. Rice : Optical character recognition: An illustrated guide to the frontier . in *Document Recognition and Retrieval VII*, vol. 3967. International Society for Optics and Photonics, pp. 58–70 (1999).
- [17] A. Robinson. sketch2code: Generating a website from a paper mockup. arXiv:1905.13750v1 [cs.CV] 9 May 2019.
- [18] V. Jain, P. Agrawal, S. Banga, R. Kapoor and S. Gulyani : Sketch2Code: Transformation of Sketches to UI in Real-time Using Deep Neural Network . arXiv:1910.08930v1 [cs.CV] (20 Oct 2019).
- [19] Cheema S., LaViola Jr. J.J. (2018) Using Animation to Enrich Learning Experience in Sketch-Based Physics Tutoring Systems. In: Kapros E., Koutsombogera M. (eds) *Designing for the User Experience in Learning Systems*. Human–Computer Interaction Series.
- [20] Schneider, R.G., Tuytelaars, T.: Sketch classification and classification-driven analysis using fisher vectors. *ACM Trans. Graph.* 33(6), 174:1–174:9 (2014).
- [21] Li, Y., Song, Y., Gong, S.: Sketch recognition by ensemble matching of structured features. In: *British Machine Vision Conference (BMVC)*, pp. 1–11 (2013).
- [22] Sarvadevabhatla, R.K., Babu, R.V.: Freehand sketch recognition using deep features. *Computer Science* (2015).
- [23] Zhang, Y., Qian, X., Tan, X.: Sketch-based image retrieval using contour segments. In: *IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing* (2015).
- [24] Wang, F., Kang, L., Li, Y.: "Sketch-based 3D shape retrieval using convolutional neural networks", *Eprint Arxiv* (2015).
- [25] Q. Yu, Y. Yang, Y.-Z. Song, T. Xiang, T. Hospedales, Sketch-a-net that beatshumans, in: X. Xie, M.W. Jones, G.K.L. Tam (Eds.), *Proceedings of the British Machine Vision Conference (BMVC)*, BMVA Press. 2015, pp. 71–712.
- [26] L. Li, C. Zou, Y. Zheng, Q. Su, H. Fu, and C.-L. Tai, "Sketchr2cnn: An attentive network for vector sketch recognition," *arXiv preprint arXiv:1811.08170*, 2018.
- [27] A. Prabhu, V. Batchu, S. A. Munagala, R. Gajawada, and A. Namboodiri, "Distribution-aware binarization of neural networks for sketch recognition," in *WACV*, 2018.
- [28] R. K. Sarvadevabhatla, J. Kundu et al., "Enabling my robot to play pictictionary: Recurrent neural networks for sketch recognition," in *MM*, 2016.

- [29] T. Salimans, I. Goodfellow, W. Zaremba, V. Cheung, A. Radford, and X.Chen. 2016. Improved Techniques for Training GANs. ArXiv e-prints (June 2016). arXiv:1606.03498.
- [30] A. Radford, L. Metz, and S. Chintala, “Unsupervised representation learning with deep convolutional generative adversarial networks,” arXiv preprint arXiv:1511.06434, 2015.
- [31] H. Zhang, T. Xu, H. Li, S. Zhang, X. Wang, X. Huang, and D. Metaxas. 2016. StackGAN: Text to Photo-realistic Image Synthesis with Stacked Generative Adversarial Networks. ArXiv e-prints (Dec. 2016). arXiv:1612.03242.
- [32] M. Arjovsky, S. Chintala, and L. Bottou. 2017. Wasserstein GAN. ArXiv e-prints(Jan. 2017). arXiv:1701.07875.
- [33] M. Mirza and S. Osindero. 2014. Conditional Generative Adversarial Nets. ArXiv e-prints (nov 2014). arXiv:1411.1784.
- [34] Emily L Denton, Soumith Chintala, arthur szlam, and Rob Fergus. 2015. DeepGenerative Image Models using a Laplacian Pyramid of Adversarial Networks. In Advances in Neural Information Processing Systems 28. 1486–1494.
- [35] J.-Y. Zhu, T. Park, P. Isola, and A. A. Efros. 2017. Unpaired Image-to-Image Translation using Cycle-Consistent Adversarial Networks. ArXiv e-prints (March 2017). arXiv:1703.10593.
- [36] Z. Yi, H. Zhang, P. Tan, and M. Gong. 2017. DualGAN: Unsupervised Dual Learning for Image-to-Image Translation. ArXiv e-prints (April 2017). arXiv:1704.02510.
- [37] Tawfik, Mohamed , Salzmann, Christophe , Gillet, Denis , Lowe, David , Saliha Hassane, Hamadou , Sancris tobal, Elio , Castro,. ”Laboratory as a Service (LaaS): a Novel Paradigm for Developing and Implementing Modular Remote Laboratories”, International Journal of Online Engineering (iJOE) (2014).
- [38] J. Jongejan, H. Rowley, T. Kawashima, J. Kim, N. Fox-Gieg,”The Quick, Draw! A.I. Experiment”,<https://quickdraw.withgoogle.com/>, 2016.
- [39] U-V Marti , Horst Bunke : The iam-database : an english sentence database for offline handwriting recognition. International Journal on Document Analysis and Recognition,5(1) :39–46, (2002).



EXAMINATION OF THE REFRIGERATING PERFORMANCE FOR HEXAGONAL BORON NITRIDE NANOPARTICLES

Mustafa AKKAYA

Karamanoglu Mehmetbey University, Faculty of Engineering, Department of Energy System Engineering, Karaman/Turkey

Tayfun MENLİK

Gazi University, Faculty of Technology, Department of Energy System Engineering, Ankara/Turkey

ABSTRACT

With the increasing need for energy, energy efficiency has become crucial. Refrigerating systems are frequently used in industrial applications and our daily life. It is also important to use cooling systems efficiently. In this study, nanolubricants prepared with Hexagonal Boron Nitride (h-BN) nanoparticles in different mass fractions were used as compressor base liquid. While preparing nanolubricant in different mass fractions, 0.5% and 1.0% nanoparticles were added. In order to prevent precipitation, 0.5% surfactant was added to each nanolubricant. In the refrigeration machine, instead of pure Polyol Ester (POE) in the compressor, while using h-BN nanoparticles at a 1.0% mass fraction and Triton X-100 (TX-100) surfactant material at a 0.5% mass fraction and nanolubricant consisting of a mixture of the base liquid POE, the Coefficient of Performance (COP) enhanced by 45.69%, and the compressor energy expenditure reduced by 28.69%.

Keywords: Energy Performance, Refrigerating System, h-BN, TX-100.

1. INTRODUCTION

According to the report published by the International Energy Agency (IEA) in 2019, it is estimated that the energy demand in the world will increase by 2.1% per year until 2040. According to the report, in terms of the total final consumption of electrical energy, it is predicted that the 19% rate in 2018 will increase to 24% in 2040. Additionally, it is predicted that CO₂ emissions will decrease with energy efficiency and environmentally friendly energy consumption. In the World Energy Outlook Report of IEA, it was stated that, with the energy efficiency studies conducted around the world, the increasing energy demand would be balanced to a great extent [1,2]. It is known that cooling systems, we frequently use in industrial applications and our life, consume energy intensively. For this reason, efficiency studies in cooling systems are essential.

Babarinde et al. stated that they tried to increase the efficiency of a refrigerating system by utilizing nanolubricant as the base fluid in the compressor in a refrigeration cycle operating with vapor compression. When graphene-added nanolubricant was operated in mineral oil, the COP enhanced, and the power efficiency was reduced [3]. Babarinde et al. stated in another experimental study that they used a vapor compression home refrigerator as the system. They used Multi-Walled Carbon Nanotube (MWCNT) particles and nanolubricants prepared at varying concentrations. As a result of the experiments, the COP value was the highest while using 0.6 g. L⁻¹ of MWCNT nanolubricant and the R600a refrigerant with 60 g of charge [4]. In their experimental studies, Anwar and Ronda pointed out that nanolubricants are frequently preferred as compressor oil in recent years. They added Al₂O₃ metal oxide in the sizes of 40-50 nm into the base liquid PAG. When different concentrations of nanolubricant were used in the compressor, an increase of up to 31% was reported in the COP value [5]. Nair et al. used a nanolubricant as a compressor in the cooling cycle in their experimental studies. The authors used PAG and Al₂O₃ metal oxide as the nanoparticle while preparing the nanolubricants. In the experiments using the R134a refrigerant and nanolubricant, an improvement was observed in the cooling capacity together with the higher condensation capacity [6]. Redhwan et al. aimed to increase the system performance by using a nanolubricant in a compact vehicle mobile air conditioning system. They observed that the nanolubricant prepared at a concentration of 0.010% by volume remained in perfect stability for a long time. As a consequence of the experiments, the cooling capacity was improved by 6.0%, the compressor operation was improved by 8.0%, and the COP value was improved by 33% [7]. Jatinder et al.

used a nanolubricant in a system to develop the efficiency of a home refrigerator. The performance curve for household refrigerators directly varied with the viscosity of the nanolubricant. In a similar study, the authors reported that they using LPG instead of the R600a refrigerant and compared their results to the study as mentioned earlier. As a result of this comparison, it was reported that the compressor discharge temperature decreased by approximately 41.92%, compressor power consumption decreased by approximately 33.33%, and the withdrawal time decreased by approximately 21.05% [8]. In cooling systems, nanolubricant and nanorefrigeration applications may be implemented to increase the performance and make the system work more efficiently. Increases in the COP value and decreases in energy consumption due to these applications in recent years were given in Table 1.

Table 1. Increase (%) in COP value and decrease in energy consumption depending on nanoparticle type

Ref. No	Study	Year	NPs	COP (%)	Energy Consumption (%)
[7]	Redhwan et al.	2019	Al ₂ O ₃	33.00	26.00
[8]	Jatinder et al.	2019	TiO ₂	62.54	33.33
[9]	Bandgar et al.	2016	TiO ₂	20.00	15.40
[10]	Sharif et al.	2018	TiO ₂ /SiO ₂	24.00	24.00
[11]	Adelekan et al.	2017	TiO ₂	12.00	13.70
[12]	Yusof et al.	2015	Al ₂ O ₃	19.06	2.10
[13]	Sabareesh et al.	2012	TiO ₂	17.00	11.00
[14]	Chauhan et al.	2019	TiO ₂	29.10	15.80
[15]	Soliman et al.	2019	Al ₂ O ₃	24.00	10.00
[16]	Zawawi et al.	2019	Al ₂ O ₃ /SiO ₂	59.91	9.35

In this study, the nanolubricant was used instead of POE in a compressor to provide energy efficiency in a cooling system. TX-100 surfactant and h-BN nanoparticles are used in the nanolubricant operated as the compressor oil. Homogeneous distribution of the h-BN nanoparticles used in the suspension was desired by using the surfactant material TX-100. The use of the surfactant material is distinctive for the application of the nanolubricant. Increasing the mass fractions of the h-BN nanoparticles in the suspension aims to improve the heat transfer properties of the base fluid, according to the literature. h-BN nanoparticles and the TX-100 surfactant material to prepare nanolubricant was a distinctive feature.

2. METHODOLOGY

2.1. Test Rig

In this paper, a refrigerating mechanism consisting of a compressor, evaporator, condenser, and expansion valve was used (*Deneysan Setup*). Our most important equipment in the test setup was the compressor. Our primary purpose in the study was to provide energy efficiency in the system. It is known that almost all of the energy in the refrigerating system is consumed by the compressor. There were temperature and pressure sensors to take measurements in the experimental setup. There were nine temperature sensors in the setup to measure the inlet and outlet temperatures of the essential equipment. The temperature sensors in the system were Pt-100 type thermocouples [17].

2.2. Properties of Nanoparticles and Nanolubricants

In this experimental research, while providing the nanolubricant, h-BN nanoparticles and TX-100 surfactant material were practiced in the base liquid. Nanofluids composed with h-BN nanoparticles are ceramic group nanofluids. Ceramic group particles are frequently used in nanolubricant and nanorefrigerant employment. Ceramic group nanofluids may be accomplished quickly and have more stable structural attributes in suspensions than other groups [18]. In the study, h-BN nanomaterials was used as particles in the nanolubricant used as the compressor lubricant. h-BN is a material with a different chemical structure and is classified in the ceramic group. This hexagonal structure of h-BN nanoparticles has versatile properties in the formation of

high chemical inertia and a high degree of in-plane thermal conductivity. Because of these features of boron nitride, it is thought to provide good results in heat transfer applications [19,20]. h-BN nanoparticles were a component with good chemical-electrical and thermal properties [21].

Scanning electron microscopy (SEM) was characterized to review the pre-form of agglomeration of boron nitride particles in the powder form prior to nanolubricant mixture. Material characterization was performed with SEM. As viewed in Figure 1, the h-BN nanoparticles had a platelet-like shape with an average size of 40-60 nm. In the study, X-Ray Diffraction (XRD) analysis was performed for the h-BN nanoparticles used in making the nanolubricant. The XRD plot is given in Figure 1.

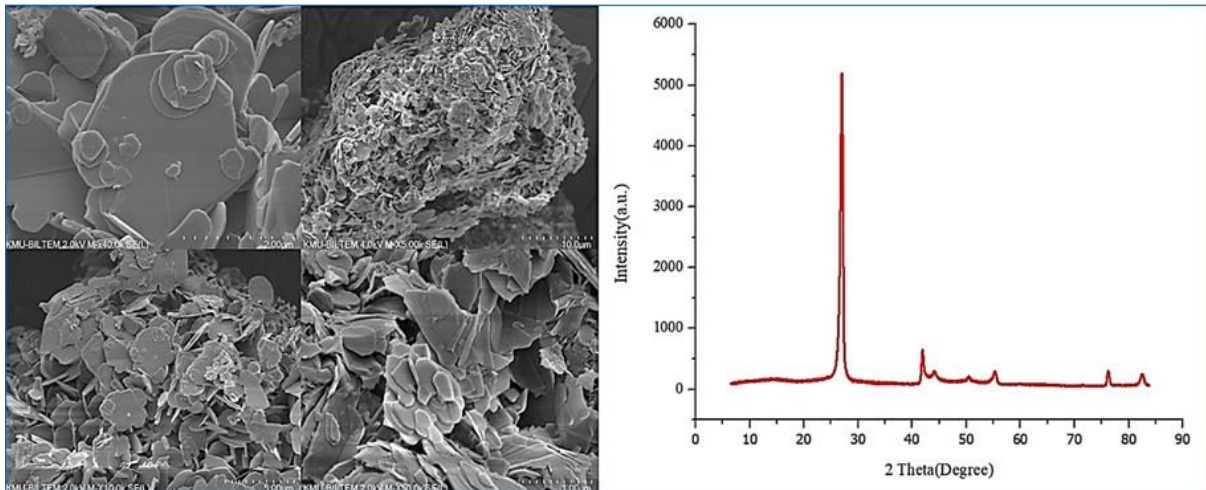


Fig.1. SEM pattern and XRD analysis of h-BN Nanomaterials

The XRD interpretation events for the nanoparticle were compatible with the literature. h-BN (002) peak between 20 and 30 degrees (theta), h-BN (100) and h-BN (101) peaks between 40 and 50 degrees (theta), h-BN (004) peak between 50 and 60 degrees (theta), and the peak of h-BN (110) in the range of 70-80 degrees (theta) are given in Figure 1 [22].

The nanolubricant suspension was mixed with an ultrasonic water bath (Kudos-Model: SK2210HP) for three hours and then mixed with a magnetic stirrer (Jeio Tech MS-32M) for about three hours. The nanolubricant was prepared using 0.5% and 1.0% mass fractions of h-BN nanoparticles and TX-100 surfactant material at a 0.5% mass fraction into the POE determined as the base liquid. The nanolubricants prepared as POE/0.5% h-BN/0.5% TX-100 and POE/1.0% h-BN/ 0.5% TX-100 are shown in Figure 2.

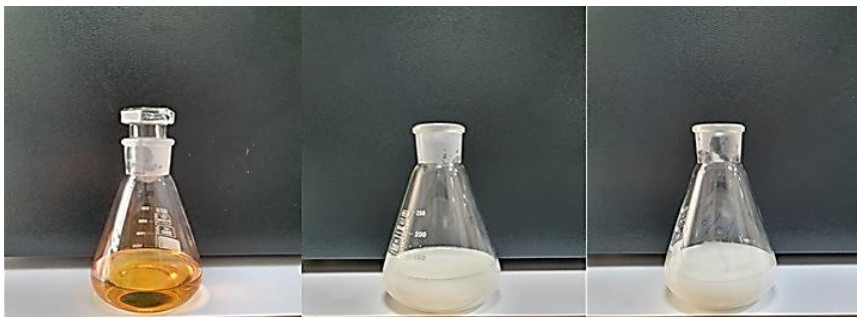


Fig.2. Nanolubricants prepared at different concentrations

3. RESULTS and DISCUSSION

This experimental study used the compressor working fluid in a cooling system: the base liquid POE, h-BN nanoparticles of different mass fractions, and nanolubricants prepared with the TX-100 surfactant. In the cooling system, 350 gr of the R134a refrigerant was charged. In order to enhance the reliability of the experiments, each experiment was repeated three times. As a consequence of the experiments, the numerical data acquired by operating the nanolubricants arranged at varying concentrations as the compressor oil was averaged. According to the averages of the determination results, the compressor capacity, the heat absorbed by the evaporator, and the cooling coefficients of performance were calculated thermodynamically. The practices are intended to increase the performance of the cooling cycle and reduce the amount of energy consumed. In order to reduce energy consumption, the nanolubricants prepared at different concentrations were used instead of the POE in the compressor. The effective fluid POE, nanoparticle h-BN, and surfactant TX-100 did not react, forming a hydrophobic suspension. It was observed that the h-BN nanoparticles used in the nanolubricant improved the heat transfer qualities of the suspension. When POE was used as the compressor lubricant, the power drawn by the compressor was calculated as 32.14 kJ.h^{-1} . The power absorbed by the compressor was calculated as 23.99 kJ.h^{-1} when the nanolubricant was prepared with the base liquid POE, 0.5% mass fraction h-BN particle, and 0.5% mass fraction TX-100 surfactant material was used as the compressor oil. When the nanolubricant was arranged with POE, 1.0% mass fraction h-BN nanoparticle and 0.5% mass fraction TX-100 was operated as the compressor lubricant; the compressor absorbed power was calculated 22.91 kJ.h^{-1} . When the nanolubricant was prepared using the base fluid POE, 1.0% mass fraction h-BN and 0.5% mass fraction TX-100 were used as the compressor lubricant, the power employed by the compressor decreased 28.69% compared to the performance of pure POE. Usage the nanolubricants provided at varying concentrations as the compressor; the amount of energy absorbed by the compressor is given in Figure 3.

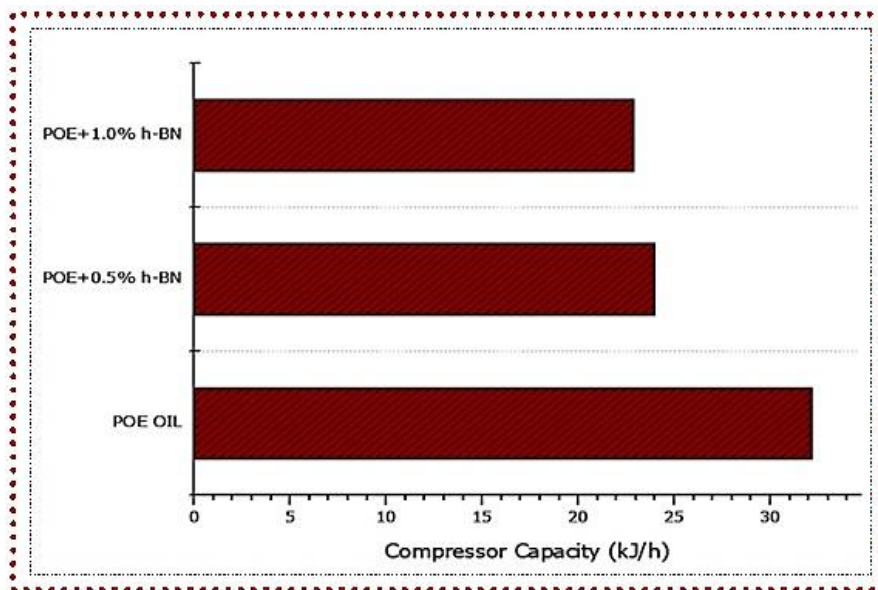


Fig.3. Variations in compressor capacity as a sequence of exercising POE/h-BN/TX-100 nanolubricants as compressor lubricant

When the nanolubricants prepared in separate concentrations were used as the compressor oil in the refrigeration cycle, the cooling coefficient of performance were also calculated, and comparisons were made. When pure POE was operated as the compressor oil in the refrigeration cycle, the COP value was reckoned as 3.83. The COP value was 5.36 when the nanolubricant prepared with the POE, 0.5% mass rate h-BN nanoparticle, and 0.5% mass fraction TX-100 surfactant material was employed in the system as the compressor. As the h-BN nanoparticle mass fraction in the suspension was increased to 1.0% and utilized as the nanolubricant, the COP was calculated as 5.58. When the h-BN nanoparticle mass fraction was used as

1.0% in the nanolubricant, the COP value was enhanced by 45.69% compared to pure POE. The effects of h-BN nanoparticles on the COP in the analyses are given in Figure 4.

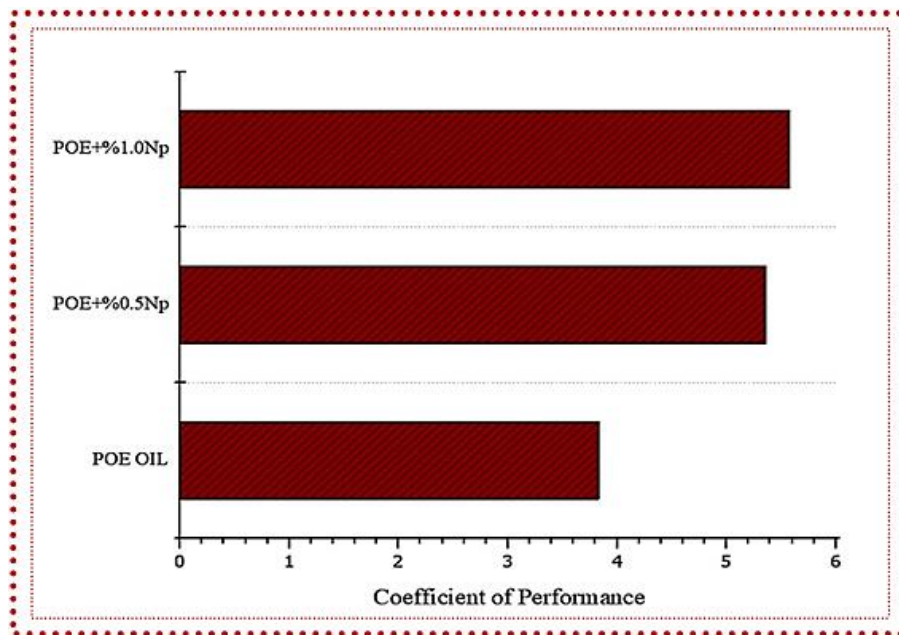


Fig.4. Variations in the cooling coefficient of performance as a sequence of exercising POE/h-BN/TX-100 nanolubricants as compressor lubricant

4. CONCLUSIONS

In this experimental study, nanolubricants arranged at varying concentrations were utilized as compressor oil. As a result of the experiments, the inlet-outlet temperatures of the cycle's compressor, evaporator, and condenser elements were evaluated. Additionally, low and high-pressure values, other important parameters for the system, were also evaluated. Based on the estimated temperature and pressure values, the compressor capacity and the cooling coefficient of performance parameters were calculated thermodynamically for the system. The power consumption of the compressor decreased for all concentrations. This is extremely important in terms of energy efficiency.

- In the study, for the cooling cycle, good results were obtained in terms of increasing the performance and using energy more efficiently. The system's COP rose by 45.69%.
- It was observed that the heat transfer properties of the working fluid POE were increased by using h-BN nanoparticles in the base liquid POE while preparing the nanolubricant.

Acknowledgments: This study is part of the Ph.D. thesis of Mustafa Akkaya, and the authors received support for nanoparticle analysis from the Scientific and Technological Studies Application and Research Center (Karaman-KMU/Turkey).

REFERENCES

1. Adib, R., Murdock, H. E., Appavou, F., Brown, A., Epp, B., Leidreiter, A., Farrell, T. C. (2015). *Renewables 2015 global status report*. Paris: REN21 Secretariat, 83, 84.
2. International Energy Agency (2019). URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019/electricity#abstract>, Son Erişim Tarihi: 10.10.2019.
3. Babarinde, T. O., Akinlabi, S. A., Madyira, D. M. and Ekundayo, F. M. (2020). Enhancing the energy efficiency of vapour compression refrigerator system using R600a with graphene nanolubricant. *Energy Reports*, 6, 1-10.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.11.031>

4. Babarinde, T. O., Akinlabi, S. A. and Madyira, D. M. (2020). Energy performance evaluation of R600a/MWCNT-nanolubricant as a drop-in replacement for R134a in household refrigerator system. *Energy Reports*, 6, 639-647.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.11.132>
5. Anwar, M. T. and Randa, R. (2020). Experimental study of vapour compression refrigeration system by using aluminium oxide nanoparticles as lubricant additive. *International Journal of Innovative Research in Technology*, 6(8), 83-88.
6. Nair, V., Parekh, A. D. and Tailor, P. R. (2020). Experimental investigation of a vapour compression refrigeration system using R134a/Nano-oil mixture. *International Journal of Refrigeration*, 112, 21-36.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2019.12.009>
7. Redhwan, A. A. M., Azmi, W. H., Sharif, M. Z., Mamat, R., Samykano, M. and Najafi, G. (2019). Performance improvement in mobile air conditioning system using Al₂O₃/PAG nanolubricant. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 135(2), 1299-1310.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7656-2>
8. Jatinder, G., Ohunakin, O. S., Adelekan, D. S., Atiba, O. E., Daniel, A. B., Singh, J. and Atayero, A. A. (2019). Performance of a domestic refrigerator using selected hydrocarbon working fluids and TiO₂-MO nanolubricant. *Applied Thermal Engineering*, 160, 114004.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114004>
9. Bandgar, M. S., Ragit, S. S., Kolhe, K. P. and Biradar, N. S. (2016). Effect of nano lubricant on the performance of vapour compression refrigeration system: A review. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 3(4), 56-59.
10. Sharif, M. Z., Azmi, W. H., Mamat, R. and Shaiful, A. I. M. (2018). Mechanism for improvement in refrigeration system performance by using nanorefrigerants and nanolubricants—A review. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 92, 56-63.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2018.02.012>
11. Adelekan, D. S., Ohunakin, O. S., Babarinde, T. O., Odunfa, M. K., Leramo, R. O., Oyedepo, S. O. and Badejo, D. C. (2017). Experimental performance of LPG refrigerant charges with varied concentration of TiO₂ nano-lubricants in a domestic refrigerator. *Case Studies in Thermal Engineering*, 9, 55-61.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2016.12.002>
12. Yusof, T. M., Arshad, A. M., Suziyana, M. D., Chui, L. G. and Basrawi, M. F. (2015). Experimental study of a domestic refrigerator with POE-Al₂O₃ nanolubricant. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 11, 2243-52.
DOI: <http://dx.doi.org/10.15282/ijame.11.2015.7.0188>
13. Sabareesh, R. K., Gobinath, N., Sajith, V., Das, S. and Sobhan, C. B. (2012). Application of TiO₂ nanoparticles as a lubricant-additive for vapor compression refrigeration systems—An experimental investigation. *International Journal of Refrigeration*, 35(7), 1989-1996.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2012.07.002>
14. Chauhan, S. S., Kumar, R. and Rajput, S. P. S. (2019). Performance investigation of ice plant working with R134a and different concentrations of POE/TiO₂ nanolubricant using experimental method. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 41(4), 163.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s40430-019-1657-3>
15. Soliman, A. M., Rahman, A. K. A. and Ookawara, S. (2019). Enhancement of vapor compression cycle performance using nanofluids. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 135(2), 1507-1520.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7623-y>

16. Zawawi, N. N. M., Azmi, W. H., Sharif, M. Z. and Shaiful, A. I. M. (2019, January). *Composite nanolubricants in automotive air conditioning system: An investigation on its performance*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Pahang (Malaysia), 12078.
17. Akkaya M., Menlik T. and Sözen A., “Performance enhancement of a vapor compression cooling system: an application of POE/Al₂O₃”, *Journal of Polytechnic*, 24(3): 755-761,(2021).
DOI: 10.2339/politeknik.679563
18. Karakaya, U. (2018). *Nano mineralojik akışkanların termofiziksel özellikleri ve ısı sistemdeki performans etkisi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 7-18.
19. Ilhan, B. and Ertürk, H. (2017). Experimental characterization of laminar forced convection of hBN-water nanofluid in circular pipe. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 111, 500-507.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.03.040>
20. Ilhan, B., Kurt, M. and Ertürk, H. (2016). Experimental investigation of heat transfer enhancement and viscosity change of hBN nanofluids. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 77, 272-283.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2016.04.024>
21. Kurt, M. (2014). *Experimental investigation of thermal and rheological behavior of hexagonal boron nitride nanofluids*. Master Thesis, Graduate Program in Mechanical Engineering Boğaziçi University, 111 s.
22. Wang, J., Zhang, L., Zhao, G., Gu, Y., Zhang, Z., Zhang, F. and Wang, W. (2011). Selective synthesis of boron nitride nanotubes by self-propagation high-temperature synthesis and annealing process. *Journal of Solid State Chemistry*, 184(9), 2478-2484.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2011.07.026>



RADYANT ISITICILARDA BORU ÇAPININ YANMAYA VE ISI TRANSFERİNE ETKİSİNİN NÜMERİK İNCELENMESİ

Seyda ÖZBEKTAŞ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7399-733X>

Bilal SUNGUR

Samsun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7320-1490>

Özet

Isıma ile ısıtma sistemleri temel olarak yapı ve yanma sistemlerine göre yüksek yoğunluklu ve düşük yoğunluklu diye ikiye ayrılmaktadır. Hava-gaz karışımının atmosferik ortamda bir bek üzerinde yanması ve açık parlak alevin görüldüğü ısıtıcılar yüksek yoğunluklu, hava-gaz karışımının fanlı bir brülörle siyah boruların içinde yandığı ve alevin dışarıdan görülmediği ısıtıcılar düşük yoğunluklu ısıtıcılar olarak adlandırılmaktadır. Aynı kapasiteye sahip düşük yoğunluklu radyant ısıtıcılar yüksek yoğunluklu radyant ısıtıcılara göre daha düşük yüzey sıcaklığına sahiptirler. Bu durum, birim yüzeyden yayılan ışınım enerjisinin daha düşük olması anlamına gelmektedir. Ancak düşük yoğunluklu ısıtıcıların yüzey alanları yüksek yoğunluklu ısıtıcılara göre daha fazladır ve bu nedenle düşük yoğunluklu ısıtıcılar enerjisini daha geniş bir bölgeye yaymaktadır. Çalışma kapsamında bir oda içerisine yerleştirilmiş düşük yoğunluklu U tipi radyant borunun çapları değiştirilerek boru içerisindeki yanma ve dış ortamda meydana gelen değişimler Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği programı (HAD) ile nümerik olarak incelenmiştir. Çap değişiminin radyant ısıtıcı duvar sıcaklığına, radyant ısıtıcı içerisindeki sıcaklık dağılımına, dış ortamdaki sıcaklık dağılımına ve ısıtıcı verimine etkisi araştırılmıştır. Nümerik çalışmalarda Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) programı olarak Fluent paket programı kullanılmıştır. Hesaplamalar üç boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir. Türbülans modeli olarak Standart k-ε model, yanma modeli olarak eddy dissipation modeli ve radyasyon modeli olarak P1 model kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yanma, Radyant ısıtma, Isı transferi, Nümerik modelleme.

Abstract

Radiation heating systems are basically divided as high-intensity and low-intensity according to the structure and combustion systems. Heaters in which the air-gas mixture burns on a burner in an atmospheric environment and an open bright flame is visible are called high-intensity heaters, in which the air-gas mixture burns inside the black tubes with a fan burner and the flame is not visible from the outside, are called as low-intensity heaters. Low-intensity radiant heaters with the same capacity have lower surface temperatures than high-intensity radiant heaters and it means that the radiation energy emitted from the unit surface is lower. However, low-intensity heaters have a larger surface area than high-intensity heaters, and therefore, low-intensity heaters radiated their energy over a wider area. In the scope of this study, the diameters of a low-intensity U-type radiant tube placed in a room were changed and the combustion in the tube and the changes at the outside environment were numerically examined with the Computational Fluid Dynamics (CFD) program. The effects of diameter change on the radiant heater wall temperature, the temperature distribution inside the radiant heater, the temperature distribution at the outside environment and the heater efficiency were investigated. In numerical studies, the Fluent package program was used as CFD program. Calculations were carried out in three-dimensional conditions. The standard k-ε model was used as turbulence model, the eddy dissipation model was used as combustion model, and the P1 model was used as radiation model.

Keywords: Combustion, Radiant heating, Heat transfer, Numerical modelling.

GİRİŞ

Isıtma uygulamalarında genellikle, ısıtılacak nesne, yanma ürünleri veya alev ile doğrudan temas etmezler. Radyant borulu ısıtıcıların temel avantajları, fırındaki atmosferi etkin bir şekilde kontrol etmesi, oksidasyon ile yanma kaybını azaltması ve ürün kalitesinin iyileştirilmesi için bir fırında iş parçasını ve baca gazını izole edebilmesidir. Bu nedenle ısı işlem endüstrisindeki arıtma fırınlarında yaygın olarak kullanılırlar. Düz tip radyant borular ilk olarak 1930'lu yıllarda Almanya'da daha düşük termal verimlilik ve yüksek NO_x emisyonlarıyla icat edilmiş ve kullanılmıştır. Daha sonra, U-tipi, W-tipi, P-tipi ve çift P tipi gibi sistemler yavaş yavaş geliştirilmiş ve demir ve çelik endüstrilerinde sürekli ısı işlem fırınları için yaygın olarak kullanılmıştır [1].

Ayrıca geleneksel ısıtma yöntemlerinin yetersiz kaldığı geniş, yüksek, yarı açık ve açık ortamların ısıtılmasında kullanılan oldukça etkili cihazlardır. Radyant ısıtma, sıcak bir objeden daha düşük sıcaklıktaki bir objeye elektromanyetik dalga enerjisi yoluyla enerji transferi prensibine dayanmaktadır. Kıızıl ötesi radyasyon bir objeyle temas ettiğinde ısı enerjisine dönüşmektedir. Radyant ısı ne kadar yoğun olursa, konforlu bir iç mekan iklimi için gerçek hava sıcaklığının o kadar az artırılması gerekir. Radyant ısıtma sistemlerinde sıvı yakıtlı brülörler de mevcut olmasına rağmen, genellikle gaz yakıtlar kullanılarak ateşleme işlemi gerçekleştirilir [2].

Radyant ısıtıcılar, en genel haliyle iki sınıfa ayrılırlar. Bunlar, yüksek yoğunluklu radyant ısıtıcılar ve düşük yoğunluklu radyant ısıtıcılardır. Yüksek yoğunluklu radyant ısıtıcılarda esas olarak gözle görülen çıplak alev ışınımı söz konusudur ve yüzey sıcaklıkları 1000 °C ve üzerinde sıcaklıktadır. Uygulamada ise genellikle düşük yoğunluklu radyant ısıtıcılar tercih edilir ve kullanılır. Düşük yoğunluklu radyant ısıtıcılarda yüzey sıcaklıkları en fazla 650 °C civarlarında olmaktadır. Düşük yoğunluklu radyant ısıtıcıların ana elemanları brülör, radyant tüp, reflektör, baca, vakum pompası olarak sıralanabilir [3].

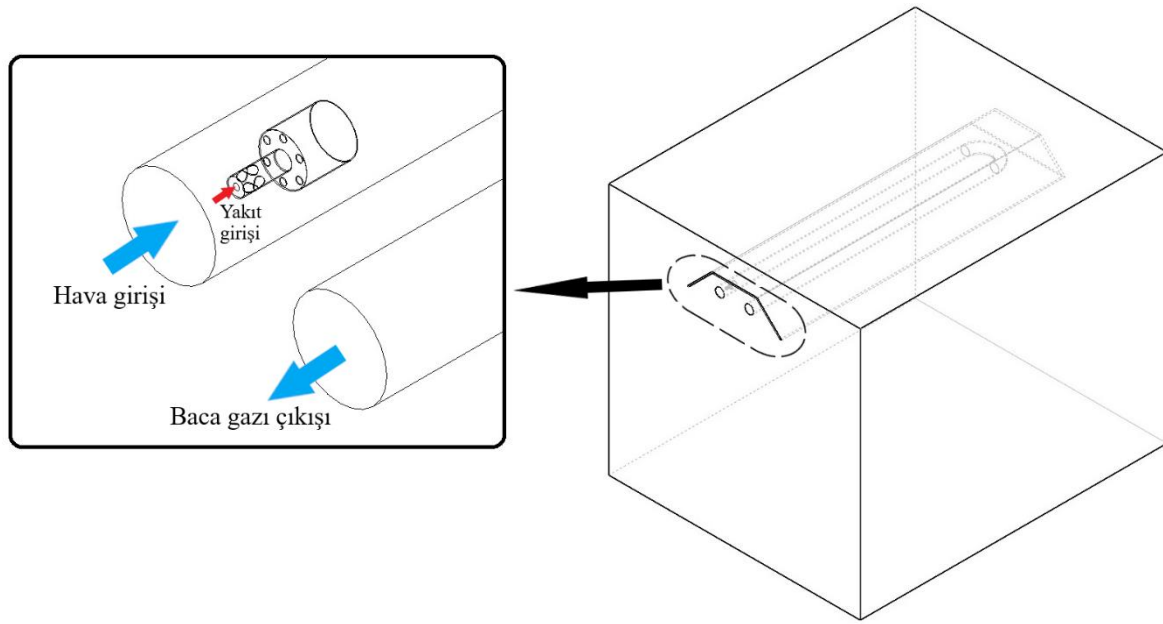
Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD), ısıtma sistemlerinin enerji optimizasyonu için kullanışlı bir araç olarak günümüzde oldukça sık olarak kullanılmaktadır. Bir sistemde değişiklik yapmadan önce maliyetli deneyler yürütme ihtiyacını önemli ölçüde azaltır ve deneysel olarak elde edilmesi zor olan bilgiler sağlar. Araştırmacılar tarafından yapılan birçok araştırmada radyant borulu ısıtma sistemlerindeki yanma ve ısı transferi olayları hem deneysel hem nümerik olarak incelenmiştir. Yapılan bu araştırmaların birçoğu endüstriyel fırın sektörü uygulamalarıyla ilişkilidir. Xu vd. [4] deneysel olarak düz borulu radyant ısıtıcının yatay ısıtma fırınındaki performanslarını incelemişlerdir. Garcia vd. düz tip resirkülasyonsuz radyant boruyu nümerik olarak modellemişlerdir [5]. Eddy Dissipation Concept (EDC) modeli ve Steady Diffusion Flamelet (SDF) modeli, karşılaştırma amacıyla kullanmışlardır. Belirtilen yanma modelleri ile beş kimyasal kinetik mekanizmayı ayrıca irdelemişlerdir. Nümerik hesaplamaları iki boyutlu eksenel simetrik şartlarda gerçekleştirmişlerdir. Tsioumanis ve ark. [6], yanma sürecini dikkate almadan düz tip rekuperatif bir radyant ısıtıcının nümerik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Simülasyonlarında üç farklı türbülans modeli kullanmışlar ve bunlardan elde ettikleri sonuçları deneysel hava akışı hızı ölçümleriyle karşılaştırmışlardır. Çalışmalarının sonucunda Standart k-ε modelinin kısmen daha iyi sonuçlar sağladığını belirtmişlerdir. Aynı yazarlar tarafından yapılan diğer bir çalışmada [7], yanma olayı dikkate alınarak radyant ısıtıcı duvarları boyunca sıcaklık profilleri ve NO_x emisyonları için deneysel verilerle tatmin edici sonuçlar elde etmişlerdir. Xu vd. [8] sonrasında yeni bir çift A tipi radyant ısıtıcıya dönüştürülen bir M tipi radyant ısıtıcının performansını incelemişlerdir. İki tip radyant ısıtıcının karşılaştırılması, çift A tipi radyant ısıtıcıda bulunan yanma gazlarının sirkülasyonunun yanma bölgesindeki maksimum sıcaklığı önemli ölçüde azalttığını ve boru boyunca daha homojen bir sıcaklık ürettiğini belirtmişlerdir.

Bu çalışma kapsamında kapalı bir iç mekana yerleştirilmiş U-tipi radyant ısıtıcının boru çapı değiştirildiğinde mekan içerisinde meydana gelen termal etkiler incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar sıcaklık dağılımları, radyant ısıtıcı borusu yüzeyindeki ve içerisindeki sıcaklık dağılımları, brülör etrafındaki vektörel hız dağılımları ve metan gazının kütleli konsantrasyonu açısından değerlendirilmiştir.

MATERYAL VE METOD

Çalışma kapsamında 250x205x206 cm boyutlarındaki bir odaya yerleştirilen U-tipi radyant ısıtıcının boru çapındaki değişiminin oda sıcaklığına olan etkisi nümerik olarak incelenmiştir. Bu amaçla 7 cm ve 12 cm olmak üzere iki farklı boru çapında radyant ısıtıcı modellenmiştir. Her iki modelde de boru çapı dışındaki tüm özellikler aynı olacak şekilde ayarlanmıştır. Radyant ısıtıcı borusunun uzunluğu 460 cm olup, boru yüzeyi ile

reflektör arasındaki mesafe 7 cm'dir. Reflektör tavandan 20 cm aşağıya yerleştirilmiştir. Modellenen geometri Şekil 1'de gösterilmektedir. Hava radyant ısıtıcı borusuna 7 ve 12 cm olan çapların tamamından giriş yapmaktadır. Daha sonra brülörde bulunan birincil ve ikincil hava bölgelerinden ilerleyerek yakıt ile karışmakta ve yanma gerçekleşmektedir. Hava-yakıt karışımının gerçekleştiği brülör, havanın giriş kesitinden 5 cm uzaklığa boru merkezinde yer alacak biçimde yerleştirilmiştir. Brülör içinde yakıt girişi çapı 0.45 cm olup yakıt olarak metan seçilmiştir. Giren havanın kütleli debisi hava fazlalık katsayısının 1.5 olduğu duruma göre hesaplanmış olup yakıt debisi ısı gücü 22 kW olacak şekilde ayarlanmıştır. Hava ve yakıt girişlerinde kütleli debi girişi (mass flow inlet), baca gazı çıkışında basınç çıkışı (pressure outlet) sınır koşulları seçilmiştir. Reflektör duvarında yama oranı (emissivity) 0.05 seçilmiştir. Oda duvarlarının hepsinde duvar (wall) sınır koşulu seçilmiş ve duvar sıcaklıkları 300 K girilmiştir. Oda ve radyant ısıtıcı borusunun kesiştiği ara yüzeylerde birleşik duvar (coupled wall) sınır koşulu uygulanmıştır. Radyant ısıtıcı borusunun içinde gerçekleşen yanmayı modellemek için eddy dissipation modeli, türbülansı modellemek için Standart k-ε modeli kullanılmıştır. Radyasyon modeli olarak P1 modeli seçilmiştir. Basınç-hız bağlantısı için SIMPLE (basınca bağlı denklemler için yarı kapalı yöntem) algoritması benimsenmiştir. Yakınsama kriteri tüm denklemler için 10^{-6} olarak girilmiştir.



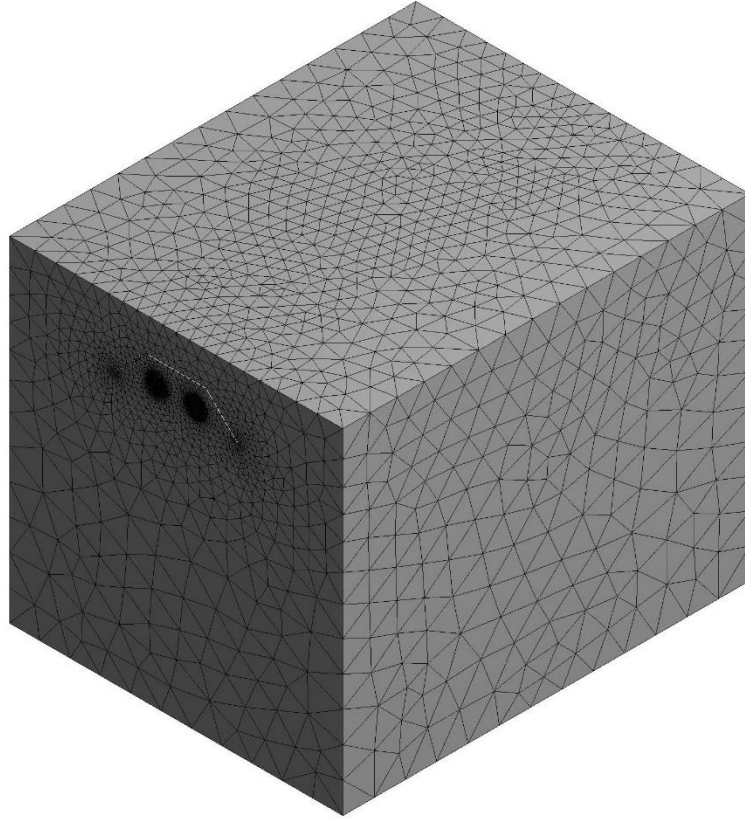
Şekil 1. Radyant ısıtıcı odanın şematik görünümü

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) ile problemlerin çözümünde geometrinin ağ yapısıyla örülmesi gerekmektedir. İyi bir ağ yapısında ortalama eleman kalitesi (element quality) ve ortogonal kalitenin (orthogonal quality) 0.75-1 değerleri arasında olması istenirken, ortalama çarpıklık (skewness) değerinin 0-0.25 değerleri arasında olması istenmektedir [9]. Oluşturulan her iki geometri için ağ yapısı özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde iyi bir ağ yapısı için gerekli şartların sağlandığı görülmektedir.

Tablo 1. Oluşturulan geometrilerin ağ yapısı özellikleri

Radyant boru çapı	7 cm	12 cm
Ortalama eleman kalitesi	0.837	0.842
Ortalama çarpıklık	0.229	0.2216
Ortalama ortogonal kalite	0.768	0.776
Nokta sayısı	506581	971071
Eleman sayısı	2944352	5714382

Ağ yapısı oluşturma işleminde dörtyüzlü (tetrahedral) eleman yapısı kullanılmıştır. Yanmanın gerçekleştiği U-tipi borunun içerisi küçük boyutlarda ve yoğun bir ağ yapısıyla örülürken, çözüm süresinden de tasarruf etmek amacıyla oda içerisi daha büyük ve daha az yoğunlukta bir ağ yapısıyla örülmüştür. Radyant ısıtıcı odanın ağ yapısının izometrik görünümü Şekil 2’de gösterilmiştir.

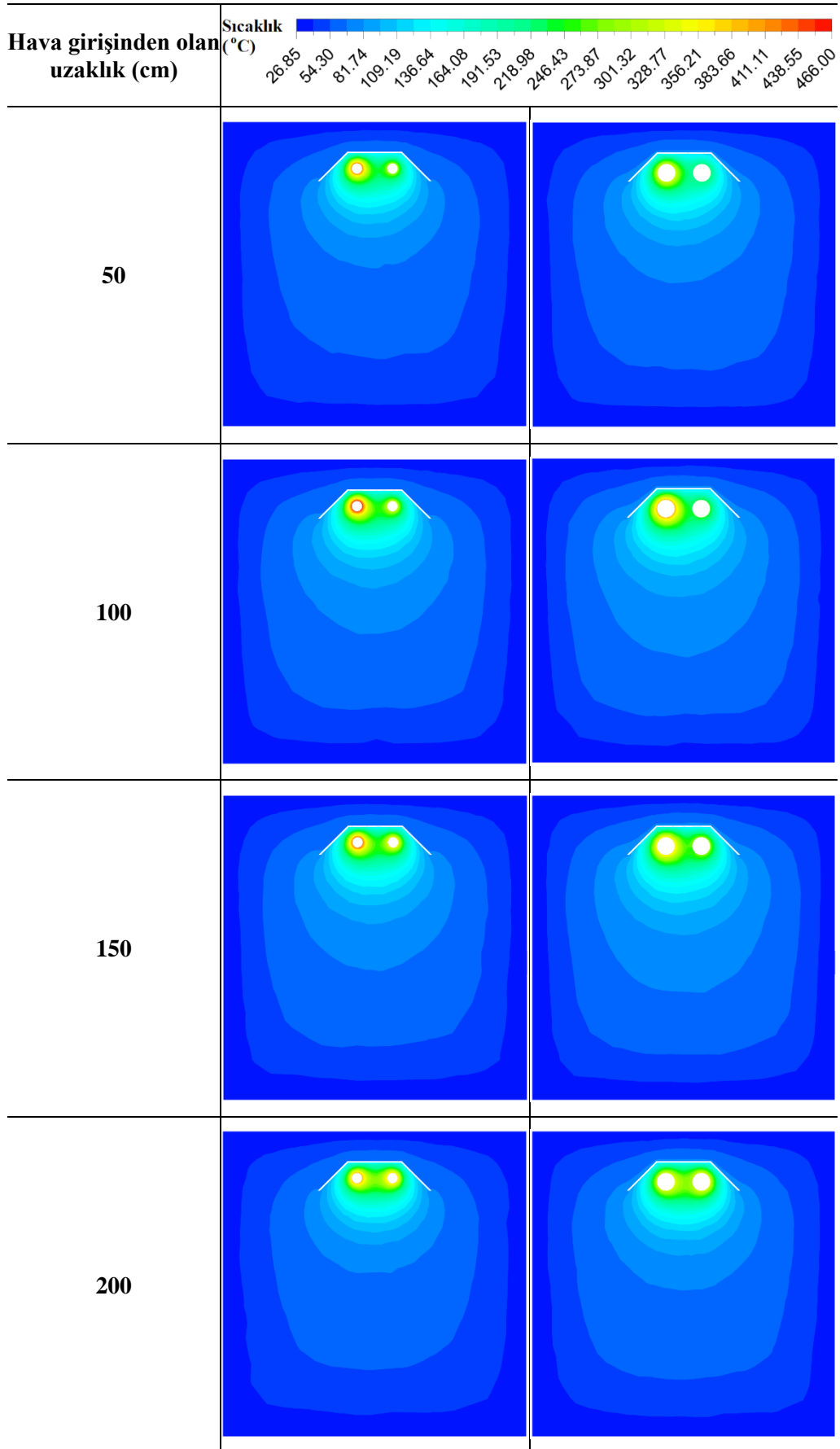


Şekil 2. Radyant ısıtıcı odanın ağ yapısı

ARAŞTIRMA ve BULGULAR

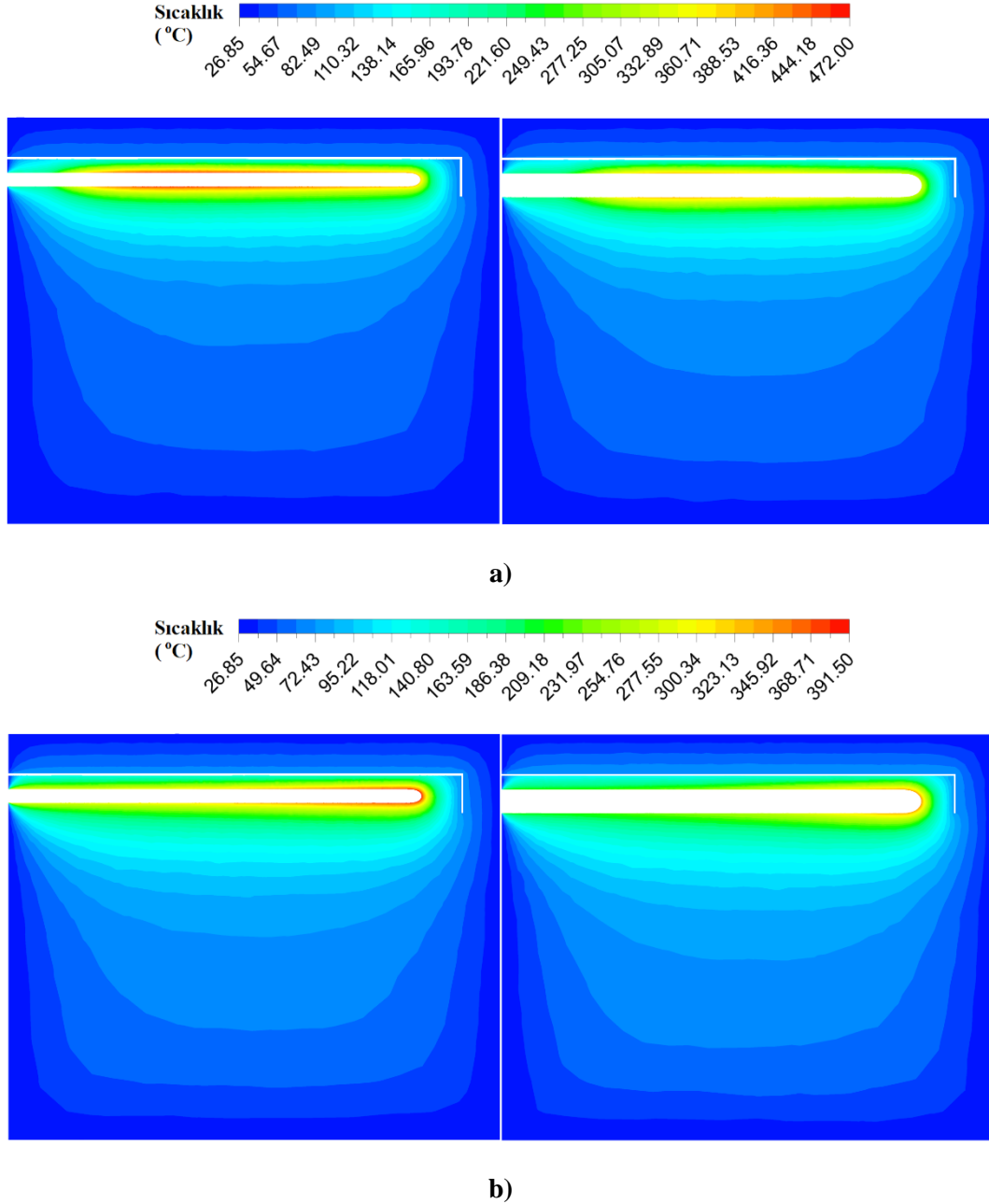
Bu çalışmada kapalı bir iç mekana yerleştirilmiş U-tipi radyant ısıtıcının boru çapı değiştirildiğinde mekan içerisinde meydana gelen termal etkiler incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar oda içerisinde farklı düzlemlerde meydana gelen sıcaklık dağılımları, radyant ısıtıcı borusu yüzeyindeki ve içerisindeki sıcaklık dağılımları, brülör etrafındaki vektörel hız dağılımları ve metan gazının kütleli konsantrasyonu açısından değerlendirilmiştir. Ayrıca oda içerisinde belirlenmiş 9 noktada zeminden tavana doğru doğrusal yöndeki sıcaklıkların grafikleri çizdirilmiş ve her iki boru çapı için bu değerler karşılaştırılmıştır.

Şekil 3’te radyant ısıtıcının hava girişinden 50, 100, 150 ve 200 cm uzaklıktaki XY düzlemlerinde, oda içinde meydana gelen sıcaklık dağılımları gösterilmiştir. Şekildeki sıcaklık dağılımları incelendiğinde kapalı bir mekan olması ve boru yüzeyinde meydana gelen ısı transferinin etkisiyle havanın ısındığı görülmüştür. Boru yüzeyinin çevresindeki hava sıcaklıkları incelendiğinde en yüksek sıcaklık 100 cm uzaklıktaki düzlemde meydana gelmektedir. Bunun sebebi alevin bu bölgede oluşmasıdır. Diğer taraftan en düşük sıcaklıklar ise 200 cm uzaklıkta meydana gelmektedir. Oda içerisinde sıcaklıklar reflektörün etkisiyle zemine doğru yayılmıştır. Her iki model incelendiğinde 12 cm boru çapı olan modelden elde edilen sıcaklıkların ortama daha çok yayıldığı görülmüştür.



Şekil 3. Oda içi sıcaklık konturları; 7 cm çap (solda), 12 cm çap (sağda).

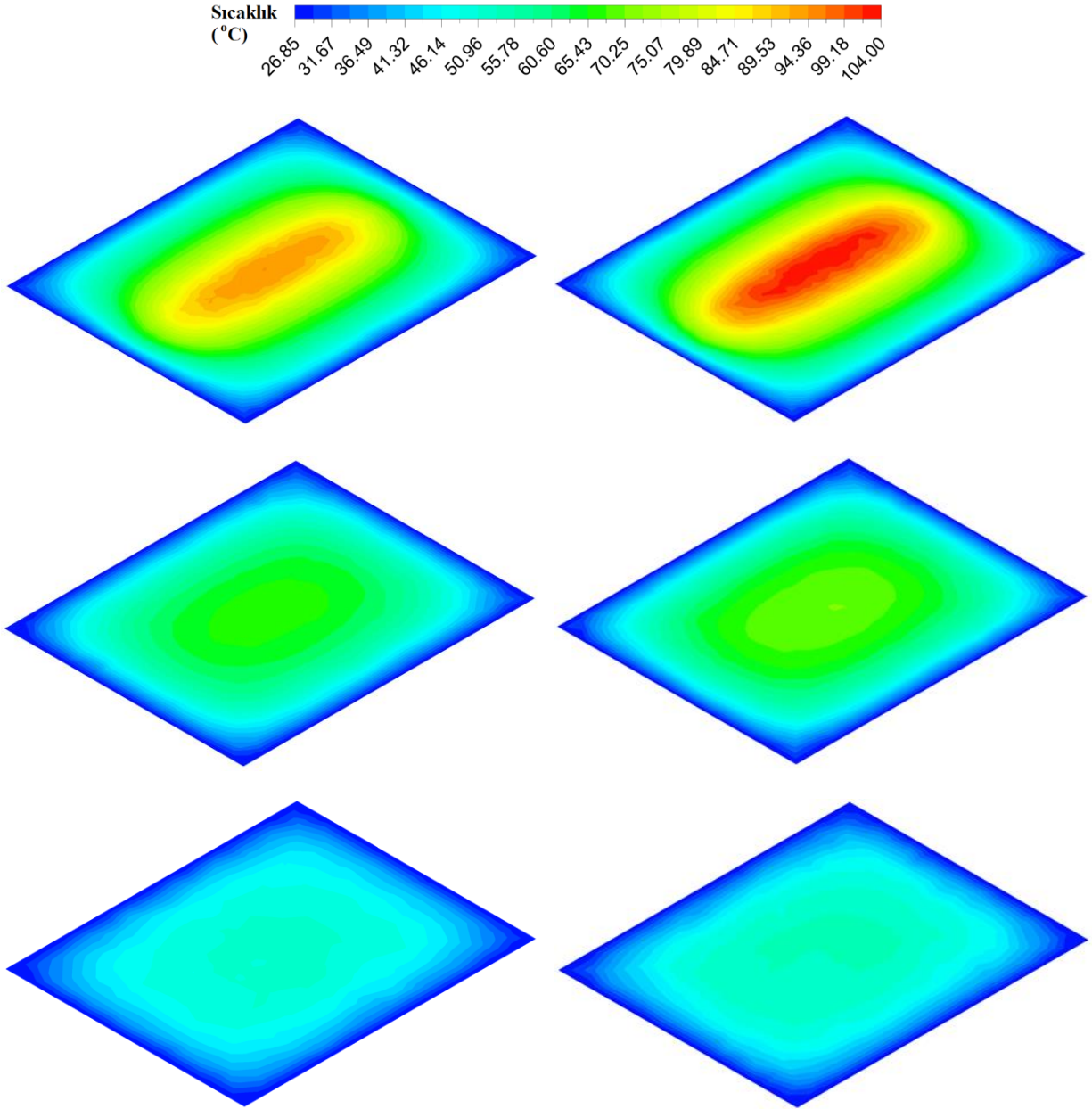
Şekil 4'te YZ düzleminde radyant ısıtıcı borusunun gidiş ve dönüş tarafının merkezinden alınan kesitlerde oda içerisinde meydana gelen sıcaklık dağılımları gösterilmiştir. Şekle göre U-tipi boru içerisinde çıkışa doğru hareket eden baca gazından odaya olan ısı transferi etkisiyle dönüş tarafında boru yüzeyindeki havanın sıcaklık değerleri daha düşük olmaktadır. Ayrıca 12 cm boru çapının olduğu modelde boru yüzeyindeki hava sıcaklığı 7 cm boru çapının olduğu modele göre daha düşük olmaktadır. Giden taraftaki boru yüzeyinde en yüksek hava sıcaklığı 7 cm çapın olduğu modelde 472°C 'dir. Yukarıda bahsedildiği gibi burada da 12 cm boru çapı olan modeldeki sıcaklıklar ortama daha çok yayılmıştır.



Şekil 4. YZ düzleminde radyant ısıtıcı borusunun **a)** gidiş ve **b)** dönüş tarafının merkezinden alınan kesitlerde oda içerisinde meydana gelen sıcaklık dağılımları; 7 cm çap (solda), 12 cm çap (sağda).

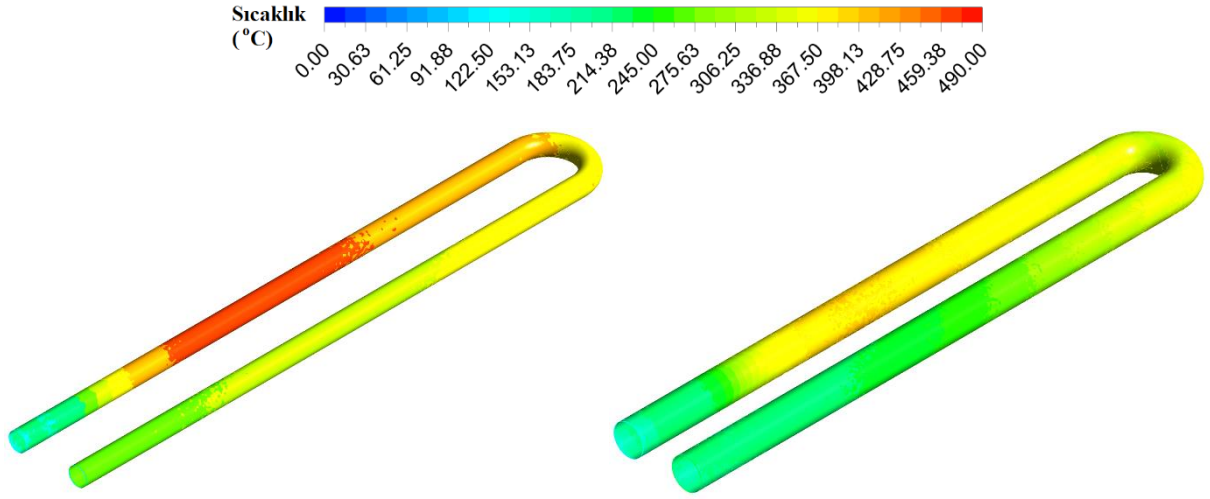
Şekil 5'te oda içerisinde zeminden 30, 80, 130 cm yükseklikte XZ düzlemlerindeki sıcaklık dağılımları gösterilmiştir. Her iki modelde de yükseklik arttıkça radyant ısıtıcıya yaklaşılmakta ve sıcaklık değerleri yükselmektedir. Şekle göre en yüksek sıcaklıklar merkez bölgelerde oluşmuş ve sıcaklıklar kenar bölgelere

doğru azalmıştır. Her iki model karşılaştırıldığında 12 cm çapa sahip modelde meydana gelen sıcaklıklar 7 cm çaplı modelden daha yüksektir.



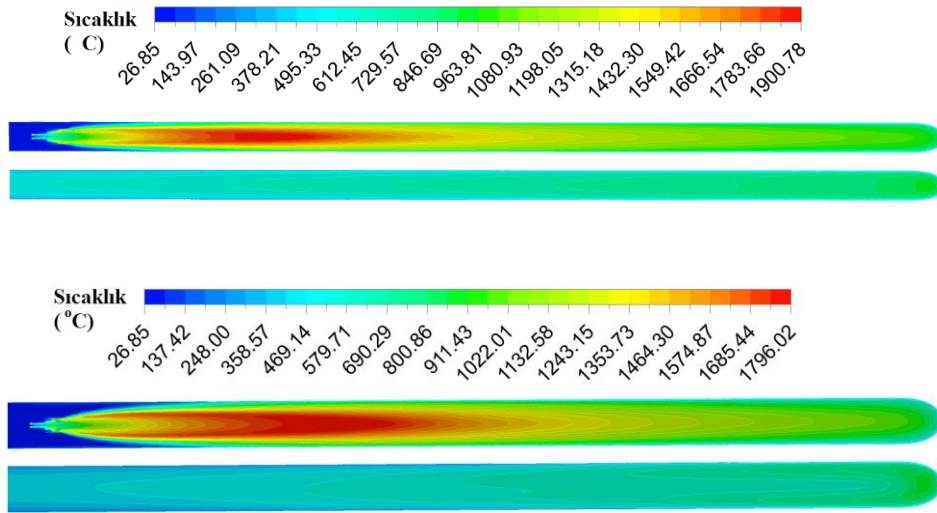
Şekil 5. Oda içerisinde aşağıdan yukarı sırasıyla zeminden 30, 80, 130 cm yükseklikte XZ düzlemlerindeki sıcaklık dağılımları; 7 cm çap (solda), 12 cm çap (sağda).

Radyant ısıtıcı borusunun yüzeyinde meydana gelen sıcaklık dağılımları Şekil 6’da verilmiştir. İki modelde de en yüksek sıcaklıklar hava girişinden yaklaşık 100 cm uzaklıktaki bölgelerde oluşmuş ve baca gazından odaya olan ısı transferiyle çıkışa doğru sıcaklıklar kademeli olarak azalmıştır. Boru çapının 7 cm olduğu modelde boru yüzeyindeki sıcaklıklar diğer modelden daha yüksek olmaktadır. Boru yüzeyindeki en yüksek sıcaklık 7 cm çaplı modelde yaklaşık olarak 490°C ’dir.



Şekil 6. Radyant ısıtıcı borusunun yüzeyinde meydana gelen sıcaklık dağılımları. Sol taraf 7 cm; sağ taraf 12 cm

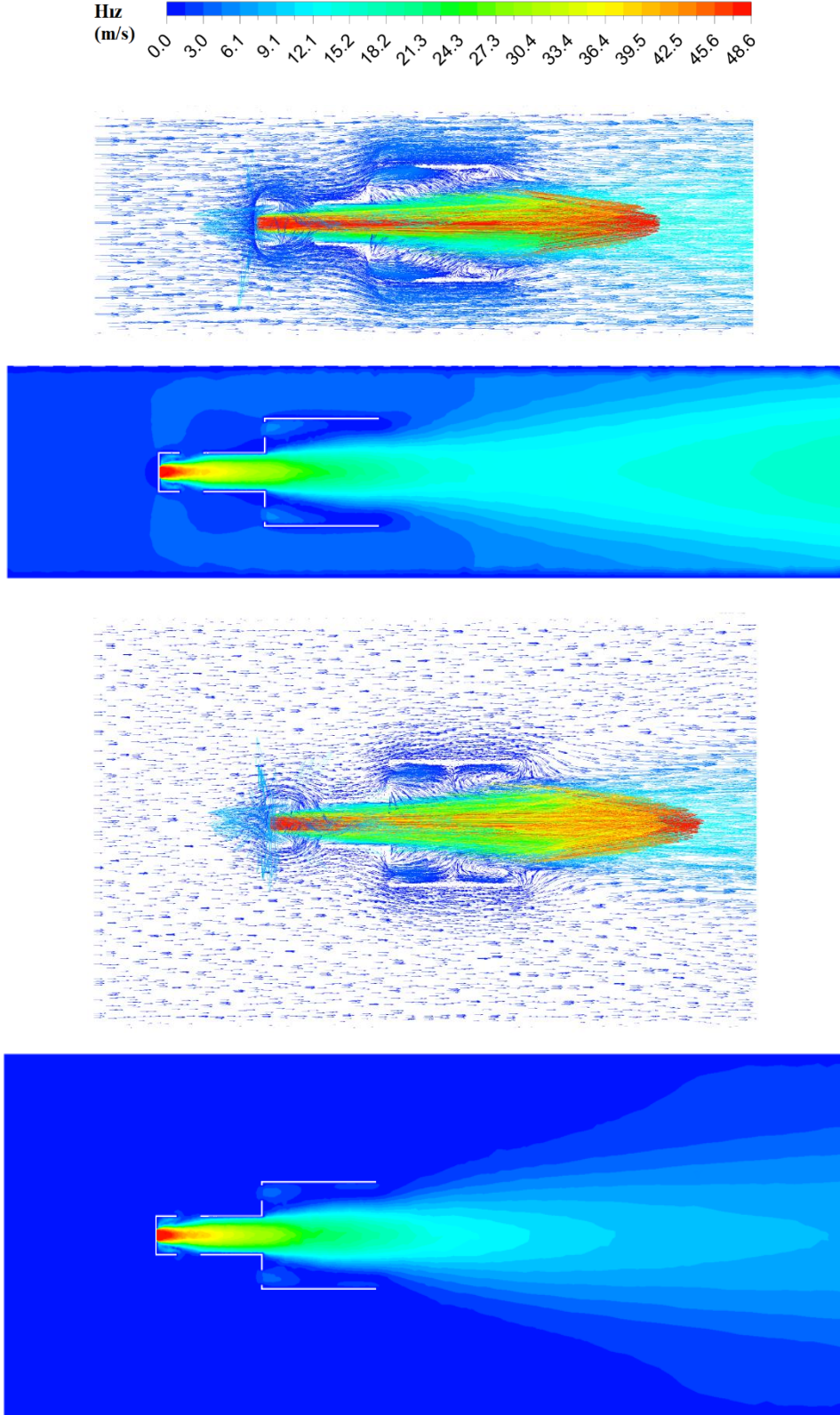
Radyant ısıtıcı borusunun içinde meydana gelen sıcaklık dağılımı Şekil 7’de gösterilmiştir. Şekilde oluşan alev boyunun giren havanın etkisiyle uzadığı görülmektedir. Bu uzunluk 12 cm çaplı modelde daha fazladır. Boru çapının 7 cm olduğu modelde alev sıcaklığı diğer modele göre daha yüksektir. En yüksek alev sıcaklığı boru çapının 7 cm olduğu modelde yaklaşık olarak 1900°C , boru çapının 12 cm olduğu modelde yaklaşık olarak 1796°C ’dir. Ayrıca çıkış kesitinde ölçülen baca gazı sıcaklığı 7 cm çaplı modelde 488°C , 12 cm çaplı modelde 374°C ölçülmüştür.



Şekil 7. Radyant ısıtıcı borusunun içinde meydana gelen sıcaklık dağılımı

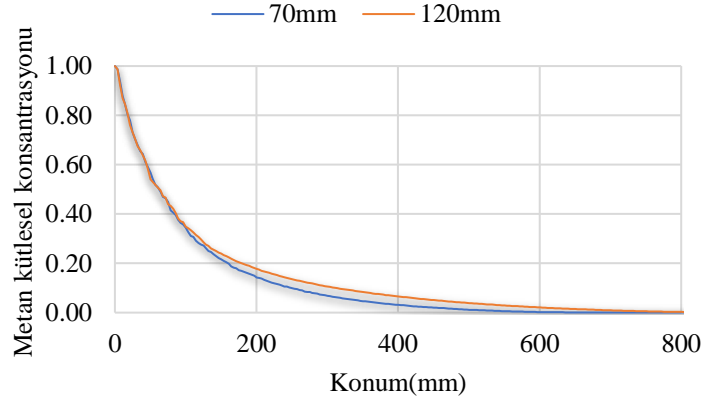
Şekil 8’de radyant ısıtıcı borusunun içindeki brülör etrafında oluşan hız vektörleri ve hız konturları gösterilmiştir. Hava brülör içerisine birincil ve ikincil hava deliklerinden girmektedir. Hava özellikle birincil girişte yakıt hızının etkisiyle oluşan vakum ile brülöre giriş yapmaktadır. Hava ve yakıt arasındaki hız farkının da etkisiyle brülör içinde girdap oluşumları meydana gelmiştir. Büyük çaplı modelde daha uzun bir girdap oluşumu gözlemlenmiştir. 7 cm boru çapında havanın hız vektörleri boru çapının 12 cm olduğu duruma göre daha büyüktür. Bu durum hava debisinin her iki modelde aynı tutulmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca brülör

ve ısıtıcı borusunun duvarı arasındaki alanın daralmasıyla hava hız kazanmıştır. Sonuç olarak boru çapının artmasıyla havanın ve baca gazının hız değerleri düşmüştür.



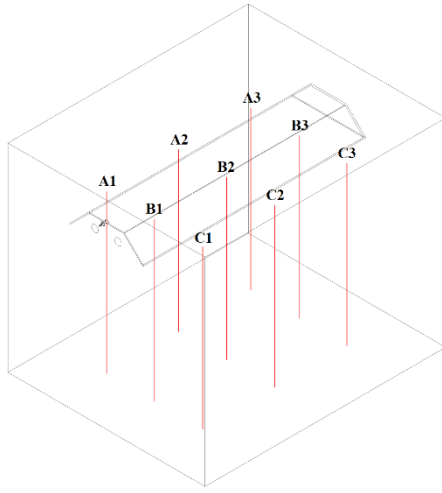
Şekil 8. Radyant ısıtıcı borusunun içindeki brülör etrafında oluşan hız vektörleri ve hız konturları. Üst taraf 7 cm; alt taraf 12 cm

Şekil 9’da metan gazı kütleli konsantrasyonunun konuma bağlı değişimi gösterilmiştir. Şekle göre, başlangıçta % 100 olan metan konsantrasyonu hızla azalmakta ve gaz yol aldıkça konsantrasyondaki bu düşüş hızı giderek yavaşlamaktadır. Belli bir konumdan sonra metan gazı tamamen bitmektedir. İki model karşılaştırıldığında 7 cm boru çaplı modelde metan gazı daha hızlı tükenmektedir. Bu durumun en önemli sebebi hava hızının 7 cm boru çapında daha yüksek olmasıdır.

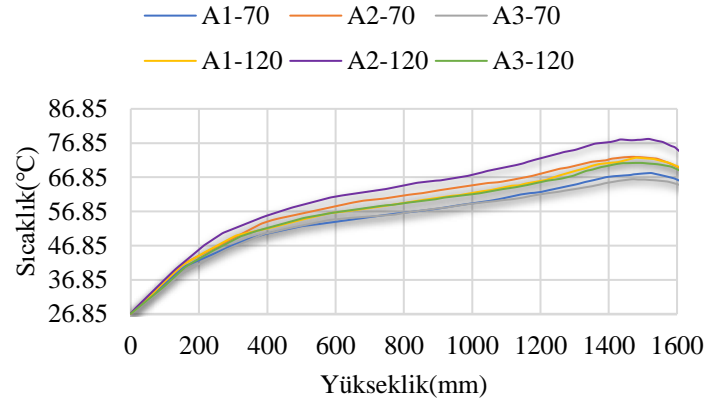


Şekil 9. Metan gazı kütleli konsantrasyonunun konuma bağlı değişimi

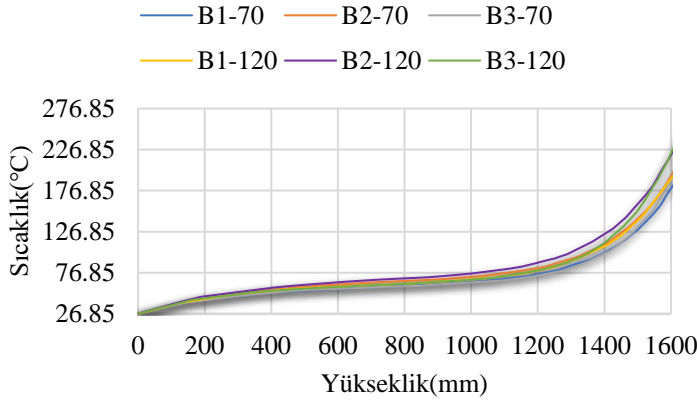
Oda içerisinde belirlenmiş 9 noktanın konumları ve bu noktalarda zeminden tavana doğru doğrusal yöndeki sıcaklıkların grafikleri Şekil 10’da gösterilmiştir. B konumları U-tipi borunun ortasında, A ve B konumları U-tipi borunun sağında ve solunda konumlandırılmıştır. A, B ve C konumları arasındaki mesafe 50 cm seçilmiştir. Bu noktalar boru boyunca 75 cm aralıklarla konumlandırılmıştır. Grafikleri incelendiğinde odanın merkezinden alınan B1, B2, B3 konumlarındaki sıcaklıklar diğer konumlara göre daha yüksektir. Ayrıca odanın merkezindeki sıcaklıklar azalan bir formda yükselirken yaklaşık 60 cm yükseklikten sonra artan bir formda yükselmiştir. A ve C konumlarındaki sıcaklıklar ise azalan bir formda yükselmiş ve yaklaşık olarak 140 cm yükseklikten sonra düşüşe geçmiştir. Bu düşüşün sebebi ölçüm yapılan noktaların bu yükseklikten sonra reflektörün yansıtma yaptığı alanın dışına çıkmaya başlamasıdır. A ve C konumları odaya simetrik bir şekilde konumlandırılmasına rağmen A konumlarında ölçülen sıcaklıklar C’ye göre biraz daha yüksek olmaktadır. Bu durum radyant ısıtıcı borusunda alevin oluştuğu giden tarafın A konumlarına daha yakın olmasıyla açıklanmaktadır. Her iki çap için karşılaştırma yapıldığında aynı konumlarda 12 cm boru çaplı modelde oda içerisinde ölçülen sıcaklıklar daha yüksek çıkmaktadır. Grafiklere göre en yüksek sıcaklıklar A2, B2 ve C2 konumlarında ölçülmüştür.



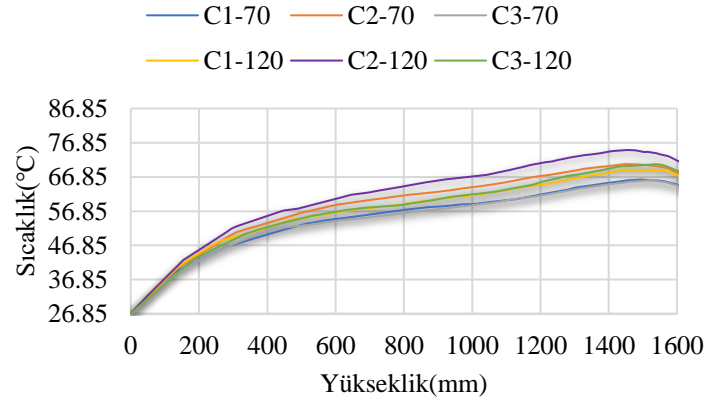
a)



b)



c)



d)

Şekil 10. Oda içerisinde belirlenmiş 9 noktanın konumları ve bu noktalarda zeminden tavana doğru doğrusal yöndeki sıcaklıkların grafikleri. **a)** Sıcaklık ölçümlerinin yapıldığı konumlar, **b)** A1, A2, A3, **c)** B1, B2, B3, **d)** C1, C2, C3 konumlarındaki sıcaklık grafikleri

SONUÇ

Çalışma kapsamında 22 kW ısı güce sahip bir radyant ısıtıcının boru çapındaki değişiminin oda sıcaklığına etkisi nümerik olarak incelenmiştir. Bu amaçla 7 ve 12 cm olmak üzere iki boru çapı belirlenmiş ve reflektör için yansıtma oranı %95 seçilmiştir. Hesaplamalar üç boyutlu koşullar için gerçekleştirilmiştir. Radyasyon modeli olarak P1, türbülans modeli olarak Standart $k-\epsilon$ seçilmiştir. Sonuçlar XY, XZ ve YZ düzlemlerinde meydana gelen sıcaklık dağılımları, radyant ısıtıcı borusu yüzeyindeki ve içerisindeki sıcaklık dağılımları, brülör etrafındaki vektörel hız dağılımları ve metan gazının kütleli konsantrasyonu açısından değerlendirilmiştir. Ayrıca oda içerisinde belirlenmiş 9 noktada zeminden tavana doğru doğrusal yöndeki sıcaklıkların grafikleri çizdirilmiş ve her iki boru çapı için bu değerler karşılaştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde;

- Sıcaklık gradyanları reflektörün etkisiyle zemine doğru yayılmıştır. Boru çapı 12 cm olan modeldeki sıcaklık gradyanları ortama daha çok yayılmıştır.
- Oda sıcaklıkları 12 cm boru çaplı modelde daha yüksek çıkmıştır.

- Her iki modelde de oda zemininden itibaren yükseklik arttıkça sıcaklık değerleri yükselmiştir. En yüksek sıcaklıklar odanın merkezinde oluşmuş ve sıcaklıklar kenar bölgelere doğru azalmıştır.
- Boru çapının 7 cm olduğu modelde boru yüzeyindeki sıcaklıklar diğer modelden daha yüksek olmaktadır.
- Alev boyu boru çapının 12 cm olduğu modelde daha uzunken, alev sıcaklığı 7 cm çaplı modelde daha yüksek olmaktadır.
- Hava ve yakıtın karıştığı brülör içerisinde girdap oluşumları gözlenmiştir.
- Boru çapı 7 cm olan modelde metan gazı daha hızlı tükenmiştir.
- Boru çapının 7 cm olduğu radyant ısıtıcıda daha yüksek alev ve boru yüzeyi sıcaklığı elde edilmesine rağmen oda sıcaklığının daha düşük olması, baca gazı hızının daha yüksek olması dolayısıyla ısı transferi için yeterli zaman bulunmaması ve borunun yüzey alanının bu modelde daha küçük olmasıyla açıklanmıştır.

KAYNAKÇA

- [1] Xu Q, Feng J, Ding C, Chang C, Xiong Y, Zang Y, et al. Influence of the operating parameters and nozzle characteristics on flat double-P radiant tube performance. *Appl Therm Eng* 2019;155:175–84. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.03.159>.
- [2] Charles E. Baukal. *Industrial Burners Handbook*. 1st Editio. Boca Raton: CRC Press; 2003.
- [3] Hassan SA. Experimental measurement and numerical simulation to determine characteristics of an infrared tube system. *HVAC&R Res* 2012;18:446–60. <https://doi.org/10.1080/10789669.2012.635589>.
- [4] Xu HT, Liao XW, Qu ZG, Li YZ, Chen J. Experimental study of the effect of a radiant tube on the temperature distribution in a horizontal heating furnace. *Appl Therm Eng* 2017;113:1–7. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.10.208>.
- [5] García AM, Rendon MA, Amell AA. Combustion model evaluation in a CFD simulation of a radiant-tube burner. *Fuel* 2020;276:118013. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118013>.
- [6] Tsioumanis N, Brammer JG, Hubert J. Flow processes in a radiant tube burner: Isothermal flow. *Fuel* 2008;87:103–11. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuel.2007.03.048>.
- [7] Tsioumanis N, Brammer JG, Hubert J. Flow processes in a radiant tube burner: Combusting flow. *Energy Convers Manag* 2011;52:2667–75. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2011.02.008>.
- [8] Xu Q, Feng J, Zhou J, Liu L, Zang Y, Fan H. Study of a new type of radiant tube based on the traditional M-type structure. *Appl Therm Eng* 2019;150:849–57. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.01.016>.
- [9] Inc. A. *Ansys Fluent User's Guide*. Canonsburg, PA: Ansys Fluent Tutorial Guide; 2017.



HYDRO-GEOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF WATER TAMERSITE AND DJAARIR SPRINGS FROM KHENCHELA REGION (NORTHEASTERN ALGERIA)

Soumia Guilal

Faculty of Natural and Life Sciences, Department of Ecology and Environment, Laboratory Water, Environment and Renewable Energy, University of Abbes Laghrour, Khenchela, Algeria.

Yamama Nedjar

Faculty of Natural and Life Sciences, Department of Ecology and Environment, University of Elarbi ben Mhidi oum elbouagiu , Algeria

Abstract

North-eastern Algeria is characterised by several thermal springs. The aim of this work is to study the Tamersite spring, which has not received any study and to compare to those relating to the Djaarir spring. For this purpose, four samples were collected from these thermal springs in 2017, having a temperature ranging between 26 and 35°C, anal most neutral pH and high values of electrical conductivity. In order to evaluate the thermal water potential of these springs, we adopted an interdisciplinary approach. The hydrochemical tool shows that hot water is characterised by the presence of two different chemical facies: the first of bicarbonate–sodium type, the second of chloride-sodium type. This analysis allowed also attributing a terriferous, evaporitic origin to sodium, chlorides and bicarbonates. The salinity characterizing these thermal waters is mainly due to deep runoff in cristallophyllian formations and carbonates formations being in contact with the terriferous, saliferous formations.

Keywords: Algeria, Thermal waters, Tamersite spring, Djaarir spring, hydrochemistry, chemical facies.

Introduction

The valorization of thermal water and the development of both curative and ludic thermalism need today a thorough knowledge of the origin and the available amount of water, without the hazard of affecting the quality of this resource. The geothermal fields are largely investigated in order to understand the mechanisms of hot springs , and that is why a number of countries conducted researches on the exploitation of geothermal resources in the course of the last decades. Chemistry of thermal water was the focus of several studies; most of which were concerned about two aspects:

The interaction between thermal water and the wall rocks has a major control on the chemical property of thermal water (**ÜGemici et al 2002; Cruz et Franca 2006**), and the origin of geothermal water can be estimated with the help of chemical geothermometry (**B Houha 2007; Ben Abidate 1998**).

Among the Algerian thermo-mineral heritage consisted of more than 200 thermal springs indexed, located in different areas with complex geological structure (**J Polvêche 1960**) this number increases regularly by moving eastward, we choosed two thermal springs in the Khenchela area; they are concerned by this work. The regional geology is marked by sedimentary rocks inherited from the marine transgressions of Secondary and Tertiary (**B Houha 2007**). The hydrothermal systems can be found in many geological settings and are hosted in different types of wall rocks, but they are often found in the areas of thermal and volcanic flow associated with tectonic plates limits and/or in areas with high porosity and permeability. Water in the sediments is heated by the flow of the regional heat. The study area in north-eastern Algeria appears as a large landscape slightly undulated, stretching between the Saharan Atlas in the south, the Mediterranean in the north and the Tunisian boundaries in the east (**Fig 1**).

The present study is concerned about the chemical analyses of two thermal springs of north-eastern Algeria in order to understand the origin, to determine the chemical processes governing the composition and the movement of these fluids

giving rise to salinity of these latter and to estimate temperatures of the subsurface reservoir.

Four samples of thermal water were taken during April 2017. For this purpose, field and laboratory analyses were performed. Temperature, pH and conductivity of spring water were directly measured in situ by means of a portable device, whereas the hydrodynamic properties were analyzed at the laboratory. The thermal springs are frequently developed into thermal spa sand baths. They are also used for curative purposes and for improving the social and economic welfare of the population.

Materials and methods

Geographical location of the thermal springs

a. Hamam TAMERSITE :

The Tamersite spring is located in the El Ouldja municipality south-west of the Khenchela province in the Aures in eastern Algeria , and stretches over a surface area of **366 km²**. It is limited to the north by El M'Sara, to the east by Kheirane, to the south by the Biskra province and to the west by the Batna province.

In a woody area, with an adequate climate and relief diversity, planted with Palma olive trees on the banks of the El Arab wadi, the first spring (Tamersite) is located on the right side of the runoff direction of a wadi. We have observed the discharge of this spring on the left side of the wadi located **19** meters far from the first spring. This spring is divided into two springs: one called Tamersite 1 and the other one called Tamersite 2 located **1.19** kilometer far from the first spring.

b. Hamam DJAARIR :

The hamam Djaarir spring is located 7.43 kilometers far from the Bouhmama locality, south-west of the Khenchela province in the Aures in eastern Algeria and stretches over a surface area of one hectare. This spring is divided into two springs: H.Djaarir 1 and H.Djaarir 2 that are close to each other over a distance of 90 m. From the climatic point of view, this is an arid-climate area.

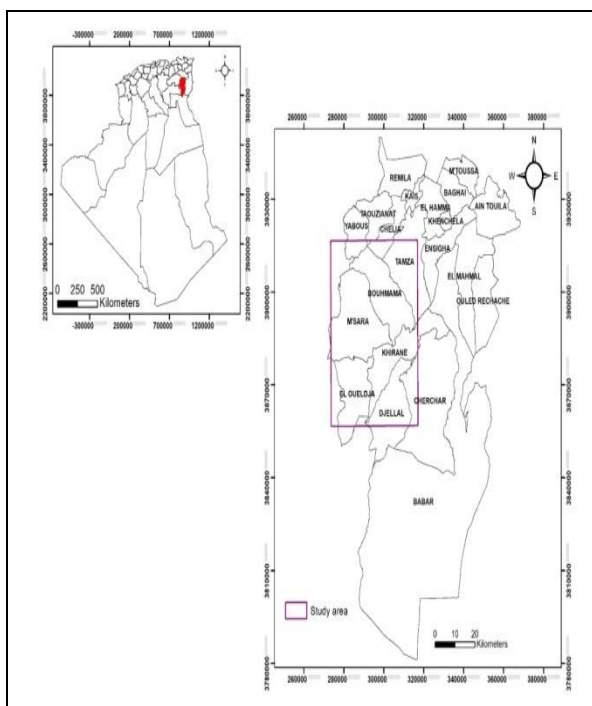


Fig . 1.Geographical location of the study area

The annual rainfall recorded at the main stations of the study area is marked by a temporal variability. It varies between a mean of **144** and **170** mm. We observe a rainfall deficit of 15%, thereby giving rise to a decrease in depth of runoff by near **53%** which is reflected by a decrease in supply by **32 %**. The annual mean temperature is of **20 °C**.

The drainage network is temporary (ephemeral runoff) and little developed.

The configuration of this system can be explained by the rains scarcity on the one hand and by the topographical nature of the area on the other hand. So, the study area is essentially crossed by El Arab wadi, which is the natural drain and the valley collector, and which runs from north to south. The catchment surface area of the El Ouldja impoundment is of 1333 km²; it is marked by a thalweg length of 113 km and a total slope of 1.36 %.

The two springs emerging in two different sub basins, the main streams of which meet further downstream; they are separated by a hill (**Fig 2**).

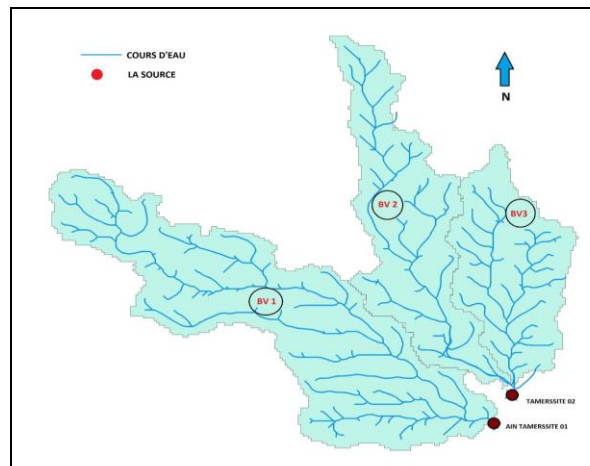


Fig.2. Map of catchments of the Tamersite springs 1 and 2. (source: ANRH).

Geologically, the first one belongs to Kheirane, the findings of which were exploited for the Tamersite springs. The findings revealed the significance of the Maastrichtian limestone reservoir next to sandstone Miocene and Quaternary formations.

The second site, hamam Djaair, indicates the significance of Miocene sandstone reservoir as well as that of Pliocene essentially made up of conglomerates; it is often very difficult to differentiate this level from the Quaternary formations. It is exploited in the southern Aures and has high quality water. The underlying formations consist of marl-limestone alternations.

The discharge of the Tamersite spring 1 lies at limestone of Cenomanian age having a dip of 10°, with a direction N110E on the right bank of a wadi beneath a fairly large thickness of marl formations of the same age, with limestone centimetric bars.

The Quaternary deposits made up of gravel poorly distributed in a marly matrix. The capture is in fact a small room enabling, after an overflow, the recharge of a downstream basin used by residents.

The Tamersite spring 2 is located beneath a limestone flagstone outcropping at a wadi. The overall description is as follows:

At the base (at the wadi) there are limestone beds having black color with a trace of a tectonic activity revealing striate and solifluction niches.

Going up, limestone becomes clearer with a presence of blackish marl with layer alternating with these latter.

These marls passages do not exceed in the best cases 50 cm.

The right bank exhibits a marl formation.

The area of the two springs hamam Djaair 1 and 2 is located in a depression surrounded by relief on the northern and western side; we know especially the Dj.Chelia. It is covered by recent formations. The gullings on the side of the spring 2 reveal marls with micritic black limestone nodules surmounted by a recent layer of Quaternary, with pebbles dispersed in a marl matrix.

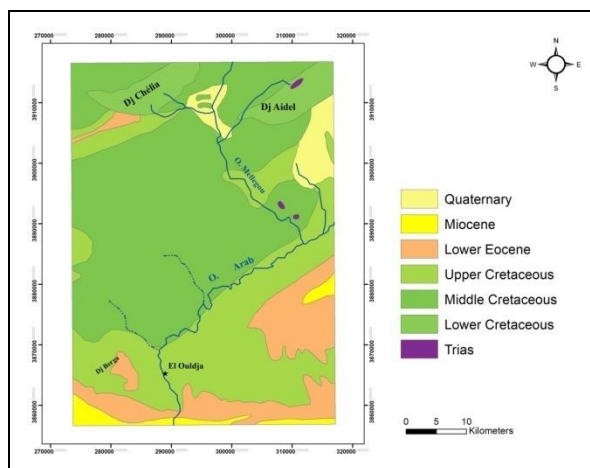


Fig. 3. Geological setting of the study area.

Materials and methods

Particularly critical for thermal waters is the need to identify the source of the spring and to sample as close to the spring as possible (IAEA 2008).

The sampling focused on the two Tamersite springs (Tamersite 1 and 2) and two other ones of hamam Djaarir (Djaarir 1 and 2) (Fig 4), Chemical analyses were carried out at le Laboratoire de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) of Khenchela during April 2016.

Strict requirements were met during the whole period of sampling according to Rodier recommendations 2009. The samples were carried to the laboratory in a cool box and are then stored in a refrigerator until the analysis.

As regards the sensitive parameters such as temperature, electrical conductivity (EC) and pH they were measured in situ using a multi-parameter probe. The chemical elements analyzed are: calcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), sodium (Na^{+}), potassium (K^{+}), chloride (Cl^{-}), bicarbonate (HCO_3^{-}), sulfate (SO_4^{2-}), nitrate (NO_3^{-}), silica (SiO_2), cadmium (Cd^{2+}), nickel (Ni^{2+}), barium (Ba^{2+}), lithium (Li^{+}), aluminum (Al^{3+}), lead (Pb^{2+}), iron (Fe) and strontium (Sr^{2+}). Three methods of analysis have been used to determine the concentrations of different chemical elements. The

determination of the content of bicarbonates and chlorides was done by titrimetry. The cations including the elements were determined using a Perkin Elmer, 1100B flame atomic absorption and by titration potentiometric as proposed by RODIER (1996). Nitrates were determined according to the technique recommended by the Center of Expertise in Environmental Analysis of Quebec (CEAEQ 2008). The results of the analyzes have been reported in Table 1

Springs	T°	ph	c25° C	O ₂	TD S	Ca	Mg	Na	K	CL	SO ₄	HC O ₃	N O ₃	NH ₄	SiO ₂	Zn	Mn	Fe
Tamrsi t1	27,0 4	7, 64	200	4, 6	920	48,1	33,0 5	619, 23	146	20,2 9	54,2	727, 22	1	0	18,6	0,00 67	0,006 4	0,00 83
Tamrs it2	25,5 6	7, 6	169 1	6, 7	813	57,7 2	21,8 7	452	99,5	13,5 2	1,89	534, 65	0	0,37	18,2	0,00 38	0,155 1	0,08 50
A.Djari r 1	34	7, 49	535 0	7, 2	267 0	234, 07	28,1 9	137 4,15	166	171 0,76	287, 55	222, 47	1	0,14	26,3	0	0,017 21	0
A.Djari r 2	30,7 46	7, 46	536 0	5, 2	268 0	238, 88	21,8 7	145 0,68	148	171 0,76	262, 46	200, 51	1	0,24	27,8	0,01 65	0,021 4	0,23 72

^a Values are expressed in mg/l except SiO₂ in mg/kg. Temperature is expressed in °C, pH in pH units. EC=electrical conductivity in S/cm at 25 °C.

Table 1: Physico-chemical composition of sampled waters ^a

The chemical facies of groundwater were determined from the Piper diagram using a computer software developed by Simler, 2014 and AquaChem 2014.2 for the ternary diagrams. We make use of GeoTcode that uses as entry the chemical composition of water and the saturation indices of minerals to compute the water-rock balance on a temperature.

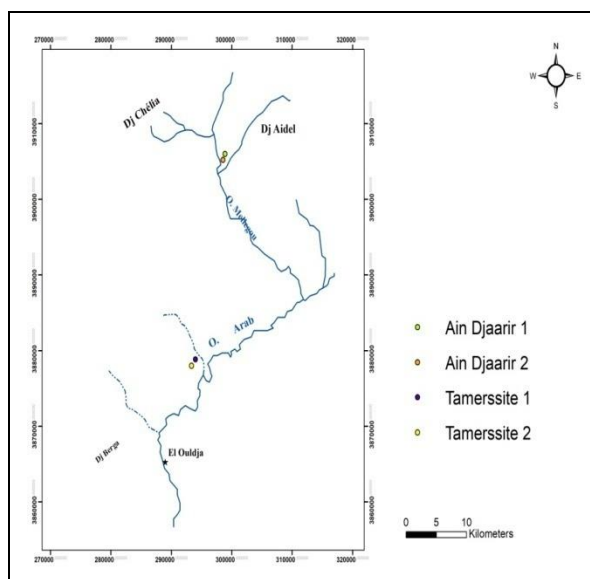


Fig . 4. Inventory map of the study area.

Results and discussion

Physicochemical parameters

The in-situ parameters are reported in Table 1. The temperatures of thermal waters are between 29°C measured in spring of Hammam TAMERSITE and 35°C in the Hammam DGAARIR. The different outlet temperatures of the thermal springs are attributed to local conditions depends on the velocity of water flow, time of circulation and fracture characteristics

(**H Chenaker et al 2017**), The high temperature of a spring depends on both the depth and the upwelling speed (**R Cidu et al 2008**). The temperature of the thermal spring thus reflects the depth of penetration of the water and the rate at which it ascends to the surface (**E Grasby et al2001**) .

The lowest temperatures are due to cooling caused by mixing between the deep thermal waters and the shallow meteoric waters and may be due to greater meteoric recharge or greater heat conduction due to shallow reservoir depths(**H Chenaker et al 2017**).

This thermal imbalance between the atmosphere and the aquifer indicates that the waters have a very deep origin. They are influenced by the geothermal gradient on the one hand, seismic activity, radioactive decay and endogenous chemical reactions producing energy on the other hand. Note also that the friction between the geological layers

during the seismic activity produces heat that heats the water of the aquifers (**Ch Berkani et al 2017**).

The pH values of these springs vary from slightly acidic to slightly alkaline. The maximum value of pH was recorded as 7.8 at (HM M) Hammam TAMERSSITE and the minimum value of pH was recorded as 7.4 at (HS K) Hammam DJAARIR. As per the findings, it was observed that the water was slight alkaline in nature which might be due to the presence of the dissolved salts in the water (**H Chenaker et al 2017**).

The electrical conductivity was found to be quite high, the maximum value of conductivity measured at temperature of sample was recorded as 5360S/cm at Hammam DJAARIR and the minimum value was recorded as 1691 S/cm at Hammam TAMERSSITE . Due to the presence of high amounts of minerals in the water and many salts(NaCl⁻, CaSO₄⁻²H₂O, CaSO₄⁻ and Na₂⁺ SOH⁻) are more soluble at higher temperatures,

these salts and minerals enter the water from rocks and sediment in contact with it, the hot springs showed higher conductivity value related to the high total dissolved solids (TDS) (**H Chenaker et al 2017**; (**Ch Berkani et al2017**).

The mineralization of the waters is determined by the chemical and mineralogical nature of the sediments they flow through. The thermo-mineral waters are much mineralized. They are directly related to the gypsum-saline sediments of Triassic so widespread in Algeria, To better understand the process of mineralization of thermal waters, it is necessary to represent the major elements as a function of chloride (**B Houha 2007**). The latter is a conserved element, does not participate in water-rock interactions, characterizes the origin of the salinity of the waters and constitutes a tracer of mixture. They are all more than 2400 mg/l

Water chemistry

Piper diagram

The Physico-chemical properties of thermal water depend on the composition of infiltrating solution, migration depth, residence time of thermal water in the travel pathway and water-rock interaction in deep formations. The physico-chemical properties of water are linked to its subsurface path line, temperature depth, nature of crossed rocks and temporary residence. The thermal springs have a variety of chemical types; this variability is due to lithological composition of sampling sites, location on several different geological structures and complexes (**J Polvêche 1960**). The different water samples were classified according to their chemical composition with the help of Piper diagram (**J Piper 1944**) and the software diagram. This diagram (**Fig 5**) shows that the overall chemical characteristic lies in the following two water types:

For the Tamersite site springs (Figure below), carbonates (anions) and sodium (cations) are largely dominant over other elements owing to limestone leaching by hot water during its rise to the land surface. The low value of sulfates for Tamersite 2 may be explained by the involvement of modifying phenomena (sulphur-reducing bacteria which decreases the sulfates content) (**T Kompani-Zare et al 2001**) his projection of analyses findings on Piper diagrams (anions – cations) corroborates the dominances already described and shows that:

The Tamersite springs lie on the side of carbonate pole with regard to anions and sodium pole in the cations triangle. In fact, these springs are classified as bicarbonate-sodium facies.

As regards water of the Djaarir springs the points in the anions triangle lie on the side of chlorides, but for cations it is always sodium that dominates; the typical, chemical facies of this water will thus be chloride-sodium facies.

On the whole, all these waters originate from sodium- chloride water as a result of the physical environment, or the reactions with wall rocks and water-rock interaction (**E Grasby et al2001**) in the sampling area as well as the reactions close to thermal water surface with less deep saltwater-still water associated with Tertiary rocks of NaCl type probably owing to dissolution of Triassic halite. According to Piper diagram it seems that the composition of seeping shallow water is influenced by halite layers.

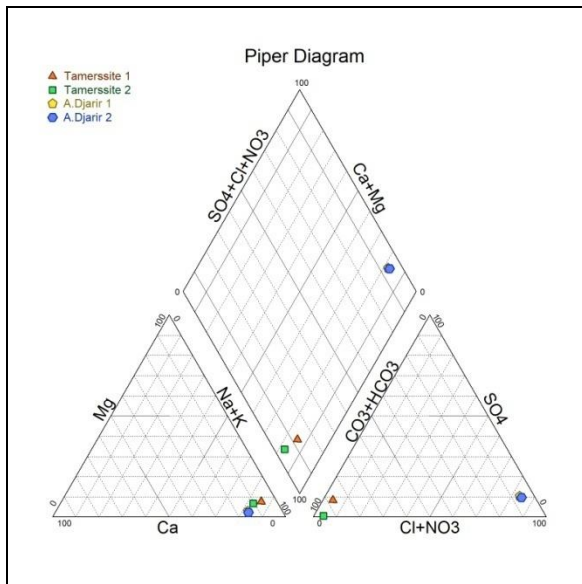


Fig. 5. Piper diagram showing the chemical facies

Durov diagram

The diagram of Durov, built on the basis of the relative contents (meq/l) of major ions in solution allows visualising the distribution of sample compositions. The latter has for axes of braided two diagrams of Piper, respectively anions and cations. Thus, for every sample, we represent its composition in cations and anions on the corresponding axis. The intersection of the projection of the two coordinates obtained gives the representative point of the sample in the diagram of Durov. This diagram allows to distinguish easily the samples of $(\text{Na}^+-\text{Ca}^{++})-\text{HCO}_3^-$ from those of type $(\text{Na}^+-\text{Ca}^{++})-\text{Cl}^-$, respectively named the type bicarbonated and the chlorinated type. This distinction is often used on the literature to distinguish groundwaters, the signature of which gets closer to those to high salinity (chlorinated type), to those whose signature gets closer to some water of refill (type bicarbonated) (Mr Gascyneet al 1994; J Toth 1999)

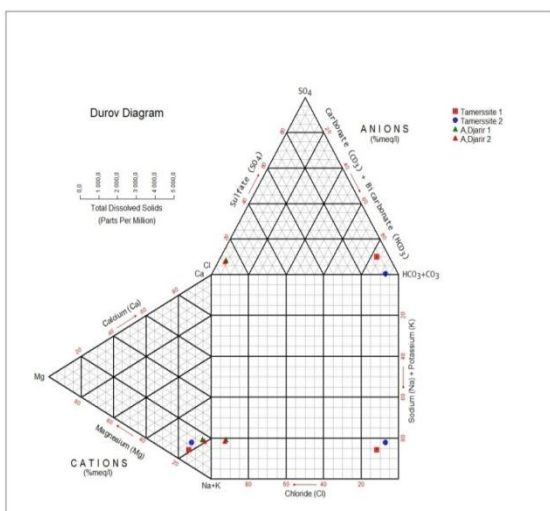


Fig. 6. Diagram of Durov representing the major element concentrations of tamersite and Djaarir springs

The projection of findings of water chemical analyses on Schoeller diagram (Fig 7) shows that:

The broken lines relating to the springs are parallel with respect to the same site and intersect when the sites are different (parallel lines, so waters of the same family correspond to different origins when intersecting).

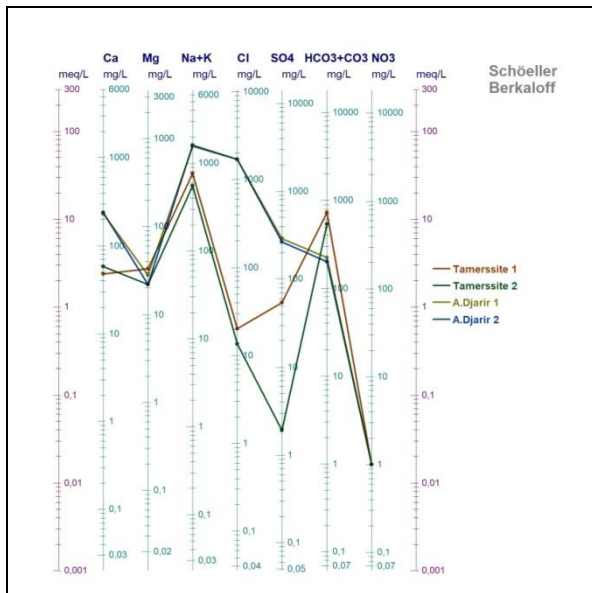


Fig.7. Schoeller-Berkaloff diagram applied to thermal water

Geothermometry

Geothermometry is a tool enabling to evaluate the depth of geothermal reservoirs and temperature of the last chemical or isotopic balances prior to discharge. Deep water and gas move to the land surface and generally carry their geochemical history with them.

However, during its rise, hot water may undergo a mix with cold surface water, which may complicate the use of chemical geothermometers, thus leading either to an overestimation or an underestimation of temperatures. It is to be noted that the rise of thermal water from its genuine reservoirs is usually accompanied by temperature decrease and change in total mineralization (**S Bouri et al 2007**).

The use of geothermometers suggests that there is no significant chemical change in water during its rise, despite the different, possible and usually remarkable cooling's. In order to estimate temperature of the last thermodynamic balance, we made use of many geothermometers, but it seems that that of silica (quartz) is the best suited to thermal water.

In the two cases, we see a difference between temperature of deep water and that of 32 to 42 °C vent, which may be explained by a dissipation of energy during water flow from the reservoir to the land surface. This dissipation could be due either to a mix with surface water or to thermal diffusion associated with the long distance travelled by this water to reach the land surface. The K-Na-Mg1/2 Giggenbach triangular diagram (1988) (**Fig 8**) revealed that the thermal water samples correspond to immature water and is rather close to Mg corner, thereby indicating that this water did not reach its full balance. The rise of immature water (shallow water/mixed water) from deep geothermal reservoirs, with a certain degree of confidence, may be due to reactions with wall rocks during the rise from the reservoir. This geothermal tool allowed also evaluating the depth of the different reservoirs according to (**H.Boucharebha et al 1994;A Issaadi 1996;A Issaadi et al 1997**).

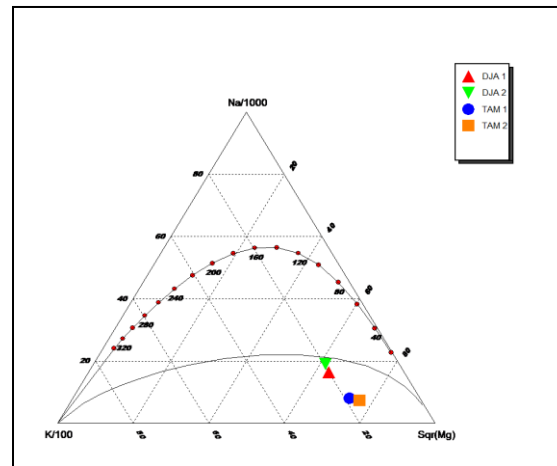


Fig . 8. Na–K–Mg ternary diagram.

State of mineral sand other parameters in water

Saturation index

Balance of water with the matrix is expressed by the saturation index:

$$SI = \log(PAI/K_s)$$

Where PAI is the activity product of concerned ions, K_s is the product of dissolubility of the considered mineral (S Bouhlassaet al 2008). The saturation degree, the sub saturation or the state of balance of a solution toward a mineral is only appreciable if the solubility product can be compared to the ionic activity product of referential ions in solution (A Droubi et al 1978). A zero saturation index does not mean that water is in balance with the studied mineral. Water will be undersaturated if $SI < 0$ (mineral dissolution) and saturated if $SI > 0$ (mineral precipitation) (F Fekrache 2015)

The simulation of studied springs waters by natural evaporation was carried out using the thermodynamic software « Phreeqc 5.2 » under the effect of isotherm evaporation (25°C).

This simulation allowed computing the saturation indices (SI) and addressing the speciation of minerals.

The graph below illustrates the position of the different parameters and minerals with respect to the balance with studied waters.

We note that waters of Tamersite springs 1 and 2 are sharply undersaturated (moderately loaded water) with respect to evaporitic minerals such as halite, gypsum and anhydrite, whereas those of hamam Djaarir lie close to the balance (very loaded water)

For the carbonate minerals such as calcite, dolomite and aragonite, waters of the two sites (Tamersite and Djaarir) lie close to the balance to slightly supersaturate. In contrast, dolomite exhibits a different behavior. For the Tamersite springs, waters are saturated, whereas for the Djaarir springs, waters appear to be in balance with this mineral.

Waters come from depths where the medium is reducing (poor in O_2) and undergo a pressure drop at the surface, which allows to carbon dioxide to escape.

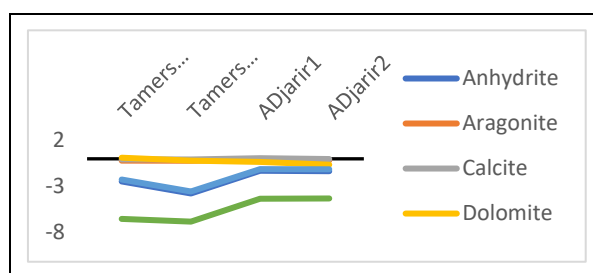


Fig. 9. Saturation index variation of minerals

Probable origins of the studied springs

The aquifers are already exploited everywhere in the area and water is cold in natural state. The springs are thought to come from depths below these aquifers. Their discharge to land surface is caused by many faults affecting the area especially the Dj. Chelia strike-slip fault.

All this support the assumption that the very loaded springs waters studied do not originate from these aquifers, but rather from deeper zones. Meteoric water moves through the layers to reach the depths and becomes hot under the geothermal gradient and resume sits rise to the land surface through the disturbances (faults...). During its migration (downward or upward) it moves through the geological formations and thus acquires their geochemical signature and is more loaded with dissolved salts.

Djarir springs

The Djaarir springs1 and 2 are located at the Chelia thrust; this latter reaches the Triassic formations in depth.

The chemical analyses carried out on these springs provide temperature values of (30°C) as well as very high chloride, sodium and potassium concentrations (Cl: 1689 mg/l - Na : 1438 mg/l - : 162 mg/l) unlike water of the aquifers exploited in the area.

The identical chemical compositions of waters of the Djaarir springs 1 and 2 suggest that this is the same spring shared under ground to give two springs ,and allow assuming that the mineralization is the result of the contact of these waters in depth with the Triassic (evaporitic: gypsiferous and saliferous) formations. The high chlorides, sodium and potassium concentrations confirm this assumption.

The Triassic formations being plastic they all follow the faults and form intrusions.

The hot springs of the Khenchela area, namely, the Hammam Essalhine and the Hammam Knif springs both exhibit similar (sodium-chloride) facies as the Djaarir springs do. It seems that those springs follow the same mechanism of temperature and mineralization acquisition whereas the pathways toward the land surface are distinct.

Tamersite springs 1 and 2

The Tamersite springs emerge in limestone in contact with marl (impervious rocks).

In fact, we distinguish three springs at this site; two are close (on either side of a wadi) and the other is not far.

The waters chemical composition of these springs(1 and 2) is not fully identical although they have the same (bicarbonate-sodium) facies.

The bicarbonates concentration is very high (720 and 531 mg/l) far from that of chlorides (18 and 10 mg/l) and sulfates (53 and 1, 9 mg/l). For the cations sodium (620 and 460 mg/l) it is largely higher than calcium (48 and 57 mg/l) and magnesium (31 and 20 mg/l). Potassium in contrast is very significant (140 and 96 mg/l). These fairly excessive concentrations cannot originate from the aquifers of the area. Their origins are certainly deeper.

These origins seem to be linked to several assumptions:

The first one, the rocks dissolution that may generate high- concentration bicarbonates and sodium / potassium for example ($\text{Na}_2 (\text{CO}_3) \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ contents).

The second assumption could be linked to the manifestations of like age abnormalities; this supposes the presence of boiling point water reservoir and an efficient (impervious cover). This phenomenon was studied by **J. Facca (GEMP); 1967** during the geothermal investigations performed on the springs of the Bounamoussa dam area (Annaba). These springs exhibit the same temperature (30°C) as well as the same facies as those of the Tamersite springs.

The question which remains to be asked: why is temperature average and does not reach that of Hammam Essalhine in Khenchela for instance not far from these springs? As an answer we think that, during their rise, the studied springs waters may be mixed (at the land surface or in average depth) with the aquifers waters of the area. The mixture is not total since the mineral load is not similar, and so each water has its own density.

Conclusion

The adopted methodology revealed that the 04 samples collected from the hot springs show that;

La nappe d'eau est profonde d'environ 900m , elle seront dite eaux superficiel, hypothermales ,alcalines, d'origines probablement karstique.

Chemically:

tamersite spring1,2: pure water mainly bicarbonate-sodium and secondary sulfates-calcique facies, moderately ionized ,.

Djaarir spring1,2; hard water mainly chlorides sodiques and secondary sulfates calcique ,richly ionized which corroborates the influence of the geological formations, dominated by the Tertiary carbonate and evaporated rocks owing to the variability of the lithological composition and to different hydrogeological systems

While attempting to know the state of fluid-mineral balance using the saturation index (SI), we remarked that waters of the Tamersite springs 1 and 2 are dramatically undersaturated relative to evaporitic minerals , namely, halite, while those of hamam Djaarir relatively lie close to balance. The chemical analyses performed on these springs provide temperature values (30°C) well as high chlorides, sodium and potassium concentrations unlike the aquifers waters exploited in the area. The hot springs of the Khenchela area, namely, the Hammam Essalhine and the Hammam Knif springs both exhibit similar (sodium-chloride) facies as the Djaarir springs do. It seems that those springs follow the same mechanism of temperature and mineralization acquisition whereas the pathways differ.

The fairly excessive cations and anions concentrations of the Tamersite springs cannot originate from the aquifers of the area. Their origins are certainly deep. These origins seem to be connected to rocks dissolution that may generate high-concentration bicarbonates, sodium and potassium.

REFERENCES

- Berkani Ch, Houha B (2017), Physico-Chemical And Therapeutic Characteristics Of The Thermo-Mineral Waters of Khenchela Region (Northeastern Algeria) . JMES., 8(5) 1546-1553
- Bouri S, Gasmi M , Jaouadi M , Souissi I , Mimi A , Lahlou A. et Dhia H (2007), Étude intégrée des données de surface et de subsurface pour la prospection des bassins hydrogéothermiques : cas du bassin de Maknassy (Tunisie centrale). Hydrol. Sci. J., 52, 1298-1315.
- Bouchareb F.Z, Issaad Aet Bendhia H (1994), Estimation and interpretation of geothermal gradient in Northern Algeria. Bull. Serv. Geol.Algeria., 5, 69-74
- Bouchareb F.Z, Boudoukha A (2009), Hydro-geochemical and litho-structural approach of deep circulations in the mounts of Hodna, Algeria. Eur.J. Sci. Res., 37, 12-20.
- Bouhlassa S, Alecheikh C, Kabiri L (2008) ,Origine de la minéralisation et détérioration de la qualité des eaux souterraines de la nappe phréatique du quaternaire du bassin-versant de Rheris (Er-Rachidia, Maroc).science et changements planétaires/ Sécheresse., 19(38) 67-75.

- Cruz J.V, França Z(2006), Hydrogeochemistry of thermal and mineral water springs of the Azores archipelago (Portugal) .J. Volcanol. Geotherm. Res., 151, 382–389.
- Chenaker H, Houha B et Valles, V (2017) ,Isotope studies and chemical investigations of hot springs from North-Eastern Algeria. JMES., 8 (12) 4253-4263
- Droubi A, Fritz B, Gac J, Tardy Y (1978) ,Generalized residual alkalinity concept, application to prediction of the chemical evolution of natural waters by evaporation. American Journal of Science., 280: 560-572.
- Fekrache Fadila (2015) ,Contribution à l'étude de l'origine de la salinité des eaux du lac Fetzara-Annaba (Algérie).Thèse doctorat. Université. Annaba; 112p.
- Grasby E. and Hutcheon I (2001) Controls on the distribution of thermal springs in the southern canadian Cordillera .Can. J. Earth Sci., 38(3) 427-440.
- Gemici Ü, Tarcan G (2002), Hydrogeochemistry of the Simav geothermal field, western Anatolia, Turkey. J Volcanol Geotherm Res., 116:215–233
- Han D.M, Liang X, Jin M.G, Currell M.J, Song X.F, Liu C.M(2010) ,Evaluation of groundwater hydrochemical characteristics and mixing behavior in the Daying and Qicun geothermal systems, Xinzhou Basin J. Volcanol. Geotherm. Res., 189(2) 92–104.
- Houha, B(2007), Etude du fonctionnement hydrogéologique et salin d'un bassin semi-aride. Rémila – Khenchela. PhD Thesis, faculty of Earth Sciences, University of Annaba, Algeria. 181. 14.
- Bouchareb ,Haouchine F.Z (1993) , Apport de la géothermométrie et des données de forages profonds à l'identification des ressources géothermiques de l'Algérie du Nord. Application à la région du Hodna. Mémoire de Magister, Univ. Alger, Algérie105 p.
- Centre d'expertise en analyse environnementale du québec (2008).Détermination des nitrates et des nitrites : méthode colorimétrique automatisée avec le sulfate d'hydrazine et le n.e.d., ma. 300 – no3 1.0, rév. 1. Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du québec, 12 p.
- IAEA. Manual for Operation of an Isotope Hydrology Laboratory., 10 (2008) 167-178.
- Issaadi A (1996), Mécanismes de fonctionnement des systèmes hydrothermaux. Application aux eaux thermominérales algériennes et aux eaux de Hammam Bou-Hadjjar. Bull. Ser. Géol. Algérie., 7, 71-85.
- Issaadi A, Bouchareb –Haouchine F.Z (1997),Estimation du flux de chaleur en Algérie du Nord à partir de la thermométrie silice. Bull. Ser. Geol. Algérie., 8(1) 29-39.
- Issaadi A(1992), Le thermalisme dans son cadre géo structural, apports à la connaissance de la structure profonde de l'Algérie et de ses ressources géothermales. Thèse de Doctorat d'état. IST. USTHB. Alger., 274.
- Polvêche J (1960), Contribution à l'étude géologique de l'Ouarsenis Oranais Tome I et II. Publications du service de la carte géologique de l'Algérie. Bulletin N°24.
- Piper, A.M (1944) A graphical procedure in the geochemical interpretation of water analysis. Am. Geophys. Union Trans., 25, 914-928
- Rodier J (1996) ,L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8e édition, Dunod (Éditeur), Paris, 1365 p.
- Vincent ,V(2008) ,Course on the thermal waters. University of Avignon, France.
- Kompani-Zare, M. Moore F(2001) ,Chemical thermometry and origin of the Dalaki mineral springs, Bushehr Province, Iran . J. Hydrol., 40(2) 189–204.
- Gascoyne Mr, D.C, kamineni(1994),The hydrogeochemistry of fractured plutonic rocks in the Canadian Shield. Applied Hydrogeology., 2(94) 43-49.
- Toth, J(1999), Groundwater have has geologic agent: the overview of the Year talk, process, and demonstrations, Hydrogeology Journal., 7: 1-14.

Fig. 1. Geographical location of the study area

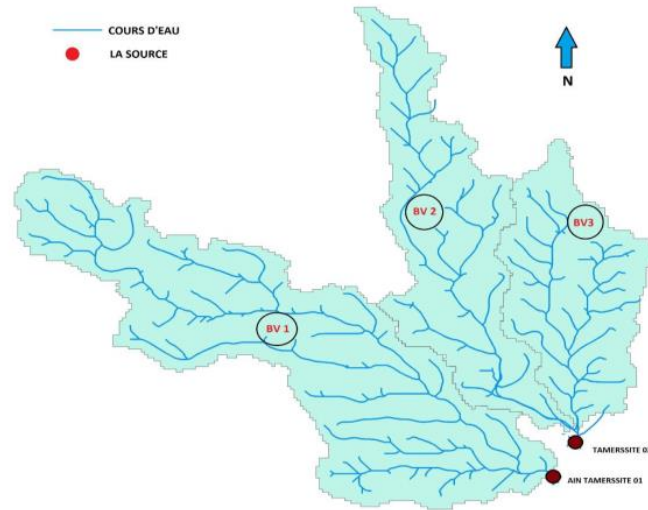


Fig.2. Map of catchments of the Tamersite springs 1 and 2.

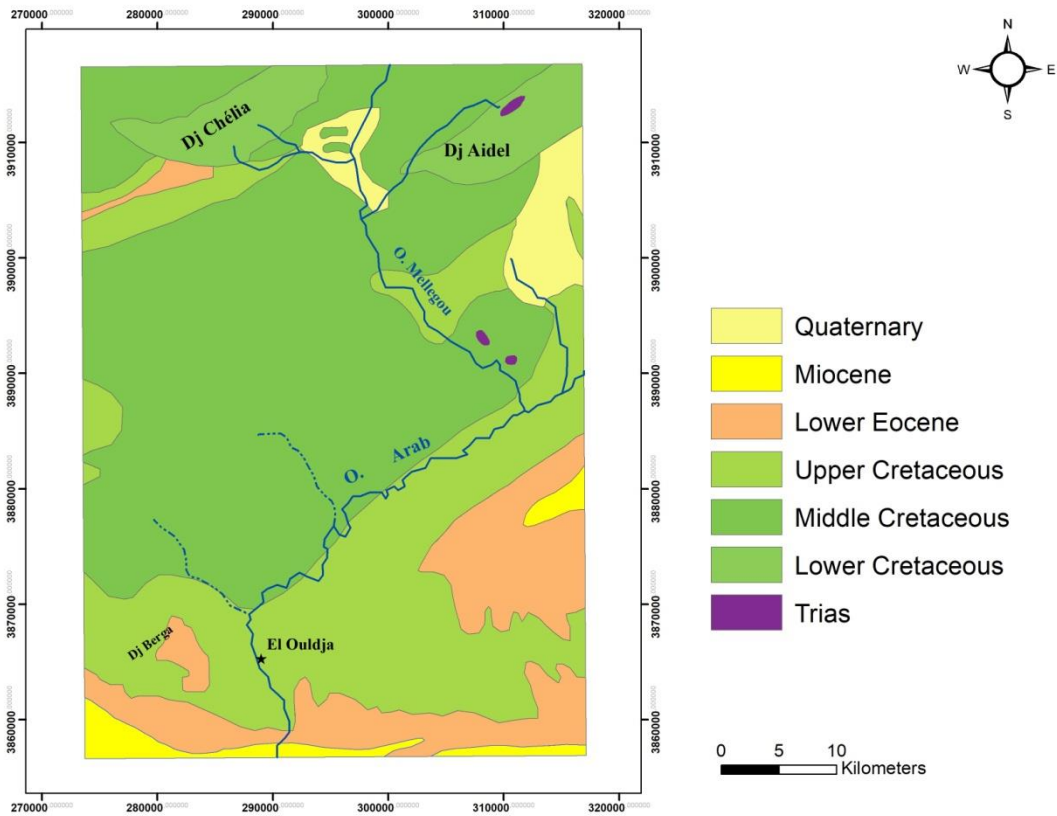


Fig. 3. Geological setting of the study area.

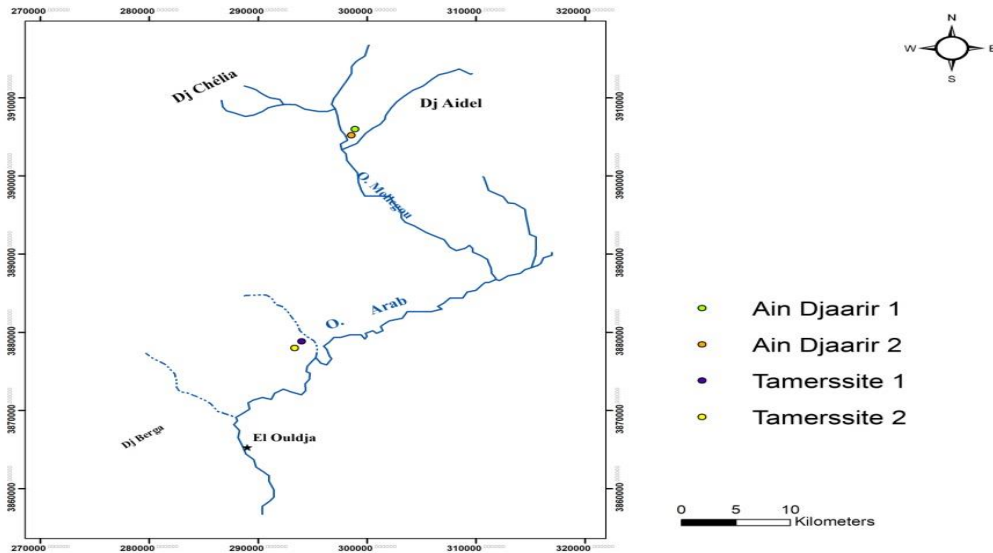


Fig. 4. Inventory map of the study area.

Spring s	T°	ph	c25°C	O2	TDS	Ca	Mg	Na	K	CL	SO4	HC O3	N O3	NH4	SiO2	Zn	Mn	Fe
Tamrs it1	27,04	7,64	200	4,6	920	48,1	33,05	619,23	146	20,29	54,2	727,22	1	0	18,6	0,0067	0,0064	0,0083
Ta mrsi t2	25,5	7,6	1691	6,7	813	57,72	21,87	452	99,5	13,52	1,89	534,65	0	0,37	18,2	0,0038	0,1551	0,0850
A.Djar ir 1	34	7,49	5350	7,2	2670	234,07	28,19	1374,15	166	171,076	287,55	222,47	1	0,14	26,3	0	0,01721	0
A.Djar ir 2	30,7	7,46	5360	5,2	2680	238,88	21,87	1450,68	148	171,076	262,46	200,51	1	0,24	27,8	0,0165	0,0214	0,2372

Table 1: Physico- chemical composition of sampled waters ^a

^a Values are expressed in mg/l except SiO₂ in mg/kg. Temperature is expressed in °C, pH in pH units. EC=electrical conductivity in S/cm at 25 °C.

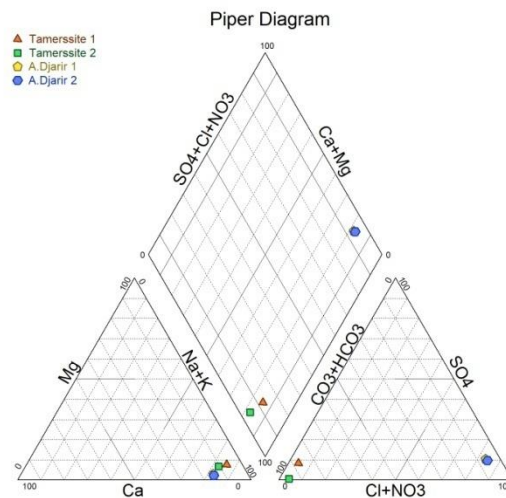


Fig. 5. Piper diagram showing the chemical facies

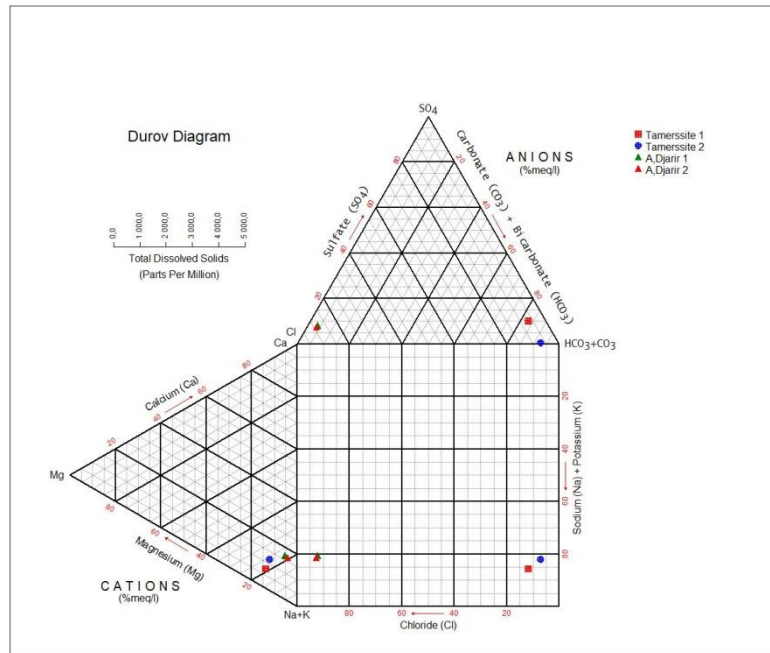


Fig. 6. Diagram of Durov representing the major element concentrations of tamerssite and Djarir springs

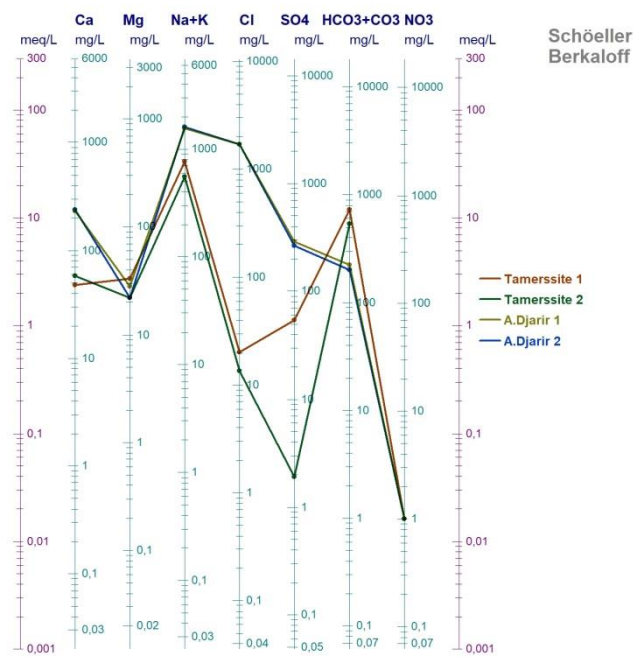


Fig.7. Schoeller-Berkaloff diagram applied to thermal water

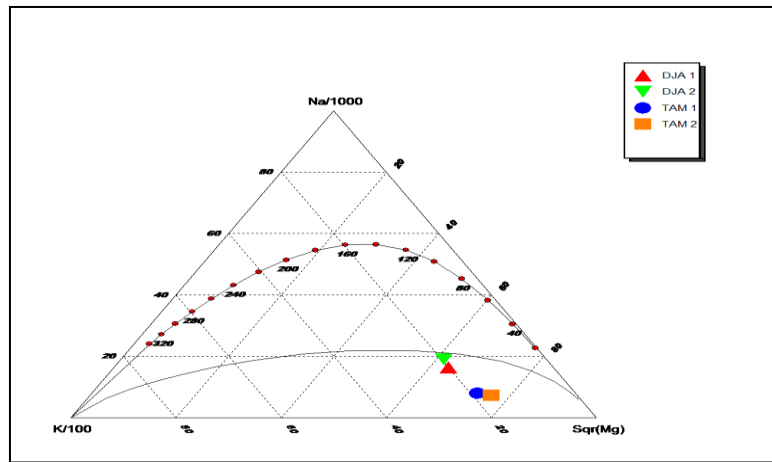


Fig . 8. Na-K-Mg ternary diagram.

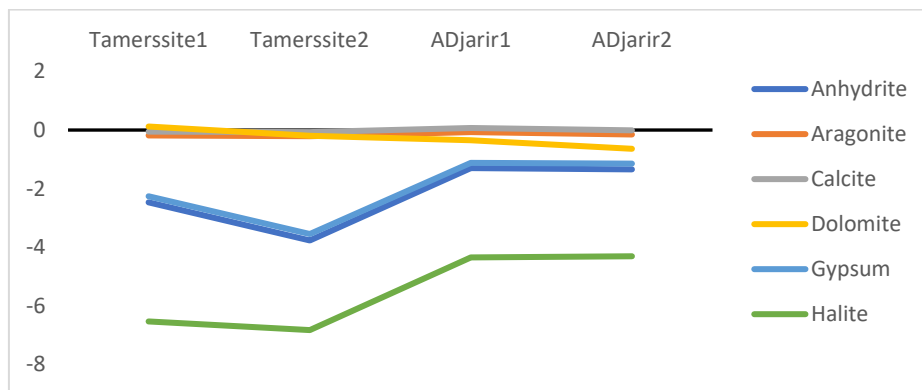


Fig. 9. Saturation index variation of minerals



ENERJİ İTHALATININ TÜFE ÜZERİNE ETKİSİ: TÜRKİYE ÖRNEĞİ THE EFFECT OF ENERGY IMPORTS ON CPI: THE CASE OF TURKEY

Arş. Gör. Rahman AYDIN

Atatürk Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Erzurum, Türkiye
ORCID NO: 0000-0003-0440-7468

Arş. Gör. Nazlı GÖKÇE

Atatürk Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Erzurum, Türkiye
ORCID NO: 0000-0001-7215-8753

Özet

Ülkelerin enerjiye olan talepleri özellikle Birinci Sanayi Devrimi'nde başlamış ve sonraki dönemlerde artarak devam etmiştir. Enerjiye bağımlı olan ülkeler özellikle petrol arz şoklarından sonra konunun önemine dikkat çekmişlerdir. Çünkü bu ülkeler yaşadıkları fiyat şokları karşısında hem cari açıkla hem de enflasyon ile karşılaşmışlardır. Ayrıca arz şoklarına bağlı olarak döviz kurlarında da önemli oynaklıklar meydana gelmiş ve ülke ekonomileri bu durumdan olumsuz bir şekilde etkilenmiştir.

Enerjide diğer bir önemli kalem olan doğalgaz fiyatlarında yaşanan dalgalanmalar dikkat çekmektedir. Çünkü doğalgaz hem üretim için sanayide hem de ısınmak amacıyla evlerde ihtiyaç duyulan enerji talebini karşılamada önemli bir paya sahiptir. Özellikle doğalgaz fiyatlarında yaşanan artışlar üretim maliyetleri üzerinde baskıya sebep olmaktadır. Tüm bu nedenlerden dolayı enerji fiyatlarında dönemsel olarak yaşanan dalgalanmaların ülke ekonomileri üzerine olumsuz etkileri birçok çalışmanın araştırma konusu olmuştur.

Bu çalışmada enerji ithalatının Türkiye ekonomisi üzerine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla 2009-2021 arası TCMB veri tabanından elde edilen verilerle enerji ithalatı ve döviz kurunun enflasyon üzerine etkisi Toda-Yamamoto nedensellik testi ile incelenmiştir. Çalışmada kullanılan Toda-Yamamoto nedensellik testi VAR analizi üzerinden modellenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre, enerji ithalatından ve döviz kurundan tüketici fiyat endeksine doğru bir nedensellik olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında hem tüketici fiyat endeksinden ve hem de döviz kurundan enerji ithalatına doğru bir nedensellik olduğu tespit edilmiştir. Son olarak enerji ithalatından döviz kuruna doğru bir nedensellik ilişkisinin varlığı belirlenirken, tüketici fiyat endeksinden döviz kuruna doğru bir nedensellik ilişkisi olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelime: Enerji İthalatı, TÜFE, Döviz Kuru

Abstract

The demands of countries for energy started especially in the First Industrial Revolution and continued to increase in the following periods. Countries that are dependent on energy have drawn attention to the importance of the issue, especially after oil supply shocks. Because these countries faced both current account deficit and inflation in the face of price shocks. In addition, significant volatility occurred in exchange rates due to supply shocks and the economies of the countries were adversely affected by this situation.

The fluctuations in natural gas prices, which is another important item in energy, draw attention. Because natural gas has an important share in meeting the energy demand needed both in industry for production and in homes for heating. Especially the increases in natural gas prices cause pressure on production costs. For all these reasons, the negative effects of periodic fluctuations in energy prices on national economies have been the subject of many studies.

In this study, the effects of energy imports on the Turkish economy were examined. For this purpose, the effects of energy imports and exchange rates on inflation were examined with the Toda-Yamamoto causality test, with the data obtained from the CBRT database between 2009-2021. The Toda-Yamamoto causality test used in the study was modeled through VAR analysis. According to the findings obtained from the study, it has been determined that there is a causality from energy imports and exchange rates to the consumer price

index (CPI). In addition, it has been determined that there is a causality from both the consumer price index and the exchange rate to energy imports. Finally, while determining the existence of a causal relationship from energy imports to the exchange rate, it has been concluded that there is no causal relationship from the consumer price index to the exchange rate.

Keywords: Energy Imports, CPI, Exchange Rate

1. Giriş

Enerji ülkelerin üretimlerini sürdürebilmeleri, günlük ihtiyaçlarını giderebilmeleri gibi birçok alanda ihtiyaç duyulan bir faktör olmaktadır. Hatta ülkelerin gelişmişlikleri noktasında da bir gösterege olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle Sanayi Devrimi ile birlikte ülkelerin üretim süreçlerinde enerjiyi yoğun olarak kullanmaya başlaması, enerjiye olan talep miktarını artırmıştır. Enerjiye olan talebin artması, enerji fiyatları üzerinde artırıcı bir unsur teşkil etmektedir.

Günümüz ekonomilerinde doğal gaz, kömür, petrol ve petrolden elde edilen ürünler enerji ihtiyacını karşılama noktasında önemli kaynaklar olduğu bilinmektedir. Üretimlerini sürdürebilmek adına ülkeler bu enerji kaynaklarına ihtiyaç duymaktadır. Bu noktada, enerji ithalatı ülke ekonomilerine ilave bir maliyet kanalının doğmasına sebebiyet vermektedir. Girdi maliyetlerinde meydana gelen artış ise üretilen ürünlerin fiyatlarına yansımaktadır. Bu da TÜFE’de yaşanacak bir artışı ifade etmektedir. Çünkü TÜFE hesaplanırken sepete dâhil edilen birçok ürünün üretimi, bu enerji kaynaklarından faydalanmayı gerektirmektedir.

Bu çalışmada Türkiye’nin de enerji ithalatçısı ülke konumunda olması sebebiyle, enerji ithalatının tüketici fiyat endeksine yansması 2009S1-2021S2 dönemleri ele alınarak incelenmiştir. Çalışmanın devamında konuyla ilgili literatür çalışması sunulacak ve son bölümde ampirik sonuçlar tartışılacaktır.

2. Literatür

Yazarlar	Dönem ve Yöntem	Değişkenler	Ülke	Bulgular
Çalışkan vd. (2021)	2003-2019 aylık veri seti ile Asimetrik Nedensellik Analizi	Petrol fiyatları, TÜFE	BRICS-T	Hindistan haricinde petrol ithali yapan ülkelerin petrol fiyatlarında meydana gelen değişimin enflasyonla ilgili olduğu tespit edilmiştir.
Ertürk ve Erkan (2021)	1980:01-2018:04 dönemleri için SVAR analizi	Petrol fiyatları, TÜFE, çıktı açığı	Türkiye	Petrol fiyatlarından tüketici fiyatlarına olan geçiş etkisi 2002:04 sonrasında, önceki döneme kıyasla artış gösterdiği tespit edilmiştir. Fakat bu etkinin önceki döneme göre daha kısa zamanda ortadan kalktığı görülmüştür.
Oloko vd. (2021)	Ocak 2000-Aralık 2019 dönemi için CVAR ve FCVAR modeli	Petrol fiyatları, enflasyon oranı	10 petrol ihraç ve ithal eden ülke	Petrol ithal eden ülkelerde petrol ihraç eden ülkelere göre enflasyon direncinin görece daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
Erçakar vd. (2020)	2001:Q1-2019:Q4 dönemleri için VAR modeli	Petrol fiyatları, enflasyon oranı, işsizlik oranı	Euro Bölgesi	Analiz sonucuna göre, petrol fiyatlarında oluşan bir şok karşısında enflasyon oranı kısa dönemde negatif, uzun dönemde ise pozitif tepki vermektedir.

Raheem vd. (2020)	1986-2017 dönemleri için NARDL	Petrol fiyatları, TÜFE	Petrol ticareti yapan 20 ülke	Petrol fiyatlarında meydana gelen değişimlerin petrol ihraç ve ithal eden ülkelerin ikisinde de aynı etkiye sebep olduğu tespit edilmiştir. Petrol fiyatlarında meydana gelen artışın enflasyon oranları üzerinde de artırıcı etkisi olduğu görülmüştür.
Bayraktutan ve Solmaz (2019)	2003Q1-2018Q2 dönemleri için Panel Veri Analizi	Petrol fiyatları, TÜFE, GSYİH, işsizlik oranı	En çok petrol ithal eden 20 ülke	Petrol fiyatlarının TÜFE üzerindeki uzun dönemli etkisinin ülkeden ülkeye değiştiği gözlemlenmiştir.
Özata (2019)	Ocak 2002-Nisan2017 dönemleri NARDL	Enflasyon oranı (ÜFE-TÜFE), işsizlik oranı, petrol fiyatları, GSYİH	Türkiye	Analize göre, petrol fiyatları ile ÜFE-TÜFE etkisi uzun dönemde asimetrik, kısa dönemde ise simetrik. Uzun dönemde ÜFE TÜFE'den daha fazla artmaktadır.
Salisu vd. (2017)	2000-2014 çeyreklik veri seti ile Dinamik Panel Veri Analizi	Çekirdek enflasyon, petrol fiyatları, çıktı artışı	Seçili net petrol ihracat ve ithalatçısı ülkeler	Petrol fiyatları ile enflasyon arasında anlamlı ilişkinin varlığı tespit edilmiştir. Ayrıca uzun dönemde petrol ithalatçısı ülkelerin petrol ihracatçısı ülkelere göre petrol fiyatlarındaki değişimin enflasyon üzerine etkisinin daha etkili olduğu tespit edilmiştir.
Erkuş ve Karamelikli (2016)	2003-2015 aylık veri seti ile ARDL-NARDL	TÜFE, endüstriyel üretim endeksi, döviz kuru, petrol fiyatları	Türkiye	Petrol fiyatları ile TÜFE arasında asimetrik ilişkinin varlığı tespit edilmiştir. Ayrıca petrol fiyatlarında meydana gelen artışın TÜFE'yi pozitif etkilediği ifade edilmiştir.
Öksüzler ve İpek (2011)	1987:1-2010:9 dönemleri için VAR	GSYİH, petrol fiyatları, enflasyon	Türkiye	Petrol fiyatları ile enflasyon arasında gerçekleşen herhangi bir nedensellik ilişkisi bulunmamıştır. Etki tepki analizi sonucunda ise petrol fiyatında gerçekleşecek pozitif bir şokun enflasyonu pozitif etkilediği belirlenmiştir.

3. Araştırma ve Bulgular

Bu çalışmada enerji ithalatı ile enflasyon arasındaki ilişki incelenmiştir. Ayrıca çalışmaya döviz kuru değişkeni de ilave edilmiştir. Aşağıdaki Tablo 1'de çalışmada kullanılan veriler sunulmuştur.

Tablo 1: Çalışmada Kullanılan Değişkenler

Değişkenler	Model içi kullanımı	Kaynak
TÜFE	ltüfe	TCMB
Enerji İthalatı	lei	TCMB
Döviz Kuru	ldk	TCMB

Çalışmada kullanılan veriler TCMB veri tabanından elde edilmiştir ve 2009S1-2021S1 dönemlerini kapsamaktadır. Tüketici fiyat endeksi, enerji ithalatı ve döviz kuru değişkenleri, sırasıyla ltüfe, lei ve ldk

şeklinde kullanılmaktadır. Verilerin öncelikle logaritmik dönüşümü sağlanmıştır devamında ise birim kök içerip içermedikleri araştırılmıştır. Aşağıdaki tabloda verilerin birim kök sonuçları sunulmaktadır.

Tablo 2: ADF Birim Kök Testi

Değişkenler	ADF Birim Kök Testi	
	Sabitli Model	Sabitli ve Trendli Model
ltüfe	1.809 (0.999)	-1.709 (0.715)
Δltüfe	-4.432 (0.002)***	-5.533 (0.001)***
lei	-2.479 (0.133)	-2.728 (0.235)
Δlei	-2.921 (0.058)**	-2.674 (0.254)
ldk	3.314 (0.999)	0.046 (0.994)
Δldk	-3.549 (0.015)**	-5.039 (0.002)***

- Bilgi kriteri olarak Schwarz belirlenmiştir
- Maksimum gecikme olarak 5 belirlenmiştir.
- **, *** sembolleri sırasıyla % 5 ve %1 düzeyinde anlamlılık belirtmektedir.

Tablo 2 de ADF birim kök testi sonuçları sunulmaktadır. Birim kök testi sonuçlarına göre ltüfe, lei ve ldk serileri hem sabitli hem de sabitli - trendli modelde birinci farkında durağan olduğu görülmektedir. Ancak lei serisinin birinci farkında sabitli ve trendli modelde durağan olmadığı, sabitli modelde durağan olduğu belirlenmiştir. Çalışmanın devamında enerji ithalatı ve döviz kuru serilerinin tüketici fiyat endeksi üzerine etkisini incelemek üzere Toda-Yamamoto nedensellik testi kullanılmıştır.

$$LTÜFE_t = \alpha + \sum_{i=1}^k \partial_{1i} LTÜFE_{t-i} + \sum_{i=1}^k \beta_{1i} LDK_{t-i} + \sum_{i=1}^k \beta_{1i} LEİ_{t-i} + \sum_{j=m+1}^{d_{max}} \theta_{1i} LTÜFE_{t-i} + \sum_{j=m+1}^{d_{max}} \varphi_{1j} LDK_{t-i} + \sum_{j=m+1}^{d_{max}} \theta_{1i} LEİ_{t-i} \varepsilon_{1t}$$

Yukarıda sunulan Toda-Yamamoto modeli, VAR modeline dayandığı bilinmektedir. Değişkenler arasındaki nedensellik, VAR modelinde yer alan “k” ve değişkenlerin durağanlık derecesi olan “d_{max}” belirlendikten sonra “k+d_{max}” boyutu ile tahmin edilmektedir. Yukarıdaki denklemde “k” parametresi gecikme uzunluğunu ifade ederken, “d_{max}” parametresi ise bütünleşme derecesini göstermektedir (Yenilmez ve Erdem, 2018; Gazel, 2017).

Çalışmanın devamında birinci farkında durağan oldukları belirlenen seriler için uygun VAR modeli tahmin edilecektir. Aşağıdaki tabloda en uygun VAR modelinin tahmin sonuçları sunulmaktadır.

Tablo 3: Tanısal Test Sonuçları

Lag	AIC	SC	HQ
1	-13.82199	-13.37434*	-13.72484
2	-14.16278	-13.26748	-13.96848
3	-14.51729	-13.17433	-14.22583
4	-14.65968*	-12.86907	-14.27107*

- LM Test 10.744 (0.2937)
- Heteroskedasticity Test 119.465 (0.212)
- Gecikme 4 olarak belirlenmiştir

Tablo 3’te çalışmanın tanısal test sonuçları görülmektedir. Tanısal test sonuçlarına göre en uygun gecikmenin AIC ve HQ bilgi kriterlerine göre “4” olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında tercih edilen modelde

otokorelasyon ve değişen varyans sorununun olmadığı görülmektedir. Çalışmanın devamında döviz kurunun ve enerji ithalatının tüketici fiyat endeksi üzerine etkisini belirlemek üzere Toda-Yamamoto nedensellik testi uygulanmıştır. Toda-Yamamoto nedensellik testi sonuçları aşağıda sunulmuştur.

Tablo 4: Toda – Yamamoto Test Sonuçları

Model	Olasılık	Nedenselliğin Yönü	Hipotez
Itüfe - ldk	24.603 (0.000)***	ldk → Itüfe	H ₀ Red
Itüfe - lei	38.928 (0.000)***	lei → Itüfe	H ₀ Red
- k + d _{max} = 4+ 1			
-***, sembolü %1 düzeyinde anlamlılığı ifade etmektedir.			

Tablo 4’te Toda-Yamamoto nedensellik testi sonuçları yer almaktadır. Elde edilen bulgulara göre döviz kurunun ve enerji ithalatının tüketici fiyat endeksinin nedeni değildir şeklinde kurulan H₀ hipotezi reddedilmektedir. Diğer bir ifadeyle döviz kuru ve enerji ithalatı tüketici fiyat endeksinin nedeni olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Türkiye’nin makroekonomik yapısı incelendiğinde döviz kurunda meydana gelen bir artışın tüketici fiyat endeksinin pozitif yönde etkilediği bilinmektedir. Ayrıca Türkiye ekonomisi ihtiyaç duyduğu enerji ihtiyacının büyük bir bölümünü ithalat yoluyla karşılamaktadır. Bu nedenle enerji fiyatlarında meydana gelen artışlar tüketici fiyat endeksinin pozitif yönde etkilemektedir.

4. Sonuç

Ülkelerin üretimlerini sürdürmeleri noktasında enerjiye olan ihtiyaçlarının aşikâr olduğu bilinmektedir. Enerji üretimi noktasında ise çoğunlukla doğal gaz, kömür, petrol ve petrolden elde edilen enerji kaynakları kullanılmaktadır. Bu noktada ülkelerin bu kaynaklara sahip olması ekonomileri açısından önem teşkil etmektedir. Enerji ihraç eden ülkeler bu hususta biraz daha şanslı olurken ithal eden ülkelerin bir takım dezavantajları bulunmaktadır. Gerçekleştirilen ithalatın üretim maliyetlerini artırması ve bu kapsamda bir maliyet enflasyonu oluşturması bu dezavantajlar dâhilinde olmaktadır. Ayrıca yapılan ithalatın dövizle gerçekleştiriliyor olması da bir başka maliyet artırıcı unsur olmaktadır.

Bu kapsamda ele alınan çalışmada enerji ithali ile TÜFE arasında meydana gelen ilişki tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda 2009S1-2021S1 dönemleri incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre döviz kuru ile enerji ithalatının TÜFE’nin nedeni olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuç Türkiye’nin enerji noktasında dışa bağımlı olması sebebiyle mevcut duruma uygunluk göstermektedir. Dolayısıyla enerji fiyatlarında meydana gelen bir artışın ülkedeki TÜFE kaynaklı enflasyonu tetikleme etkisinin olduğu görülmüştür. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik eden politikaların geliştirilmesi önem arz etmektedir.

Kaynakça

- Bayraktutan, Y., Solmaz, A.R. 2019. “Petrol Fiyatları ve Enflasyon İlişkisi: Seçilmiş Petrol İthalatçısı Ülkeler İçin Panel Veri Analizi”, *KOSBED*, 37, 279-291.
- Çalışkan, H., Kantarcı, T., Çevik, E.İ. 2021. “Petrol Fiyatları ve Enflasyon Arasında Frekans Alanında Asimetrik Nedensellik Analizi: BRICS-T Ülkeleri Üzerine Bir Uygulama”, *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, 20(3), 1090-1111.
- Erçakar, M.E., Alakuştekin, A., Abdullazade, M. 2020. “Petrol Fiyatlarındaki Değişmelerin Enflasyon ve İşsizlik Üzerindeki Etkileri: VAR, Eşbütünleşme ve Granger Nedensellik Analizleri-Euro Bölgesi Örneği”, *Pearson Journal of Social Sciences & Humanities*, 5(7), 82-92.
- Erkuş, S., Karamelikli, H. 2016. “Türkiye’de Tüketici Fiyatları İle Ham Petrol Fiyatları Arasındaki İlişkinin Asimetrik Analizi”, *Conference Paper*, 1-14
- Ertürk, E., Erkan, R. 2021. “Petrol Fiyatlarından Enflasyona Geçiş Etkisi: Geleneksel Philips Eğrisi Yöntemi ve SVAR Analizi”, *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, 76(1), 103-127.

- Gazel, S. 2017. "BİST Sınai Endeksi ile Çeşitli Metaller Arasındaki İlişki: Toda-Yamamoto Nedensellik Testi. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5(52), 287-299.
- Oloko, T.F., Ogbonna, A.E., Adedeji, A.A., Lakhani, N. 2021. "Oil Price Shocks and Inflation Rate Persistence: A Fractional Cointegration VAR Approach", *Economic Analysis and Policy*, 70, 259-275.
- Öksüzler, Ö. 2011. "Dünya Petrol Fiyatlarındaki Değişimin Büyüme ve Enflasyon Üzerindeki Etkisi: Türkiye Örneği", *ZKÜ Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(14), 15-34.
- Özata, E. 2019. "Türkiye'de Petrol Fiyatlarından Enflasyona Asimetrik ve Doğrusal Olmayan Geçişkenlik", *Optimum Ekonomi ve Yönetim Dergisi*, 6(1), 17-32.
- Raheem, I.D., Bello, A.K., Agboola, Y.H. 2020. "A New Insight Into Oil Price-Inflation Nexus", *Elsevier*, 68, 1-9.
- Salisu, A.A., Isah, K.O., Oyewole, O.J., Akanni, L.O. 2017, "Modelling Oil Price-Inflation Nexus: The Role of Asymmetries", *Elsevier*, 125, 97-106.
- Yenilmez, F. ve Erdem, MS. 2018. "Türkiye ve Avrupa Birliği'nde Ekonomik Büyüme ile Enerji Tüketimi Arasındaki İlişki: Toda – Yamamoto Nedensellik Testi". *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(1), 71-95.