



**KTO KARATAY
ÜNİVERSİTESİ**

**T. C.
KTO Karatay Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

**ELEKTRİK-BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**BULANIK MANTIK YÖNTEMİ İLE KARBON NANOTÜPLERİN ENERJİ BANT
ARALIĞININ TESPİTİ**

Muhammet Çağrı GENCER

KONYA

TEMMUZ 2019

BULANIK MANTIK YÖNTEMİ İLE KARBON NANOTÜPLERİN ENERJİ BANT
ARALIĞININ TESPİTİ

Muhammet Çağrı GENCER

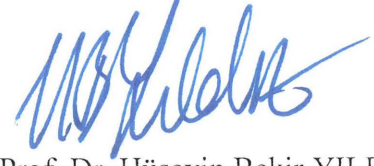
KTO Karatay Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programı

Yüksek Lisans Tezi

KONYA

Temmuz, 2019

Fen Bilimleri Enstitü Onayı



Prof. Dr. Hüseyin Bekir YILDIZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezli yüksek lisans tezinin yapılması gereken bütün gerekliliklerinin yerine getirdiğini onaylıyorum.

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Oktay ALTUN

Anabilim Dalı Başkanı



Muhammet Çağrı GENCER tarafından hazırlanan BULANIK MANTIK YÖNTEMİ İLE KARBON NANOTÜPLERİN ENERJİ BANT ARALIĞININ TESPİTİ başlıklı bu çalışma 11.07.2019 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jüri tarafından tezli yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Novruz ALLAHVERDİ

Tez Danışmanı

Jüri Üyeleri

Başkan: Prof. Dr. Novruz ALLAHVERDİ

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ali ÖZTÜRK

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Murat KÖKLÜ

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak ve kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

11 / 07 / 2019

Muhammet Çağrı GENCER



ÖZET

BULANIK MANTIK YÖNTEMİ İLE KARBON NANOTÜPLERİN ENERJİ BANT ARALIĞININ TESPİTİ

GENCER, Muhammet Çağrı

Elektrik-Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Novruz ALLAHVERDİ

Temmuz 2019

Karbon nanotüpler, mikroskobik düzeyde olup nanometre birimleriyle ölçülen ve değiştirilebilen yapılarıyla sanayiden tıba kadar birçok bilimsel alanda kullanılabilen ve bu alanların ihtiyaçları doğrultusunda çözüm sunulmasında büyük rol oynayan maddelerdir. Karbon nanotüplerin bilimsel alanlarda kullanılması içinse; bazı mekanik, fiziksel ve elektronik özelliklerinin tespit edilmesi ve bunların üzerinde laboratuvar çalışmalarıyla ihtiyaç duyulan alana göre değişiklik yapılarak gerekli sonuçların elde edilmesi gerekmektedir. Ancak; laboratuvar çalışmaları, karbon nanotüpler üzerinde deneyler yaparken, oldukça fazla zaman almakta ve maliyete sebep olmaktadır. Tezde yapılmış çalışma bu sorunun çözümünde bir ilk adım olması amacı taşımaktadır. Daha önce yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarının bir veri seti haline getirilerek, bir yapay zekâ tekniği ile işlenmesi durumunda; fazladan laboratuvar deneyleri yapmak yerine, programın yüksek yüzdeyle yaptığı tahmin becerisi kullanılarak zamandan ve bütçeden tasarruf edilebilir. Bu tez çalışmasında yapay zekâ tekniği olarak bulanık mantık tercih edilmiştir. Bu teknik uygulanırken de; karbon nanotüplerin elektronik bir özelliği olan enerji bant aralığı çıkış olarak; gerinim değeri, fermi enerji seviyesi, ortalama enerjisi, itici potansiyeli ve elektronik bant yapısı enerjisi özellikleri de giriş olarak seçilmiştir. Eğer deney sonuçları yüksek bir yüzde ile tahmin edilebilirse; bu daha önce yapılmamış deneylerin de yüksek bir yüzdeyle doğru tahmin edilmesini sağlayacaktır. Böylece; fazladan deney yapılmasına gerek olmadan, yalnızca yapay zekâ yöntemini uygulayan programın yardımıyla deney sonuçları elde edilebilecektir. Bu da zaman ve bütçeden tasarruf edilmesini sağlayacak, dolayısıyla nanoteknolojik çalışmaların hızlanmasına öncülük edecektir. Bu çalışmaların hızlanması da, sanayi, tarım, tıp vb. nanoteknolojinin etkilediği diğer alanların gelişmesini dolaylı olarak etkileyecektir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık, Tek Duvarlı Karbon Nanotüp, Gerinim Değeri, Fermi Enerji Seviyesi, Ortalama Enerji, Enerji Bant Aralığı

ABSTRACT

THE DETECTION OF THE CARBON NANOTUBES' ENERGY BAND GAP WITH THE FUZZY LOGIC

GENCER, Muhammet Çağrı

M.Sc. Electrical-Computer Engineering

Prof. Dr. Novruz ALLAHVERDİ

July 2019

Carbon nanotubes are microscopic level materials which are measured in nanometer units. They are used in a lot of scientific fields like industry or medicine and have a big role in providing a solution towards the needs of these fields with their changeable structures. In order to use them in the scientific fields; it is necessary to determine their mechanical, physical and electronic features and to get the needed results by making a change on them with laboratory works according to the required field. However; the laboratory works take too much time and cause too much cost by making experiments on the carbon nanotubes. The work which was done in this thesis, has a purpose to be the first step in the solution of this problem. In case of processing the results of the experimental works which were done before with a fuzzy logic technique; time and budget can be saved by using the prediction skill which is done by a computer program with high accuracy instead of making extra laboratory experiments. In this thesis work, fuzzy logic is preferred as the artificial intelligence technique. In order to apply this technique; energy band gap -which is an electronic feature of the carbon nanotubes- was chosen as output; strain value, fermi energy level, average energy, repulsive potential and electronic band structure energy were chosen as input. If the experiment results can be predicted with high accuracy, this will provide to predict also the results of the experiments which weren't done before with high accuracy. Thus, the experiment results will be gained by the help of the program that only applies the artificial intelligence method without the need for extra experiments. This will also provide time and budget savings; consequently will lead the acceleration of the studies. The acceleration of the studies will also effect the development of the other fields -like industry, agriculture or medicine- that are effected by nanotechnology indirectly.

Keywords: Fuzzy Logic, Single Walled Carbon Nanotube, Strain Value, Fermi Energy Level, Average Energy, Energy Band Gap

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Prof. Dr.Novruz ALLAHVERDİ ve bana konu hakkında ayrıntılı bilgi edinme, sistem tasarımı ve veri elde etme hususunda büyük yardımı dokunan hocam Dr.Öğr.Üyesi Necati VARDAR'a içten teşekkürlerimi sunarım.

Muhammet Çağrı GENCER

Temmuz 2019



İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|---|--------------|
| ÖZET | ii |
| ABSTRACT | iii |
| TEŞEKKÜR | iv |
| İÇİNDEKİLER | v |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ | vii |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ | viii |
| KISALTMALAR | x |
| SEMBOL LİSTESİ | xi |
| | |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Nanoteknoloji ve Çalışma Alanları | 1 |
| 1.2. Karbon Nanotüpler ve Karbon Nanotüplerin Yapısı | 3 |
| 1.3. Kaynak Araştırması | 7 |
| 1.4. Tezin Önemi ve Amacı | 9 |
| 1.5. Tezin Organizasyonu | 10 |
| | |
| 2. SİSTEMDE KULLANILAN VERİLER HAKKINDA BİLGİLER | 12 |
| 2.1. Girdiler | 12 |
| 2.1.1. Gerinim Değeri | 12 |
| 2.1.2. Fermi Enerji Seviyesi | 13 |
| 2.1.3. Ortalama Enerji | 15 |
| 2.1.4. İtici Potansiyel ve Elektronik Bant Yapısı Enerjisi | 16 |
| 2.2. Çıktılar | 16 |
| 2.2.1. Enerji Bant Aralığı | 16 |
| | |
| 3. MATERYAL VE METOTLAR | 18 |
| 3.1. Materyaller | 18 |
| 3.1.1. Matlab R2015a ve Fuzzy Logic Toolbox | 18 |
| 3.1.2. Microsoft Visual Studio 2010 ve Tez Kapsamında Yazılan Program | 24 |
| 3.1.3. Origin Pro 2016 SR0 | 33 |
| 3.1.4. Microsoft Excel 2007 | 34 |
| 3.2. Metotlar | 38 |
| 3.2.1. Bulanık Mantık | 38 |
| 3.2.2. Başarı Yüzdesi Hesaplama | 56 |
| | |
| 4. BULANIK UZMAN SİSTEM TASARIMI | 58 |
| 4.1. Girdiler | 58 |
| 4.1.1. Gerinim Değeri | 59 |

| | |
|--|----|
| 4.1.2. Fermi Enerji Seviyesi | 60 |
| 4.1.3. Ortalama Enerji | 61 |
| 4.1.4. İtici Potansiyel | 63 |
| 4.1.5. Elektronik Bant Yapısı Enerjisi | 64 |
| 4.2. Çıktılar | 65 |
| 4.2.1. Enerji Bant Aralığı | 66 |
| 4.3. Kural Tablosu | 68 |
| 4.4. Örnekler | 69 |
| 4.4.1. Örnek-1 | 69 |
| 4.4.2. Örnek-2 | 71 |
| 4.4.3. Örnek-3 | 73 |
| 5. SONUÇLAR | 75 |
| KAYNAKLAR | 79 |
| ÖZGEÇMİŞ | 83 |

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge | Sayfa |
|--|--------------|
| Çizelge 3.1. Örnek Kurallar Listesi | 48 |
| Çizelge 3.2. Örnekte verilen tetiklenmiş kurallar | 50 |
| Çizelge 4.1. Girdilerin birimleri ve değer aralıkları | 58 |
| Çizelge 4.2. Çıktıların birimleri ve değer aralıkları | 65 |
| Çizelge 4.3. Bazı kural tablosu satırları | 68 |
| Çizelge 4.4. Örnek-1 için tetiklenen kurallar | 70 |
| Çizelge 4.5. Örnek-2 için tetiklenen kurallar | 72 |
| Çizelge 4.6. Örnek-3 için tetiklenen kurallar | 73 |
| Çizelge 5.1. Gerçek G/Ç değerleri, MATLAB sonuçları ve yazılan programın sonuçları | 76 |

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil | Sayfa |
|---|-------|
| Şekil 1.1. Grafenin Yapısı | 4 |
| Şekil 1.2. Tek ve Çok Duvarlı Karbon Nanotüplerin Yapısı | 4 |
| Şekil 1.3. Chiral vektörü | 5 |
| Şekil 2.1. L uzunluğundaki bir nesnenin gerinim hesabı | 12 |
| Şekil 2.2. Elektronların orbitallere dağılımı | 14 |
| Şekil 2.3. En yüksek enerjili elektronun uyarılarak iyon haline geçişinin temsili görüntüsü | 15 |
| Şekil 2.4. Enerji bant aralığının temsili görüntüsü | 17 |
| Şekil 3.1. MATLAB R2015a arayüzü | 19 |
| Şekil 3.2. MATLAB Fuzzy Logic Toolbox arayüzü | 20 |
| Şekil 3.3. MATLAB Fuzzy Logic Toolbox giriş ve çıkış düzenleme arayüzü | 21 |
| Şekil 3.4. MATLAB Fuzzy Logic Toolbox'ın kural tabanı arayüzü | 23 |
| Şekil 3.5. MATLAB Fuzzy Logic Toolbox sonuç çıkarma arayüzü | 24 |
| Şekil 3.6. Microsoft Visual Studio 2010 arayüzü | 26 |
| Şekil 3.7. Fuzzy Logic Generator ana arayüzü | 28 |
| Şekil 3.8. Girdi/Çıktı ekleme seçeneği ve eklemek için açılan pencere | 28 |
| Şekil 3.9. Girdi/Çıktı silme arayüzü | 29 |
| Şekil 3.10. Girdi/Çıktı düzenleme arayüzü | 30 |
| Şekil 3.11. Kural tabanı arayüzü | 31 |
| Şekil 3.12. Deney yapmak için kullanılan arayüz | 33 |
| Şekil 3.13. Origin Pro 2016 SR0 arayüzü ve verilerin tablo halinde gösterimi | 34 |
| Şekil 3.14. Excel programında satır ve sütunların oluşturduğu hücre yapısı | 35 |
| Şekil 3.15. Excel'de toplama ve çarpma işlev ve formülleri | 36 |
| Şekil 3.16. Excel'de veriler vasıtasıyla grafik çizimi | 37 |
| Şekil 3.17. Excel grafik çiziminde veri seçim penceresi | 38 |
| Şekil 3.18. Kesin ve Bulanık Kümelerin Grafikselsel Gösterimi | 40 |
| Şekil 3.19. Yamuk Üyelik Fonksiyonu Grafiği | 42 |
| Şekil 3.20. Üçgen Üyelik Fonksiyonu Grafiği | 42 |
| Şekil 3.21. Pi Üyelik Fonksiyonu Grafiği | 43 |
| Şekil 3.22. Bulanık Uzman Sistemin Yapısı | 44 |
| Şekil 3.23. Araba hızı için örnek üyelik dereceleri ve grafikler | 46 |
| Şekil 3.24. Prostat kanseri riski için bulanık uzman sistemin görüntüsü | 47 |
| Şekil 3.25. Mamdani Bulanık Çıkarımı'nın grafikselsel anlamda uygulanması | 52 |
| Şekil 3.26. Verilen örnekteki bulanık çıkarım işleminin grafikselsel sonucu | 53 |
| Şekil 3.27. En büyük alanın merkezi yöntemiyle durulaştırmanın grafikselsel gösterimi | 54 |
| Şekil 4.1. Gerinim Değeri Bulanık Kümelerinin Grafikleri | 59 |
| Şekil 4.2. Fermi Enerji Seviyesi Bulanık Kümelerinin Grafikleri | 60 |
| Şekil 4.3. Ortalama Enerji Bulanık Kümelerinin Grafikleri | 61 |
| Şekil 4.4. İtici Potansiyel Bulanık Kümelerinin Grafikleri | 63 |
| Şekil 4.5. Elektronik Bant Yapısı Enerjisi Bulanık Kümelerinin Grafikleri | 64 |
| Şekil 4.6. Enerji Bant Aralığı Bulanık Kümelerinin Grafikleri | 66 |
| Şekil 4.7. Örnek-1 için MATLAB Fuzzy Logic Toolbox sonuç görüntüsü | 70 |
| Şekil 4.8. Tasarlanmış olan BUS'un Örnek-1 için sonuç görüntüsü | 71 |

| | |
|---|----|
| Şekil 4.9. Örnek-2 için MATLAB Fuzzy Logic Toolbox sonuç görüntüsü | 72 |
| Şekil 4.10. Tasarlanmış olan BUS'un Örnek-2 için sonuç görüntüsü | 73 |
| Şekil 4.11. Örnek-3 için MATLAB Fuzzy Logic Toolbox sonuç görüntüsü | 74 |
| Şekil 4.12. Tasarlanmış olan BUS'un Örnek-3 için sonuç görüntüsü | 74 |



KISALTMALAR

| Kısaltmalar | Açıklama |
|--------------------|---|
| ANFIS | Adaptive Network Based Fuzzy Inference System |
| ASP | Active Server Page |
| BUS | Bulanık Uzman Sistem |
| ÇDKNT | Çok Duvarlı Karbon Nanotüp |
| FCM | Fuzzy C-Means Clustering |
| fis | Fuzzy Inference System Dosya Uzantısı |
| FN | False Negative |
| FP | False Positive |
| G.D. | Gerinim Değeri |
| GY | Gerinim Yüzdesi |
| HY | Hastanın Yaşı |
| IDE | Integrated Development Environment |
| K1, K2 | Kural 1, Kural 2 |
| KNT | Karbon Nanotüp |
| m | Metre |
| MAKS | Maksimum operatörü |
| MATLAB | Mathematics Laboratory |
| MIN | Minimum operatörü |
| MVC | Model View Controller |
| nm | Nanometre |
| opj | Origin Project Dosya Uzantısı |
| Opr | Operatör |
| Params | Parameters |
| PH | Prostat Hacmi |
| pr | Precision |
| PKR | Prostat Kanseri Riski |
| PSA | Prostat Spesifik Antijen Miktarı |
| rc | Recall |
| SQL | Structured Query Language |
| TDKNT | Tek Duvarlı Karbon Nanotüp |
| TN | True Negative |
| TP | True Positive |
| TPN | Tepe Noktası |
| txt | Metin Belgesi Dosya Uzantısı |
| vb | Ve benzeri |

SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıdasunulmuştur.

| Simgeler | Açıklama |
|------------------------|--|
| \vec{C}_h | Chiral Vektörü |
| \vec{a}_1, \vec{a}_2 | Birim vektörler |
| Å | Angström |
| L | Cisim Uzunluğu |
| ${}_{11}\text{Na}$ | Sodyum Simgesi |
| ${}_{53}\text{I}$ | İyot Simgesi |
| E_{ort} | Ortalama Enerji |
| E_{top} | Toplam Enerji |
| E_{gap} | Enerji Bant Aralığı |
| F | Bulanık Küme Gösterimi |
| $f(x;a,b,c,d)$ | Üyelik Fonksiyonu |
| V_{MAX} | Maksimum Hız |
| z^* | Ağırlık Merkezi |
| x_{final} | Ağırlık Merkezinin yatay eksenindeki değeri |
| (n,m) | Tek Duvarlı Karbon Nanotüpün Değer İkili |
| eV | Elektron Volt |
| T | Sıcaklık |
| E_F | Fermi Enerji Seviyesi |
| H_{top} | Toplam Hamiltonyen |
| T_i | İyonların kinetik enerjisi |
| T_e | Elektronların kinetik enerjisi |
| U_{ii} | İyon-İyon etkileşimlerinin potansiyel enerjisi |
| U_{ie} | İyon-Elektron etkileşmelerinin potansiyel enerjisi |
| U_{ee} | Elektron-Elektron etkileşimlerinin potansiyel enerjisi |
| σ | Sigma |
| δL | Cisim Uzunluğundaki Değişim |
| ϵ | Gerinim Değeri Sembolü |
| μ | Üyelik Derecesi |
| $\mu_A(x)$ | A kümesi için üyelik fonksiyonu |
| \prod | Pi Fonksiyonu |
| $\&$ | VE Operatörü |
| | VEYA Operatörü |
| % | Yüzde |

1. GİRİŞ

1.1. Nanoteknoloji ve Çalışma Alanları

"Nanoteknoloji" kelimesi; başında bulunan nano kelimesinden de anlaşılacağı üzere, nanometre boyutlarındaki maddeler üzerinde yapılan çalışmaları esas alan bir bilim dalını ifade eder. 1 nanometre (nm) = 10^{-9} m dir. Bu büyüklüğün gerçek dünyadan bir nesne ile kıyaslanması gerekirse; nanometrik bir büyüklük, bir saç telinin on binde birini temsil eder. Ya da bir nanometrik büyüklük; dünyanın yanında bir futbol topunun büyüklüğü kadardır [1].

Daha ayrıntılı bir tanım yapmak gerekirse; atomların ve atomların kimyasal bağlar vasıtasıyla bir araya gelerek oluşturdukları moleküllerin belli bir amaca hizmet edecek şekilde, çeşitli sıcaklıklarda, enerji düzeylerinde veya yapılarda, nanometrik bir yapı oluşturacak şekilde bir araya getirildiği ve ortaya çıkan yapıtaşı ile hizmet edilen amaca uygun maddelerin üretildiği bilim dalına *nanoteknoloji* denir. Nanoteknoloji üzerinde çalışma yapılabilmesi için sadece malzeme bilimine değil, fizik ve kimyaya da oldukça hakim olmak gerekmektedir [2].

Nanoteknoloji biliminin faydaları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

1. İstenen özelliklerde bir madde üretilebilir. Bu sayede üretilen maddeden daha kaliteli ürünlerin meydana getirilmesi sağlanır. Kaliteli ürün üretilirse, ürünün yeniden üretilmesi için ekstra maliyetten kurtulmuş olunur. Yapılan tasarruf ile daha fazla ürün üretilmesi sağlanır.
2. Daha az enerji harcanacağı için enerji maliyetleri de indirgenmiş olur.
3. Ürünler, aynı zamanda daha kısa sürede üretileceğinden dolayı zamandan da tasarruf sağlanır. Bu da farklı bilimsel çalışmaların yapılması için avantaj demektir.
4. Yaşam kalitesi artar. Su geçirmez kıyafetler, dayanıklı ve paslanmayan malzemeler, nanometrik boyutlardaki robotlar vb. elde edilen her yenilik, insan hayatını kolaylaştıracak yeni bir adım demektir.

5. Nanoteknoloji ile üretilen ürünler, katma değerli ürünler olduğu için bir ülkenin ihracat düzeyinin yükselmesini ve gelir düzeyinin artmasını sağlar [3].

Nanoteknolojinin çalışma alanları:

Materyal Üretimi: İleriki yıllarda; nanoteknoloji bilimi, oluşturulacak materyallerin ve cihazların, özellikle nanometrik boyutlarda olanlarının mikroskobik maddeler içerisine yerleştirilebilmesi için farklı üretim metotlarının ortaya çıkarılmasını zorunlu hale getirecektir. Üretilen materyallerin hem nanoboyutlarda, hem yükte hafif, hem de sağlam yapıda olması, aynı zamanda programlanabilmesi gerekli olacak, üretim aşamasında daha az ham madde ve enerji gereksinimi, daha az atık prensibine dayalı bir yol izlenecektir. Bu da nanoteknoloji ile sağlanacaktır [4].

Nanoelektrik ve Bilişim Teknolojileri: Günümüzde artık devre elemanlarının nanoboyutlarda üretilmesiyle, bu elemanların devre üzerindeki dizilimleri, bilgisayar üretiminde kullanılan mimariler de değişim gösterecektir. Nanoteknoloji vasıtasıyla, bu devre elemanları küçüldüğü için, devreler ve dolayısıyla bilgisayarlar da küçülecek, diğer yandan daha az enerji gerektirdiklerinden, daha hızlı çalışacaklardır [4].

Uzay ve Havacılık: Nanometrik boyutlardaki maddeler; hem hafif, hem sağlam, hem de farklı ortam şartlarına daha dayanıklı olduklarından dolayı uzay ve havacılıkla alakalı çalışmalarda yaygın bir kullanıma sahiptir. Nanoelektrik temelli yapılarla desteklenen uçuş sistemleri, ısıya dayanıklı koruyucu malzemeleri, mikro boyutlardaki uzay cihazlarında kullanılmak üzere nano boyutlarda aygıt üretimi gibi konularda nanoteknolojinin büyük bir desteği olacaktır [4].

Sağlık ve Tıp: İnsan vücudunda bulunan protein, yağ, karbonhidrat gibi temel besleyici maddeler, doku hücreleri, kromozom gibi yapıların tamamı nanoboyutlardadır. Bu boyutlardaki yapılara ulaşarak sorunların giderilebilmesi için üretilebilecek nanoaygıtlar sayesinde, hastalıkların tedavisi yüksek oranda sağlanmış olacaktır [4].

Enerji ve Çevre: Nanoteknoloji çevrenin korunması ve enerjinin kaliteli bir şekilde değerlendirilmesi konusunda büyük bir öneme sahiptir. Nanoteknoloji ile üretilen araçlar, daha az yakan, çevreyi daha az kirleten araçlar olacaktır. Nano boyutlardaki filtreler yardımı ile temiz su eldesi sağlanabilecek, hidrojeni yakıt olarak kullanabilen araçların icadıyla çevrenin kirlenmesinin önüne geçilecektir [4].

Tarım ve Biyoloji: Nanoteknolojinin yardımıyla biyolojik sentezleme ve işleme yapılarak, yeni ilaçların ve kimyasal bazı materyallerin üretilmesi sağlanabilir. Tarımda ise, bitkileri zararlılardan korumak amacıyla nano boyutlarda kimyasal maddeler üretilebilir, bitki ve hayvanların hatalı genlerinin düzeltilmesi sağlanabilir [4].

Savunma Sanayi: Nano boyutlardaki algılayıcı aletler sayesinde, kimyasal açıdan zarar veren gazlar ve radyoaktif maddeler tespit edilebilir; nanoteknoloji temelli, dayanıklı, hafif ve zehirli maddelere karşı engelleyici kıyafetler üretilebilir. Nano boyutlardaki aygıtların bir araya getirilerek savunma sistemlerinin yönetilmesi sağlanabilir [4].

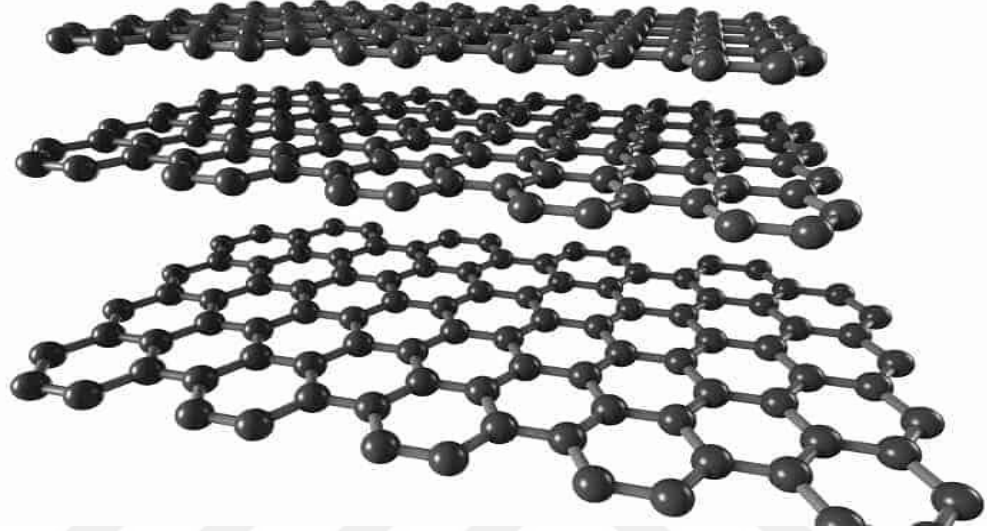
Eğitim ve Bilim: Nanoteknoloji; biyoloji, kimya, fizik gibi doğa bilimleri ve malzeme bilimi, bilgisayar mühendisliği ve elektronik mühendisliği gibi dalları da etkileyen bir bilim dalıdır. Bu sebeple etkilediği bilim dallarının da içeriğini ve eğitim sistemini baştan aşağı değiştirebilecek bir etkinliğe sahiptir [4].

1.2. Karbon Nanotüpler ve Karbon Nanotüplerin Yapısı

Karbon nanotüpler, çapı nanometrik boyutlarla ifade edilen, ancak boyu çapına göre çok daha uzun olup milimetre boyutlarında olabilen, içi boş silindir şeklindeki yapılardır [5].

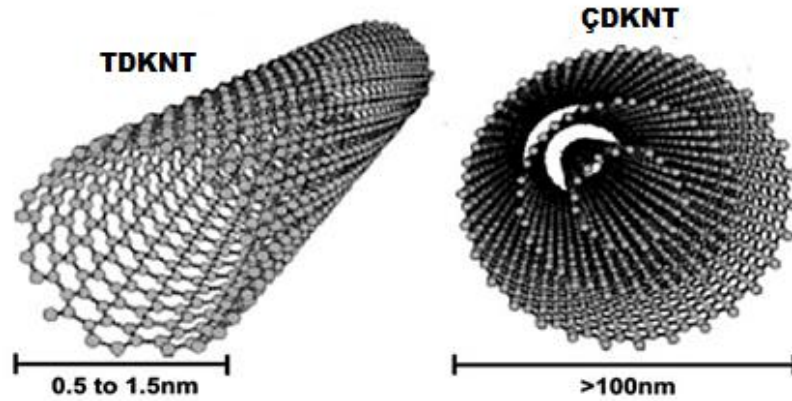
Bu silindirik yapı; bir grafenin, uçlarından bir silindir oluşturacak şekilde birleştirilmesi ile meydana getirilir.

Grafen; 6 tane karbon atomunun bir araya gelerek bal peteği görünümünde oluşturdukların yapıların bir araya gelmesiyle meydana gelen, karbon atomları arasında sp^2 hibritleşmesi yoluyla oluşmuş sigma (σ) bağları bulunan düz levha şeklindeki yapıdır [6]. Grafenin yapısı Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Grafenin Yapısı [7]

Eğer bir karbon nanotüp, tek bir grafenin silindir haline gelmesinden oluşan bir yapıysa, buna *tek duvarlı karbon nanotüp (TDKNT)*; birden fazla grafenin iç içe silindirik bir yapı halinde bir araya gelmesinden oluşan bir yapı ise, buna da *çok duvarlı karbon nanotüp (ÇDKNT)* denir. Tek ve çok duvarlı karbon nanotüplerin yapısı Şekil 1.2'de gösterilmiştir.

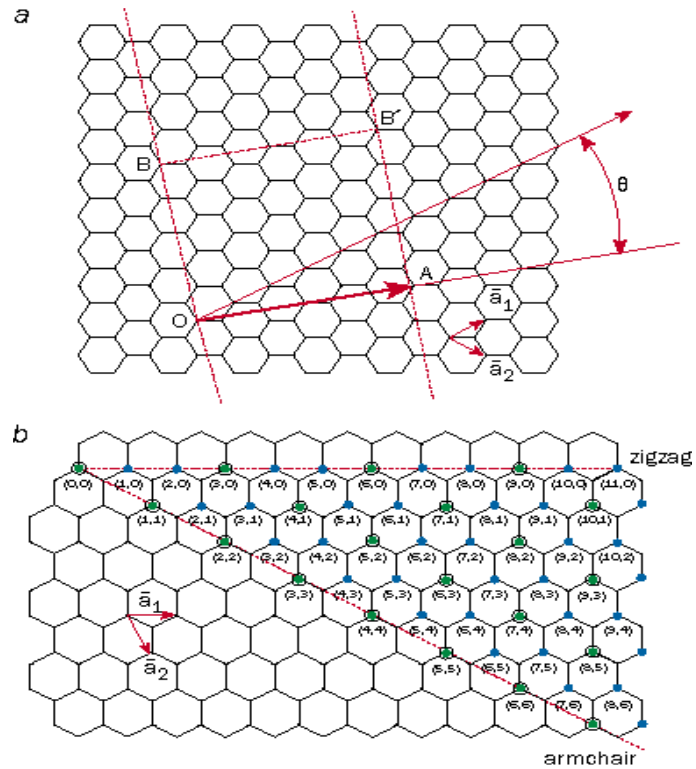


Şekil 1.2. Tek ve Çok Duvarlı Karbon Nanotüplerin Yapısı [8]

Verilen şekilde de görüldüğü üzere; ÇDKNT'ler, TDKNT'lere göre iç içe daha fazla silindirik grafen içerdiği için, çapı da buna bağlı olarak 100 nm'yi aşabilmektedir. TDKNT'lerin çapları ise 10 nm'ye kadar çıkabilse de, genel itibariyle 2 nm'den küçüktür [6].

Karbon nanotüpler; 1991 yılında S.Iijima ve grubu tarafından Japonya'nın NEC Laboratuvarları'nda ÇDKNT'lerin mikroskop yardımıyla görüntülenmesiyle keşfedilmiş olup, TDKNT'ler ise daha sonra S.Iijima ve T.Ichihashi tarafından 1993'te ÇDKNT'lerden yola çıkılarak üretilmiştir [6]. Tezde yapılan çalışma da TDKNT'ler üzerindedir.

TDKNT'lerin yapısını açıklayabilmek için öncelikle Chiral vektörünün (\vec{C}_h) ne olduğunu açıklamak gerekmektedir. *Chiral vektörü*; TDKNT'nin nasıl bir görünümde ve yapıda olacağını belirlemesini sağlayan temel özelliktir. Chiral vektörü Şekil 1.3'ten yola çıkılarak anlatılacaktır.



Şekil 1.3. Chiral vektörü [6]

Şekil 1.3'te yer alan a kısmı içerisinde OABB' noktalarından oluşturulmuş bir grafen yer almaktadır. Bu grafen yapıda O noktası ile A noktası, B noktası ile ise B' noktası bir silindir oluşturacak şekilde bir araya getirildiği zaman, bir TDKNT meydana gelecektir. Bu TDKNT'de OB doğru parçası TDKNT'nin nanotüp eksenini iken; OA vektörü ise TDKNT'nin chiral vektörü olup, nanotüp eksenine dik ve uzunluğu TDKNT'nin çevre uzunluğuna eşittir [6].

TDKNT'nin nasıl bir yapıda olacağını chiral vektörü ifade eder. Chiral vektörü ise Şekil 1.3'te hem a, hem de b görüntüsünde bulunan \vec{a}_1 ve \vec{a}_2 birim vektörlerinin belirli katsayılarla beraber toplanmasıyla elde edilir. Chiral vektörünün oluşturulmasına yarayan \vec{a}_1 ve \vec{a}_2 birim vektörlerinin matematiksel ifadesi, Denklem 1.1 ve Denklem 1.2'de gösterilmiştir [6].

$$\vec{a}_1 = \frac{\sqrt{3}a}{2}i + \frac{a}{2}j \equiv \left(\frac{\sqrt{3}}{2}a, \frac{1}{2}a\right) \quad (1.1)$$

$$\vec{a}_2 = \frac{\sqrt{3}a}{2}i - \frac{a}{2}j \equiv \left(\frac{\sqrt{3}}{2}a, -\frac{1}{2}a\right) \quad (1.2)$$

Denkleme göre; i ve j değerleri kartezyen koordinat sistemi üzerinde sırasıyla x ve y birim vektörlerini gösterir. a uzunluğu ise KNT'de bağ oluşturan karbon atomları arasındaki mesafenin $\sqrt{3}$ katı olup 2.49 Angström'e eşittir ($a = \sqrt{3}a_{c-c} = 2.49 \text{ \AA}$) [6]. Chiral vektörü ise Denklem 1.3'te gösterilmiştir.

$$\vec{C}_h = n\vec{a}_1 + m\vec{a}_2 \equiv (n, m) \quad (n \text{ ve } m \text{ tamsayı, } 0 \leq |m| \leq n) \quad (1.3)$$

Denklem 1.3'e göre, chiral vektörü \vec{a}_1 birim vektörünün n katının ve \vec{a}_2 birim vektörünün m katının birleştirilmesi sonucu oluşmaktadır. Yine denklemde de ifade edildiği gibi n ve m tamsayı olup, m değeri pozitif veya negatif yönde olması farketmeksizin $[0, n]$ aralığında olmak zorundadır.

Şekil 1.3'teki b kısmında ise zigzag ve armchair tipindeki TDKNT'ler gösterilmektedir. Chiral yapıları itibariyle bir TDKNT, 3 çeşittir:

- a) Zigzag KNT
- b) Armchair KNT
- c) Chiral KNT

Eğer bir TDKNT'de $m=0$ ise; bu bir Zigzag KNT'dir. Eğer $n=m$ ise; bu bir Armchair KNT'dir. Eğer $0 < m < n$ ise; bu bir Chiral KNT'dir [6].

KNT'lerin chiral yapılarına göre ayrılması, chiral açılarına göre de yapılabilir. Chiral açı; TDKNT'nin chiral vektörü ile \vec{a}_1 birim vektörü arasındaki açı olup Şekil 1.3'teki a kısmında açıkça gösterilmiştir. Eğer bu açı, 30° olursa; bu bir Armchair KNT'dir. Eğer bu açı 0° ise; bu bir Zigzag KNT'dir. Eğer iki değer arasında olursa; bu bir Chiral KNT'dir.

Tez çalışmasında; üzerinde çalışılan TDKNT'nin (n,m) ikilisi $(19,0)$ olup, Zigzag KNT'dir.

1.3. Kaynak Araştırması

Tez çalışması için yapılan araştırmada; bulanık mantık kullanılarak, bir karbon nanotüpün herhangi bir özelliğinin tespitinin yapıldığı bir tez veya makaleye rastlanmamıştır. Yalnızca bazı benzer çalışmalarla karşılaşılmıştır. Bunların kısa özeti şu şekildedir:

1. 2009 yılında S. Ahadian ve Y. Kawazoe, adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi algoritmasını (adaptive network based fuzzy inference system) kullanarak, karbon nanotüplerdeki su akışını modellemek ve üzerinde veri tahmini yapmak amacı güderek bir çalışma gerçekleştirmişlerdir [9].
2. M. H. Esfe, S. Saedodin, N. Sina, M. Afrand ve S. Rostami, 2015 yılında yapmış oldukları çalışmada, yapay sinir ağları algoritmasını kullanarak ferromanyetik nanosıvıların dinamik akışmazlık (viskozite) ve termal iletkenlik verilerini tahmin etme işlemi yapmışlardır [10].

3. 2013 yılında; C.S.Johanyak, kompozit madde üretimindeki erime hacim-akış oranı, akrilonitril-bütadiyen-stiren, polikarbonat ve çok duvarlı karbon nanotüpün yüzde miktarlarını tanımlayan, düşük karmaşıklıkta bir bulanık model ortaya koymuştur [11].
4. M. Shanbedi, S. Z. Heris, A. Amiri, S. Adyani, M. Alizadehve M. Baniadam, 2014 yılında, iki aşamalı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. İlk aşamada; gümüş/su karışımli nanosiviler ile saf ve fonksiyonelleştirilmiş çok duvarlı karbon nanotüpler sentezlemişlerdir. İkinci aşamada ise; iki fazlı kapalı termosifonun termal performansını ölçmek amacıyla bulanık mantık kuralları ile insan algoritması etkileşiminin bir sentezini kullanmışlardır [12].
5. R. Leghribve E. Llobet; 2011 yılında nicel bir bulanık adaptif rezonant teori ağı algoritması ve bir plazma davranışlı, metal kaplı karbon nanotüpler dizisi kullanarak, benzen kalıntılarını tespit edecek bir çalışma yapmıştır [13].
6. 2014 yılında S. Prabhu, M. Uma ve B. K. Vinayagam; Taguchi tekniği, bulanık mantık ve yapay sinir ağını kullanarak karbon nanotüp ve nanosivilerin karışımının dielektrik olduğu ortamdaki yüzey pürüzlülüğünü ölçmek amacıyla bir deney yapmışlardır [14].
7. M. Shanbedi, A. Amiri, S. Rashidi, S. Z. Heris ve M. Baniadam; 2015 yılında yapmış oldukları çalışmada adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi algoritmasını kullanarak iki fazlı kapalı termosifonun termal direncini ve termal verimliliğini tahmin etme işlemi yapmışlardır [15].
8. 2013 yılındaki bir çalışmada; M. Mehrabi, M. Sharifpur ve J. P. Meyer, bulanık merkezde kümeleme algoritması (fuzzy c-means clustering, FCM) ve adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi algoritmasından (ANFIS) oluşan bir model inşa ederek nanosivilerinakışmazlığını tahmin etme işleminde bulunmuşlardır [16].
9. S. Ata ve K. Dinçer, anot tarafı karbon nanotüp ile kaplanmış polimer elektrolit membran yakıt hücresinin performansını çıkarımsal şekilde hesaplayabilmek için bulanık mantık algoritmasını kullanarak 2015 yılında bir çalışma yapmışlardır [17].
10. M. Afrand, A.A.Nadooshan, M.Hassani, H.Yarmand ve M.Dahari; 2016 yılında katı hacim kırılması ve sıcaklığı girdi, ilişkisel akışmazlığı çıktı olarak kullanan bir yapay sinir ağı tasarlayarak, çok duvarlı karbon nanotüplerin ilişkisel akışmazlığını hesaplamışlardır [18].

11. M. A. Al-Khedher, C. Pezeshki, J. L. McHaleve F. J. Knorr, 2007 yılında nanotüpleri analiz etmek amacıyla anlaşılabilir bir prosedür dizisi ortaya koymuşlardır. Çalışmada, elektron mikroskobu taramasıyla (scanning electron microscope) yapılan görüntü analiz teknikleri ve Raman saptaması arasında bir ilişki kurmuşlar, kurdukları bu ilişkiyle çok duvarlı karbon nanotüpün yüzey morfoloji kalitesini belirlemek için yapay sinir ağı algoritmasını kullanmışlardır [19].

Yapılan tez çalışmasında ise; bir Zigzag TDKNT'nin enerji bant aralığı için tahmin işlemi yapmak amacıyla bulanık mantık algoritması kullanılmaktadır.

1.4. Tezin Önemi ve Amacı

Nanoteknoloji; günümüzde dünya üzerinde geleceği en parlak bilim dallarından birisi olup; daha önce bahsedildiği gibi tıbbi, endüstriyel ve mühendislik alanlarındaki çalışmaları da en çok etkileyecek buluşlardan bir tanesidir.

Nanoteknoloji biliminde ilerleme sağlanması adına gerekli çalışmaların yapılabilmesi, karmaşık nanoteknolojik deneylerin gerçekleştirilebilmesine bağlıdır. Ancak, bu deneylerin gerçekleştirilmesi, deney maliyetlerinin yüksekliğinden dolayı oldukça yavaş olmaktadır. Örneğin; çalışması bu tezde yapılmış olan tek duvarlı karbon nanotüpler için enerji bant aralığı verilerinin tespitinde yapılan laboratuvar çalışmaları hem oldukça masrafa sebep olmakta, hem çok zaman almakta, hem de karmaşıklığından dolayı oldukça zorlayıcı olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı bu verilerin tespiti için, uygun bir yöntemin kullanılmasıyla karmaşıklık ve maliyet azaltılırken hızın artırılması çok büyük fayda sağlayacaktır.

Eğer, daha evvel yapılmış deneylerden gerekli çıkarımda bulunabilecek bir sistem tasarlanırsa, bu sistem sayesinde yapılmamış deneylerin sonucu da yüksek ihtimalle tespit edilebilecektir. Yapılan tez çalışmasındaki amaç, gerekli verileri edinmiş bir sistemin yardımıyla, deney sonucunu yüksek oranda tahmin edebilmek ve bu sayede deney maliyetlerini düşürmek, bunun sonucunda nanoteknolojik çalışmalara katkıda bulunmaktır.

Eğer nanoteknolojik çalışmalara maliyet açısından katkıda bulunulursa, maliyetin düşmesi daha kısa sürede daha çok nanoteknoloji deneyinin yapılmasını sağlayacak, hızlanan nanoteknolojik çalışmalarla, gelecekte savunma sanayinden tarıma, sağlıktan havacılığa birçok alanda hızlı gelişmeye ön ayak olacaktır. Bu da yapılan tez çalışmasının önemini ortaya koymaktadır.

1.5. Tezin Organizasyonu

Tez çalışmasında; hangi bölümde neler anlatılacağı maddeler halinde aşağıda yer almaktadır:

1. Bölümde bilgisayar bilimlerinde çok sık kullanılan bir yöntem olan bulanık mantığın yanında, nanoteknolojinin de tez içerisinde multidisipliner olarak kullanılmasından dolayı, öncelikle nanoteknolojinin tanımı ile başlanıp nanoteknolojinin hangi bilim dallarını nasıl etkilediği sırasıyla birkaç cümle ile açıklanmıştır. İkinci aşamada ise nanoteknoloji ile ilgili olup, tezde üzerinde çalışma yapılan nanoyapılı malzeme olan tek duvarlı karbon nanotüpün yapısı; atomik dizilimi ve grafenin silindirik yapısı baz alınarak anlatılmıştır. Daha sonra ise; bir tek duvarlı karbon nanotüpün yapısını oluşturan Chiral vektörü ve bu vektörü tanımlayan (n, m) değer ikilisine dayanarak tek duvarlı karbon nanotüpün nasıl çeşitlendirileceği açıklanmıştır.

2. Bölümde; oluşturulmak istenen sistemde kullanılan girdi ve çıktılar için öncelikle gerekli ön bilgiler verilmiş, daha sonra bu girdi ve çıktıların tanımları yapılmış, herhangi bir formülü olan varsa bu formül verilmiş, tespiti yapılan çıktı olan enerji bant aralığı ile verilen girdiler arasında görülebilen direkt ilişkilerden bahsedilmiştir.

3. Bölümde tezde kullanılan materyaller ve metotların anlatıldığı bölümdür. Kullanılan materyallerin anlatıldığı "Materyaller" başlığı altında tez çalışmasını hazırlarken kullanılan bilgisayar programlarından bahsedilmiştir. Öncelikle bu programlardan biri olan MATLAB R2015a için bir tanımlama yapılmış ve arayüz

kullanımına girilmiş, daha sonra programın bir modülü olan Fuzzy Logic Toolbox'a giriş yapılarak modülün arayüzü ile beraber nasıl kullanıldığı anlatılmıştır. Sonra verilerin değerlendirilmesi için program yazımında kullanılan geliştirme platformu olan Microsoft Visual Studio 2010'un kullanım amacı, uygunluğu ve özelliklerinden bahsedilmiş, arayüzüne ve bu arayüzün kullanımına kısaca giriş yapılmıştır. Daha sonra bu geliştirme platformu kullanılarak ve daha önce bahsedilen MATLAB modülü olan Fuzzy Logic Toolbox'ı örnek olarak yazılan ve Fuzzy Logic Generator adı verilen programın her bir arayüzü ve bu arayüzlerin her birinin nasıl kullanıldığı aşama aşama anlatılmıştır.

3. Bölümün altbaşlığı olan "Metotlar" kısmında ise; başlangıç olarak kullanılan karbon nanotüp verilerinin işleme sokulması için kullanılan teknik olan bulanık mantık kendi başlığı altında sırasıyla bulanık küme kavramı, üyelik fonksiyonları, bulanıklaştırma, kural tabanı ve durulaştırma altbaşlıkları ile beraber anlatılmış ve örneklendirme yapılmıştır. Daha sonra yöntemin kullanılmasıyla elde edilen neticelerin ne kadar başarılı olduğu ile alakalı olarak "Başarı Yüzdesi Hesaplama" bölümüne girilmiş, bu başlık altında da kullanılabilecek yöntem olan doğruluk oranı (accuracy) hesabı anlatılmıştır.

4. Bölümde, tez çalışmasında anlatılan bulanık mantık yöntemi kullanılarak oluşturulan bulanık uzman sistem anlatılmıştır. Bunun için; ilk olarak bulanık uzman sistemin girdi ve çıktıları belirlenmiştir. Sonra girdi ve çıktılar için belirlenen değer aralıklarına dayanarak bulanık grafikler çizilmiş, bu grafikleri üreten formüller belirtilmiş ve her bir girdi ve çıktının üyelik dereceleri için küme gösterimleri yapılmıştır. İkinci aşamada sistemin bulanık kurallarından birkaçı örnek olarak verilmiştir. Üçüncü aşamada gerçek laboratuvar verilerinden üç adet örnek sonuçlarıyla beraber verilmiş, bu örneklerin sonuçları hem MATLAB Fuzzy Logic Toolbox için, hem de Fuzzy Logic Generator için görsellerle ifade edilmiştir.

5. Bölümde, laboratuvarında deneyi yapılan gerçek veriler sonuçları ile beraber gösterildikten sonra gerçek verilerin hem MATLAB Fuzzy Logic Toolbox üzerinden, hem de Fuzzy Logic Generator üzerinden elde edilen sonuçları ifade edilmiş, daha

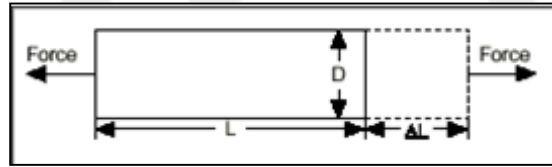
sonra iki program ile gerçek deneylerden elde edilen sonuçların aralarındaki farkın mutlak değerleri alınmış, bu mutlak değerlerin ortalaması her iki program için de alınarak, hangi programın daha başarılı sonuçlar ortaya koyduğu gösterilmiştir. Ayrıca; başarı yüzdesi hesabı için de kullanılan gerçek verilerin uygun olmamasından dolayı her iki programın yalnızca Accuracy hesabı sonucu ortaya konarak ekstra bir karşılaştırma yapılmıştır.

2. SİSTEMDE KULLANILAN VERİLER HAKKINDA BİLGİLER

2.1.Girdiler

2.1.1. Gerinim Değeri

Gerinim değeri; belli bir uzunluğu olan bir nesneye uygulanan bir kuvvet ve bunun sonucunda nesnede meydana gelen uzama veya kısalma ile alakalıdır.



Şekil 2.1. L uzunluğundaki bir nesnenin gerinim hesabı [20]

Şekil 2.1'de görüldüğü üzere L uzunluğundaki homojen bir çubuğa uygulanan kuvvet sonucunda meydana gelen δL uzamasının çubuğun kuvvet uygulanmadan önceki boyuna oranlanması sonucu birim başına meydana gelen uzama bulunur. Bu uzama da gerinim değerine eşittir ve Denklem 2.1 ile ifade edilir [20].

$$\epsilon = \frac{\delta L}{L} \quad (2.1)$$

Tez çalışmasında gerinim değeri birim olarak yüzde (%) ile ifade edilmiştir. Üzerinde çalışma yapılan TDKNT'nin gerinim değerinin yüzdesi hesaplanırken ise Denklem 2.2 kullanılır.

$$GY = \frac{\epsilon}{L} * 100 \quad (2.2)$$

Yapılan tez çalışmasında gerinim değeri için yüzde değeri olarak $[-6, 6]$ aralığı verilmiştir. Bu da gerinim yüzdesinin negatif değer alabileceği anlamına gelmektedir. Eğer gerinim yüzdesi pozitifse bu nesnede uzama; negatifse bu nesnede kısalma anlamına gelmektedir.

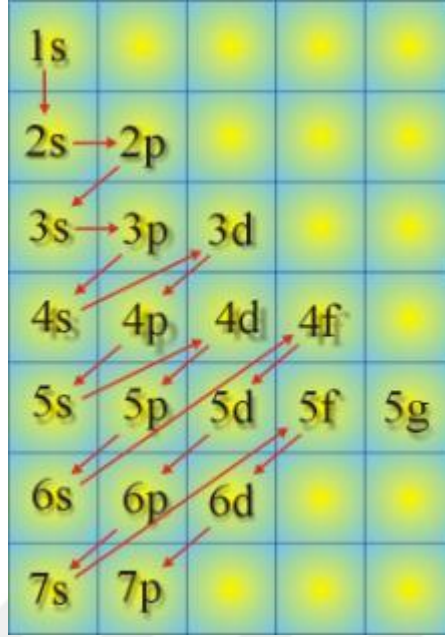
2.1.2. Fermi Enerji Seviyesi

Fermi enerji seviyesi kavramını tanımlayabilmek için öncelikle atomların elektron dizilimi ve enerji seviyesi konusunu kavramak gerekir.

Bir atomda elektronlar atomun yörüngelerine dizilirken kabuk ve alt kabuk şeklinde bir yapılanma içerisinde olur. Kabuklar 1, 2, 3, ... şeklinde rakamlarla temsil edilirken, alt kabuklar ise s, p, d, f şeklinde harflerle temsil edilir [21].

Kabuklar olarak bahsedilen rakamlar; atomun yörünge sırasını verir. Alt kabuklar olarak verilen s, p, d, f harfleri ise; atomların enerji seviyesi bölgelerini temsil eder. Her bir harfin içerdiği birer enerji seviyesi adedi vardır. s->1, p->3, d->5, f->7 adet enerji seviyesine sahiptir. Her bir enerji seviyesinde 2 adet elektron vardır. Dolayısıyla s->2, p->6, d->10, f->14 elektron taşıyabilecek kapasiteye sahiptir [21].

İki elektron taşıyan bu enerji seviyelerine *orbital* ismi de verilir. Atomların elektronları bu orbitaller üzerinde dağıtılırken; öncelikle kabukları temsil eden rakamlar, daha sonra da alt kabukları temsil eden harfler kullanılır. Bu mantığa göre; elektronların dizilimi Şekil 2.2'de görülen sıralamaya göre yapılır.

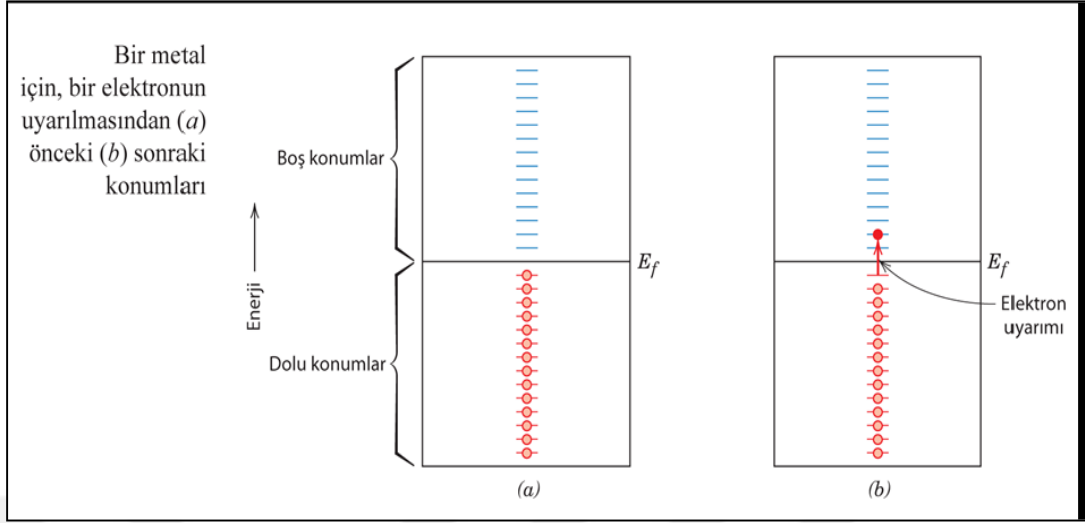


Şekil 2.2. Elektronların orbitallere dağılımı [22]

Örnek: ${}_{11}\text{Na}$ atomunun elektron dizilimi: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ [21].

Örnek: ${}_{53}\text{I}$ atomunun elektron dizilimi: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^5$ [22].

En dıştaki ana kabuk veya diğer bir deyişle yörüngedeki elektronlara valans elektronu, bu elektronların enerji seviyesine ise *valans enerji seviyesi* denir. Bir atom iyon durumuna geçeceği zaman; elektron alırken aldığı elektron bu yörüngeye eklenir, elektron verirken verdiği elektron bu yörüngeden çıkarılır. Valans elektronların en yüksek ve en düşük enerjili olanlarının oluşturduğu aralığa *valans bandı* denir. 0°K derecede valans bandında bulunan en yüksek enerjili elektronun enerji seviyesine ise *fermi enerji seviyesi* denir. Eğer bu elektron gerekli enerji verilerek uyarılırsa iyon durumuna geçer [21]. Bu durum Şekil 2.3'te görsel olarak ifade edilmiştir.



Şekil 2.3. En yüksek enerjili elektronun uyarılarak iyon haline geçişinin temsili görüntüsü [21]

Tez çalışmasında fermi enerji seviyesi için birim olarak eV kullanılmıştır.

2.1.3. Ortalama Enerji

Tez çalışmasında ortalama enerji ile; TDKNT'yi oluşturan karbon atomu başına düşen enerji kastedilmiştir. Buna göre bu değer; Denklem 2.3 ile ifade edilebilir.

$$E_{ort} = \frac{E_{top}}{c \text{ atomu sayısı}} \quad (2.3)$$

Ortalama enerjiyle atom başına düşen enerji kastedildiği için de; tez çalışmasında kullanılan birim eV/atom'dur.

2.1.4. İtici Potansiyel ve Elektronik Bant Yapısı Enerjisi

Valans elektronlar ve iyonlardan oluşan sistemin toplam hamiltonyeni; Denklem 2.4'te verilmiştir.

$$H_{top}=T_i+T_e+U_{ii}+U_{ie}+U_{ee} \quad (2.4)$$

T_i : İyonların kinetik enerjisi

T_e : Elektronların kinetik enerjisi

U_{ii} : İyon-İyon etkileşimlerinin potansiyel enerjisi

U_{ie} : İyon-Elektron etkileşmelerinin potansiyel enerjisi

U_{ee} : Elektron-Elektron etkileşimlerinin potansiyel enerjisi

Bu çok parçacık sistemi için hamiltonyenin kesin çözümünü bulmak zor olsa da belli varsayımlar yaparak (tek parçacık enerji özdeğerleri) iyonlardan ve valans elektronlarından oluşan sistemin toplam enerjisi Denklem 2.5'teki gibi ifade edilebilir.

$$E_{top}=E_{bs}+U_{rep} \quad (2.5)$$

Moleküler Dinamik simülasyonlarında, atomları hareket ettiren atomlar arası kuvvetlerin hesaplanması ve faz uzayında sistemin yörüngesinin belirlenmesi gerekmektedir. Tez çalışmasında alınan verilen yapıldığı sistemde hesaplamalar Sıkı-Bağ Moleküler Dinamik Hamiltonyeni kullanılmaktadır. Bu hamiltonyenin ilk kısmı çekici kuvvetleri, ikinci kısmı ise itici kuvvetleri göstermektedir. U_{rep} kısa mesafelerde kadar olan çiftli etkileşimleri atomlar arası uzaklığın bir fonksiyonu olarak içeren analitik bir fonksiyondur. Dış kabuk elektronları tarafından işgal edilen taban durumu enerjilerinin toplamı ise E_{bs} olarak tanımlanır [23].

2.2. Çıktılar

2.1.1. Enerji Bant Aralığı

Enerji bant aralığını anlayabilmek için; öncelikle valans bandı ve iletim bandı kavramı hakkında bilgi sahibi olmak gerekir.

Valans bandı kavramı hakkında 2.1.2. Fermi Enerji Seviyesi başlığı altında gerekli bilgi verilmiştir. Bir atomun en dış yörüngesinin enerji seviyesini temsil eden valans bandından bir elektronu kopararak; onu iyon durumuna geçirmek için getirilmesi gereken enerji seviyesi aralığına *iletim bandı* denir [21].

Bir elektronun valans bandından iletim bandına geçmesi için ona belli bir enerji verilmesi gerekir. Verilmesi gereken bu enerji miktarının büyüklüğüne enerji bant aralığı denmektedir [21]. Literatürde E_{gap} olarak da adlandırılır. Enerji bant aralığının temsili görüntüsü; Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Enerji bant aralığının temsili görüntüsü [21]

Eğer bir madde; iletken bir madde ise; E_{gap} 0 eV'tur. Dolayısıyla valans bandı ile iletim bandı üst üste binmiştir. Eğer yarı iletken bir madde ise; E_{gap} yaklaşık olarak 0.5 eV ile 2.5 eV arası bir değer taşır ve elektronu valans bandından iletim bandına geçirmek için bir miktar enerji gerekir. Eğer bu enerji verilirse; yarı iletken madde, iletken özellik gösterir. Eğer yalıtkan bir madde ise E_{gap} ; 6 eV ve üzeri bir değer taşır. Bu maddede elektronu iletim bandına geçirmek, çok fazla enerji gerektirecektir.

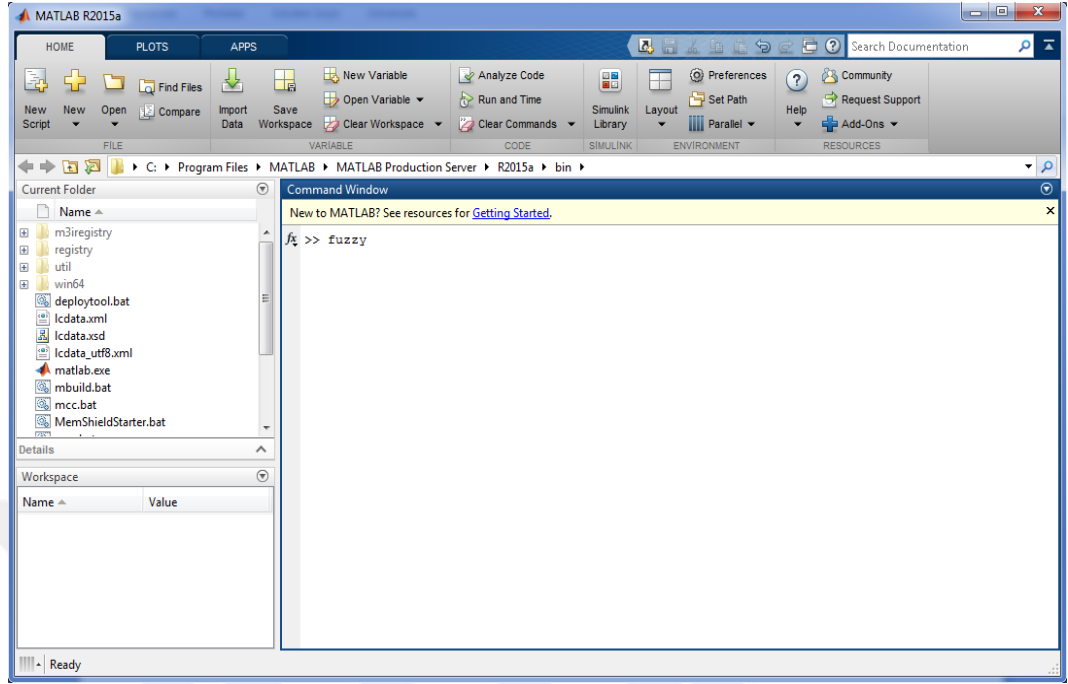
3. MATERYAL VE METOTLAR

3.1. Materyaller

3.1.1. Matlab R2015a ve Fuzzy Logic Toolbox

MATLAB, açılımı Matrix Laboratory olan ve matrisler üzerinde işlem yapmaya yaramasıyla ünlü olan, ancak başka konularda da ayrıntılı hesaplamalar yapmayı sağlayan dördüncü nesil bir programlama dili olup, aynı zamanda bir sayısal hesaplama yapma yazılımıdır ve Mathworks firması tarafından üretilmiştir. Dördüncü nesil programlama dili ile kastedilen, kullanım açısından normalden daha kolay olması, beraberinde getirdiği şablonlar ve modüllerle beraber spesifik ihtiyaçlarda profesyonel ve hızlı çözümler geliştirmesidir [24].

Program, ağırlıklı olarak karmaşık işlemler yapmakta kullanılır. Genel itibarıyla kullanıldığı konular lineer cebir, istatistik, optimizasyon, nümerik analiz ve Fourier analizi gibi matematiksel konulardır [24]. Ancak tezde gerekli araştırma yapılırken MATLAB, elde edilen verilerin bulanık mantık yöntemi ile test edilmesi amacıyla kullanılmıştır.



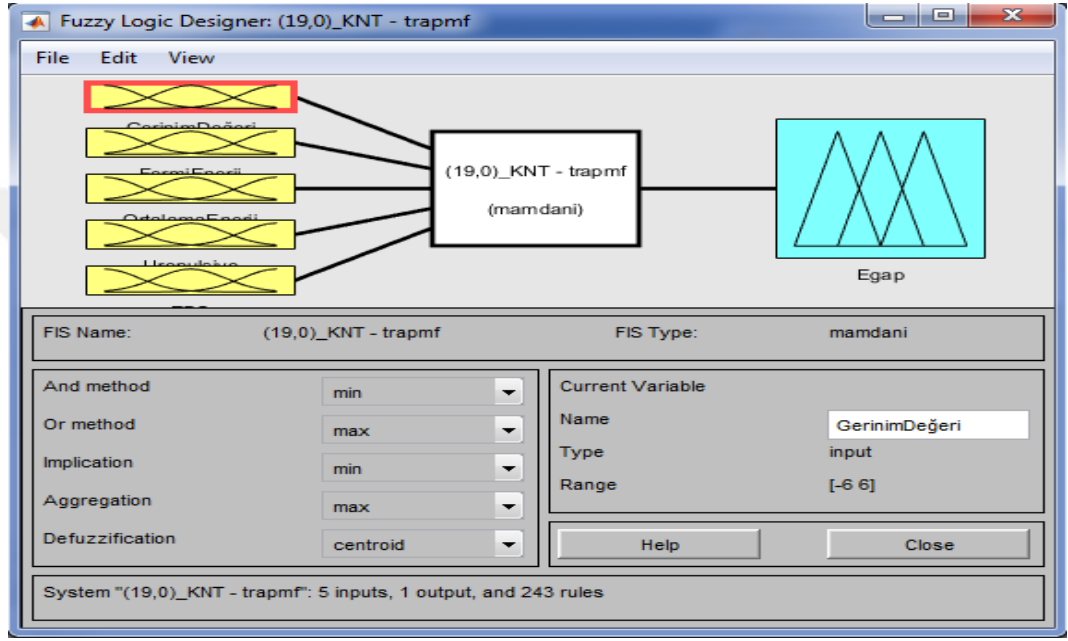
Şekil 3.1. MATLAB R2015a arayüzü

MATLAB R2015a ise programın son 5 sene içerisinde geliştirilen sürümlerinden biri olması, bulanık mantık uygulamaları için kullanılabilir bir modüle sahip olması ve kullanılan işletim sistemiyle uyumlu olması sebebiyle tercih edilmiştir [25]. Programın arayüzü Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Programın arayüzünde "Home" sekmesinin altında sol üst köşede yer alan "New Script" butonu ile, veya onun yanında bulunan "New" butonunun alt seçeneği olan "Script" ile yeni bir program dosyası açılıp, içerisinde MATLAB programlama dilinin yazım kurallarına uyularak program yazılabilir, program dosyası açıldıktan sonra eklenen "Editor" sekmesinin altında yer alan "Run" butonu ile yazılan program çalıştırılabilir.

Program içerisinde ayrıca programlama diline uygun olarak yazılmış komut satırlarını çalıştırmak için yine Şekil 3.1'de yer alan komut penceresi çalıştırılabilir. Tezde yapılacak çalışma için "fuzzy" komutu yazılıp çalıştırılarak, programın bir alt modülü olan Fuzzy Logic Toolbox kullanılmıştır.

Fuzzy Logic Toolbox, bir yapay zeka yöntemi olan bulanık mantık üzerinde orijinal verilerin yüklenerek gerçek bir simülasyon yapmayı ve sonuç elde etmeyi sağlayan bir MATLAB altprogramıdır. Programın arayüzü Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. MATLAB Fuzzy Logic Toolbox arayüzü

Program ilk açıldığı zaman Şekil 3.2'deki gibi bir arayüz ortaya çıkmaktadır. Bu arayüz, ilk başta 1 giriş, 1 çıkışa sahip olup bir kural tabanı ile birbirine bağlanmıştır. Daha önce verileri yüklenerek üzerinde çalışma yapılmış bir dosya programda kullanılan .fis (fuzzy inference system) uzantısı ile kaydedilmektedir. Daha önce kaydedilmiş bir çalışmayı programa yeniden yüklemek için sırasıyla File -> Import -> From File yolu izlenir ve istenilen bir .fis uzantılı bir dosya seçilerek yüklenir.

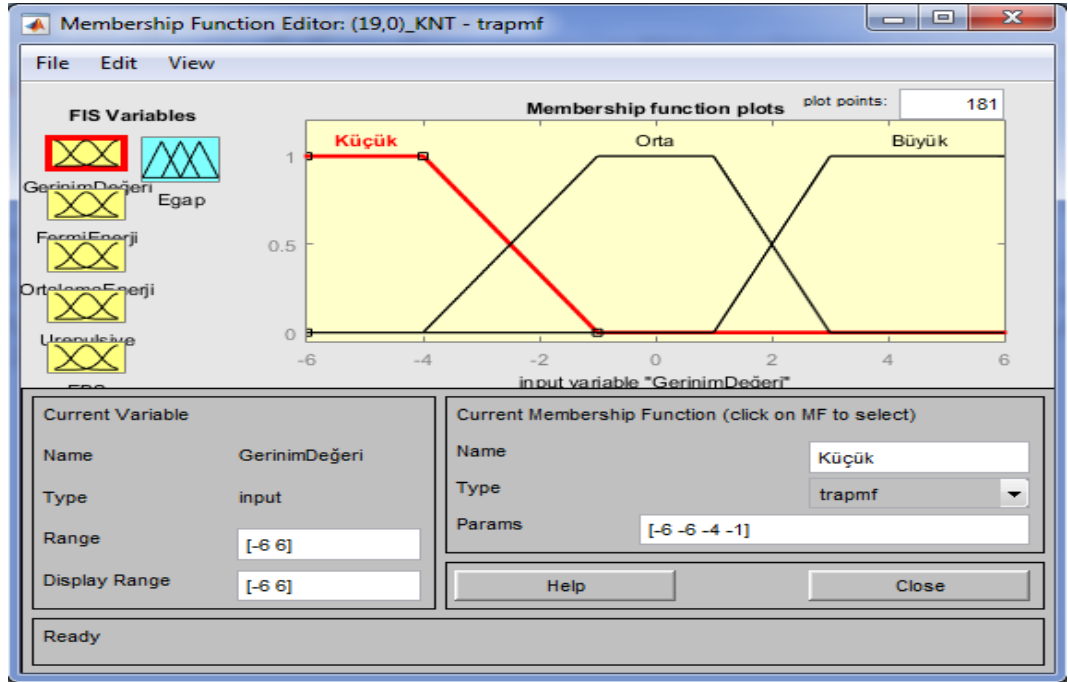
Eğer yapılan çalışmanın üzerinde değişiklik yapıldıysa ve yeniden kaydetmek isteniyorsa, bu sefer File -> Export -> To File seçenekleri kullanılır ve kaydedilecek dosyaya istenen bir isim ve yol verilerek kaydedilir.

Eğer tasarlanan sisteme bir giriş veya çıkış eklemek isteniyorsa; Edit -> Add Variable yolu altından isteğe göre "Input" veya "Output" seçeneği tercih edilebilir. Eğer

sistemden bir giriş veya çıkış silinmek isteniyorsa; Şekil 3.2'de bulunan arayüzde, sol alt kısımda durulaştırmada kullanılacak çeşitli yöntemlerin tercih edildiği bir alan vardır. Bu alanda; yapılan tez çalışmasında durulaştırma işlemi yapılırken, minimumun maksimumu metodu kullanıldığı için "And method" kısmında min, "Or method" kısmında ise max seçeneği seçilmiştir. "Defuzzification" kısmında ise; yapılan durulaştırma işleminde sonucu elde ederken ağırlık merkezi (centroid) yöntemi kullanıldığı için centroid seçeneği seçilmiştir.

Eğer bir girişin veya çıkışın ismi değiştirilmek isteniyorsa; yine Şekil 3.2'deki arayüzde yukarıdaki alanda ilgili giriş veya çıkışın üzerine tıklanır ve sağ alttaki "Current Variable" alanında bulunan "Name" kısmından isim değişikliği yapılır.

Eğer yapılan çalışmada bir girişin veya çıkışın eklenmesi veya çıkarılması isteniyorsa; Şekil 3.2'de görünen arayüzde girişlerden veya çıkışlardan herhangi birinin üzerine çift tıklanarak açılan arayüz üzerinde işlem yapılır. Bu arayüze Edit -> Membership Functions yolu ile de ulaşılabilir. Arayüz Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



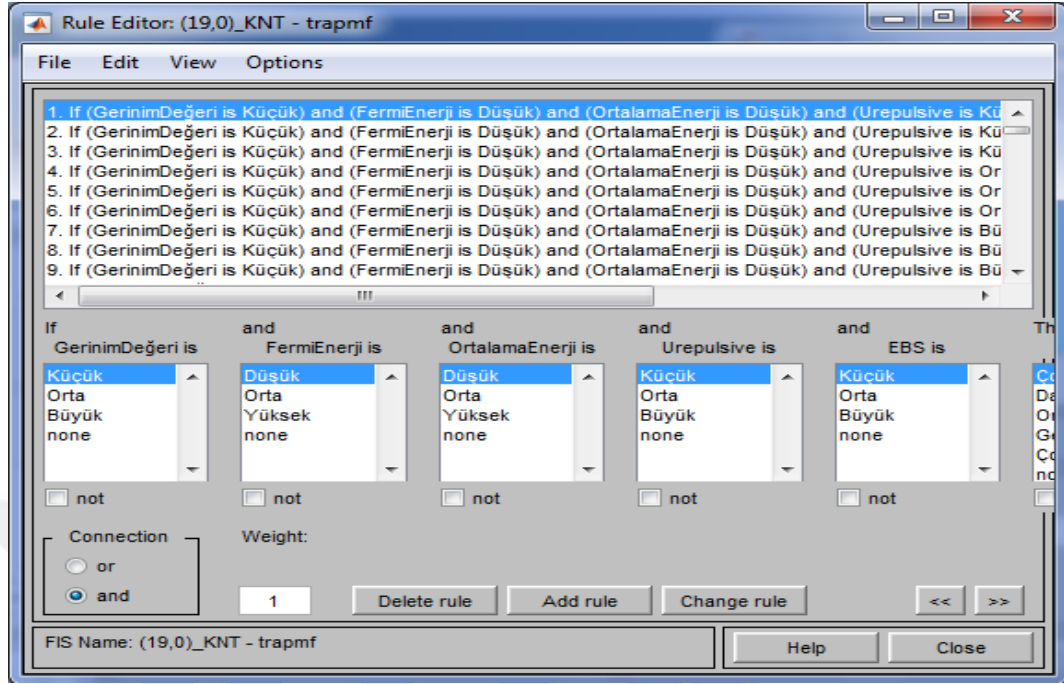
Şekil 3.3. MATLAB Fuzzy Logic Toolbox giriş ve çıkış düzenleme arayüzü

Bu arayüzde üzerinde değişiklik yapılmak istenen giriş ve çıkışın üzerine tıklanıp seçildiğinde hakkındaki bilgiler alt taraftaki "Current Variable" ve "Current Membership Function" alanlarında belirir.

Current Variable alanında "Name", "Type", "Range" ve "Display Range" kısmında sırasıyla giriş veya çıkışın adı, giriş mi çıkış mı olduğu, grafik değer aralığı ve grafiğin yukarıdaki çiziminde görünen aralığı gösterilir. Eğer istenirse "Range" ve "Display Range" alanlarında değişiklik yapılabilir.

Sağ altta bulunan "Current Membership Function" aralığında işlem yapmak için ise; öncelikle yukarıdaki grafik üzerinde; üstünde değişiklik yapılmak istenen üyelik fonksiyonuna tıklanıp seçim yapılır. Daha sonra istenildiğinde; bu alanda bulunan "Name", "Type" ve "Params" kısımlarında ise sırasıyla üyelik fonksiyonunun ismi, tipi (yamuk, üçgen, Gauss vb.) ve fonksiyonun iniş ve çıkış noktaları değiştirilebilir.

Örnek: Eğer "Type" kısmında trapmf seçilmişse; "Params" kısmı [-4 -1 1 3] olarak girildiğinde grafik; verilen aralığın başlangıcından -4'e kadar 0, -4'ten -1'e kadar doğrusal bir yükseliş, -1'den 1'e kadar 1, 1'den 3'e kadar doğrusal bir düşüş ve 3'ten verilen aralığın bitişine kadar 0 gösterecektir.

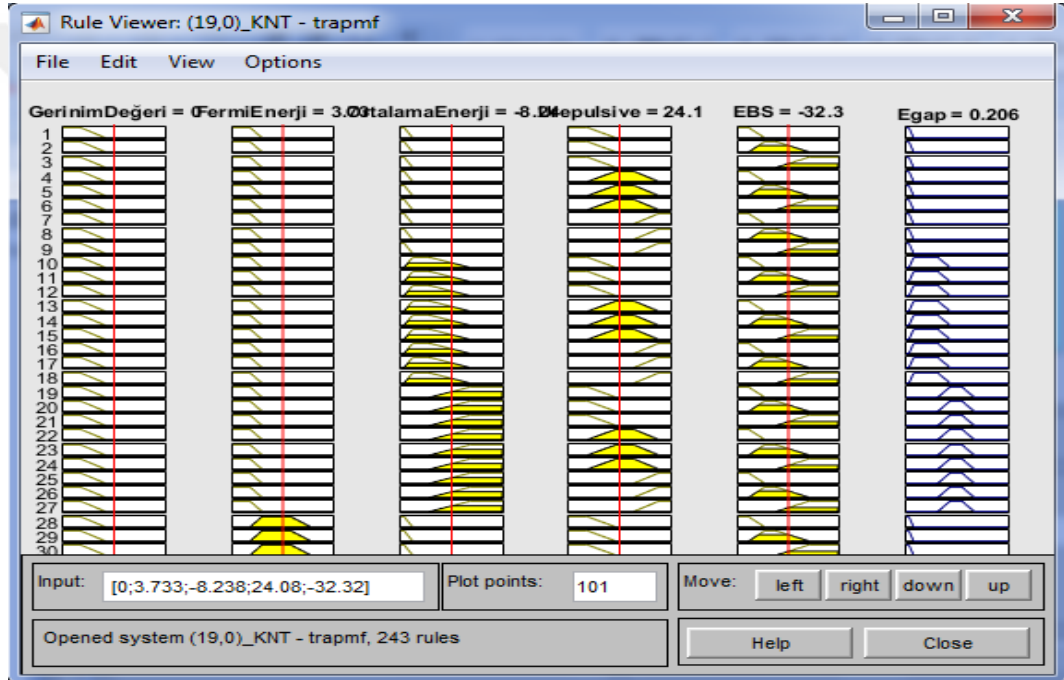


Şekil 3.4. MATLAB Fuzzy Logic Toolbox'ın kural tabanı arayüzü

Şekil 3.2'deki bulanık mantık şeması görünümünde orta kısımda bulunan kutucuğa tıkladığı zaman, üzerinde çalışılacak bulanık çıkarım sisteminin (fuzzy inference system) kural tabanına giriş yapılır. Bu durumda Şekil 3.4'teki arayüz açılacaktır. Bu arayüze Edit -> Rules seçeneği kullanılarak da ulaşılabilir. Arayüzde üstteki listede kural tabanına eklenen kuralların bir listesi bulunmaktadır. Onun altında bulunan listelerde ise sırasıyla giriş ve çıkışların seçim noktaları bulunmaktadır. Sırasıyla giriş ve çıkışların üzerinde seçim yapıldıktan sonra "Add Rule" butonuna basılarak kural tabanına kural eklenebilir. Diğer önemli noktalar ise bu listelerde yapılan seçimlerde "Değilse" ifadesini gerçekleyebilecek "Not" kutucuğuyla bu ihtimalin de eklenebilmesi, ayrıca sol altta bulunan "Connection" alanında da listelerde seçilen üyelik fonksiyonlarının birbirine "And" veya "Or" ifadeleriyle bağlanabilmesidir. Bu arayüzün önemli diğer işlevlerine gelinirse; "Delete Rule" ile yukarıdaki listeden seçili bir kural; kural tabanından silinebilmektedir. Listede herhangi bir kural seçildiği zaman kuralın içeriği ne ise; alttaki listelere de o seçimin içeriği yansımaktadır. Bu özellik de "Change Rule" butonunda işe yaramaktadır. Kural seçildikten sonra listelere yansıyan özelliklerde yapılan seçimi değiştirip, "Change Rule" butonuna basıldığı zaman; seçili özellik üzerinde, yapılan değişiklikler uygulanmış olur.

Eğer Fuzzy Logic Toolbox'ta, tasarlanan bir bulanık çıkarım sistemine giriş verisi gönderilerek çıkış verisi elde edilmek isteniyorsa; Şekil 3.2'de bulunan arayüzde View -> Rules yolu kullanılır. Bunun sonucunda Şekil 3.5'teki arayüz açılacaktır.

Açılan bu arayüzde sol altta yer alan "Input" kısmında; istenen giriş verileri, önceden tanımlanan aralıklara riayet edilerek girilip Enter'a basıldığında, program kullanıcıya bu arayüz vasıtasıyla bulanık mantık yöntemini işleterek olması gereken sonuca yakın bir sonuç döndürecektir.



Şekil 3.5. MATLAB Fuzzy Logic Toolbox sonuç çıkarma arayüzü

3.1.2. Microsoft Visual Studio 2010 ve Tez Kapsamında Yazılan Program

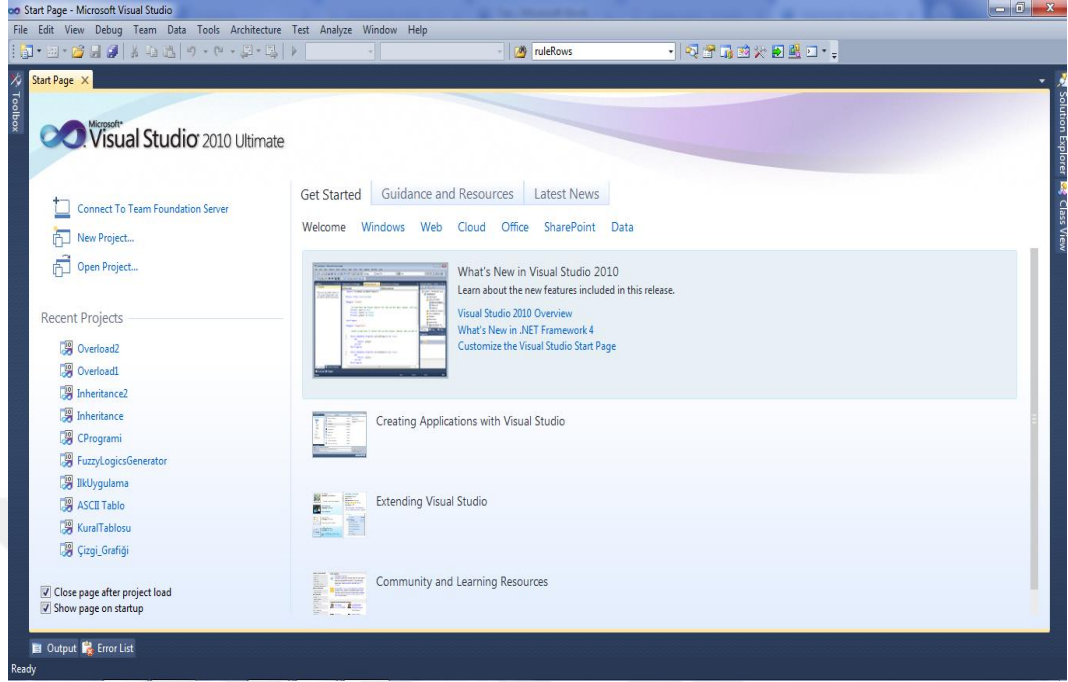
Microsoft Visual Studio, Microsoft'un üretmiş olduğu ve gerek konsol uygulamaları, masaüstü Windows Form projeleri, Web Service veya Web sitesi geliştirmek için kullanılan bir tümleşik geliştirme ortamıdır [26].

Tümleşik geliştirme ortamı (IDE: Integrated Development Environment) ise; bir yazılım geliştiricinin normalden daha çabuk ve daha kolay şekilde yazılım geliştirmesine yönelik olan ve yazılım geliştirme sürecinin yönetilmesinin önünü açan tüm araçları bünyesinde bulunduran bir program çeşididir [27].

Bir tümleşik geliştirme ortamında aşağıdaki özelliklerin bulunması gereklidir [27]:

1. Yazılım geliştirmekte kullanılan programlama diline uygun olarak sözdizimlerini renklerine göre ayıran bir kod yazma düzenleyicisi.
2. Kod dosyalarının kademeleri dikkate alınarak gösterilebilmesini sağlayacak bir dizelge.
3. Bir arada çalışabilecek derleyici, yorumlayıcı ve hata ayıklayıcı.
4. Yazılımın derlenip, yürütülebilecek .exe dosyası haline getirilebilmesi ve bunun yanı sıra ekstra birçok görevin yapılabilmesi için küçük geliştirme modülleri.

Tez hazırlanırken, daha önce MATLAB Fuzzy Logic Toolbox üzerinde denenen verilerin bir de yeniden tasarlanmış bir programda denenerek sonuçların teyit edilmesi ve gerek iki sonuç arasında; gerekse gerçek deney sonucu arasında karşılaştırma yapabilmek amacıyla Microsoft Visual Studio 2010 programı kullanılmıştır. Programın versiyonu Ultimate versiyonu olup, sürümü 10.0'dır. Programın arayüzü Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Microsoft Visual Studio 2010 arayüzü

Programın birkaç önemli özelliğinden şu şekilde bahsedilebilir:

1. Program C, C++, C#, Visual Basic, F#, ASP.NET gibi programlama dillerinde yazılım geliştirmeye olanak sağlar. Ayrıca yeni yazılım modelleme yapısı MVC'yi de içinde barındıran Visual Studio 2010, veritabanı olarak da SQL Server 2008 sürümünü desteklemektedir.
2. Program kendi içerisinde masaüstü form ve Web gibi görsel uygulamalar geliştirebilmek için Toolbox ve Properties gibi araçlara sahiptir. Bu sayede yazılıma istenildiği gibi rahatça araçlar eklenip, bu araçların rahatça yönetilebilmesi sağlanır.
3. Programda bir IDE'de özellikle bulunması gereken ve söz dizimlerini renklere ayıran, ayrıca Intellisense özelliği ile kod yazarken otomatik tamamlama sağlayan ve zaman zaman kodu karmaşıklıktan uzaklaştırmak için otomatik olarak boşluklar oluşturan bir kod yazım editörü bulunmaktadır.
4. Programda hataları ayrıntılı bir şekilde satır ve sütun olarak gösteren bir derleyici, hatanın nasıl giderilebileceği konusunda fikir veren bir yorumlayıcı ve yazılımın adım adım çalıştırılarak hatanın bulunması konusunda yardımcı olan bir hata ayıklayıcı (debugger) bulunmaktadır.

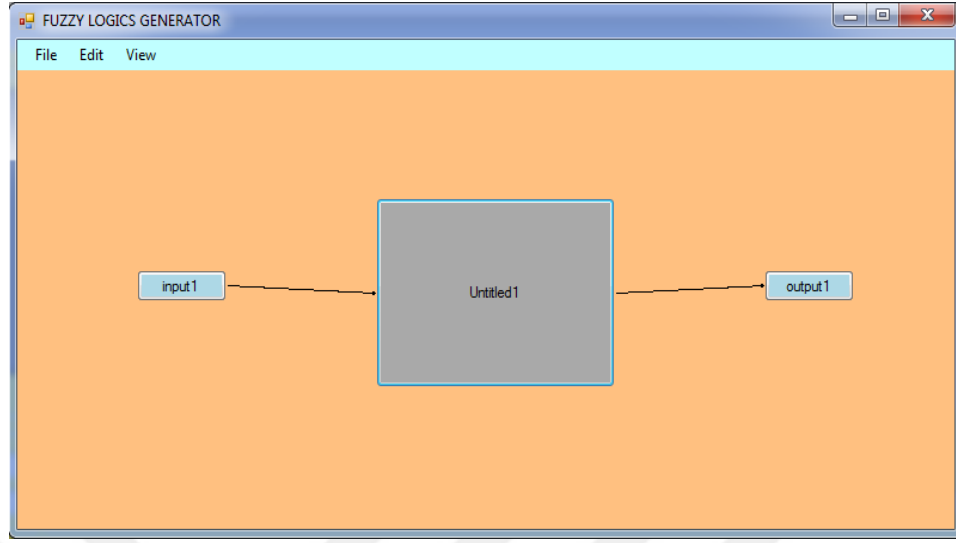
5. Programda proje dosyalarını katmanlar halinde gösteren Solution Explorer isminde bir dizelge bulunur.

Tüm bu özellikleriyle, Visual Studio 2010 ihtiyaç duyulan IDE özelliklerini fazlasıyla taşımaktadır ve bu yüzden tez için geliştirilmeye ihtiyaç duyulan yazılımın inşa edilmesi için tercih edilmiştir.

Tez kapsamında yazılmış olan programa gelinecek olursa, bu program bu başlık altında anlatılan Visual Studio 2010 geliştirme platformu kullanılarak geliştirilmiş ve geliştirilirken, daha önce anlatılan MATLAB R2015a programının modülü olan Fuzzy Logic Toolbox baz alınmış, onunla benzer özelliklere sahip olması sağlanmıştır. Programa Fuzzy Logic Generator ismi verilmiştir.

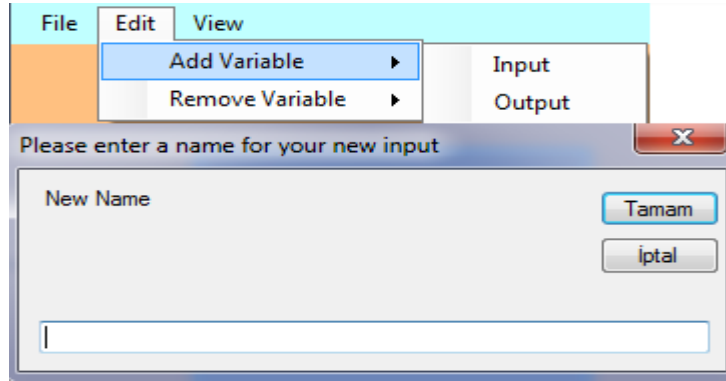
Programın geliştirilme amacı, hali hazırda kullanılan MATLAB Fuzzy Logic Toolbox'tan elde edilen sonuçları teyit edebilmek ve gerçek deneylere daha yakın sonuçlar elde edilebilmesini sağlamaktır.

Programın ilk arayüzü ve içerikleri: Program çalıştırıldığı zaman açılan ilk arayüz, Şekil 3.7'de bulunan arayüzdür. Bu arayüzde orta bölümdeki statik buton kural tabanını temsil ederken, bu butona işaret eden soldaki dinamik buton girdi (input) butonunu, yine bu statik butondan gelen okun işaret ettiği buton ise çıktı (output) butonunu temsil eder. Statik buton, programlama terminolojisinde halihazırda formun üzerinde bulunan buton, dinamik buton ise program çalıştığı esnada oluşturulan butondur. Girdi ve çıktı butonlarının dinamik olmasındaki amaç, istendiği zaman bir komut verilerek buton sayısının artmasını sağlamaktır. Bu komutlar ise Edit menüsündeki "Add Variable" ve "Remove Variable" seçenekleri ile verilebilir.



Şekil 3.7. Fuzzy Logic Generator ana arayüzü

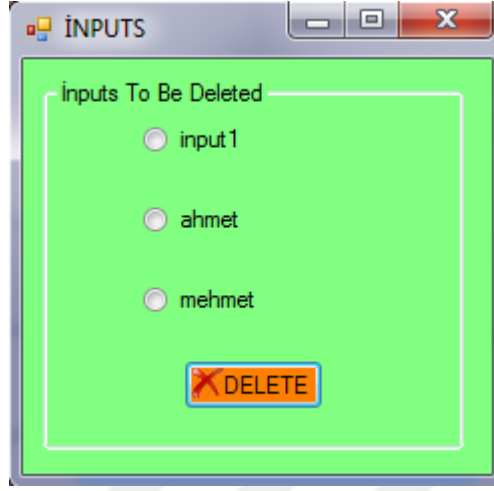
Edit Menüsü: Edit menüsündeki "Add Variable" seçeneği tıklandığı zaman açılan alt seçenekler "Input" ve "Output" olacaktır. Bu seçeneklerden herhangi biri tıklandığı zaman Şekil 3.8'deki InputBox ile karşılaşılır. Bu InputBox'ın yardımıyla eklenmek istenen girdi veya çıktının ismi girilip Tamam'a basılarak, ekleme işlemi yapılabilir.



Şekil 3.8. Girdi/Çıktı ekleme seçeneği ve eklemek için açılan pencere

Dipnot: InputBox, C# ve Visual Basic gibi görsel programlama dillerinde kullanılan bir girdi alma aracıdır. Verilen kutucuğa istenen girdi yazılıp gönderilerek programda kullanılmasını sağlar.

Yine Edit menüsünde bulunan "Remove Variable" seçeneği ile istenen bir girdi veya çıktı silinebilir. Bunun için yine Şekil 3.8'deki seçeneğe benzer şekilde "Remove Variable" seçeneğinin alt seçenekleri olan "Input" veya "Output" seçeneklerine tıklanır ve Şekil 3.9'daki arayüz açılır.

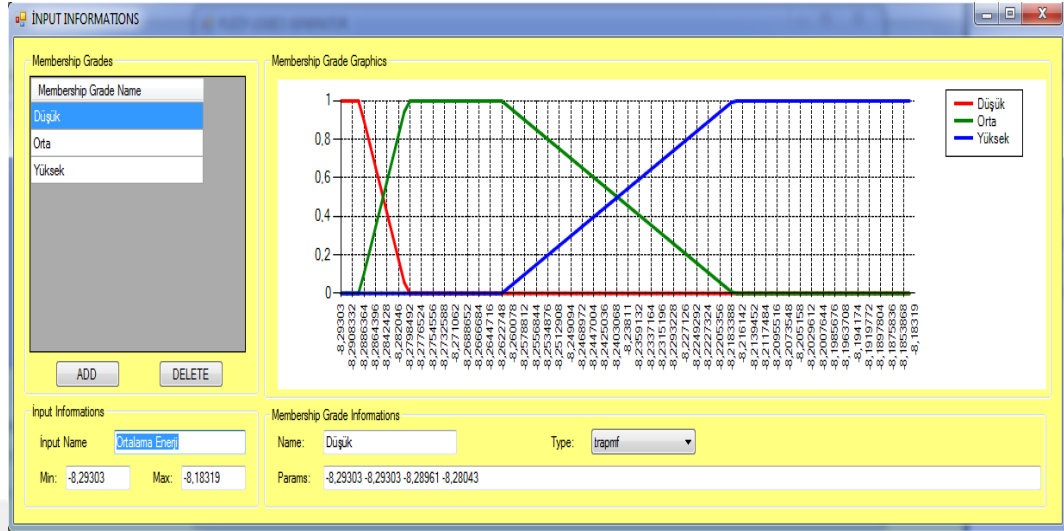


Şekil 3.9. Girdi/Çıktı silme arayüzü

Açılan bu arayüzde, istenen bir girdi/çıktı seçilerek "Delete" butonuna basılır ve istenen girdi/çıktı silinmiş olur. Eğer "Output" alt seçeneğine tıklanırsa aynı arayüz, var olan çıktılar üzerinden yeniden düzenlenir.

Girdi ve Çıktıların Düzenlenmesi: Herhangi bir girdi veya çıktı üzerinde düzenleme yapılmak isteniyorsa; Şekil 3.7'deki ana ekranda dinamik buton şeklinde görünen girdi veya çıktıların üzerine tıklanarak Şekil 3.10'daki arayüzün açılması sağlanır. İster girdi butonuna, ister çıktı butonuna tıklansın; açılacak arayüz aynı olup, sadece ilgili girdi veya çıktıya göre düzenlenir.

İlgili girdi veya çıktı üzerinde düzenleme yapılmasını sağlayan bu arayüz ilk açıldığında; boş bir ekranla karşılaşılır. "ADD" ve "DELETE" butonları ve "Input Informations" grubu altındaki elemanlar haricindeki diğer elemanlar pasif konumdadır. Sol altta bulunan "Input Informations" grubunda; "Input Name" kutucuğu kullanılarak ilgili girdi veya çıktının adı değiştirilebilir. Ayrıca üyelik derecelerinin grafiklerinin tanım aralığını belirlemek için "Min" ve "Max" kutucukları yer almaktadır. Bu kutucuklara istenen değerleri yazıp Enter'a basıldığı zaman; daha önceden pasif olan diğer buton ve kutucuklar aktif konuma geçerler.



Şekil 3.10. Girdi/Çıktı düzenleme arayüzü

İlgili girdi veya çıktıya üyelik derecesi ekleyebilmek için; "Membership Grades" grubu altında bulunan "ADD" butonuna basılır ve grupta bulunan listeye 1 adet üyelik derecesi eklenir. Listede üyelik derecesi seçildiğinde sağ altta bulunan "Membership Grade Informations" grubunda eklenen üyelik derecesinin bilgileri default olarak gelir. Daha sonra üzerinde değişiklik yapmak için listeden istenen üyelik derecesi tıklanıp seçilir. Seçilen üyelik derecesi ile alakalı bilgiler "Membership Grade Informations" grubu altındaki kutucuklarda belirir. Kutucuklardaki bilgilerde değişiklikler yapıp, her kutucuktan sonra Enter'a basılarak yapılan değişiklik kaydedilmiş olur.

"Membership Grade Informations" grubu altında bulunan "Name" kutucuğu üyelik derecesinin adını, "Type" açılır listesi üyelik derecesinin fonksiyon tipini, "Params" kutucuğu ise üyelik derecesinin grafikte yön değiştirdiği noktaları gösterir. Örneğin; "Type" açılır listesinde fonksiyon tipi "trapmf" ise, "Params" kutucuğu içerisine "1 3 5 10" sayıları yazıldığında üstte bulunan grafik; minimum noktasından 1'e kadar 0, 1'den 3'e kadar sabit artan, 3'ten 5'e kadar 1, 5'ten 10'a kadar sabit azalan ve 10'dan maksimum noktasına kadar 0 olarak çizilecektir. Yukarıdaki grafik, üyelik derecelerinin grafiklerini gösterir ve bir üyelik derecesi seçildikten sonra "Params" kutucuğunda yapılacak herhangi bir değişiklik; direkt olarak grafiğe yansiyacaktır.

Eğer herhangi bir üyelik derecesi silinmek isteniyorsa; "Membership Grades" grubu altında bulunan listeden istenen bir üyelik derecesi tıklanıp seçilir ve "DELETE" butonuna basılarak silme işlemi yapılmış olur.

Kural Tabanının Düzenlenmesi: Şekil 3.7'de bulunan ana ekranda ortada bulunan sabit buton tıklandığı zaman Şekil 3.11'de bulunan arayüz açılır. Bu arayüz kural tabanı için gerekli verileri satır satır girebilmek içindir.

| | Gerinim Değeri | Femi Enerji | Ortalama Enerji | Urep | EBS | Egap |
|---|----------------|-------------|-----------------|-------|-------|---------|
| 1 | Küçük | Düşük | Düşük | Küçük | Küçük | Çok Dar |
| 2 | Küçük | Düşük | Düşük | Küçük | Orta | Çok Dar |
| 3 | Küçük | Düşük | Düşük | Küçük | Büyük | Çok Dar |
| 4 | Küçük | Düşük | Düşük | Orta | Küçük | Çok Dar |
| 5 | Küçük | Düşük | Düşük | Orta | Orta | Çok Dar |
| 6 | Küçük | Düşük | Düşük | Orta | Büyük | Çok Dar |
| 7 | Küçük | Düşük | Düşük | Büyük | Küçük | Çok Dar |
| 8 | Küçük | Düşük | Düşük | Büyük | Orta | Çok Dar |

If

Gerinim:

Femi Enerji:

Ortalama:

Urep:

EBS:

Then

Egap:

ADD

DELETE

CHANGE

Şekil 3.11. Kural tabanı arayüzü

Bu arayüzde "Fuzzy Rules" grubu altında bulunan listede halihazırda kural tabanında yer alan kurallar görüntülenmektedir. Altında ise "If" etiketinin altında girdiler için, "Then" etiketinin altında çıktılar için açılır listeler bulunmaktadır. Girdiler ve çıktıları temsil eden her bir açılır liste içerisinde; o girdi veya çıktının içerisinde yer alan üyelik derecelerinin isimleri otomatik olarak çekilir. Listede yer alan kuralların üzerine tıklanıp seçildiğinde; o kuralın içeriği aşağıdaki açılır listelere yansır. Bu durumda iken bu açılır listelerde seçim değişikliği yapıлып "CHANGE" butonuna basıldığında; kural tabanında seçili olan kural, açılır listelerin yapılan değişikliklerden sonraki halini alır.

Eğer kural tabanına herhangi bir kural eklenmek isteniyorsa; açılır listelerde istenen üyelik dereceleri seçilir ve "ADD" butonuna basılır. Eğer eklenmek istenen kural zaten kural tabanında varsa; program engel olur ve uyarı verir.

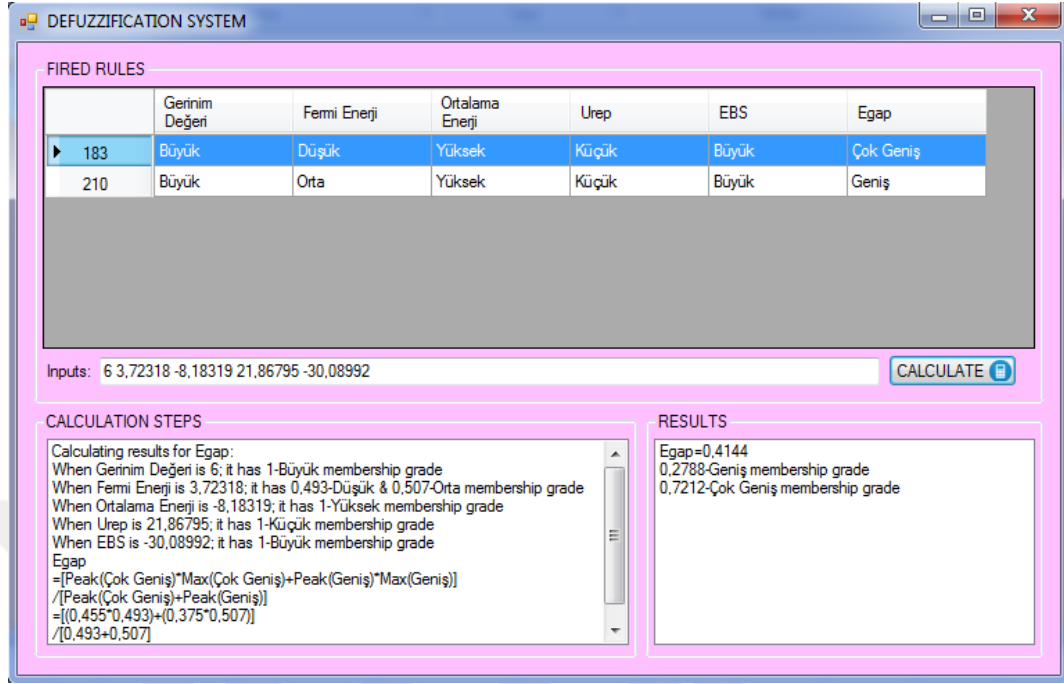
Eğer kural tabanından herhangi bir kural silinmek isteniyorsa; listede istenen kural tıklanıp seçilir ve "DELETE" butonuna basılır.

Bulanık Sistemin Dosyaya Kaydedilmesi ve Dosyadan Yüklenmesi: Girdi ve çıktıların bütün bilgileri girildikten sonra eğer oluşturulan bulanık çıkarım sistemi kaydedilmek isteniyorsa; Şekil 3.7'deki ana ekranda "File" menüsü altında yer alan "Save" seçeneği tıklanır. Açılan pencerede istenen isim girilerek onaylanır ve bulanık çıkarım sistemi metin belgesi (.txt) olarak kaydedilmiş olur.

Eğer daha önce metin belgesi olarak kaydedilmiş bir bulanık çıkarım sistemi yeniden yüklenmek istenirse, "File" menüsü altında yer alan "Open" seçeneği tıklanır. Açılan pencerede daha önce kaydedilmiş olan .txt uzantılı dosya seçilir ve "Aç" tuşuna basılarak, o dosyaya ait bütün verilerin programa yüklenmesi sağlanır.

Oluşturulan Bulanık Uzman Sisteme Girdi Gönderilmesi ve Çıktı Alınması: Sisteme girdi gönderilip çıktı alınabilmesi için sistemin girdi ve çıktılarıyla alakalı gerekli bilgiler verilir, kural tabanı oluşturulduktan sonra; Şekil 3.7'deki ana ekranda bulunan "View" menüsü altındaki "Rules" seçeneğine tıklanır. Tıklandığında; 3.12'deki arayüz açılır.

Kullanılan bu arayüzde; "Inputs" kutucuğu içerisine, her bir girdi için istenen değerler aralarında boşluklarla yazılıp, "CALCULATE" butonuna basılır. Basıldıktan sonra, yukarıdaki "Fired Rules" grubunda bulunan veri tablosunda kural tabanında tetiklenen kurallar, rakamlarıyla beraber gösterilir. Alt kısımdaki "Calculation Steps" grubundaki listede yapılan hesaplamaların aşamaları tek tek gösterilirken, "Results" grubundaki listede ise elde edilen sonucun çıktı grafiğinde hangi üyelik derecelerine ne kadar sahip olduğu gösterilir.



Şekil 3.12. Deney yapmak için kullanılan arayüz

3.1.3. Origin Pro 2016 SR0

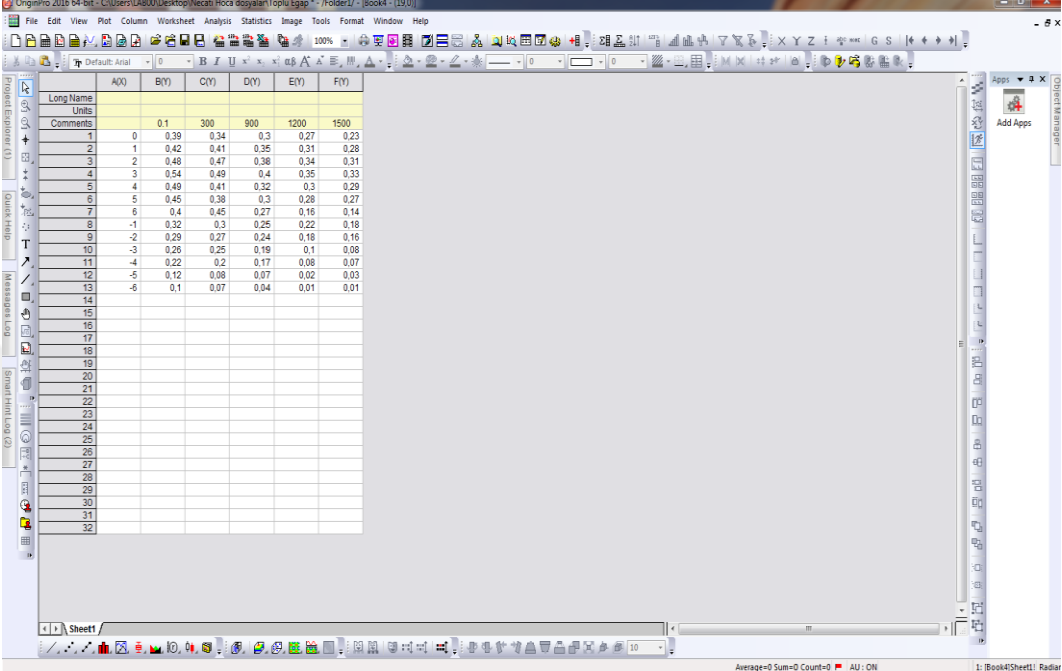
Origin, genellikle endüstriyel amaçlı olup; bilimsel grafik çizimi ve veri analizi için kullanılan bir yazılımdır. Hem bilimsel çalışmalarda akademisyenler tarafından, hem de mühendislik çalışmalarında mühendisler tarafından kullanılır [28].

Genel itibarıyla sahip olduğu özellikler şu şekilde listelenebilir:

1. Grafik Çizdirme
2. İstatistik ve sinyal işleme
3. Eğri ve yüzey uydurma
4. Matematiksel işlemler
5. Veri ve yığın işleme
6. Proje ve veri yönetimi [28]

Origin programının, tezde kullanılan versiyonu Origin Pro 2016 SR0'dır. Tez konusundan da anlaşılacağı gibi, tezde kullanılan veriler karbon nanotüplerle alakalı

verilerdir. Karbon nanotüplerle alakalı verilerin kullanımı ve işlenmesi için; ayrıca bunlarla alakalı grafiksel çizimler için Origin programı kullanılmaktadır.



| Long Name | A(X) | B(Y) | C(Y) | D(Y) | E(Y) | F(Y) |
|-----------|------|------|------|------|------|------|
| Units | | | | | | |
| Comments | | | | | | |
| 1 | 0 | 0.39 | 0.34 | 0.3 | 0.27 | 0.23 |
| 2 | 1 | 0.42 | 0.41 | 0.35 | 0.31 | 0.28 |
| 3 | 2 | 0.48 | 0.47 | 0.38 | 0.34 | 0.31 |
| 4 | 3 | 0.54 | 0.49 | 0.4 | 0.35 | 0.33 |
| 5 | 4 | 0.49 | 0.41 | 0.32 | 0.3 | 0.29 |
| 6 | 5 | 0.45 | 0.38 | 0.3 | 0.28 | 0.27 |
| 7 | 6 | 0.4 | 0.45 | 0.27 | 0.16 | 0.14 |
| 8 | -1 | 0.32 | 0.3 | 0.25 | 0.22 | 0.18 |
| 9 | -2 | 0.29 | 0.27 | 0.24 | 0.18 | 0.16 |
| 10 | -3 | 0.25 | 0.25 | 0.19 | 0.1 | 0.08 |
| 11 | -4 | 0.22 | 0.2 | 0.17 | 0.08 | 0.07 |
| 12 | -5 | 0.12 | 0.08 | 0.07 | 0.02 | 0.03 |
| 13 | -6 | 0.1 | 0.07 | 0.04 | 0.01 | 0.01 |
| 14 | | | | | | |
| 15 | | | | | | |
| 16 | | | | | | |
| 17 | | | | | | |
| 18 | | | | | | |
| 19 | | | | | | |
| 20 | | | | | | |
| 21 | | | | | | |
| 22 | | | | | | |
| 23 | | | | | | |
| 24 | | | | | | |
| 25 | | | | | | |
| 26 | | | | | | |
| 27 | | | | | | |
| 28 | | | | | | |
| 29 | | | | | | |
| 30 | | | | | | |
| 31 | | | | | | |
| 32 | | | | | | |

Şekil 3.13. Origin Pro 2016 SR0 arayüzü ve verilerin tablo halinde gösterimi

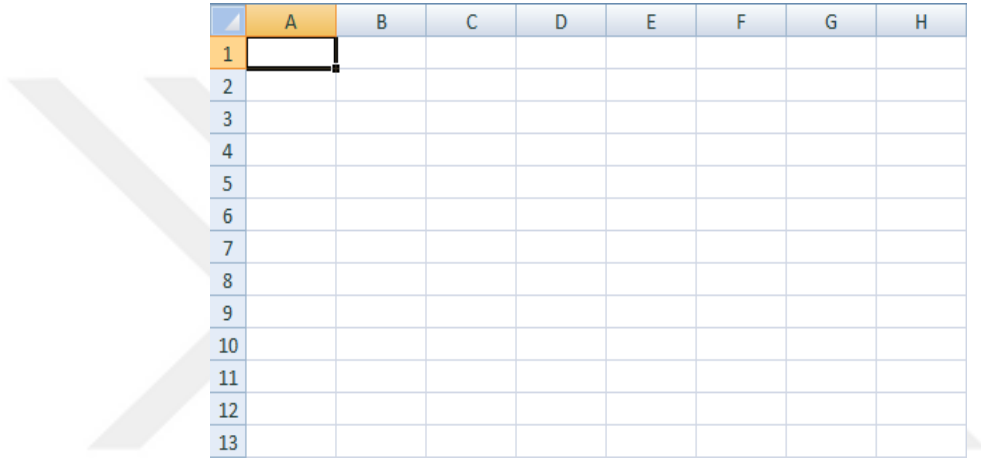
Tezde ise; bu program kurulup, ilgili veriler programda kullanılan ".opj" uzantılı dosyalar halinde alınmış ve program vasıtasıyla açılmıştır. Alınan ".opj" uzantılı dosya program vasıtasıyla açıldığında ilk başta grafik çizimleri ile karşılaşmıştır. Ancak programın Şekil 3.13'te görünen arayüzünde, yan tarafta görünen açılır kapanır "Project Explorer" sekmesine tıklandığı zaman; hem dosya içerisinde tablolar halinde tutulan veriler, hem de grafikler liste halinde gösterilmektedir. Bu listede hazırlanmış olan bir veri setine çift tıklandığı zaman, arayüzde ilgili veri tablo şeklinde gösterilir. Gösterilen tablodan da bu veriler, Microsoft Excel gibi tablo programlarına gönderilerek üzerinde işlem yapılabilir. Tezde de aynen bu şekilde yapılmıştır.

3.1.4. Microsoft Excel 2007

Excel; 1989 yılında Microsoft firması tarafından oluşturulan bir elektronik tablo oluşturma programıdır. Veriler satırlar ve sütunlar halinde; sayı, tarih, metin gibi formatlarda tutulabilir. Satırlar ve sütunların birleşmesiyle hücreler oluşur. En temel

işlevi verilerin düzenli bir şekilde depolanmasının yanında, formül adı verilen yapılar sayesinde hücrelerde depolanan rakam, metin ve tarihler üzerinde çeşitli hesaplamaların yapılabilmesidir [29].

Excel'de her bir hücrenin bir adresi bulunmaktadır. Sütunlar harflerle, satırlar da rakamlarla ifade edildiği için; örnek bir hücre adresi A5 şeklinde olacaktır. Şekil 3.14'te Excel'deki satır ve sütun yapısı gösterilmektedir.



| | A | B | C | D | E | F | G | H |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | |

Şekil 3.14. Excel programında satır ve sütunların oluşturduğu hücre yapısı

Formüller ise hücreler içerisine; başka hücrelerdeki veriler üzerinde hesaplama yapmak amacıyla girilen ifadelerdir ve eşittir (=) sembolüyle başlar. Örnek: = A8 + B3

Tıpkı matematikteki gibi hücrelerle matematiksel işaretler yardımıyla hesaplama yapılabildiği gibi, işlevler yardımıyla da hesaplamalar yapılabilir. İşlevler; Excel'de belirli işleri yerine getirmek üzere Excel'de hazır bulunan fonksiyonel yapılardır. Her birisinin kendi ismi vardır ve bitiminde parantezler bulunur. Bu parantezlerin arasına, işlevin ihtiyacına göre parametreler yazılabilir. Örnek olarak; toplama ve çarpma işlevleri ve özellikleri Şekil 3.15'te belirtilmiştir.

Dipnot: Excel'de hücre adresleri belirlenebildiği gibi, hücre aralıkları da belirtilebilir. Örneğin; A5:C8 ifadesi sol üst köşesi A5 hücresi, sağ alt köşesi C8 hücresi olan bir dikdörtgensel aralığı ifade eder.

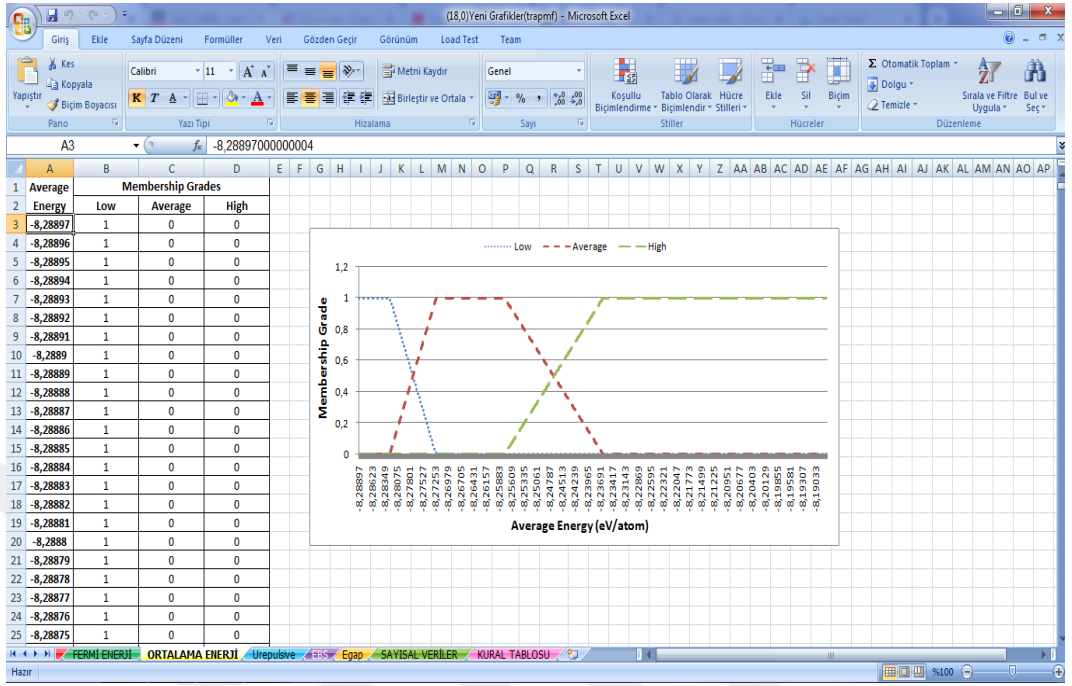
| FORMÜL ADI | YAZILIŞI | AÇIKLAMASI |
|------------|---------------|---|
| TOPLA | =TOPLA(A8:B7) | A8'den B7'ye kadar tüm hücrelerde bulunan değerleri topla |
| | =450+200+109 | 3 farklı sayıyı toplama |
| | =A5+350 | A5 hücresinde bulunan değer (sayı) ile farklı bir sayıyı toplar |
| | =B2+C4+F7 | 3 farklı hücrenin içeriğini toplar |
| ÇARPMA | =28*900 | 2 farklı sabit rakamı birbiriyle çarpar |
| | =G5*970000 | G5 hücresi ile belirli bir rakamı çarpar |
| | =F3*H7 | F3 hücresindeki değer ile H7 hücresindeki değeri çarpar |

Şekil 3.15. Excel'de toplama ve çarpma işlev ve formülleri

Excel'de yapılabilen daha bir çok işlem vardır. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz:

- 1) Makrolar ile formüller yardımıyla hızlıca işlem gerçekleştirme
- 2) Rakamsal veya tarihsel seriler meydana getirme
- 3) Veritabanı yapısı oluşturmak ve içinden veri filtrelemek
- 4) Metin yazmak ve metinsel işlemler yapabilmek
- 5) Matematiksel ve logaritmik işlemler yapabilmek
- 6) Resim ekleyebilme
- 7) Export ve import işlemleri
- 8) Bulut bilişim entegrasyonu
- 9) Veri yönetimi ile alakalı işlemler
- 10) Raporlama işlemleri
- 11) Veri madenciliği
- 12) Grafik çizimi
- 13) "Excel to Web" veri girişi [29]

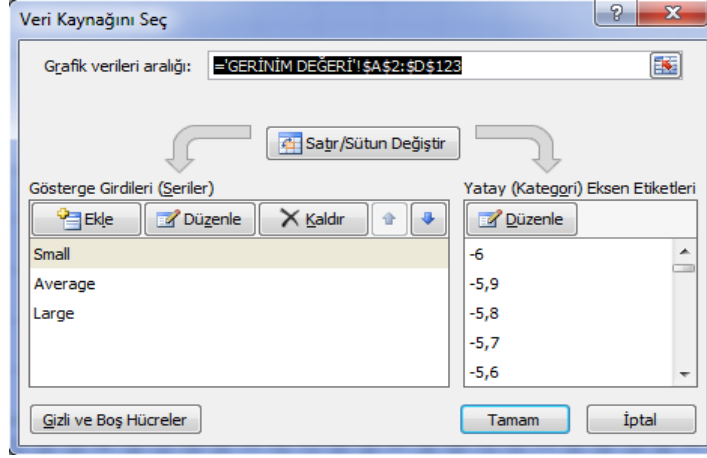
Tezde ise; daha önce bahsedilen Origin programından Excel'e aktarılan veriler üzerinde formüller ve işlevler kullanılmış ve hesaplamalar yapılmıştır. Ayrıca; her bir girdi ve çıktı için grafikler çizilmiştir. Bununla ilgili örnek bir çalışma Şekil 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Excel'de veriler vasıtasıyla grafik çizimi

Şekil 3.16'daki çalışmada, bulanık çıkarım sistemi için kullanılan ortalama enerji girdisinin grafiği çizilmiştir. Bunun için; "Ekle" sekmesinin altındaki "Grafikler" grubundan istenen şekilde bir grafik seçilir. Çalışmada çizgi grafiği tercih edilmiştir.

Grafik çiziminin düzgün şekilde yerine getirilmesi için; doğru veri seçimine ihtiyaç vardır. Grafiğin üzerine sağ tıklanıp "Veri Seç" seçeneği tıklandığı zaman Şekil 3.17'deki pencere açılacaktır. Bu pencerede, grafiği oluşturması gereken veriler düzgün bir şekilde seçildiğinde grafik çizilmiş olacaktır. Tezde uzman yardımıyla elde edilen veriler Excel'e aktarılarak grafik çizilmiş, grafiğin yükseldiği ve alçaldığı yerler için veri sütunlarındaki veriler formüsel olarak girilmiştir. Kural tablosu ve deney sonuçları da yine Excel tablolarına aktarılarak incelenmiştir.



Şekil 3.17. Excel grafik çiziminde veri seçim penceresi

3.2. Metotlar

3.2.1. Bulanık Mantık

Bulanık mantık kavramını daha iyi açıklayabilmek için öncelikle yapay zeka kavramını ele almak gerekmektedir.

Üretiminde yaşanan bir formun kullanılmadığı, tamamen yapay araçlar vasıtasıyla üretilen, ancak insan gibi davranabilen ve hareket edebilen makinelerin icat edilmesi teknolojisine *yapay zeka* denir [30].

Yapay zeka ile ilgili yapılan çalışmalarda ilk olarak Charles Babbage ve Ada Lovelace isminde iki bilim insanı 1835 yılında dünyanın ilk bilgisayarını icat etmişler, diğer yandan da "İnsan gibi düşünebilen bir bilgisayar mümkün müdür?" sorusuna kafa yormuşlardır [31].

1950 yılında ABD'li Claude Shannon, bilgisayarların satranç oyununda ustalaşması üzerine çalışırken; Alan Turing ise bir makinenin zekaya sahip olduğunun veya olmadığının anlaşılabilmesi üzerine "Bilgisayar Mekanizması ve Zeka" isimli bir makale yazmıştır [31].

Dartmouth Koleji'nden John McCarthy ise; 1955 yılında "yapay zeka" üzerine bir konferans düzenlenmesini ve bilim insanlarının bunun üzerine yaptıkları bilimsel çalışmaların bu konferansta paylaşılmasını teklif etti. Bu sayede yapay zeka (artificial intelligence) isim olarak ilk kez ortaya konmuş oldu [31]. Bu adımların ardından yapay zeka günümüze kadar ciddi bir ilerleme kaydetmiştir.

Bulanık mantık ise; bir nesneyi büyük veya küçük, sıcak veya soğuk gibi iki kesin kümeye ayırmak yerine, iki farklı kümeye belli yüzdelerle ait olma (çok soğuk, soğuk, serin, sıcak, çok sıcak gibi) düşüncesinin benimsenmesini amaçlayan bir yapay zeka tekniğidir.

Bu yöntemin bulunmasında ilk adımı 1965 yılında Azeri bilim adamı Lotfi Ali Asker-Zadeh bulanık küme kavramını icat ederek atmıştır. O yılda kendisi tarafından yayınlanan "Bulanık Kümeler" isimli makalesinde, matematik vasıtasıyla, dil ve insan zekasının ilişkilendirilebileceğini ortaya koymuş ve bu amaçla *bulanık küme* kavramını ortaya atmıştır. Asker-Zadeh'e göre; bulanık mantık ve bulanık küme kavramlarıyla gerçek hayatın modellenmesi daha iyi yapılabilmektedir [32].

Bulanık Küme Kavramı

Elemanları x olan bir E evrensel kümesidüşünülsün. A kümesi ise bu E evrensel kümenin alt kümesi olsun ($A \subset E$). Bu x elemanlarının A kümesine ait olup olmadığına yönelik bir fonksiyon yazmak istenirse bu fonksiyon Denklem 3.1'deki gibi olurdu.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (3.1)$$

Bu fonksiyona göre; bir eleman ya A kümesine tamamen aittir, ya da tamamen A kümesinin dışındadır. Bu durum da gerçek dünyada kesin olmayan durumlar için yeterli çözüm sunmamaktadır. Örnek vermek gerekirse; bir sinema salonunda bir grup erkek öğrencinin film izlediği düşünülsün. Bu öğrenci grubu için "Bu grup erkek

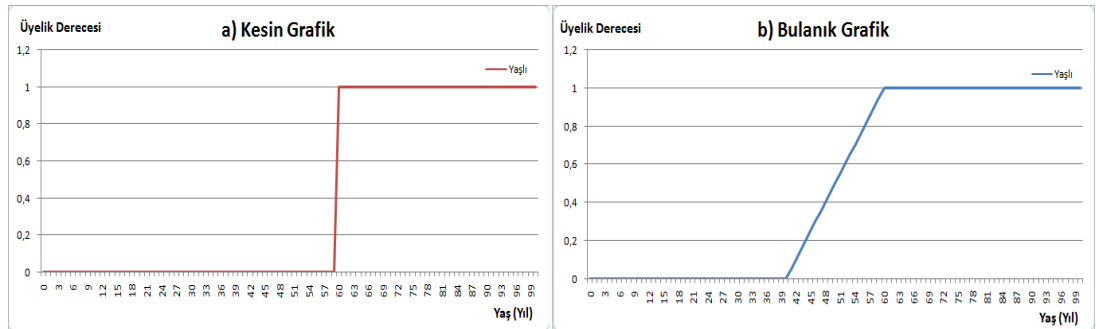
grubu mudur?" diye sorulduğunda, cevap evet olacaktır. Ancak bu grup içerisinde birkaç adet kız öğrenci eklendiği zaman cevap "Evet" ya da "Hayır" yerine "Tamamen Değil" ya da "Birkaçı" gibi bir cevap olacaktır [32].

İşte bunun gibi kesin ve net olmayan durumlarla bulanık küme ilgilenmektedir. Bulanık küme teorisinde; bir nesne bir kümeye tamamen ya da kısmen ait olabilmektedir. Nesnelerin aitliklerinin büyüklükleri, *üyelik derecesi* ile belirlenir. Örneğin; bir sepetteki elmaların yarısı yeşil, yarısı kırmızı ise; bu sepetteki elmalar 0.5-kırmızı, 0.5-yeşil üyelik derecelerine sahiptir. Üyelik derecesi mantığı, bir nesnenin bir kümeye ait olup olmama durumuna uyarlanacak olursa; ortaya *üyelik fonksiyonu* çıkar. Üyelik fonksiyonuna göre bir nesne herhangi bir kümeye [0,1] aralığında bir üyelik derecesi ile bağlı olabilir. Üyelik fonksiyonunun temsili Denklem 3.2'deki gibi ifade edilmiştir [32]:

$$\mu_A(x) : x \rightarrow [0,1] \text{ ya da } 0 \leq \mu_A(x) \leq 1 \quad (3.2)$$

Bu temsile göre eğer bir x elemanı A kümesine kesinlikle ait değilse $\mu_A(x)=0$ olur. Eğer tamamen aitse $\mu_A(x)=1$ olur. Eğer kısmen aitse bu ikisi arasında bir değer alır demektir [32].

Kesin ve bulanık kümeler için grafiksel gösterim ise Şekil 3.18'de bulunmaktadır.



Şekil 3.18. Kesin ve Bulanık Kümelerin Grafiksel Gösterimi

Şekil 3.18'deki gösterimlere göre a şıkkındaki kesin grafikte bir kişinin yaşlı olarak değerlendirilmesi için 60 yaş ve üzerinde olması gereklidir. Daha küçük yaşlarda ise kişi direkt olarak yaşlı sınıfından çıkmaktadır. Ancak b şıkkındaki bulanık grafikte ise

kişi 40 yaşından itibaren yaşlı sınıfına yavaş yavaş belli bir yüzde ile dahil olmakta ve 60 yaşına ulaştığı zaman % 100 yaşlı olarak nitelendirilmektedir.

Bulanık kümelerin sonlu veya sonsuz bir formatta gösterilmesi mümkündür. Eğer bir bulanık küme sonlu olarak gösterilmek istenirse; bu gösterim Denklem 3.3'teki gibi olacaktır [32]:

$$F = \mu_F(x_1)/x_1 + \dots + \mu_F(x_n)/x_n = \sum_{i=1}^n \mu_F(x_i)/x_i \quad (3.3)$$

Eğer bir bulanık kümenin sonsuz olarak gösterilmesi istenirse bunun için Denklem 3.4'teki format kullanılacaktır [32]:

$$F = \int x(\mu_F(x) / x) dx \quad (3.4)$$

Örnek: Bu gösterime bir örnek vermek için, Şekil 3.18'deki yaş-üyelik derecesi grafiklerini ele alınsın. Bulanık gösterim örneği verileceği için bu grafiklerde b şikkındaki bulanık grafiği ele alınacaktır. Bu bulanık grafik için evrensel küme; $E = \{30,40,50,60,70\}$ olsun. Buna göre sonlu formatta bulanık kümenin gösterilmesi istenirse bu $F = \{0/30 + 0/40 + 0.5/50 + 1/60 + 1/70\}$ şeklinde olacaktır.

Dipnot: Sonlu gösterimde '/' sembolü bölmeyi değil, x girdisine karşılık olarak $\mu_F(x)$ çıktısının geldiğini ifade eder. '+' sembolü ise toplamayı değil, Boole cebrinde birleşim işlemini ifade etmektedir.

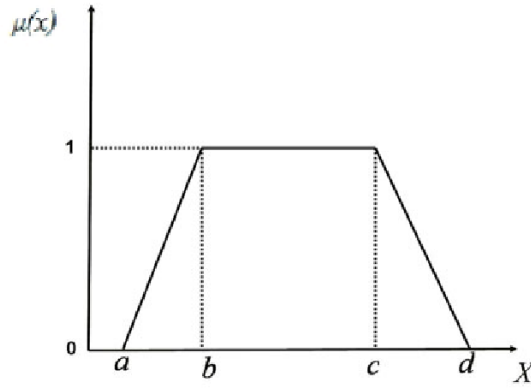
Üyelik fonksiyonları

Üyelik fonksiyonları; koordinat düzleminde bir nesnenin belirli bir özelliği girdi (x), nesnenin özelliği ile belirli bir kümeye aitliğini gösteren üyelik derecesi de çıktı (y) olarak düşünülürse, bu girdi ile çıktı arasındaki matematiksel bağıntıyı ifade edecektir.

Üyelik fonksiyonlarının birçok çeşidi bulunmaktadır. Yapılan tez çalışmasında üzerinde denemeler yapılanlar şu şekildedir:

a) Yamuk (Trapezoidal) Üyelik Fonksiyonu ve Grafiği

$$f(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & \text{if } x \leq a \\ (x - a)/(b - a), & \text{if } a \leq x \leq b \\ 1, & \text{if } b \leq x \leq c \\ (d - x)/(d - c), & \text{if } c \leq x \leq d \\ 0, & \text{if } d \leq x \end{cases} \quad (3.5)$$

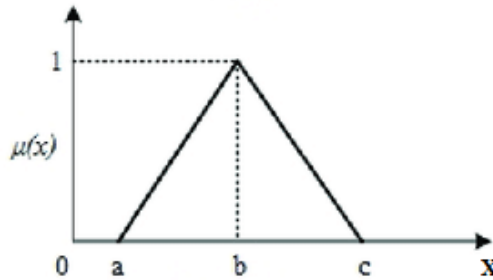


Şekil 3.19. Yamuk Üyelik Fonksiyonu Grafiği

Denklemler 3.5'te yamuk üyelik fonksiyonunun matematiksel formülü [33], Şekil 3.19'da ise, fonksiyonun grafiği [34] gösterilmiştir.

b) Üçgen (Triangular) Üyelik Fonksiyonu ve Grafiği

$$f(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & \text{if } x \leq a \\ (x - a)/(b - a), & \text{if } a \leq x \leq b \\ (c - x)/(c - b), & \text{if } b \leq x \leq c \\ 0, & \text{if } c \leq x \end{cases} \quad (3.6)$$

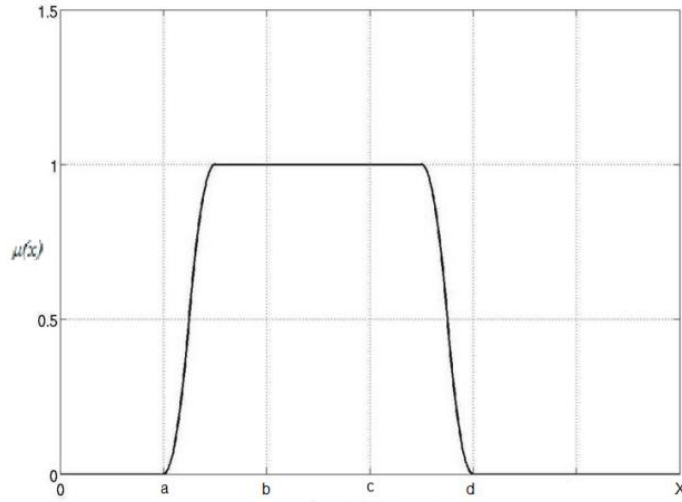


Şekil 3.20. Üçgen Üyelik Fonksiyonu Grafiği

Denklem 3.6'da üçgen üyelik fonksiyonunun matematiksel formülü [35], Şekil 3.20'de ise, fonksiyonun grafiği [36] gösterilmiştir.

c) Pi (Π) Üyelik Fonksiyonu

$$f(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & \text{if } x \leq a \\ 2 \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^2, & \text{if } a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1 - 2 \left(\frac{x-b}{b-a} \right)^2, & \text{if } \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 1, & \text{if } b \leq x \leq c \\ 1 - 2 \left(\frac{x-c}{d-c} \right)^2, & \text{if } c \leq x \leq \frac{c+d}{2} \\ 2 \left(\frac{x-d}{d-c} \right)^2, & \text{if } \frac{c+d}{2} \leq x \leq d \\ 0, & \text{if } d \leq x \end{cases} \quad (3.7)$$

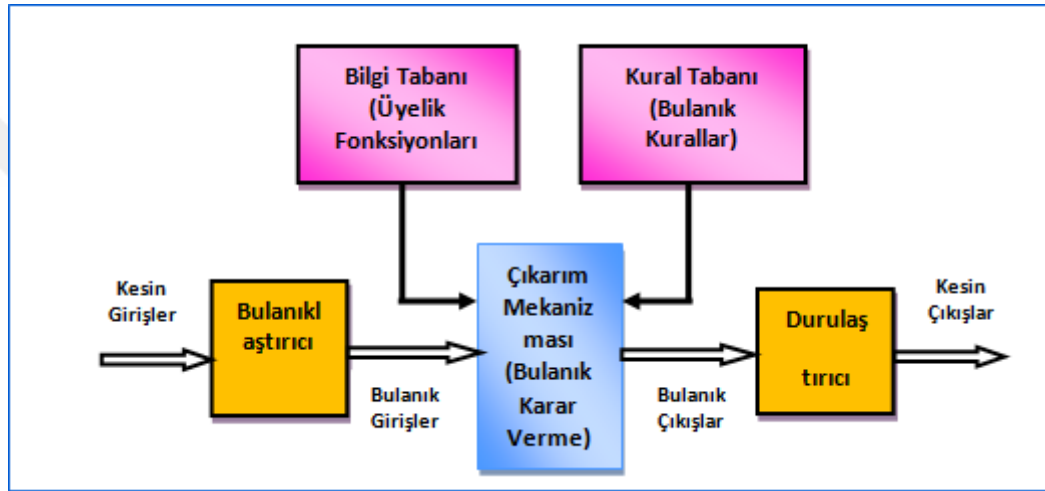


Şekil 3.21. Pi Üyelik Fonksiyonu Grafiği

Denklem 3.7'deki üyelik fonksiyonunun matematiksel formülü [37], Şekil 3.21'de ise, fonksiyonun grafiği [38] gösterilmiştir.

Bulanık Uzman Sistem (Fuzzy Expert System)

Bulanık uzman sistem, bulanık mantık yönteminin belirli bir probleme uygulanabilmesini sağlayan sistemdir. Bu sistemin temel yapısı Şekil 3.22'de gösterilmiştir.



Şekil 3.22. Bulanık Uzman Sistemin Yapısı [39]

Bu sisteme göre, öncelikle kesin girdi ve çıktılar belirlenir. Tez çalışmasında girdi ve çıktılarının belirlenmesinde iki hususa önem verilmiştir [39]:

- 1) Girdiler ve çıktılar arasında direkt bir ilişki bulunmasına dikkat edilmiştir. Çünkü verilen bir girdiye göre çıktının doğru tahmin edilebilmesi için, girdi olarak verilen bir değer çıktının doğrudan etkileyebilmesi gereklidir. Ama bu ilişkiler çoğu zaman matematiksel olarak bilinmemektedir ve bu ilişki bulanık kurallarla ifade edilerek doğru sonuçlar alınabilir ki bu da bulanık mantığın avantajıdır.
- 2) Girdiler arasında direkt bir ilişkinin olmaması gereklidir. Çünkü girdilerden birinin değeri değiştiğinde, ikinci bir girdinin değeri de bundan etkileniyorsa, ikinci girdinin değişmesinin; çıktının doğru tahmin edilmesinde kayda değer bir etkisi olmayacaktır. Bu da, sonuçların bulanık mantık yöntemi ile sağlıklı bir şekilde elde edilmesinde olumsuz bir etki oluşturacaktır.

Bir bulanık uzman sistemin tasarımı aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır [39]:

1) Sistemin girdi ve çıktı değerlerinin belirlenmesi ve bu değerlerin bulanık kümeler şeklinde sunulabilmesi için her kümeyle ait olan değer aralıkları belirlenir. Bu aralıkların sınır değerlerinin birbiri ile kesişmesi daha iyi bir sonuç çıkarımını sağlayacaktır.

2) Girdi ve çıktıların her biri, bulanık kümeler olarak ele alınır ve bu kümeler 3 yöntemle sunulabilir:

a) Formüllerle

b) Grafikselle olarak

c) Kümeler şeklinde

Bu şekilde bulanıklaştırıcı kısım oluşturulmuş olur. Bu kısım daha önce "Bulanık Küme" başlığı altında anlatılmış olup, Bulanıklaştırma başlığı altında ise işlem olarak gösterilecektir.

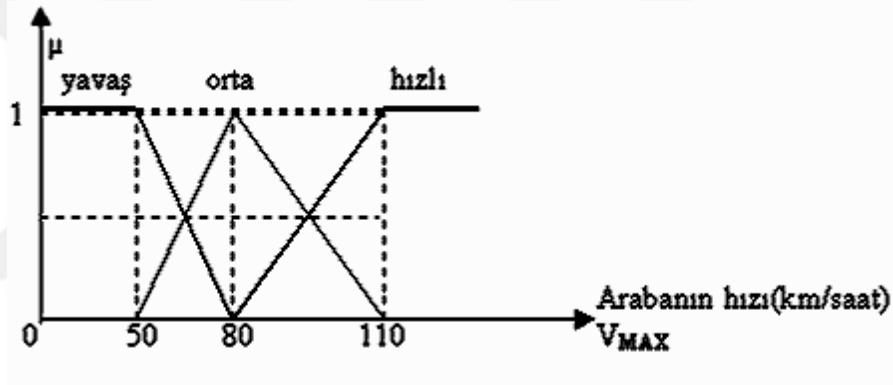
3) Bir uzman yardımıyla bulanık kurallar oluşturulur. Bulanık kuralların oluşturulması, girdilerin hangi üyelik derecesine sahip olduğunda, çıktıların hangi üyelik derecesine sahip olacağı ile alakalı koşulları içerir. Bulanık Çıkarım Mekanizması başlığı altında bunun için örnek bir kurallar dizisi verilmiştir.

4) Bulanık çıkarım mekanizması için bulanık karar verme yöntemi seçilir. Bu yöntem yazılan tez için Mamdani Bulanık Çıkarımı olarak belirlenmiş olup Bulanık Çıkarım Mekanizması başlığı altında ayrıntılarıyla anlatılacaktır. Bulanık çıkarım mekanizmasına; kullanılan üyelik fonksiyonunu içeren bilgi tabanı ve bulanık kuralları içeren kural tabanı da dahil olur. Bilgi tabanı için üyelik fonksiyonu olarak yamuk (trapezoid) üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Bulanık çıkarım mekanizmasına gelen bulanık girişler, mekanizmadan bulanık çıkışlar olarak durulaştırıcıya gönderilecektir.

5) Durulaştırıcı için durulaştırma yöntemi seçilir. Durulaştırma mekanizmasına gelen bulanık çıkışlardan kesin çıkış değerleri elde edilir. Bununla ilgili bilgiler Durulaştırma başlığı altında verilecek olup, başlık altında tezde kullanılan ağırlık merkezi (centroid) yöntemi anlatılmıştır.

Bulanıklaştırma

Bulanıklaştırma işlemi; bulanık mantık yönteminin ilk adımı olarak kabul edilebilir. Bulanıklaştırma işleminden önce girdi ve çıktının Bulanık Uzman Sistemi (Fuzzy Expert System) başlığı altında anlattığımız iki hususa uygun olarak seçilmiş olması gereklidir. Daha sonra ise; her bir girdi ve çıktı için üyelik dereceleri belirlenir ve üyelik fonksiyonları kullanılarak her bir girdi ve çıktıya ait her bir üyelik derecesi için bulanık grafikler çizilir. Bunun bir örneği Şekil 3.23'te gösterilmiştir. Bu örneği inceleyecek olursak, grafiğe göre 65 km/sa hızla giden bir araç 0.5 üyelik değeri ile yavaş, 0.5 üyelik değeri ile orta hızda gitmektedir.



Şekil 3.23. Araba hızı için örnek üyelik dereceleri ve grafikler [40]

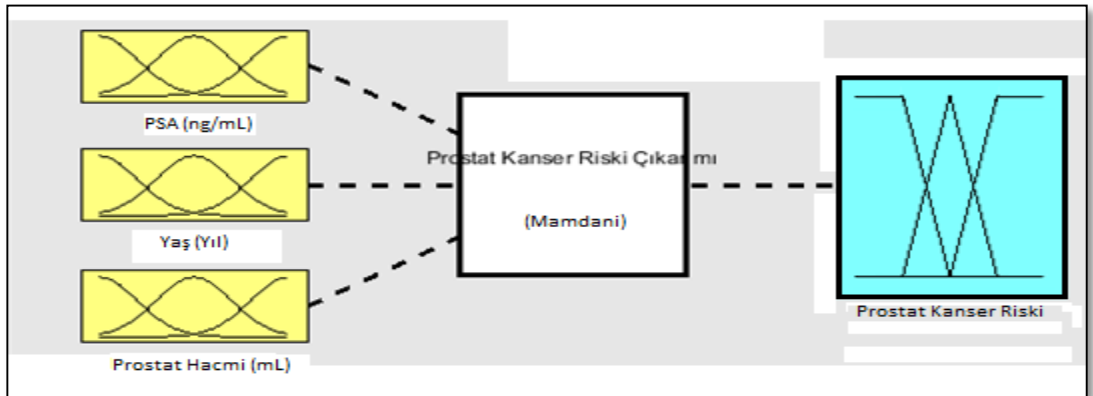
Üyelik dereceleri için grafikler çizilirken, genel itibariyle üyelik fonksiyonları kullanılır. Şekil 3.23'te bulunan örnekte arabanın hızını ifade eden bulanık grafikler için; yavaş ve hızlı üyelik derecesinde yamuk (trapezoidal); orta üyelik derecesinde ise üçgen (triangular) üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Yapılan tez çalışmasında da hem girişlerde hem çıkışta, yamuk üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Bulanıklaştırma aşamasından bir sonraki aşama bulanık girdinin bulanık çıkarım mekanizmasına gönderilip, bulanık çıkışın elde edildiği aşamadır.

Bulanık Çıkarım Mekanizması

Daha önceki bölümlerde bahsedildiği üzere; kesin girdi bulanıklaştırma aşamasından geçirilip, bulanık girişe dönüştürüldükten sonra, bulanık çıkarım mekanizmasına gönderilerek, bulanık çıkış elde edilmesi sağlanır. Bulanık çıkarım mekanizması, bulanık çıkarım yöntemi haricinde iki kısımdan oluşur. Bu kısımlar; bilgi tabanı ve kural tabanıdır.

Bulanık kural tabanı, bulanık kurallardan oluşur. Bulanık kurallar, girdi değerlerine yönelik bir çıktı oluşturmak için; bir girdinin belli bir üyelik derecesine sahip olması durumunda, çıktının hangi üyelik derecesine sahip olacağını gösteren koşullardır. Buna bir sistemle örnek verilecektir.

Örnek: Sahip olunan sistem 3 girdi ve 1 çıktılı, prostat kanseri riskini ölçmek amacıyla tasarlanan bir bulanık uzman sistem olsun. Girdiler; kanda bulunan prostat spesifik antijen miktarı (PSA), prostat hacmi (PH) ve hastanın yaşı (HY); çıktı ise; prostat kanseri riski (PKR) olsun [39]. Bu girdi ve çıktılarla tanımlanan bulanık uzman sistem, birimleriyle beraber Şekil 3.24'teki gibi tanımlanmıştır. Prostat kanser riski ise % olarak ifade edilecektir.



Şekil 3.24. Prostat kanseri riski için bulanık uzman sistemin görüntüsü [39]

Her bir girdi ve çıktı için üyelik dereceleri aşağıdaki gibi belirlensin:

Prostat Spesifik Antijen Miktarı (PSA): Çok Düşük, Düşük, Orta, Yüksek, Çok Yüksek.

Prostat Hacmi (PH): Küçük, Orta, Büyük, Çok Büyük

Hastanın Yaşı (HY): Çok Genç, Genç, Orta Yaşlı, Yaşlı

Prostat Kanseri Riski (PKR): Çok Düşük, Düşük, Orta, Yüksek, Çok Yüksek

Buna göre; bazıları Çizelge 3.1'de gösterilmek üzere bir kurallar listesi oluşturulsun:

Çizelge 3.1. Örnek Kurallar Listesi [39]

| # | HY | Opr | PSA | Opr | PH | PKR (Çıktı) |
|-----|----------|-----|------------|-----|-----------|-------------|
| 1 | Çok Genç | & | Çok Düşük | & | Küçük | Çok Düşük |
| 2 | Çok Genç | & | Çok Düşük | & | Orta | Çok Düşük |
| 3 | Çok Genç | & | Çok Düşük | & | Büyük | Çok Düşük |
| 4 | Çok Genç | & | Çok Düşük | & | Çok Büyük | Çok Düşük |
| 5 | Çok Genç | & | Düşük | & | Küçük | Çok Düşük |
| 6 | Çok Genç | & | Düşük | & | Orta | Çok Düşük |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 21 | Genç | & | Çok Düşük | & | Küçük | Çok Düşük |
| 22 | Genç | & | Çok Düşük | & | Orta | Çok Düşük |
| 23 | Genç | & | Çok Düşük | & | Büyük | Çok Düşük |
| 24 | Genç | & | Çok Düşük | & | Çok Büyük | Çok Düşük |
| 25 | Genç | & | Düşük | & | Küçük | Çok Düşük |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 76 | Yaşlı | & | Yüksek | & | Çok Büyük | Yüksek |
| 77 | Yaşlı | & | Çok Yüksek | & | Küçük | Çok Yüksek |
| 78 | Yaşlı | & | Çok Yüksek | & | Orta | Çok Yüksek |
| 79 | Yaşlı | & | Çok Yüksek | & | Büyük | Çok Yüksek |
| 80 | Yaşlı | & | Çok Yüksek | & | Çok Büyük | Çok Yüksek |

Bu şekilde girdilerin üyelik dereceleri ile çıktılarının üyelik dereceleri birbirleriyle eşleştirilerek bulanık kurallar oluşturulur. Bulanık kuralların bütününe de *bulanık kural tabanı* denir. Bulanık kural tabanının kural satırları oluşturulurken, genellikle bütün ihtimaller değerlendirmeye alınıp, girdilerin bütün üyelik derecelerinin

birbirleriyle eşleşebileceği düşünülmelidir. Bu şekilde bir bulanık kural tabanının maksimum kural sayısı belirlenir. Örneğin; yukarıda verilen örnek için maksimum kural sayısı $5 \times 4 \times 4 = 80$ olarak belirlenir.

Ancak bütün kurallarda öncüller **VE (&)** operatörü ile bağlanmaz. **VEYA (|)** operatörü ile de bağlanabilir. Durumu anlatabilmek adına öncelikle öncül kavramından bahsetmek gerekir. Bir kural içerisinde belli bir girdinin bir üyelik derecesine sahip olması üzerine oluşan ihtimale *öncül* adı verilir. Örneğin; yukarıda verilen örnekte 1. kuraldaki "Hastanın Yaşı = "**Çok Genç**" ise" ifadesi bir öncüdür. Öncüller, VE ve VEYA olmak üzere iki operatörle birbirine bağlanır, bunların sonucunda çıktı veya çıktıların üyelik derecelerinin ne olacağı belirlenir ve bu şekilde kurallar oluşturulur [41]. Örneğin; yukarıda verilen örnekte 2. kural, "Eğer Hastanın Yaşı = "**Çok Genç**" ise **VEYA** Prostat Spesifik Antijen Miktarı = "**Çok Düşük**" ise **VEYA** Prostat Hacmi = "**Orta**" ise Prostat Kanseri Riski = "**Çok Düşük**" olsun." şeklinde değiştirilebilir. Ancak bu durumda, oluşacak bulanık çıkarım mekanizması tamamen farklı bir hal alacak olup, kurallardan bazılarında ihtiyaç kalmama durumu olabilecektir.

Bulanık çıkarım mekanizması, bulanık karar verme yöntemi olarak da düşünülebilir. Bulanık karar verme yöntemi, bulanık girdilerin, bulanık kurallar ve üyelik fonksiyonları vasıtasıyla nasıl bulanık çıktıya dönüştürüleceğini belirleyen metottur. Bu tez çalışmasında ise; en çok kullanılan yöntem olan, Mamdani Bulanık Çıkarımı kullanılmıştır.

Mamdani Bulanık Çıkarımı'nı açıklamadan önce, bir bulanık karar verme yönteminin nasıl oluşturulduğunu belirtmek gereklidir. Her bulanık modelin, bulanık çıkış değeri oluştururken yaptığı 2 işlem vardır [41] :

- 1. Gerektirme (Implication)**
- 2. Birleştime (Aggregation)**

Ancak yukarıda belirtilen 2 işlemten önce bulanık model içerisinde kuralların tetiklenmesi işlemi gerçekleşir. Tetiklenme, gerektirme ve birleştirme işlemleri bu başlık altında verilen örnek üzerinden devam edilerek anlatılacaktır.

Örnek: Daha önce anlatılan bulanık uzman sistem örneği için ilgili kaynağa göre girdi değerleri ve onların giriş grafiklerinden elde edilen üyelik derecesi değerleri belirtilsin [39].

- HY = 40 yıl olsun. Bu değerde $\mu_{HY} = 0.667$ -Genç, 0.333-Orta Yaşlı üyelik derecesi değerini alır.
- PSA = 5 ng / ml olsun. Bu değerde $\mu_{PSA} = 0.75$ -Düşük, 0.25-Orta üyelik derecesi değerini alır.
- PH= 105 ml olsun. Bu değerde $\mu_{PH} = 0.571$ -Orta, 0.428-Büyük üyelik derecesi değerini alır.

Buna göre kurallardan $2 \times 2 \times 2 = 8$ tanesi seçilmelidir. Verilen giriş değerlerine göre etkilenen üyelik derecelerinin kural tabanından seçilerek filtrelenmesi işlemine *tetiklenme* denir. Tetiklenen kurallar Çizelge 3.2'deki gibidir.

Çizelge 3.2. Örnekte verilen tetiklenmiş kurallar [39]

| # | HY | PSA | PH | PKR |
|----|------|-------|-------|-----------|
| 26 | Genç | Düşük | Orta | Çok Düşük |
| 27 | Genç | Düşük | Büyük | Çok Düşük |
| 30 | Genç | Orta | Orta | Çok Düşük |
| 31 | Genç | Orta | Büyük | Çok Düşük |
| 46 | Orta | Düşük | Orta | Düşük |
| 47 | Orta | Düşük | Büyük | Düşük |
| 50 | Orta | Orta | Orta | Düşük |
| 51 | Orta | Orta | Büyük | Düşük |

Bulanık çıktılar, tetiklenen kurallardan oluşturulur. Buna göre öncelikle yapılacak işlem gerektirme işlemidir. Gerektirme işleminde; öncelikle tetiklenen kuralların her birindeki üyelik derecelerinde verilen girdi değerinin o üyelik derecesinden hangi üyelik derecesi çıktısı ürettiği hesaplanır. Buna göre;

- 26. kural: $\mu_{HY}(\text{Genç}) = 0.667$, $\mu_{PSA}(\text{Düşük}) = 0.75$, $\mu_{PH}(\text{Orta}) = 0.571$
- 27. kural: $\mu_{HY}(\text{Genç}) = 0.667$, $\mu_{PSA}(\text{Düşük}) = 0.75$, $\mu_{PH}(\text{Büyük}) = 0.428$
- 30. kural: $\mu_{HY}(\text{Genç}) = 0.667$, $\mu_{PSA}(\text{Orta}) = 0.25$, $\mu_{PH}(\text{Orta}) = 0.571$
- 31. kural: $\mu_{HY}(\text{Genç}) = 0.667$, $\mu_{PSA}(\text{Orta}) = 0.25$, $\mu_{PH}(\text{Büyük}) = 0.428$
- 46. kural: $\mu_{HY}(\text{Orta}) = 0.333$, $\mu_{PSA}(\text{Düşük}) = 0.75$, $\mu_{PH}(\text{Orta}) = 0.571$
- 47. kural: $\mu_{HY}(\text{Orta}) = 0.333$, $\mu_{PSA}(\text{Düşük}) = 0.75$, $\mu_{PH}(\text{Büyük}) = 0.428$
- 50. kural: $\mu_{HY}(\text{Orta}) = 0.333$, $\mu_{PSA}(\text{Orta}) = 0.25$, $\mu_{PH}(\text{Orta}) = 0.571$
- 51. kural: $\mu_{HY}(\text{Orta}) = 0.333$, $\mu_{PSA}(\text{Orta}) = 0.25$, $\mu_{PH}(\text{Büyük}) = 0.428$ [38]

Tetiklenen her bir kuraldan rakamsal olarak bir sonuç elde etme işlemine *gerektirme* denir. Buna göre, seçilen bir işlem vasıtasıyla daha önce sonuçları elde edilen rakamlardan birer sonuç elde edilmesi gerekmektedir. Buna örnek olarak MİN operatörü ve ÇARPMA operatörü verilebilir [42]. Ancak Mamdani Bulanık Çıkarımı'nda ağırlıklı olarak MİN operatörü kullanılmaktadır. MİN operatörünün tetiklenen kurallar için verdiği sonuçlar şu şekilde olacaktır:

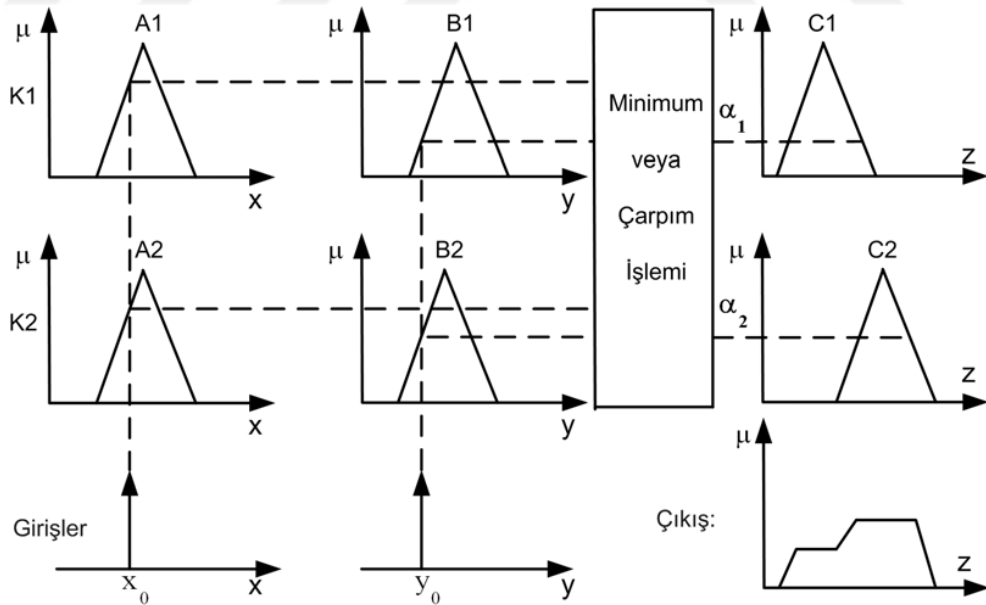
$MİN(26) = 0.571$, $MİN(27) = 0.428$, $MİN(30) = 0.25$, $MİN(31) = 0.25$, $MİN(46) = 0.333$, $MİN(47) = 0.333$, $MİN(50) = 0.25$, $MİN(51) = 0.25$. Eğer ÇARPMA operatörü kullanılacak olsaydı, değerleri çarparak çıkan sonuçların döndürülmesi gerekirdi.

Gerektirme işleminden sonra *birleştirme* işlemi yapılır. Birleştirme işleminde ise; tetiklenen kurallar; öncelikle işaret ettikleri üyelik derecesi çıktısına göre gruplanır. Buna göre 26, 27, 30 ve 31 numaralı kurallardan çıktı üyelik derecesi olarak "Çok Düşük", 46, 47, 50, 51 numaralı kurallardan ise çıktı üyelik derecesi olarak "Düşük" değeri dönmektedir. Buna göre bu kuralların iki ayrı grup olarak düşünülmesi gerekir. Eğer "Orta", "Yüksek" veya "Çok Yüksek" şeklinde çıktı döndüren başka tetiklenmiş kurallar olsaydı, bu kuralların da bu gruplara dahil edilmesi gerekirdi.

Bir sonraki aşamada; her bir kural için gerektirme işleminde üretilen sonuç değerlerinden; oluşturulan her bir grup için bir işlem veya formül doğrultusunda birleştirme işlemi yapılarak bir sonuç elde edilmesi sağlanır. Bu işlem, Mamdani Bulanık Modeli'nde MAKS operatörüdür. Buna göre;

- 1.grup; "Çok Düşük" üyelik derecesi çıktısını döndüren 26, 27, 30 ve 31.kuraldan oluşmaktadır. Gerektirme aşamasında MİN operatörü bu kurallardan sırasıyla 0.571, 0.428, 0.25 ve 0.25 sonuçlarını döndürmektedir. Birleştirme işleminde de MAKS operatörü ile bu değerlerin maksimumunun alınması sağlanır ve 1.gruptan 0.571 sonucu döner.
- 2.grup; "Düşük" üyelik derecesi çıktısını döndüren 46, 47, 50 ve 51.kuraldan oluşmaktadır.Gerektirme aşamasında MİN operatörü bu kurallardan sırasıyla 0.333, 0.333, 0.25 ve 0.25 sonuçlarını döndürmektedir. Birleştirme işleminde de MAKS operatörü ile bu değerlerin maksimumunun alınması sağlanır ve 2.gruptan 0.333 sonucu döner.

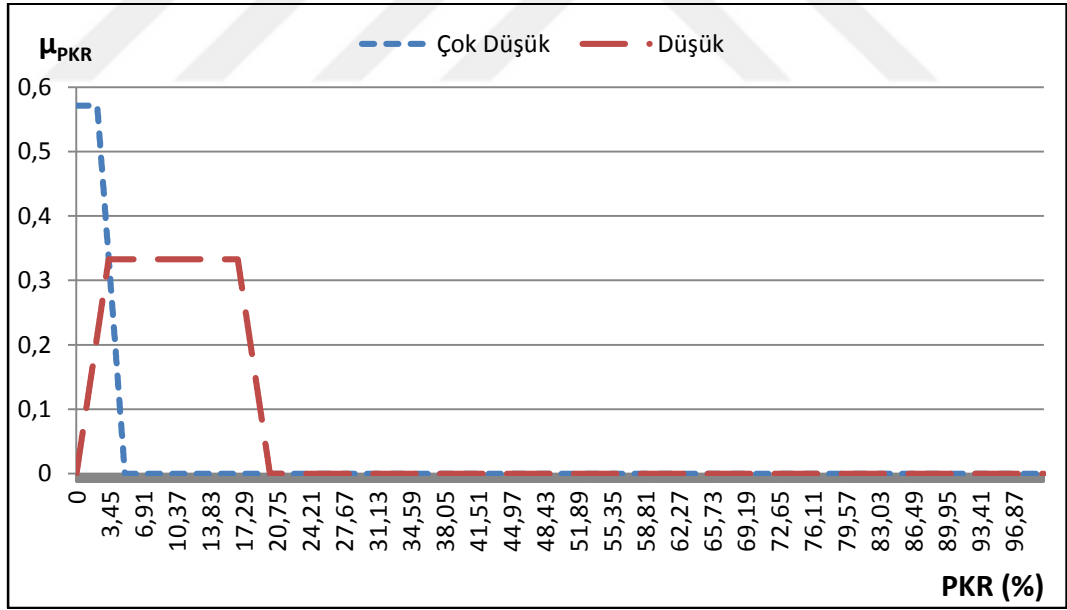
Mamdani Bulanık Çıkarımı'ndan durulaştırma aşamasında kullanılabilir bir sonuç döndürülmesi için bu kurallar grubundan bileşke bir grafik üretilmesi gerekmektedir. Bunun için Şekil 3.25 üzerinden gidilecektir.



Şekil 3.25. Mamdani Bulanık Çıkarımı'nın grafiksel anlamda uygulanması [43]

Şekil 3.25'te gösterilen şekilde grafiklerle ifade edilen K1 ve K2 kurallarının; daha önce verilen 26, 27, 30, 31 numaralı kuralların "Çok Düşük" üyelik derecesini döndürmesi örneğinde olduğu gibi; çıktı grafiğinde aynı üyelik derecesini etkilediği,

dolayısıyla tetiklenen kurallar içerisinde ortak üyelik derecesini döndüren bir kurallar grubu olduğu düşünülür. Bu kurallar grubu içerisinde; gerektirme aşamasında MİN operatörü kullanıldığı için her bir kural içerisinde en düşük üyelik derecesi değerini döndüren girdi değeri alınır. Kurallardan MİN operatörünün döndürdüğü değerlerden ise, birleştirme aşamasında MAKS operatörü ile en yüksek üyelik derecesi değeri alınır. Daha önce de belirtilen örnekte bu değer 1.grup için 0.571, 2.grup için 0.333 idi. Daha sonra her bir gruptan elde edilen değer yatay bir doğru olarak kullanılarak etkilediği üyelik derecesinin çıkış grafiği kesilir ve altta kalan grafik bileşke oluşturmak üzere ayrılır. Verilen örnekte çıkış grafikleri içinde Çok Düşük üyelik derecesi grafiği $y = 0.571$ doğrusu ile 1. grup için, Düşük üyelik derecesi grafiği $y = 0.333$ doğrusu ile 2. grup için kesilir ve ayrı birer grafik oluşturulmuş olur. Oluşturulan bu grafikler ise birleşim işlemi yapılarak bileşke haline getirilir. Verilen örnekteki bileşke haline getirilmiş grafik Şekil 3.26'da gösterilmiştir.



Şekil 3.26. Verilen örnekteki bulanık çıkarım işleminin grafiksel sonucu

Verilen örneğe göre; "Çok Düşük" sonucunu döndüren kurallar grubundan Şekil 3.26'daki mavi renkli grafik, "Düşük" sonucunu döndüren kurallar grubundan ise kırmızı renkli grafik dönmektedir. Bundan sonraki aşama, durulaştırma işleminin yapılarak keskin çıktılar elde edildiği aşamadır.

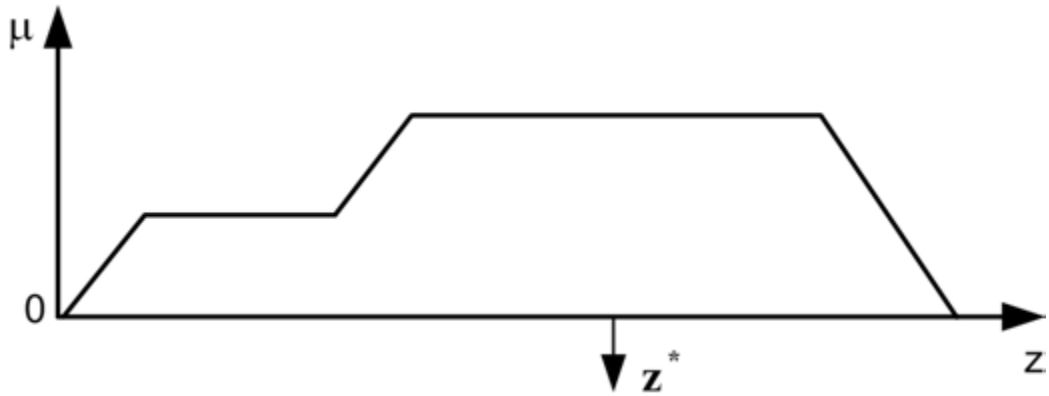
Durulaştırma

Bulanık ıkarım mekanizmasından bulanık olarak çıkış değerlerinin gönderildiği ve sonucunda keskin çıkışların elde edildiği mekanizmaya *durulaştırma* mekanizması denir. Durulaştırma mekanizması için kullanılan; ağırlık merkezi yöntemi (centroid), alan açıortayı yöntemi (bisector of area) gibi çeşitli yöntemler mevcuttur. Tez çalışmasında ise, en çok kullanılan yöntem olan ağırlık merkezi yöntemini kullanılacaktır.

Ağırlık merkezi yönteminin iki çeşidi bulunmaktadır:

1. Center of Largest Area (En Büyük Alanın Merkezi)
2. Center of Sums (Toplamların Merkezi)

En büyük alanın merkezi yöntemine göre; bulanık çıkarım mekanizmasından elde edilen grafiklerin alanları birleştirilerek Şekil 3.27'dekine benzer, birleşmiş tek bir grafik elde edilir ve elde edilen grafik üzerinde Denklem 3.8'de ifade edilen ağırlık merkezi formülü uygulanır.



Şekil 3.27. En büyük alanın merkezi yöntemiyle durulaştırmanın grafiksel gösterimi [44]

$$z^* = \frac{\int \mu(z).z.dz}{\int \mu(z).dz} \quad (3.8)$$

Denklem 3.8'deki formüle göre, birleştirilmiş grafiğin 0 harici değer verdiği alanların aralığı alınarak; o aralıktaki fonksiyon eşitliklerinin integralleri formülde yerine konur ve sonuç hesaplanmış olur.

Toplamların merkezi yöntemine göre ise; Şekil 3.26'dakine benzer şekilde bulanık çıkarım mekanizmasından elde edilen bulanık çıkış grafiklerinin alanları ayrı ayrı alınır. Alınan alanlar, kendi tepe noktaları ile çarpılarak toplanır ve elde edilen sonuç, bu alanların toplamına bölünür. Formülün genelleştirilmiş hali Denklem 3.9'da ve çarpım ve toplamlarla ifade edilen hali Denklem 3.10'dadır [45].

$$z^* = \frac{\int_z z \sum_{k=1}^n \mu(c_k).z.dz}{\int_z \sum_{k=1}^n \mu(c_k).z.dz} \quad (3.9)$$

$$x_{final} = \frac{(A_1 TPN(A_1) + A_2 TPN(A_2) + \dots + A_n TPN(A_n))}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (3.10)$$

Dipnot: Denklem 3.10'da TPN, tepe noktası anlamına gelmektedir.

Gösterilen iki yöntem de ağırlık merkezi yönteminin alt metotları olduğu için, hemen hemen aynı sonuçları vermektedir. MATLAB'da en büyük alanın merkezi yöntemi kullanılırken, yazılmış olan programda toplamaların merkezi yöntemi kullanılmıştır.

Örnek: Bir önceki bölümde anlatılan örnekte elde edilen sonuçlar buradaki toplamaların merkezi formülünde denirse;

$x_{final} = ((2.039 * 1.0725) + (10 * 5.551)) / (2.039 + 5.551) = 7.601$ değeri elde edilir.

Durulaştırma aşamasından sonra keskin çıktı değeri elde edilmiş olur. Daha sonra isteğe bağlı olarak, elde edilen keskin çıkış değerinin çıktı grafiğinde hangi değer ile hangi üyelik derecesine ait olduğu da tespit edilebilir.

3.2.2. Başarı Yüzdesi Hesaplama

Eğer bilimsel bir deney yapıldıysa ve sonuçların ne denli başarılı olduğu görülmek isteniyorsa; bunun için başarı yüzdesinin hesaplanmasına ihtiyaç duyulur. Başarı yüzdesinin hesaplanması için çeşitli formüller mevcuttur. Bilindiği üzere; bulanık mantık vb. yapay zeka yöntemlerinde gerçek veriler üzerinde tahmin işlemi yapılır. Gerçek veriler sisteme gönderilir ve elde edilen sonuç gerçek veri ile karşılaştırılarak sonuca varılır. Ve genel itibariyle kullanılan gerçek veriler; daha önce A ve B olmak üzere iki farklı sonuç elde etmeye dayalı verilerdir. Bir akciğer kanseri verisinde kişinin verilerinin hasta olmayı veya hasta olmamayı göstermesi [46]; ya da bir sığırın spermının verilerinden, o spermle döllenecek dişi bir sığırın cinsiyetinin dişi veya erkek olacağını tespit edilmesi buna örnek olarak verilebilir [47]. Yani kullanılan veriler olumlu-olumsuz, pozitif-negatif gibi iki farklı sonuçtan birini tahmin etmeye yönelik olmaktadır.

Yapılan deneylerden elde edilecek sonuçların iki farklı durumu işaret ettiği bu tarz durumlarda ise en çok kullanılan formüller; F ölçümü (F-measure), duyarlılık (sensitivity), özgüllük (specificity) ve doğruluk oranı (accuracy) formülleridir. Bu formülleri açıklanabilmesi için öncelikle True Positive (TP), True Negative (TN), False Positive (FP) ve False Negative (FN) kavramlarının bilinmesi gerekmektedir. Bu kavramlar şu şekilde açıklanabilir:

- **True Positive (TP):** Eğer gerçek veri sonucu pozitifse ve yapılan deneyin sonucu da pozitif çıkıyorsa, deney sonucu true positive olarak değerlendirilir.
- **True Negative (TN):** Eğer gerçek veri sonucu negatifse ve yapılan deneyin sonucu da negatif çıkıyorsa, deney sonucu true negative olarak değerlendirilir.
- **False Positive (FP):** Eğer gerçek veri sonucu negatifse, ancak yapılan deneyin sonucu pozitif çıkıyorsa, deney sonucu false positive olarak değerlendirilir.
- **False Negative (FN):** Eğer gerçek veri sonucu pozitifse, ancak yapılan deneyin sonucu negatif çıkıyorsa, deney sonucu false negative olarak değerlendirilir [48].

Ancak, tez çalışmasında sonuçların doğruluğu elde edilirken, yalnızca doğruluk oranı formülü kullanılabilmiştir. Bunun sebebi ise, tez çalışmasında kullanılan verilerin pozitif veya negatif gibi iki farklı sonuca işaret etmemesi; halihazırdaki orijinal verilerin kullanım amacının yalnızca deney sonucunun ne kadar doğru tahmin edildiği üzerine olmasıdır. Verilerin pozitif veya negatif sonuç elde etmeye yönelik bir durumu olmadığından dolayı, içerisinde TP, TN, FP ve FN değerlerini barındıran hiç bir formül kullanılamayacaktır. Ancak doğruluk oranı formülü burada istisna durumundadır. Çünkü doğruluk oranı formülü bu değerleri kullanmadan da hesaplanabilmektedir. İsbetliliğin tanımı ve formülü şu şekilde ifade edilir:

Doğruluk Oranı (Accuracy): Deneylede ne kadar doğru tahmin yapıldığının yüzdesini ifade eder. Bunun için Denklem 3.11 kullanılır [49].

$$\text{Doğruluk Oranı} = \frac{\text{Doğru tahminlerin sayısı}}{\text{Tüm sonuçların sayısı}} = \frac{TN+TP}{TN+TP+FN+FP} \quad (3.11)$$

Tez çalışmasında elde edilen sonuçların ne kadar başarılı olduğunun ölçütü olarak, doğruluk oranı kavramı haricinde gerçek sonuçlara ne kadar yaklaşıldığına yönelik bir hesaplama yapılmıştır. Bu hesaplamanın amacı, hem MATLAB Fuzzy Logic Toolbox'ın hem de tez kapsamında yazılan programın verdiği sonuçların gerçek deney sonuçlarına ne kadar yaklaştığını hesaplamak, iki programın verdiği sonuçları karşılaştırarak birbirlerine ne kadar yakın sonuç verdiklerini hesaplamak ve ortalama olarak hangi programın gerçeğe daha yakın sonuç verdiğini görmektir. Bunun için öncelikle gerçek deney sonuçları ile programlardan elde edilen sonuçların arasındaki farkın mutlak değeri alınmıştır. Bu sayede, programlardan elde edilen sonuçların gerçek deney sonucuna ne kadar yaklaştığı bulunmuştur. Daha sonra iki program için de bu değerlerin ortalaması alınarak, programların gerçek deney sonuçlarına ortalama olarak ne kadar yaklaştığı hesap edilmiştir.

Bu hesaplama ile beraber doğruluk oranı hesabı kullanılarak, 5. Bölümde hem başarı ölçülmüş, hem gerçek deney sonuçlarına ne kadar yaklaşıldığı görülmüş, hem de

kullanılan iki programdan elde edilen sonuçlar birbiriyle kıyaslanarak hangisinin daha başarılı olduğu gösterilmiştir.

4. BULANIK UZMAN SİSTEM TASARIMI

Daha önce de bahsedildiği üzere, bir bulanık uzman sistem; girdiler, çıktılar ve kural tabanını kullanır. Bu bölümde dizayn edilen sistemde kullanılan girdiler, çıktılar, bunların üyelik dereceleri için kullanılan fonksiyonlar, her bir üyelik derecesinin sonlu küme görünümü ve kural tabanı gösterilecektir. Daha sonra oluşturulan bulanık uzman sisteme bir giriş verisi gönderildiği zaman çıkış verisinin nasıl hesaplandığını daha net kavramak adına 3 adet örnek verilecektir. Kullanılan veriler; 300°K derecedeki $(n,m) = (19,0)$ değer ikilisine sahip olan zigzag KNT'lere aittir. Bulanık uzman sistem tasarlanırken ve sonuçların değerlendirilmesi aşamasında Dr. Öğr. Üyesi Necati VARDAR'ın yardımlarından yararlanılmıştır.

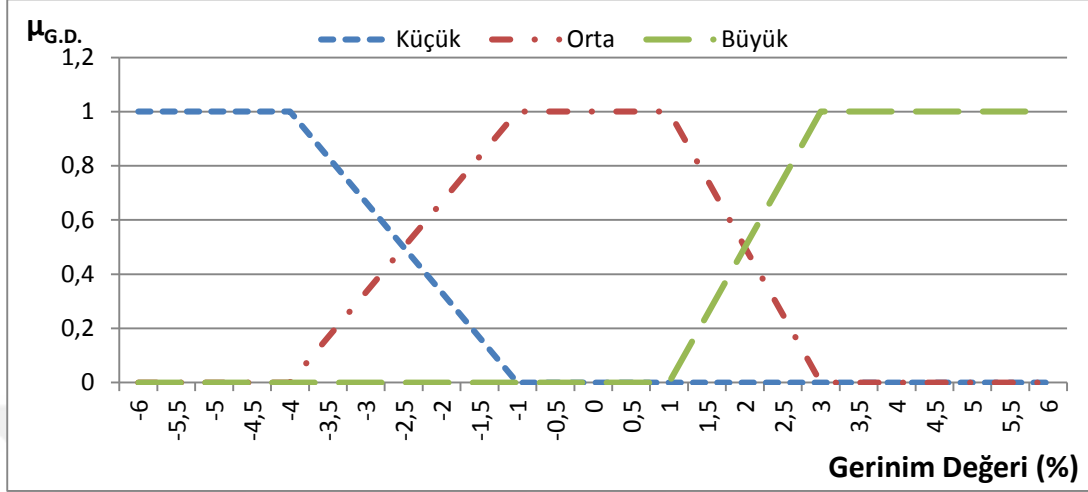
4.1. Girdiler

Oluşturulan bulanık uzman sistemde kullanılan girdilerin birimleri ile beraber değerlerinin sıfır olmadığı minimum ve maksimum değer aralıkları Çizelge 4.1'de gösterilmiş, daha sonra her bir girdinin verisi hakkında ayrıntılı bilgi, alt başlıklar halinde verilmiştir.

Çizelge 4.1. Girdilerin birimleri ve değer aralıkları

| Girdiler | Küçük (Düşük) | Orta (Orta) | Büyük (Yüksek) |
|--------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Gerinim Değeri (%) | [-6, -1] | [-4, +3] | [1,6] |
| Fermi Enerji Seviyesi (eV) | [3.71507, 3.72523] | [3.72107, 3.74243] | [3.7354, 3.75015] |
| Ortalama Enerji (eV/atom) | [-8.29303, -8.28043] | [-8.28961, -8.21797] | [-8.26233, -8.18319] |
| İtici Potansiyel (eV) | [21.86795, 23.90682] | [22.69333, 25.79223] | [24.68053, 26.28593] |
| Elektronik Bant Yapısı Enerjisi (eV) | [-34.54268, -33.37999] | [-34.09333, -31.39827] | [-32.86085, -30.08992] |

4.1.1. Gerinim Değeri



Şekil 4.1. Gerinim Değeri Bulanık Kümelerinin Grafikleri

Gerinim değeri girdisinin grafikleri Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere küçük, orta ve büyük olmak üzere üç adet üyelik derecesi vardır. Bu üyelik derecelerinin grafik çiziminde kullanılan fonksiyonlar, 4.1 - 4.3 denklemleri ile gösterilmiştir.

$$\mu_{Küçük}(x) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } x < -4 \\ (-1 - x) / 3, & \text{eğer } -4 \leq x \leq -1 \\ 0, & \text{eğer } -1 < x \end{cases} \quad (4.1)$$

$$\mu_{Orta}(x) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } x < -4 \\ (x + 4) / 3, & \text{eğer } -4 \leq x \leq -1 \\ 1, & \text{eğer } -1 < x < 1 \\ (3 - x) / 2, & \text{eğer } 1 \leq x \leq 3 \\ 0, & \text{eğer } 3 < x \end{cases} \quad (4.2)$$

$$\mu_{Büyük}(x) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } x < 1 \\ (x - 1) / 2, & \text{eğer } 1 \leq x \leq 3 \\ 1, & \text{eğer } 3 < x \end{cases} \quad (4.3)$$

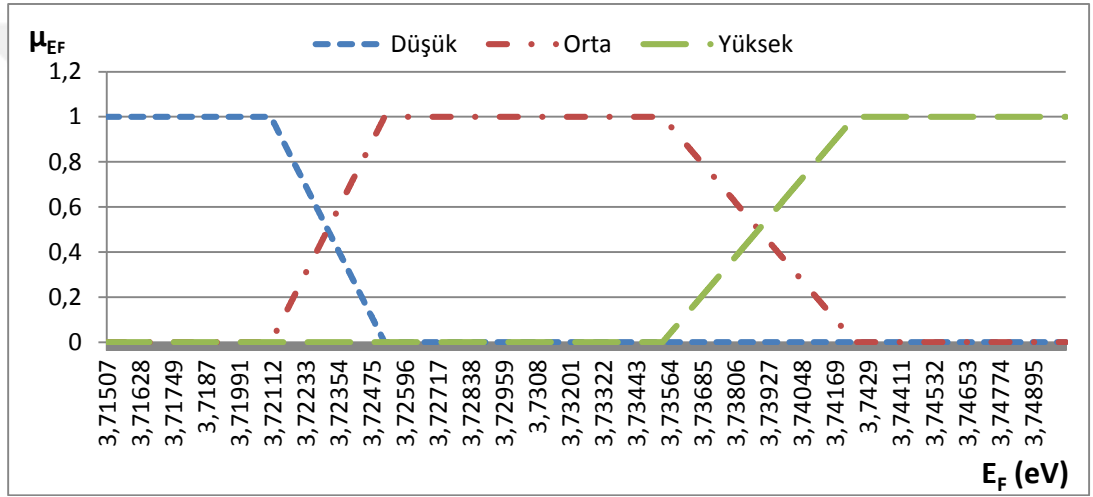
Gerinim değeri üyelik derecelerinin sonlu küme gösterimleri ise şu şekildedir:

$$\mu_{Küçük} = \{ 1/(-6) + 1/(-5.5) + 1/(-5) + 1/(-4.5) + 1/(-4) + 0.833/(-3.5) + 0.666/(-3) + 0.5/(-2.5) + 0.333/(-2) + 0.166/(-1.5) + 0/(-1) + 0/(-0.5) \}$$

$$\mu_{Orta} = \{ 0/(-4) + 0.166/(-3.5) + 0.333/(-3) + 0.5/(-2.5) + 0.666/(-2) + 0.833/(-1.5) + 1/(-1) + 1/(-0.5) + 1/0 + 1/0.5 + 1/1 + 0.75/1.5 + 0.5/2 + 0.25/2.5 + 0/3 + 0/3.5 \}$$

$$\mu_{Büyük} = \{ 0/1 + 0.25/1.5 + 0.5/2 + 0.75/2.5 + 1/3 + 1/3.5 + 1/4 + 1/4.5 + 1/5 + 1/5.5 + 1/6 \}$$

4.1.2. Fermi Enerji Seviyesi



Şekil 4.2. Fermi Enerji Seviyesi Bulanık Kümelerinin Grafikleri

Fermi enerji seviyesi girdisinin grafikleri Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç adet üyelik derecesi vardır. Bu üyelik derecelerinin grafik çiziminde kullanılan fonksiyonlar, 4.4 - 4.6 denklemleri ile gösterilmiştir.

$$\mu_{Düşük}(x) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } x < 3.72107 \\ (3.72523 - x)/0.00416, & \text{eğer } 3.72107 \leq x \leq 3.72523 \\ 0, & \text{eğer } 3.72523 < x \end{cases} \quad (4.4)$$

$$\mu_{Orta}(x) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } x < 3.72107 \\ (x - 3.72107)/0.00416, & \text{eğer } 3.72107 \leq x \leq 3.72523 \\ 1, & \text{eğer } 3.72523 < x < 3.73540 \\ (3.74243 - x)/0.00703, & \text{eğer } 3.73540 \leq x \leq 3.74243 \\ 0, & \text{eğer } 3.74243 < x \end{cases} \quad (4.5)$$

$$\mu_{Yüksek}(x) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } x < 3.73540 \\ (x - 3.73540)/0,00703, & \text{eğer } 3.73540 \leq x \leq 3.74243 \\ 1, & \text{eğer } 3.74243 < x \end{cases} \quad (4.6)$$

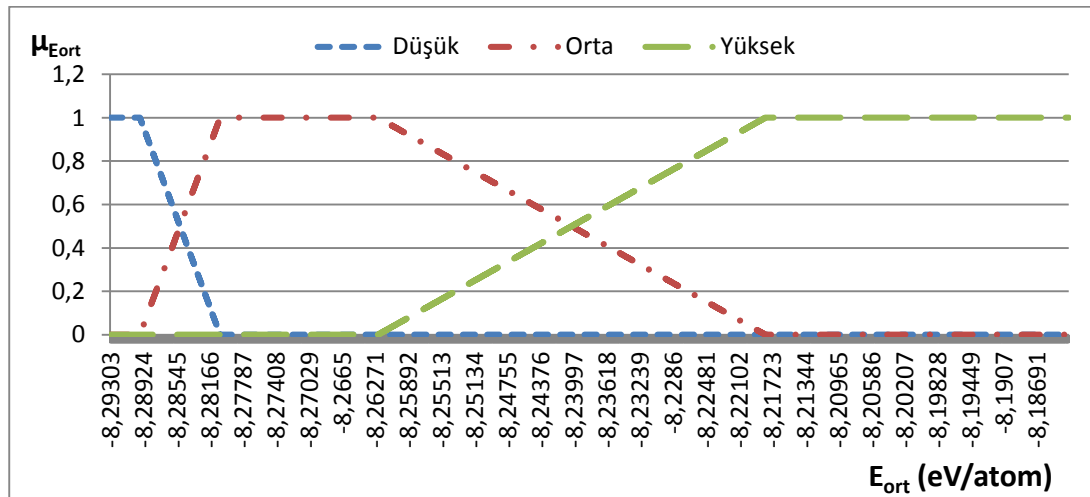
Fermi enerji seviyesi üyelik derecelerinin sonlu küme gösterimleri ise şu şekildedir:

$$\mu_{Düşük} = \{ 1/3.71507 + 1/3.72 + 1/3.72107 + 0.5/3.72315 + 0/3.72523 + 0/3.73 + 0/3.735 + 0/3.73540 + 0/3.738915 + 0/3.74 + 0/3.74243 + 0/3.745 + 0/3.75 + 0/3.75015 \}$$

$$\mu_{Orta} = \{ 0/3.71507 + 0/3.72 + 0/3.72107 + 0.5/3.72315 + 1/3.72523 + 1/3.73 + 0/3.735 + 1/3.73540 + 0.5/3.738915 + 0.345/3.74 + 0/3.74243 + 0/3.745 + 0/3.75 + 0/3.75015 \}$$

$$\mu_{Yüksek} = \{ 0/3.71507 + 0/3.72 + 0/3.72107 + 0/3.72315 + 0/3.72523 + 0/3.73 + 0/3.735 + 0/3.73540 + 0.5/3.738915 + 0.655/3.74 + 1/3.74243 + 1/3.745 + 1/3.75 + 1/3.75015 \}$$

4.1.3. Ortalama Enerji



Şekil 4.3. Ortalama Enerji Bulanık Kümelerinin Grafikleri

Ortalama enerji girdisinin grafikleri Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç adet üyelik derecesi vardır. Bu üyelik

derecelerinin grafik çiziminde kullanılan fonksiyonlar, 4.7 - 4.9 denklemleri ile gösterilmiştir.

$$\mu_{Düşük}(x) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } x < -8.28961 \\ (-8.28043 - x)/0.00918, & \text{eğer } -8.28961 \leq x \leq -8.28043 \\ 0, & \text{eğer } -8.28043 < x \end{cases} \quad (4.7)$$

$$\mu_{Orta}(x) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } x < -8.28961 \\ (x + 8.28961)/0.00918, & \text{eğer } -8.28961 \leq x \leq -8.28043 \\ 1, & \text{eğer } -8.28043 < x < -8.26233 \\ (-8.21797 - x)/0.04436, & \text{eğer } -8.26233 \leq x \leq -8.21797 \\ 0, & \text{eğer } -8.21797 < x \end{cases} \quad (4.8)$$

$$\mu_{Yüksek}(x) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } x < -8.26233 \\ (x + 8.26233)/0.04436, & \text{eğer } -8.26233 \leq x \leq -8.21797 \\ 1, & \text{eğer } -8.21797 < x \end{cases} \quad (4.9)$$

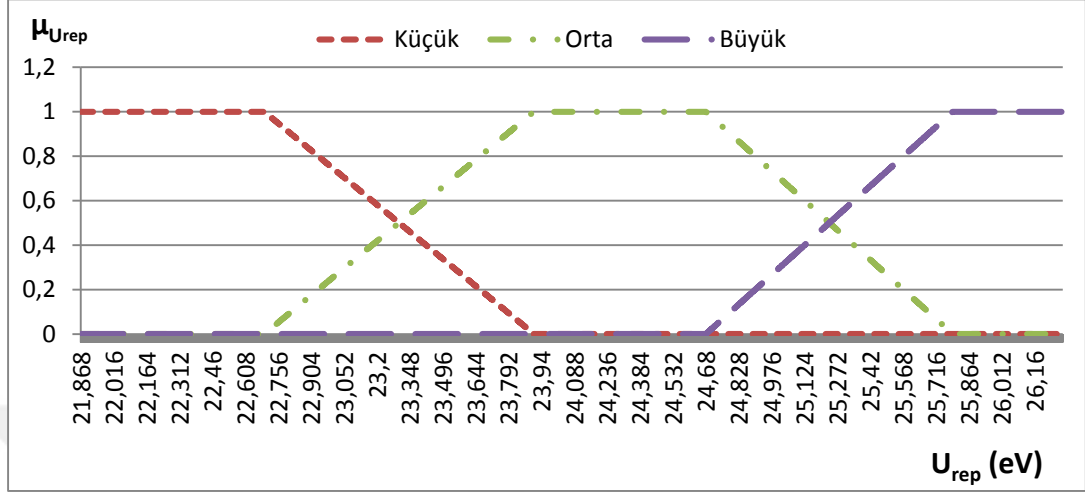
Ortalama enerji üyelik derecelerinin sonlu küme gösterimleri ise şu şekildedir:

$$\mu_{Düşük} = \{ 1/(-8.29303) + 1/(-8.29) + 1/(-8.28961) + 0.5/(-8.28502) + 0/(-8.28043) + 0/(-8.28) + 0/(-8.27) + 0/(-8.26233) + 0/(-8.26) + 0/(-8.25) + 0/(-8.24015) + 0/(-8.24) + 0/(-8.23) + 0/(-8.22) + 0/(-8.21797) + 0/(-8.21) + 0/(-8.2) + 0/(-8.19) + 0/(-8.18319) \}$$

$$\mu_{Orta} = \{ 0/(-8.29303) + 0/(-8.29) + 0/(-8.28961) + 0.5/(-8.28502) + 1/(-8.28043) + 1/(-8.28) + 1/(-8.27) + 1/(-8.26233) + 0.947/(-8.26) + 0.722/(-8.25) + 0.5/(-8.24015) + 0.496/(-8.24) + 0.271/(-8.23) + 0.045/(-8.22) + 0/(-8.21797) + 0/(-8.21) + 0/(-8.2) + 0/(-8.19) + 0/(-8.18319) \}$$

$$\mu_{Yüksek} = \{ 0/(-8.29303) + 0/(-8.29) + 0/(-8.28961) + 0/(-8.28502) + 0/(-8.28043) + 0/(-8.28) + 0/(-8.27) + 0/(-8.26233) + 0.053/(-8.26) + 0.278/(-8.25) + 0.5/(-8.24015) + 0.504/(-8.24) + 0.729/(-8.23) + 0.955/(-8.22) + 1/(-8.21797) + 1/(-8.21) + 1/(-8.2) + 1/(-8.19) + 1/(-8.18319) \}$$

4.1.4. İtici Potansiyel



Şekil 4.4. İtici Potansiyel Bulanık Kümelerinin Grafikleri

İtici potansiyel girdisinin grafikleri Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere küçük, orta ve büyük olmak üzere üç adet üyelik derecesi vardır. Bu üyelik derecelerinin grafik çiziminde kullanılan fonksiyonlar, 4.10 - 4.12 denklemleri ile gösterilmiştir.

$$\mu_{Küçük}(x) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } x < 22.69333 \\ (23.90682 - x)/1.21349, & \text{eğer } 22.69333 \leq x \leq 23.90682 \\ 0, & \text{eğer } 23.90682 < x \end{cases} \quad (4.10)$$

$$\mu_{Orta}(x) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } x < 22.69333 \\ (x - 22.69333)/1.21349, & \text{eğer } 22.69333 \leq x \leq 23.90682 \\ 1, & \text{eğer } 23.90682 < x < 24.68053 \\ (25.79223 - x)/1.1117, & \text{eğer } 24.68053 \leq x \leq 25.79223 \\ 0, & \text{eğer } 25.79223 < x \end{cases} \quad (4.11)$$

$$\mu_{Büyük}(x) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } x < 24.68053 \\ (x - 24.68053)/1.1117, & \text{eğer } 24.68053 \leq x \leq 25.79223 \\ 1, & \text{eğer } 25.79223 < x \end{cases} \quad (4.12)$$

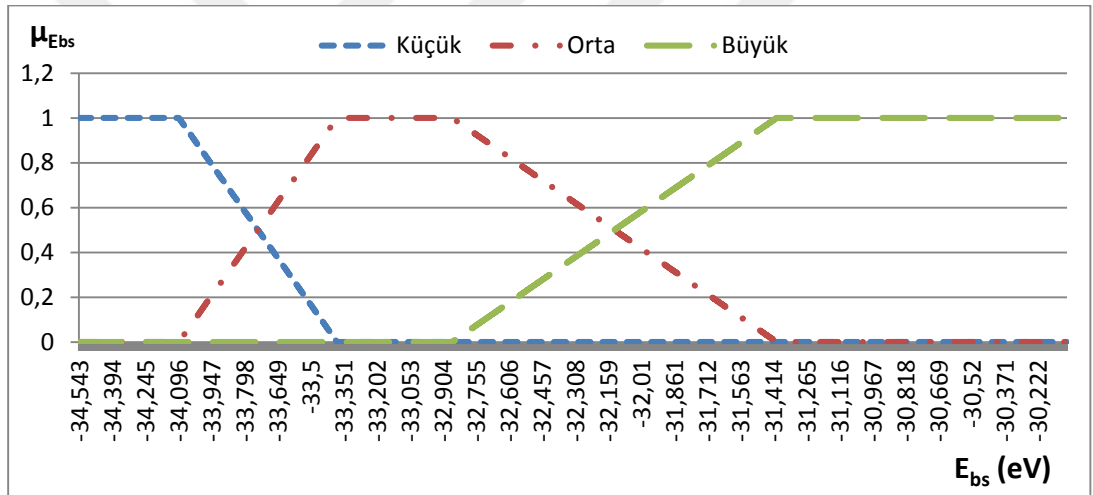
Ortalama enerji üyelik derecelerinin sonlu küme gösterimleri ise şu şekildedir:

$$\mu_{Küçük} = \{ 1/21.86795 + 1/22 + 1/22.5 + 1/22.69333 + 0.747/23 + 0.5/23.300075 + 0.335/23.5 + 0/23.90682 + 0/24 + 0/24.5 + 0/24.68053 + 0/25 + 0/25.23638 + 0/25.5 + 0/25.79223 + 0/26 + 0/26.28593 \}$$

$$\mu_{Orta} = \{ 0/21.86795 + 0/22 + 0/22.5 + 0/22.69333 + 0.253/23 + 0.5/23.300075 + 0.665/23.5 + 1/23.90682 + 1/24 + 1/24.5 + 1/24.68053 + 0.712/25 + 0.5/25.23638 + 0.262/25.5 + 0/25.79223 + 0/26 + 0/26.28593 \}$$

$$\mu_{Büyük} = \{ 0/21.86795 + 0/22 + 0/22.5 + 0/22.69333 + 0/23 + 0/23.300075 + 0/23.5 + 0/23.90682 + 0/24 + 0/24.5 + 0/24.68053 + 0.288/25 + 0.5/25.23638 + 0.738/25.5 + 1/25.79223 + 1/26 + 1/26.28593 \}$$

4.1.5. Elektronik Bant Yapısı Enerjisi



Şekil 4.5. Elektronik Bant Yapısı Enerjisi Bulanık Kümelerinin Grafikleri

Elektronik bant yapısı enerjisi girdisinin grafikleri Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere küçük, orta ve büyük olmak üzere üç adet üyelik derecesi vardır. Bu üyelik derecelerinin grafik çiziminde kullanılan fonksiyonlar, 4.13 - 4.15 denklemleri ile gösterilmiştir.

$$\mu_{Küçük}(x) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } x < -34.09333 \\ (-33.37999 - x)/0.71334, & \text{eğer } -34.09333 \leq x \leq -33.37999 \\ 0, & \text{eğer } -33.37999 < x \end{cases} \quad (4.13)$$

$$\mu_{Orta}(x) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } x < -34.09333 \\ (x + 34.09333)/0.71334, & \text{eğer } -34.09333 \leq x \leq -33.37999 \\ 1, & \text{eğer } -33.37999 < x < -32.86085 \\ (-31.39827 - x)/1.46258, & \text{eğer } -32.86085 \leq x \leq -31.39827 \\ 0, & \text{eğer } -31.39827 < x \end{cases} \quad (4.14)$$

$$\mu_{B\ddot{u}y\ddot{u}k}(x) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } x < -32.86085 \\ (x + 32.86085)/1.46258, & \text{eğer } -32.86085 \leq x \leq -31.39827 \\ 1, & \text{eğer } -31.39827 < x \end{cases} \quad (4.15)$$

Elektronik bant yapısı enerjisi üyelik derecelerinin sonlu küme gösterimleri ise şu şekildedir:

$$\mu_{K\ddot{u}ç\ddot{u}k} = \{ 1/(-34.54268) + 1/(-34.5) + 1/(-34.09333) + 0.869/(-34) + 0.5/(-33.73666) + 0.168/(-33.5) + 0/(-33.37999) + 0/(-33) + 0/(-32.86085) + 0/(-32.5) + 0/(-32.12956) + 0/(-32) + 0/(-31.5) + 0/(-31.39827) + 0/(-31) + 0/(-30.5) + 0/(-30.08992) \}$$

$$\mu_{Orta} = \{ 0/(-34.54268) + 0/(-34.5) + 0/(-34.09333) + 0.131/(-34) + 0.5/(-33.73666) + 0.832/(-33.5) + 1/(-33.37999) + 1/(-33) + 1/(-32.86085) + 0.753/(-32.5) + 0.5/(-32.12956) + 0.411/(-32) + 0.069/(-31.5) + 0/(-31.39827) + 0/(-31) + 0/(-30.5) + 0/(-30.08992) \}$$

$$\mu_{B\ddot{u}y\ddot{u}k} = \{ 0/(-34.54268) + 0/(-34.5) + 0/(-34.09333) + 0/(-34) + 0/(-33.73666) + 0/(-33.5) + 0/(-33.37999) + 0/(-33) + 0/(-32.86085) + 0.247/(-32.5) + 0.5/(-32.12956) + 0.589/(-32) + 0.931/(-31.5) + 1/(-31.39827) + 1/(-31) + 1/(-30.5) + 1/(-30.08992) \}$$

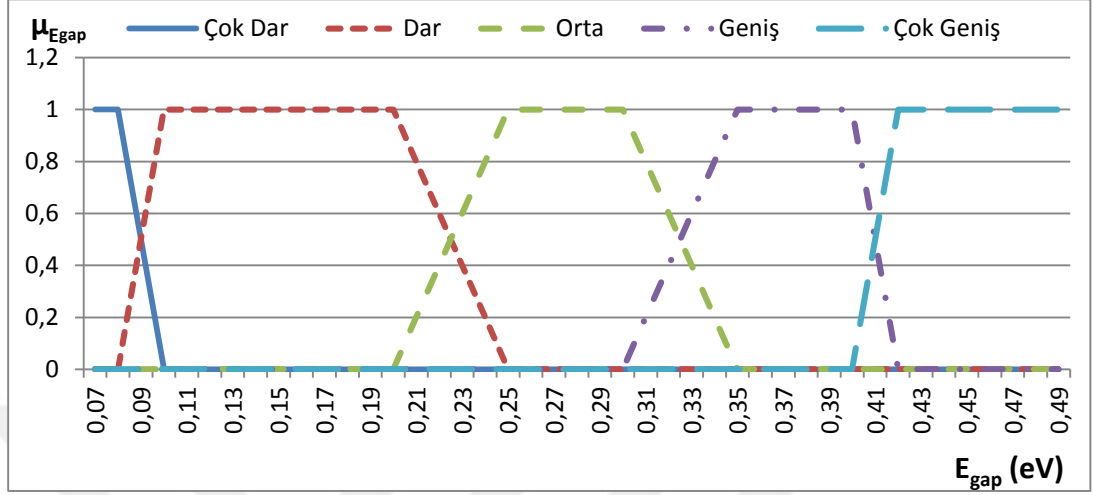
4.2. Çıktılar

Oluşturulan bulanık uzman sistemde kullanılan girdilerin birimleri ile beraber değerlerinin sıfır olmadığı minimum ve maksimum değer aralıkları Çizelge 4.2'de gösterilmiş, daha sonra her bir girdinin verisi hakkında ayrıntılı bilgi, alt başlıklar halinde verilmiştir.

Çizelge 4.2. Çıktıların birimleri ve değer aralıkları

| Çıktı(lar) | |
|------------------|--------------------------|
| Bulanık Kümeler | Enerji Bant Aralığı (eV) |
| Çok Dar | [0.07, 0.1] |
| Dar | [0.08, 0.25] |
| Orta | [0.2, 0.35] |
| Geniş | [0.3, 0.42] |
| Çok Geniş | [0.4, 0.49] |

4.2.1. Enerji Bant Aralığı



Şekil 4.6. Enerji Bant Aralığı Bulanık Kümelerinin Grafikleri

Enerji bant aralığı çıktısının grafikleri Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere çok dar, dar, orta, geniş ve çok geniş olmak üzere beş adet bulanık küme vardır. Bu üyelik derecelerinin grafik çiziminde kullanılan fonksiyonlar, 4.16 - 4.20 denklemleri ile gösterilmiştir.

$$\mu_{\text{Çok Dar}}(x) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } x < 0,08 \\ (0,1 - x)/0,02, & \text{eğer } 0,08 \leq x \leq 0,1 \\ 0, & \text{eğer } x > 0,1 \end{cases} \quad (4.16)$$

$$\mu_{\text{Dar}}(x) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } x < 0,08 \\ (x - 0,08)/0,02, & \text{eğer } 0,08 \leq x \leq 0,1 \\ 1, & \text{eğer } 0,1 < x < 0,2 \\ (0,25 - x)/0,05, & \text{eğer } 0,2 \leq x \leq 0,25 \\ 0, & \text{eğer } x > 0,25 \end{cases} \quad (4.17)$$

$$\mu_{\text{Orta}}(x) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } x < 0,2 \\ (x - 0,2)/0,05, & \text{eğer } 0,2 \leq x \leq 0,25 \\ 1, & \text{eğer } 0,25 < x < 0,3 \\ (0,35 - x)/0,05, & \text{eğer } 0,3 \leq x \leq 0,35 \\ 0, & \text{eğer } x > 0,35 \end{cases} \quad (4.18)$$

$$\mu_{\text{Geniş}}(x) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } x < 0,3 \\ (x - 0,3)/0,05, & \text{eğer } 0,3 \leq x \leq 0,35 \\ 1, & \text{eğer } 0,35 < x < 0,4 \\ (0,42 - x)/0,02, & \text{eğer } 0,4 \leq x \leq 0,42 \\ 0, & \text{eğer } x > 0,42 \end{cases} \quad (4.19)$$

$$\mu_{\text{Çok Geniş}}(x) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } x < 0.4 \\ (x - 0.4)/0.02, & \text{eğer } 0.4 \leq x \leq 0.42 \\ 1, & \text{eğer } x > 0.42 \end{cases} \quad (4.20)$$

Enerji bant aralığı üyelik derecelerinin sonlu küme gösterimleri ise şu şekildedir:

$$\mu_{\text{Çok Dar}} = \{ 1/0.07 + 1/0.08 + 0.5/0.09 + 0/0.1 + 0/0.11 + 0/0.12 + 0/0.13 + 0/0.14 + 0/0.15 + 0/0.16 + 0/0.17 + 0/0.18 + 0/0.19 + 0/0.2 + 0/0.21 + 0/0.22 + 0/0.225 + 0/0.23 + 0/0.24 + 0/0.25 + 0/0.26 + 0/0.27 + 0/0.28 + 0/0.29 + 0/0.3 + 0/0.31 + 0/0.32 + 0/0.325 + 0/0.33 + 0/0.34 + 0/0.35 + 0/0.36 + 0/0.37 + 0/0.38 + 0/0.39 + 0/0.4 + 0/0.41 + 0/0.42 + 0/0.43 + 0/0.44 + 0/0.45 + 0/0.46 + 0/0.47 + 0/0.48 + 0/0.49 \}$$

$$\mu_{\text{Dar}} = \{ 0/0.07 + 0/0.08 + 0.5/0.09 + 1/0.1 + 1/0.11 + 1/0.12 + 1/0.13 + 1/0.14 + 1/0.15 + 1/0.16 + 1/0.17 + 1/0.18 + 1/0.19 + 1/0.2 + 0.8/0.21 + 0.6/0.22 + 0.5/0.225 + 0.4/0.23 + 0.2/0.24 + 0/0.25 + 0/0.26 + 0/0.27 + 0/0.28 + 0/0.29 + 0/0.3 + 0/0.31 + 0/0.32 + 0/0.325 + 0/0.33 + 0/0.34 + 0/0.35 + 0/0.36 + 0/0.37 + 0/0.38 + 0/0.39 + 0/0.4 + 0/0.41 + 0/0.42 + 0/0.43 + 0/0.44 + 0/0.45 + 0/0.46 + 0/0.47 + 0/0.48 + 0/0.49 \}$$

$$\mu_{\text{Orta}} = \{ 0/0.07 + 0/0.08 + 0/0.09 + 0/0.1 + 0/0.11 + 0/0.12 + 0/0.13 + 0/0.14 + 0/0.15 + 0/0.16 + 0/0.17 + 0/0.18 + 0/0.19 + 0/0.2 + 0.2/0.21 + 0.4/0.22 + 0.5/0.225 + 0.6/0.23 + 0.8/0.24 + 1/0.25 + 1/0.26 + 1/0.27 + 1/0.28 + 1/0.29 + 1/0.3 + 0.8/0.31 + 0.6/0.32 + 0.5/0.325 + 0.4/0.33 + 0.2/0.34 + 0/0.35 + 0/0.36 + 0/0.37 + 0/0.38 + 0/0.39 + 0/0.4 + 0/0.41 + 0/0.42 + 0/0.43 + 0/0.44 + 0/0.45 + 0/0.46 + 0/0.47 + 0/0.48 + 0/0.49 \}$$

$$\mu_{\text{Geniş}} = \{ 0/0.07 + 0/0.08 + 0/0.09 + 0/0.1 + 0/0.11 + 0/0.12 + 0/0.13 + 0/0.14 + 0/0.15 + 0/0.16 + 0/0.17 + 0/0.18 + 0/0.19 + 0/0.2 + 0/0.21 + 0/0.22 + 0/0.225 + 0/0.23 + 0/0.24 + 0/0.25 + 0/0.26 + 0/0.27 + 0/0.28 + 0/0.29 + 0/0.3 + 0.2/0.31 + 0.4/0.32 + 0.5/0.325 + 0.6/0.33 + 0.8/0.34 + 1/0.35 + 1/0.36 + 1/0.37 + 1/0.38 + 1/0.39 + 1/0.4 + 0.5/0.41 + 0/0.42 + 0/0.43 + 0/0.44 + 0/0.45 + 0/0.46 + 0/0.47 + 0/0.48 + 0/0.49 \}$$

$$\mu_{\text{Çok Geniş}} = \{ 0/0.07 + 0/0.08 + 0/0.09 + 0/0.1 + 0/0.11 + 0/0.12 + 0/0.13 + 0/0.14 + 0/0.15 + 0/0.16 + 0/0.17 + 0/0.18 + 0/0.19 + 0/0.2 + 0/0.21 + 0/0.22 + 0/0.225 + 0/0.23 + 0/0.24 + 0/0.25 + 0/0.26 + 0/0.27 + 0/0.28 + 0/0.29 + 0/0.3 + 0/0.31 + 0/0.32 + 0/0.325 + 0/0.33 + 0/0.34 + 0/0.35 + 0/0.36 + 0/0.37 + 0/0.38 + 0/0.39 + 0/0.4 + 0.5/0.41 + 1/0.42 + 1/0.43 + 1/0.44 + 1/0.45 + 1/0.46 + 1/0.47 + 1/0.48 + 1/0.49 \}$$

4.3. Kural Tablosu

Oluşturulan bulanık uzman sistemde 5 girdinin her biri 3'er adet bulanık küme ile temsil edildiğinden dolayı, sistemin kural tablosunda $3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 = 243$ kural bulunacaktır. Bu kuralların bazıları Çizelge 4.3'te yer almaktadır. Kurallar oluşturulurken uzman olarak Dr. Öğr. Üyesi Necati VARDAR'ın görüşlerine başvurulmuştur.

Çizelge 4.3. Bazı kural tablosu satırları

| # | G.D. | E _F | E _{ort} | U _{rep} | E _{bs} | E _{gap} |
|-----|-------|----------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|
| 1 | Küçük | Düşük | Düşük | Küçük | Küçük | Çok Dar |
| 2 | Küçük | Düşük | Düşük | Küçük | Orta | Çok Dar |
| 3 | Küçük | Düşük | Düşük | Küçük | Büyük | Çok Dar |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 28 | Küçük | Orta | Düşük | Küçük | Küçük | Çok Dar |
| 29 | Küçük | Orta | Düşük | Küçük | Orta | Çok Dar |
| 30 | Küçük | Orta | Düşük | Küçük | Büyük | Çok Dar |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 55 | Küçük | Yüksek | Düşük | Küçük | Küçük | Çok Dar |
| 56 | Küçük | Yüksek | Düşük | Küçük | Orta | Çok Dar |
| 57 | Küçük | Yüksek | Düşük | Küçük | Büyük | Çok Dar |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 82 | Orta | Düşük | Düşük | Küçük | Küçük | Orta |
| 83 | Orta | Düşük | Düşük | Küçük | Orta | Orta |
| 84 | Orta | Düşük | Düşük | Küçük | Büyük | Orta |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 109 | Orta | Orta | Düşük | Küçük | Küçük | Çok Dar |
| 110 | Orta | Orta | Düşük | Küçük | Orta | Çok Dar |
| 111 | Orta | Orta | Düşük | Küçük | Büyük | Çok Dar |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

| | | | | | | |
|-----|-------|--------|--------|-------|-------|-----------|
| 136 | Orta | Yüksek | Düşük | Küçük | Küçük | Orta |
| 137 | Orta | Yüksek | Düşük | Küçük | Orta | Orta |
| 138 | Orta | Yüksek | Düşük | Küçük | Büyük | Orta |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 163 | Büyük | Düşük | Düşük | Küçük | Küçük | Çok Dar |
| 164 | Büyük | Düşük | Düşük | Küçük | Orta | Çok Dar |
| 165 | Büyük | Düşük | Düşük | Küçük | Büyük | Çok Dar |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 190 | Büyük | Orta | Düşük | Küçük | Küçük | Geniş |
| 191 | Büyük | Orta | Düşük | Küçük | Orta | Geniş |
| 192 | Büyük | Orta | Düşük | Küçük | Büyük | Geniş |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 217 | Büyük | Yüksek | Düşük | Küçük | Küçük | Dar |
| 218 | Büyük | Yüksek | Düşük | Küçük | Orta | Dar |
| 219 | Büyük | Yüksek | Düşük | Küçük | Büyük | Dar |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 241 | Büyük | Yüksek | Yüksek | Büyük | Küçük | Çok Geniş |
| 242 | Büyük | Yüksek | Yüksek | Büyük | Orta | Çok Geniş |
| 243 | Büyük | Yüksek | Yüksek | Büyük | Büyük | Çok Geniş |

4.4. Örnekler

Tasarlanmış olan BUS'un doğru çalışıp çalışmadığını denetlemek için eldeki gerçek deney sonuçları MATLAB Fuzzy Logic Toolbox ve Fuzzy Logic Generator programında denenmiş ve bu iki programdan elde edilen sonuçlar gerçek deney sonuçları ile kıyaslanmıştır. Bu bölümde bununla ilgili birkaç örnek gösterilmektedir.

4.4.1. Örnek-1

G.D. : %3, E_F : 3.72523 eV, E_{ort} : -8.25669 eV/atom, U_{rep} : 23.1028 eV, E_{bs} : -31.39827 eV

- G.D. : %3 iken, $\mu_{G.D.}$ = 1-Büyük üyelik derecesine sahiptir.
- E_F : 3.72523 eV iken, μ_{E_F} = 1-Orta üyelik derecesine sahiptir.
- E_{ort} : -8.25669 eV/atom iken, $\mu_{E_{ort}}$ = 0.873-Orta ve 0.127-Yüksek üyelik derecesine sahiptir.

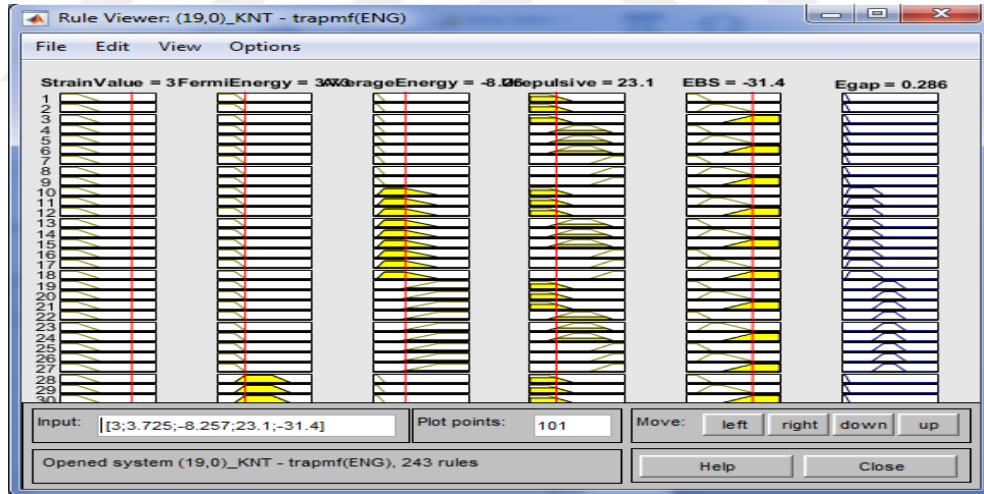
- U_{rep} : 23.1028 eV iken, $\mu_{U_{rep}} = 0.663$ -Küçük ve 0.337-Orta üyelik derecesine sahiptir.
- E_{bs} : -31.39827 eV iken, $\mu_{E_{bs}} = 1$ -Büyük üyelik derecesine sahiptir.

Bu koşullar altında, kural tablosundan $1 \times 1 \times 2 \times 2 \times 1 = 4$ kural tetiklenir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Örnek-1 için tetiklenen kurallar

| # | G.D. | E_F | E_{ort} | U_{rep} | E_{bs} | E_{gap} |
|-----|-------|-------|-----------|-----------|----------|-----------|
| 201 | Büyük | Orta | Orta | Küçük | Büyük | Orta |
| 204 | Büyük | Orta | Orta | Orta | Büyük | Orta |
| 210 | Büyük | Orta | Yüksek | Yüksek | Büyük | Geniş |
| 213 | Büyük | Orta | Yüksek | Orta | Büyük | Geniş |

Ve sonuç; MATLAB Fuzzy Logic Toolbox'a göre, 0.286 eV olarak elde edilir. Gerçek deney sonucu 0.49 eV'dur. MATLAB Fuzzy Logic Toolbox için elde edilen sonuç görüntüsü, Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

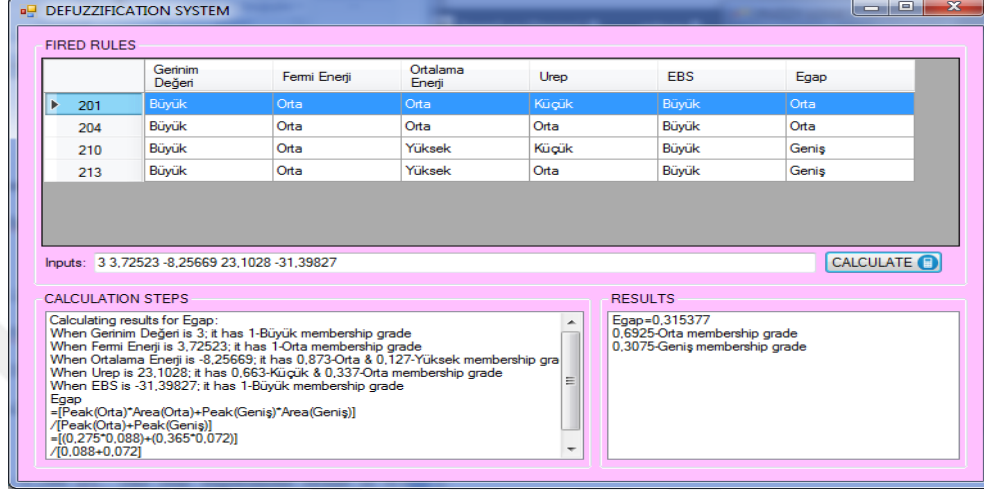


Şekil 4.7. Örnek-1 için MATLAB Fuzzy Logic Toolbox sonuç görüntüsü

Fuzzy Logic Generator için elde edilen sonuç:

$$E_{gap} = \frac{[TPN(Orta) * Alan(Orta) + TPN(Geniş) * Alan(Geniş)]}{[TPN(Orta) + Alan(Geniş)]} = \frac{[(0.275 * 0.088) + (0.375 * 0.072)]}{(0.088 + 0.072)} = 0.315377 \text{ eV}$$

Bu değer, enerji bant aralığı için çıktı grafiklerinde 0.6925-Orta ve 0.3075-Geniş üyelik derecesine işaret eder. Fuzzy Logic Generator için elde edilen sonuç görüntüsü Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Tasarlanmış olan BUS'un Örnek-1 için sonuç görüntüsü

4.4.2. Örnek-2

G.D. : %-2, E_F : 3.71731 eV, E_{ort} : -8.28961 eV/atom, U_{rep} : 25.0516 eV, E_{bs} : -33.37999 eV

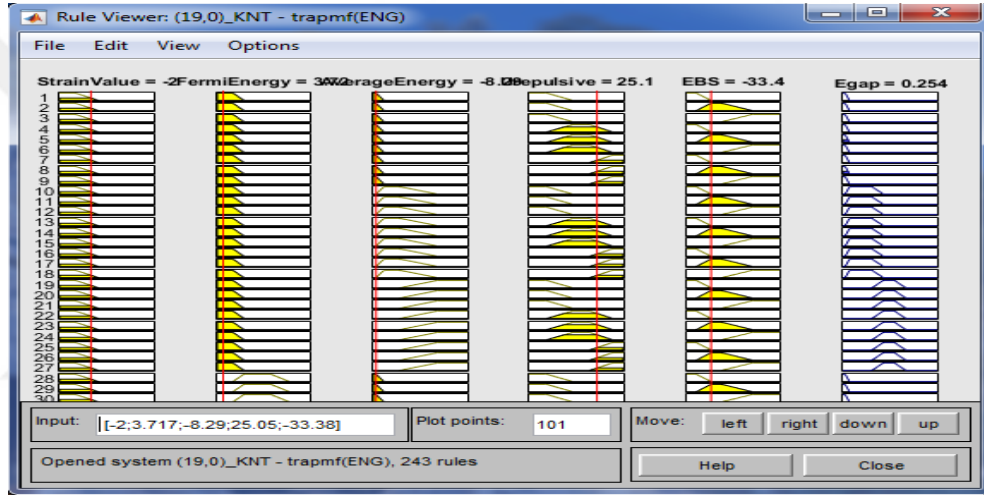
- G.D. : %-2 iken, $\mu_{G.D.} = 0.333$ -Küçük ve 0.667-Orta üyelik derecesine sahiptir.
- E_F : 3.71731 eV iken, $\mu_{E_F} = 1$ -Düşük üyelik derecesine sahiptir.
- E_{ort} : -8.28961 eV/atom iken, $\mu_{E_{ort}} = 1$ -Düşük üyelik derecesine sahiptir.
- U_{rep} : 25.0516 eV iken, $\mu_{U_{rep}} = 0.666$ -Orta ve 0.334-Büyük üyelik derecesine sahiptir.
- E_{bs} : -33.37999 eV iken, $\mu_{E_{bs}} = 1$ -Orta üyelik derecesine sahiptir.

Bu koşullar altında, kural tablosundan $2 \times 1 \times 1 \times 2 \times 1 = 4$ kural tetiklenir (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Örnek-2 için tetiklenen kurallar

| # | G.D. | E _F | E _{ort} | U _{rep} | E _{bs} | E _{gap} |
|----|-------|----------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|
| 5 | Küçük | Düşük | Düşük | Orta | Orta | Çok Dar |
| 8 | Küçük | Düşük | Düşük | Büyük | Orta | Çok Dar |
| 86 | Orta | Düşük | Düşük | Orta | Orta | Orta |
| 89 | Orta | Düşük | Düşük | Büyük | Orta | Orta |

Ve sonuç; MATLAB Fuzzy Logic Toolbox'a göre, 0.254 eV olarak elde edilir. Gerçek deney sonucu 0.27 eV'dur. MATLAB Fuzzy Logic Toolbox için elde edilen sonuç görüntüsü, Şekil 4.9'da gösterilmiştir.

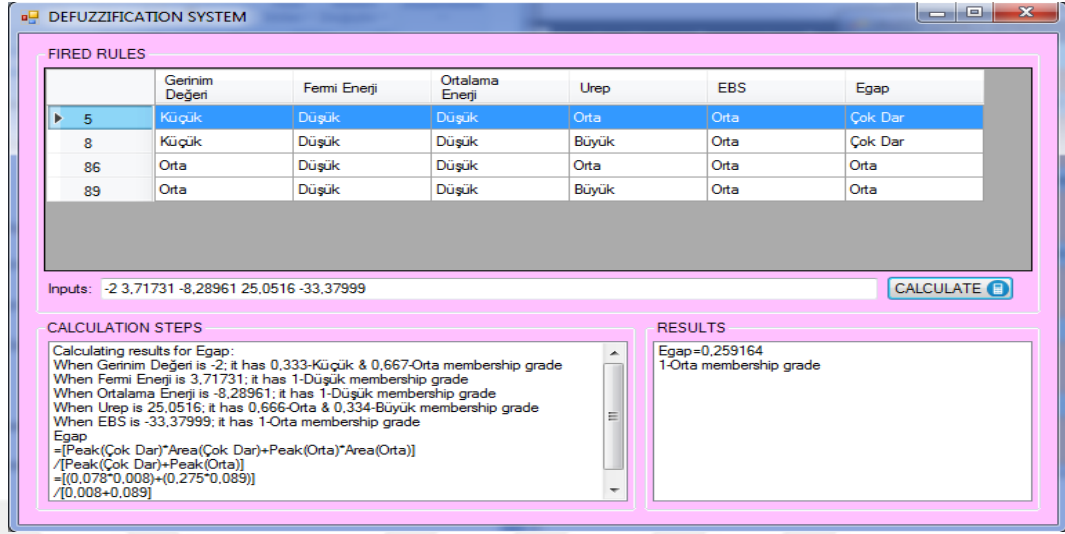


Şekil 4.9. Örnek-2 için MATLAB Fuzzy Logic Toolbox sonuç görüntüsü

Fuzzy Logic Generator için elde edilen sonuç:

$$E_{\text{gap}} = \frac{[\text{TPN}(\text{Çok Dar}) * \text{Alan}(\text{Çok Dar}) + \text{TPN}(\text{Orta}) * \text{Alan}(\text{Orta})]}{[\text{TPN}(\text{Çok Dar}) + \text{Alan}(\text{Orta})]} = \frac{[(0.078 * 0.008) + (0.275 * 0.089)]}{(0.008 + 0.089)} = 0.259164 \text{ eV}$$

Bu değer, enerji bant aralığı için çıktı grafiklerinde 1-Orta üyelik derecesine işaret eder. Fuzzy Logic Generator için elde edilen sonuç görüntüsü Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Tasarlanmış olan BUS'un Örnek-2 için sonuç görüntüsü

4.4.3. Örnek-3

G.D. : %-5, E_F : 3.74243 eV, E_{ort} : -8.24148 eV/atom, U_{rep} : 26.06621 eV, E_{bs} : -34.34647 eV

- G.D. : %-5 iken, $\mu_{G.D.} = 1$ -Küçük üyelik derecesine sahiptir.
- E_F : 3.74243 eV iken, $\mu_{E_F} = 1$ -Yüksek üyelik derecesine sahiptir.
- E_{ort} : 8.24148 eV/atom iken, $\mu_{E_{ort}} = 0.53$ -Orta ve 0.47-Yüksek üyelik derecesine sahiptir.
- U_{rep} : 26.06621 eV iken, $\mu_{U_{rep}} = 1$ -Büyük üyelik derecesine sahiptir.
- E_{bs} : -34.34647 eV iken, $\mu_{E_{bs}} = 1$ -Küçük üyelik derecesine sahiptir.

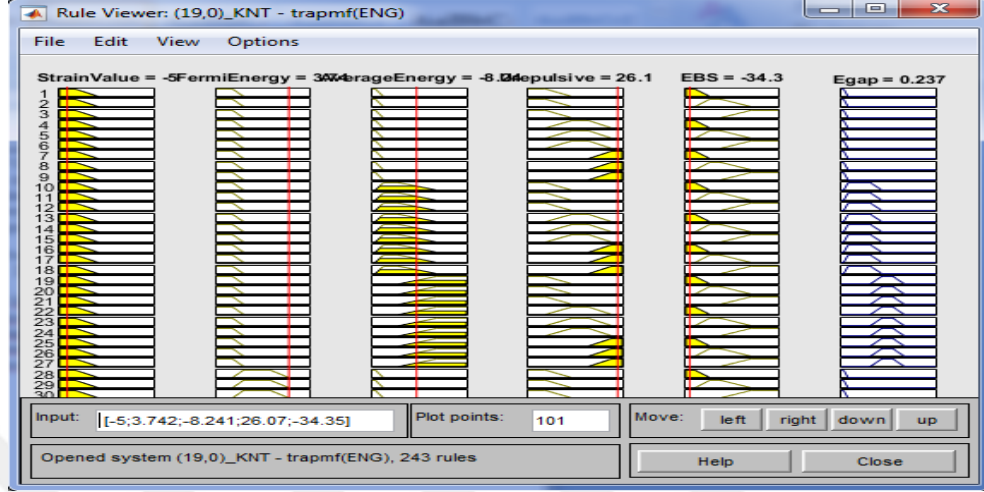
Bu koşullar altında, kural tablosundan $1 \times 1 \times 2 \times 1 \times 1 = 2$ kural tetiklenir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Örnek-3 için tetiklenen kurallar

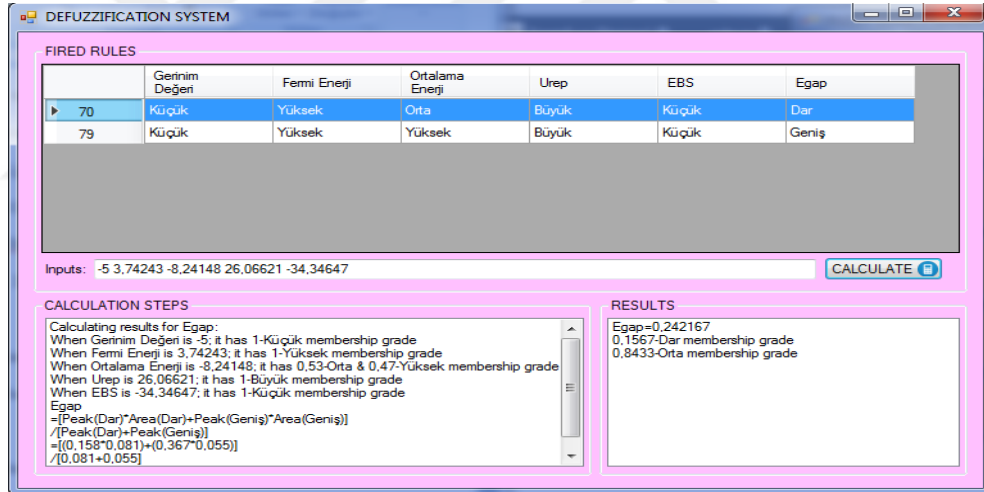
| # | G.D. | E_F | E_{ort} | U_{rep} | E_{bs} | E_{gap} |
|----|-------|--------|-----------|-----------|----------|-----------|
| 70 | Küçük | Yüksek | Orta | Büyük | Küçük | Dar |
| 79 | Küçük | Yüksek | Yüksek | Büyük | Küçük | Geniş |

Ve sonuç; MATLAB Fuzzy Logic Toolbox'a göre, 0.237 eV olarak elde edilir. Gerçek deney sonucu 0.08 eV'dur. MATLAB Fuzzy Logic Toolbox için elde edilen

sonuç görüntüsü, Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Örnek-3 için MATLAB Fuzzy Logic Toolbox sonuç görüntüsü



Şekil 4.12. Tasarlanmış olan BUS'un Örnek-3 için sonuç görüntüsü

Fuzzy Logic Generator için elde edilen sonuç:

$$E_{gap} = [TPN(Dar) * Alan(Dar) + TPN(Geniş) * Alan(Geniş)] / [TPN(Dar) + Alan(Geniş)] = [(0.158 * 0.081) + (0.367 * 0.055)] / (0.081 + 0.055) = 0.242167 \text{ eV}$$

Bu değer, enerji bant aralığı için çıktı grafiklerinde 0.1567-Dar ve 0.8433-Orta üyelik derecesine işaret eder. Yazılan programdan elde edilen sonuç görüntüsü Şekil 4.12'de gösterilmiştir.

5. SONUÇLAR

Bu bölüm 3 amaçla yazılmıştır:

1. Bölüm 3'teki "Başarı Yüzdesi Hesaplama" başlığı altında ifade edilen doğruluk oranı hesabı kullanılarak kullanılan iki program (MATLAB Fuzzy Logic Toolbox ve Fuzzy Logic Generator) tahmin sonuçlarının ne kadar isabetli olduğunun yüzdesinin hesaplanması.
2. Yine aynı başlık altında program sonucu ile gerçek deney sonucu arasındaki farkın mutlak değerlerinin alınması ile MATLAB Fuzzy Logic Toolbox ile tez kapsamında yazılan Fuzzy Logic Generator programlarından elde edilen sonuçların gerçek sonuçlara ne kadar yaklaştığının hesaplanması ve iki programın birbirine ne kadar yakın sonuçlar verdiğinin gösterilmesi.
3. Elde edilen mutlak değer sonuçlarının ortalaması alınarak, hangi programın ortalama olarak gerçek deney sonuçlarına daha yakın sonuçlar verdiğinin gösterilmesi.

Tasarlanmış bulanık uzman sistemde kullanılan TDKNT verileri için (n,m) değerleri (19,0) olup $T=300^{\circ}\text{K}$ 'dir. Orijinal veri olarak kullanılan 13 satır TDKNT verisi bulunmaktadır. Bu veri satırları Dr. Öğr. Üyesi Necati VARDAR'ın doktora tez çalışması için kullandığı .opj uzantılı dosyalardan kendisinin izni dahilinde alınmıştır. Veriler kendisi tarafından doktora çalışması esnasında laboratuvar deneyleri yapılarak gerçekleştirilmiş, elde edilen veriler ise yine kendisi tarafından Origin Pro 2016 SR0 programı kullanılarak 4 farklı grafik ve tablo haline getirilmiştir. Veriler kendisinden alındıktan sonra Microsoft Excel 2007 programına aktararak birleştirilmiş ve tez çalışması için Çizelge 5.1'de gösterilen 13 satırlık veri meydana gelmiştir [50].

Çizelge 5.1. Gerçek G/Ç değerleri, MATLAB sonuçları ve yazılan programın sonuçları

| # | G.D. | E_F | E_{ort} | U_{rep} | E_{bs} | E_{gap} | MATLAB Sonucu | MATLAB Hatası | BUS Sonucu | BUS Hatası |
|-----------|------|----------------|-----------------|-----------------|------------------|-------------|---------------|------------------|-----------------|------------------|
| 1 | 0 | 3,71507 | -8,29278 | 24,5293 | -32,86085 | 0,34 | 0,275 | 0,065 | 0,275 | 0,065 |
| 2 | 1 | 3,72107 | -8,2843 | 23,90682 | -32,22989 | 0,41 | 0,203 | 0,207 | 0,201262 | 0,208738 |
| 3 | 2 | 3,7229 | -8,27281 | 23,50868 | -31,82027 | 0,47 | 0,211 | 0,259 | 0,210428 | 0,259572 |
| 4 | 3 | 3,72523 | -8,25669 | 23,1028 | -31,39827 | 0,49 | 0,286 | 0,204 | 0,315377 | 0,174623 |
| 5 | 4 | 3,72033 | -8,23637 | 22,69333 | -30,96847 | 0,41 | 0,359 | 0,051 | 0,362213 | 0,047787 |
| 6 | 5 | 3,72161 | -8,21181 | 22,27971 | -30,5303 | 0,38 | 0,436 | 0,056 | 0,398596 | 0,018596 |
| 7 | 6 | 3,72318 | -8,18319 | 21,86795 | -30,08992 | 0,45 | 0,402 | 0,048 | 0,404216 | 0,045784 |
| 8 | -1 | 3,71761 | -8,29303 | 24,68053 | -33,01234 | 0,3 | 0,275 | 0,025 | 0,275 | 0,025 |
| 9 | -2 | 3,71731 | -8,28961 | 25,0516 | -33,37999 | 0,27 | 0,254 | 0,016 | 0,259164 | 0,010836 |
| 10 | -3 | 3,72333 | -8,28043 | 25,44204 | -33,76125 | 0,25 | 0,216 | 0,034 | 0,215394 | 0,034606 |
| 11 | -4 | 3,7354 | -8,26233 | 25,79223 | -34,09333 | 0,2 | 0,275 | 0,075 | 0,275 | 0,075 |
| 12 | -5 | 3,74243 | -8,24148 | 26,06621 | -34,34647 | 0,08 | 0,237 | 0,157 | 0,242167 | 0,162167 |
| 13 | -6 | 3,75015 | -8,21797 | 26,28593 | -34,54268 | 0,07 | 0,366 | 0,296 | 0,375 | 0,305 |
| Mn | 6 | 3,75015 | -8,18319 | 26,28593 | -30,08992 | 0,49 | 0,436 | Ort. Hata | 0,404216 | Ort. Hata |
| Mk | -6 | 3,71507 | -8,29303 | 21,86795 | -34,54268 | 0,07 | 0,203 | 0,1148461 | 0,201262 | 0,1102083 |

Çizelge 5.1'deki verilere göre; ilk 6 sütun orijinal verilerin girdileri ve çıktılarını göstermektedir. Bilindiği üzere enerji bant aralığı (E_{gap}) üzerinde tahmin işlemi yapıldığı için 6.sütun gerçek deneylerden elde edilmiş bu orijinal verilerin çıktılarını göstermektedir. "MATLAB Sonucu" sütunu, MATLAB Fuzzy Logic Toolbox programından elde edilen E_{gap} sonuçlarıdır. "MATLAB Hatası" sütunu ise, orijinal çıktılar ile bu sonuçlar arasındaki farkların mutlak değerlerini göstermektedir. Bu sütunun altında yer alan "Ort. Hata" yazılı hücrenin altındaki değer ise, bu mutlak değerlerin ortalamasını göstermektedir. Bu şekilde MATLAB ile orijinal veriler arasında ortalama olarak ne kadar fark olduğu görülmüştür. "BUS Sonucu" sütunu, "BUS Hatası" sütunu ve onun altındaki "Ort. Hata" yazılı hücre ile ise; aynı işlemler için Fuzzy Logic Generator programından elde edilen sonuçları göstermektedir. Çizelgenin alt kısmında yer alan "Mn" ve "Mk" satırları ise her bir sütun için minimum ve maksimum değerleri göstermektedir. "Ort. Hata" ismiyle belirtilmiş farklar karşılaştırıldığında, Fuzzy Logic Generator programından elde edilen değerlerin

daha düşük olduğu, dolayısıyla gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edildiği ve daha başarılı olduğu görölmektedir.

İki program arasında yapılacak karşılaştırmalardan bir diğeri ise, doğruluk oranı hesabı karşılaştırmasıdır. Bölüm 3'teki "Başarı Yüzdesi Hesaplama" başlığı altında anlatılan sebepten dolayı; başarı yüzdesi hesaplarırken yalnızca doğruluk oranı hesabı dikkate alınacaktır.

Uzman görüşüne göre; eğer elde edilen tahmin değeri, orijinal sonucun %20 fazlası ile %20 eksiki arasındaysa (sınır değerleri dahil) tahmin doğru, değilse tahmin yanlış kabul edilir. Çizelge 5.1'de, sonucu yanlış olarak tahmin edilen satırlar koyu olarak gösterilmiştir. Buna göre; orijinal 13 adet veri seti içerisinde yapılan doğruluk oranı hesabına göre doğru tahmin edilen değerleri toplam veri sayısına oranlayıp 100 ile çarptığımızda elde edilen değer, iki program için de yaklaşık olarak $(7/13) * 100 = \%53.846$ 'dır. Bu başlık altında yapılan hesaplamalara göre aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

1. Fuzzy Logic Generator programından elde edilen tahmin sonuçları, MATLAB Fuzzy Logic Toolbox'tan elde edilen tahmin sonuçlarıyla karşılaştırıldığında 5 adet deney sonucu için MATLAB sonucu, 5 adet deney sonucu için yazılan programın sonucu gerçek deney sonuçlarına daha yakın çıkmış olup, 3 adet deney sonucu için iki program eşit sonuç vermiştir ve iki programın sonuçları arasında çok küçük farklar bulunmaktadır. Gerçek sonuçlara yakınlık ortalama hata değeri üzerinden değerlendirildiğinde ise yazılan program daha iyi sonuç vermektedir. İki program için elde edilen doğruluk oranı değeri de birbirini tutmaktadır.

2. Tasarlanmış olan bulanık uzman sistemde tek kuralın tetiklenmesiyle elde edilen sonuçlar MATLAB ve yazılan programda aynı olup; birden fazla kuralın tetiklenmesiyle elde edilen sonuçlarda iki program birbiriyle farklılık göstermektedir. Bunun sebebinin; programlarda kullanılan ağırlık merkezi yönteminin kendi içerisinde en büyük alanın merkezi ve toplamların merkezi şeklinde ayrılması ve MATLAB Fuzzy Logic Toolbox'ın en büyük alanın merkezi yöntemini, Fuzzy Logic Generator'ın ise toplamların merkezi yöntemini kullanması olduğu düşünülmektedir.

3. Tezde yapılan tahmin işleminin tez yazarı tarafından, uzmanından elde edilen verilerle yapılan ilk çalışma olması ve TDKNT'nin enerji bant aralığı değerinin tahmini için, tez yazarı tarafından yapılan literatür araştırmasında bir çalışmaya rastlanmamış olması göz önünde bulundurulduğunda; elde edilen doğruluk oranı değerinin yeterince yüksek olmamasına rağmen % 50'nin üzerinde olması, konuyla ilgili yapılacak gelecek çalışmalarda daha iyi bir değer elde edilebileceğini göstermektedir.

4. İleride yeni veriler elde etmekle veya bu verileri üreterek sonuçların hem BUS'la, hem de diğer yapay zeka yöntemleri (yapay sinir ağları, makine destek vektörü, rassal orman gibi) kullanılarak tahmin edilmesi sağlanabilir. Bu sayede başarı oranının yükseltilmesi öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] "Nanoteknoloji Nedir? Faydaları ve Kullanım Alanları Nelerdir? >> Bilgiustam" erişim adresi: <https://www.bilgiustam.com/nanoteknoloji-nedir-faydalari-ve-kullanim-alanlari-nelerdir/>, erişim tarihi: 17 Nisan 2019
- [2] "Nanoteknoloji Nedir? Ne İşe Yarar? Kullanım Alanları | Teknoloji Projeleri" erişim adresi: <https://teknolojirojeleri.com/teknik/nanoteknoloji-nedir-ne-ise-yarar-kullanim-alanlari>, erişim tarihi: 17 Nisan 2019
- [3] "Nanoteknolojinin Yararları Nelerdir?" erişim adresi: <https://gelisenbeyin.net/nanoteknolojinin-yararlari-nelerdir.html>, erişim tarihi: 17 Nisan 2019
- [4] "kullanım alanları - NANOTEKNOLOJİ" erişim adresi: <https://ahmetakgonul.weebly.com/kullan305m-alanlar305.html>, erişim tarihi: 17 Nisan 2019
- [5] "Karbon Nanotüp Nedir? Özellikleri ve Uygulamaları - ÇEYREK MÜHENDİS" erişim adresi: <http://www.ceyrekmuhendis.com/karbon-nanotup-nedir/>, erişim tarihi: 28 Nisan 2019
- [6] Vardar N., 2006, Farklı Simetrik Yapılardaki Karbon Nanotüplerin Durum Yoğunluklarının Simülasyonu, *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- [7] "Grafen Nedir, Grafen Üretimi" erişim adresi: <https://www.muhandisbeyinler.net/grafen-nedir-grafen-uretimi/>, erişim tarihi: 28 Nisan 2019
- [8] "What is the difference between single walled and multi walled carbon nanotubes? - Quora" erişim adresi: <https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-single-walled-and-multi-walled-carbon-nanotubes>, erişim tarihi: 28 Nisan 2019
- [9] Ahadian S., Kawazoe Y., An Artificial Intelligence Approach for Modeling and Prediction of Water Diffusion Inside a Carbon Nanotube, *Nanoscale Research Letters*, 4(9), 1054–1058, 2009.
- [10] Esfe M.H., Saedodin S., Sina N., Afrand M., Rostami S., Designing an Artificial Neural Network to Predict Thermal Conductivity and Dynamic Viscosity of Ferromagnetic Nanofluid, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 68, 50–57, 2015.
- [11] Johanyak Z.C., Fuzzy Modeling of Thermoplastic Composites' Melt Volume Rate, *Computing and Informatics*, 32, 845–857, 2013.
- [12] Shanbedi M., Heris S.Z., Amiri A., Adyani S., Alizadeh M., Baniadam M., Optimization of the Thermal Efficiency of a Two-Phase Closed Thermosiphon Using Active Learning on the Human Algorithm Interaction, *Numerical Heat Transfer Part A*, 66(8), 947–962, 2014.
- [13] Leghrib R., Llobet E., Quantitative Trace Analysis of Benzene Using an Array of Plasma-Treated Metal-Decorated Carbon Nanotubes and Fuzzy Adaptive Resonant Theory Techniques, *Analytica Chimica Acta*, 708 (1–2), 19–27, 2011.
- [14] Prabhu S., Uma M., Vinayagam B.K., Surface Roughness Prediction Using Taguchi - Fuzzy Logic - Neural Network Analysis for CNT Nanofluids Based Grinding Process, *Neural Computing and Applications*, 26(1), 41–55, 2014.
- [15] Shanbedi M., Amiri A., Rashidi S., Heris S.Z., Baniadam M., Thermal Performance Prediction of Two-Phase Closed Thermosiphon Using Adaptive Neuro-

Fuzzy Inference System, Heat Transfer Engineering, 36(3), 315–324, 2015.

[16] Mehrabi M., Sharifpur M., Meyer J. P., Viscosity of nanofluids based on an artificial intelligence model, International Communications in Heat and Mass Transfer, 43, 16–21, 2013.

[17] Ata S., Dinçer K., Anot Tarafı Karbon Nanotüp ile Kaplanmış Pem Yakıt Hücresi Performansının Bulanık Mantık Yöntemiyle Modellenmesi, UHTEK-2015 Ulusal Hidrojen Teknolojileri Kongresi, İstanbul, Türkiye, 1-7, Temmuz 2015.

[18] Afrand M., Nadooshan A.A., Hassani M., Yarmand H., Dahari M., Predicting the Viscosity of Multi-Walled Carbon Nanotubes/Water Nanofluid by Developing an Optimal Artificial Neural Network Based on Experimental Data, International Communications in Heat and Mass Transfer, 77, 49-53, 2016.

[19] Al-Khedher M.A., Pezeshki, C., McHale J.L., Knorr F.J., Quality Classification via Raman Identification and SEM Analysis of Carbon Nanotube Bundles Using Artificial Neural Networks, Nanotechnology, 18 (35), Aug. 2007.

[20] "STRAIN ÖLÇME" erişim adresi: <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/ot/strain.olcme.pdf>, erişim tarihi: 12 Mayıs 2019

[21] "ELEKTRİKSEL İLETKENLİK" erişim adresi: <http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/48955/44236/2-2016.pdf>, erişim tarihi: 14 Mayıs 2019

[22] "ELEKTRONLARIN ATOMİK ORBİTALLERE DAĞILIMI VE PERİYOTLAR CETVELİ" erişim adresi: http://lisans.cozum.info.tr/dersler/genel_kimya/atomik_yapi/elektronlarin_atomik_orbitallere_dagilimi.html, erişim tarihi: 15 Mayıs 2019

[23] Süngü B., 2006, Sıkı Bağ Moleküler Dinamik Yöntemiyle Karbon Nanotüplerin Bilgisayar Simülasyonu, *Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

[24] "MATLAB Nedir? - Halil Özel - Medium" erişim adresi: <https://medium.com/@halilozel1903/matlab-nedir-91a904a74f45>, erişim tarihi: 18 Kasım 2018

[25] "MATLAB - Wikipedia" erişim adresi: https://en.wikipedia.org/wiki/MATLAB#Release_history erişim tarihi: 23 Temmuz 2019

[26] "Visual Studio Nedir? | WM Aracı" erişim adresi: <https://wmaraci.com/nedir/visual-studio>, erişim tarihi: 20 Kasım 2018

[27] "Yazılımcılar Dünyası: IDE Nedir? (Integrated Development Environment – Tümlleşik Geliştirme Ortamı)" erişim adresi: <http://www.yazilimcilar dunyasi.com/2016/10/ide-nedir-integrated-development.html>, erişim tarihi: 20 Kasım 2018

[28] "Origin: Data Analysis and Graphing Software" erişim adresi: <https://www.originlab.com/index.aspx?go=Products/Origin>, erişim tarihi: 13 Haziran 2019

[29] "Excel Nedir?" erişim adresi: <https://ofisdata.com/excel-nedir>, erişim tarihi: 10 Ocak 2019

[30] "Yapay Zeka Nedir? - ShiftDelete.Net" erişim adresi: <https://shiftdelete.net/yapay-zeka-nedir-62428>, erişim tarihi: 28 Ocak 2019

[31] "Yapay Zeka Nedir? Yapay Zekayı Kim Buldu, Kim, Ne Zaman İcat Etti?"

- erişim adresi: <https://www.kimnezamanicatetti.com/yapay-zeka/>, erişim tarihi: 29 Ocak 2019
- [32] "SUZEP" erişim adresi: <http://farabi.sutef.gen.tr/bulanik/index.html>, erişim tarihi: 16 Mart 2019
- [33] "Trapezoidal Membership Function - MATLAB trapmf" erişim adresi: <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/trapmf.html>, erişim tarihi: 16 Mart 2019
- [34] "Membership function curve of trapezoidal fuzzy number~A number~number~A | Download Scientific Diagram" erişim adresi: https://www.researchgate.net/figure/Membership-function-curve-of-trapezoidal-fuzzy-numberA-number-numberA_fig2_216611061, erişim tarihi: 16 Mart 2019
- [35] "Triangular membership function - MATLAB trimf" erişim adresi: <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/trimf.html>, erişim tarihi: 17 Mart 2019
- [36] "Graph of membership function of: (a) representation of the triangular... | Download Scientific Diagram" erişim adresi: https://www.researchgate.net/figure/Graph-of-membership-function-of-a-representation-of-the-triangular-curve-b_fig2_326647718, erişim tarihi: 17 Mart 2019
- [37] "Pi-shaped membership function - MATLAB pimf" erişim adresi: <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/pimf.html>, erişim tarihi: 17 Mart 2019
- [38] "Example of pimf function used for build the filtering matrix" erişim adresi: https://www.researchgate.net/figure/Example-of-pimf-function-used-for-build-the-filtering-matrix-f-G-t_fig12_220043834, erişim tarihi: 17 Mart 2019
- [39] Allahverdi N., Bulanık Mantık ve Tıpta Uygulamaları, KTO Karatay Üniversitesi Yayınları, Konya, 2019 (Baskıda).
- [40] Korucu A.T., 2007, Bulanık Mantık Problemleri için Görsel Bir Arayüz Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- [41] "6.Bulanık Sistemler. Kural Tabanı (Bulanık Kurallar) Sayısal Girişler. Sayısal Çıktılar. Bulanık Sonuç Çıkarma. Serhat YILMAZ" erişim adresi: <https://docplayer.biz.tr/47674871-6-bulanik-sistemler-kural-tabani-bulanik-kurallar-sayisal-girisler-sayisal-cikislar-bulanik-sonuc-cikarma-serhat-yilmaz.html>, erişim tarihi: 8 Nisan 2019
- [42] "DERS 5 - BULANIK MODELLER - PDF" erişim adresi: <https://docplayer.biz.tr/9105550-Ders-5-bulanik-modeller.html>, erişim tarihi: 9 Nisan 2019
- [43] Karasakal O., 2012, BULANIK PID KONTROLÖRLERİ İÇİN ÇEVİRİM İÇİ KURAL AĞIRLIKLANDIRMA YÖNTEMLERİ, *Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- [44] "What is Center of Sums and Center of Largest Area" erişim adresi: <https://www.tech-wonders.com/2010/08/center-of-sums-and-center-of-largest.html>, erişim tarihi: 16 Nisan 2019
- [45] "Center of Sums (CoS)" erişim adresi: https://www.physik.uzh.ch/local/teaching/SPI301/LV-2015-Help/lvpidmain.chm/center_of_sums.html, erişim tarihi: 16 Nisan 2019
- [46] "UCI Machine Learning Repository: Lung Cancer Data Set" erişim adresi: <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/lung+cancer> erişim tarihi: 5 Ağustos 2019
- [47] Saday F., 2019, Sığırlarda Bulanık Mantık Yaklaşımı ile Cinsiyet Belirleme Yöntemi Geliştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi, KTO Karatay Üniversitesi*, Fen Bilimleri

Enstitüsü, Konya.

[48] Zhu W., Zeng N, Wang N., Sensitivity, Specificity, Accuracy, Associated Confidence Interval and ROC Analysis with Practical SAS Implementations, Northeast SAS User Group proceedings, Section of Health Care and Life Sciences, 1-9, Baltimore, Maryland, ABD, Kasım 2010.

[49] "3.Model Başarısı Değerlendirme - Sınıflandırma - Erdiñ Uzun" erişim adresi: https://www.e-adys.com/makine_ogrenmesi/model-degerlendirme-siniflandirma/, erişim tarihi: 20 Mayıs 2019

[50] Vardar N., 2012, Nanomalzemelerin Bilgisayar Simülasyonu, *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : GENCER, Muhammet Çağrı
Uyruğu : T.C.
Doğum Tarihi ve Yeri : 15.07.1991 Antalya
Medeni Hali : Bekar
Telefon : 444 12 51 / 7306
E-mail : mcagri.gencer@karatay.edu.tr

Eğitim

| Derece | Eğitim Birimi | Mezuniyet Tarihi |
|--------|---|------------------|
| Lisans | Selçuk Üniversitesi / Bilgisayar Mühendisliği | 22.06.2014 |

İş Deneyimi

| Yıl | Yer | Görev |
|-------------------|---------------------------|---------------------|
| 2014 | Allianz Global Assistance | Stajyer Operatör |
| 2015-Devam Ediyor | KTO Karatay Üniversitesi | Araştırma Görevlisi |

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Detection of the Electronic Attributes of the Nanostructured Materials with Fuzzy Logic, International Conference of Advanced Technologies, 28 Nisan - 1 Mayıs 2018, Antalya