



**KTO KARATAY ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

ENERJİYE DAYALI YAKLAŞIMDA ENTEGRE KATI ATIK YÖNETİMİ

Nazan ÖZBEY

Yüksek Lisans Tezi

**KONYA
Ağustos, 2021**

ENERJİYE DAYALI YAKLAŞIMDA ENTEGRE KATI ATIK YÖNETİMİ

Nazan ÖZBEY

KTO Karatay Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İşletme Anabilim Dalı
Tezli Yüksek Lisans Programı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Fatma Didem TUNÇEZ

Konya
Ağustos, 2021

BİLDİRİM

Enstitü tarafından onaylanan Yüksek Lisans/Doktora tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını basılı veya dijital biçimde arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullar dahilinde erişime açma iznini KTO Karatay Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle, Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak ve gelecekteki çalışmalar (makale, kitap, lisans, patent vb.) için tezimin tamamının veya bir bölümünün kullanım hakları yalnızca bana ait olacaktır.

Tezimin bütünüyle kendi çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izinle kullanılması zorunlu olan kaynakları, yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde izinlerin suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayımlanan “Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge” kapsamında, tezim, aşağıda belirtilen koşullar haricince, YÖK Ulusal Tez Merkezi ve KTO Karatay Üniversitesi Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

Enstitü / Fakülte Yönetim Kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.¹

Enstitü / Fakülte Yönetim Kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 6 ay ertelenmiştir.²

Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir.³⁴

23 Ağustos 2021



Nazan ÖZBEY

¹ MADDE 6(1) Lisansüstü teze ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.

² MADDE 6(2) Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internette paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile altı ay aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.

³ MADDE 7(1) Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, tezin yapıldığı kurum tarafından verilir. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, ilgili kurum ve kuruluşun önerisi ile enstitü veya fakültenin uygun görüşü üzerine üniversite yönetim kurulu tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.

⁴ MADDE 7(2) Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.

ETİK BEYAN

KTO Karatay Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Hazırlama ve Yazım Kurallarına uygun olarak Unvanı Dr. Öğr. Üyesi Fatma Didem TUNÇEZ danışmanlığında tarafımdan üretilen bu tez/proje çalışmasında; sunduğum tüm veri, enformasyon, bilgi ve belgeleri bilimsel etik kuralları çerçevesinde elde ettiğimi, tüm değerlendirme, analiz, bulgu ve sonuçları bilimsel usullere uygun olarak sunduğumu, tez/proje çalışmasında yararlandığım kaynakların tümüne bilimsel normlara uygun biçimde atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, tezimin/projemimin kaynak gösterilen durumlar dışında özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

23 Ağustos 2021

İmza

Nazan ÖZBEY

TEŞEKKÜR

Tez konumu seçmemde, araştırmamda ve tüm bu aşamalarda yol gösteren sabırla heyecanıma ortak olan saygı değer danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Fatma Didem TUNÇEZ' e verdiği desteklerinden dolayı sonsuz şükranlarımı sunuyorum. KTO Karatay Üniversitesi mülakatı geçmeme vesile olan komisyon heyetinde yer alan değerli hocalarım Prof. Dr. Osman OKKA, Dr. Öğr. Üyesi Aynur AKPINAR ve Dr. Öğr. Üyesi Hasan Fehmi ATASAGUN'a ve yüksek lisansa başlamam için beni cesaretlendiren babam Şeref ÖZBEY'e ve üstümden sevgisini eksik etmeyen aileme teşekkür ederim.

23 Ağustos 2021

Nazan ÖZBEY

ÖZET

Nazan ÖZBEY

Enerjiye Dayalı Yaklaşımında Entegre Katı Atık Yönetimi

Yüksek Lisans Tezi

Konya, 2021

Dünyada endüstrileşmenin hızla artması sonucu katı atıklar, çevresel açıdan büyük sorunlar oluşturmaktadır. Katı atıkların toplanma işlemleri düzenli olarak gerçekleştirilemediği zaman ya da daha sonrasında atıklar bertaraf edilemediği zaman bu durum halk sağlığı ve çevre açısından olumsuzluklar arz etmektedir. Katı atıkların toplanması ve bertaraf edilmesi işlemleri özellikle gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkeler için yeterli seviyede yapılmadığı zaman toprak, hava su kirliliğine görsel açıdan hoş olmayan görüntülere neden olmaktadır. Katı atıkların düzenli şekilde işlenmesi ayrıca uygun enerji geri kazanım yöntemleri içinde elverişlidir. Katı atıklardan üretilecek enerji elektrik ve ısı gibi alanlarda kullanılabilir. Bu tez çalışmasında, Türkiye katı atık enerjisine genel bir bakış yapılarak, atık enerjisi türlerinden çöpgazı, biyogaz, biyokütle, atık ısı ve atıktan türetilmiş yakıt enerjisi incelenmiştir. Ayrıca, Türkiye enerji olarak geri kazanabilecek atıklar ve enerji potansiyeli araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler

Katı atık, çöp gazı, biyogaz, sıfır atık

ABSTRACT

Nazan ÖZBEY

Integrated Solid Waste Management in Energy Based Approach

Master's Thesis

Konya, 2021

The rapid increase in industrialization in the world and the rapidly increasing solid wastes cause great environmental problems. When the collection of solid wastes cannot be carried out regularly or when the wastes cannot be disposed of afterwards, this situation presents negative effects in terms of public health and the environment. When the collection and disposal of solid wastes is not done at an adequate level, especially for underdeveloped and developing countries, it causes soil, air, water pollution and visually unpleasant images. Regular treatment of solid waste is also suitable for appropriate energy recovery methods. The energy to be produced from solid wastes can be used in fields such as electricity and heat. In this thesis, an overview of Turkey's solid waste energy was made and landfill gas, biogas, biomass, waste heat and waste-derived fuel energy were examined. In addition, wastes and energy potential that can be recovered as energy in Turkey were investigated.

Keywords

Solid waste, landfill gas, biogas, zero waste

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
BİLDİRİM.....	ii
ETİK BEYAN	iii
TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLolar DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. ATIKLARDAN ENERJİ ELDE ETME TEKNİKLERİ	3
2.1. Depolama Sahası	3
2.1.1. Gaz Toplama Sistemleri	4
2.1.2. Depolama Gazı Hakkında Bilgi	6
2.1.3. Biyoreaktör Yaklaşımı	8
2.1.4. Depolama Gazından Enerji Eldesi	10
2.1.5. Depolama Gazı Yönetimi	14
2.2. Gazlaştırma	15
2.2.1. Gazlaştırıcı Reaktör Sistemi Türleri Ve Bileşikleri	16
2.2.2. Ana Atık Gazlaştırıcı Reaktör Sistemi Türleri	16
2.2.3. Noell Atık İşleme Süreci	17
2.2.4. Gazlaştırma İşlemlerinin Sınıflandırılması.....	18
2.3. Piroliz.....	20
2.3.1. Piroliz Süreci.....	20
2.3.2. Piroliz İşlemlerinin Sınıflandırılması.....	22
2.3.3. Enerji Potansiyeli Analizi.....	24
2.4. Yakma	25
2.4.1. Yakma İşlemi Operasyonel Özellikleri	26
2.4.2. Yakma İşleminden Enerji Geri Kazanımı Potansiyeli ve Özellikleri	27
3. ATIK ENERJİSİ TÜRLERİ VE TÜRKİYE’DE ATIK ENERJİSİ	29
3.1. Çöp Gazı (LFG) Enerjisi.....	29

3.1.1. Türkiye’de Çöp Gazı Enerjisi Üretim Tesisleri.....	30
3.2. Biyogaz Enerjisi	31
3.2.1. Türkiye’de Biyogaz Üretimi.....	31
3.2.2. Biyogaz Enerjisi Üretimi.....	32
3.2.3. Türkiye’de Biyogaz Enerjisi Üretim Tesisleri.....	37
3.3. Biyokütle Enerjisi.....	39
3.3.1. Biyokütlenin Tanımı	39
3.3.2. Biyokütle Enerjisi Üretimi.....	40
3.3.3. Türkiye’de Biyokütle Enerjisi Üretim Tesisleri	40
3.4. Atık Isı	41
3.4.1. Türkiye’de Atık Isı Enerjisi Üretim Tesisleri.....	43
3.5. Beraber Yakma.....	46
3.5.1. Türkiye’de Atık Isı, Beraber Yakma, Enerjisi Üretim Tesisleri.....	46
3.6. Atıktan Türetilmiş Yakıt Enerjisi.....	49
3.6.1. Eysel Atık Yakma	50
3.6.2. Tehlikeli Atık Yakma.....	52
3.6.3. Piroliz	53
3.7. Türkiye’de Atık Enerjisi	55
4. KATI ATIK ENTEGRE YÖNETİMİ.....	58
4.1. Yöntem.....	58
4.2. Türkiye’deki Şehirlerin Katı Atıkları	62
4.3. Çöp Gazı ve Biyogaz Sistemleri	71
4.3.1. Çöp Gazı.....	71
4.3.2. Çöpten Üretilen Enerji.....	75
4.3.3. Biyogazdan Üretilen Enerji	78
4.4. Entegre Katı Atık Yönetiminde Sıfır Atık Yaklaşımı	80
4.4.1. Sıfır Atık Projesi Hedefleri.....	82
5. SONUÇ	84
5.1. Sonuçlar	84
KAYNAKLAR.....	88
ÖZGEÇMİŞ.....	95

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Depolama gazının tipik bileşimi	7
Tablo 2. Depolama gaz üretim oranı	8
Tablo 3. Farklı piroliz türlerinin tipik özellikleri	21
Tablo 4. Türkiye’de bazı illere ait evsel katı atığın ton başına tahmini metan üretimi, milyon m ³	30
Tablo 5. Türkiye’de çöp gazı enerjisi üretim tesisleri	31
Tablo 6. EPDK 2020 yılı YEKDEM listesi	37
Tablo 7. Türkiye’de biyogaz enerjisi üretim tesisleri	38
Tablo 8. Türkiye’de biyokütle enerjisi üretim tesisleri	41
Tablo 9. Türkiye’de atık ısı enerjisi üretim tesisleri	44
Tablo 10. Türkiye’de beraber yakma enerjisi üretim tesisleri	47
Tablo 11. Evsel atık kaynakları	51
Tablo 12. Türkiye’de piroliz tesisleri	54
Tablo 13. Türkiye’de enerji üretimi miktarları	56
Tablo 14. Türkiye’de atıktan elde edilen enerji kurulu gücü	57
Tablo 15. 2020-2021 Ocak-Mart dönemi elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı	60
TABLO 16. Türkiye nüfusu illere göre dağılımı	63
Tablo 17. Bertaraf ve geri kazanım yöntemine göre 2008 – 2018 yılları arasında toplanan belediye atık miktarı	68
Tablo 18. Türkiye’de 2018 yılında atık hizmeti verilen belediyeler, nüfusu ve toplanan atık miktarı	69
Tablo 19. Çöpgazı kompozisyonu	75
Tablo 20. Türkiye’ye ilişkin bazı genel bilgiler BEPA-2020	76
Tablo 21. Bazı organik atıkların biyogaz verimi	77
Tablo 22. Türkiye’de biyogaz enerji elde eden serbest üretim şirketi santralleri için 2016-2020 yılları arasında kurulu gücü (MW)	78
Tablo 23. Hayvansal atıklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve metan oranları	79
Tablo 24. Bitkisel atıklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve metan oranları	80
Tablo 25. Endüstriyel atıklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve metan oranları	80

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Düzenli Depolama Tesisi	4
Şekil 2. Çöp gazı enerjisi geri kazanım projesinin şematik diyagramı.....	11
Şekil 3. Biyogaz oluşum aşamaları.....	33
Şekil 4. Türkiye nüfusu grafiği.....	62
Şekil 5. Türkiye nüfus grafiği.....	65
Şekil 6. Belediye atık göstergesi 2016-2018	66
Şekil 7. Bertaraf ve geri kazanım yöntemine göre 2016-2018 yıllarında toplanan belediye atık miktarları	67
Şekil 8. Evsel katı atık dağılımı.....	72
Şekil 9. Atık yönetimi hiyerarşisinin şematik gösterimi.....	83

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltma	Açıklama
ASTM	Kentsel Katı Atık Kompozisyonunda Belirlenmesinde Standart Test Metodları
BOİS	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
CH ₄	Metan
CNG	Sıkıştırılmış Doğalgaz
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
ÇOB	Çevre ve Orman Bakanlığı
ÇŞB	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
GW	Gigawatt
H ₂	Hidrojen
H ₂ S	Hidrojen Sülfür
ICE	İçten Yanmalı Motor
kg	Kilogram
kJ	Kilo Joule
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt saat
LEL	Alt Tutuşma Sınırı
LFG	Çöp Gazı
LNG	Sıvılaştırılmış Doğalgaz
m ³	Metreküp
MCFC	: Erimiş Karbonatlı Yakıt Hücreleri
MJ	Megajoule
MSW	Kentsel Katı Atık
MW	Megawatt
N ₂	Azot
NFFO	Operatörlerin Fosil Olmayan Yakıt Yükümlülüğü Sözleşmesi
NH ₃	Amonyum Nitrat

NH ₄	Amonyum
Nm ³	Normal Metre Küp
O ₂	Oksijen
°C	Santigrad Derece
ORC	Organik Rankine Döngüsü
ppm	Milyonda Bir
SOFC	Katı Oksit Yakıt Hücreleri
UNEP	Birleşmiş Milletler Çevre Programı
UOB	Uçucu Organik Bileşikler
US EPA	Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Kurumu
v/v	Hacimce Yüzde
YEKDEM	Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması

1. GİRİŞ

Enerji geri kazanım yöntemleri için stratejik yönetim yaklaşımı yeni ortaya sürülen bir konudur. Stratejik yönetim yaklaşım değerlendirme yönteminde veri toplama ve ondan bilgi elde etme, yerel çevre ekonomik durumunun analizi, anlaşmanın sağlanması, eylem seçeneklerinin belirlenmesi ve önceliklerin kabul edilmesi, uygulama, hedeflerin / başarıların ölçülmesi, değerlendirmesi gibi faaliyetler yapılmaktadır. Enerji geri kazanım yaklaşımının başarılı bir şekilde uygulanması için minimum koşulların yerine getirilmesi durumunda analiz edilmeli ve değerlendirilmelidir. Konuyla ilgili idari yapı ve sivil toplum örgütlerin görüşleri dikkate alınmalıdır.

Enerji kazanım için mevcut alt yapı ve tekniklerin varlığı örneğin yakma, piroliz, gazlaştırma gibi tekniklerin oluşumu atıklarla ilgili veri toplama, atık türleri, varlığın atık hacmi (nüfusa göre artışı) gibi alt yapı çalışmalarına ihtiyaç vardır.

Ayrıca teknik alt yapı oluştururken yerel çevre ekonomik durumun analizi gerekmektedir. Yerel çevre ekonomik durumun analizinde potansiyel fon kaynaklarının kullanılabilirliği, mali kısıtlamalar, istihdam / işsizlik, asgari ücret gibi önemli noktaların üzerinde durulmalıdır. Bu olaylar sonucunda kamu bilinci, enerji geri kazanımı ile ilgili hangi yöntemin belirlenmesin de mali hususlar ve bütçe anlaşması önem arz etmektedir. Mali hususlar ve bütçe anlaşmalarında yer, yüklenici, zaman sınırı seçip seçmeme konusunda büyük etkindir.

Yatırım hayata geçirilirken tasarım, program düzenlemeleri ve ihale eylemleri gibi programlar hazırlanmaktadır. Olası senaryolar veya senaryo hazırlanırken bu programlardan en uygunu seçilmektedir. Diğer aşamalar için liste hazırlamak önceliklerin kabulü, kimlik seçenekleri gibi faaliyetler hazırlanmaktadır. Teknik uygulamada ise; seçilen enerji kurtarma tekniği uygulanması olası senaryoları tanımlamak, uygulama öncelikleri, acil durum halinde eylemlerin listesi yapılmaktadır.

Uygulama da ise hazırlanan yatırım listesinin gerçekleştirilmesi, olası senaryolara göre eylemler, acil durumunda kesinlikle yatırım listesine göre hareket etme durumları gerçekleşmektedir.

Seçilen tekniğin uygulanmasında beklenen enerji sonuçları (etkin maliyet kurtarma, ölçümde seçilen enerji kurtarma sisteminde tüketilmiş döngü kirliliği temizleme

maliyetleri) genel ekonomik faydaları ile oldukça benzer ise; gözlem sonucun da seçilen teknik başarılı olarak gösterilmektedir.

Öncelikler seçim aşaması birkaç adımdan oluşmaktadır. Her şeyden önce, kriterler seçilmeli ve kriterleri önem sırasına göre ölçmek için sistem kurulmalıdır. Ayrıca, kriterleri nicel ölçümlerle değerlendirmek için puanlama sistemine ihtiyaç duyulmakta ve ilgili tarafların kriterleri önem ve nicel puanlara göre değerlendirmesi istenmektedir. Proje ile ilgili kamu enerji geri kazanım projesinin uygulanması ile ilgili uzmanlar, siyaset, hükümet ve özel kuruluşların düşüncelerine yer vermektedir. Önceliklerin doğru seçilmesini sağlamak için, süreçte huzur ve netlik olması önemlidir (Arena, 2011).

Bu tez çalışmasında, Türkiye katı atık enerjisine genel bir bakış yapılarak, atık enerjisi türlerinden çöpgazı, biyogaz, biyokütle, atık ısı ve atıktan türetilmiş yakıt enerjisi hakkında araştırma yapılmıştır. Türkiye için atık kontrolü ve enerji ihtiyacının karşılanması problemine çözüm olarak katı atık entegre yönetimi için çöp gazı ve biyogaz tesisleri hakkında veriler tez çalışmasında sunulmuştur.

2. ATIKLARDAN ENERJİ ELDE ETME TEKNİKLERİ

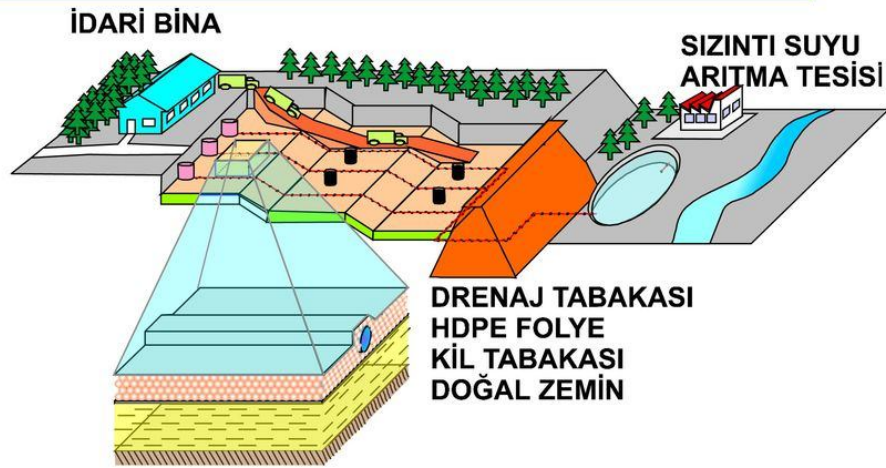
Atıklardan enerji elde etme, depolama, gazlaştırma, piroliz, yakma teknikleriyle yapılmaktadır.

2.1. Depolama Sahası

Depolama alanları atık bertarafını ve en eski atık yönetimi biçimini organize etmenin en yaygın yöntemidir. Depolama alanı, atıkların damping ile bertaraf edildiği bir yer olup, günümüzde dikkatli bir şekilde tasarlanmış ve zeminin içine veya üstüne inşa edilmiş iyi tasarlanmış tesisler; bu durumda çöp ortamından izole edilmiştir (Williams, 2002).

Yüzey doldurma, atık yığını ve toprak arıtma tesisi, kuyu ve toprak değişiklikler landfill dahil değildir (Newson, 2021). Çöp imha hücrelere ayrılmış ve burada sadece tek bir hücre atık kabul etmeye bir anda açık olmasına dikkat edilmelidir (J.Rank, 2021). Williams'a göre, atık, tehlikeli olmayan atıklar ve atık depolama için üç farklı türden oluşmaktadır. Tehlikeli atıklar için düzenli depolama alanları bulunmaktadır. Her depolama türü sadece uygun atık türünü kabul etmektedir (Williams, 2002). Bir alt astar, bir sızıntı toplama sistemi, bir kapak ve doğal hidrojeolojik ayarları depolama için gerekli sonraki unsurları güvence altına alınması için dikkate almak önem arz etmektedir (States, 2012). Çağdaş depolama alanı, atıkların ve sızıntıların yeraltı suyuna girmesini önlemek için bir kil ve koruyucu plastik tabaka ile yabancılaştırılmaktadır (J.Rank, 2021). Başka bir deyişle, bir alt astar, bir veya daha fazla kil veya sentetik zar seviyesinde bulunmaktadır. Ayrıca bu malzemelerin bir kombinasyonu olmaktadır. Astarın temel amacı, zemin ve yeraltı sularını sızıntı suyundan korumaktır (States, 2012). Sızıntı suyu, atıklardan geçen ve çözünen, asılı katıları veya atıkların diğer bileşenlerini özünü sağlayan bir sıvı olarak bilinmektedir. Atıklarla temas ederek kirlenmekte ve depolama alanının dibine bağlanmaktadır. Vesilind, "Sızıntı suyu, kum, çakıl veya jeosentetik malzemedен oluşan verimli bir drenaj tabakası kullanılarak depolama alanının altındaki düşük noktalara yönlendirilmektedir. "Borular, sızıntı suyu toplamak için en düşük noktaya yerleştirilir ve nemin depolama alanından ayrılmasına izin veren eğimli (Vesilind, 2002) bir kapak, suyu dışarıda tutarak sızıntı oluşumunu önlemeye yardımcı olmaktadır. Birkaç katmandan oluşmaktadır. Yeraltı suyuna kaçan atık seçeneğini azaltmak için doğal ayar dikkatle seçilmelidir (States, 2012). Düzenli depolama tesisi şekil 1'de gösterilmiştir.

Düzenli Depolama Tesisi



Şekil 1. Düzenli Depolama Tesisi

Kaynak: Arslan, 2006.

2.1.1. Gaz Toplama Sistemleri

Şehrin katı atıkları, çoğunlukla yetişebilir şartlar içerisinde çürüyerek ortalama %60 metan, %40 karbondioksit ve kıt sayıda metan dışındaki bileşiklerle iz gazları yer alan depo gazını meydana getiren biyolojik ayrışabilir moleküllerden meydana gelmektedir (Chakraborty, vd., 2011).

1. Evre: Katı atık depolama aşamasını geçince atığın parçalanabilir organik bölümü bakteriler tarafından parçalanmaya başlanıldığı birinci evre olup, sıkışmış hava nedeniyle biyolojik ayrışma ortaya çıkmaktadır. Ayrışmaya neden olan aerobik ve anaerobik canlıların ana kaynağı, toprak ürünleri olup başka işimize yaradığı yerler ise, atık su arıtma tesisi çamuru, evsel katı atık gövdesi ve sızıntı suyu döngüsüdür.

2. Evre: Ortamda oksijen biter. Anaerobik çürükçüllerin görevini yapma ortamı doğmaktadır. Biyolojik dönüştürmede elektron alma özelliği olan nitrat ve sülfat, çoğu zaman azot gazına ve hidrojen sülfite olarak daha yalın hale gelmektedir. Anaerobik

koşulların başlangıcı, yükseltgenme/indirgenme potansiyelinin varlığıyla oluşmaktadır. Nitrat ve sülfat maddelerin yalın hale gelmesi indirgenme potansiyeli tahminen -50 ilâ -100 mV'de aralığında yer alması gerekmektedir. Yükseltgenme/indirgenme potansiyel değerleri -150 mV ilâ -300 mV aralığında metan üretimi gerçekleşmektedir (Tchobanoglous ve Kreith 2002).

3. Evre: İkinci evrede oluşan çürükçüllerin yaptığı faaliyet, belirgin ölçüde organik asit oluşumunu ve azalan hidrojen gazıyla beraber üretim artış göstermektedir. Üç evrelik aşamanın birinci basamağı, yağlar, organik polimerler ve proteinler gibi yüksek moleküler kütle bileşiklerinin enzimatik değişim (hidroliz) şeklinde gerçekleşmektedir. İkinci adım (asetojenesis), tipik örneği asetik asit olan ortalama düşük moleküler ağırlıklı bileşikler ile fulvik ve diğer kompleks organik asitlerin düşük konsantrasyonlarından oluşan bileşiklerin bakteriyel dönüşümünü içermektedir. Karbondioksit bu aşamada meydana gelmekte ve düşük oranda hidrojen gazı da (H_2) ortaya çıkmaktadır. Bu dönüşümde rol oynayan ve metanojenik olmayan çürükçüller, fakültatif ve zorunlu anaerobik bakterilerdir. Bu mikroorganizmalar, genellikle asitojenler veya asit oluşturucular olarak adlandırılmaktadır. Bu evre boyunca asit üretimi nedeniyle, gövde içinde yer alan sıvıların pH'sı düşmekte ve oluşan sızıntı suyu pH'sı, organik asitler ve gövde içinde yükselmiş karbondioksit konsantrasyonu sebebiyle 5 veya daha düşük bir değeri göstermektedir. Bu evre boyunca, sızıntı suyundaki organik asitlerin karışması biyokimyasal, kimyasal oksijen ihtiyacı ve sızıntı suyunun iletkenliği artış gösterir. Sızıntı suyunun düşük pH değeri sebebiyle fazla sayıda inorganik bileşenler ve başlıca ağır metaller çözünmektedir. Eğer sızıntı suyu geri devri özelliği yoksa uygun nutrietler bu yönteme katılmaz. Sızıntı suyu ortaya çıkmıyorsa, bu duruma önem verilmekte olup ve bu aşama boyunca ortada görünen dönüşüm malzemeleri, emilmiş bileşenlerin depolama yeri olarak adlandırılan gövde suyun içerisinde kalmaktadır.

4. Evre: Metan mayalanması diye isimlendirilen 4. Evrede, asit üreticiler oluşturduğu asetik asit ve H_2 , metan ve CO_2 ye dönüştüren ikinci kümede ki mikroorganizmaların rolü etkin hale gelmektedir. 4. Evre aşamasının bitimine yaklaşırken mikro organizmalar büyür. Bu fermantasyonda faaliyet gösteren bakteriler, tam anaerobtur ve metanojenikler olarak isimlendirilmekte olup çoğu zaman, metanojenler veya metan oluşturucular olarak bilinmektedir. Bu evrede, asit dönüşümün rolü azalmasına rağmen hem asit hem de metan dönüşümü birlikte hız kazanıp bu aşamada, asitler ve asit oluşturucular tarafından üretilen

hidrojen gazı, metan, karbondioksite çevrilirken, gövde içindeki pH, 6,8- 8 aralığında daha nötr değerlere yükselmektedir. Sırayla, eğer oluştuysa sızıntı suyu pH'sı yükselir. BOİ5, KOİ (biyolojik oksijen ihtiyacı, kimyasal oksijen ihtiyacı) ve sızıntı suyunun iletkenliği düşmekte ve yüksek pH değerlerinde, daha az inorganik bileşenler çözünmekte olup, bunun bir sonucu olarak sızıntı suyu içinde buluna ağır metallerin derişimi azalmaktadır.

5. Evre: Tamamlanma aşaması diye adlandırılan bu evrede, 4. Evrede rahatlıkla parçalanmış organik tamamlayıcıların metan, karbondioksite çevrilme faaliyetinin sonunda 5. Evre başlamaktadır. Çıkan atıkların içerisindeki ürünlerle havadaki sıcaklıkla birleşmesiyle, önceki aşamalarda çevrilmeyen ama ayrışabilen atıkların belli bir kısmı çevrilmeye çalışılmakta, uygun nutrientlerin 5. Evreden önceki aşamalarda sızıntı suyuyla beraberinde ayrılması ve gövde içinde tutulan maddelerin ağır şekilde parçalanması sebebiyle ortaya çıkan depo gazının hızı belirgin seviyede düşmektedir. Tamamlanan depo gazı, metan ve karbondioksit olup depo gazının depolama yerinde kapatma metotları göz önünde bulundurularak, az ölçüde azot ve oksijen yer almaktadır (Tchobanoglous ve Kreith 2002). Depo gazının tamamlanması için uygulanan her bir aşamadaki süreç, gövde içinde organik ürünlerin çözümüne, uygun nutrientlere, nem içeriğine, nem döngüsüne ve nihai sıkıştırma ölçümünün etkisi bulunmaktadır. Gövde içinde oluşan ürünlerin yoğunluklarının artmasıyla bazı yerlerde kullanılabilir nem düşer ve bunun neticesinde biyo-dönüştürme ve gaz üretimi azalmaktadır (Tchobanoglous ve Kreith, 2002).

2.1.2. Depolama Gazı Hakkında Bilgi

Depolama gazı, depolama sahasındaki mikroorganizmalarla birlikte geliştirilen karmaşık bir gaz karışımıdır (O'leary ve Walsh, 2002). Tipik depolama gaz bileşimi Tablo 1. gösterilmektedir.

Tablo 1. Depolama gazının tipik bileşimi

Metan	50-60%
Karbondioksit	47%
Nitrojen	4%
Oksijen	0,8%
Aromatik Döngüsel Hidrokarbon	0,2%
Parafin Hidrokarbon	0,1%
Hidrojen	0,1%
Karbonmonoksit	0,1%
Hidrojen Sülfür	0,01%
İzlenebilir Komponentler	0,5%

Kaynak: O’leary ve Walsh, 2002.

Depolama gazının bileşimi enerji üreticileri için önem arz etmektedir. Vesilind’in belirttiği gibi, “ teorik olarak bir ton MSW’nin (kentsel katı atık) biyolojik ayrışması, %55 metan (CH₄) ve 530 BTU/ ft³ (19.730 kJ / m³) ısı değerini içeren 15,600 ft³ (442 m³) depolama gazı üretmektedir. Tüm atıkların nem sınırlaması nedeniyle metana dönüşmediğini dikkate almak gerekirse, gerçek metan verimi 3,900 FT³/ton (100 m³/ton) belediye katı atıklarına daha yakın olmaktadır (Vesilind, 2002). Gazın kalorifik değeri, metan ve karbondioksit gibi yanmaz gazlar gibi gazların yüzde bileşimine bağlı olup (Williams, 2002) buna ek olarak, bir sonraki bilgiler dikkate alınmalıdır - 1 m³ gaz 1,7 kWh elektrik ve 7,7 MJ ısı üretebilmektedir (Dreeshen, 2019).

Depolama gaz beklenildiği gibi verimli çalıştırıldığında, geleceğe yönelik gaz eğilimlerini tanımlamak için bir model seçilmelidir. Kişi başına atık üretimi (Vesilind, 2002) üzerinden gaz verimi rölesi tahmin etmek için matematiksel ve bilgisayar modeller kullanılmaktadır.

Aynı sırada, Williams, “Bir sahadan depolama gazı üretiminin doğru bir şekilde değerlendirilmesi, sahanın depolama gazı yoluyla enerjinin geri kazanımı için geliştirilip geliştirilmeyeceğine karar vermede önemli bir faktördür” aynı zamanda bir depolama gazı kullanım projesinde finansal yatırım için bir üst noktayı oluşturmaktadır. Değerlendirme; bilgisayar modelleme ve fiziksel değerlendirmeleri içermektedir. Atıkların heterojen yapısı ve yetersiz atık kayıtları, fiziksel değerlendirme için zorluk

çıkarmakta olup depolama gaz üretimini tahmin etmek için gaz üretiminin oranı ve süresi dikkate alınmalıdır. Modelleme teknikleri, belirli miktarda biyolojik olarak parçalanabilen atıkların belirli miktarda gaz üreteceği varsayımını içermektedir.

Depolama gazı üretim oranını tanımlamak için en sık uygulanan denklemi temsil eder (Williams, 2002)

Tablo 2. Depolama gaz üretim oranı

Oranı = kL_0e^{-kt}
Oranı = depolama gaz üretim oranı
K=oranı sabiti, atıkların bozunma değerini veya yarı ömrünü temsil eder
L0=depolama gazının nihai verimi
t =zamanı

Kaynak: Williams, 2002.

Themelis ve Ulloa'ya göre, Belediye katı atıklarındaki latent metanın %50'si depolama sahasında bir yıl içinde bulunmasıyla üretilmektedir.(Themelis ve Ulloa, 2005). Gaz göç aktif hava koşullarından etkilenir. Barometrik basınç gazının düşmesi ile çöp sahasının dışına zorlanır (O'leary ve Walsh, 2002).

2.1.3. Biyoreaktör Yaklaşımı

Modern depolama alanları, enerji geri kazanımı için stabilize edilmiş ve depolama gazı üretmek için kullanılan bir "biyo-reaktör" dür. Kamu ve doğa için güvenli alanlar olacak şekilde tasarlanmıştır. Gaz dengesi, ürünlerdeki mikrobiyal reaksiyondan yürütülmektedir (O'leary ve Walsh, 2002). Sa Elagroudy'nin belirttiği gibi, "Bir biyoreaktör depolama alanı, kolayca ve orta derecede biyolojik olarak parçalanabilen organik atık bileşenlerini dönüştürmek ve stabilize etmek için geliştirilmiş mikrobiyolojik süreçleri kullanan bir depolama alanıdır." oluşmaktadır. Biyoreaktör, enerji geri kazanımı ile atık bertarafına yeni ve eksiksiz bir yaklaşımı oluşturmaktadır (Elagroudy, vd., 2007). Depolama biyoreaktör yaklaşımının geliştirilmesi, depolama alanını biyolojik arıtma sistemi olarak optimize etmek depolama stabilizasyonu süresini azaltmayı hedeflemektedir (Eymard, 2008). Bu yenilikçi teknolojinin cazip bir özelliği olan biyoreaktör depolama alanındaki hızlı bozulma oranına değinmektedir. Depolama alanlarındaki msw biyolojik bozunması karmaşık ve değiştirilebilir bir süreç olup

depolama alanındaki mikrobiyal ekosistem farklı ayrışma noktalarına sahiptir. Sürekli büyüme döneminde metan üretimi maksimum değere ulaşmaktadır. Biyolojik bozunmanın arttırılması, depolama alanının altından toplanan sızıntı suyunun devir daimi ile gerçekleştirilmektedir. Burada, ıslak ortam ve biyolojik bozunum için gerekli besin maddelerinin temini önemli görülmüştür. Atıkların ısı iletkenliği, ısı kapasitesi ve biyolojik parametrelerin başlangıç değerleri, depolama alanının termo-biyolojik davranışına dikkat çeken ana yönler olup (Gholamifard, vd., 2008) özellikle tasarlanmış biyoreaktör depolama alanları, kontrollü koşullar altında yağmur suyunun ve kar erimesinin atık içine sızmasını en üst düzeye çıkarmaktadır. Bu sistem dikkate alındığında LFG nesil sızıntı göçün azaltılması ve artırılması ana noktasını oluşturmaktadır.

Katı atık bozulmasının iyileştirilmesi, metan üretiminin artmasına, çökmenin hızlanmasına ve katı atık ayrışmasına yol açmaktadır. Parçalama, sızıntı sirkülasyonu ve besin maddelerinin eklenmesi, sıcaklık ve nem içeriğinin kontrolü, atıkların biyolojik bozunmasını hızlandıran teknikler olup ayrıca, biyoreaktör yaklaşımına sahip depolama sahaları, emisyon azaltımına neden olan daha kontrollü seçenekler sağlamaktadır.

Ryerson Polytechnic Üniversitesi'nden Mostafa Warith "bir biyoreaktör depolama alanı, biyoreaktör prosesi uygulamasının 5-8 yıl içinde kolayca ve orta derecede ayrışabilen organik atık bileşenlerini dönüştürmek ve stabilize etmek için gelişmiş mikrobiyolojik süreçleri kullanan bir sıhhi depolama alanıdır." görüşünü belirtmektedir. Geleneksel depolama alanlarının aksine, biyoreaktör depolama alanları organik atıkların ayrışmasını ve karmaşık organik bileşiklerin dönüşüm oranlarını arttırmaktadır. Ölçüm parametreleri aynı sabit seviyede kalıp aynı zamanda biyoreaktör depolama alanları, örneğin sıvı ilavesi, odaklanmış operasyonel geliştirme tesislerinin geliştirilmesi ve uygulanması gibi özel yönetim faaliyetleri, operasyonel değişiklikler gerektirmektedir. Biyoreaktör ihtiyaçlarını desteklemek için önemli miktarda sızıntı olmayıp bu durumda su ve diğer toksik olmayan ve tehlikeli olmayan sıvılar, sızıntıyı tamamlamak için kullanılmaktadır (Warith, 2000).

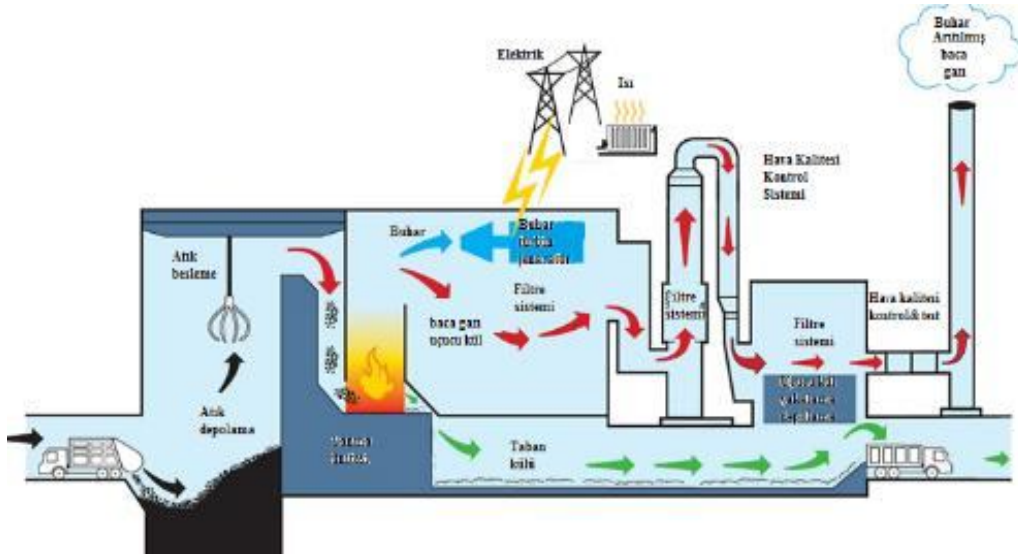
Biyoreaktör depolama alanları için birkaç operasyonel modları (aerobik biyoreaktörler, anaerobik biyoseller, aerobik olarak çalışan hücreler ve ardından anaerobik) olarak gösterilmektedir (Elagroudy, vd., 2007).

2.1.4. Depolama Gazından Enerji Eldesi

Enerji geri kazanım sistemi kurulmadan önce çöp gazının kalitesi ve miktarını tahmin etmek için çeşitli testler yapılmalıdır. Gaz üretim oranları farklı olduğundan ve çöp gazları farklı kimyasal bileşime sahip olabileceğinden önem oluşturmaktadır (O'Leary ve Walsh, 2002). Enerji geri kazanımı farklı uygulamalarla sağlanıp bunlardan biri ısıtıcılarda veya fırınlarda direkt yanma olup, ayrıca biyodizele dönüşümün bir sonucu olarak kimyasal enerji depolaması, metanol kullanılmaktadır. Diğer bir uygulama, gazın temizlenmesi ve ulusal doğal gaz şebekesine sokulmasıyla elektrik enerjisi üretimi yapılmaktadır (Bove ve Lunghi, 2004). Erken enerji geri kazanım programlarında çöp gazı, depolama sahasının yakınında bulunan fırınlar, kazanlar için yakıt olarak kullanılmaktadır. Dezavantajı, uygun bir son kullanıcının depolama sahasına yakın konumlandırılmış olması olup, güç ve elektrik sağlamak için kullanılan gazla çalışan motorlar daha sonraki şemalarda geliştirilmektedir (Williams, 2002). Enerji geri kazanım sistemi ekonomik piyasalara bağlı olarak görülüp, bir bakış açısına göre, gazı doğrudan bir kazana göndermek pratik olmaktadır. Bu, fabrika veya büyük bina çöp sahasına yakınsa mümkün olup ayrıca çöp gazı, nemi ve olası hidrojen sülfidi gidermek için filtrelerden geçirilmektedir. LFG'yi kullanmanın en basit yollarından biri kazan yakıtı olarak bilinmektedir. Bu nedenle, bir kazanın mevcudiyeti önem arz edip burada şantiye ile kazan arasında bir boru hattı inşa etmenin maliyetinin gaz değeri ile karşılaştırılması gerektiği dikkate alınmaktadır. Diğer taraftan gaz, enerji geri kazanımlı elektrik üretimi için motor-jeneratör sistemine yönlendirilmektedir. Bu durumda gazın türbinde yakıt olarak kullanılması için çok fazla arıtmaya ihtiyacı bulunmayıp, gazdaki metan içeriği türbin performansını etkilemektedir, bu nedenle gaz toplama sistemi güçlü bir şekilde düzenlenmektedir (O'Leary ve Walsh, 2002). Fosil olmayan yakıta yönelik yüksek elektrik fiyatları ve yükümlülükleri, depolama sahalarından enerji geri kazanımını zorunlu kılınmakta ve kombine ısı, güç sistemi üretmek için güç üretim aşamasından gelen atık ısının kullanımı daha ileri bir gelişme olarak görülmektedir (Bove ve Lunghi, 2004).

Örneğin, ABD'de gaz kullanım şemaları, motorda gaz kullanımından, gaz türbinlerini kullanarak doğrudan kullanım yoluyla elektrik üretimini içermektedir. Tahmini toplam elektrik üretimi, yılda 350 MW'ın üzerinde bulunmaktadır. Ayrıca, hükümet

düzenlemeleri enerji geri kazanım projelerinde çöp gazı kullanımını teşvik etmektedir. Şekil 2'e göre, enerji geri kazanım teknolojisi, gaz toplama sistemine, ön arıtmaya ve güç üretim teknolojisine dayanmaktadır. Gaz toplama sistemleri (dikey veya yatay), sahanın türüne, saha doldurma tekniklerine, atık derinliğine ve sızıntı suyu seviyesine bağlı olup gaz, merkezi bir boru hattına bağlı bir dizi delikli gaz boru hattında toplanmaktadır. Gaz üretim hızı, kuyuların aralıkları için önemli bir rol oynayıp ve gaz sıcaklıkları bir yoğuşma giderme sistemi gerektirmektedir. Su buharını çıkarmak için kullanılmaktadır ve gazı sıvı hale dönüştürmemek için hem yerin altında hem de üstünde yoğuşma sistemi gerek duyulmaktadır. Gaz akışından belirli bir malzemeyi çıkarmak için sistemin bir filtreye ihtiyacı olup aşındırıcı eser gazlar ve buharlar mevcutsa, aşağıdaki aşama ek bir gaz temizliği gerek duymaktadır.



Şekil 2. Çöp gazı enerji geri kazanım projesinin şematik diyagramı

Kaynak: İstaç, 2015.

Çöp gazının büyük bir kısmının yanmaz karbondioksitten oluştuğu ve bu da gazın kalorifik değerini düşürdüğü yaygın olarak bilinmektedir. Sonuç olarak temizleme sistemi karbondioksitin çıkarılmasına ihtiyaç duyulmakta ve buradaki olumsuz yönü, sistemlerin kurulumunun ve bakımının pahalı olması öne sürülmektedir. Çöp gazının kullanımı için fırsat vardır: Kazanlarda, fırınlarda ikame yakıt olarak doğrudan kullanım yoluyla, elektrik üretimi için veya CNG, LNG ikame doğal gaz üretmek için yükseltme ve kimyasal hammadde olarak kullanım bulunmaktadır. Doğrudan kullanım, yakma ünitesinin yakma sisteminde minimum modifikasyon yapılması gerektiğinden ve nakliye

maliyetleri minimum olduğundan, en ucuz yol olarak görülebilmektedir. Elektrik üretimi durumunda motorlar saf çöp gazı ile veya doğal gaz ile birlikte kullanılıp doğal gaza göre gazın kalorifik değerini ve tutuşabilirliğini düşürdüğü için karbondioksitin varlığı dikkate alınmaktadır. Depolama sahası ve araçlar için gaz kullanılacaksa, gazın gerekli şartnamelere yükseltilmesi gerekmektedir. Çöp gazı ikame doğal gaz olarak kullanılacaksa, gaz endüstrisi şartnamelerine uyacak şekilde temizlenmektedir. Burada kalorifik değer, ince partikül malzeme, eser bileşenler dikkate alınmaktadır. Çöp gazı tutarlı bir bileşime ulaşmalı ve gazın kimyasal amaçla kullanılması da mümkün olmaktadır. Bu durumda, geniş bir ürün yelpazesi potansiyel olarak metandan elde edilmektedir (Williams, 2002).

Elektrik, ulusal şebeke aracılığıyla taşınabilir, bu nedenle elektrik üretiminin en önemli avantajı, son kullanıcıların atık depolama sahasına yakın olarak konumlandırılmaması gösterilmektedir. Çöp gazında klorlu organik bileşiklerin varlığı, gazın yanmasını etkilemekte çünkü burada egzozda dioksin ve furan oluşumu sağlanmaktadır. Bu tür elemanların oluşumunu en aza indirmek için, uzun yerleşim süresi ile yüksek yanma sıcaklıklarına yardımcı olmaktadır.

Çöp gazı kullanımı için temel olarak aşağıdaki mekanizmalar ve teknikler kullanılmaktadır.

- Kazanlar elektrik değil termal enerji veya ısı üretip çöp gazı kirleticilerine duyar sağlamamaktadır. Üstelik kazanlar diğer yöntemlere göre daha az temizlik gerektirmektedir. Boru hatları kazanlara gaz getirip gaz, hidrojen sülfür gibi aşındırıcı elementler içerdiğinden boru hatları, gazın temizlenmesini gerektirmektedir (Cheremisioff, 2003).
- Pistonlu içten yanmalı motor (ICE) LFG'den elektrik geri kazanımı için en sık kullanılan teknolojilerden biri olup yenilenen gücün proses ekonomisi ile birleşimi bunun ana sebebi olarak nitelendirilmektedir. ICE, düşük ekonomik risklere sahip konsolide bir teknoloji olup ICE yoğunlaştırılmış bir yapıya sahip olup, taşınması kolay bir şekilde gerçekleştirmektedir. R.Bove ve P.Lunghi, ICE'nin ana dezavantajının yüksek kirlilik olduğunu düşünmektedir (Bove ve Lunghi, 2004).
- Gaz türbini, elektrik kayıpları ve nispeten düşük performans nedeniyle daha az uygulanabildiği görülmektedir. Ancak ICE'nin aksine, bu teknolojinin emisyonları önemli ölçüde azalmaktadır.

- Günümüzde organik rankine döngüsü (ORC) jeotermal enerji dönüşümü için kullanılmaktadır. ORC, harici bir yanmalı motor olup ancak enerji kaynağı LFG ise, herhangi bir işlem değişikliği olmamaktadır
- Yakıt hücreleri, ulaşan hidrojen gazının bir oksidan ile reaksiyona girmesiyle enerji ve ısı elde edilmesini sağlamaktadır. Su, ürün olarak ortaya çıkıp yakıt hücrelerinde yanma olmadığından kirleticiler azalış ivmesi görülmektedir. Yakıt pilleri, yüksek verimlilikleri ve düşük kirlilik emisyonlarına sahip oldukları ısı ve güç üretiminin bir kombinasyonunu gerçekleştirebilecekleri için sabit uygulama için ilginç bulunmaktadır.
- Erimiş karbonatlı yakıt hücreleri (MCFC) yüksek sıcaklıklarda çalışmaktadır. Burada asil metaller elektrokimyasal reaksiyon için katalizör olarak önemli olup sonuç olarak, erimiş karbonat yakıt hücreleri, düşük sıcaklıktaki hücrelere kıyasla daha yüksek saf olmayan konsantrasyonlarıyla çalışmaktadır. LFG için yaşam döngüsü değerlendirmesi, etkileyici bir kirlilik azalması göstermektedir. Düşük gürültü emisyonları ile birlikte elde edilen yüksek enerji dönüşüm verimliliği R. Bove makalesinde, bu teknolojinin ana dezavantajının, erimiş karbonatlı yakıt hücrelerinin kanıtlanmış ve onaylanmış bir teknoloji olarak kabul edilemeyeceğinden yüksek sermaye maliyetleri olduğunu öngörmüştür;
- Katı oksit yakıt hücrelerinin (SOFC) 800-1000 C arasında çalışma sıcaklıkları olup bu, yüksek dahili performansa, yakıt olarak karbon monoksit kullanımına yol açmaktadır. Ancak 800 C'nin altındaki sıcaklık, üretim maliyetini düşürmektedir. R.Bove ve P.Lunghi'ye göre içten yanmalı motor en önemli kirliliğe neden olan ancak Stirling döngüsü motorlarından ve yüksek sıcaklık hücrelerinden kaynaklanan emisyonlar çok düşük olarak ortaya çıkmaktadır. Yakıt pillerinin yüksek enerji dönüşüm verimliliğinin ekonomik olarak daha rekabetçi hale gelebileceği sonucuna ulaşılmaktadır (Bove ve Lunghi, 2004).
- Fosforik yakıt asit hücresi ticari bir teknoloji olup yanmaz çöp gazı toplama, ön arıtma, yakıt hücreleri işleme sistemi, yakıt hücresi yığınları ve bir güç şartlandırma sisteminden oluşmaktadır. Birkaç kimyasal reaksiyon, bir alevle harap olan su, elektrik, ısı ve atık gazların üretilmesine neden olmaktadır (Cheremisnoff, 2003).

2.1.5. Depolama Gazı Yönetimi

Çöp Gazı, biyolojik olarak parçalanabilen atıkları kabul eden tüm çöplüklerden biriktirilip arıtılmalı ayrıca kullanılmaktadır. Enerjinin toplanamadığı durumlarda çöp gazı imha edilmektedir. Toplama ve yakma, metanın küresel ısınma potansiyelinin bir nedeni olarak sera etkisinin güçlü bir şekilde azaltılmasını desteklemektedir.

Bazı yönetim dönüştürme sistemleri şu şekilde özetlenmektedir:

- Pistonlu motorda çöp gazı kullanımı
- Uygun yakıt satışlarında çöp gazı doğrudan kullanımı
- CO2 giderimi ile ilişkili çöp gazı buhar kojerasyonudur.

Çöp gazı yakma yardımıyla enerjiyi geri kazanma potansiyeli, çöp sahası maliyetlerinin değerlendirilmesinde yer alan önemli bir faktör olup çöp gazından elektrik üretimi, operatörlerin fosil olmayan yakıt yükümlülüğü (NFFO) sözleşmesi için teklif vermesine izin vermektedir. Bu da genel havuz fiyatının üzerindeki oranlarda elektrik için pazarlıklı bir ücret sağlamaktadır. Bir depolama sahasından elektrik üretimi, fosil olmayan yakıt yükümlülük sözleşmesinin verileceğini ve dolayısıyla genel elektrik havuz fiyatının elde edileceğini garanti etmemekte ve fosil olmayan yakıt yükümlülüğü sözleşmesi verilecekse, depolama sahası maliyeti daha da azalmaktadır. Fosil olmayan yakıt yükümlülüğünün getirilmesi, atıktan enerji gibi yenilenebilir enerji programlarının geliştirilmesini teşvik edip, teknolojileri geliştirmek için bir yöntem olarak görülmektedir. Bazı elektrik üretim programları, fosil olmayan yakıt yükümlülüğü planı dışında geliştirilmektedir. Çöp gazı enerjisi geri kazanım projeleri, atık depolama sahalarının ekonomisi üzerinde önemli bir etkiye sahip olup atık gazının fırınlarda, kazanlarda doğrudan kullanımı en düşük maliyetli seçenek olarak gösterilmektedir. Çünkü gaz taşıma maliyetleri ve yakma sisteminin brülöründe yapılan değişiklikler minimum seviyede olup kıvılcım ateşlemesine dayanan elektrik üretim şemaları; dizel motorlar ve gaz türbini tesisi, elektrik santraline, üretim ünitelerine ve ilgili elektriğe yatırım yapılması gerekmektedir (Williams, 2002).

2.2. Gazlaştırma

Gazlaştırma, gelişmiş bir ısı işlem olup dahası, gazlaştırma işlemleri, atıktan değer elde etmek ve yeniden kullanıma daha uygun katı kalıntılar üretmek için birikim önermektedir. Ayrıca, gazlaştırma, yakma ve çöp sahasına kıyasla kendisini temiz bir enerji geri kazanım teknolojisi olarak ortaya çıkmaktadır (Yassin, vd., 2007). Gazlaştırma işleminde hava, buhar veya saf oksijen şeklindeki oksijen, yüksek sıcaklıklarda atıktaki mevcut karbon ile reaksiyona girerek bir gaz ürünü, kül ve bir katran ürünü üretmektedir (Williams, 2002). Gazlaştırma, stokiyometrik yanma için gerekenden daha düşük bir oksidan miktarının varlığında atığın kısmi oksidasyonu olarak da tanımlanıp bu işlem, farklı kalorifik değerlere sahip önemli miktarlarda tamamen oksitlenmemiş ürünler içeren bir sıcak yakıt gazı veya sentez gazının üretilmesi ile sonuçlanmaktadır. Atığın organik maddesi esas olarak karbon monoksit, hidrojene ve daha düşük miktarlarda metana dönüştürülmektedir (Arena, 2011). Hava gazlaştırma kullanılırsa, nitrojen de ana bileşen olarak ortaya çıkmaktadır (Williams, 2002). Sürecin bir açıklaması daha Salerno Üniversitesi'nden Belgiorno tarafından verilmiştir: "Gazlaştırma, genel olarak katı veya sıvı karbon bazlı bir malzemenin (besleme stoğu) yanıcı gazlı bir ürüne (yanıcı gaz) termokimyasal dönüşümü olarak tanımlanmaktadır (Belgiorno, vd., 2002). Termokimyasal dönüşüm, yüksek sıcaklık yardımıyla biyokütlenin kimyasal yapısında değişiklikler anlamına gelip temsilci, hammaddenin hızla gaza dönüştürülmesine fırsat vermektedir (Belgiorno, vd. 2002). Gazlaştırmanın neredeyse homojen hammadde gerektirdiğini hesaba katmamız gerekmektedir (Stantec Consulting LTD, 2011).

Gazlaştırma işlemi doğrudan ve dolaylı olabilmektedir. Doğrudan gazlaştırma sırasında, besleme stoğunu kısmen oksitlemek için bir oksidan ajan kullanılmaktadır. İşlemin sıcaklığı oksidasyon reaksiyonları ile desteklenmektedir. Buna karşılık dolaylı oksidasyon, buhar gibi harici bir enerji kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır (Belgiorno, vd., 2002). Gazlaştırma işleminin çalışma sıcaklıkları nispeten yüksek olup havayla gazlaştırma ile 800-1100C ve oksijen ile 1000-1400C' aralığında gözükmektedir. Ürün gazının kalorifik değerleri, havayla gazlaştırma için düşük, 4-6 MJ / m³ aralığında ve oksijenle gazlaştırma için yaklaşık 10-15 MJ / m³ orta değer de seyretmektedir (Mountouris vd., 2006). Elektrik üretimi yaklaşık 0,4 - 0,8 MWh / yıllık ton katı atık ve 0,3-0,6 MWh / yıllık ton katı atıktır (Stantec Consulting LTD, 2011). 20 bar'a kadar basınçlarda ve 700 ile 900 C arasındaki sıcaklıklarda buharla gazlaştırma, orta ısıl değere

sahip bir yakıt gazı üretilmektedir. Atığın ısıtılması pirolitik reaksiyonlar ve metan üretip ve daha yüksek moleküler hidrokarbonlar oluşmaktadır. Hava kullanıldığında, havadaki yanmaz nitrojen, seyreltme yoluyla ürün gazının kalorifik değerini kaçınılmaz olarak düşme görülmektedir (Williams, 2002). Enerji üretimi; besleme atığının nem içeriğine, hava / oksijen miktarına, gazlaştırma enerjisine, proses tarafından üretilen net termal enerjiye, üretilen gazın ısıtma değerine, reaktör sıcaklığı gibi etmenlere bağlılık göstermektedir (Mountouris, vd., 2006). Artık bertaraf için çöp sahası kapasite tüketimi% 90 ila 95 oranında düşüş olmaktadır (Stantec Consulting LTD, 2011). Raporunda verilen bilgilere göre, gazlaştırma, atık ön işleme ve teknolojinin karmaşıklığının bir sonucu olarak yüksek işletme ve sermaye maliyetlerine sahip olma eğiliminde bulunmaktadır.

2.2.1. Gazlaştırıcı Reaktör Sistemi Türleri Ve Bileşikleri

Temel olarak, bir gazlaştırma sistemi, yanıcı gazın üretimi için gazlaştırıcı, gaz temizleme sistemi ve enerji geri kazanım sistemi gibi üç ana unsur bulunmaktadır. Ayrıca çevresel etkileri kontrol edecek teknolojilerle gazlaştırma sistemi tamamlanabilmektedir (Belgiorno, vd., 2002).

2.2.2. Ana Atık Gazlaştırıcı Reaktör Sistemi Türleri

a. Updraft gazlaştırma: Hava, atık hava akışına ters yönde akarken, reaktörün tabanından yukarı doğru akmaktadır. Gazlaştırma, yavaş hareket eden “sabit” bir yatakta gerçekleşip oluşan nem, katran ve gazlar sıcak bir kömür yatağından geçmediğinden, katran ve ağır hidrokarbona daha az termal bozulma olur ve bu nedenle ürün gazı nispeten yükselmektedir. Katran, katranın termal bozulmasını artırmak için yoğunlaştırılıp ve geri dönüştürülebilmektedir.

b. Aşağı akımlı gazlaştırma: Hava ve atık akışı aynı anda reaktöre inmektedir. Gazlaştırma, yavaş hareket eden “sabit” bir yatakta gerçekleşmektedir. Katranların ve ağır hidrokarbonların yüksek sıcaklıkta oksidasyon bölgesinden çekilip, artan hidrojen ve hafif hidrokarbon konsantrasyonları üreten artan bir termal parçalanma seviyesi oluşmaktadır. Hava / buhar veya oksijen, katran çatlama derecesini etkileyen reaktördeki bir “boğaz” veya dar bölümün hemen üzerine verilmektedir.

c. Akışkan yataklı gazlaştırma: Atık, yüksek sıcaklıkta akışkan yatağa beslenmektedir. Akışkan yatak, katıların gazlaştırma işlemi boyunca yatakta tutulduğu bir kabarcıklı yatak olabilmektedir. Alternatif olarak, dolaşım yatakları yüksek akışkanlaştırma hızlarında kullanılıp; katılar elüte edilmektedir. Ayrılır ve yüksek katı / gaz oranında reaktöre geri dönüştürülüp, bu da artan reaksiyona neden olmaktadır. İkiz akışkan yataklı reaktörler, birinci yatağın atığın gazlaştırılması için kullanıldığı ve kömürün ayırmaya ve ardından ikinci akışkanlaştırılmış yatağa geçirildiği yerlerde kullanılmaktadır. Burada kömürün yanması, gazlaştırıcı reaktör için ısı sağlamaktadır.

Gazlaştırma sisteminin özellikleri, atık bileşimi ve çalışma koşulları katran, hidrokarbon gazları ve kömüre neden olup bunlar, atığın eksik gazlaştırılmasının ürünleri olarak bilinmektedir. Gaz halindeki ürünün kullanımı genellikle bir kazan veya fırında doğrudan yakma ile olup ısı enerjisi, proses ısısı için veya elektrik üretimi için buhar üretmek için kullanılmaktadır. Ancak sıralı gaz katran, kömür ve hidrokarbon gazları içermektedir. Bu nedenle kazan veya fırın brülör sistemi bu kirleticileri tolere edebilmeli ve kirlenmeye veya tıkanmaya duyarlı olmamaktadır. Kentsel katı atık gibi heterojen atığın gazlaştırılması, kazanın veya fırının bileşimi ve kazan sisteminde değişiklik gösterebilen bir gaz üretilip, bir dizi gaz bileşimi ve kalorifik değerleri işleyebilmektedir. Ürün gazının kullanımının, güç veya elektrik üretmek için gaz türbinlerinde veya içten yanmalı motorlarda olması durumunda, gazın doğrudan yakma sistemlerinden daha yüksek bir spesifikasyona göre temizlenmesi gerekmektedir. Gazın yakma ünitesine borulması, borunun aşınmasını ve katran ve suyun birikmesini önlemek için kullanımdan önce soğutulmasını ve temizlenmesini gerektirmektedir. Atığın termokimyasal işlenmesindeki bazı modern gelişmeler hem piroliz hem de gazlaştırma kullanılmaktadır. Burada birkaç sistem gözden geçirilebilmektedir. Bunlar arasında Siemens, Almanya'nın kombine piroliz-yanma sistemi, TSK, Japonya tarafından iki aşamalı piroliz, Proler, ABD'nin piroliz nitrifikasyon sistemi bulunmaktadır (Williams, 2002).

2.2.3. Noell Atık İşleme Süreci

Noell atık arıtma süreci, piroliz ve sürüklenen akışla gazlaştırma kombinasyonuna dayanmaktadır. Sistem, evsel atıkları, kanalizasyon çamurunu, tehlikeli atıkları ve biyokütleyi yılda 100.000 tona varan çıktılarla arıtmak için tasarlanmaktadır. Piroliz bölümü, atıl bir gaz atmosferi altında çalıştırılan, dolaylı olarak ısıtılmış, gazla çalışan

döner bir fırından oluşup; gaz, atık arıtma işleminden elde edilmektedir. Kıyılmış atık piroliz reaktörüne yaklaşık 550 ° C’de beslenip ve fırında katı tutma süreleri yaklaşık 1 saatte olmaktadır. Kömür ürünü, demirli ve demirsiz metaller kömürden ayrılmaktadır. Kömür daha sonra öğütülüp ve sürüklenen akışlı gazlaştırıcıya aktarılmaktadır. Piroliz gazları ve taşınan yağ, su ve toz söndürülmektedir.

Yoğunlaştırılmış yağ, toz taşınması ve gaz artı öğütülmüş kömür gazlaştırıcıya aktarılmaktadır. Gazlaştırıcı, partikül boyutu 1 mm küçük olan ve yaklaşık 350 kg / m³ katının yeniden yüklenmesine sahip atıl katı bir malzemenin bir brülöre, piroliz ürünleri ve oksijen ile beslendiği, sürüklenen bir akış tipi olarak gösterilmektedir. Gazlaştırıcıda 1400 ° C civarında yüksek sıcaklıklarda % 80 üzerinde karbon monoksit ve hidrojenden oluşan bir gaz üretmektedir. Herhangi bir katı yakıt, yüksek sıcaklıkların neden olduğu kül cürufuna dönüştürülüp, söndürülmekte ve granül haline getirilmektedir. Elde edilen gaz soğutulup, temizlenmekte ve enerji geri kazanımı için kullanılmaktadır. Yüksek gazlaştırıcı sıcaklıkları, toksik hidrokarbon bileşiklerini tamamen yok edilip ve çalışma koşulları, dioksinlerin ve furanların ortadan kaldırdığı için, gaz temizleme maliyetlerini düşürmektedir (Williams, 2002).

2.2.4. Gazlaştırma İşlemlerinin Sınıflandırılması

1. Gıda atıklarının gazlaştırılması: Gıda atıklarının gazlaştırılması için akışkan yataklar kullanılabilir. Bu durumda, yüksek sıcaklıkta bir yakıt erişimli ortamda bir besleme hücresinin su ve oksitleyici ile reaksiyona girmesine izin verilmektedir. Gazlaştırma, yüksek sıcaklıklarda hammadde gruplarının yeterli kalış süresine ve uygun bir karıştırmaya bağlı olarak bilinmektedir. Oksitleyici olarak havanın kullanılması durumunda, son gaz ürünü CH₄, CO ve H₂ gibi ana kimyasal bileşenlerle tek bir hatta önemli miktarlarda H₂O, CO₂ ve N₂ içermektedir. Caton ve diğerlerine göre atık gıdanın gazlaştırılması,% 30’dan daha az su içeriği ile 2:2’ye kadar olan yakıt-hava eşdeğer oranları ile sınırlı olarak bilinmektedir (Caton vd., 2009). Artan su içeriği ile denge sıcaklığı düşüş göstermektedir. Bu nedenle, daha yüksek su içeriğine sahip yiyecek atığının gazlaştırmadan önce önemli ölçüde de hidrasyona ihtiyacı olmaktadır. Caton ve diğerlerine göre (2009), “Üretici gazdaki CH₄ varlığı, gazlaştırıcıdaki su miktarından neredeyse bağımsız olup ve reaksiyon daha fazla yakıt erişimi olursa istikrarlı bir şekilde artmaktadır.” Bunun aksine, su içeriği ve denge oranı CO içeriğini etkilemektedir (Caton vd., 2009).

2. Atmosferik-basınçlı gazlaştırma işlemi: İşlem, biyokütle ve katı atıklar gibi ısı ve enerji üretimini üretmek için kullanılmaktadır. Gazlaştırma elektrik üretimini% 50'ye kadar artırmaktadır. M. Morris ve L. Waldheim'a göre, atmosferik basınçta gazlaştırma işlemi, "bir katran kırma teknesine bağlı" atmosferik basınçta dolaşan akışkan yataklı gazlaştırıcıya dayanmaktadır. Teknoloji iki ana adım içermektedir

İlk adım CFB reaktöründe (sirkülasyonlu akışkan yatak) bir yakıtın gazlaştırılmasını içerip, ikinci adım ürün gazının iki adımda temizlenmesi: sıcak ve soğuk ürün gazlarının temizlenmesi olarak bilinmektedir. Üretilen gaz enerji açısından zengin olup ve bir gaz kazanında veya gaz türbininde ateşlenebilmektedir. Kapsamlı bir baca gazı temizliği bulunmayıp, bir gaz kazanında soğuk temiz ürün gazı kullanılmakta ve kısa vadede ekonomik avantajlar elde edilebilmektedir (Morris vd., 1998).

3. Karbo-V gazlaştırma teknolojisi: Carbo-V gazlaştırma teknolojisi iki aşamalı bir süreç olup birincil aşamada, kurutulmuş ve ön işleme tabi tutulmuş atığın hava üfleli gazlaştırılması, 30 dakikadan daha az bir süre için düşük sıcaklıkta bir reaktörde 300-350°C'de gerçekleşmektedir. İkinci aşamada ürünler, külün vitrifikasyonunu sağlamak için 1400-1500 C° 'de iki aşamalı bir reaktörle önceden ısıtılmış hava veya oksijen ile gazlaştırılmaktadır. Malkow'un "Atık Yönetimi" dergisindeki makalesinde bahsettiği gibi, cüruf reaktör duvarları boyunca akıp ve altta bir su banyosunda toplanmakta olup, gaz reaktöre kısmen yanarak girmektedir.

MCV (orta kalorifik değer) gazı katransız olup ve 5 MW gaz motoru için% 25 elektrik verimi ile enerjik olarak kullanılabilir. Ek olarak, Yüksek Kalorifik değerli gaz, CO'yu H₂'ye dönüştürerek elde edilebilmektedir (Malkow vd., 2003).

4. BCL / FERCO gazlaştırma teknolojisi: Allotermal iki kapılı gazlaştırma teknolojisi, düşük giriş hızlı yüksek çukurlu atmosferik gazlaştırıcı ve yakıcıya dayanmaktadır. Biyokütlenin gazlaştırılması buhar kullanılarak bir kapta 830C'de gerçekleştirilmektedir. Hava ile akışkan yatak yakma işlemi başka bir kapta kum kullanılarak gerçekleşmektedir. Ancak tüm gemiler birbirine bağlı olup ve bu durumda sıcak kum gazlaştırıcıya doğru hareket etmektedir. Orta kalorifik değerli gaz, motorda veya türbinde kullanılabilir (Malkow vd., 2003).

5. Krupp-Uhde Pre-Con Prosesi: Modüler akışkan yatak gazlaştırma ile atık, biyokütle ve / veya kömürün termal olarak arıtılması amaçlanmaktadır. Üretici gazı bir kazan, gaz motoru ve türbinde kullanılmaktadır.

İlk olarak, yakıt, metal parçacıkları gidermek için taramaya gidip ve % 10'dan daha az neme ve ardından hava veya oksijenle üfleli gazlaştırma için kurutulmaktadır. Günümüzde 1 ton / saat atmosferik gazlaştırıcı Almanya'da bulunmaktadır. 30 ton / saat oksijen üfleli ortak gazlaştırma Almanya'da 950C'de ve 10 barda çalışmaktadır. Metanol üretimi için kontamine kok, ön işleme tabi tutulmakta MSW, tüketici sonrası plastikler ve lağım çamurunu kullanılmaktadır (Malkow vd., 2003).

6. Plazma gazlaştırma teknolojisi: Gelişmiş ve çevre dostu gazlaştırma yöntemi, katı atıkların ve arıtma çamurlarının bertaraf edilmekte ve kullanılabilir ürünlere dönüştürülmesi için kullanılmaktadır. Ana fikir, oksijensiz bir ortamda aşırı yüksek sıcaklıklar vasıtasıyla atıkları basit moleküller halinde işlemektedir. Ana ürün, enerji üretmek için kullanılan sentez gazı olarak nitelendirilmektedir. Yukarıdaki işlemin temel avantajı, karbonun büyük kısmının atık minimum yanmanın bir sonucu olarak yakıt gazına dönüştürülmekte olup; organik materyali elektriğe dönüştürmek için önemli bir potansiyel kullanılmaktadır. Atık hacmi azaltmaya ek olarak, plazma gazlaştırma, toksik organik bileşikleri ortadan kaldırıp ve inert sümüklü böcek içindeki ağır metalleri sabitlemektedir (Mountouris vd., 2006).

2.3. Piroliz

2.3.1. Piroliz Süreci

Günümüzde piroliz, enerji geri kazanımı görüntüsü ile minimum çevresel etkiye sahip alternatif bir teknoloji olarak görünmektedir (Shah, 2000). Pirolizin atık yönetimine uygulanması nispeten kızgın bir gelişme olarak bilinmektedir (Williams, 2002). Piroliz, karbonlu bir kömür, yağlar ve yanıcı gazlar üretmek için oksijen yokluğunda organik atığın termal bozunması olarak gösterilir. 400-80 ° C aralığında nispeten düşük sıcaklıklar kullanılmaktadır (Williams, 2002). Piroliz, reaksiyonun gerçekleşmesi için (endotermik) ısı sağlanması gereken bir reaksiyon olup, oysa yakma işleminde ısı üretilmektedir (ekzotermik). Selüloz kullanan tipik bir pirolitik reaksiyon $C_6H_{10}O_5 = CH_4 + 2CO + 3H_2O + 3C$ 'dir.

Burada gaz metan, karbon monoksit ve nem içermektedir. CO ve CH₄ yanıcı olup ve üretilen gaza pozitif bir ısıtma değeri sağlamaktadır. Bir kömür olan karbon kalıntısı (3C) da bir ısıtma değerine sahip olmaktadır. Kömür, karbon bakımından zengin bir katı olarak bilinmektedir (Shah, 2000).

Piroliz ürünlerinin bileşimi ve verimi, işletim parametrelerinin (basınç, sıcaklık, zaman, hammadde boyutu, yardımcı yakıtlar) kontrol edilmesiyle değiştirilebilmektedir (Shah, 2000). Piroliz sıcaklığı ve ısıtma hızları, ürün dağılımı üzerinde en önemli etkiye sahip olmaktadır. Williams'a göre, "Piroliz, göreceli olup piroliz teknolojisi tarafından dikte edilen kömür, gaz ve petrol üretilmektedir." Yaklaşık 20C / dak ila 100C / dak aralığındaki orta ısıtma hızları ve maksimum sıcaklık 600C, neredeyse eşit bir yağ, kömür ve gaz dağılımı sağlamaktadır. Yaklaşık 100C / dak ila 1000C / dak arasındaki çok yüksek ısıtma hızları ve 650C'nin altındaki sıcaklıklar esas olarak sıvı oluşumuna yol açmaktadır. Ancak yüksek ısıtma oranları ve yüksek sıcaklıklar, gaz ürünleri geliştirmeye zorlamaktadır. Piroliz koşulu, gerekli ürünü üretmek için optimize edilebilmektedir. Tablo 3, farklı piroliz türlerinin tipik özelliklerini göstermektedir.

Tablo 3. Farklı piroliz türlerinin tipik özellikleri

Piroliz	Isıtma oranı	Reaksiyon ortamı	Basınç (bar)	Sıcaklık (C)	Önemli ürünler
Karbonizasyon	Çok düşük	Yanma ürünü	1	400	Kömür
Konvansiyonel	Düşük Orta	Birincil / ikincil ürünler	1	600'den az	Kömür
Flash-Sıvı	Yüksek	Birincil ürünler	1	600'den az	Kömür
Flash-Gaz	Yüksek	Birincil ürünler	1	700'den fazla	Kömür
Ultra	Çok Yüksek	Birincil ürünler	1	1000	Kömür
Vakum	Orta	Vakum	0,1'den az	400	Kömür
Hidropiroliz	Yüksek	H ₂ + birincil	20	500'den az	Kömür
Metanoliziyile	Yüksek	CH ₄ + birincil	3	1050	

Kaynak: Williams, 2002.

Atıktan bir yağ ürünü üretmenin avantajları, yağın piroliz tesisinden uzağa taşınabilmesi, doğrudan yakıt ve enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Yağ ayrıca önemli ısı değerlere sahip olmaktadır. İşlemden üretilen gazlar başlıca karbondioksit, karbon monoksit, hidrojen, metan olarak bilinmektedir. Gazlar yaklaşık 40MJ / m³ civarında

önemli bir kalorifik değere sahip olmaktadır. Kalorifik değer, yüksek hidrojen ve diğer hidrokarbon konsantrasyonlarından kaynaklanmaktadır. Piroliz gazlarının kalorifik değeri, piroliz üretim tesisi için enerji gereksinimlerini karşılamak için gazın kullanılmasına fırsat vermektedir (Williams,2002). Üretilen karakterler, enerji gereksinimlerini karşılamak için doğrudan yakıt olarak kullanılmakta, daha yüksek dereceli bir aktif karbon üretmek için yükseltip veya yanma için bulamaç üretmek için piroliz yağı ürünleriyle karıştırılabilmektedir. Atık malzemenin pirolizi için çok çeşitli teknolojiler kullanılmaktadır. Tasarım, yapılmakta olan piroliz tipine göre belirlenmektedir (Williams, 2002).

2.3.2. Piroliz İşlemlerinin Sınıflandırılması

İlk olarak, BKA (bitkisel katı atığın) pirolizini RDF (atıktan üretilmiş yakıt) biçiminde ele alınmaktadır. Bu durumda cam ve metaller gibi geri dönüştürülebilir bileşenler ayrılmaktadır. Buah ve diğerleri "atıktan türetilmiş yakıt", kentsel katı atıktan türetilmiş bir yakıt olarak belirtmektedir." Yanıcı malzemelerin konsolidasyonuna yanıcı olmayan malzemelerin ortadan kaldırılması, düşük kalori değerine sahip malzemelerin (çürüyen maddeler) uzaklaştırılmasıyla ulaşılabilmektedir. ATY üretimindeki en önemli adımlar, elleçleme, kırma, manyetik ayırıcı ile metallerine ayırma, kaba parçalama ve yakıtın fiziksel özelliklerini kontrol etmek için bir dizi işlemden oluşmaktadır (Buah vd., 2007). ATY'nin termal ayrışması partikül boyutuna bağlıdır.

Piroliz (Char) ürününün temel özellikleri:

- Düşük piroliz sıcaklıkları daha sert karakterlerin oluşumunu zorlamaktadır
- ATY pirolizinden gelen karakterlerin özgül yüzey alanları, sıcaklık 400 C'den 700 C'ye yükseldikçe artmaktadır
- Karakter numunelerinin nem tutma kabiliyeti sıcaklığın yükselmesiyle azalmaktadır
- Türetilen karakterlerin özellikleri partikül boyutuna bağlı olmaktadır
- Gazlı ürünlerin temel özellikleri:
- Ana gazlar CO₂, CO, H₂, CH₄, C₂H₆ ve C₃H₈'dir ve diğer hidrokarbon gazlarının daha düşük konsantrasyonu var olmaktadır

- Daha yüksek gaz verimi, 750 C'nin üzerindeki sıcaklıklarda meydana gelen, reaktörün sıcak bölgesinde piroliz ürünlerinin harcadığı zamana bağlı olmaktadır
- CO₂'nin aksine, H₂, CH₄ ve CO'nun yüzde konfigürasyonu 400-70C sıcaklık aralığında artar, hidrokarbon yüzdesindeki artış 60C'ye kadar olmaktadır
- Ürün gazlarındaki yüksek CO₂ ve CO konsantrasyonu, orijinal malzemedeki oksijenli yapılardan elde edilmektedir
- Yağ / mum ürünlerinin temel özellikleri:
- Suyun ayrılmasından sonra, ürünlerin kalorifik değeri piroliz sıcaklıklarından bağımsız olarak bilinmektedir
- Daha düşük bir kalorifik değerle sonuçlanan ürün yağlarında / mumlarında yüksek oksijen içeriği bulunmaktadır
- Biyokütle ve MSW piroliz yağları viskoz, oldukça asidik olabilir ve kolaylıkla polimerize olabilmektedir

Kimyasal olarak çok heterojen ve yüksek oranda oksijenli ürün olarak bilinmektedir (Bua, vd., 2007).

Sheffield Üniversitesi'nden Phan, ayrılmış atıkların yavaş pirolizinden elde edilen kömürün, orijinal malzemelerin enerji içeriğinin% 38-55'ini, sıvıların % 20-30'unu içerdiği sonucuna varmaktadır. Sıcaklığın artması ile kömür daha fazla kalorifik değer kazanıp, ancak enerji verimi düşmektedir. Piroliz sıvılarının kalorifik değeri yaklaşık 10–12 MJ / kg olarak bilinmektedir. Ağır yağ fraksiyonu, alkenler / sikloalkanlar gibi bir H / C oranına sahip bulunmaktadır. Sıcaklığın 60 ° C'nin üzerine çıkmasıyla sıvı verimi düşmektedir. 700C'de kuru gazların ısıtma değeri 13–16 MJ / N m³'tür (Phan vd., 2007).

Shah (2000) tarafından fark edildiği gibi, “evsel katı atık, ton başına 10-12 milyon Btu aralığında yüksek bir ısıtma değerine sahip olmaktadır”. Bu tür atıklar yalnızca heterojen olmayıp, aynı zamanda bir partiden diğerine büyük ölçüde farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle, pirolizin katı atıklardan enerjiyi geri kazanmak için verimli bir süreç olarak uygulanabilmesi için önemli araştırma ve pilot çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır. Katı atık 4 inçten daha küçük bir boyuta parçalanır ve manyetik bir ayırıcıdan geçirilip daha sonra reaktöre beslenmektedir. Atık reaktöre girerken kurutma bölgesinden, piroliz bölgesinden, kömür gazlaştırma bölgesinden geçmekte ve ardından tabandaki kül

yatağına yerleşmektedir. Bir mekanizma, külü reaktörden çıkarılıp, bir kırıcıdan geçirilmektedir ve ardından onu çöp sahası için raylara yüklenilmektedir. Reaktörün tabanına enjekte edilen hava ve buhar karışımı, gelen atığı pirolize etmek için gereken ısıyı üretmek için kömür kalıntısı ile reaksiyona girmektedir. Buharın yarısı reaksiyon sırasında ayrışılıp diğer yarısı katı atık akışını ısıtmaktadır. Yoğunlaştırılmış buhardan gelen su daha sonra arıtma için borudan geçirilip ve reaktörden gelen gaz sıkıştırılmaktadır. Elektrik üretimi için bir türbine borulanmaktadır (Shah, 2000).

2.3.3. Enerji Potansiyeli Analizi

RDF(atıktan üretilmiş yakıt) formundaki organik atık koşulları katı kömür, gaz veya petrol ürünleri üretmek için optimize edilebilmektedir (Buah vd., 2007). Katı kömür katı yakıt olarak veya yakıt için bulamaç olarak kullanılabilir. Aynı şekilde, yağ doğrudan yakıt olarak kullanılabilir, petrol rafinerisi stoklarına eklenebilir. Katalizörler kullanılarak iyileştirilebilir. O zaman, petrolün atıktan daha yüksek bir enerji yoğunluğuna sahip olduğu bilinmektedir, bu da ATY'nin geri dönüşümü için ek bir fayda olabilmektedir. Üretilen gazın kalorifik değerleri, piroliz tesisinin enerji ihtiyacını desteklemek için yeterli olmaktadır (Buah vd., 2007). Donanım bileşenlerinin piroliz işlemi sırasında malzemenin yanması, ısı ve buhar üretmesine neden olmaktadır. Ayrıca, yüksek kalorili gaz fraksiyonu, bir ısıtma gazı görevi görebilmektedir. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis (2003) 'de verilen bilgiye göre, "bir enerji geri kazanım değerlendirmesi yapmak için" teorik hesaplama, "donanım malzemesi pirolizinden elde edilen gaz halindeki çıkışları oluşturan" gazların yanma ısısı değeri kullanılarak yapılmaktadır (Mazzocchia vd., 2003).

430-460 °C sıcaklık aralığında yanma ısısının hemen hemen sabit olduğunu gözlemlemek mümkün olmaktadır. Böylelikle, bu aralıktaki gazların kimyasal bileşiminin de hemen hemen sabit olduğu sonucuna varılabilmektedir. Cam elyaflar üzerinde biriken karbon kalıntısının yanması ekstra enerji üretip genel olarak, işlemde elde edilen enerji piroliz sistemini destekleyebilmekte ve kendi kendine verimli olmasına izin verebilmektedir.

Atık lastiklerin piroliz ürünleri enerjiye dönüştürülebilmektedir. Donanım bileşenlerinin pirolizi durumunda olduğu gibi, atık lastiklerin pirolizi yüksek bir enerji potansiyeline sahip olup ve sistemin devam etmesine ve daha fazla güç üretmesine izin vermektedir.

Petrol ve gaz fraksiyonları yakıt olarak kullanılmaktadır. Aynı anda petrol ve gaz üretimi için plastik atıkların pirolizi, enerji üretmek için uygun olmayıp yüksek kalorili plastik ürünlerden enerji kullanımı ek ekonomik ve çevresel faydalar sağlayabilmektedir (Mazzocchia vd., 2003).

Termal plazma piroliz teknolojisi, enerji geri kazanımına olan ilgilere yanıt verip proses ürünlerinin özellikleri enerji geri dönüşümü için uygun olmaktadır. 4-9 MJ / Nm³ gaz ürününün yanma ısısı değeri, farklı enerji uygulamalarında doğrudan yakıt olarak kullanılmasına izin vermektedir. Huang ve Tang tarafından belirtildiği gibi, “plazma pirolizinden elde edilen karakterlerin ısıtma değerleri genellikle linyit ve kok kömürünükilerle karşılaştırılıp ve doğrudan katı yakıt olarak kullanılabilir (Huang ve Tang, 2007).

2.4. Yakma

Katı atık düzenli depolama sahalarında depolanan atıklar, zaman içerisinde oksijensiz ortamda gerçekleşen mikrobiyal reaksiyonlar sonucunda çürüyerek düzenli hale getirilmektedir. Çürümeyen veya çürümesi zor gerçekleşen kimyasal sanayi tehlikeli atıkların enerjiye çevrilmesi için geri kazanım projeleri, atık depolama sahalarının ekonomisi üzerinde önemli bir etkiye sahip olup atık gazının fırınlarda, kazanlarda doğrudan kullanımı en düşük maliyetli seçenek olarak gösterilmektedir. Çünkü gaz taşıma maliyetleri ve yakma sisteminin brülöründe yapılan değişiklikler minimum seviyede olup kıvılcım ateşlemesine dayanan elektrik üretim şemaları; dizel motorlar ve gaz türbini tesisi, elektrik santraline, üretim ünitelerine ve ilgili elektrige yatırım yapılması gerekmektedir (Williams, 2002).

Atıkların bertaraf edilmesi dört aşamada oluşmaktadır.

- (1) Atık önleme
- (2) Atık maddenin değerlendirilmesi (recycling)
- (3) Kalan atıkların işlemden geçirilmesi
- (4) Artık maddelerin depolanması

Atıkların önlenmesi (aza indirgenmesi) ve recycling dönüşümünün kurulması gerektiği konusunda görüş birliğine varılmıştır. Bu her iki önleme rağmen atıkların sadece %30-40

civarına düşürülmesi mümkün olmaktadır. Geri kalan ve recycle işlemine girmeyen atık miktarı ise aşağıdaki aşamalardan geçirilmektedir.

- (1) Hijyenleştirme
- (2) Zararlı organik maddelerin yok edilip kütle azaltımı
- (3) Atıkların yeniden değerlendirilmesi
- (4) Tortulaştırılan artık maddelerin inertize edilmesi

Sayılan maddeler arasında işlevini en iyi gerçekleştiren işlem ise, atıkların modern çöp yakma tesislerinde gerçekleştirilen termik işlemdir. Çöp yakmanın temel görevi; kalan atıkları çevreye kısa yada uzun sürede herhangi bir zarar vermeyecek şekilde depolanarak işlemlerden geçirilmektedir (Acaroğlu, 2012).

2.4.1. Yakma İşlemi Operasyonel Özellikleri

Yanma gazları, baca gazı temizleme sisteminden tahliye edilmeden önce soğutulup gaz temizleme sisteminin, gazların sıcaklığının 250-300 C'nin altında olmasını gerektirdiği bilinmektedir. Bu nedenle, gazların 800-1100 C'ye eşit sıcaklıkları, direkt deşarj için çok yüksek olup soğutma, entegre kazan ve kazan odası sistemi ile değerlendirilebilmektedir. Kazan, fırında üretilen ısıdan buhar üretmek için suyun aktığı çelik borulardan oluşmaktadır. Williams'ın kitabında bahsettiği gibi, "Su duvarlı kazanların ayrılmaz parçası yanma odası etrafına inşa edilir ve yanma odasıyla bütünleşir, ana kazan yanma odasının üzerindeki ayrı kazan dairesinde yer alır ve borular tarafından ısıtılır. " Seçeneklerden biri olan kazandan sonra, baca gazı temizleme sistemine girmeden önce baca gazlarından sıcak su üretmek için bir ısı değişim sistemi olabilmektedir. Kazanda üretilen sıcak su veya buhar aynı zamanda güç ve mahal ısıtması sağlamak için de kullanılabilir. Kazan, suyun optimum sirkülasyonu ile iyi bir ısı transferi sağlayacak şekilde tasarlanmaktadır (Williams, 2002).

Kazanın verimli çalışmasındaki en önemli faktör, kazan borularındaki birikintiler ısı transferini azalttığından temizlenmelidir. Atık yakma kazanlarının tasarımında ve işletilmesinde de korozyon önem arz etmektedir (Williams, 2002).

Atıkların yanma odasında farklı bölgelerden geçmesi sayesinde çeşitli ızgaralı yakma sistemleri tanınıp bu sistemler, BKA'nın (belediye katı atık) yakılması için

uygulanmaktadır. Burada hava beslemesi, katıların taşıma hızı ve yanana kadar atığın tırmıkla karıştırılması da önemli olup yanmanın daha verimli olacağı bilinmektedir. Atık yatay ekseninde eğimli bir tabla ile fırına beslenir ve yer çekimi ile fırının içinde hareket eder. Sadece ince kıyılmış atıklar akışkan yataklı fırınlara beslenir (Autret vd., 2006).

2.4.2. Yakma İşleminde Enerji Geri Kazanımı Potansiyeli ve Özellikleri

Yakma, entegre atık yönetimi sistemindeki mevcut araçlardan biri olup önemli miktarlarda ve türde atıkları işleyebilmektedir. Journal of Hazardous Materials’da verilen bilgilere göre, “En son Avrupa standartları ve özellikle 2000/76/EC atık yakma Avrupa Direktifi kapsamında tasarlanan ve inşa edilen atık yakma fırınları, kabul edilebilir bir fiyata çevreye ve insan sağlığına tam saygı gösterir” düşüncesi ön plana çıkmıştır (Autret vd., 2006). Ayrıca Mario Grosso ve ark. “atıkların yakılmasının, atıkların enerji içeriğini geri kazanmak için tüm Avrupa’da yaygın olarak kullanan bir bertaraf işlemi olduğunu” söylemektedir (Grosso, vd., 2010).

Yakmadan elde edilen enerji ana şebekelere satılmaktadır. Bölgesel Isıtma ve Elektrik Üretimi yoluyla enerji geri kazanımı atık yakma fırınları enerji üretir, tüketir ve net enerji piyasaya arz edilir. Ayrıca, atıktan geri kazanılan enerjinin enerji üretiminden kaynaklanan karbondioksit emisyonunda bir azalmaya katkıda bulunabileceğini de hesaba dahil edilmektedir. Burada enerji, fosil yakıtın ikamesi olarak düşünülmektedir (Autret, vd., 2006).

Modern belediye atık yakma tesisi, elektrik üretimi veya bölgesel ısıtma için buhar üretip ve bu işlemin maliyet etkinliğini sağlamak için yapılmaktadır. Elektrik üretimi ve bölgesel ısıtma aynı zamanda ısı ve güç sistemleri olarak birleştirilmektedir. Elektrik, buhar yoğunlaşmalı türbin vasıtasıyla kazanlarda üretilen buhardan elde edilip yüksek basınç ve sıcaklığa sahip buhar, türbinin farklı aşamalardan geçebilmektedir. Buharın yüksek hızı, türbinin kanatlarını ve dolayısıyla elektriği üreten türbin şaftını döndürmektedir. Bölgesel ısıtma hedef ise, yüksek sıcaklık ve basınçlı buhar, dağıtımına hazır basınç altında sıcak su üreten ısı değişimlerinden geçip ısı ve güç sistemleri, daha düşük miktarda elektrik üreten farklı türde bir buhar türbini kullanılmaktadır. Ancak türbinden gelen buhar daha yüksek bir sıcaklıkta olup ve bu da bölgesel ısıtmanın dahil edilmesine izin

vermektedir. Seçeneklerin değerlendirilmesi, tesise özgü bir konu olup elektrik üretim ve atık tesisleri için tüm sözleşme yükümlülükleri teminat altına alınmaktadır. Geri dönüşüm şemalarının, kalorifik değerdeki değişiklikleri önemli bir ölçekte etkilemediğini fark etmek önem arz etmektedir. Aynı zamanda katı atık yakma fırınının enerji geri kazanım performansında da küçük bir fark yaratmaktadır (Williams, 2002).

Termal olarak entegre yakma, operasyonel esnekliği ön planda tutulmalı atık buhar ve ısı yükündeki türbülansa rağmen kirletici maddelerin yok edilmesi ve ısıl talebin karşılanması önemlidir (R.S. Ettouney, M.A. El-Rifai ve S.A. El-Behairy,2004). Atıklar bol yanma havası ve 1473 K° da 2 ile 5 saniye arasında kalma süresi sağlanarak yakılmalıdır. R.S. Ettouney'e göre "Bu tür sistemlerin çalışması, termal enerji ihtiyacı ve yanıcı atıkların değişkenliğine göre kontrol edilir (Ettouney vd., 2004).

Kentsel katı atık yakmanın çevresel etkisi, giderek artan bir şekilde kamuoyunda tartışma konusu haline gelip eleştirilenler, ekolojik nedenlerden dolayı yakmanın artık kabul edilemez olduğunu iddia etmektedir. Ayrıca, yakma, yani organik kirleticileri yok etme ve kaçınılmaz ve geri dönüştürülemez atık-enerji kullanımının hacmini ve miktarını azaltma temel amacı göz önüne alındığında, yalnızca ikincil bir etki olarak giderek daha fazla tartışılmaktadır. Bununla birlikte, uzun vadede, atık yakma, ancak güçlü noktalarının, yani arıtma sürecinin yönetilebilirliğinin, atığın oluşturduğu tehlike potansiyelinin kapsamlı şekilde azaltılması ve kontrol edilebilirliğin ilerletilmesinde daha fazla ilerleme kaydedildiği takdirde kabul edilen bir atık yönetimi tekniği olmaya devam edebilmektedir.

Arıtma ve baca gazı temizleme teknolojisindeki ilerici standarda bağlı kalmanın yanı sıra, halkın kabulünü iyileştirmek için önemli bir ön koşul olup kaçınılmaz ve geri dönüştürülemeyen atıkların ısıl işleme tabi tutulması ve ısıl işlem tesislerine tabi tutulması için özen gösterilmektedir. Entegre atık yönetimi planlarının bir parçası olarak bilinmektedir (ÇŞB,2017).

3. ATIK ENERJİSİ TÜRLERİ VE TÜRKİYE'DE ATIK ENERJİSİ

Atıkların sahip oldukları enerji potansiyellerinden fayda sağlayabilmek için atıktan enerji elde etmeyi sağlayan teknolojilerin geliştirilmesi ve bu teknolojilerin verimli bir şekilde kullanılması sayesinde fosil enerji kaynakları kullanmadan enerji elde edilebilmektedir. Bununla birlikte depolanacak olan atık miktarı daha da azalmakta ve depolarda oluşan sızıntıların yer altı sularının kirleterek insan sağlığını tehdit etmesinin de önüne geçilebilmektedir. Ayrıca atıkların depolanması sonucu meydana gelen zararlı gaz emisyonu da atıklardan enerji elde edilmesi sonucu azalmaktadır. Atıklardan enerji elde edilmesi hem Türkiye'de hem de dünya genelinde oldukça önemli bir atık yönetimi adımı olarak kabul edilmektedir (Ayol, 2011). Aşağıda Türkiye'de uygulanmakta olan atıktan enerji elde yöntemleri ve bu alanlarda kurulmuş olan tesisler hakkında bilgiler sunulmaktadır.

3.1. Çöp Gazı (LFG) Enerjisi

İçeriğinde 170 adetten fazla bileşik barındıran çöp gazı, büyük bir oranda metan gazı (CH₄) ve karbondioksit gazından (CO₂) meydana gelmektedir. Çöp gazında başlıca yüksek oranda bulunan bu gazların dışında eser miktarda bulunan diğer gaz türleri de toksik etki meydana getirerek insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu nedenle insan sağlığı ve çevre açısından ciddi sorunlar oluşmasına neden olabilecek olan çöp gazının kontrolünün sağlanması ve bu gazın değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Çöp sahalarında meydana gelen biyotik ve abiyotik tepkimeler çöplerin döküldükleri alanlarda iz bileşenlerin oluşmasına neden olmaktadır. Çöp sahalarındaki iz bileşenler bazen de atıklarla birlikte gelmektedir. Çöp gazının içeriğindeki iz bileşenlerin büyük bir bölümü uçucu organik bileşiklerden (UOB) meydana gelmektedir. Tehlikeli atıkların çöp alanlarına dökülmesi azaltıldığı zaman UOB derişimi de buna bağlı olarak azalacaktır (Özçakıl, 2001).

Çöp dökülen alanlar genel olarak CH₄, CO₂, N₂, O₂, H₂S, NH₄, NH₃, H₂, CO, su buharı, parafin hidrokarbonlar, aromatik-siklik hidrokarbon gazlarını barındırmaktadır. Evsel katı atıklar havasız bir ortamda bozulduğunda ortama metan ve karbondioksit gazları salınmaktadır.

Tablo 4. Türkiye’de bazı illere ait evsel katı atığın ton başına tahmini metan üretimi, milyon m³

Şehir	Yıl		
	2012	2018	2023
Adana	80-140	85-111	89-117
Adıyaman	13-17	14-18	14-19
Afyonkarahisar	24-31	25-33	27-35
Ağrı	10-13	11-14	11-15
Amasya	12-16	13-17	13-17
Ankara	193-253	206-270	216-283
Antalya	86-113	92-121	97-127
Artvin	3-4	3-4	3-4
Aydın	33-43	35-46	37-49
Balıkesir	43-56	46-60	48-63
Bilecik	7-9	8-10	8-10
Bingöl	6-8	7-9	7-9
Bitlis	7-9	7-9	7-10
Bolu	9-12	9-12	10-13
Burdur	7-9	7-10	8-10
Bursa	83-108	88-116	93-121
Çanakkale	15-19	16-21	17-22
Çankırı	5-7	6-7	6-8
Çorum	15-20	16-21	17-22
Denizli	27-35	29-38	30-40
Diyarbakır	37-48	39-51	41-54
Edirne	19-24	20-26	21-27
Elazığ	19-25	20-27	21-28
Erzincan	8-11	9-11	9-12
Erzurum	18-24	19-25	20-27
Eskişehir	26-35	28-37	30-39
Gaziantep	40-52	43-56	45-58

Kaynak: Mesade Otay, 2013

3.1.1. Türkiye’de Çöp Gazı Enerjisi Üretim Tesisleri

Hâlihazırda Türkiye’de devrede olan 21 tane kayıtlı çöp gazı enerjisi üretim tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerin buldukları şehirler ve kurulu güçleri aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Tablo 5. Türkiye’de çöp gazı enerjisi üretim tesisleri

1	Odayeri Çöp Gazı Santrali	İstanbul	34 MW
2	Konya Aslım Çöplüğü Elektrik Üretim Santrali	Konya	5,66 MW
3	Gaziantep Çöp Gazı	Gaziantep	5,66 MW
4	İskenderun Çöp Gazı Elektrik Üretim Tesisi	Hatay	4,24 MW
5	Trabzon Rize Çöp Gazı Santrali	Trabzon	4,24 MW
6	Hatay Gökçeğöz Çöp Santrali	Hatay	4,24 MW
7	Malatya Çöp Gazlaştırma ve Yakma Tesisi	Malatya	4,00 MW
8	Manavgat Çöp Gazı Santrali	Antalya	3,60 MW
9	Belka Çöp Gazı	Ankara	3,20 MW
10	Atlas İnşaat Osmaniye Çöp Gazı Santrali	Osmaniye	3,12 MW
11	ITC-KA Elazığ Çöp Gazı Santrali	Elazığ	2,83 MW
12	Arel Isparta Çöp Gazı Santrali	Isparta	2,83 MW
13	Malatya BŞB Çöp Gazı Elektrik Üretim Santrali	Malatya	2,40 MW
14	Tokat Çöpgazı Elektrik Üretim Santrali	Tokat	2,30 MW
15	Aksaray Çöp Gazı Elektrik Santrali	Aksaray	1,42 MW
16	Amasya Çöp Gazı Elektrik Üretim Santrali	Amasya	1,20 MW
17	Malatya 1 Çöp Gaz Elektrik Üretim Tesisi	Malatya	1,20 MW
18	Uşak Çöpgazı enerji Santrali	Uşak	1,20 MW
19	Vesmec Çöp gazı Santrali	Kırklareli	1,20 MW
20	Kırıkkale Çöp Gazı Enerji Santrali	Kırıkkale	1,00 MW
21	Solaklar İzaydaş Çöp Gazı	Kocaeli	0,33 MW

Kaynak: <https://www.enerjiatlası.com/biyogaz/>

3.2. Biyogaz Enerjisi

3.2.1. Türkiye’de Biyogaz Üretimi

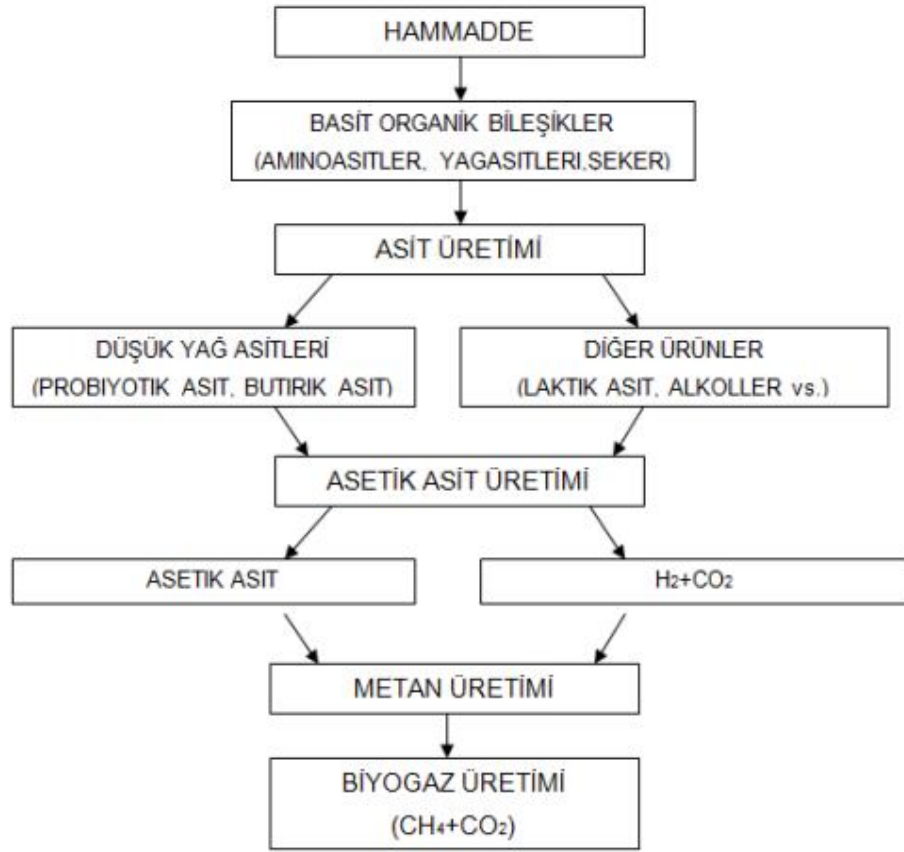
Organik yapılı olan atıkların oksijensiz bir ortamda fermantasyona uğramaları sonucunda meydana gelen biyogaz, yoğunluğu havanın yoğunluğundan küçük, mavi ve parlak bir alevi olan, kokusuz, renksiz ve içeriğinde organik maddeler bulunan bir gaz karışımıdır. Havadan daha hafif olan biyogazın yoğunluğu 0,94 kg/m³’tür. Isıl değeri 5.96 kWh/m³ ve alev sıcaklığı 870 °C olan biyogazın tutuşma sıcaklığı ise 700 °C’dir (Bayrakçeken, 1997).

Biyogazın yapısında ortalama olarak %50-75 oranında metan (CH₄), bulunmaktadır. Biyogazın yapısındaki karbondioksit miktarı ise %25-50 aralığındadır. Bu iki ana maddenin dışında biyogazın bünyesinde az miktarlarda azot (N₂), amonyak (NH₃), hidrojen (H₂), hidrojen sülfür (H₂S) ve su buharı bulunabilmektedir (Surendra, vd., 2014). Biyogazın kalori değeri 21–25 MJ/m³'tür. Bu nedenle fosil yakıtlar ve doğal gaz karşısında çok iyi bir alternatif enerji kaynağıdır. Ayrıca sera gazı emisyonunu da %80 civarında azaltabilmektedir (Arif, vd., 2018).

Biyogaz üretilmesi ve biyogazdan enerji elde edilmesine yönelik çalışmalar Türkiye'de ilk olarak 1957 senesinde "Toprak ve Su Araştırma Enstitüsü'nde" başlamıştır. 1960'lı yıllarda "Devlet Üretim Çiftlikleri"nde çalışmalarda bulunularak pilot tesis kurulumu gerçekleştirilmiştir. Bu sayede 1963 senesinde Tarım ve Orman Bakanlığı bünyesinde 7 tanesi Eskişehir ili sınırlarında olmak üzere toplam 8 tesis kurulmuştur.. Ancak biyogaz üretimine yönetimler pek sıcak yaklaşmadığı, teknik eleman yönünden sıkıntı yaşanması ve çiftçilerin eğitimsiz olmaları nedeniyle çalışmalar durdurulmuştur Ancak 1980 senesinden sonra biyogaz üretim çalışmaları UNICEF tarafından teknik ve finansal açıdan desteklenmiş ve çalışmalar yeniden başlatılmıştır. Biyogaz üretimi ile ilgili çalışmalar 2000'li senelerde özellikle üniversiteler öncülüğünde projelenemeye başlanmıştır (Koçar, vd., 2010).

3.2.2. Biyogaz Enerjisi Üretimi

Biyogazın içeriğinde oldukça önemli olan metan gazının oranı arttıkça biyogazın verimliliği de artmış olmaktadır. Biyogaz; hidroliz safhası, asit oluşumu ve metan oluşumu olmak üzere 3 safhada meydana gelmektedir. Son olarak bakteriler metan meydana getirir ve biyogaz oluşumu tamamlanır. Biyogaz mikrobiyolojik etkenlerle oluştuğundan; mikrobiyolojik organizmaları etkileyen durumlar biyogaz oluşumuna da etki etmektedir (Wikipedia).



Şekil 3. Biyogaz oluşum aşamaları

Kaynak: Chakravarthi, 1997

Temel olarak organik maddelerin bakteriler tarafından fermente edilmesi sonucunda üretilen biyogaz için ana maddelerini; hayvansal, bitkisel ve endüstriyel atıklar oluşturmaktadır. Bu atıklar temel olarak aşağıda belirtilmiştir (Anon, 2000):

- (1) Yemeklerden arta kalan atıklar,
- (2) Tarım kaynaklı atıklar,
- (3) Orman endüstrisi atıkları
- (4) Makroalgler,
- (5) Kağıt üretimi aşamasında oluşan atıklar,
- (6) Tekstil endüstrisi ve deri üretimi sonucu oluşan atıklar,
- (7) Meyve, sebze ve yağ endüstrisi atıkları,
- (8) Diğer gıda üretimleri sırasında oluşan atıklar,

(9) Şeker üretimi sırasında meydana gelen atıklar,

(10) Evsel atıklar.

Biyogaza dönüşüm açısından hayvansal atıklar daha yararlıdır. Hayvansal atıklar yüksek derecede sorun arz etmesinden ve çok kolay bulunabilmesinden dolayı biyogaz enerjisi tesisleri açısından dünya genelinde ana madde olarak kullanılmaktadır (Korkmaz, 2017).

Biyogaz tesisleri bazı bileşenlerden meydana gelmektedir. Aşağıda biyogaz tesisini meydana getiren bileşenler sıralanmıştır (Özaydın, 2020);

- *Atık Kabul Edilmesi Veya Hazırlaması Birimi:* Fermantöre yükleme yapılmasından daha öncesinde hammaddenin biyogaz tesisinde depo edildiği ve farklı atık maddelerin içeriğindeki kuru madde miktarına göre karıştırılması işleminin gerçekleştirildiği depolama bölümüdür.
- *Karıştırıcılar:* Hammaddelerin ön depo alanında ve fermantörde çökmesini engellemek için karıştırıcılar kullanılmaktadır.
- *Fermantör:* Biyogaz üretimi amacıyla yollana ve kuru madde oranı bakımından istenilen şekilde hazırlanan hammaddelerin bakteriler tarafından çürütüldüğü ve biyogazın üretildiği depodur.
- *Isıtma Sistemleri:* En verimli şekilde biyogaz elde edilmesi için fermantörün belli bir sıcaklıkta tutulmasını sağlamaktadır.
- *Separatör:* Fermantörden sonra hammaddelerin katı ve sıvı olarak ayrıştırılması sağlamaktadır.
- *Nihai Depo:* Tesiste biyogaz üretimi gerçekleştirildikten sonra meydana gelen katı ve sıvı atıkların depo edildiği bölümdür.
- *Gaz Boruları ve Bağlantıları:* Bu borular sayesinde biyogaz bir yerden başka bir yere aktarılmaktadır. Bu borular genellikle paslanmaz materyallerden üretilmektedir.
- *Kojenerasyon Birimi:* Bu birimde saflaştırılmış olan biyogazdan ısı ve elektrik elde edilmektedir.
- *Pompalar:* üniteler arasında hammadde aktarımı pompalar sayesinde gerçekleştirilmektedir.

Bir biyogaz tesisinin tasarlanması gerçekleştirilirken tesis bileşenleri ile birlikte öncelikli olarak bu tesiste kullanılacak olan atıkların üretim ortamlarının özellikleri, mevcut enerji potansiyelleri ve ne şekilde depo edildikleri de araştırılması gerekmektedir. Bu aşamalar ne kadar önemli ise tesisin devamlı olarak çalıştırılabilmesi ve verim olarak istenen biyogazın üretilmesi de bir o kadar hayati önem taşıyan ve zor olan bir süreçtir. u zorluğun ve önemin temel sebebi biyogaz üretimini sağlayan fermantördeki bakterilerin çevre şartlarından etkilenebilen canlı organizmalar olmalarıdır (Özaydın, 2020).

Türkiye’de 1963 yılında Tarım Bakanlığına bağlı olarak, 5 adet Eskişehir Toprak Su Araştırma Enstitüsüne, 2 adet Eskişehir’in köylerinde, 1 adet Çorum deneme istasyonunda olmak üzere toplam 8 adet biyogaz tesisi kurulmuştur. 1980 sonrasında UNICEF’in desteklediği biyogaz üretimi için ilk çalışmalar Muş-Alparslan Devlet Üretim Çiftliğinde 35 m³ lük bir tesis kurularak, DPT tarafından başlatılmıştır. 1982 yılında biyogaz tesisi için sorumluluk Toprak Su Araştırma Enstitüsüne verilmiştir, bununla birlikte devlet köylülere kredi sağlayarak toplam 1000’e yakın biyogaz tesisi kurulmuştur. 2000’li yıllarda üniversitelerin önderlik ettiği biyogaz üretimi araştırma projeleri yapılmıştır (Kavacık, B. Topaloğlu, B., 2007). Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ile Almanya Çevre, Doğa Koruma ve Nükleer Güvenlik Bakanlığı arasında 2010 yılında, 1200 baş hayvancılık yetiştirilen tesiste biyogaz üretimi için anlaşma yapılmıştır.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, 2015 yılında büyükbaş hayvan sayısı 14.13 milyon iken, küçükbaş hayvan sayısı büyük geviş getiren hayvanların eğilimine benzer bir artış eğilimi ile 41.92 milyona ulaşmıştır (TÜİK, 2019). Türkiye jeopolitik konumu itibariyle birçok hayvan çiftliğine sahip olmasına rağmen, hayvan kaynaklı biyogaz üretimi için yeterli potansiyeli gerçekleştirememiştir. Türkiye’nin toplam hayvan kaynaklı biyogaz potansiyelini, %68 sığır, %5 küçükbaş hayvan ve %27 kümes hayvanlarından oluşmaktadır (Avcıoğlu ve Türker, 2012). Türkiye’de, yerli enerji üretimi enerji talebinin %40’ını karşılamaktadır (Demirbaş, 2008). Türkiye’de son yıllarda, biyogaz tesisleri için büyük adımlar atılmaktadır. Türkiye’nin toplam kurulu gücü 2015 yılı sonunda 73.14 GW ve biyokütle enerjisinin kurulu gücü 344.7 MW’tır, bu da toplam kurulu enerjinin %0.47’sine karşılık gelmektedir (Kılıçkaplan vd., 2017). 2016 yılı itibariyle belediye depolama alanları ve atık su arıtma tesislerinde bulunan, 82 adet

biyogaz, biyokütle, atık ısı ve pirolitik yağ enerji santrallerinin toplam kurulu gücü 467.37 MW'dır (EA,2020).

Dünyada yenilenebilir enerjiye yönelim artarken, katı atıkların değerlendirilmesi ülkeler için problem teşkil etmeye devam etmektedir. Türkiye'de günlük çöp miktarı yaklaşık 80 bin ton dur, fakat bunun sadece 45 bin tonu işlenebilmektedir. Türkiye'de her yıl geri dönüştürülmesi mümkün atığın 5 milyonu ise çöp depolama alanlarında toprağa gömülmektedir. Bu atıkların insan ve çevre sağlığı açısından büyük zarara yol açmaktadır. Dünya nüfusu her gün yaklaşık 3.5 milyon tondan fazla çöp üretirken, bunu enerjiye dönüştüren ülkeler çöpten yaklaşık 30 milyar dolar kar elde etmektedir. Türkiye'nin toplam biyokütle enerji üretim potansiyeli yaklaşık 14–32 milyon ton eşdeğer petrol, hayvansal atık miktarı ise 4 milyon 385 bin 371 ton eşdeğer petrol olarak kabul edilmektedir. Özellikle ülkemizin kırsal alanlarında biyogazın üretimi ve kullanımı ile ekonomik ve sosyal kalkınmaya destek vermek mümkündür, bunun rağmen hayvansal atıklardan yararlanılan biyogaz sistemlerinden yılda yaklaşık olarak 2.2–3.9 milyar m³ biyogaz elde edilebilmektedir (Tablo 6). Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji arzındaki payı, 1990 yılında % 18.8, 2000 yılında % 13.3, 2010 yılında % 11.1'e gerilemiştir. Sonrasında artış göstererek, 2018 yılında % 13.4 ile tekrar 2000 yılı oranına ulaşmıştır, bu oran gelecek yıllardaki artma eğilimine denk gelmektedir.

Tablo 6. EPDK 2020 yılı YEKDEM listesi

Kurulu Biyokütle Santralleri Atık Türleri	Toplam Kurulu Gücü (MWm)	Toplam Kurulu Gücü (MWe)	Toplam YEKDEM'e Esas Güç (MWe)	Toplam İşletmedeki ünite sayısı (Adet)
Biyokütle	692,921	671,169	778,729	370
Atık Lastik	6	6	6	3
Bitkisel Atık	1,6	1,56	2,729	1
Çöp	93,281	90,998	90,998	67
Çöp ,Çöp Gazı	17,148	16,32	16,32	12
Çöp ,Çöp Gazı ,Diğer Atık	29,132	28,396	31,226	21
Çöp Gazı	172,668	168,195	210,622	124
Çöp Gazı ,Çöp	17,525	17,351	23,581	7
Çöp Gazı ,Diğer Atık ,Çöp	2,464	2,4	2,4	2
Diğer Atık	47,343	44,938	49,569	20
Diğer Atık ,Çöp Gazı ,Çöp	4,124	4	4	1
Hayvansal Atık	56,539	54,844	60,437	47
Hayvansal Atık ,Bitkisel Atık	5,568	5,408	12,02	4
Hayvansal Atık ,Tarımsal Atık	24,33	23,602	28,066	19
Hayvansal Atık ,Tarımsal Atık ,Diğer Atık	15,288	14,891	14,891	14
Hayvansal Atık ,Tarımsal Atık ,Orman Atığı ,Diğer Atık	0,49	0,48	5	1
Kentsel Atık	4,353	4,242	12,726	3
Orman Atığı	36,614	36,325	36,325	3
Orman Atığı ,Bitkisel Atık	0,1	0,1	7,5	1
Orman Atığı ,Çöp Gazı	29,1	27,6	27,6	1
Orman Atığı ,Tarımsal Atık	28,003	26,782	26,782	3
Tarımsal Atık	53,124	51	52,2	11
Tarımsal Atık ,Hayvansal Atık	1,527	1,487	1,487	1
Tarımsal Atık ,Orman Atığı	41,4	39,25	51,25	3
Tarımsal Atık ,Orman Atığı ,Diğer Atık	5,2	5	5	1
Genel Toplam	692,921	671,169	778,729	370

Kaynak: //www.epdk.org.tr

3.2.3. Türkiye’de Biyogaz Enerjisi Üretim Tesisleri

Hâlihazırda Türkiye’de devrede olan 42 tane kayıtlı biyogaz enerjisi üretim tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerin buldukları şehirler ve kurulu güçleri aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Tablo 7. Türkiye’de biyogaz enerjisi üretim tesisleri

1	Mamak Çöplüğü Biyogaz Tesisi	Ankara	25 MW
2	Sofulu Çöplüğü Biyogaz Santrali	Adana	16 MW
3	Kömürcüoda Çöplüğü Biyogaz Santrali	İstanbul	14 MW
4	Bağfaş Gübre Fabrikası Biyogaz Santrali	Balıkesir	9,92 MW
5	Hamitler Çöplüğü Biyogaz Santrali	Bursa	9,80 MW
6	Afyon Hayvansal Atık Biyogaz Santrali	Afyonkarahisar	8,40 MW
7	Kocaeli Çöplüğü Biyogaz Santrali	Kocaeli	6,51 MW
8	Aksaray OSB Gübre Gazı Elektrik Santrali	Aksaray	6,40 MW
9	Karacabey Biyogaz Tesisi	Bursa	6,40 MW
10	Avdan Biyogaz Tesisi	Samsun	6,00 MW
11	Kayseri Çöplüğü Biyogaz Elektrik Santrali	Kayseri	5,78 MW
12	Ovacık Biyogaz Enerji Santrali	Kırklareli	4,80 MW
13	Kumrular Biyogaz Tesisi	Kırklareli	4,27 MW
14	Tire Biyogaz Tesisi	İzmir	4,27 MW
15	Pir Enerji Düzce Biyogaz Santrali	Düzce	4,26 MW
16	Hasdal	İstanbul	4,02 MW
17	Afyon Biyogaz Enerji Santrali	Afyonkarahisar	4,02 MW
18	Gönen Biyogaz Tesisi	Balıkesir	3,62 MW
19	Senkron Efeler Biyogaz Santrali	Aydın	3,60 MW
20	Albe Biyogaz Santrali	Ankara	3,02 MW
21	Konya Atıksu Biyogaz Santrali	Konya	2,44 MW
22	Mauri Maya Bandırma Biyogaz Santrali	Balıkesir	2,33 MW
23	Dilovası Çöp Biyogaz Santrali	Kocaeli	2,13 MW
24	Bandırma Edincik Biyogaz Santrali	Balıkesir	2,13 MW
25	Eses Enerji Biyogaz Santrali	Eskişehir	2,04 MW
26	Karaduvar Atıksu Arıtma Tesisi Biyogaz Santrali	Mersin	1,90 MW
27	GASKİ Atıksu Biyogaz Elektrik Santrali	Gaziantep	1,66 MW
28	Karma Gıda Biyogaz Santrali	Sakarya	1,49 MW
29	Polatlı Biyogaz Tesisi	Ankara	1,47 MW
30	Karaman Biyogaz Tesisi	Karaman	1,41 MW
31	Pamukova Katı Atık Biyogaz Santrali	Sakarya	1,40 MW
32	Tire Biyogaz Elektrik Santrali	İzmir	1,20 MW
33	Ekim Grup Gübre Gazı	Konya	1,20 MW
34	Bolu Çöplüğü Biyogaz Santrali	Bolu	1,13 MW
35	Yapılcanlar Biyogaz Enerji Santrali	Aksaray	1,07 MW
36	Sigma Suluova Biyogaz Tesisi	Amasya	1,00 MW
37	Kemerburgaz Çöplüğü Biyogaz Santrali	İstanbul	0,98 MW
38	Adana Batı Atıksu Biyogaz Santrali	Adana	0,80 MW
39	Adana Doğu Atıksu Biyogaz Santrali	Adana	0,80 MW
40	Beypazarı Biyogaz Tesisi	Ankara	0,79 MW
41	Kumkısık Biyogaz Santrali	Denizli	0,64 MW
42	Denizli Atıksu Arıtma Tesisi Biyogaz Elektrik Üretim	Denizli	0,48 MW

Kaynak: <https://www.enerjiatlası.com/biyogaz/>

3.3. Biyokütle Enerjisi

3.3.1. Biyokütlenin Tanımı

Güneş enerjisinin yeşil yapraklı bitkiler tarafından fotosentez yolu ile kimyasal enerjiye dönüştürmeleri sonucunda depolanan organik madde kaynaklarını barındırmakta olan biyolojik kütle biyokütle enerjisi olarak ifade edilmektedir (Şimşek, 2006). Biyokütlenin tanımı “5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun”da ise: “organik atıkların yanı sıra bitkisel yağ atıkları, tarımsal hasat atıkları dahil olmak üzere, tarım ve orman ürünlerinden ve bu ürünlerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan yan ürünlerden elde edilen kaynaklar” şeklinde yapılmıştır (Resmi Gazete: 5346).

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde biyokütlenin önemi oldukça büyüktür. Biyokütle enerjisi hayvansal atıklar, bitkisel atıklar, algleri, su bitkileri, enerji bitkileri, endüstriyel atıklar ve kentsel atıklardan elde edilebilmektedir. Biyokütle oluşumu sırasında havada bulunan karbondioksit azalmaktadır. Bunun yanında biyokütle enerjisi üretimi safhalarında ortama karbondioksit salınımı meydana gelmediğinden biyokütle doğal dengenin korunmasına olumlu etki olan bir yakıt türüdür. Büyük oranlara meydana gelen atıkların biyokütle enerjisi kaynağı olarak kullanılması atıkların bertaraf edilmesini de sağlayarak oluşabilecek çevresel sorunlarında önüne geçilebilmesini sağlamaktadır. İçinde bulunduğumuz zamanda biyokütle enerjisinin üretilmesi ve çevrimi açısından gerekli olan teknolojilerin çok iyi bilinmesi ve her ölçekte enerji verimi açısından biyokütlenin kullanımının uygun olması önemli bir avantajdır (Demirbaş, 2001).

Enerji kaynağı açısından birincil kaynaklardan olan ham petrol ve kömür yakıldığı zaman atmosfere büyük oranda karbondioksit gazı salınımı meydana gelmektedir. Atmosferde fazla miktarda bulunan karbondioksit sera etkisi oluşturarak küresel ısınmaya sebebiyet vermektedir. Sera gazları nedeniyle atmosferin sıcaklığında arzu edilmeyen ani yükselişler meydana gelebilmektedir (Bridgwater, 2006).

Yenilenebilirlik özelliği, geliştirilebilirlik özelliği, çevreye fosil yakıtlar benzeri zararlar vermemesi ve çevre dostu bir enerji kaynağı olması alternatif enerji kaynağı olarak biyokütlenin tercih edilmesinde oldukça önemli etkenlerdir.

3.3.2. Biyokütle Enerjisi Üretimi

Bazı dönüşüm prosesleri kullanılarak biyokütleden her fazda yakıtlar üretilmektedir. Bu yakıtlar üretilirken devamlı olarak yeni yöntemler keşfedilmekte ve devamlı olarak bu yakıtların verimlilikleri arttırılmaya çalışılmaktadır. Biyodizel, biyoetanol ve biyogaz gibi yakıtların haricinde biyokütleden; metan, hidrojen, gübre ve odun briketleri gibi çeşitli yakıtlar da üretilmektedir (Türe, 2001).

Biyokütle enerjisinden daha çok verim elde edebilmek, çevreye verilecek zararı en aza indirebilmek ve enerji problemlerine çözüm bulmaya yardımcı olabilmek adına biyokütle ile ilgili dönüşümler üzerinden araştırmalar sürekli devam etmektedir.

3.3.3. Türkiye’de Biyokütle Enerjisi Üretim Tesisleri

Hâlihazırda Türkiye’de devrede olan 22 tane kayıtlı biyokütle enerjisi üretim tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerin buldukları şehirler ve kurulu güçleri aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Tablo 8. Türkiye’de biyokütle enerjisi üretim tesisleri

1	Mutlular Biyokütle Santrali	Balıkesir	30 MW
2	Çadırtepe Biyokütle Santrali	Ankara	23 MW
3	ITC Antalya Biyokütle Santrali	Antalya	14 MW
4	Zeus Biyokütle Enerji Santrali	Kırklareli	12 MW
5	ITC-KA Sincan Biyokütle Gazlaştırma Tesisi	Ankara	11 MW
6	Şanlıurfa Biyokütle Enerji Santrali	Şanlıurfa	6,24 MW
7	Eman Enerji Mersin Biyokütle Enerji Santrali	Mersin	6,02 MW
8	Modern Biyokütle Enerji Santrali	Tekirdağ	6,00 MW
9	Nisa Biyokütle Elektrik Üretim Tesisi	Bursa	5,48 MW
10	Çorum Mecitözü Biyokütle Enerji Santrali	Çorum	5,00 MW
11	Maraş Biyokütle Santrali	Kahramanmaraş	4,80 MW
12	Sivas Biyokütle Elektrik Üretim Tesisi	Sivas	2,82 MW
13	Mavi Bayrak Biyokütle Enerji Santrali	Aydın	2,50 MW
14	Arel Enerji Biyokütle Tesisi	Afyonkarahisar	2,40 MW
15	Pakmil Biyokütle Santrali	Adana	1,76 MW
16	Sandıklı Biyokütle Elektrik Üretim Tesisi	Afyonkarahisar	1,40 MW
17	Eman Enerji Silifke Biyokütle Enerji Santrali	Mersin	1,20 MW
18	Kıpaş Kağıt Biyokütle Enerji Santrali	Kahramanmaraş	1,20 MW
19	Hayat Biyokütle Elektrik Üretim Santrali	Kocaeli	0,96 MW
20	Eman Enerji Karaman Biyokütle Enerji Santrali	Kahramanmaraş	0,95 MW
21	Doğal enerji Biyokütle Enerji Santrali	Şanlıurfa	0,82 MW
22	Sezer Bio Enerji	Antalya	0,50 MW

Kaynak: <https://www.enerjiatlası.com/biyogaz/>

3.4. Atık Isı

Gereksinim duyulan her türlü proseste ve makinelerde sisteme bir enerji verildikten sonra, sistem çalışma ortamındaki çevreye bir ısı salınımı gerçekleştirilmektedir. Çevreye salınımı gerçekleşen ve kurtarılabilir olan bu ısı enerjisi atık ısı olarak ifade edilmektedir. Klima, soba, fırın ve makineler gibi birçok sistem çevreye ısı yaymaktadır. Mekanik enerji, elektrik enerjisi, kimyasal enerji ve ışık enerjisi gibi enerjilerden faydalandığı zaman bu enerjilerin bir miktarı ısı enerjisine dönüşmektedir. Ancak bu ısı önce atmosfere sonra da uzaya yayılmakta ve dalayışıyla bu ısının büyük bir miktarı kaybedilmektedir. Endüstri alanında tüketilmekte olan enerjinin yaklaşık %25’i sıcak sıvılar ve sıcak gazlar

şeklinde atık ısı olarak ziyan olmaktadır. Isı geri kazanım sistemleri vasıtası ile bu atık ısıların bir miktarı geri kazanılabilmektedir (Çomaklı ve Terhan, 2011).

En basit ifade ile atık ısı, gerçekleştirilen herhangi bir işlemde meydana gelen ve kullanılmadan çevreye salınan ısı enerjisi olarak tanımlanabilmektedir. Atık ısının meydana gelmesi termodinamik yasalarına uygun bir şekilde her türlü termodinamik işlem sonrası gerçekleşebilmektedir. Atık ısı değerlendirileceği zaman niteliği niceliğinden daha çok ön arz etmektedir. Atık ısının niteliği sıcaklık üzerinden değerlendirilmektedir. Mevcut sıcaklık değeri atık ısı geri kazanımı için kullanılacak teknikleri belirlemektedir. Proses tipine göre farklılıklar arz edebilen sıcaklık miktarlarına göre hemen hemen her sıcaklıkta atık ısı çevreye yayılabilmektedir. Genel manada sıcaklık ne kadar yüksekse çevreye salınan atık ısı miktarı ve niteliği de o kadar yüksek olmaktadır. Örnek olarak; sıcaklığı çok yüksek olan atık ısı kaynaklarında ısının geri kazanımı kademeli bir şekilde gerçekleştirilebilir. Birinci kademe olarak geri kazanılan ısı ile hava ön ısıtması yapılır. Bir sonraki kademede ise proses besleme suyu ısıtılır. Böylece sistemde meydana gelen atık ısıdan oldukça verimli bir şekilde faydalanılmış olmaktadır. Atık ısının geri kazanımı için uygulanan işlemlerde ortama yayılan ısı miktarının ve bu ısının ne kadarının geri kazanılabileceğinin önceden belirlenmesi de oldukça önemlidir (Ersayın 2020).

Atık ısıdan faydalanmanın dolaylı ve direkt olarak çok fazla yararı bulunmaktadır. Enerji maliyetlerini ciddi oranda düşürmesi direkt yararlıdır. Bu özelliği ile atık ısının geri kazanıldığı sistemler yeni birer enerji kaynağı statüsünde ele alınmaktadır. Atık ısının bir diğer yararı da enerji tasarrufudur. Mevcut olarak zaten kullanılacak olan yakıttan ekstra enerji üretilmesi sayesinde yakıttan ciddi oranda tasarruf sağlanmış olmaktadır. Enerji üretimi için daha az yakıt harcanması dolaylı olarak çevreye verilen zararında daha az olmasını sağlamaktadır (Söğüt, vd., 2012).

Endüstriyel sistemlerde gerçekleştirilen prosesler sonucunda meydana gelen ve o sistem tarafından tekrar kullanılmayan enerji atık ısı enerjisidir. Miktarından ziyade verdiği değer bakımından atık ısı önemli bir faktördür. Fabrikaların bacaların oldukça yüksek miktarlarda atık sıcak gaz çıkışı gerçekleşmektedir. Bu atık ısının bir miktarı kullanılabilirse doğal olarak enerjiden tasarruf sağlanmış olmaktadır. Öncelikle çimento ve demir çelik sektöründe, tekstil sanayiinde ve cam üretiminde proseslerde üretilen ısının

ancak bir miktarı kullanılabilir. Üretilen ısının büyük bir kısmı ise bacalar ve değişik kanallarla çevreye salınmaktadır (Kılınç, 2016).

Atmosfere salınmakta olan bu atık ısı uygulanacak bazı yöntemler ve kurulacak sistemlerle geri kazanılabilmektedir. Geri kazanılan bu ısı enerjisi hava ısıtma, su ısıtma ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılabilir. Bu sayede hem doğaya boş yere salınan enerji kullanılarak ekonomik fayda sağlanmakta hem de çevrenin korunmasına katkıda bulunmaktadır. Örneğin bir demir çelik fabrikası için aşağıda belirtilen prosesler atık ısı enerjisi elde edilmesini sağlayabilmektedir (Kara, 2003).

- Tav fırını bacası
- Kazan bacası
- Ark ocağı bacası
- Hava kompresörleri radyatör soğutma
- Hava kompresörleri yağ eşanjörleri
- Hava kompresörleri ara soğutucular

Atık ısının geri kazanılıp enerji olarak tekrar kullanılmasının başlıca yararları aşağıda belirtildiği gibidir;

- Enerji üretiminde fosil yakıt tüketimi azalır.
- Enerji yoğunluğunun sektörel bazda düşmesini sağlar.
- Enerji maliyetlerini düşürerek karlılık sağlar.
- Enerji fiyatlarının yükselmesi yönündeki riskleri azaltır.
- Elektrik arz güvenilirliğinin artmasını sağlar.
- Daha güçlü bir çevre imajı sağlar.
- Karbondioksit emisyonu azalır.

3.4.1. Türkiye’de Atık Isı Enerjisi Üretim Tesisleri

Hâlihazırda Türkiye’de devrede olan 59 tane kayıtlı atık ısı enerjisi üretim tesisi bulunmaktadır. Bu tesisler ve buldukları şehirler aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Tablo 9. Türkiye’de atık ısı enerjisi üretim tesisleri

1	Toros Tarım Samsun Atık Isı Santrali	Samsun
2	Eti Alüminyum Atık Isı Elektrik Santrali	Konya
3	Eti Maden Bandırma Atık Isı Santrali	Balıkesir
4	Çimsa Atık Isı Santrali	Mersin
5	Batiçim Atık Isı Santrali	İzmir
6	Batisöke Söke Çimento Atık Isı Elektrik Santrali	Aydın
7	Petkim Petrokimya Termik Santrali	İzmir
8	Şırnak Silopi Termik Santrali	Şırnak
9	Aksa Akrilik Kimya Elektrik Santrali	Yalova
10	Çumra Termik Santrali	Konya
11	Habaş Fuel-oil Termik Santrali	İzmir
12	Başpınar Kojenerasyon Santrali	Gaziantep
13	Konya Şeker Çumra Termik Santrali	Konya
14	Ortadoğu Rulman Termik Santrali	Ankara
15	Konya Şeker Fabrikası Doğalgaz Santrali	Konya
16	Keskinkılıç Gıda Termik Santrali	Aksaray
17	Mopak Kağıt Termik Santrali	Muğla
18	Kırka Bor İşletme Müdürlüğü Termik Santrali	Eskişehir
19	HABAŞ Bilecik Fuel Oil Elektrik Santrali	Bilecik
20	İlgın Şeker Fabrikası Termik Santrali	Konya
21	Turhal Şeker Fabrikası Termik Santrali	Tokat
22	Afyon Şeker Fabrikası Termik Santrali	Afyonkarahisar
23	Toros Tarım Mersin Enerji Santrali	Mersin
24	Alkim Kağıt Kemalpaşa Santrali	İzmir
25	Adapazarı Şeker Fabrikası Elektrik Santrali	Sakarya
26	Mensa Mensucat Nafta Enerji Santrali	Adana
27	Seka Balıkesir İşletmesi Termik Santrali	Balıkesir
28	Oyka Kağıt SEKA Çaycuma Termik Santrali	Zonguldak
29	Goodyear Sakarya Enerji Santrali	Sakarya
30	Bor Şeker Fabrikası Termik Santrali	Niğde
31	Elbistan Şeker Fabrikası Termik Santrali	Kahramanmaraş
32	Muş Şeker Fabrikası Elektrik Santrali	Muş
33	Bahri Dağdaş Ereğli Şeker Fabrikası Termik Santrali	Konya

34	Orta Anadolu Tekstil Elektrik Santrali	Kayseri
35	Ankara Şeker Fabrikası Termik Santrali	Ankara
36	Mondi Tire Kutsan Termik Santrali	İzmir
37	Antalya Havalimanı LNG Santrali	Antalya
38	MMK Metalurji Kocaeli Kojenerasyon Tesisi	Kocaeli
39	Kastamonu Şeker Fabrikası Elektrik Santrali	Kastamonu
40	Kars Şeker Fabrikası Termik Santrali	Kars
41	Petlas Lastik Enerji Santrali	Kırşehir
42	Yozgat Şeker Fabrikaları Termik Santrali	Yozgat
43	Kırşehir Şeker Fabrikası Termik Santrali	Kırşehir
44	Aşkale Çimento Termik Santrali	Erzurum
45	Malatya Şeker Fabrikası Doğalgaz Santrali	Malatya
46	Alpullu Şeker Fabrikası Termik Santrali	Kırklareli
47	Erzurum Şeker Fabrikası Termik Santrali	Erzurum
48	İzaydaş İzmit Fuel-Oil Santrali	Kocaeli
49	TÜPRAŞ Batman Termik Santrali	Batman
50	Erciş Şeker Fabrikası Termik Santrali	Van
51	Çarşamba Şeker Fabrikası Termik Santrali	Samsun
52	Toros Tarım Ceyhan Nafta Santrali	Adana
53	Mopak Kağıt LPG Santrali	İzmir
54	Trakya İplik Termik Santrali	Tekirdağ
55	Erzincan Şeker Fabrikası Termik Santrali	Erzincan
56	Uşak Şeker Fabrikası Termik Santrali	Uşak
57	Elazığ Şeker Fabrikası Termik Santrali	Elazığ
58	Antalya Aldaş LNG Santrali	Antalya
59	Hakkari Çukurca Termik Santrali	Hakkari

Kaynak: <https://www.enerjیاتlasi.com>

3.5. Beraber Yakma

Atıkların ek yakıt olarak veya alternatif olarak kullanıldığı, ürün imal etmek veya enerji üretmek amacı ile kurulmuş olan, atıkların kabul edildiği üniteden, geçici depolama ünitesinden, ön işlem biriminden, hava ikmal ve atık besleme sitemlerinden, yakma kazanlarından, baca gazlarının arıtıldığı ünitelerden, yakma işleminin ardından meydana gelen artıkların geçici olarak depolandığı birimlerden, atık suların arıtımını yapan ünitelerden, bacalardan, yakma işlemlerinin kontrol edilebildiği birimlerden, yakma şartlarının kayıt edilebildiği birimlerden, kayıt ve ölçüm cihazlarından ve sitemlerden meydana gelen sistemler beraber yakma tesisleri olarak ifade edilmektedir. Beraber yakma tesislerini asıl amacı enerji üretimidir. Bu tesislerde atıklar alternatif hammadde olarak kullanılabilirdiği gibi ek yakıt olarak da kullanılabilir. Beraber yakma tesisinden söz edilebilmesi için en az ısı güç değerinin %40 oranına yakınının tehlikeli atıklardan sağlanması gerekmektedir. Metal fabrikaları, çimento fabrikaları, cam fabrikaları ve kireç fabrikaları beraber yakma tesisi olarak ifade edilebilmektedir (ÇŞB, 2017).

3.5.1. Türkiye’de Atık Isı, Beraber Yakma, Enerjisi Üretim Tesisleri

Türkiye’de Hâlihazırda 73 adet beraber yakma tesisi bulunmaktadır. Bu tesisler ve buldukları şehirler aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Tablo 10. Türkiye’de beraber yakma enerjisi üretim tesisleri

1	İzaydaş İzmit Atık Ve Art.Aritma	Kocaeli
2	Itc Invest Trading & Consulting Ag -Türkiye Ankara	Ankara
3	Sançim Bilecik Çimento	Bilecik
4	Denizli Çimento Sanayii Türk Anonim Şirketi	Denizli
5	Limak Çimento Sanayi Balıkesir Şubesi	Balıkesir
6	Höyük Enerji Limited Şirketi - Tuzköy Şubesi	Nevşehir
7	Votorantim Çimento Sanayi - Sivas Şubesi	Sivas
8	İnegöl Organize Sanayi Bölgesi Müdürlüğü	Bursa
9	Oyak Çimento Fabrikaları - Mardin Şubesi	Mardin
10	Kçs Kahramanmaraş Çimento Beton Sanayi	Kahramanmaraş
11	Yibitaş Yozgat İşçibir	Yozgat
12	Oyak Çimento Fabrikaları Ünye Çimento Şubesi	Ordu
13	Oyak Çimento Fabrikaları Bolu Çimento Şubesi	Bolu
14	Oyak Çimento Fabrikaları Aslan Çimento Şubesi	Kocaeli
15	Oyak Çimento Fabrikaları Ankara Şubesi	Ankara
16	Medcem Madencilik	Tekirdağ
17	Kartepe Endüstriyel Geri Dönüşüm	Kocaeli
18	İstaç Odayeri Tesisleri	İstanbul
19	Göлтаş Çimento	Isparta
20	Limak Çimento Trakya Şubesi	Kırklareli
21	Çerkezköy Organize Sanayi Bölge Müdürlüğü	Tekirdağ
22	Votorantim Çimento Hasanoğlan Şubesi	Ankara
23	Mer-Su Arıtma	Antalya
24	Kavçim Çimento	Samsun
25	Çimsa Çimento Eskişehir Şubesi	Eskişehir
26	Üças Enerji Üretim Limited Şirketi	Nevşehir
27	Bursa Çimento Fabrikası A.Ş.	Bursa
28	As Çimento Sanayi Ve Ticaret A.Ş.	Burdur
29	Bursa Organize Sanayi Bölgesi Müdürlüğü	Bursa
30	Nmes Enerji Sanayi Ve Ticaret Anonim Şirketi	Kilis
31	Sasa Polyester Sanayi Anonim Şirketi	Adana
32	Medcem Madencilik Silifke Şubesi	Mersin
33	Akçansa Çimento Büyükçekmece Şubesi	İstanbul
34	Yzn Grup Tedarik Hizmetleri Anonim Şirketi İzmir Şubesi	İzmir
35	Afyon Çimento - Afyon Halımoru Şubesi	Afyonkarahisar
36	İsu Genel Müdürlüğü Gebze Atıksu Arıtma Tesisi	Kocaeli
37	Çimentaş İzmir Çimento	İzmir
38	Petkim Petrokimya Holding A.Ş.	İzmir
39	Metaltek Metalurji Kimya Yerköy Şubesi	Yozgat

40	Osman Sönmez - İnşaat Taahhüt Ticaret	İzmir
41	Bartın Çimento Sanayi Ve Ticaret A.Ş (Bartın Şubesi)	Bartın
42	Batisöke Söke Çimento Sanayii Türk A.Ş.	Aydın
43	Traçim Çimento Vize Şubesi	Kırklareli
44	Çimko Çimento Narlı Şubesi	İzmir
45	S.S. Yeşil Çevre Arıtma Tesisi İşletme Kooperatifi	Bursa
46	Akçansa Çimento Çanakkale Şubesi	Çanakkale
47	Ardem Endüstriyel Tesisler Kırşehir Şubesi	Kırşehir
48	Starwood Orman Ürünleri San.A.Ş.-İnegöl Şb	Bursa
49	Çimsa Çimento Kayseri Çimento	Kayseri
50	Avşar Demir Çelik Sanayi Ürün Üretimi Anonim Şirketi.	Denizli
51	Akçansa Çimento Sanayi Samsun Ladik Şubesi	Samsun
52	Çimsa Çimento Niğde Çimento	Niğde
53	Era Çevre Teknolojileri Anonim Şirketi Erzincan Şubesi	Erzincan
54	Nuh Çimento Sanayi A.Ş. Hereke Şubesi	Kocaeli
55	Buski Bursa Su Ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü	Bursa
56	Konya Çimento Sanayii A.Ş.	Konya
57	Kars Çimento Kars Şubesi	Kars
58	Kudret Geri Dönüşüm	Adıyaman
59	Selami Engin - Gerede Şubesi	Bolu
60	Adoçim Çimento Artova Şubesi	Tokat
61	RECYDIA Atık Yönetimi Elazığ Çimento Şubesi	Elazığ
62	Çimsa Çimento Mersin Çimento Şubesi	Mersin
63	Ecosave Çevre Ve Enerji Malkara Şubesi	Tekirdağ
64	Işık Geri Dönüşüm Bio Enerji	Gaziantep
65	Karteks Geri Dönüşüm Enerji	Edirne
66	Baştaş-Başkent Çimento Sanayi	Ankara
67	Kimtaş Kireç Pınarhisar Şubesi	Kırklareli
68	Bolu Çimento Sanayii A.Ş. Ankara Şubesi	Ankara
69	Bubert Atık Bertaraf	Bursa
70	Modern Enerji Elektrik Çorlu Şubesi	Tekirdağ
71	Vnn Çevre Bucak Şubesi	Burdur
72	Yazgan Yenilenebilir Enerji	İstanbul
73	Greenway Enerji Yatırımı	Çanakkale

Kaynak: <https://www.enerjiatlası.com>

3.6. Atıktan Türetilmiş Yakıt Enerjisi

Atıktan üretilmiş yakıtlar, 5/7/2008 tarih ve 26927 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiş olan “*Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik Ek-IV*”te belirtilmiş olan özelliklere uygun bir şekilde endüstriyel atıklar ve belediye atıklarından üretilen yakma veya beraber yakma tesislerinde kullanımı gerçekleştirilebilen atıklar olarak ifade edilmektedir. Ek-IV’te yer alan özelliklere sahip olan atıklar aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir.

- Madenler aranırken, çıkarılırken, işletilirken, kimyasal ve fiziksel işlemlerden geçirilirken meydana gelen atıklar,
- Tarım faaliyetleri, ormancılık işlemleri, balık üretimi, avcılık, gıda üretilmesi ve gıda işlemleri sonucunda meydana gelen atıklar,
- Ahşap ürünleri üretilmesi, kağıt hamuru, kağıt ve karton imalatı mobilya ve sunta üretimi sonucunda meydana gelen atıklar,
- Tekstil, kürk ve deri üretim faaliyetleri sonucunda meydana gelen atıklar,
- Kömürün pirolitik işlenmesi, petrolün rafine işlemleri ve doğal gazın saflaştırılma faaliyetleri sonucunda meydana gelen atıklar,
- Anorganik ve inorganik kimyasal işlemler sonucunda meydana gelen atıklar,
- Astar, boya, yapıştırıcı, yalıtım malzemesi ve baskı malzemeleri üretim faaliyetleri sonucunda meydana gelen atıklar,
- Fotoğraf endüstrisi atıkları
- Isıl işlemler sonucunda meydana gelen atıklar,
- Kimyasal yüzey işlemleri ve kaplama işlemleri sonucunda meydana gelen atıklar,
- Plastiklerin ve metallerin şekillendirilmesi işlemleri sonucunda meydana gelen atıklar,
- Sıvı atıklar ve yağ atıkları,
- İtici gazlar, soğutucular ve inorganik çözücü atıkları,

- Temizlik bezleri, ambalaj malzemeleri, koruyucu kıyafetler ve filtre malzemeleri,
- Listede herhangi bir şekilde belirtilmeyen atıklar,
- İnşaat faaliyetleri ve yıkım işlemleri sonucunda meydana gelen atıklar,
- Sağlık araştırma faaliyetleri sonucunda meydana gelen atıklar,
- Su arıtma faaliyetleri için, insanları tüketmeleri ya da endüstri amaçlı su hazırlama faaliyetleri sonucunda meydana gelen atıklar,
- Evsel atıklar ve belediye atıkları

Atıktan türetilen yakıt, yapılan tanımlamaya göre endüstriyel atıklar ve belediye atıkları için genel bir anlam ifade etmektedir. Endüstriyel atıklar ve belediye atıkları da kendi aralarında farklılıklar arz edebilmektedirler (Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik).

3.6.1. Evsel Atık Yakma

Kentsel çöp olarak nitelendirilen evsel atıkların günümüzde yerleşim yerleri açısından en büyük sorunlardan biri olarak görülmektedir. Evsel atıkların içeriğinin büyü bir kısmı organik atıklardan meydana gelmektedir. Geri kalan az bir miktarı ise; cam, plastik, kağıt ve karton gibi atıklardan meydana gelmektedir (Bozyiğit ve Karaaslan, 1998).

Evsel atıklar yalnızca toplandıkları alanlarda değil taşınmaları esnasında da hastalıklara neden olan ya da taşıyıcı özellikleri bulunan organizmalar için uygun bir yaşama ve üreme ortamı meydana getirmektedirler. Bu nedenle evsel atıklar insan sağlığı açısından tehlike arz etmektedirler. Yalnızca konutlardan çıkan değil, okullardan, işyerlerinden, bürolardan, pazar alanlarından ve tarım faaliyetlerinden meydana gelen atıklar da evsel atık olarak nitelendirilmektedir (Anabal, 2007).

İnsanların günlük yaşantıları çerçevesinde gerçekleştirmiş oldukları faaliyetler sonucunda konutlarda meydana gelen mutfak atıkları ve tehlike arz etmeyen her türlü atık evsel atık olarak ifade edilmektedir. Ambalaj atıkları, besin maddeleri atıkları, içecek kutu ve şişeleri, dergiler, gazeteler, hijyenik pedler, çocuk bezleri, kırılıp bozulan eşyalar, oyuncaklar, eskiyen kıyafetler, yıpranan mobilyalar, elektronik atıklar ve yakıt külleri

gibi yakıtların meydana getirdiği atıklar evsel atık grubunda sayılmaktadırlar (Akca ve Demir, 2017).

Tablo 11. Evsel atık kaynakları

Kaynak	Aktiviteler	Katı atık türleri
Evsel Yerleşim	Apartmanlar, Küçük ve kalabalık aileler,	Döküntüler, Gıda atıkları, kül ve özel atıklar
Ticari Yerleşimler	Marketler, Dükkanlar, Oteller, Restoranlar, İş hanları,	İnşaat atıkları, Moloz, Gıda atıkları, Kül,
Açık Alanlar	Parklar, Bahçeler, Otoyollar, Sokaklar, Geçitler, Oyun alanları, Kumsallar,	Döküntüler ve Özel atıklar
Aritma tesisi alanları	Endüstriyel atık su, Atık su ve Su arıtma tesisleri	Aritma çamuru ve Arıtma tesisi atıkları,

Kaynak: Akca ve Demir, 2017

Yerleşim yerleri açısından önem arz eden ve zararlı organizmalar barındıran evsel atıkların bertaraf edilmeleri de oldukça önemlidir. Evsel atıkların bertarafı için de geri kazanım uygulamaları, düzenli depolama yöntemleri ve yakma yöntemleri uygulanmaktadır (Akca ve Demir, 2017).

Evsel atıkların bertarafı işlemleri için evsel atığın geneline temsil edebilecek miktarda numune alınarak belirli bir yerde yapılması gereken çalışmalar için bekletilmelidir. Üzerinde incelemelerde bulunulacak olan atıklar farklı fiziksel yapılarda bulunabileceği gibi bu atıkların ortamları da farklı olabilmektedir. Bu nedenle alınacak olan numuneler alındıkları atıkların fiziksel özelliklerini temsil edebilmeli ve numune alınan örnekle numune alınan ana kısım uyumlu olmalıdır. Evsel atıklar genellikle heterojen yapıya sahiptirler ve yapıları birbirinden farklıdır. Atıkların numunesi alındıktan sonra alan çalışması ya da uygulanacak olan işlemler oldukça önemlidir. Yerleşim yerlerinde nüfus arttıkça atık miktarı artmakta ve atık çeşitliliği fazlalaşmaktadır. Atıkların çeşitliliklerinin ve değişkenliklerinin birçok nedeni bulunabilmektedir. Bunlardan bazıları; insanların tüketim alışkanlıkları, sosyal yaşantı ve kültür, ekonomik durum gibi etkenlerdir (Yılmaz, 2019).

Katı atıkların toplanma işlemleri düzenli olarak gerçekleştirilemediği zaman ya da daha sonrasında atıklar bertaraf edilemediği zaman bu durum halk sağlığı ve çevre açısından

olumsuzluklar arz etmektedir. Katı atıkların toplanması ve bertaraf edilmesi işlemleri özellikle gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkeler için yeterli seviyede yapılmadığı zaman toprak, hava su kirliliğine görsel açıdan hoş olmayan görüntülere neden olmaktadır. Evsel atıklardan türetilen yakınlara en belirgin özellikleri yanabilirliği ile belirlenmektedir. Yanabilirlik özelliği de atıkların bileşimine göre farklılık göstermektedir. Atıkların bileşimi sadece mevsimsel ve bölgesel açıdan değil ev, ofis, inşaat ve işyeri atığı olma durumuna göre, ayırma, parçalama ve kurutma işlemlerine göre de farklılıklar arz edebilmektedir (Tolay, 2012).

3.6.1.1. Türkiye’de evsel atık yakma tesisleri

Türkiye’de Hâlihazırda evsel atık yakma tesisi bulunmamaktadır. Ancak İstanbul Büyükşehir Belediyesi’nin bir iştiraki olarak kurulan İSTAÇ tarafından, evsel atık yakma tesisi inşaatı devam etmektedir. 2021 yılında faaliyete geçmesi beklenen tesis Türkiye’nin ilk ve Avrupa’nın en büyük evsel atık yakma tesisi olacaktır (www.istac.istanbul).

3.6.2. Tehlikeli Atık Yakma

Çevresel problemlerin büyük bir kısmı sebepleri ve potansiyel çözümleri açısından kimyasal maddelerin neden olduğu problemlerdir. Tehlikeli atıklar genellikle sanayi kökenli atıklardır. Ancak bazen evsel atıklarda tehlikeli atık sınıfına girebilmektedir. Yasal olarak da tehlikeli sınıfa dahil edilen atıkların hem toplama hem taşıma hem de bertaraf edilmeleri işlemlerinde insan sağlığı açısından ve çevreyi koruma açısından ek tedbirler alınmalıdır. Tanım olarak kısaca ele alınacak olursa tehlikeli atıklar; teknolojik gelişmelerin neticesinde meydana gelen inşaat sağlığı ve çevreye olumsuz etkileri bulunan endüstriyel atıklardır (Aydın, 2007). Tehlikeli atıklar toksik, korozif, patlayıcı ve parlayıcı özelliklere sahip olabildikleri gibi insanlarda bulaşıcı hastalıklara da neden olabilmektedir. Özellikle metal sanayi ve ağır sanayi atıkları kimyasal yönden oldukça tehlikeli olabilmektedir (www.istac.istanbul).

Tehlikeli atıklar; insan sağlığını ve çevreyi olumsuz etkilememesi için uzaklaştırma ve bertaraf işlemlerinde özel yöntemlere ihtiyaç duyulan, fiziksel kimyasal ve biyolojik özellikte zehirleyici, yakıcı ya da farklı maddelerle etkileştiği zaman oldukça tehlikeli ve

zarar verici olabilen, arsenik bileşikleri, cıva, kadmiyum bileşikleri, kurşun, asit yapısal olarak tepkimeye yatkın olan reaktif maddeler, radyoaktif maddeler ve tarım ilaçlarıdır (Palabıyık ve Altunbaş, 2004).

“Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği”nde ise tehlikeli atık kavramı; “patlayıcı, parlayıcı, kendiliğinden yanmaya müsait, suyla temas halinde parlayıcı gazlar çıkaran, oksitleyici, organik peroksit içerikli, zehirli, korozif, hava ve su ile temasında toksik gaz bırakan, toksik ve ekotoksik özellik taşıyan ve Bakanlıkça tehlikeli ve zararlı atık olduğu onaylanan atıklar” şeklinde tanımlanmıştır (ÇOB, 1991).

Endüstriyel işlemler gerçekleştirilirken veya endüstriyel işlemlerin neticesinde meydana gelen endüstriyel atıklar da tehlikeli atık olarak değerlendirilmektedir. Özellikle katı endüstriyel atıkların yönetimi hususunda, çevrenin ve doğal kaynakların korunması amacı ile gerçekleştirilen arıtma tesisleri kurulması ve geri kazanım faaliyetleri oldukça önemlidir (Palabıyık ve Altunbaş, 2004).

Endüstriyel atıkların içeriğinde genellikle özel atıklar, kül ve tehlikeli atıklar bulunmaktadır. Endüstriyel atıklar tehlikeli ve tehlikesiz atıklar olmak üzere iki grupta ele alınmaktadır. Zehirli, korozif, oksitleyici yanıcı, parlayıcı, patlayıcı özelliklerde bulunan ve su ile temas ettiği zaman parlayıcı gazların ortaya çıkmasına neden olan atıklar tehlikeli atıklar grubunda kabul edilmektedir. Bunların dışında kalan endüstriyel atıklar ise tehlikesiz atıklar olarak kabul edilmektedir. Tehlikesiz endüstriyel atıklar toplanırken, taşınırken ve bertaraf edilirken evsel atık statüsünde değerlendirilmektedir (Muşdal, 2007).

Türkiye’de Hâlihazırda tehlikeli atık yakma enerji tesisi olarak faaliyet gösteren en önemli tesis “İzaydaş Tehlikeli Atık Yakma Tesisi”dir. Kocaeli ilinde bulunan tesisin kurulu gücü 5,2 MW’dir (<https://www.enerjiatlası.com>).

3.6.3. Piroliz

3.6.3.1. Pirolizin tanımı

Oksidatif olmayan bir ortamda meydana gelen termal bozunma piroliz olarak ifade edilmektedir. Piroliz hem yanma teknolojilerinin hem de gazlaşma teknolojilerinin başlangıç süreci olarak oluşmaktadır (Rezaiyan ve Cheremisinoﬀ, 2005). Piroliz

işleminde organik maddelerin oksijensiz bir ortamda ve sıcaklı olarak 300-700°C arasında termal olarak bozunması sağlanmaktadır. Piroliz işlemi sonucunda yakıt olarak kullanılabilen yağ, kömür granülleri ve piroliz elde edilmektedir (Sezer, 2011). Piroliz sonucunda meydana oluşan yağ güç ve ısı üretiminde kullanılmakta ayrıca elektrik enerjisine ve yan ürünlere kolayca döndürülebilmektedir. Maliyet olarak yüksek olan piroliz yağı; ağır fuel-oil, hafif fuel-oil ve biyo-yağ olarak kullanılabilir. Piroliz gazı ile elektrik üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Bunların yanında, pirolizden elde edilen ürünler yine bir yakıt olan hidrojene dönüştürülebilmektedir. Diğer biyolojik ve termal yöntemlerle kıyas edildiği zaman piroliz yönteminin bazı avantajları bulunmaktadır. Bu avantajlar aşağıda belirtilmiştir (Tezçakar ve Can, 2011).

- Kalorifik değeri yüksek, türbinlerde veya gaz motorlarında kullanılmaya uygun ve elektrik üretiminde kullanılacak gaz üretilmektedir.
- Yakılmadan öncesinde piroliz gazı temizlenerek kirliliğinden arıtıldığı için atmosfere zararlı gaz salınımı daha az olmaktadır.
- Proses gazları hacim olarak daha az yer kaplamaktadır. Gazlaştırma ve yakma tesislerine göre arıtma tesisleri çok daha küçüktür. Ayrıca kurulum maliyeti de düşüktür.
- Piroliz gazı, gaz motorlarında depo gazının ya da biyogazın yakılması prosesine göre daha verimli bir enerji için kullanılabilir.
- Piroliz sonrası meydana gelen atıklar ve yan ürünler genel olarak stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabilir.
- Piroliz tesislerinin kurulumu oldukça kolaydır.

3.6.3.2. Türkiye’de piroliz tesisleri

Hâlihazırda Türkiye’de devrede olan 1 tane kayıtlı piroliz tesisi bulunmaktadır. Bu tesisin bulunduğu şehir ve kurulu gücü aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Tablo 12. Türkiye’de piroliz tesisleri

1	Prokom Pirolitik Yağ ve Pirolitik Gaz Tesis	Erzincan	7,04 MW
---	---------------------------------------------	----------	---------

Kaynak: <https://www.enerjiatlas.com/biyogaz/>

3.7. Türkiye’de Atık Enerjisi

Ülkemizde nüfusun hızlı bir şekilde artış göstermesi ve insanların tüketim alışkanlıklarının her geçen gün farklılaşması beraberinde atık miktarının fazlalaşmasını getirmektedir. Bu durumdan dolayı da atıkların entegre ve sürdürülebilir yönetimine ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır. Sürdürülebilir atık yönetimine göre atık meydana gelmesinin mümkün olduğunca en aza indirilmesi, meydana gelen atıkların tekrardan kullanılabilmesi ve geri dönüşüm yöntemleri ile atıkların geri kazanılabilmesi süreçlerini de içine alan bir plan hazırlanması gerekliliği büyük önem arz etmektedir. Atıkların geri dönüşümü ve tekrardan kazanımı işlemleri, atıkların bertaraf edilmesi süreçlerinde pek önemsenmediği zaman hem enerji bakımından hem de hammadde bakımından oldukça önemli kaynakların kaybedilmesine yol açabilmektedir. Günümüzde atık yönetimi ile ilgili olarak üzerinde özellikle durulan Sıfır Atık Yönetimi (SAY) ile kaynak kayıplarının da en aza indirilmesi söz konusu olabilmektedir. SAY’de de kaynak kayıplarını en aza indirebilmek için atıkların hangi nedenlerle oluştuğunun iyi belirlenmesi, atık oluşumun engellenmeye çalışılması üzerine yoğunlaşan bir atık yönetimi politikasıdır (Cheremisinoﬀ, 2003).

Atık yönetimi sadece Türkiye için dünya genelindeki diğer tüm ülkeler için de önemli bir mevzudur. Ancak bu konunun önemi ülkemizde biraz geç fark edilmiştir. Bu nedenle atık yönetimi ile ilgili çalışmalar bazı ülkelere göre biraz geride kalmıştır. Almanya SAY’ın temeli sayılan geri kazanım faaliyetlerinde %56 oranı ile ve Güney Kore ile Avusturya %54 oranı ile öncü ülkeler konumundadırlar (Gray, 2017). Kentsel atıkların geri kazanımı ise Ülkemizde %6 seviyelerindedir. 2023 yılında bu oranın %35’e çıkması Çevre ve Şehircilik Bakanlığının hedefleri arasındadır (ÇŞB, 2017). Türkiye’de meydana gelen atıkların %87 gibi çok büyük bir kısmı belediye atıklarından meydana gelmektedir. Geri kalan %13’lük kısmı ise özel atık, tıbbi atık ve tehlikeli atıklardan meydana gelmektedir (ÇŞB, 2017). Belediye atıkları ele alındığı zaman ise bu atıkların %56’sı organik atıklardan %8’i kağıt ve kartonlardan, %6’sı plastiklerde, %3’ü camdan ve %1’i metal den meydana gelmektedir. Bu maddeler geri dönüştürülebilir özelliğe sahiptir. Geri dönüştürülebilir atıkları dışında kalan atıklar içinse %17 yanabilen maddeler, %1’i evsel tehlikeli maddeler %8’i ise diğer atıklar olarak ele alınmaktadır. 2018 senesi TÜİK verilerine göre ülkemizde günlük kişi başı 1,16 kg atık toplanmaktadır. Bu atıklar belediyeler tarafından toplanmaktadır. Belediyeler topladıkları atıkların %67’sini düzenli

depolama tesislerinde %20'sini de düzensiz depolama alanlarında bertaraf etmektedirler. Geri kalan atıklar ise geri kazanım tesislerine gönderilmektedir. Az bir miktarı ise gömülmekte veya yakılmaktadır (<%1) (TÜİK, 2019).

Türkiye'nin 2019 yılı Aralık ayı sonu itibari ile enerji üretim miktarı 303.897 GWh'dir. Aynı dönem için çöp ve atıklardan elde edilen enerji miktarı ise toplam enerji miktarının yaklaşık %1,5'i oranında olup 4.624 GWh'dir. 2020 yılı Aralık ayı sonunda ise Türkiye geneli enerji üretim miktarı %0,42 oranında bir artış göstererek 305.168 GWh olmuştur. Atık ve çöp enerjisi üretiminde ise %19,07 gibi büyük bir oranda artış görülmüş ve üretilen enerji miktarı 5.506 GWh olarak belirlenmiştir (www.enerjiportali.com).

Tablo 13. Türkiye'de enerji üretimi miktarları

	2019 Aralık Ayı Sonu Enerji Üretimi (GWh)	2020 Aralık Ayı Sonu Enerji Üretimi (GWh)	Artış
Toplam Enerji	303.897	305.168	%0,42
Atık ve Çöplerden Elde Edilen Enerji	4.624	5.506	%19,07

Kaynak: <https://www.enerjiportali.com/turkiye-elektrik-enerjisi-uretim-istatistikleri-aralik-2020/>

Kurulu güç bakımından ele alındığı zaman ise Türkiye'de 2019 yılı Aralık ayı sonu itibari ile toplam kurulu güç 91.267 MW'dir. Atık ve çöp kaynaklı enerji üretimi açısından kurulu güç ise 1.163 MW'dir. Atık ve çöp kaynaklı enerjinin kurulu gücünün toplam kurulu güç içindeki oranı da %1,27'dir. 2020 yılı Aralık ayı sonunda ise Türkiye geneli kurulu güç %3,87 oranında bir artış göstererek 94.801 MW olmuştur. Atık ve çöp kaynaklı enerji açısından kurulu güç miktarında ise %22,27 gibi büyük bir oranda artış görülmüş ve kurulu güç 1.422 MW olarak belirlenmiştir (www.enerjiportali.com).

Tablo 14. Türkiye’de atıktan elde edilen enerji kurulu gücü

	2019 Aralık Ayı Sonu Kurulu Güç (MW)	2020 Aralık Ayı Sonu Kurulu Güç (MW)	Artış
Toplam Enerji	91.267	94.801	%1,27
Atık ve Çöplerden Elde Edilen Enerji	1.163	1.422	%22,27

Kaynak: <https://www.enerjiportali.com/turkiye-elektrik-enerjisi-uretim-istatistikleri-aralik-2020/>

Yukarıda verilerden de anlaşılacağı üzere Türkiye geneli enerji üretimi ve kurulu güç zaman geçtikçe artış göstermektedir. Bu enerji üretimi içerisinde atık ve çöp kaynaklı enerji üretim miktarı oldukça azdır. Ancak atık ve çöp kaynaklı üretilen enerji miktarındaki artış oranlarına bakıldığı zaman, ilerleyen zamanlarda atık ve çöp kaynaklı üretilen enerjinin üretilen toplam enerji miktarı içindeki oranının devamlı bir büyüme göstereceği ihtimaller dahilindedir.

4. KATI ATIK ENTEGRE YÖNETİMİ

4.1. Yöntem

Tez çalışmasında nitel araştırma yöntemlerinden biri olan doküman analizi yöntemi kullanılacaktır. Yazılı kaynak taraması yapılarak bilgi toplanacak ve elde edilen bilgiler niteliksel çözümleme tekniğiyle işlenecektir. Öncelikle araştırma ile ilgili ilk ve temel bilgileri elde etmek ve farklı görüş ve yaklaşımları mukayeseli olarak inceleyebilmek adına referans kitapları, yerli ve yabancı bilimsel dergiler, yayınlanmış belgeler, arşivler veya dosyalar, komisyon raporları, bilimsel araştırma raporları, konferans, seminer veya sempozyum bildirimleri, online veri tabanları, e-kitaplar ve e-dergiler olmak üzere basit kaynak incelemesi yoluyla geniş bir literatür taraması yapılacaktır. Çalışmada öncelikli olarak literatür, tez, makale taraması yapılacak, yabancı kaynaklar araştırılacak ve Dünya’da yapılan çalışmalar detaylı olarak incelenecektir. Tez çalışmasında ilerleme kaydedilememesi halinde nicel araştırma yöntemlerinden betimsel yöntem kullanılacaktır.

Katı atıklar, genel olarak çevre ve insan sağlığına olan etkileri sonucuna göre tehlikeli atıklar ve tehlikesiz atıklar olmak üzere farklı özellikler göstermektedir, ancak bu özelliklerine rağmen atıkların canlı yaşamının sürdüğü alanlarda hiçbir önlem alınmadan atılması sorunlara yol açmaktadır. Türkiye’de 1983 yılında çıkarılan çevre kanunu kapsamında, tüm atıkların kontrolünün sağlanması yasal zorunluluk haline getirilmiştir. Tehlikeli özellik grubunda bulunan atıklar, içeriklerinde bulunan zararlı kimyasal maddeler sebebiyle çevre ve insan sağlığı için kalıcı zararlar verebilecek potansiyele sahiptir. Bu nedenle tehlikeli özellik grubunda bulunan atıkların toplanması, taşınması, geri kazanım işlemlerinin yapılması veya ortadan kaldırılması işlemlerinin dikkatli yapılması önemlidir (ÇOB, 2006).

Evlerden çıkan atıklarda deterjan kutuları, piller, araçlardan çıkan atıklarda yağlar, aküler, endüstrinin çeşitli kollarından çıkan tehlikeli atıklar ve günlük hayatımızın içinde oluşan pek çok atık sağlık açısından tehlikeli özellikler taşımaktadır, ayrıca bu atıkların tehlike içermeden yönetilmesi de oldukça zordur. Tehlikesiz özelliklere sahip olarak nitelendirilen atıkların da işlenmesi ve yönetimi tehlikeli özelliklere sahip atıklar ile aynı öneme sahiptir ve dikkat edilmelidir (Sarptaş, 2005). Atık yönetimi sürecinin de bilinçli bir yönetim sistemi oluşabilmesi için evlerde oluşan atıklardan başlayarak daha bilinçli

ve sorumlu bir tutum sergilenmesi gerekmektedir. Evlerde oluşan atıklara, içerik veya yapısal olarak benzer olarak ev atıklarına benzeyen ticari, endüstriyel ve kurumsal atıklara evsel atık veya belediye atığı denilmektedir, bu atıkların yönetiminden belediyeler sorumludur. Belediye atıklarının içerdikleri başlıca bileşenler aşağıda belirtilmiştir (ÇŞB, 2020).

- Evlerde oluşan karışık katı atıklar
- Geri dönüştürülebilir özellikte olan atıklar; cam, metal, karton, ambalaj atıkları vb.
- Evlerden çıkan tehlikeli özelliklere sahip atıklar; piller, ampuller, boya kutuları vb.
- İş yerleri, okullar ve diğer kamu binaları gibi ticari ve kurumsal alanlarda oluşan atıklar
- Evsel atık özelliğine sahip endüstriyel katı atıklar
- Bahçe, hal ve pazaryeri atıkları gibi yeşil alanlarda oluşan atıklar
- Cadde, kaldırım ve meydanlarda oluşan süprüntü atıkları
- Mobilya gibi hacimli atıklar

Belediyeler tarafından, belediyeler adına yerleşim yerlerinden, ticari işletmeler, küçük işletmeler, pazar yeri, hal, park, bahçe ve yollardan toplanan atıklar belediye atıkları olarak nitelendirilmektedir. Evlerden veya diğer alanlardan oluşan atıklar uygun aralıklarla toplama aracı tarafından toplanmaktadır. Bu atıklar çevre insan sağlığına zarar vermeyecek bir şekilde imha edilmelidir. Atıkların uygun yöntemlerde belirli işlemlerden geçirilerek benzeri bir maddeye, yeni bir hammaddeye, ürüne ya da yararlı enerjiye dönüştürülmesi işlemine geri dönüşüm işlemi denilmektedir.

Evsel katı atıkların toplanması, taşınması, geri kazanım işlemlerinin yapılması veya ortadan kaldırılması işlemlerinin sonucu çevre ve insan sağlığı açısından kötü sonuçlar oluşturmamasına yönelik, yetki ve sorumluluklar 5393 Sayılı Belediye Kanunu ile Belediyelerin sorumluluğuna, ayrıca 5216 Sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanunu ile Büyükşehir Belediyelerinin sorumluluğuna verilmiştir. 2872 Sayılı Çevre Kanunu ile Büyükşehir Belediyeleri ve diğer belediyeler, evsel katı atık bertaraf tesislerini

oluşturmak, kurulmasına destek vermek, işletmek veya işlettirmekle yükümlüdürler (ÇŞB, 2020).

Tablo 15. 2020-2021 Ocak-Mart dönemi elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı

Kaynak	2020 Üretimi (TWh)	2021 Üretimi (TWh)	Değişim (%)	2021 Oran (%)
Hidroelektrik	22.2	14.5	-34.7	18.4
Doğalgaz	14.5	22.9	57.9	29.1
İthal Kömür	16.5	15.4	-6.7	19.5
Taş Kömürü, Linyit ve Asfaltit	10.3	11.5	11.7	14.6
Rüzgar	6.8	7.9	16.2	10.0
Güneş	1.9	2.4	26.3	3.0
Jeotermal	2,5	2.7	8.0	3.4
Biyogaz	1.0	1.4	40.0	1.8
Fuel-Oil ve Motorin	0.08	0.08	0.0	0.1
Toplam	75.8	78.8	4.0	100

Kaynak: Türkiye Elektrik Üretimi (enerjiatlası.com).

Türkiye’de 2020 yılının ilk çeyreği ile 2021 yılının ilk çeyreği dönemlerindeki elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı ve kıyaslanması yukarıdaki tabloda gösterilmiştir. 2021 yılına gelindiğinde yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji miktarı artmış yenilenemeyen enerji kaynaklarından elde edilen enerji miktarı ise azalmıştır. Enerji üretimindeki en büyük artış %40’lık bir oranla biyogaz enerjisinde meydana gelmiştir.

Oluşan toplam belediye atık miktarı (Atık Yönetimi Yönetmeliği 2015)

Oluşan toplam atık hesabı 4 adımda hesap yapılmaktadır:

- (1) Toplanan atık miktarı (bin ton/yıl)

- (2) Belediye atık istatistikleri anketi sonuçlarına göre atığı %100 toplanmayan belediyeler için atık hesabı
- (3) Köy atık miktarının hesabı
- (4) Belediye atık istatistikleri anketi sonuçlarına göre atığı hiç toplanmayan belediyeler için atık hesabı

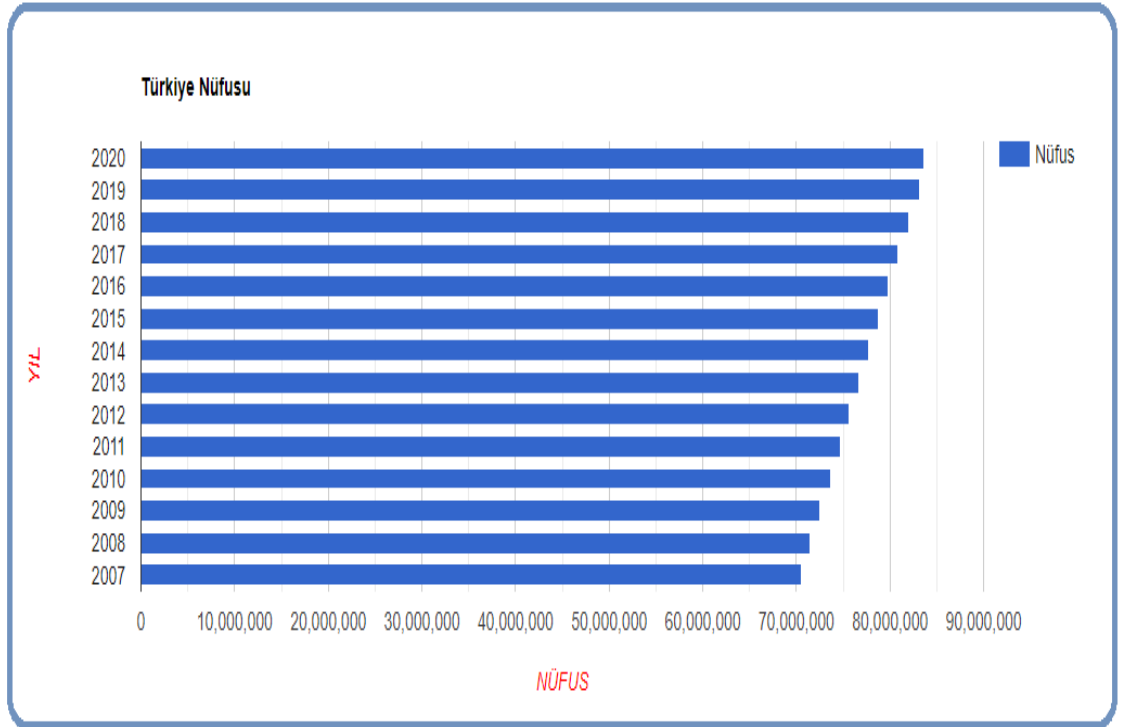
En son olarak bu dört basamakta hesaplanan veriler toplanır (TUIK). Bunlar ayrı ayrı ele alındığında;

- (i) Toplanan atık miktarı; Belediye Atık İstatistikleri anketi sonucunda elde edilen yıllık toplanan atık miktarı
- (ii) Belediye atık istatistikleri anketi sonuçlarına göre atığı %100 toplanmayan belediyeler için atık hesabı; İlk olarak %100 atığı toplanmayan belediyelerin atık hizmet verilen nüfusu; (Atık hizmeti verilen nüfus yüzdesi*Belediyenin toplam nüfusu)/100 ile elde edilir, yıllık toplanan atık miktarına bölünerek kişi başı yıllık atık miktarı hesaplanır. Atık hizmeti verilmeyen nüfus; Toplam nüfus-Atık hizmeti verilen nüfus) ile yıllık kişi başı atık miktarı çarpıtılarak elde edilir.
- (iii) Köy atık miktarının hesabı; Belediye Atık istatistikleri sonucuna göre nüfusu 2000 kişi veya daha az olan nüfuslu belediyeler seçilir. Bu belediyelerin kişi başı (kg/yıl) atık miktarı hesaplanır. Medyanı bulmak için nüfusu 2000 kişi veya daha az olan belediyelerin kişi başı atık miktarı küçükten büyüğe sıralanır. Nüfusu 2000 kişi veya daha az olan belediyelerin sayısı ikiye bölünür. Bu sayıya denk gelen belediyenin kişi başı atık miktarı o yıla ait köy nüfusu ile çarpıtılıp 1000000 e bölünerek köy atık miktarı elde edilmiş olur.
- (iv) Belediye atık istatistikleri anketi sonuçlarına göre atığı hiç toplanmayan belediyeler için atık tahmini; Bu belediyeler genelde nüfusu 2001 ile 5000 kişi arasında değişmektedir. Bu nedenle nüfusu 2001 ile 5000 kişi arasındaki tüm belediyelerin toplanan atık miktarı/hizmet edilen nüfusu yapılarak ortalama kişi başı atık miktarı bulunur. Bulunan kişi başı atık miktarı ile atığı toplanmayan belediyelerin nüfusu çarpıtılıp toplatılarak atık miktarı hesaplanır. 2014 ve 2016 yılı için hizmet vermeyen belediye sayısı az olduğu ve nüfusları 2000 civarında olduğu için köy atık miktarının hesaplanmasında kullanılan kişi başı atık miktarı

ile toplam nüfus çarpılarak atık miktarı hesaplanmıştır. En son olarak, oluşan toplam belediye atık miktarı bu dört aşamada hesaplanan değerlerin toplanmasıyla elde edilir.

4.2. Türkiye'deki Şehirlerin Katı Atıkları

Katı atık miktarı nüfusa bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. 2020 yılı nüfus sayımının verilerine göre Türkiye nüfusu 83 milyon 614 bin 362 kişi olarak sayılmıştır. 31 Aralık 2020 tarihi itibarıyla Türkiye nüfusu, 2019 yılı nüfus sayımı verilerine göre 459 bin 365 kişi artmıştır. Türkiye'de toplam nüfusun %50.1'ini erkekler, %49,9'unu ise kadınlar oluşturmaktadır. Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi sonuçlarına göre Türkiye'de yaşayan yabancı nüfus 1 milyon 333 bin 410 kişidir. Bu nüfusun %49.7'sini erkekler, %50.3 ünü kadınlar oluşturmaktadır (TUİK). Türkiye'de nüfus artış hızı, binde 5.5 olmuştur. Yıllık nüfus artış hızı 2019 yılında binde 13.9 iken, 2020 yılında binde 5.5 ye düşmüştür (Şekil 4).



Şekil 4. Türkiye nüfusu grafiği

Kaynak: TUİK.

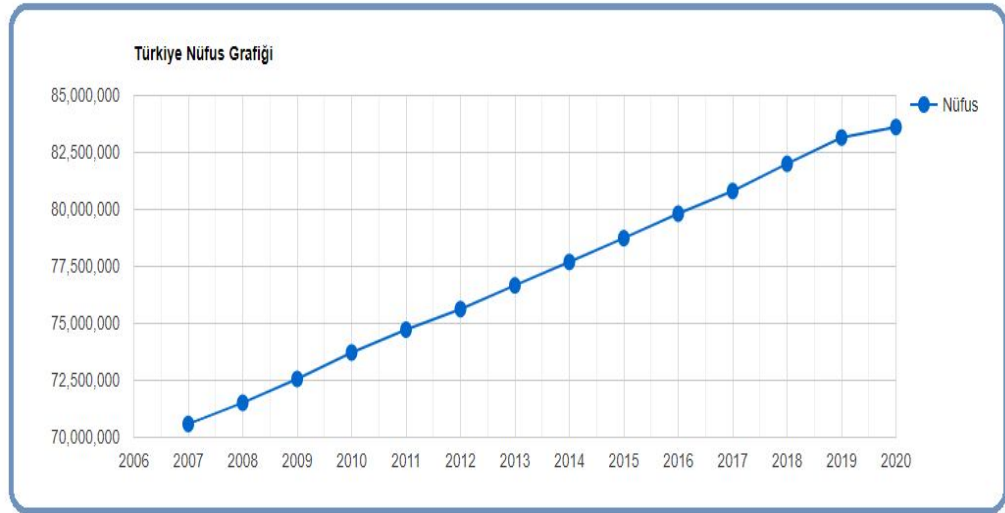
Tablo 16. Türkiye nüfusu illere göre dağılımı

Yıl	İl	Toplam Nüfus	Erkek Nüfusu	Kadın Nüfusu	Nüfus Yüzdesi
2020	İstanbul	15.462.452	7.750.836	7.711.616	% 18,49
2020	Ankara	5.663.322	2.805.877	2.857.445	% 6,77
2020	İzmir	4.394.694	2.187.226	2.207.468	% 5,26
2020	Bursa	3.101.833	1.550.767	1.551.066	% 3,71
2020	Antalya	2.548.308	1.281.943	1.266.365	% 3,05
2020	Adana	2.258.718	1.127.516	1.131.202	% 2,70
2020	Konya	2.250.020	1.118.850	1.131.170	% 2,69
2020	Şanlıurfa	2.115.256	1.066.402	1.048.854	% 2,53
2020	Gaziantep	2.101.157	1.060.820	1.040.337	% 2,51
2020	Kocaeli	1.997.258	1.009.533	987.725	% 2,39
2020	Mersin	1.868.757	933.368	935.389	% 2,23
2020	Diyarbakır	1.783.431	899.516	883.915	% 2,13
2020	Hatay	1.659.320	833.146	826.174	% 1,98
2020	Manisa	1.450.616	728.724	721.892	% 1,73
2020	Kayseri	1.421.455	712.710	708.745	% 1,70
2020	Samsun	1.356.079	670.675	685.404	% 1,62
2020	Balıkesir	1.240.285	619.765	620.520	% 1,48
2020	Kahramanmaraş	1.168.163	592.920	575.243	% 1,40
2020	Van	1.149.342	585.854	563.488	% 1,37
2020	Aydın	1.119.084	557.066	562.018	% 1,34
2020	Tekirdağ	1.081.065	552.587	528.478	% 1,29
2020	Sakarya	1.042.649	522.388	520.261	% 1,25
2020	Denizli	1.040.915	518.742	522.173	% 1,24
2020	Muğla	1.000.773	508.504	492.269	% 1,20
2020	Eskişehir	888.828	443.227	445.601	% 1,06
2020	Mardin	854.716	428.780	425.936	% 1,02
2020	Trabzon	811.901	402.224	409.677	% 0,97
2020	Malatya	806.156	401.610	404.546	% 0,96
2020	Ordu	761.400	380.031	381.369	% 0,91

2020	Erzurum	758.279	378.661	379.618	% 0,91
2020	Afyonkarahisar	736.912	367.399	369.513	% 0,88
2020	Sivas	635.889	318.771	317.118	% 0,76
2020	Adıyaman	632.459	318.755	313.704	% 0,76
2020	Batman	620.278	312.137	308.141	% 0,74
2020	Tokat	597.861	297.311	300.550	% 0,72
2020	Zonguldak	591.204	293.068	298.136	% 0,71
2020	Elazığ	587.960	291.461	296.499	% 0,70
2020	Kütahya	576.688	284.575	292.113	% 0,69
2020	Osmaniye	548.556	276.776	271.780	% 0,66
2020	Çanakkale	541.548	271.456	270.092	% 0,65
2020	Şırnak	537.762	279.486	258.276	% 0,64
2020	Ağrı	535.435	276.800	258.635	% 0,64
2020	Çorum	530.126	262.590	267.536	% 0,63
2020	Giresun	448.721	223.738	224.983	% 0,54
2020	Isparta	440.304	218.526	221.778	% 0,53
2020	Aksaray	423.011	211.232	211.779	% 0,51
2020	Yozgat	419.095	209.257	209.838	% 0,50
2020	Muş	411.117	209.647	201.470	% 0,49
2020	Edirne	407.763	205.775	201.988	% 0,49
2020	Düzce	395.679	198.032	197.647	% 0,47
2020	Kastamonu	376.377	187.264	189.113	% 0,45
2020	Uşak	369.433	184.225	185.208	% 0,44
2020	Niğde	362.071	181.692	180.379	% 0,43
2020	Kırklareli	361.737	184.250	177.487	% 0,43
2020	Bitlis	350.994	180.982	170.012	% 0,42
2020	Rize	344.359	172.469	171.890	% 0,41
2020	Amasya	335.494	167.624	167.870	% 0,40
2020	Siirt	331.070	168.939	162.131	% 0,40
2020	Bolu	314.802	156.340	158.462	% 0,38
2020	Nevşehir	304.962	151.134	153.828	% 0,36
2020	Kars	284.923	147.150	137.773	% 0,34
2020	Bingöl	281.768	142.670	139.098	% 0,34
2020	Hakkari	280.514	148.967	131.547	% 0,34
2020	Kırıkkale	278.703	139.281	139.422	% 0,33
2020	Yalova	276.050	138.860	137.190	% 0,33

2020	Burdur	267.092	134.124	132.968	% 0,32
2020	Karaman	254.919	127.829	127.090	% 0,30
2020	Karabük	243.614	121.875	121.739	% 0,29
2020	Kırşehir	243.042	119.725	123.317	% 0,29
2020	Erzincan	234.431	119.325	115.106	% 0,28
2020	Bilecik	218.717	111.190	107.527	% 0,26
2020	Sinop	216.460	107.689	108.771	% 0,26
2020	Iğdır	201.314	103.059	98.255	% 0,24
2020	Bartın	198.979	98.451	100.528	% 0,24
2020	Çankırı	192.428	97.065	95.363	% 0,23
2020	Artvin	169.501	85.523	83.978	% 0,20
2020	Kilis	142.792	72.652	70.140	% 0,17
2020	Gümüşhane	141.702	71.943	69.759	% 0,17
2020	Ardahan	96.161	49.811	46.350	% 0,12
2020	Tunceli	83.443	44.815	38.628	% 0,10
2020	Bayburt	81.910	42.002	39.908	% 0,10

Kaynak: TÜİK



Şekil 5. Türkiye nüfus grafiği

Kaynak: TÜİK

Türkiye’de bulunan belediyelere Türkiye İstatistik Kurumu tarafından uygulanan 2018 yılı Belediye Atık İstatistikleri Anketi sonuçlarına göre, ankete katılan 1399 belediyenin 1395’inde atık hizmeti verildiği sonucuna ulaşılmıştır, Atık hizmeti veren belediyelerin 32 milyon 209 bin ton atık topladığı belirlenmiştir, bu atıkların %67.2’si düzenli

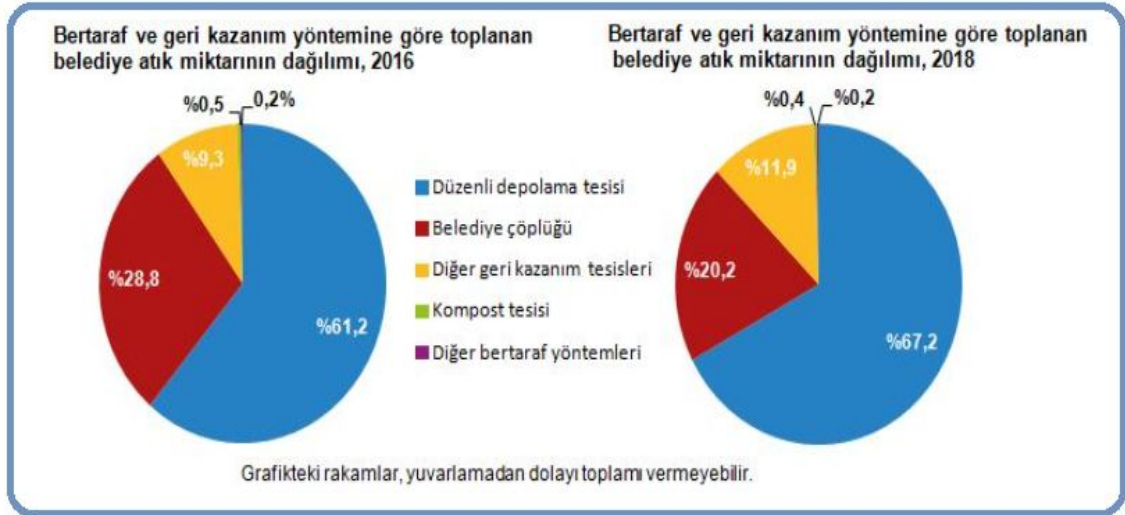
depolama tesislerine, %20.2'si belediye çöplüklerine ve %12,3'ü geri kazanım tesislerine gönderilmiş, %0.2'si ise bertaraf edilmiştir (TUİK). Bu alanlarda, kişi başı toplanan günlük ortalama atık miktarı 1.16 kg olarak hesaplanmıştır. 2018 yılı Belediye Atık İstatistikleri Anketi sonuçlarına göre belediyelerde toplanan kişi başı günlük ortalama atık miktarı Türkiye genelinde 1.16 kg olarak belirlenmiştir. İllere göre yapılan hesaplamalarda toplanan kişi başı günlük ortalama atık miktarının, İstanbul için 1.28 kg, Ankara için 1.18 kg ve İzmir için 1.36 kg olduğu tespit edilmiştir (TUİK).

Belediye atık göstergeleri, 2016, 2018 (ton)		
	2016	2018
Toplam belediye sayısı	1 397	1 399
Atık hizmeti veren belediye sayısı	1 390	1 395
Atık hizmeti verilen belediye nüfusunun toplam belediye nüfusuna oranı (%)	98,6	98,8
Toplanan atık miktarı (Bin ton)	31 584	32 209
Kişi başı ortalama atık miktarı (Kg/kişi-gün)	1,17	1,16
Toplanan atığın bertaraf ve geri kazanım yöntemlerine göre oranı (%)		
Düzenli depolama tesisine gönderilen	61,2	67,2
Belediye çöplüğüne gönderilen	28,8	20,2
Geri kazanım tesislerine gönderilen	9,8	12,3
Diğer bertaraf yöntemleri ⁽¹⁾	0,2	0,2

Şekil 6. Belediye atık göstergesi 2016-2018

Kaynak: TUİK

Şekil 6'da görüldüğü gibi 2016 ve 2018 yıllarında yapılan hesaplamalarda belediyelerin %98,8' ine atık toplama hizmeti verilmiştir. Belediye atık istatistiklerine göre, 2016 yılında toplam 1390 belediye atık toplama hizmeti verirken, 2018 yılında toplam 1395 belediyenin atık toplama hizmeti verdiği gözlemlenmiştir. Belediyelerde 2016 yılında 31.6 milyon ton, 2018 yılında ise 32.2 milyon ton atık toplanmış, bu atıkların 2016 yılında %61.2'si düzenli depolama tesislerine, %28.8'i belediye çöplüklerine, %9.3'ü diğer geri kazanım tesislerine, %0.5'i kompost tesislerine gönderilmiş, %0.2'si ise diğer yöntemler ile bertaraf edilmiştir. 2018 yılında ise toplanan atığın %67.2'si düzenli depolama tesislerine, %20,2'si belediye çöplüklerine ve %0.4'ü kompost tesislerine gönderilirken, %0.2'si diğer bertaraf yöntemleri ile bertaraf edilmiş, %11.9'u ise diğer geri kazanım tesislerine gönderilmiştir (TUİK).



Şekil 7. Bertaraf ve geri kazanım yöntemine göre 2016-2018 yıllarında toplanan belediye atık miktarları

Kaynak: TÜİK, İstatistiklerle Çevre, 2018.

Çöpgazı eldesinde kullanılacak atıklar düzenli depolama tesislerinde depolandığı için Türkiye’de toplanan atıkların %67,2 si çöpgazı eldesinde kullanılacağı bilgisi ortaya çıkmaktadır. Ancak tüm çöp depo sahalarında çöp gazı tesisi bulunmamaktadır. Sadece 21 tesiste çöp gazı eldesi yapılmaktadır. Gün geçtikçe düzenli depolama tesislerinin sayısı arttığı için düzenli depolama tesislerine gönderilen atık miktarında artış görülmektedir (TÜİK, 2018).

Tablo 17. Bertaraf ve geri kazanım yöntemine göre 2008 – 2018 yılları arasında toplanan belediye atık miktarı

	2008	2010	2012	2014	2016	2018
Toplam Atık – (Bin ton atık)	24.361	25.277	25.845	28.011	31.584	32.209
Belediye çöplüğüne gönderilen atık	12.677	11.001	9.771	9.936	9.095	6.521
Düzenli depolama tesislerine gönderilen atık	10.947	13.747	15.484	17.807	19.338	21.644
Diğer bertaraf yöntemlerine gönderilen atık	461	334	435	141	58	74
Kompost tesisine gönderilen atık	276	194	155	126	146	123
Diğer geri kazanım tesislerine gönderilen (2016 yılına kadar sadece kompost tesislerine gönderilen atıklar kapsamıştır)	-	-	-	-	2 946	3 848

Kaynak: TÜİK, İstatistiklerle Çevre, 2018.

Yukarıdaki tablo incelendiği zaman Türkiye’de 2008 yılında yaklaşık 24 milyon ton atık toplanırken bu miktar 2018 yılında yaklaşık 32 milyon tona yükselmiştir. 2008 yılında toplanan atıkların neredeyse yarı yarıya, düzenleme depolama tesislerine ve belediye çöplüklerine gönderildiği görülmektedir. 2018 yılına gelindiğinde ise düzenli depolama alanlarına gönderilen atık miktarı iki katına çıkmış çöplüklere gönderilen atık miktarı ise yarıya inmiştir. Bu durumun ana sebebi düzenli depolama tesisleri sayısında meydana gelen artıştır. Bu durum atıkların bertarafı için diğer yöntemlere başvurma oranında azalma sağlamıştır (TÜİK, 2018).

Tablo 18. Türkiye’de 2018 yılında atık hizmeti verilen belediyeler, nüfusu ve toplanan atık miktarı

İl	Toplam nüfus	Toplam belediye nüfusu	Toplam belediye sayısı	Atık hizmeti veren belediye sayısı	Atık hizmeti verilen belediye nüfusu	Atık hizmeti verilen belediye nüfusunun toplam belediye nüfusuna oranı (%)	Toplanan atık miktarı (Ton)	Kişi başı toplanan ortalama atık miktarı (Kg/kişi-gün)
Türkiye	82.003.882	76888607	1399	1395	75.952.539	98.8	32.209.222	1.16
Adana	2.220.125	2.220.125	16	16	2.215.736	99.8	792.612	0.98
Adıyaman	624.513	455.373	23	21	448.891	98.6	167.293	1.02
Afyonkarahisar	725.568	552.526	59	59	548.489	99.3	205.619	1.03
Ağrı	539.657	314.429	12	12	307.092	97.7	158.742	1.42
Amasya	337.508	243.561	8	8	242.346	99.5	88.764	1.00
Ankara	5.503.985	5.503.985	26	26	5.493.892	99.8	2.356.588	1.18
Antalya	2.426.356	2.426.356	20	20	2.386.681	98.4	1.292.717	1.48
Artvin	174.010	102.882	9	9	102.882	100	45.102	1.20
Aydın	1.097.746	1.097.746	18	18	1.074.621	97.9	478.973	1.22
Balıkesir	1.226.575	1.226.575	21	21	1.225.858	99.9	665.393	1.49
Bilecik	223.448	188.397	11	11	188.268	99.9	74.790	1.09
Bingöl	281.205	177.364	11	11	174.640	98.5	52.215	0.82
Bitlis	349.396	227.550	13	13	227.550	100	63.258	0.76
Bolu	311.810	226.833	12	12	226.653	99.9	116.400	1.41
Burdur	269.926	192.554	15	14	189.473	98.4	96.819	1.40
Bursa	2.994.521	2.994.521	18	18	2.991.597	99.9	1.181.120	1.08
Çanakkale	540.662	388.089	23	23	387.958	100	261.800	1.85
Çankırı	216.362	143.887	15	15	141.426	98.3	72.336	1.40
Çorum	536.483	396.196	16	16	394.122	99.5	155.156	1.08
Denizli	1.027.782	1.027.782	20	20	1.021.633	99.4	401.855	1.08
Diyarbakır	1.732.396	1.732.396	18	18	1.705.467	98.4	671.968	1.08
Edirne	411.528	318.931	16	16	318.931	100	155.398	1.33
Elazığ	595.638	471.706	20	20	466.558	98.9	164.985	0.97
Erzincan	236.034	183.759	24	24	183.578	99.9	95.309	1.42
Erzurum	767.848	767.848	21	21	675.717	88.0	209.400	0.85
Eskişehir	871.187	871.187	15	15	866.281	99.4	331.781	1.05
Gaziantep	2.028.563	2.028.563	10	10	2.024.169	99.8	650.984	0.88
Giresun	453.912	298.094	24	24	288.137	96.7	118.912	1.13
Gümüşhane	162.748	102.145	14	14	95.930	93.9	36.440	1.04
Hakkari	286.470	178.167	8	8	178.132	100	50.128	0.77
Hatay	1.609.856	1.609.856	16	16	1.604.296	99.7	710.857	1.21
Isparta	441.412	345.439	22	22	344.386	99.7	163.878	1.30
Mersin	1.814.468	1.814.468	14	14	1.789.268	98.6	708.143	1.08

İstanbul	15.067.724	15.067.724	40	40	15.067.724	100	7.042.585	1.28
İzmir	4.320.519	4.320.519	31	31	4.311.231	99.8	2.132.492	1.36
Kars	288.878	140.205	9	9	140.205	100	86.295	1.69
Kastamonu	383.373	232.670	20	20	230.826	99.2	90.129	1.07
Kayseri	1.389.680	1.389.680	17	17	1.376.030	99.0	476.183	0.95
Kırklareli	360.860	294.557	21	21	293.948	99.8	127.428	1.19
Kırşehir	241.868	194.798	10	10	191.932	98.5	74.169	1.06
Kocaeli	1.906.391	1.906.391	13	13	1.906.391	100	712.974	1.02
Konya	2.205.609	2.205.609	32	32	2.195.572	99.5	856.705	1.07
Kütahya	577.941	443.480	28	28	443.433	100	160.199	0.99
Malatya	797.036	797.036	14	14	786.695	98.7	270.530	0.94
Manisa	1.429.643	1.429.643	18	18	1.412.505	98.8	642.222	1.25
Kahramanmaraş	1.144.851	1.144.851	12	12	1.132.491	98.9	318.480	0.77
Mardin	829.195	829.195	11	11	738.946	89.1	220.515	0.82
Muğla	967.487	967.487	14	14	949.196	98.1	673.996	1.95
Muş	407.992	226.324	23	22	224.309	99.1	69.638	0.85
Nevşehir	298.339	233.443	23	23	232.212	99.5	85.787	1.01
Niğde	364.707	289.374	29	29	275.684	95.3	109.471	1.09
Ordu	771.932	771.932	20	20	699.758	90.7	256.826	1.01
Rize	348.608	224.057	18	18	219.737	98.1	100.152	1.25
Sakarya	1.010.700	1.010.700	17	17	998.580	98.8	394.119	1.08
Samsun	1.335.716	1.335.716	18	18	1.123.063	84.1	402.064	0.98
Siirt	331.670	237.761	12	12	232.267	97.7	111.063	1.31
Sinop	219.733	129.425	9	9	128.686	99.4	65.175	1.39
Sivas	646.608	486.479	24	24	484.441	99.6	193.399	1.09
Tekirdağ	1.029.927	1.029.927	12	12	1.028.950	99.9	499.519	1.33
Tokat	612.646	463.890	37	37	457.122	98.5	181.148	1.09
Trabzon	807.903	807.903	19	19	801.087	99.2	237.235	0.81
Tunceli	88.198	58.069	9	9	56.182	96.8	23.437	1.14
Şanlıurfa	2.035.809	2.035.809	14	14	1.973.606	96.9	543.678	0.75
Uşak	367.514	283.783	12	12	283.345	99.8	145.370	1.41
Van	1.123.784	1.123.784	14	14	1.118.787	99.6	530.543	1.30
Yozgat	424.981	313.816	36	36	312.598	99.6	123.054	1.08
Zonguldak	599.698	427.646	25	25	424.003	99.1	160.733	1.04
Aksaray	412.172	328.900	22	22	322.431	98.0	121.566	1.03
Bayburt	82.274	50.034	5	5	50.034	100	16.483	0.90
Karaman	251.913	201.419	11	11	201.132	99.9	81.015	1.10
Kırıkkale	286.602	251.646	11	11	251.049	99.8	77.926	0.85
Batman	599.103	496.764	11	11	488.043	98.2	152.300	0.85
Şırnak	524.190	387.077	19	19	373.788	96.6	207.238	1.52
Bartın	198.999	97.189	8	8	96.219	99.0	70.582	2.01
Ardahan	98.907	41.481	7	7	40.854	98.5	25.358	1.70
İğdır	197.456	125.684	7	7	125.684	100	55.362	1.21
Yalova	262.234	234.484	14	14	234.484	100	100.439	1.17
Karabük	248.014	190.631	7	7	190.134	99.7	90.535	1.30
Kilis	142.541	106.061	4	4	106.061	100	53.303	1.38
Osmaniye	534.415	435.469	14	14	433.821	99.6	134.874	0.85
Düzce	387.844	258.795	10	10	256.611	99.2	109.190	1.17

Kaynak: TÜİK, Belediye Atık İstatistikleri, 2018.

4.3. Çöp Gazı ve Biyogaz Sistemleri

4.3.1. Çöp Gazı

Belediye atıklarından düzenli depolanması veya atıkların oksijensiz çürütme yöntemleriyle işlenmesi sonucu elde edilen enerji çöp gazı enerji yönetimi sistemi olarak tanımlanmaktadır, bu enerji yönetimi sisteminde atıkların içten yanmalı motor kullanılarak yakılması sonucu enerji üretimi gerçekleştirilmektedir. Atık bertaraf yöntemlerinin en eskisi ve aynı zamanda en çok kullanılan olan atıkların arazide depolanması yöntemi ile atıklar biriktirilmektedir. Katı atıkların düzensiz bir şekilde atılması, çevre ve insan sağlığı açısından birçok olumsuzluk oluşturmaktadır.

Yıllık çöpten üretilen enerji

Toplam nüfus: 82003882 kişi

Toplam belediye nüfus: 76888607 kişi

Atık hizmeti verilen belediye nüfus: 75952539 kişi

Atık hizmeti verilen belediye nüfusunun toplam belediye nüfusuna oranı: % 98.8

Toplanan katı atık miktarı: 32209222 ton

Kişi başı toplanan ortalama katı atık miktarı: 1.16 Kg/kişi-gün

Türkiye’de yıllık üretilen çöp miktarı: 20500000 ton

Atık hizmeti verilen nüfus yüzdesi* Belediyenin toplam nüfusu Belediyelerin atık hizmeti

$$\text{Verilen nüfusu} = \frac{100}{98.8 * 76888607}$$

$$= \frac{100}{100}$$

$$= 75965943.716 \text{ kişi}$$

Belediyelerin atık hizmet verilen nüfusu

$$\text{Kişi başı yıllık atık miktarı} = \frac{\text{Yıllık toplanan atık miktarı}}{20500000}$$

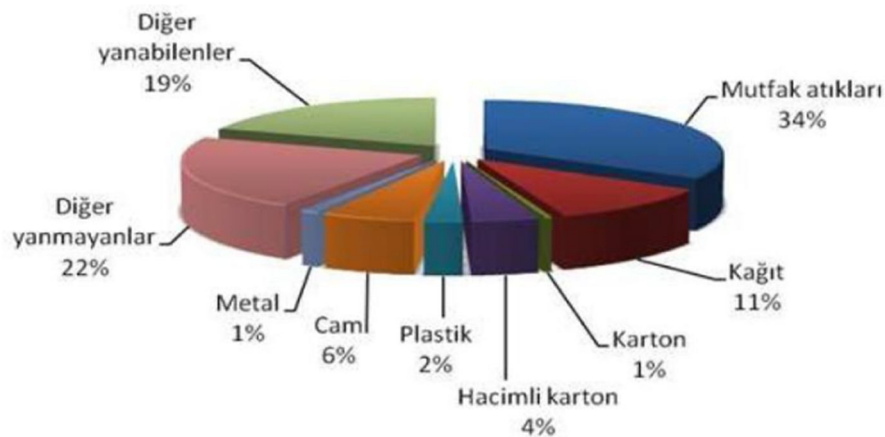
$$= 75965943.716 / 20500000$$

$$= 3.71 \text{ kişi/ton}$$

- Yıllık yaklaşık 1 milyon 450 bin eve enerji sağlanır
- Türkiye’de çöpten elektrik üretilebilecek olursa yıllık 4,6 milyar TL kazanç elde edebilecektir.
- Türkiye’de evlerde üretilen çöplerle yaklaşık 11,5 milyar kwh elektrik üretilebilir.

05.07.2008 tarih ve 26927 sayılı, Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmeliği Atık Yönetimi ile ilgili olarak yayımlanmıştır. Bu yönetmeliğe göre atık, herhangi bir faaliyet sonucunda oluşan, çevreye atılan ve atık yönetimi sınıflandırmaları dahilinde kalan herhangi bir maddeyi ifade etmektedir. Türkiye, birçok yenilenemez ve yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip bir ülkedir (Cepeliogullar, vd., 2016).

Türkiye’de oluşan çöpün sadece %54’ü düzenli depolama alanlarında depolanmaktadır, kalan % 46 kısmı ise düzensiz olarak depolanmaktadır. Şekil-3.6’da Evrensel katı atık dağılımı görülmektedir. Marmara ve Ege Bölgesi’nde kişi başına oluşan çöp miktarı 1.15-1.28 kg/gün olmasına rağmen Akdeniz, Karadeniz ve İç Anadolu Bölgesi’nde 0.8-1.28 kg/gün olarak belirlenmiştir. Güneydoğu’da ise bu değer 0.75-0.90 kg/gün olarak belirlenmiştir (The European Cement Assosiation Activity Report, 2018). Türkiye’de işletme aşamasında olan 59 adet düzenli katı atık depolama tesisi bulunmaktadır. İnşaat ve ihale aşamasında olan 39 adet katı atık depolama tesisi ve proje aşamasında olan 41 adet katı atık depolama tesisi çalışması bulunmaktadır. Metan gazından elektrik üretimi yapan ise 12 adet tesis bulunmaktadır (<http://www.resmigazete.gov.tr>).



Şekil 8. Evsel katı atık dağılımı

Kaynak: TÜİK, 2010.

Türkiye’de yılda yaklaşık 20.5 milyon ton çöp üretilmektedir. Araştırmalar sonucunda, bu çöplerin yıllık elektrik üretim kapasitesi yaklaşık 1.5 milyar kwh’ dir. Enerji üretimi açısından çok değerli olan çöp, genel olarak hem çevre sağlığına hem de ülke ekonomisine büyük bir yük olmaktadır. Çünkü genel olarak çöplerin yüzde 95’i çöplüklerde biriktirilip yakılmaktadır. Ayrıca yaklaşık 1.1 milyar ton çöp ise kontrolsüz bir şekilde yakılmakta ve bu kontrolsüzlüğe gelişmekte olan ülkeler daha çok neden olmaktadır. En çok atık oluşturan ülkeler arasında Çin, Hindistan, Brezilya, Meksika, Pakistan ve Türkiye gibi, çöp yakarak en çok hava kirliliğine neden olan ülkeler gösterilmektedir. Dünyada günde yaklaşık olarak 1.1 milyar ton çöp kontrolsüz bir şekilde yakılmaktadır.

- Ülkemiz en çok çöp yakan ülkeler arasında yer almaktadır.
- 1 ton çöpten 550 kwh elektrik üretilebilmektedir.
- Bu üretilen çöplerden 11.5 milyar kwh elektrik üretilebilmektedir.
- Kontrolsüz yakılan çöpler asit yağmurlarına neden olarak çevreye, toprağa çok fazla zarar vermektedir.
- 1 santimetrekarelik toprakta 1.5- 2 milyon canlı yaşıyor.
- Aslında rahatlıkla dönüştürebilecekken dönüştürmediğimiz çöplerin yüzde 96’sı enerjiye dönüşebilirken sadece yüzde 4’ü atık madde olmaktadır.
- 1 ton çöpten 15-20 yılda 400 metreküp çöplük gazı üretip bu gazdan evlerin ısıtılmasından faydalanılabilecekken belli bir kesim bunu umursamamaktadır.
- Toplam çöpün yüzde 96’sının yüzde 1’i tarımsal alanda gübre olarak kullanılmakta ve kalan diğer kısım elektrik üretiminde kullanılmaktadır.
- Norveç, yılda yaklaşık 80 bin ton çöp satın almaktadır.
- 2020 yılında çöpten elektrik üretim miktarının 80 milyar dolar olacağı tahmin edilmektedir.
- Türkiye’de yıllık 20.5 milyon ton çöp üretilmektedir. Bu miktar, yıllık yaklaşık 1 milyon 450 bin evin düşük ücretlendirmelerle ısınma ihtiyacını karşılayabilecek büyüklüktedir.

- Türkiye’de çöpten elektrik üretimi yaparak yıllık ortalama olarak 4,6 milyar TL kazanç elde edebilecektir.

Çöpten elektrik üreten ülkeler İsveç ve Japonya geçen sene başladığı uygulama ile evsel katı atıkları cinslerine göre sınıflandırmaktadır. Paris’te 300 binden fazla ev, çöpten elde edilen enerji ile ısınmaktadır. İsveç ve Kanada’da çöpten gübre olarak faydalanılmaktadır. Eğer Türkiye’deki çöpler kontrollü bir şekilde yakılırsa hem ısı enerjisi, hem elektrik enerjisi hem de gübre üretilebileceği gibi, ortaya çıkan asidik oksitlerle de kimyasal madde üretilip Türk ekonomisine çok büyük katkı sağlanabilecektir. Fermantasyon ile kimyasal dönüşüm sonucu biyogaz oluşmakta ve 1 ton çöpten 15-20 yılda 400 metreküp çöplük gazı üretilebilmektedir. Bu durum Türk milletinin cebini yakan gaz faturalarında düşüş yaşanmasının imkansız olmadığını göstermektedir.

ABD’li Navigant şirketinin verilerine göre küresel çapta çöpten elde edilen elektrik üretim miktarı 2 milyar dolar olup, 2015’te bu rakam 29,2 milyar dolar olarak hesaplanmıştır. İyimser rakamlara göre bu rakamların 80 milyar dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir. Yapılan araştırmalara göre İsveç’te 250 bin civarında ev çöpten ısıtılmaktadır. İsveç’te daha çok çöp dönüşüm kapasitesi olduğu için çevre ülkelerden çöp satın almaktadır. Norveç de yılda yaklaşık 80 bin ton çöp satın almaktadır. Çöplerin sadece yüzde 4’ü geri dönüşmez durumdadır. Bu bağlamda İsveç, Balkan ülkelerinden Romanya’dan, İtalya’dan ve belki Türkiye’den çöp satın almayı planlamaktadır.

Katı atık depolama sahasında, 1 Ton çöp yaklaşık olarak 150-250 kg organik karbon içerir ve bundaki mikro organizmalar anaerobik işlem vasıtasıyla çöp gazına dönüştürür. Gaz üretimi, atığın çöp sahasına konulmasından yaklaşık 1-2 yıl sonrasında başlar ve 15-25 yıl boyunca devam eder. 3.5 ila 5.5 kWh Nm³ (%35-55 metan) alt ısı değerine sahip olan çöp gazı, elektrik üretimi için etkin olarak kullanılabilir gaz motorları için yüksek değerde yakıtı oluşturur.

Tablo 19. Çöpgazı kompozisyonu

Bileşen	Bileşim (hacimsel olarak)
Metan (CH ₄)	%35-55
Karbon Dioksit (CO ₂)	%30-44
Nitrojen (N ₂)	%5-25
Oksijen (O ₂)	%0-6
Su buharı	Doymuş

Kaynak: biyoder.org.tr

4.3.2. Çöpten Üretilen Enerji

Çöp atıklarında, atık ton başına üretilen toplam gaz yaklaşık olarak 100-200 Nm³ olarak belirlenmiştir. Üretim aşamasının ilk 20 yıl süresi içerisinde çöp atıklar tüm gaz kapasitelerinin yaklaşık % 50 sini üretirler, buda 10-30 kWh enerji potansiyeline denk gelmektedir. Atıkların organik kısmından yılda ortalama ısıtma ısısı 5.5 kWh/Nm³ olan 4-6 Nm³ gaz çıkar. 1 milyon ton çöpün ayrışması sonucu yaklaşık 510 m³ / gün çöp gazı geri kazanılabilir. Bu da yaklaşık 800 kW elektrik üretimi için yeterlidir (Akpınar, 2015).

Örnek olarak;

1000 kW elektrik üretecek bir tesis için 2.584 kWh birincil gaz enerjisine ihtiyaç olduğu düşünülürse. 2.584 kWh birincil gaz enerjisi de yaklaşık olarak 470 Nm³/h biyogaz ihtiyacına tekabül eder. Bu tesise 15 yıl boyunca yetecek birincil enerjiyi sağlayacak atık alanında yaklaşık 720.000 ton / 1.030.000 m³ atık olmalıdır (Çöpün yoğunluğu yaklaşık 700 kg/m³ olarak alınmıştır).

Tablo 20. Türkiye'ye ilişkin bazı genel bilgiler BEPA-2020

Nüfus	82.003.882
Hayvan Sayısı (adet)	422.832.374
Hayvansal Atık Miktarı (ton/yıl)	193.878.079
Hayvansal Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	4.385.371
Hayvansal Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	1.084.506
Bitkisel Üretim Miktarı (ton/yıl)	184.593.134
Bitkisel Atık Miktarı (ton. yıl)	62.200.754
Bitkisel Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	6.009.049
Bitkisel Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	1.402.159
Belediye Atıkları Miktarı (ton/yıl)	32.170.975
Belediye Atıklarının Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	3.373.011
Belediye Atıklarının Ekonomik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	485.858
Orman Varlığı Altıkları (ster/yıl)	3.914.904
Orman Artıklarının Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	859.899
Biyodizel İşleme Lisansı Sahibi Firma Sayısı	8

Kaynak: bepa.enerji.gov.tr

Türkiye’de 2020 yılı itibariyle atıkların teorik eşdeğerleri yaklaşık 15 milyon TEP/yıl’dır. Bu atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğerleri ise yaklaşık 3,5 milyon TEP/yıl’dır. Bu değerler kıyaslandığı zaman atıklardan elde enerji miktarının teorik enerji eşdeğeri miktarına göre oldukça düşük olduğu görülmektedir. Atıklardan elde edilen enerji oranının arttırılabilmesi için yeni ve modern atıktan enerji elde etme tesislerine ihtiyaç bulunmaktadır.

* Hayvan gübresi ve biyogaz üretim miktarlarının hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır (Başçetinçelik ve diğ., 2006; Ozsoy ve Alibas, 2015; Ayhan, 2015).

$$GM=(HS \times HGÜM)/1000$$

GM, günlük gübre üretim miktarı (t/d);

HS, hayvan sayısı;

HGÜM, hayvan başına günlük gübre üretim miktarıdır (kg/d. hayvan);

$$GM_{kati}=GM \times (KGO/100)$$

GM_{kati}, günlük katı gübre miktarı (t/d)

KGO, katı gübre oranıdır (%).

$$TKGM_{\text{katı}} = GM_{\text{katı}} \times (GKO/100) \times 365$$

TKGM, toplam kullanılabilir katı yıllık katı gübre miktarı (t/y) ve GKO, gübre kullanılabilirlik oranıdır (%).

$$BM = TKGM_{\text{katı}} \times BDO$$

BM, biyogaz miktarı (m³/y) ve BDO, katı gübre biyogaz dönüşüm oranı

$$TID = BM \times BID$$

TID, yıllık toplam ısı değeri (MJ/y) ve BID, biyogazın birim ısı değeri

Biyogazın gaz motorunda yakıt olarak kullanılmasıyla üretilen elektrik miktarı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E\ddot{U} = (TID/3600) \times E\ddot{U}V_{\text{net}}$$

E \ddot{U} , yıllık toplam elektrik üretim miktarı (MWhel/y) ve E $\ddot{U}V_{\text{net}}$, gaz motorunun net elektrik üretim verimi (%40) (Clarke Energy, 2016).

Tablo 21. Bazı organik atıkların biyogaz verimi

Organik madde cinsi	Biyogaz verimi (m ³ / ton)
Katı sığır gübresi	45
Mutfak atıkları	30
Küçükbaş hayvan gübresi	60
Kümes hayvanı gübresi	70-90
Atık su arıtma çamuru	310-800
Yemek atıkları	50-480
Sebze ve meyve atıkları	45-110
Tarımsal atıklar	20
Kanatlı gübresi	310-620
Şeker pancarı küspesi	147,1

Kaynak: Türkiye’de Atıklardan Enerji Üretimi ve Biyogaz. 2009

Tablo 21’de bazı organik atıkların ton başına biyogaz üretim verilerine baktığımızda ton başına mutfak atıklarından ortalama 30 m³, tarımsal atıklardan 20 m³ ve atık su arıtma çamurundan en az 310 m³ biyogaz üretildiği belirtilmiştir.

4.3.3. Biyogazdan Üretilen Enerji

Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam üretim içerisindeki payının artırılması bir enerji politikası olarak ele alınmıştır. Biyogazdan elektrik üretimi ülkemizde her yıl artış göstermektedir ve kurulu güç miktarı son beş yılda önceki yıllara oranla 3 kat daha artış göstermiştir. 2019 yılı itibariyle Türkiye’de enerji üretiminin %40’ını fosil yakıtlardan üretilen enerji ile karşılama enerji politikası uygulanmıştır, bu enerji politikası kapsamında %40’lık enerji üretilebilmesi için ulusal kaynaklardan biri olan biyogaz kaynaklardan elde edilebilir (İlkılıç, 2011).

Türkiye’de biyogaz enerji elde eden serbest üretim şirketi santralleri için 2016 yılındaki kurulu güç 265 MW’tır. Bu miktar her yıl artış göstermiş ve 2020 yılı sonu itibariyle 736 MW’a ulaşmıştır (Spyridon A. vd., 2017).

Tablo 22. Türkiye’de biyogaz enerji elde eden serbest üretim şirketi santralleri için 2016-2020 yılları arasında kurulu gücü (MW)

Biyogaz	2016	2017	2018	2019	2020
Kurulu Güç	265	353	441	584	736

Kaynak: Spyridon A. vd., 2017

Türkiye’de 2020 yılı itibariyle 422.832.374 adet hayvan bulunmaktadır. Bu hayvanların yıllık 193.878.079 ton atığından üretebilecek enerji miktarı ise yıllık 4.385.371 TEP’tir. Yılda 184.593.134 ton bitki üretilerek 62.206.754 ton bitkisel atık meydana gelmektedir.. Bu atıklardan ise yılda 6.009.049 TEP enerji üretimi yapılabilir. 81 ilde ortaya çıkan belediyesel atık miktarı ise yıllık 32.170.975 tondur. Bu atıklardan enerji üretim potansiyeli ise yılda 3.373.011 TEP’tir. Yıllık olarak 3.914.904 ster orman artığı oluşmaktadır. Bu miktar yılda 859.899 TEP enerji üretimi gerçekleştirilebilecek büyüklüktedir. Türkiye’nin biyokütle atık potansiyelinin yaklaşık 8,6 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP) ve üretebilecek biyogaz miktarının 1,5-2 MTEP olduğu tahmin edilmektedir (BEPA, 2020).

4.3.3.1. Biyogaz üretiminde kullanılacak bazı atıklar

Biyogaz üretiminde, büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvanların gübreleri, bitkisel atıklar, gıda atıkları ve endüstriden çıkan atıklar kullanılmaktadır. Biyogaz üretiminde

kullanılan atıklar yalnız başına kullanılabilirdiği gibi belirli karıştırılma şartlarıyla uygun koşullar sağlandığında birlikte de kullanılabilir (Karaosmanoğlu, 2010).

a. Hayvansal atıklar

Hayvansal atıklar kapsamında, büyükbaş ve küçükbaş hayvanların dışkıları, mezbahane de oluşan atıklar ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar biyogaz tesislerinde kullanılmaktadır. Hayvansal atıklar kullanan biyogaz tesisleri özellikle kırsal kesimler ve şehirlere yakın çiftliklere ulaşım açısından kısa mesafede olan bölgeler için uygundur (Kılıç, 2011).

Tablo 23. Hayvansal atıklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve metan oranları

Hammadde	Biyogaz Verimi (l/kg)	Metan Oranı (hacim %'si)
Sığır gübresi	90-310	65
Kanathı gübresi	310-620	60
Domuz gübresi	340-550	65-70

Kaynak: Kılıç, 2011

b. Bitkisel Atıklar

Bitkisel atıklar kapsamında, bitkisel ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar ile birlikte bitki sapları, saman, mısır artıkları, şeker pancarı yaprakları gibi bitkilerin işlenmeyen kısımları da kullanılmaktadır, ayrıca dolaylı yoldan elde edilecek endüstriyel bitkisel atıklar biyogaz üretimi için büyük bir önem taşımaktadır (Kılıç, 2011).

Tablo 24. Bitkisel atıklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve metan oranları

Hammadde	Biyogaz Verimi (l/kg)	Metan Oranı (hacim %'si)
Buğday samanı	200-300	50-60
Çavdar samanı	200-300	59
Arpa samanı	290-310	59
Mısır sapları ve artıkları	380-460	59
Keten	360	59
Kenevir	360	59
Çimen	280-550	70
Sebze atıkları	330-360	Değişken
Yerfıstığı kabuğu	365	-
Dökülmüş ağaç yaprakları	210-290	58
Alg	420-500	63

Kaynak: Kılıç, 2011

c. Endüstriyel Atıklar

Endüstriyel atıklar kapsamında, kanalizasyon, dip çamurları, deri ve tekstil endüstrisinden elde edilen atıklar, kağıt endüstrisinden elde edilen atıklar, sebze, tahıl meyve ve yağ endüstrisinden elde edilen atıkları, atık su arıtma tesisi atıkları biyogaz üretiminde kullanılmaktadır. Bu atıklar özellikle belediyeler ve büyük sanayi tesisleri tarafından ileri teknoloji kullanılarak tesis edilen biyogaz üretim merkezlerinde kullanılan atıklardır (Kılıç, 2011).

Tablo 25. Endüstriyel atıklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve metan oranları

Hammadde	Biyogaz Verimi (l/kg)	Metan Oranı (hacim %'si)
Atık su çamuru	310-800	65-80
Ziraat atıkları	310-430	60-70

Kaynak:Kılıç, 2011

4.4. Entegre Katı Atık Yönetiminde Sıfır Atık Yaklaşımı

Terim olarak “Sıfır Atık” ifadesi ilk olarak 1970’li yıllarda bir kimyager olan Paul Palmer tarafından kullanılmıştır. Paul Palmer bu ifadeyi “Zero Waste Systems Institute”

firmasının ismi için kullanmıştır. Sıfır Atık teriminin tanımı; atıkların niçin meydana geldiklerini belirleyerek atık oluşumunun tamamen önlenmesi veya en aza indirilmesi, israfın önüne geçilebilmesi, tercihen sürdürülebilir ürünler kullanılması, kaynak kullanımında verimliliğe dikkat edilmesi ve oluşan atıkların kaynağından ayrı bir şekilde toplanarak geri dönüşümde kullanılabilmesini kapsayan hedeflerin tümü, şeklinde yapılmaktadır (Sıfır Atık Yönetmelik Taslağı, 2018). Farklı bir şekilde ifade edilecek olursa sıfır atık; atıkların minimuma seviyeye düşürülmesi adına neler yapılabilir teorisidir. Bu teori genel olarak, farklı ürünler elde edilirken kullanılabilen atıklar için ifade edilmektedir. Sıfır atık teorisine göre bir işlem sonucunda elde edilen atık başka bir ürün için hammadde olabilmektedir. Kısaca ifade edilecek olursa Sıfır Atık; atık önleme yaklaşımıdır. Sıfır Atık yaklaşımı sayesinde atık yönetimi sürdürülebilir olmaktadır (Upadhyaya, 2013).

Sıfır Atık Yönetimi Hiyerarşisi, sıfır atık yönetimini temelini teşkil etmektedir. Bu yönetim hiyerarşisinde ilk olarak, kaynağında atık önleme yoluna gidilir. Daha sonraki aşamalar ise atık miktarının düşürülmesi, yeniden kullanılması, geri dönüşüme kazandırılması, enerji üretilmesi ya da bertaraf edilesi aşamalarıdır.

Ulusal açıdan ele alındığı zaman çevre sorunlarının meydana gelmesi nedeniyle Türkiye’de de çevre konusunu oldukça önemli olduğunu fark edilmesini sağlamıştır. Hem ulusal olarak hem de uluslararası alanda yaşanan çevre sorunları nedeniyle fark edilen atık kavramı, atık yönetim türlerinin meydana gelmesine neden olduğu gibi sıfır atık yönetimine de şekil veren esas etkindir. Türkiye’de sıfır atık projesi 2019 yılında uygulanmaya başlanmıştır. Bu dönemde yaklaşık 2.2 milyon ton ambalaj atığı, 58000 ton elektrikli ve elektronik eşya atık, 38000 ton bitkisel atık, 80000 ton madeni yağ atığı ve 184000 ton ömrünü tamamlamış lastik atık, kaynaklarından ayrı toplanarak geri kazandırılmıştır. Düzgün ve verimli süren bir ekonomi, doğal kaynakların ve ham maddelerin kesintisiz akışıyla doğru orantılıdır. Sıfır atık yönetmeliği Madde 14 (2)’de; *“Atık pil, bitkisel yağ, atık elektrikli ve elektronik eşya ile diğer geri kazanılabilir atıklar, atık ilaçlar ve büyük hacimli atıklar mahalli idarelerin oluşturulmuş toplama noktalarına, atık getirme merkezlerine ve/ve ya atık işleme tesislerine teslim edilir”* denilmektedir. Sıfır Atık yönetmeliğinin 12 Temmuz 2019’da yürürlüğe girmesinden günümüze kadar kamu kurum ve kuruluşları tarafından kullanılması yaygınlaştırılan atık yönetim planı uygulamaya geçirilmiştir (ÇŞB, 2020).

Enerji kaynakların sürdürülebilir olması ve verimli olarak yönetimi çok önemli bir durumdur. Ülkemizde 1900 yılına kıyasla bugün, kişi başına enerji tüketimi 3 katına, ham madde kullanımı 2 katına yükselmiştir. Endüstrileşmeye bağlı olarak ortaya çıkan teknolojide yenilikler ile birlikte, artan nüfus ve hızla büyüyen şehirleşme ve bunların sonucunda yaşam standartlarının ve tüketim alışkanlıklarının farklılaşması ortaya çıkmaktadır, buda daha çok atığın oluşmasına neden olur. Sıfır atık projesi kapsamının da, kalkınma ilkelerine bağlı olarak atıkları kontrol altına almak, gelecek nesillere temiz, gelişmiş bir Türkiye ve yaşanabilir bir dünya bırakmak için atıkların yönetimi sağlanmalıdır.

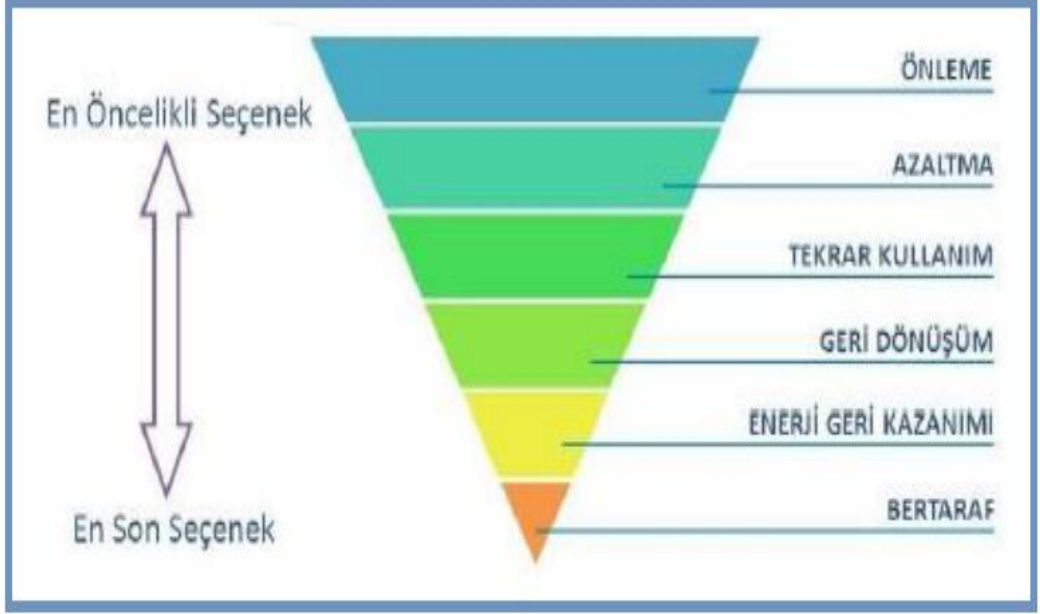
4.4.1. Sıfır Atık Projesi Hedefleri

Sıfır Atık projesi ile üretim sistemlerinde yeni ürün üretimine oranla, geri dönüşüm sonucunda metal ve plastik geri kazanımı ile %95 enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Geri dönüşüm sonucunda, atık camlar yeni cam ürünleri olarak kullanılabilir, plastikler yeni elyaf ve dolgu malzemeleri olarak kullanılabilir, atık metaller ise yeni metal ürünlerine olarak kullanılabilir. Ayrıca, organik atıkların geri dönüşümü ile elde edilecek kompostun toprakları da kullanılması toprağı daha verimli hâle getirmektedir. Örneğin, geri dönüşümü sağlanan her 1 ton cam için yaklaşık 100 litre petrolden tasarruf edilebilmektedir. Ayrıca, 1 ton atık kâğıdın geri dönüşümü sağlınırsa, 17 adet ağacın kesilmesi önlenir, yaklaşık 12400 m³ sera gazı oluşumu engellenir ve 2.4 m³ atık depolama alanından tasarruf sağlanır (www.ticaret.gov.tr).

Sıfır Atık projesi ile aşağıda belirtilen hedeflere ulaşmak amaçlanmaktadır;

- Sıfır Atık projesi ile temiz ortam kaynakları sağlanarak, performansın ve verimliliğın artırılması hedeflenir.
- Sıfır Atık projesi ile ürün israfı engellenerek maliyetlerin azaltılması hedeflenir.
- Sıfır Atık projesi ile tasarruf sağlanması ve ekonomik kazanç elde edilmesi hedeflenir.
- Sıfır Atık projesi ile çevresel risklerin azaltılması sağlanır ve kaynakların daha verimli kullanılması hedeflenir

- Sıfır Atık projesi ile atık oluşum sebeplerinin gözden geçirilerek atık oluşumunun engellenmesi veya en aza indirilmesi ile duyarlı tüketici olgusunun oluşması hedeflenir.



Şekil 9. Atık yönetimi hiyerarşisinin şematik gösterimi

Kaynak: Sıfır Atık – ÇŞB.

Sıfır Atık yaklaşımı ile atıkların ekonomik olarak değerlendirilmesi, geri dönüşümü, geri kazanımı tam olarak yapılayan ürünler için enerji kayıplarının önüne geçilecektir. Etkin bir atık yönetimi sağlanması, atıkların kaynağında oluşmasından nihai yok edilmesine kadar geçen sürede, ideal atık yönetim hiyerarşisinin uygulanabilmesine bağlıdır.

5. SONUÇ

5.1. Sonuçlar

Uygun enerji geri kazanım yöntemleri için stratejik yönetim yaklaşımı yeni ortaya sürülen bir konudur. Enerji kazanım için mevcut alt yapı ve tekniklerinin varlığı örneğin yakma, piroliz, gazlaştırma gibi tekniklerin oluşumu atıklarla ilgili veri toplama, atık türleri, varlığın atık hacmi gibi alt yapı çalışmalarına ihtiyaç vardır. Çöp gazı, içeriğinde 170 adetten fazla bileşik barındırmaktadır, büyük bir oranda metan gazı (CH₄) ve karbondioksit gazından (CO₂) meydana gelmektedir. Enerji kazanım için mevcut alt yapı ve tekniklerin varlığı örneğin yakma, piroliz, gazlaştırma gibi tekniklerin oluşumu atıklarla ilgili veri toplama, atık türleri, varlığın atık hacmi (nüfusa göre artışı) gibi alt yapı çalışmalarına ihtiyaç vardır. Katı atık bozulmasının iyileştirilmesi, metan üretiminin artmasına, çökmenin hızlanmasına ve katı atık ayrışmasına yol açmaktadır. Parçalama, sızıntı sirkülasyonu ve besin maddelerinin eklenmesi, sıcaklık ve nem içeriğinin kontrolü, atıkların biyolojik bozunmasını hızlandıran teknikler olup ayrıca, biyoreaktör yaklaşımına sahip depolama sahaları, emisyon azaltımına neden olan daha kontrollü seçenekler sağlamaktadır.

Belediye atıklarından düzenli depolanması veya atıkların oksijensiz çürütme yöntemleriyle işlenmesi sonucu elde edilen enerji çöp gazı enerji yönetimi sistemi olarak tanımlanmaktadır, bu enerji yönetimi sisteminde atıkların içten yanmalı motor kullanılarak yakılması sonucu enerji üretimi gerçekleştirilmektedir. Atık bertaraf yöntemlerinin en eskisi ve aynı zamanda en çok kullanılan olan atıkların arazide depolanması yöntemi ile atıklar biriktirilmektedir. Katı atıkların düzensiz bir şekilde atılması, çevre ve insan sağlığı açısından birçok olumsuzluk oluşturmaktadır.

Bu olumsuzlukların bazıları; çöplerden çıkan kötü kokuların rahatsız edici olması, çöplerin rüzgâr ve diğer yollarla etrafa dağılıp görüntü kirliliğine sebep olması, sinek, fare gibi insan sağlığını olumsuz etkileyen canlıların üremesine ve barınmasına olanak sağlaması, çöplerden oluşan kötü sızıntı sularının yeraltı ve yerüstü sularının kirlenmesine olanak sağlaması, çöp alanlarında oluşan metan gazından dolayı gazın patlama riskinin olması ve yangın çıkmasına olanak sağlamasıdır. Katı atık düzenli depolama sahalarında depolanan atıklar, zaman içerisinde oksijensiz ortamda gerçekleşen

mikrobiyal reaksiyonlar sonucunda düzenli hale getirilir, aynı zamanda da çöp gazı oluşmaktadır.

Biyogaz, hayvanların, bitkilerin ve mikroorganizmaların organik madde potansiyelleridir. Bu organik maddenin sahip olduğu potansiyelin enerji olarak kullanılması biyogaz enerjisi olarak tanımlanmaktadır. Kurulu Güç miktarı son beş yılda 3 kat daha artmıştır. Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam üretim içerisindeki payının artırılması bir enerji politikası olarak ele alınmıştır. Biyogazdan elektrik üretimi ülkemizde her yıl artış göstermektedir ve kurulu güç miktarı son beş yılda önceki yıllara oranla 3 kat daha artış göstermiştir. Biyogazın yapısındaki metan oranı, biyogazın üretilip verim elde edilecek şekilde kullanılmasında ki en önemli etmendir. İçeriğindeki metan oranı arttıkça biyogazın verimliliği de artmış olmaktadır. Biyogazın meydana gelişinde 3 safha bulunmaktadır. Biyogaza dönüşüm açısından hayvansal atıklar daha yararlıdır. Hayvansal atıklar sorun oluşturmakta ve çok kolay çevrede bulunabilmesinden dolayı biyogaz enerjisi tesisleri açısından dünya genelinde ana madde olarak kullanılmaktadır

Biyokütle enerjisi, güneş enerjisinin yeşil yapraklı bitkiler tarafından fotosentez yolu ile kimyasal enerjiye dönüştürmeleri sonucunda depolanan organik madde kaynaklarını barındırmakta olan biyolojik kütle olarak tanımlanmaktadır. Türkiye’de mevcut aktif 22 adet kayıtlı biyokütle enerjisi üretim tesisi bulunmaktadır. Endüstriyel sistemlerde gerçekleştirilen prosesler sonucunda meydana gelen ve o sistem tarafından tekrar kullanılmayan enerjiye atık ısı enerjisi denilmektedir. Türkiye’de mevcut aktif 64 adet kayıtlı atık ısı ile beraber yakma enerjisi üretim tesisi bulunmaktadır. 05.07.2008 tarih ve 26927 sayılı, Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmeliği Atık Yönetimi ile ilgili olarak yayımlanmıştır. Bu yönetmeliğe göre atık, herhangi bir faaliyet sonucunda oluşan, çevreye atılan ve atık yönetimi sınıflandırmaları dahilinde kalan herhangi bir maddeyi ifade etmektedir. Türkiye, birçok yenilenemez ve yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip bir ülkedir.

Evsel atıklar kentsel çöp olarak tanımlanıp günümüzde yerleşim yerleri açısından en büyük sorunlardan biridir. Evsel atıkların içeriğinin büyük bir kısmını organik atıklar oluşturmaktadır, geri kalan kısmı ise; cam, plastik, kağıt ve karton gibi atıklardan meydana gelmektedir. Türkiye’de mevcut aktif evsel atık yakma tesisi bulunmamaktadır. Ülkemizde nüfusun hızlı bir şekilde artış göstermesi ve insanların tüketim

alışkanlıklarının her geçen gün farklılaşması beraberinde atık miktarının fazlalaşmasını getirmektedir. Bu nedenle, atıkların entegre ve sürdürülebilir yönetime ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır.

Katı atıklar genel olarak çevre ve insan sağlığına olan etkileri oranında tehlikeli ve tehlikesiz olmak üzere ayrılırlar, ancak bu özelliklerine rağmen atıkların canlı yaşamının sürdüğü alanlarda hiçbir önlem alınmadan atılması sorunlara yol açmaktadır. Türkiye’de 1983 yılında çıkarılan çevre kanunu kapsamında, tüm atıkların kontrolünün sağlanması yasal zorunluluk haline getirilmiştir. Tehlikeli özellik grubunda bulunan atıklar, içeriklerinde bulunan zararlı kimyasal maddeler sebebiyle çevre ve insan sağlığı için kalıcı zararlar verebilecek potansiyele sahiptir.

2020 yılı nüfus sayımının verilerine göre Türkiye nüfusu 83 milyon 614 bin 362 kişi olarak sayılmıştır. Türkiye’de buluna belediyelere uygulanan 2018 yılı Belediye Atık İstatistikleri Anketi sonuçlarına göre, ankete katılan 1399 belediyenin 1395’inde atık hizmeti verildiği sonucuna ulaşılmıştır, Atık hizmeti veren belediyelerin 32 milyon 209 bin ton atık topladığı belirlenmiştir, bu atıkların %67.2’si düzenli depolama tesislerine, %20.2’si belediye çöplüklerine ve %12,3’ü geri kazanım tesislerine gönderilmiş, %0.2’si ise bertaraf edilmiştir (TUİK). Bu alanlarda, kişi başı toplanan günlük ortalama atık miktarı 1.16 kg olarak hesaplanmıştır. 2018 yılı Belediye Atık İstatistikleri Anketi sonuçlarına göre belediyelerde toplanan kişi başı günlük ortalama atık miktarı Türkiye genelinde 1.16 kg olarak belirlenmiştir. İllere göre yapılan hesaplamalarda toplanan kişi başı günlük ortalama atık miktarının, İstanbul için 1.28 kg, Ankara için 1.18 kg ve İzmir için 1.36 kg olduğu tespit edilmiştir. Çöp atıklarında, atık ton başına üretilen toplam gaz yaklaşık olarak 100-200 Nm³ olarak belirlenmiştir. Üretim aşamasının ilk 20 yıl süresi içerisinde çöp atıklar tüm gaz kapasitelerinin yaklaşık % 50 sini üretirler, buda 10-30 kWh enerji potansiyeline denk gelmektedir. Atıkların organik kısmından yılda ortalama ısıtma ısısı 5.5 kWh/Nm³ olan 4-6 Nm³ gaz çıkar. 1 milyon ton çöpün ayrışması sonucu yaklaşık 510 m³ / gün çöp gazı geri kazanılabilir. Bu da yaklaşık 800 kW elektrik üretimi için yeterlidir

Sıfır atık projesi kapsamının da, kalkınma ilkelerine bağlı kalarak atıkları kontrol altına almak, gelecek nesillere temiz, gelişmiş bir Türkiye ve yaşanabilir bir dünya bırakmak için atıkların yönetimi sağlanmalıdır. Sıfır Atık projesi ile üretim sistemlerinde yeni ürün

üretimine oranla, geri dönüşüm sonucunda metal ve plastik geri kazanımı ile %95 enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Geri dönüşüm sonucunda, atık camlar yeni cam ürünleri olarak kullanılabilir, plastikler yeni elyaf ve dolgu malzemeleri olarak kullanılabilir, atık metaller ise yeni metal ürünlerine olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Acaroğlu, M., & Aydoğan, H. (2012). *Biomass Bioenergy*, Biofuels energy sources and future of biofuels energy in Turkey.
- Akca, L., & Demir, A. (2017). *Katı atık yönetimi ve teknolojileri*. Atalay Matbaacılık, Ankara.
- Akpınar N. (2015). *Kentsel Katı Atıklarda Enerji Üretimi*, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Anabal, F. Y. (2007). *PET (polietilen tereftalat) atıkların endüstride değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Anon, N. (2000). Selecting a Gas Use Option-Chapter 3. 2000: Retrieved from <http://epa.gov/agstar/pdf/handbook/chapter3.pdf>. Erişim Tarihi: 17.04.2021.
- Arena, U. (2011). *Waste Management*, Gasification: An alternative solution for waste treatment with energy recovery.
- Arif, S., Liaquat, R., & Adil, M. (2018). Applications of materials as additives in anaerobic digestion technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 97: 354-366.
- Arslan, E. (2006). *Jeotermal Enerjiden Yararlanılarak Kuyu İçi Eşanjörü Yardımıyla Konut Isıtılması ve Sıcak Su İhtiyacının Karşılanması*, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik, 05.07.2008 Tarihli ve 26927 Sayılı Resmi Gazete.
- Atık Yönetimi Yönetmeliği (2015). Resmi Gazete, 29314, 2 Nisan 2015.
- Autret, E., Berthier, F., Luszezanec, A., & Nicolas, F. (2006). Incineration of municipal and assimilated wastes in France: Assessment of latest energy and material recovery performances. *Journal of Hazardous Materials*, B139, 2007.
- Avcioğlu O., & Turker U. (2012). Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*
- Aydın, N. (2007). *Katı Atık Yönetiminde Optimal Planlama için Bulanık Doğrusal Planlama Yaklaşımı*. Yüksek Lisans Tezi Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Ayhan A., (2015). Biogas production potential from animal manure of Bursa province. *Journal of Agricultural Faculty of Uludağ University*.
- Ayol A. (2011). Atıksu arıtma çamurlarının kurutulması, bertaraf edilmesi ve yararlı kullanım alternatifleri. *Tekirdağ İli Arıtma Çamurlarının Değerlendirilmesi Çalıştayı*, Ankara, Türkiye.
- Baggio, P., Baratieri, M., Gasparella, A., & Longo, G. A. (2006). Energy and environmental analysis of an innovative system based on municipal solid waste (MSW) pyrolysis and combined cycle. *Applied Thermal Engineering*, 28, 2008.

- Başçetinçelik A., Öztürk H. H., Karaca C., Kaçira M, Ekinci K. Kaya D., Baban A., Komitti N., Barnes I., & Nieminen M., (2006). Final Report of Exploitation of Agricultural Residues in Turkey. AGRO-WASTE-Exploitation of Agricultural Residues in Turkey. EU Life Program Project.
- Batarseh, E. S., Reinhart, D. R., & Berge, N. D. (2010). Sustainable disposal of municipal solid waste: Post bioreactor landfill polishing. *Waste Management*, 30, 2010.
- Bayrakçeken, H. (1997). *Biyogaz Üretim Sistemi Tasarımı ve Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Belgiorno, V., Feo, G. D., Della Rocca, C., & Napoli, R. M. A. (2002). Energy from gasification of solid wastes. *Waste Management*, 23, 2003.
- Bilgin Energy Yatırım Holding A. S. (2010). Our hydroelectric power plants. Hacilar hydroelectric Power Plant. Retrieved March 10, 2012.
- Borgianni, C., Filippis, P. D., Pochetti, F., & Paolucci, M. (2001). Gasification process of wastes containing PVC. *Fuel*, 81, 2002. Retrieved October 25, 2011, from ScienceDirect database
- Bove, R., & Lunghi, P. (2004). Electric power generation from landfill gas using traditional and innovative technologies. *Energy Conversion and Management*, 47 (2006), 1391–1401
- Bozyiğit R., Karaaslan T. (1998). *Çevre Bilgisi*, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Bridgwater, T. (2006). Review Biomass for Energy, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86: 1755-1768.
- British Columbia Ministry of Environment. (2009). Landfill Gas Generation Assessment Procedure Guidelines. Retrieved December 15, 2011.
- Buah, W. K., Cunliffe, A. M., & Williams, P. T. (2007). Characterization of Products from the Pyrolysis of Municipal Solid Waste. *Process Safety and Environmental Protection*, 85(5), 450-457.
- Capik, M., Yilmaz, A.O., & Cavusoglu, I. (2012). Present situation and potential role of renewable energy in Turkey. *Renewable Energy*, 46, 1–13,
- Caton, P. A., Carr, M. A., Kim, S. S., & Beautyman, M. J. (2009). Energy recovery from waste food by combustion or gasification with the potential for regenerative dehydration: A case study. *Energy Conversion and Management*, 51, 2010.
- Cepeliogullar, Ö., Mutlu, I., Yaman, S., & Haykiri-Acma, H. (2016). A Study to predict pyrolytic behaviors of refuse-derived fuel (RDF): Artificial neural network application,
- Chakravarthi, J. (1997). Biogas and energy production from cattle wastel, *Energy Conversion Engineering Conference, 1997. IECEC-97*. Proceedings of the 32nd Intersociety, USA, 648-651.
- Cheremisnoff, N. P. (2003). Handbook of Solid Waste Management and Waste Minimization Technologies, *Elsevier Science*, Burlington, USA.
- Çevre ve Orman Bakanlığı. (1991). Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Ankara.

- ÇOB, 2006. Katı Atık Ana Planı – Katı Atık Oluşumu ve Karakterizasyonu Raporu. Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Atık Yönetimi Daire Başkanlığı tarafından Mimko A.Ş. 'ye hazırlanan rapor.
- Çomaklı, K., & Terhan, M. (2011). Sıcak Su Üretimi için Baca Gazı Atık Enerjinin Kullanımı. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, Sayı: 124, s. 43-51.
- ÇŞB, (2017). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın Çevresel Etki Değerlendirmesi (Çed) Alanında Kapasitesinin Güçlendirilmesi İçin Teknik Yardım Projesi, <http://www.hlccevre.com/images/PDF/sektorel-kilavuzlar/atik-yakma-tesisleri.pdf>, Erişim Tarihi: 20.04.2021.
- ÇŞB, (2020). ÇEVRE DURUM RAPORU/ www.csb.gov.tr Demirbaş, A. (2001). Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals , *Energy Conversion and Management*, 42: 1357-1378.
- Demirbaş, A. (2008). Biofuels Sources, Biofuel Policy, Biofuel Economy and Global Biofuel Projections”, *Energy Conversion and Management*, Volume: 49, Issue: 8, Pages: 2106-211
- EA-Enerji Atlası. <https://www.enerjiatlası.com/biyogaz/> Erişim tarihi: 06.07.2021
- Elagroudy, A. S., Abdel-Razik, M. H., Warith, M.A., & Ghobrial, F.H.(2007). Waste settlement in bioreactor landfill models. *Waste Management*, 28, 2008.
- EPA, (2012). Clean Energy Strategies for Local Governments – Landfill Methane, http://www.epa.gov/statelocalclimate/documents/pdf/7.4_landfill_methane_utilization.pdf, Erişim Tarihi: 20.04.2021.
- EPDK, Odayeri Çöp Biyogazı Tesisi GM6, GM14, GM15 Kabul Tutanağı, 21 Aralık 2011, İstanbul.
- Ersayın, E. (2020). *Atık Isı Geri Kazanımında Yeni Tekniklerin Modellenmesi*. Doktora Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- Ersoy E. and Ugurlu A. (2020). The potential of Turkey's province-based livestock sector to mitigate GHG emissions through biogas production. *Journal of Environmental Management*
- Eryılmaz T., Yesilyurt M.K., Gokdogan O., & Yumak B. (2015). Determination of biogas potential from animal waste in Turkey: A case study for Yozgat province. *European Journal of Science and Technology*,
- Ettouney, R.S., El-Rifai, M.A., & El-Behairy, S.A.(2004). Control of thermallyintegrated incineration–waste heat recovery systems, a case study. *Applied Thermal Engineering*, 25, 2005.
- Gray, A. (2017). “Germany recycles more than any other country”. Erişim Adresi: <https://www.weforum.org/agenda/2017/12/germany-recycles-more-than-any-other-country/>, Erişim Tarihi: 08.05.2021.
- Grosso, M., Motta, A., & Rigamonti, L. (2010). Efficiency of energy recovery fromwaste incineration, in the light of the new Waste Framework Directive. *Waste Management* ,30, 2010.

- Higman,C., & Van der Burgt,M.(2003). Gasification. Burlington: Elsevier Science
<https://www.clarke-energy.com/2016/clarke-energy-participates-in-pollutec/>
Erişim tarihi: 19.06.2021
- <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/12/20141230M1-12-1.pdf> / Erişim Tarihi:
25.06.2021
- <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/04/20150402-2.htm> /Erişim tarihi: 03.07.2021
- http://www.tarimsal.com/makaleler/Turkiye_Atiklardan_Enerji_uretimi_ve_biyogaz.htm
- <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=30666> (Erişim tarihi: 19.06.2021)
Türkiye’de Atıklardan Enerji Üretimi ve Biyogaz. 2009
- <https://bepa.enerji.gov.tr/> Erişim tarihi: 15.07.2021
- <https://www.biyoder.org.tr/> Erişim tarihi: 09.06.2021
- <https://www.enerjiatlası.com/biyogaz/> Erişim Tarihi: 30.04.2021.
- <https://www.enerjiportali.com/turkiye-elektrik-enerjisi-uretim-istatistikleri-aralik-2020/>
Erişim Tarihi: 05.05.2021.
- <https://www.istac.istanbul/tr/medya-ve-duyurular/haberler-ve-duyurular/ibb-avrupanin-en-buyuk-atik-yakma-tesisini-insa-ediyor->
- İlkılıç, D. C. (2011). Biyogazın Oluşumunu Etkileyen Fiziksel ve Kimyasal Parametreler, %1 içinde 6. *International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ, Türkiye.
- Kara, Ç. (2003). Hava kompresörlerinde enerji geri kazanım sistemleri, *III. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi*.
- Karaosmanoğlu, F. (2010). Türkiye Biyoyakıt Potansiyeli ve Son Gelişmeler. *Türkiye 10.Enerji Kongresi*, İstanbul.
- Karen Cacia K., Villalba L.O., Bernardo H., & Gallego A. (2016). Experimental Evaluation of a Diesel-Biogas Dual Fuel Engine Operated on Micro-Trigeneration System for Power, Drying and Cooling, *Applied Thermal Engineering*, 100 (2016)
- Kavacık, B., & Topaloğlu, B. (2007). Peynir Altı Suyu ve Gübre Karışımından Biyogaz Üretimi. *Türk Mühendislik Mimarlık Odalar Birliği Çevre Mühendisliği Odası dergisi*
- Kavcar, A. (2006). *Presentation on Canakkale regional Solis Waste Managementproject*. Canakkale, Turkey.
- Kılıç, F. Ç. (2011). Biyogaz, Önemi, Genel Durumu ve Türkiye’deki yeri, *Mühendis ve Makina*, cilt 52, no. 617
- Kılıçkaplan, A., Bogdanov, D., Peker, B., Caldera, U., & Aghahosseini, A. (2017). An energy transition pathway for Turkey to achieve 100% renewable energy powered electricity, desalination and non-energetic industrial gas demand sectors by 2050. *Solar Energy*
- Kılınç, H. (2016). *Endüstriyel Tav Fırını Bacalarından Atık Isının Geri Kazanımı*. Yüksek Lisans Tezi İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.

- Koçar G., Eryaşar A., Ersöz Ö., Arıcı Ş., & Durmuş A. (2010). *Biyogaz Teknolojileri*, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir.
- Korkmaz E., (2017). *Marmara denizinden toplanan atık makroalglerin organik atıklarla birlikte biyogaz üretim potansiyelinin değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kuş-Atak belediyeler Birliği. *Kuşadası Kirazlı Düzenli Depolama Sahası İşletme Planı*. (Mayıs, 2011)
- Malkow, T. (2003). Novel and innovative pyrolysis and gasification technologies forenergy efficient and environmentally sound MSW disposal. *Waste Management*, 24, 2004.
- Matveev, Y. (2010). LFG Projects Development within the Methane-to-Market Program in Ukraine, *Metahne to Markets Partnership*, 2-5 Mart 2010, Kiev.
- Mesade Otay, C.P. (2013). Tijuana C., Mexico Vision 2023. Assessing The Feasibility of Electricity&Biogas Production From MSW in Turkey. Mehmet Melikoğlu Department of Energy Systems Eng., Atılım Üniversitesi, Ankara, Turkey
- Morris, M., & Waldheim, L. (1998). Energy recovery from solid waste fuels usingadvanced gasification technology. *Waste Management*, 18, 1998.
- Mountouris, A., Voutsas, E., & Tassios, D. (2006). Plasma gasification of sewagesludge: Process development and energy optimization. *Energy Conversion and Management*, 49, 2008.
- Muşdal, H. (2007). *Tıbbi Atıkları İşleme ve Bertaraf Etme Teknolojisi Seçme Problemine Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Bulanık Analitik Ağ Prosesi Yaklaşımı*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Okay B., Oktan P., & Filiz, M. (1983). *Biyogaz Tesisi Kullanma Rehberi*, Türk Hükümeti-UNICEF Ortak Biyogaz Projesi T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Biyogaz Projesi Yayınları, Ankara.
- Özaydın, M. (2020). *Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Tesisinin Lojistik Maliyetinin Fizibiliteye Olan Etkisi ve Türkiye Projeksiyonu*, Yüksek Lisans Tezi Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Özçakıl, M. (2001). *Türkiye’de Katı Atık Depo Gazı Geri Kazınım Tesislerinin Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özer B. (2017). Biogas energy opportunity of Ardahan city of Turkey. *Energy*, 139, 1144-1152,
- Özsoy, G., & Alibas, I. (2015). GIS mapping of biogas potential from animal wastes in Bursa, Turkey. *Int J Agric & Biol Eng*
- Palabıyık, H., & Altunbaş, D. (2004). Kentsel Katı Atıklar ve Yönetimi, Çevre Sorunlarına Çağdaş Yaklaşımlar: Ekolojik, Ekonomik, Politik ve Yönetimsel Perspektifler.
- Peters, A. (2010). *Concise Chemical Thermochemistry*, Taylor & Francis Group, First Edition, Florida.

- Pimentel D., Huang X., Cordova A., & Pimentel M. (1997). Impact of Population Growth on Food Supplies and Environment, *Population and Environment*, Volume 19, Number 1, Springer, September, pp.9-10.
- Rajaram, V., et all. (2012). *From Landfill Gas to Energy - Technologies and Challenges*, Birinci Baskı, Taylor & Francis Group, London.
- Rezaiyan, J., & Cheremisinoff, N. P. (2005). *Gasification Technologies A Primer for Engineers and Scientists*, Florida, Copyright, Taylor & Francis Group, LLC.
- Sarptaş, H. (2005). Katı atık depo gazı enerji potansiyelinin matematiksel modelleme yaklaşımı ile tahmini, *TTMD Isıtma, Soğutma, Havalandırma, Klima, Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi*, Cilt 102,
- Sezer, K. (2011). Entegre Katı Atık Yönetimi ve Son Teknolojiler, İSTAÇ A.Ş., Sunu, Giresun Katı Atık Yönetimi Semineri.
- Shah, K. L. (2000). *Basics of Solis and Hazardous Waste Management Technology*. New Jersey: Prentice Hall
- Söğüt, Z., Üren, S., Çelik, C., Durmaz, Ş., & Orhan, İ. (2012). *Sanayide Enerji Ekonomisi*. T.C. Anadolu Üniversitesi Yayın No: 2578, Haziran.
- Spyridon A., Vasileios A., Gerrit J., & Willem E. (2017). *A Technological Overview of Biogas Production from Biowaste*. : Green Chemical Engineering-Review.
- Stantec Consulting LTD (2011). City of Ottawa-Service Level Review. TechnicalMemo-Thermal Treatment Technologies Review.
- Surendra, K.C., Takara, D., Hashimoto, A.G., & Khanal, S.K. (2014). Biogas as a sustainable energy source for developing countries: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31: 846–859.
- Şimşek, Y.E. (2006). *C3 enerji bitkisi olan enginar (cynara cardunculus L.) saplarının pirolizi ve biyoyakıt üretiminin incelenmesi*. Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2011). Suluova Biyogaz Tesisinin Teknik-Ekonomik Esaslarına İlişkin Rapor, Türk Alman Biyogaz Projesi, Ankara.Tezçakar, M. ve Can, O. (2011). Atıktan Enerji Eldesinde Termal Bertaraf Teknolojileri, Recydia A.Ş.
- T.C. Resmi Gazete, 10 Mayıs 2005, sayı:5346. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/05/20050510.htm>, Erişim Tarihi: 15.04.2021.
- Tanaka, N. (2009). *Energy Sector Methane Recovery and Use*, OECD/IED, France.
- Tchobanoglous G., & Kreith F. (2002). *Handbook of Solid waste management second edition*. The McGraw-Hill Companies Inc, New York Chicago San Francisco Lisbon London Madrid Mexico City Milan New Delhi San Juan Seoul Singapore Sydney Toronto 950s.
- The European Cement Assosiacion Activity Report, <https://cembureau.eu/media/1635/activity-report-2016.pdf> /Erişim tarihi: 19.07.2021
- Themelis. N., & Ulloa, P. (2005). *Earth Engineering Center and Department of Earth and Environmental Engineering*, Columbia University, New York,

- Tolay, M. (2012). Çöp ve Biyokütle Santralleri ve Teçhizat, Enerji Yatırımları Fizibilite Raporu Hazırlama Semineri, Ankara.
- TÜİK, (2018). Belediye Atık İstatistikleri 2018. Türkiye İsrar Raporu, www.ticaret.gov.tr
- TÜİK, (2019). Belediye Atık İstatistikleri, 2018, Türkiye İstatistik Kurumu Haber Bülteni, Ankara.
- UNEP, Division of Technology, (2008). Energy Technology Fact Sheet - Cogeneration, London.
- Wikipedia. URL <https://tr.wikipedia.org/wiki/Biyogaz>, Son Erişim Tarihi: 10.05. 2021.
- Williams, P.T. (2002). Waste Treatment and Disposal. Chichester: JohnWiley&Sons.
- Yassin, L., Lettieri, P., Simons, S. J. R., & Germana, A., (2007). Techno-economic performance of energy-from-waste fluidized bed combustion and gasification processes in the UK context. *Chemical Engineering Journal*, 146, 2009.
- Yıldız, S., Önder Namal, O., & Çekim, M. (2013). Atık Su Arıtma Teknolojilerindeki Tarihsel Gelişimler. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1(1), 56-63
- Yıldız, Ş. (2006). *Depolama Sahalarında Sızıntı Suyu ve Depo Gazının Yönetimi İSTAÇ*, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Atık Maddeleri Değerlendirme San. ve Tic. A.Ş.
- Yıldız, Ş., Saltabaş, F., Balahorli, V., Sezer, K., & Yağmur, K. (2009). *Organik Atıklardan Biyogaz Üretimi (Biyometanizasyon) Projesi – İstanbul Örneği*, Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu
- Yılmaz, M. (2019). *Balıkesir İli Eysel Katı Atıklarının Bertarafında Uygun Termal Yöntemin Seçilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- Yürük F., & Erdoğan P. (2015). Düzce ilinin hayvansal atıklardan üretilebilecek biyogaz potansiyeli ve K-Means kümeleme ile optimum tesis konumunun belirlenmesi. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, Cilt 4, sayı 1, 47-56.
- 2000-2016 Türkiye Enerji Verimliliği Gelişim Raporu, http://www.yegm.gov.tr/document/enver_gelisim_rapor_2018.pdf. /Erişim tarihi: 29.06.2021

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : S. Nazan ÖZBEY

Doğum Yeri – Tarihi :

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : Selçuk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi

Yüksek Lisans Öğrenimi : KTO Karatay Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce (Orta Seviye)

Bilimsel Faaliyetleri

İŞ DENEYİMİ

Stajlar : Sade İnovasyon Ltd. Şti. (Muhasebe)

Projeler :

Çalıştığı Kurumlar : Ev Shop AVM (Bilgi İşlem)

Tarih : 23 Ağustos 2021