

**AVRASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KATI ATIKLARIN TERMAL YÖNTEMLERLE ETKİSİZ
HALE GETİRİLMESİ VE TRABZON-RİZE ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Hikmet TARAKCI

**NİSAN 2018
TRABZON**

**AVRASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KATI ATIKLARIN TERMAL YÖNTEMLERLE ETKİSİZ
HALE GETİRİLMESİ VE TRABZON-RİZE ÖRNEĞİ**

Çevre Müh. Hikmet TARAKCI

**Avrasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“İnşaat Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 03.04.2018
Tezin Savunma Tarihi : 20.04.2018**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Basri ERTAŞ

Trabzon 2018

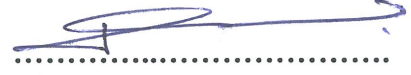
Avrasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Hikmet TARAKCİ tarafından hazırlanan

**KATI ATIKLARIN TERMAL YÖNTEMLERLE ETKİSİZ
HALE GETİRİLMESİ VE TRABZON-RİZE ÖRNEĞİ**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 13/04/2018 gün ve 06 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Basri ERTAŞ



Üye : Prof. Dr. Ragıp ERDÖL



Üye : Prof. Dr. Salim Serkan NAS



Prof. Dr. Ragıp ERDÖL

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanma sürecinde ve yüksek lisans eğitim dönemimde beni destekleyen, önerileriyle bu tezin oluşmasını sağlayan, çalışmamla ilgili her türlü bilgiye ulaşmama yardımcı olan danışman hocam Prof. Dr. Basri ERTAŞ'a ve diğer bölüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin hazırlanması esnasında ve yüksek lisans eğitimim dönemimde bana her konuda yardımcı olan değerli eşime ve TRAB-Rİ KAB kurumunda ki çalışma arkadaşlarıma, desteklerinden ve sabırlarından dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca tez yazımında kullanılan katı atık karakterizasyon analizlerinin yapılmasında yardımcı olan Evra Grup çalışanlarına teşekkür ederim.

Hikmet TARAKCI
Trabzon, 2018

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Katı Atıkların Termal Yöntemlerle Etkisiz Hale Getirilmesi ve Trabzon-Rize Örneği” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Basri ERTAŞ’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 20/04/2018

Hikmet TARAKCİ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ	XVI
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi.....	1
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı.....	2
2. KATI ATIK İLE İLGİLİ TANIMLAR	4
2.1. Atık Tanımı.....	4
2.2. Atık Yönetiminin Tanımı ve Kapsamı.....	6
2.3. Türkiye’de Kentsel Katı Atık Oluşumu ve Katı Atık Karakterizasyonu Bileşimi	10
2.3.1. Atık Oluşumu.....	13
2.4. Katı Atığın Özellikleri ile İlgili Genel Esaslar.....	16
2.4.1. Katı Atıkların Fiziksel Özellikleri.....	16
2.4.1.1. Su Muhtevası.....	16
2.4.1.2. Partikül Boyutu	17
2.4.1.3. Yoğunluk.....	17
2.4.1.4. Isıl Değer.....	18
2.4.1.5. Mekanik Özellikler	19
2.4.1.6. Aşındırıcılık	20
2.4.2. Katı Atıkların Kimyasal Bileşimi	20
2.4.3. Biyolojik Ayrışabilirlik	20
3. KATI ATIK BERTARAFI VE YER SEÇİMİ	21
3.1. Bertaraf Tanımı	21
3.2. Katı Atık Bertaraf Tesislerinin Yer Seçiminde Dikkat Edilmesi Gereken Unsurlar.....	21
4. KATI ATIK BERTARAF YÖNTEMLERİ.....	23

4.1.	Düzensiz (Vahşi) Depolama	24
4.2.	Düzenli Depolama Yöntemi.....	26
4.2.1.	Depo Gazı Bileşimi ve Özellikler	29
4.3.	Termal Bertaraf Yöntemleri.....	31
4.3.1.	Dünya’da Termal Bertaraf Yöntemlerinin Kullanım Durumu	33
4.3.2.	Termal Bertaraf Teknikleri	37
4.3.3.	Atığın Yanma Durumu.....	40
4.3.4.	Evsel Atığın Isıl Değeri.....	42
4.3.5.	Yanma Prosesi.....	43
4.3.6.	Evsel Katı Atık Yakma Tesisleri	44
4.3.6.1.	Izgaralı Yakma Tesisleri	48
4.3.6.2.	Döner Fırınlı Yakma Tesisleri.....	55
4.3.6.3.	Akışkan Yataklı Yakma Tesisleri	56
4.3.6.4.	Çok Gözlü Yakma Tesisleri	57
4.3.6.5.	Modüler (Paket) Yakma Sistemleri.....	58
4.3.6.6.	İşlenmemiş Katı Atık Yakma.....	59
4.3.6.7.	İşlenmiş Katı Atık Yakma.....	60
4.3.6.8.	İşlenmemiş Katı Atık Yakma ve İşlenmiş (RDF/Atıktan Türetilmiş Yakıt) Yakma Tesisleri Kıyaslaması	60
4.3.6.9.	Yakma Tesislerinde Karşılaşılan En Önemli Arızalar	61
4.3.7.	Piroliz.....	62
4.3.7.1.	Piroliz ve Yakma Karşılaştırması	69
4.3.8.	Gazifikasyon	69
4.3.8.1.	Sabit Yataklı Gazlaştırıcılar	75
4.3.8.2.	Sürüklemeli Akışlı Gazlaştırıcılar.....	76
4.3.8.3.	Akışkan Yataklı Gazlaştırıcılar	77
4.3.8.4.	Plazma Gazlaştırma.....	79
4.3.8.5.	Sentez Gaz ve Kullanım Alanları.....	81
4.4.	Termal Yöntemlerin Kıyaslanması	82
4.5.	Yakma Tesislerinin Çevresel Etkileri	84
4.5.1.	Atık Isı.....	84
4.5.2.	Kül.....	84
4.5.3.	Hava Kirleticileri.....	87
5.	TRABZON VE RİZE İLLERİNDE OLUŞAN KATI ATIKLARIN GAZLAŞTIRMA YÖNTEMİ İLE ETKİSİZ HALE GETİRİLMESİ	88

5.1.	Trabzon ve Rize İllerinde Termal Yöntem Uygulama Amacı	88
5.2.	Katı Atık Birliği Kurumsal Yapı.....	90
5.3.	Trabzon-Rize Bölgesi Genel Bilgileri.....	91
5.4.	Nüfus Tahminleri	92
5.4.1.	Nüfus Projeksiyonlarının Karşılaştırılması.....	92
5.5.	Yıllara Dayalı Birim Atık Miktarları	95
5.6.	Atık Karakterizasyonu	98
5.7.	Oluşacak Atık Miktarları	104
5.8.	Kurulması Planlanan Tesisler ve Özellikleri	109
5.8.1.	Mekanik Ayırma Tesisi.....	110
5.8.2.	Gazlaştırma Tesisi ve Yöntemi	113
5.8.2.1.	Çevresel Faydaları.....	119
5.8.2.2.	Kimyasal Reaksiyonlar	120
5.8.2.3.	Gazlaştırıcılar	121
6.	MALİYET ANALİZİ	125
6.1.	Üretim Tesisinde Kullanılan Ekipmanlar ve Yaklaşık Maliyetleri.....	128
7.	SONUÇ ve ÖNERİLER.....	131
8.	KAYNAKLAR	138
9.	EKLER.....	141
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

**KATI ATIKLARIN TERMAL YÖNTEMLERLE ETKİSİZ
HALE GETİRİLMESİ VE TRABZON-RİZE ÖRNEĞİ**

Hikmet TARAKÇI

Avrasya Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Basri ERTAŞ
2017, 140 Sayfa, 4 Sayfa Ek

İnsanların yaşamları sonucu üretmek zorunda kaldıkları katı atıkların bertaraf edilmesi günümüzde şehirlerin hızla büyüyen en büyük sorunlarından biri haline gelmiştir. Bugüne kadar birçok ülkede bu sorunun çözümünde kullanılan teknolojilerin çevre dostu olmaması, atık bertarafında çözüm konusunda endişeleri arttırmaktadır. Fakat son yıllarda konuyla ilgili araştırmalar giderek artmakta ve teknolojik termal yöntemler atıkların sorun olmasını ortadan kaldırmaktadır. Bu çalışmada kentsel katı atıkların termal yöntemlerle etkisiz hale getirilerek bertaraf edilmeleri değerlendirilmiştir. Atıkları etkisiz hale getirmek için çeşitli teknolojiler mevcuttur. Temel olarak bu teknolojilerin başlıcaları yakma, gazlaştırma ve pirolizdir. Yakma teknolojisinde atıklar kontrollü olarak ısı geri kazanımı sağlanarak yakılırlar ve buhar türbinleri kullanılarak elektrik üretimi gerçekleştirilir. Gazlaştırma teknolojisi ilk aşamada piroliz içerir daha sonra bunu yüksek sıcaklıklı reaksiyonlar takip eder ve düşük molekül ağırlıklı gazlar üretilir. Üretilen gaz içten yanmalı motorlar veya boylerler kullanılarak enerji üretimi için değerlendirilir. Tüm teknolojilerin avantaj ve dezavantajları vardır. Teknoloji seçimi atığın bileşimine, miktarına ve lokal şartlara bağlıdır.

Yapılan bu çalışmada Trabzon ve Rize İllerinde katı atık bertarafından sorumlu kurum olan TRB-Rİ KAB bünyesinde toplanan evsel katı atıklar için uygulanabilirliği öngörülen termal bertaraf sistemi olan gazlaştırma sistemi incelenmiştir. Aynı zamanda kentsel katı atıklarla ilgili yakma, gazlaştırma ve piroliz sistemleri ele alınarak bu sistemlerin çalışma prensipleri hakkında literatür araştırmaları yapılmıştır.

Trabzon ve Rize Bölgesine ilişkin atık karakterizasyon çalışmaları, nüfus hesaplamaları ve kalorifik değer sonuçları kullanılarak; termal yöntem uygulamalarından bir tanesi olan gazlaştırma sisteminin Trabzon ve Rize bölgesi için uygulanabilirliği araştırılmıştır. Yapılan araştırmada Trabzon ve Rize illeri için 2016 yılı atık özellikleri ve bu özelliklerden yola çıkılarak 2037 yılında ulaşılması öngörülen atık miktarı ve karakterizasyonu ile nüfus değerleri hesaplanarak kullanılmıştır. Gazlaştırma tesisinin yapılan kalorifik analizler sonucunda kurulabilirliği ve kurulması sonucunda elde edilmesi muhtemel gelir ile birlikte tesisin kurulum ve işletme maliyetlerinin analizi yapılmıştır. Kurulması düşünülen gazlaştırma tesisi için ilk kurulum

maliyetlerinin belediyeler tarafından karşılanabilmesi için farklı alternatifler üretilerek belediyelerin bu tarz yüksek bütçeli tesislerin kurulumunu nasıl gerçekleştirebilecekleri konusunda senaryolar ortaya konulmuştur. Gazlaştırma tesisinin kurulması ile birlikte elde edilecek enerji ve bu enerjinin, yenilenebilir enerji teşviği kapsamında ele alınması durumunda ise elde edilecek gelirler hesaplanarak kurulacak gazlaştırma tesisi için öngörülen gelirler hesaplanmıştır.

Bu çalışma sonucunda Trabzon ve Rize illeri için gazlaştırma sisteminin hangi koşullarda uygulanması gerektiği ve bu sistemin uygulanması sonucu sağlanacak avantajlar belirtilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çevre, Katı Atık, Gazifikasyon, Yakma, Piroliz, Bertaraf.



Master Thesis

SUMMARY

**NULLIFICATION OF SOLID WASTE THROUGH THERMAL METHODS
AND CASE FOR THE CITIES OF TRABZON-RİZE**

Hikmet TARAKCI

Avrasya University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Environmental Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Basri ERTAŞ
2017, 140 Pages, 4 Pages Appendix

The treatment of solid waste, which people have to produce as a result of their lives has been one of the biggest problems for the fast-growing cities. Until today the technologies aimed to solve this problem raises concern over solid waste treatment in many countries. However, so much research has been carried out about the case in recent years, and technological thermal methods solve the problem. In this study, thermal methods have been analysed for treatment of solid waste by nullification. Many technologies exist in order to nullify solid waste. Basically, these technologies are incineration, gasification and pyrolysis. Heat recovery from incineration of solid waste is done under control, and electricity is produced through using steam turbines. The gasification technology consists pyrolysis in first step, then it is followed by high-temperature reactions, and low molecular weight gases are produced. Such gases are used for energy production by using internal combustion engine or hot waste tanks. All the technologies have advantages and disadvantages. Selection of the technology is based on waste composition, quantity and local conditions.

In this study, one of the thermal treatment systems, which is gasification system that is considered to be applicable to be used for domestic solid waste collected by TRB-Rİ KAB (Association for Solid Waste of Municipalities of Trabzon and Rize), is analysed. In addition, literature search has been carried out regarding the systems of incineration, gasification and pyrolysis of urban solid waste and working principles of these systems.

By using waste characterization studies related to Trabzon and Rize regions, population calculations and results of calorific values, applicability of gasification system is analysed for these regions. Features of waste in 2016, and anticipated quantity to reached by 2037 and its characterization and population values are calculated and used in this study. As a result of calorific analyses, the possibility of setting up a gasification plant, potential revenue and costs of setting up and administering has been discussed. Possible scenarios are postulated about how to set up such big-budget gasification plants by offering different alternatives in order for municipalities to be

able to cover setup costs. After setting up such plants, anticipated revenues as result of calculating the amount of energy and the income if considered within energy incentive are calculated.

As a result, under what conditions the gasification system could be applied for Trabzon and Rize, and the advantages of using such a system are evaluated.

Key Words: Environment, Solid Waste, Gasification, Pyrolysis, Nullification.



ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Katı atık	4
Şekil 2.2. EPA modeli atık yönetim hiyerarşisi	7
Şekil 2.3. Entegre katı atık yönetimi akım diyagramı	9
Şekil 2.4. Türkiye’deki atık bertaraf dağılımı	15
Şekil 4.1. Katı atıkların düzensiz depolanmasına örnek.....	25
Şekil 4.2. Klasik düzenli depolama tesisi şematik görünümü	27
Şekil 4.3. Termal dönüşüm işlemleri.....	32
Şekil 4.4. Avrupa’daki yakma sistemlerinin kapasitelerini gösteren grafik	35
Şekil 4.5. Termal bertaraf teknikleri.....	37
Şekil 4.6. Tanner diyagramı	41
Şekil 4.7. Yakma tesisi şematik gösterimi.....	47
Şekil 4.8. Izgaralı tip evsel katı atık yakma tesisi tipik görüntüsü	49
Şekil 4.9. KKA yakma tesislerinde kullanılan ızgara tipleri: (a)merdiven basamağı şeklinde hareketli ızgara, (b) fırlatmalı ızgara, (c) kademeli zincir-palet tipi ızgaralar	49
Şekil 4.10. KKA yakılmasında fazla yanma havası ve sıcaklık arasındaki ilişki.....	50
Şekil 4.11. Örnek ızgara tipleri.....	52
Şekil 4.12. Yakma birimi ızgarasının çalışma düzeneği diyagramı	53
Şekil 4.13. Döner fırınlı yakma tesisi	55
Şekil 4.14. Akışkan yataklı yakma ünitesi	57
Şekil 4.15. Çok gözlü yakma tesisi	58
Şekil 4.16. Modüler yakma tesisi	59
Şekil 4.17. Modüler bir yakma tesisi için hazne besleme sistemi	59
Şekil 4.18. Piroliz şematik gösterimi.....	63
Şekil 4.19. Düşük sıcaklıkta piroliz işleminin şematik gösterimi	66
Şekil 4.20. Yüksek sıcaklıkta piroliz işleminin şematik gösterimi	67
Şekil 4.21. Piroliz ürünlerinin oluşumunda sıcaklık ve zamanın etkisi	68
Şekil 4.22. Gazifikasyon akım şeması.....	71
Şekil 4.23. Kazanda hava ile yakma.....	72
Şekil 4.24. Kazanda hava ile gazlaştırma	72
Şekil 4.25. Gazlaştırma.....	73
Şekil 4.26. Gazlaştırma prosesi aşamaları	73

Şekil 4.27.	Yukarı ve aşağı akışlı sabit yataklı gazlaştırıcılar.....	76
Şekil 4.28.	Sürüklemeli gazlaştırıcı ve gazlaştırıcı boyunca sıcaklık değişimi.....	77
Şekil 4.29.	Kabarcıklı (a) ve sirkülasyonlu (b) gazlaştırıcı	79
Şekil 4.30.	Döner fırınla plazma gazlaştırma tesisi	80
Şekil 4.31.	Fosil yakıt ve KKA yakma tesislerinde tipik olarak kullanılan soğutma kuleleri	85
Şekil 5.1.	Nüfus tahmin metotlarının karşılaştırılması.....	94
Şekil 5.2.	Yapılan karakterizasyon çalışması sonuçları	99
Şekil 5.3.	Yapılan karakterizasyon çalışması görüntüleri	100
Şekil 5.4.	Çalışmada kullanılacak atık bileşimi grafiği	104
Şekil 5.5.	Trabzon ve Rize yıllık KKA üretim tahminleri	107
Şekil 5.6.	Entegre tesis akım şeması	109
Şekil 5.7.	Mekanik ayırma tesisi iş akım şeması.....	112
Şekil 5.8.	Gazlaştırma tesisi iş akım şeması.....	117
Şekil 5.9.	Elektrik enerjisi birimi başına sera gazı eşdeğeri.....	118
Şekil 5.10.	Bertaraf tesislerinin kirletici kriterlerinin karşılaştırılması	118
Şekil 5.11.	MSW türevi RDF işlemi için hava ile beslenen yukarı akışlı sabit yatak gazlaştırma sisteminin basitleştirilmiş tasviri.....	121
Şekil 5.12.	Proses üniteleri ve süreç akışlarını gösteren enerji gazlaştırma işlemi	122
Şekil 6.1.	Yakma sistemleri bertaraf maliyetleri	127

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Gelir seviyesine göre ortalama kentsel katı atık oluşum hızları.....	11
Tablo 2.2. Temel çevre göstergeleri, 2000-2012.....	11
Tablo 2.3. Türkiye için kentsel katı atık üretimi tahmini	12
Tablo 2.4. 1995-2002 yılları arasında Türkiye’de KKA oluşumu (1000 ton/yıl)	13
Tablo 2.5. Katı atıkların yoğunlukları	18
Tablo 2.6. Bazı katı atık bileşenleri için ısıl değerler	19
Tablo 4.1. Depo gazında bulunan bileşenler ve depo gazının özellikleri.....	30
Tablo 4.2. Dünyada enerji üretimine yönelik kurulan yakma sistemleri.....	34
Tablo 4.3. Termal bertaraf yöntemleri tipik reaksiyon koşulları ve ürünler	38
Tablo 4.4. Izgaralı yakma sistemleri avantaj ve dezavantajlar	39
Tablo 4.5. Kentsel atıkların yanma reaksiyonu sonucunda oluşan ürünler	43
Tablo 4.6. Kentsel atık yakmada kullanılan yakma sistemleri ve uygulama aralığı.....	48
Tablo 4.7. Pirolizdeki ana proses değişkenleri	67
Tablo 4.8. Yakma ve piroliz karşılaştırılması.....	69
Tablo 4.9. Yakma ve gazlaştırmada birincil ürünlerin karşılaştırılması.....	71
Tablo 4.10. Gazlaştırıcıların ısıl kapasiteleri	79
Tablo 4.11. Klasik ve plazma gazlaştırma karşılaştırması	81
Tablo 4.12. Piroliz, yakma ve gazlaştırma sistemlerinin temel özellikleri.....	82
Tablo 4.13. Yakma ve gazlaştırma proseslerinin karşılaştırılması	83
Tablo 4.14. Yakma ve piroliz proseslerinin karşılaştırılması	83
Tablo 4.15. Tipik bir KKA külünde bulunan maddeler	85
Tablo 4.16. Uçucu ve dip küllerinin birleşiminde bulunan toplam metal miktarları	86
Tablo 5.1. TRABRİKAB nüfus projeksiyonu sonuçları	93
Tablo 5.2. Projede kullanılacak nüfus değerleri	95
Tablo 5.3. Trabzon ve Rize illerine ait yıllık atık miktarları ve birim atık oluşum verileri	96
Tablo 5.4. Birim atık oluşum tahminleri	97
Tablo 5.5. Laboratuvar analizleri sonuçları	102
Tablo 5.6. Çalışmada kullanılacak atık bileşimi.....	104
Tablo 5.7. Günlük ve yıllık atık miktarları	105
Tablo 5.8. Karakterizasyon özelliklerine göre atık bileşimi miktarları (kg/gün)	106

Tablo 5.9.	Gazlaştırma tesisine kabul edilecek atık miktarları.....	108
Tablo 5.10.	Mekanik ayırma-biyokurutma-ATY tesisi kütle-denge sistemi.....	111
Tablo 5.11.	Gazlaştırma tesisine kabul edilecek atık miktarları ve atık akışı	114
Tablo 5.12.	Gazlaştırma tesis kapasitesi ve ekonomik etkileri.....	119
Tablo 5.13.	RDF gazlaştırma sonrası baca gazı analiz sonuçları	123
Tablo 6.1.	Kütleli yakma tesisleri yatırım ve işletme maliyetleri	126
Tablo 6.2.	Kütleli yakma, gazifikasyon ve piroliz teknolojilerine ait maliyetler.....	126
Tablo 6.3.	Avrupa'daki bazı evsel atık yakma tesisi maliyetleri.....	127
Tablo 6.4.	Karışık evsel katı atıktan ATY üretim tesisinde kullanılan ekipmanların yaklaşık	129
Tablo 6.5.	İlk yatırım maliyetleri.....	130
Tablo 6.6.	İşletme maliyetleri.....	130

SEMBOLLER DİZİNİ

AKY	: Atıktan Kaynaklı Yakıt (RDF)
BTU	: İngiliz Isıl Birimi
ÇŞB	: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
EPA	: ABD Çevre Koruma Ajansı
KKA	: Kentsel Katı Atık
MSW	: Belediye Katı Atığı
İ&Y	: İnşaat Yıkıntı Atıkları
°C	: Celsius Sıcaklık
m	: Metre
cm	: Santimetre
mm	: Milimetre
g	: Gram
kg	: Kilogram
%	: Yüzde
m³	: Metreküp
N	: Newton
kW	: Kilovat
MHz	: Megahertz
J	: Joule
EU	: European Union
TRABRİKAB	: Trabzon ve Rize İli Yerel Yönetimleri Katı Atık Tesisleri Yapma ve İşletme Birliği
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi

Teknolojinin hızla gelişimi ve nüfusun artmasıyla birlikte çevre sorunları da dünya gündemini oluşturan en önemli konuların başında yerini almaktadır. Küreselleşme ile birlikte uluslararası ilişkilerde çevre ve çevre sorunları ülkeler arasında önemli bir boyut kazanmıştır. Gelişmişlik düzeyi ve siyasal farklılıklara bağlı olmadan, dünyanın ortak sorunu olma özelliğinde olan çevre sorunlarının çözümünde etkin çevre politikalarının oluşturulması son derece önemli olmaktadır. Geçmişte olduğu kadar günümüzde de ekolojik dengeyi bozan, çevre sağlığını olduğu kadar doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimini olumsuz etkileyen etkinliklerin en önemlilerinden biri, kaynakların sorumsuzca tüketimi ve çevresel sorunlara neden olabilecek nitelikte ve miktarda atık üretimidir. Her ne kadar katı atık üretimi öncelikle yerel yönetimlerin sorumluluğunda olsa bile, oluşan sorunun bütüncül anlamda yerelden daha çok bölgesel hatta ulusal anlamda önem kazandığı bilinmektedir. Çevre sorunlarının çevre bilimin niteliklerine uygun olarak incelenebilmesinin sistematik yaklaşımı gerektirdiği düşüncesi, ekolojik dengeyi kısaca doğa, nüfus, örgüt ve teknoloji arasındaki dengeli ilişkiler bütünü olarak tanımlanmaya neden olur. Katı atıkların yönetimi sorunu incelenirken ilk önce “entegre katı atık yönetimi” kavram ve içeriği öne çıkmaktadır. Atıkların kaynağında daha üretilmeden azaltılması (waste minimization-waste reduction), geri kullanım süreci (recycling), yeniden kullanma (reuse), kompostlaştırma (composting), termal yöntemler (yakma- incineration, gazlaştırma (gasification) - piroliz) ve depolama (landfilling) gibi katı atık bertaraf etme yöntemleri teknolojik metodlar olarak sıralanabilmektedir.

Çevre kirliliği, insanlar, hayvanlar hatta bütün doğa için her zaman bir tehdit olmuştur. İnsanlar tarafından oluşturulan katı atıklar da bu çevre kirliliği sorunlarının en başında gelmektedir. Ülkemizde yaşanan katı atık sorununun çözümünde, çevrenin korunmasında ve evsel atıklardan kaynaklanan çevre kirliliğinin engellenmesinde “Katı Atık Bertaraf Tesislerinin” hayata geçirilmesi ana unsur olarak görülmektedir.

Nüfusun hızla artması, sanayileşmenin gelişmesi, üretim ve tüketimin sürekli artması sonucunda atık üretimi de büyük ölçüde artmaktadır. Üretilen atıkların bir kısmı çevre ve insan sağlığı üzerinde oldukça olumsuz etkiler yapmaktadır. Bu durumda oluşan atıkların

gelişigüzel bir şekilde depolanması ve uzaklaştırılması yapılmamalıdır. Atık yönetim sisteminde üretilen atık miktarının azaltılması, atıkların kaynakta ayrı toplanması, yeniden kullanımı, geri dönüşümü, geri kazanımı ve bertaraf edilmesi esastır.

Geçmişte uygulanan, insan ve çevre sağlığı açısından büyük riskler taşıyan katı atıkların vahşi döküm alanlarına dökülmesi gelişen dünyada giderek geçerliliğini yitirmektedir. Katı atıkların bertarafı konusunda günümüzde farklı teknolojiler geliştirilmekte, mevcut teknolojiler ise iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Gelişmiş ülkelerde 1970’li yıllardan itibaren düzenli depolama ve yakma teknolojileri katı atıkların bertaraf edilmesinde kullanılmaya başlanmıştır. 1990 ve 2000’li yıllarda ise gazlaştırma ve anaerobik çürütme teknolojileri atık yönetim sistemlerindeki yerlerini almaya başlamışlardır. Katı atıkların vahşi depolama ile değil, diğer teknolojilerle bertaraf edilmesi hiç şüphesiz büyük maliyetleri de beraberinde getirmektedir. Bu noktada atıklardan ekonomik olarak değerlendirilebilir ürünler elde edilip edilemeyeceği sorusu gündeme gelmiştir. Atıklardan elde edilebilecek ürünler, geri kazanılabilir maddeler, kompost ve enerjidir. Enerji geri kazanımı atık bertarafında üzerinde en çok çalışılan konulardan biridir. Çünkü katı atıkların enerji potansiyeli oldukça yüksektir. Son yıllarda yeryüzündeki enerji kaynaklarının giderek azaldığı sıklıkla telaffuz edilmektedir. Buna karşılık teknolojideki ilerlemeler ve artan nüfus nedeniyle enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Tabi ki katı atıkların tek başına artan enerji ihtiyacını karşılaması beklenemez. Ancak atıklar bertaraf edilirken aynı zamanda enerji potansiyellerinin değerlendirilmesi en uygun seçenek olacaktır. Henüz istenilen seviyeye ulaşılmamış olsa da dünyada atıklardan enerji üreten ve özellikle lokal enerji ihtiyacının büyük kısmını karşılayan birçok tesis bulunmaktadır.

1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, Trabzon ve Rize illerinde oluşan kentsel katı atıkların en uygun termal yöntemle etkisiz hale getirilmesi ve bu esnada çevre ve insan sağlığına karşı herhangi bir olumsuzluğun oluşmasına fırsat verilmemesinin sağlanmasıdır. Dünya üzerinde katı atık bertarafında uygulanan yöntemlerin birbirlerine karşı olan avantaj ve dezavantajları bu çalışmada incelenerek bu teknolojilerin teknik analizlerinin yapılması sağlanmıştır. Böylelikle bu çalışmada detaylı olarak incelenen teknolojiler olan düzenli depolama, yakma, gazlaştırma ve piroliz sistemlerinden katı atık muhtevası göz önünde

bulundurulduğunda Trabzon ve Rize illeri açısından hangi yöntemin en uygun olabileceği konusunda bir yaklaşımda bulunulmaya çalışılmıştır.

Düzenli depolama teknolojisinde kentsel katı atıklar mühendislik çalışmaları yapılmış sahalarda biriktirilir, sahada atıkların biyolojik bozunmaları sonucu enerji değeri olan başlıca metan ve karbon dioksitten oluşan depo gazı elde edilir. Depo gazının enerji potansiyeli yaygın olarak direkt ısıtma sistemlerinde, içten yanmalı motor veya gaz türbinli kojenerasyon tesislerinde değerlendirilmektedir. Yakma teknolojisinde ise atıklar herhangi bir ön proses uygulanmadan fırınlarda yakılarak veya katı atıklar islenerek elde edilen, kalorifik değeri daha yüksek, yakıtın akışkan yataklı sistemlerde yakılması sonucu bertaraf edilirler ve üretilen enerji elektrik ve ısı üretiminde kullanılır. Bir başka termal dönüşüm teknolojisi olan gazlaştırmada ise atıklardan sentez gazı denilen bir yakıt elde edilir ve enerji üretiminde kullanılır. Piroliz ise oksijensiz bir yakma çeşidi olup organik katı atıkların fiziksel ve kimyasal işlemlerle üç üründen arınmasına neden olan yükseltilmiş sıcaklık ortamı oluşturmak için oksijenin reaktörden dışlandığı bir süreçtir.

2. KATI ATIK İLE İLGİLİ TANIMLAR

2.1. Atık Tanımı

Atık, literatürde “ihtiyaçlarımızı karşılarken; o an için kullanılmayan, ya da kullanıldıktan sonra atılan kısmı” olarak tanımlanmaktadır. AB tarafından verilen daha genel bir tanımla “sahibinin attığı, atmak istediği veya atılması gereken madde” olarak söylenebilir. OECD tanımı ise atığı “üreticisinin; tüketim, dönüşüm veya üretim amaçları için kullanmadığı, atmak istediği ve/veya atılması gereken ve ürün olmayan madde” şeklinde ifade etmektedir. Atığın sözlük anlamı ise düşük değerde, kullanım dışı veya faydasız kalıntı (bakiye) olarak ifade edilmektedir. Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) atığı, “sahibinin istemediği, ihtiyacı olmadığı, kullanmadığı, arıtma ve uzaklaştırılması gerekli maddeler” olarak tarif etmektedir. (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Katı atık

Bir başka ifadeyle 02.04.2015 tarihli ve 29314 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren ‘‘Atık Yönetimi Yönetmeliği’’ ne göre ise ‘‘Üreticisi veya fiilen elinde bulunduran gerçek veya tüzel kişi tarafından çevreye atılan veya bırakılan ya da atılması zorunlu olan herhangi bir madde veya materyal atık olarak tarif edilmektedir. Bunun yanı sıra ayrıca Atığın Ekonomik Kalkınma ve Ekonomik İşbirliği Örgütü (OECD) ve Avrupa Birliği (AB) atık direktifine (EEC, 1975) göre de benzer tanımları yapılmaktadır. Atık, insan faaliyetlerinin bir yan ürünüdür. Fiziki olarak diğer ürünlere aynı maddeleri ihtiva eden atığın yegâne farkı, değerinin düşük olması veya taşınmayışıdır. Atığın düşük

değerde veya değersiz oluşu, çoğu kere karmaşık olması veya bileşiminin bilinmemesiyle ilgilidir. Atık bünyesindeki maddelerin ayrılması ve bu maddelerin geri dönüşümü mümkün olduğunda, atığın değeri artar. Atığın değeri karışım derecesi (safsızlık) ile ters orantılıdır.

Atıklar çeşitleri kriterlere göre sınıflandırılabilir:

- Fiziki durumuna göre; katı, sıvı, gaz,
- Orijinal kullanımına göre; ambalaj atığı, mutfak atığı vb.,
- Madde grubuna göre; cam, kâğıt, plastik, metal vb.,
- Fiziki özelliklerine göre; yanabilir, kompostlanabilir, geri kazanılabilir vb.,
- Kaynağına göre; kentsel, ticari, kurumsal, zirai, endüstriyel vb,
- Emniyet düzeyine göre; tehlikeli, tehlikesiz, inert vb,

Ev ve işyerlerinden gelen atıklar, belediye atığı, başka bir deyişle kentsel katı atık (KKA) olarak tarif edilmekte olup bu tür katı atıkların toplam katı atık içindeki payı genelde %10'dan daha azdır. Kentsel katı atık dışındaki diğer katı atık unsurları, tarım ve madencilik atıkları, endüstriyel atıklar, enerji santralleri atıkları, arıtma tesisi çamurları ile inşaat ve yıkıntı atıklarıdır.

Kentsel katı atıklar (belediye atıkları) başlıca aşağıdaki bileşenleri içerir;

- Karışık evsel atıklar
- Geri dönüştürülebilir atıklar (kâğıt, karton, alüminyum kutular, plastik şişeler, metal kutular vb.)
- Evlerden kaynaklı tehlikeli atıklar (piller, ampuller, boya kutuları vb.)
- Ticari ve kurumsal atıklar (iş yerleri, okullar ve diğer kamu kurumlarından gelen atıklar)
- Evsel nitelikli endüstriyel katı atıklar
- Bahçe, hal ve Pazar yeri atıkları (yeşil atıklar)
- Cadde, kaldırım ve meydan süprüntüleri
- Hacimli atıklar (mobilya, beyaz eşya vb.)

Kentsel katı atık tanımı dışında kabul edilen atıklar ise;

- İnşaat, yıkıntı ve hafriyat atıkları
- Su ve atıksu arıtma tesisi çamurları
- Atık elektrik ve elektronik aletler, cihazlar
- Hurda araçlar, lastikler ve özel işlem gerektiren diğer hacimli atıklar
- Hastane atıkları (enfekte atıklar ve ameliyathane atıkları)

Kentsel katı atıklar, yakın temas ve işbirliği ile yönetilmesi gereken, toplama ve bertarafının iyi yönetilemediği takdirde çevresel bedellerinin ağır olduğu sorunlu atıklardır. Bu atıkların fiziksel bileşimleri ve oluşma miktarları coğrafi, iklimsel, sosyo-ekonomik ve mevsimsel etkilere bağlı olarak ülkeden ülkeye veya şehirler ile kırsal alanlar arasında büyük farklılık gösterebilir.

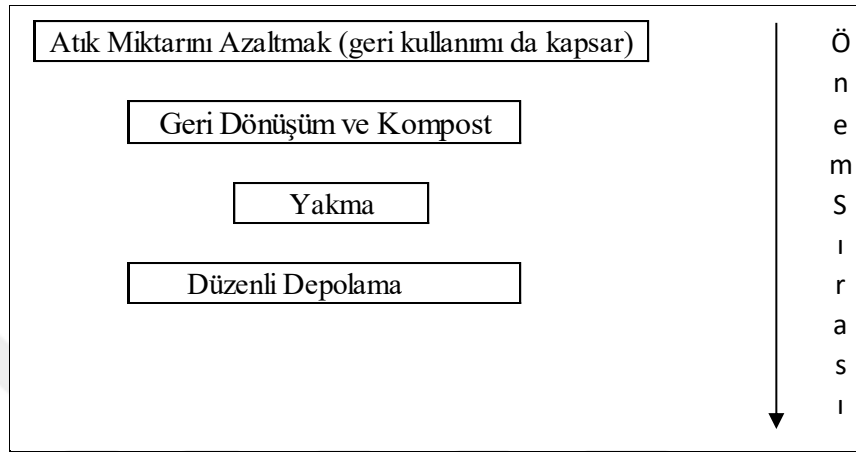
Kişisel ihtiyaçlarımızın giderilmesinin yanında; tarım, sanayi, ulaşım, turizm, inşaat ve diğer tüm üretim ve hizmet faaliyetlerinde malzemenin biçim değiştirmesi ve enerji tüketimi ile çeşitli atıklar ortaya çıkar. Atık üretmek her insanın ve hayatın en doğal davranışlarından biridir. Oluştugu andan bertaraf edildiği ana kadar insanlara, bitkilere veya hayvanlara zarar verebilecek her türlü atık veya atık türü tehlikeli atık sınıfına girmektedir. Bu atıkların bir bölümü nihai olarak bertaraf edilirken, bir bölümü geri kazanılarak, yeniden kullanılabilir. Bu atıkların bir bölümü nihai olarak bertaraf edilirken, bir bölümü geri kazanılarak, yeniden kullanılabilir.

Çevresel değerler açısından atık hiyerarşisi olarak tanımlanan uygulama; atık oluşumunun önlenmesi, kaynakta atıkların azaltılması, yeniden kullanılmasının sağlanması, geri dönüşüm yapılması, enerji geri kazanılması esas alınmaktadır. Ancak bütün bu aşamalarda değerlendirilemeyen atıkların da çevreye en az zarar verecek şekilde bertaraf edilmesi de gerekmektedir. Bu da hem maddi kaynak hem de teknoloji gerektirmektedir. Ancak bundan kaçmak da mümkün değildir.

2.2. Atık Yönetiminin Tanımı ve Kapsamı

Atık yönetimi; oluşan atıkların çevre ve insan sağlığına tehdit oluşturmayacak şekilde, etkilerinin en aza indirilmesi, halkın geri kullanım ve geri dönüşüm konusunda eğilimleri de göz önünde bulundurularak, oluşturulan tutum çerçevesinde yönetilmesini amaçlar. Bu amaca ulaşmanın en kısa yolu ise atık üretimini azaltmaktır. Bu da üretim proseslerinde yapılan iyileştirmeler ve hammadde kullanımı ile doğrudan ilgilidir. Katı atık yönetimi birçok disiplinin farklı teknolojiler kullanılarak birlikte çalıştığı bir sistemdir (Karakaya,2008). Entegre atık yönetim atığın toplanması, çevresel açıdan faydalı ekonomik ve toplum tarafından kabul edilen arıtıma ve bertaraf metodunun seçilmesi işlemlerinin tümünü kapsayan kombine bir sistemdir. Entegre atık yönetimi aynı zamanda ilgili yasal mevzuatta öngörülen hususların sağlanmasını da kapsar (Büyükbektaş, 2008). Atık yönetiminde uygulanan yöntemler birbirinden bağımsız olmayıp bütünlük içerisindedir. Sistemlerin kendi içindeki verimi bir sonraki sistemi etkilemektedir. Örneğin

atık toplama işleminin şekli geri kazanım oranını etkiler. Dolayısıyla atık yönetiminin sürdürülebilir ve bütünsel bir yaklaşımla ele alınması önemlidir. EPA entegre katı atık yönetimi bileşenleri önem sırasına göre Şekil 2.2'deki akıma göre sıralamaktadır. Bu aynı zamanda atık yönetiminde uyulması gereken hiyerarşiyi göstermektedir.



Şekil 2.2. EPA modeli atık yönetim hiyerarşisi (Karakaya, 2008)

Atık oluştuktan sonra bertaraf etme yerine atığın kaynağında azaltımını yapmak doğal kaynakları ve enerji rezervlerini korumak için son derece önemlidir. Üretim proseslerinde yapılan iyileştirme ve hammaddenin verimli kullanılması ile oluşan atıklarının bertarafını gereksiz hale getirmek ana hedef olmalıdır.

Şekil 2.3'e bakıldığında Geri Dönüşüm ve Kompostun 2. sırada olduğu ve atığın tamamen önlenemediğinden hareketle olumsuz çevresel etkileri azaltabilme açısından önemli bir seçenek olduğu görülmektedir. Geri dönüşüm, atığın toplanması ve ayıklanmasından sonra tekrardan başka birleşime tabi tutularak başka bir formlara sokulması esasına dayanır. Atıkların toplanması işlemleri kaynağında ayrı ayrı yapıldığı takdirde geri dönüşüm verimi de artmaktadır. Kompostlaştırma ise organik maddelerin kontrollü bir ortamda uygun çevresel şartların sağlanmasıyla birlikte biyolojik olarak ayrıştırılması ve stabilizasyonu işlemidir. Bu işlem sonucunda kompost diye tabir edilen stabil, humus benzeri ve toprak gübresi olarak kullanılabilen ürün oluşur. Kompostlaştırma işlemi geri dönüşüm ve kaynakların yeniden kullanımının en yüksek formudur. Kompost, üretilen organik maddenin tekrar kullanıma sunulmak üzere yapılan geri dönüşüm faaliyetinin faydalı son ürünüdür. Gelişen ülkelerde özellikle Avrupa kıtasında üretilen katı

atıklar içerisindeki organik atıklar kaynağında yapılan iyi ayrıştırma sonucunda ve yüksek organik bileşeni nedeniyle kompostlaştırmaya tabi tutulmakta ve katı atıkların yönetiminde uygun bir alternatif bertaraf yöntemi olmaktadır.

Yakma teknolojileri yukarıdaki şekilde 3. Sırada yer almakta olup atık hacminin azaltılması için yapılmaktadır. Kentsel katı atık doğrudan herhangi bir ön işlem olmadan veya RDF denilen karışık toplanmış kentsel katı atıktan yanabilen ve yanamayan kısımların ayrılması sonucu elde edilen atık kaynaklı yakıtın yakılması ile gerçekleştirilebilir. Atığın yakılmasında temel olarak 4 amaç bulunur. Bunlar;

1. Hacim azaltma: Kentsel atığın içeriğine bağlı olarak bertaraf edilecek atığın hacimce ortalama % 90, ağırlıkça % 70 oranında azalır.
2. Atığın stabilizasyonu: Yakmadan çıkan kül kentsel katı atığın okside olmasına bağlı olarak daha inerttir. Bu nedenle düzenli depolamada çıkabilecek sızıntı oluşumu veya kirletici emisyonların oluşumunu azaltır.
3. Atıktan enerji eldesi: Atığın yakılması sonucu oluşan buhar elektrik yada ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Atıklar kalorifik değerleriyle bağlantılı olarak enerjiye dönüştürülürler. Kentsel katı atığın enerji içeriğinin biyokütle kısmından oluşması katı atığın yakılması sonucu üretilen enerjinin yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirilmesine imkân vermektedir.
4. Atığın sterilizasyonu: Kentsel katı atığın yüksek sıcaklıkla bertarafı ile patojenler yok olur.

Düzenli depolama atık hiyerarşisinde son basamakta yer almaktadır. Düzenli depolama alanlarının kullanımı atığın kaynaktan azaltılması ve geri dönüşümün oranının artmasıyla önemli ölçüde azalma sağlamaktadır. Fakat her ne olursa olsun depolama alanları olmadan atık bertarafı tam anlamıyla gerçekleştirilemez. Çünkü diğer bertaraf yöntemleriyle bertaraf edilemeyen veya yakma gibi teknolojiler sonucu oluşan son ürünler düzenli depolama alanlarına gönderilmek zorundadır. Bu sebepten dolayı atık yönetim hiyerarşisinde son basamakta düzenli depolama bulunmaktadır. Diğer yöntemlerin etkili bir şekilde kullanımı düzenli depolama alanlarının büyük arazi ihtiyacının azaltılmasına sebep olur.

Yerleşim yerlerinin nüfusları arttıkça oluşan katı atık miktarında artış ve çeşitlilik görülmektedir. Katı atıkların miktar ve özellikleri ülkeden ülkeye değiştiği gibi aynı ülkede bölgeden bölgeye hatta aynı şehirde semtten semte değişebilmektedir. Bu değişim gelir seviyesi ile tüketim ve kullanım alışkanlıklarına bağlıdır. İyi bir katı atık yönetimi ile bütün

atıklar kontrol altına alınabilir. En ideal şartlarda planlanan ve işletilen entegre bir katı atık yönetim sisteminde hiçbir surette kontrolsüz katı atık oluşmaz.

Etkili bir katı atık yönetimi;

- Atık oluşumu,
- Kaynakta sınıflandırma, biriktirme, ayıklama ve işleme
- Toplama,
- Transfer,
- Ayırma, işleme ve dönüştürme,
- Nihai bertaraf

olmak üzere başlıca altı unsuru ihtiva eder. Bu unsurların her biri bağımsız olarak ele alınmalıdır. Şekil 2.3’de üretimden nihai bertarafa kadar katı atık yönetim akım diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.3. Entegre katı atık yönetimi akım diyagramı

Katı atıklar geçmişte sadece vahşi depolama ile bertaraf edilirken, nüfusun ve tüketimin artması, çevre kirliliği gibi değişen dünya koşulları sonucu daha etkin birçok bertaraf yöntemi geliştirilmiş ve uygulanmaya başlanmıştır. Katı atık yönetim sisteminde uygulanan değerlendirme ve bertaraf teknolojileri şu şekilde sıralanabilir:

- Geri kazanma
- Düzenli depolama
- Termal dönüşüm teknolojileri
- Yakma

- Gazlaştırma
- Piroliz
- Biyolojik dönüşüm teknolojileri
- Aerobik kompostlaştırma
- Anaerobik kompostlaştırma

Atıkların enerji değerinin fark edilmesiyle, atıkların bertaraf edilirken aynı zamanda enerjisinden faydalanma fikri giderek yaygınlaşmaktadır. Günümüzde gelişmiş ülkelerde kentsel katı atıklardan enerji üreten birçok tesis vardır. Kentsel katı atıklardan enerji elde etmek için kullanılan teknolojiler ise,

- Düzenli depolama
- Yakma
- Gazlaştırma
- Piroliz
- Anaerobik çürütme prosesleridir.

2.3. Türkiye’de Kentsel Katı Atık Oluşumu ve Katı Atık Karakterizasyonu Bileşimi

Kentsel katı atıklar genelde geri dönüştürülebilir/kazanılabilir atıklar (ambalaj atıkları, gazete/dergi kağıtları) ve diğer atıklar (mutfak atıkları vd.) olmak üzere iki ana bileşenden oluşur. Ambalaj atıkları ve kâğıt iyi bir toplama organizasyonu ile kolayca geri dönüştürülebilir. Mutfak, bahçe ve pazaryeri atıkları da kompostlaştırılarak geri dönüştürülebilir. Atık oluşumunu ve bileşenlerini etkileyen en önemli faktörler, yerleşim yerinin coğrafik konumu, sosyo-ekonomik yapısı, enerji kaynakları ve mevsimsel değişimleridir. Bu faktörler aynı zamanda ülkelerin kişi başına düşen gelir seviyesi ile de ilgilidir.

Kentsel katı atık içindeki söz konusu geri dönüştürülebilir bileşenler için günümüzde, belli hedeflerin sağlanmasını öngören yasal mevzuat geliştirilmiştir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Ambalaj Atıkları Yönetmeliği’nde 2020 yılı için öngörülen geri dönüşüm/geri kazanma hedefi de AB ile uyumlu olarak %60’dır. Bazı durumlarda toplam kentsel katı atıklar, inşaat ve yıkıntı atıklarını, arıtma çamurlarını, park/bahçe atıklarını ve hacimli eşyaları da içermektedir. Birçok ülkede, tüketicilerin atıklarındaki geri dönüşebilir maddelerin miktarını arttırmak için değerlendirilebilir atık miktarı, toplam kentsel katı atık

miktarı üzerinden hesaplanmakta ve böylece yüksek geri dönüşüm oranları elde edilmektedir.

Üretilen ve atık toplama araçları ile toplanan katı atıklar, katı atık yönetim planının oluşturulması açısından oldukça önemlidir. Miktarın belirlenmesi, toplama araçlarının güzergâhının tayininde, toplama ekipmanlarının seçilmesinde, maddesel geri kazanım tesislerinin tasarlanmasında ve bertaraf yöntemlerinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır.

Atık üretim artış hızı gelir ve varlıklardaki artış hızı ile (milli gelir artış hızı) doğru orantılıdır. Daha yüksek gelir düzeyine sahip yerleşim yerlerinde, daha çok tüketim olacağından atık oluşumu da fazladır. Tablo 2.1 incelendiğinde yüksek gelir seviyesine sahip yerleşim yerlerindeki birim atık oluşumu değerlerinin orta ve düşük gelir seviyesine sahip bölgelerden daha fazla olduğu görülmektedir. Gelir düzeyi bir yerleşim yerindeki insan sayısı ile ilişkilendirilirse, konut sahibi varlıklı insanların, kiralık apartman dairelerinde yaşayan düşük veya orta gelirli insanlara oranla daha çok atık ürettiği tespit edilmiştir.

Tablo 2.1. Gelir seviyesine göre ortalama kentsel katı atık oluşum hızları (TBB, 2015)

Gelir Seviyesi	Kentsel Katı Atık Oluşumu (kg/kişi-gün)
Düşük Gelir	0,6-1,0
Orta Gelir	0,8-1,5
Yüksek Gelir	1,1- 4,5

TÜİK verilerine göre Türkiye’de toplanan kentsel katı atık miktarı, 2012 yılı itibarı ile 25.845.000 ton/yıl olup mevcut durumda ülke nüfusunun %83’ü, Belediye nüfusunun ise%99’u atık toplama hizmetinden yararlanmaktadır. TÜİK’e göre 2000-2012 dönemi için kişi başına üretilen katı atık miktarları Tablo 2.2’de verilmektedir. Mevcut durumda 2012 yılı için kişi başına bir günde oluşan kentsel atık miktarı 1,12 kg/kişi-gün seviyesindedir.

Tablo 2.2. Temel çevre göstergeleri, 2000-2012

Yıllar	2000	2007	2010	2012
Kişi başı yıllık ortalama miktarı (kg/kişi-yıl)	478	442	416	409
Kişi başı günlük ortalama atık miktarı(kg/kişi-yıl)	1,31	1,21	1,14	1,2

Kaynak: TÜİK

TÜİK 2010 verilerine göre, Belediye nüfusunun %56'sı Düzenli Depolama ve Kompostlaştırma gibi Atık Yönetimi Mevzuatına uygun yöntemlerden yararlanmaktadır. Belediyeler için geçerli olan %99'luk atık hizmetleri kapsama oranına göre, benzer şekilde Belediye atığının %56'sı mevzuata uygun tesislerde bertaraf edilmektedir. ÇŞB Atık Yönetimi Eylem Planı'nda (2008-2012), 2012 yılında Belediye nüfusunun %70'inin atıklarının Düzenli Depolama Tesisleri'nde bertarafı öngörülmektedir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı güncel verilerine göre ise, 2012 yılında Türkiye genelinde düzenli depolama ve kompostlaştırma hizmetleri ile kapsama oranı sırasıyla %58 ve %1 ile toplamda %59 mertebesine çıkmaktadır (Arıkan vd., 2012).

Kentsel katı atıkların ağırlıkça %30'unu, hacimce %50'sini ambalaj atıkları oluşturmaktadır. Sürdürülebilir bir atık yönetim sistemi, ambalaj atıklarının diğer atıklarla karışmadan kaynağında ayrı toplanması ve organize bir yapılanma (ikili toplama) kapsamında geri kazanımını gerektirmektedir. Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği uyarınca 1992-2004 döneminde piyasaya sürülen ambalaj atıklarının %34'ü (öngörülen oran %33) geri kazanılmıştır (ÇŞB, 2010.). Ambalaj Atıkları Şube Müdürlüğü Ambalaj Bülteni kayıtlarına göre 2007 yılı itibarı ile Türkiye genelinde 2.136.860 ton ambalaj atığı geri kazanımı sağlanmıştır. Bu değer 2007 yılı kentsel atık üretiminin %8,8'ine karşı gelmektedir.

Tablo 2.3. Türkiye için kentsel katı atık üretimi tahmini (TBB, 2015)

Yerleşimler	Katı atık üretimi (ton/yıl)			
	2003	2010	2020	2023
Kentsel Yerleşim	12.152.366	15.087.209	18.854.323	19.913.958
Kırsal Yerleşim	6.099.800	6.521.337	6.775.735	6.782.885
Endüstri	3.557.994	5.031.798	8.080.831	9.311.484
Ticari- Kurumsal	5.419.099	7.946.504	13.805.801	16.283.167
Toplam	27.229.259	34.586.848	47.516.690	52.291.499

2.3.1. Atık Oluşumu

Türkiye'nin atık üretimi ve karakterizasyonu ile ilgili olarak bugüne kadar birçok akademik, kurumsal ve master plan çalışması yapılmıştır. DİE tarafından 1995-2002 yılları arasında yürütülen Atık İstatistiği verileri üzerinden belli kabullerle tahmin edilen katı atık üretimi değerleri Tablo 2.4.'de özetlenmiştir. Tablodaki verilerle 2002 yılı ortalama KKA üretimi 380 kg/kişi-yıl (1,04 kg/kişi-gün) civarındadır (ENVEST, 2005.a).

Tablo 2.4. 1995-2002 yılları arasında Türkiye'de KKA oluşumu (1000 ton/yıl) (Öztürk, 2010)

Atık Kaynağı	1995	1998	1999	2000	2001	2002
Haneler	14.421	17.204	17.239	17.273	17.310	17.984
Ticaret- Kurumlar	4.326	5.161	5.171	5.182	5.193	5.375
Endüstri	4.774	3.355	3.361	3.368	3.376	3.507
İnşaat-Yıkıntı	3.058	3.344	33.350	3.357	3.364	3.493
Toplam (KKA)	23.521	25.720	25.771	25.823	25.879	26.866
Toplam	26.579	29.064	29.121	29.180	29.243	30.359

Türkiye'de ortalama kentsel katı atık üretiminin 1,0 kg/kişi.gün civarında olduğu tahmin edilmektedir. Bu değer gelişmiş ülkelerde 1,5-2,5 kg/kişi.gün aralığında değişmektedir.

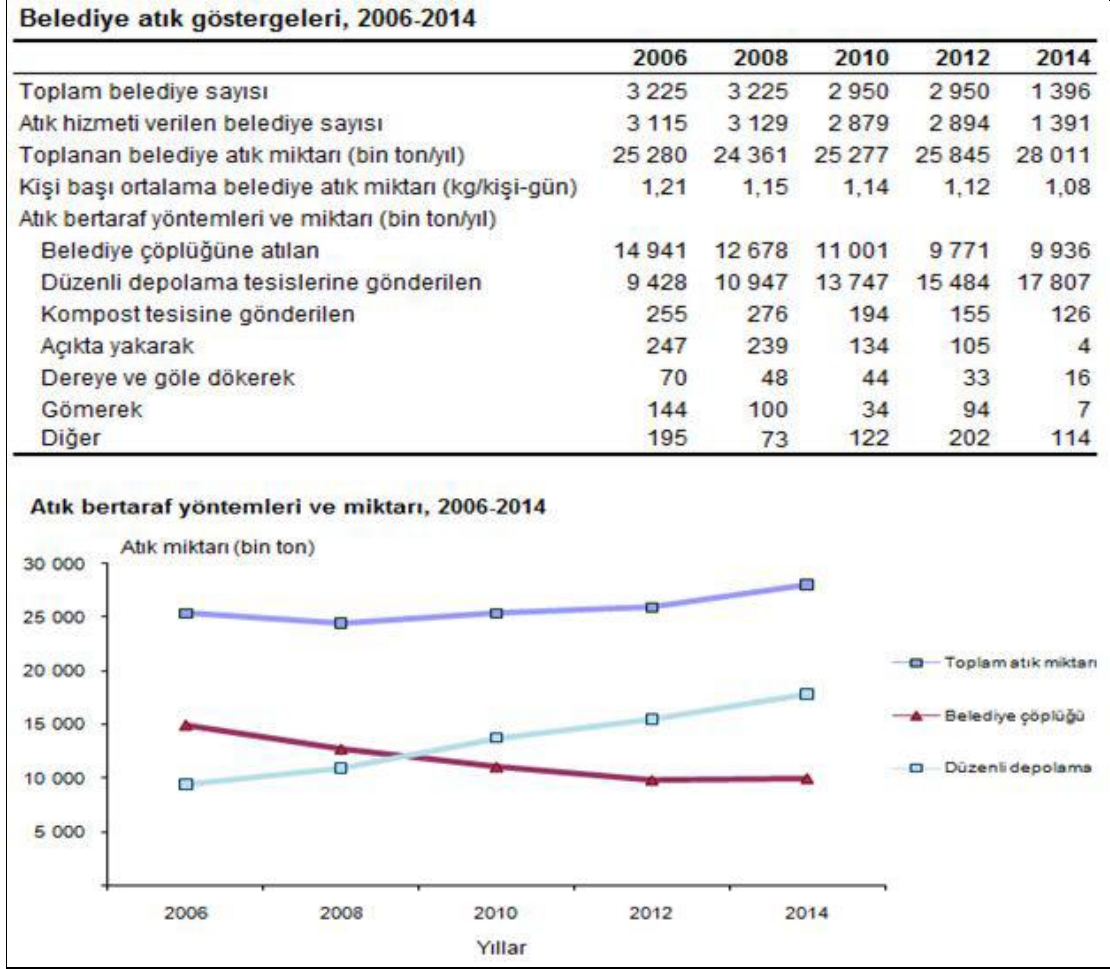
Atık oluşumu üzerine yapılan daha önceki çalışmalara göre, toplam kentsel katı atık oluşumunun 2/3'ünü evlerden, 1/3'ünü işyeri ve kurumlardan kaynaklanan katı atıklar oluşturmaktadır. TÜİK (1995-2002) verileri, işyeri ve kurumlardan kaynaklanan katı atıklar ile endüstriyel katı atıkların, evsel atıkların sırasıyla %30 ve %20'sine eşit olduğunu göstermektedir.

TRABRİKAB'dan alınan veriler ışığında Trabzon İli için birim kentsel katı atık oluşum miktarı 2010 yılı için 0,50 kg/kişi-gün olarak hesaplanmıştır. İSTAÇ'dan alınan veriler ışığında İstanbul İli için birim kentsel katı atık oluşum miktarı 2010 yılı için 1,19 kg/kişi-gün olarak hesaplanmıştır (İSTAÇ, 2012). Kocaeli Büyükşehir Belediyesi'nden alınan verilere göre ise, 2010 yılı için söz konusu değer Kocaeli İli için 1,08 kg/kişi-gün olarak kabul edilmiştir. (Kocaeli AYP, 2009). Yine TRABRİKAB verilerine göre Trabzon

İlinde 2016 yılı için 0,74 kg/kişi gün olarak hesap yapılmıştır. 2010 yılı ile 2016 yılı verileri arasında yaklaşık %50 oranında bir artışın olduğu görülmüştür. Bu artışın nedenleri incelendiğinde 2010 yılında Trabzon İlinde toplanan katı atıkların düzenli depolama sahasına ulaşılabilirliği konusunda aksaklıkların olduğu, bir başka ifade ile mücavir alanları içerisinde katı atıklarını toplayan belediyeler, gerek maddi imkansızlıktan dolayı düzenli depolama bertaraf ücreti ödememe gerekse düzenli depolama sahası veya aktarma istasyonlarına olan uzaklıklardan ötürü ulaşım masrafından kaçınma gibi olgular yüzünden topladıkları atıklarını düzenli depolama sahası dışından vahşi döküm alanlarında bertarafa devam etmeleri olduğu görülmüştür. Bu durum TRABRİKAB tarafından ilerleyen yıllar içinde düzeltilmiş olup Trabzon ilinde düzenli depolama sahası dışında atık dökülen herhangi bir vahşi döküm alanı kalmamıştır.

Türkiye’de her yıl ortalama 26 milyon ton evsel atık üretilmektedir. Bu miktarı dikkate aldığımızda; 78 milyon nüfus, ortalama kişi başı günde 1 kg evsel atık oluşturulduğu görülmektedir. Bu kişi başı atık üretimi gelişmiş illerde daha fazla, az gelişmiş illerde daha azdır. Atık miktarı gerek nüfus artışı ve gerekse ekonomik refahın artması ile artacak ve tahminen 20 yıl içinde iki katına çıkacaktır. Yani 2030 yıllarında toplam evsel atık üretimi 50 milyon tonu aşacaktır. 26 milyon ton çöpü hayal edebilmek için şöyle bir örnek vermek mümkündür. 1 ton evsel çöpün 1 m³ yer kapladığını düşündüğümüzde her yıl 1 m derinliğinde 4000 adet futbol sahası (65 x 100 m) kadar yer tutmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 2014 yılında Türkiye’de atık toplama ve taşıma hizmeti verilen belediyelerden toplanan 28,011 milyon ton atığın;

- %35,5’i belediye çöplüğünde,
- %63,6’sı düzenli depolama sahaslarına gönderilen,
- %0,4’ü kompost tesisine gönderilen,
- %0,01’i açıkta yakılarak,
- %0,06’si dereye ve göle dökülerek bertaraf edilen,
- %0,41’i diğer
- Olarak ayrılmakta ve yerleşim alanlarından uzaklaştırılmaktadır.



Şekil 2.4. Türkiye'deki atık bertaraf dağılımı

Kaynak: TÜİK, Haber Bülteni, Sayı: 18777, 28 Aralık 2015

Atık toplama ve taşıma hizmeti verilen belediyelerde toplanan 28 milyon ton atığın, %63,5'i düzenli depolama tesislerine, %35,5'i belediye çöplüklerine, %0,5'i kompost tesislerine gönderilmekte, %0,5'i ise diğer yöntemler ile bertaraf edilmektedir.

Türkiye'de 2014 yılı itibarı ile toplanan kentsel katı atık miktarı 1,08 kg/kişi.gün, 395 kg/kişi.yıl olup belediye nüfusunun ise %99'u atık toplama hizmetinden yararlanmaktadır. Belediyelerden toplanan atığın %64'ü düzenli depolama ve kompostlaştırma gibi atık yönetimi mevzuatına uygun yöntemlerle bertaraf edilmektedir.

Dünyada ise 2006 yılı verileri ile yılda 1.9 milyar ton evsel atık üretilmekte ve bunun 1.24 milyar tonu toplanabilmektedir. Buna ek olarak 1.67 milyar ton evsel nitelikli endüstriyel atık üretilmekte ve 1.2 milyar tonu toplanmaktadır. Yine 490 milyon ton endüstriyel tehlikeli atık üretilmekte ve bunun 300 milyon tonluk kısmı

toplanabilmektedir. Evsel atıklara baktığımızda daha zengin ülkelerin daha çok atık ürettiği görülmektedir.

Bu rakamlara bakınca gerek dünyada gerekse Türkiye’de artık bir atık sektörü ve buna bağlı bir atık ekonomisi oluştuğunu görmek gerekir. Dünyada toplamadan, geri kazanım ve bertarafı da dikkate aldığımızda 300 milyar EURO büyüklüğünde bir sektör vardır. Yani atık sektörü negatif bir değer olmaktan pozitif bir değer olmaya gitmektedir.

2.4. Katı Atığın Özellikleri ile İlgili Genel Esaslar

2.4.1. Katı Atıkların Fiziksel Özellikleri

Kentsel katı atıkların bazı fiziksel özelliklerinden dolayı işlenmesi ve taşınması zorluğunun yanında çevreye de zararı olabilir. Heterojen bir yapıya sahip ve özellikle zamana bağlı olarak değişim gösteren kentsel katı atıkların taşınması ve depolanması gibi işlemler sırasında sorunlar meydana gelebilmektedir. Bu yüzden atığın fiziksel yapısı net bir şekilde tanımlanmalıdır. Bu tanımlama esnasında aşağıdaki parametreler kullanılacaktır.

- Su muhtevası
- Partikül boyutu
- Yoğunluk
- Isıl Değer
- Mekanik Özellikler
- Aşındırıcılık

2.4.1.1. Su Muhtevası

Atık içindeki su miktarı atığın diğer bütün özelliklerini (fiziksel, kimyasal ve biyolojik) etkiler. Fakat bu etkinin büyüklüğü atık bileşenlerine göre değişmektedir. Atığın üretildiği ilk andan itibaren çöp konteynırlarından toplama araçlarına kadar geçen süre zarfında atık içindeki nem ve biyolojik bozunmadan dolayı su muhtevası zaman içinde artarak daha kuru olan diğer atıklara da etki eder. Böylelikle atık içindeki su miktarı başlangıç miktarına göre zamanla artış gösterir. Örneğin kağıtların su muhtevası çöp

konteynirlerinde ağırlıklarının %7'si civarında artmakta, hatta atık toplama araçlarında bu değer %20 seviyelerine çıkmaktadır.

Su muhtevasını belirlemek için yapılan kurutma işlemi, genellikle numunelerin 77°C'lik fırında 24 saat bekletilmesi tarzında yürütülmektedir. 77°C'den yüksek sıcaklar uçucu maddelerin buharlaşmasını ve bazı plastiklerin erimesini önlemek amacıyla tercih edilmemektedir. Katı atık bileşenlerinin su muhtevaları oldukça değişkendir. Toplama işlemi sırasında yağmura maruz kalınmaması durumunda, sıkıştırılmamış katı atıkların su muhtevası ABD'de ortalama %20-30 civarındadır. Yağmurlu mevsimler sırasındaki su muhtevaları ise % 40-60 seviyelerine ulaşabilmektedir. Bir katı atık toplama aracında atıklar arasında nem transferi gerçekleşirse, birçok katı atık bileşeninin su muhtevası da değişmektedir. Özellikle kağıt atıklar sıvı atıkları emdiği için nem içerikleri oldukça artmaktadır.

2.4.1.2. Partikül Boyutu

Partikül Boyutu katı atık içerisindeki materyal boyutu ya da büyüklüğü olan katı atıkların elek ve manyetik ayıklayıcılar ile ayıklanmasında önem taşımaktadır. Özellikle geri kazanılabilen atıkların tane büyüklükleri ayıklama işlemlerinde kullanılacak elek ve benzeri materyallerin seçiminde önemlidir. Kentsel katı atıklar, partikül boyutu analizleri açısından oldukça sorunlu olup birçok kentsel katı atıklar işleme teknolojisi partikül boyutunun doğru belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Karışık partiküllerin tanımlanması için tek bir değer kullanılması doğru olmamaktadır. Bu doğrultuda muhtemelen en uygun yöntem, partikül dağılımını veren eğrinin çizilmesi ile partikül boyutlarının belirlenmesidir. Elekler sadece iki ebatla boyutu belirleyebilmektedir. Böylece bir kısım atık elekten geçebilmekte ama boyutunun tam olarak tanımlanabilmesi zor olmaktadır.

2.4.1.3. Yoğunluk

Kentsel katı atık bileşimi üzerlerine uygulanan basınca bağlı olarak değişken yoğunluk gösterir. Çöp konteynırına atılan kentsel katı atık sıkıştırılmadığından ötürü yoğunluğu 90-150 kg/m³ iken konteynır içindeki sıkışmadan ötürü 180 kg/m³'e kadar yükselebilir. Katı atık toplama araçlarında sıkıştırılmış katı atığın yoğunluğu 350-420

kg/m³ arasında olmaktadır. Ayrıca bu atıkları düzenli depolama sahalarında makine ile sıkıştırılmaları sonucu yoğunlukları 700-1000 kg/m³'e kadar çıkabilmektedir. Tablo 2.11'de karışık toplanan katı atıkların oluşumundan bertarafına kadar geçen süre zarfında sahip olduğu yoğunluklar verilmiştir. Bu değerler atık bileşenlerinin ve maddelerin boşluksuz yoğunluk değerlerinden farklıdır. Örneğin bir çelik kutunun maddesel (boşluksuz) yoğunluğu 7,7 gr/cm³'dür. Ezilmemiş boş çelik kutunun hacminin yaklaşık %95'i hava olacağı için bu maddenin hacimsel yoğunluğu sadece 0,4 gr/cm³'civarında olacaktır.

Tablo 2.5. Katı atıkların yoğunlukları (Öztürk, 2010)

Koşullar	Yoğunluk (kg/m ³)
Gevşek atık, işlenmemiş ve sıkıştırılmamış	90-150
Toplama aracında sıkıştırılmış	360-540
Balyalanmış atık	720-840
Depolama alanında sıkıştırılmış atık (örtülmemiş)	450-750

Bir parçalayıcıda parçalanmış kentsel katı atıklar düzenli depolama sahalarında depolandığında, birim hacim ağırlıkları 400 kg/m³'e kadar ulaşmaktadır. Atığın depolandığı yerden depo tabanına olan mesafesinin (atık dolgu yüksekliği) yoğunluk üzerinde oldukça önemli etkisi vardır. Çünkü tabana yaklaştıkça yoğunluk sıkışmadan ötürü artmaktadır. Yoğunluktaki bu farklılık depolama tesislerinin tasarımında önemli bir faktör olarak dikkate alınmalıdır.

2.4.1.4. Isıl Değer

Atıkların enerji kaynağı olarak kullanılmasının gerekli olduğu durumlarda kentsel katı atıkların ısı değerleri ön plana çıkmaktadır. Isıl değer kJ/kg cinsinden ifade edilmektedir. Atıkların ısı değerinin ölçülmesinde genellikle kalorimetre kullanılmaktadır. Kalorimetre, numunenin yakılması sonucu ısı artışı esasına dayanan bir yöntemdir. Numunenin kütesinin yanması sonucu oluşan ısı bilindiğinde ısı değer kJ/kg cinsinden hesaplanır. Bu birim 1 kg suyun sıcaklığını 1°C arttırmak için gereken ısıya karşı gelir. Bazen ısı değer kuru atık üzerinden ifade edilir. Isıl değer inorganik maddeleri

içermemesi durumunda ise, kJ nem (su) ve kül içermeyen olarak tanımlanır ve kül yakılmış inorganik olarak belirlenir.

Aşağıdaki Tablo 2.12’de görüldüğü gibi, katı atığın birçok bileşeni için ısı değerleri farklılık göstermektedir. Atığın bileşenleri bilindiğinde, çeşitli bileşenler için hesaplanan ısı değerleri kullanılarak karışık atığın ısı değeri hesaplanabilir. Kalorimetrik ısı değerlerinin en önemli tarafı, üst ve alt ısı değerleri arasındaki farklılıktır. Üst ısı değerleri (H_{uid}) toplam kalorimetrik enerji olarak da tanımlanırken, alt ısı değerleri (H_{aid}) net kalorimetrik enerji olarak bilinir. Termal yöntem tesislerinin tasarımında bu ayrım çok önemlidir.

Tablo 2.6. Bazı katı atık bileşenleri için ısı değerleri (Öztürk, 2010)

Bileşen	kJ/kg		
	Orijinal	Nem içermeyen	Nem ve kül içermeyen
Mukavva	17.264	17.264	18.291
Yiyecek atıkları	4.199	13.998	16.751
Dergiler	12.248	12.785	16.704
Gazeteler	18.617	19.784	20.087
Kağıt (karışık)	15.864	17.661	18.781
Plastik (karışık)	32.895	33.572	37.375
HDPE	43.627	43.627	44.094
PS	38.261	38.261	38.261
PVC	22.747	2.793	23.283
Çelik kutular	0	0	0
Bahçe atıkları	6.066	15.165	15.351

2.4.1.5. Mekanik Özellikler

Kentsel katı atıkların basınç ve çekme gerilmeleri en önemli iki mekanik özelliğidir. Hacim azaltmanın sağlanabilmesi için gerekli basınç kuvveti atık yapısına bağlı olarak değişir. Önemli oranda hacim azaltmak için yapılan sıkıştırma işlemi yüksek miktarda enerji harcanmasını gerektirmektedir. Her bir katı atık bileşeninin çekme emniyet gerilmeleri farklıdır. Çekme mukavemeti elastisite modülüne bağlı olarak ifade edilebilir. Bunların yanında atıkların depolanması da oldukça önemlidir. Şev açısı, atığın kaymadan depolandığı en büyük şev yatayla yaptığı açıyı göstermektedir. Örneğin, kumun su muhtevasına bağlı olarak şev açısı 35° ’dir. Yoğunluk, su muhtevası ve partikül boyutunun

çeşitliliği yüzünden parçalanmış katı atıkların şev açısı 45° ile 90° arasındaki değerleri alabilmektedir.

2.4.1.6. Aşındırıcılık

Katı atıkların içerisinde aşındırıcı özelliğe sahip birçok madde bulunmaktadır. Örneğin, kum, cam, metaller ve kaya aşındırıcı maddeler arasında sayılabilir. Bu tür aşındırıcı maddelerin, basınçlı havalı taşıyıcılar gibi bazı işlemlerden önce giderilmesi gereklidir. Bu tür bir ön işlem söz konusu sistemlerin işletilmesinde büyük kolaylık sağlamaktadır.

2.4.2. Katı Atıkların Kimyasal Bileşimi

Enerji veya madde geri kazanılmasının fizibilitesi atığın kimyasal bileşimine bağlıdır. Atıklar için kimyasal bileşimin belirlenmesinde kullanılan iki yöntem yaklaşık analiz ve elementel analizdir. Her iki yöntem de başta kömür olmak üzere katı yakıtlar için geliştirilmiştir. Yaklaşık analizde yakıt içerisindeki uçucu organik ve sabit karbon miktarları belirlenmeye çalışılırken, elementel analizde elementel bileşimler belirlenmeye çalışılır.

2.4.3. Biyolojik Ayrışabilirlik

Hesaplanan ve tahmin edilen ayrışma yüzdeleri kullanılarak kentsel katı atığın %45'inin biyobozunur olduğu söylenebilir. Yakma gibi termal arıtma tekniklerinde kentsel katı atıkların büyük bir kısmının biyolojik olarak ayrışmadığı göz önüne alınmalıdır. Genel bir kriter olarak, kentsel katı atığın içerdiği uçucu katı maddenin azami %65 'inin ideal şartlarda ve yeterli süre sonunda biyolojik olarak ayrıştırılabildiği, ancak pratikte 60 günü aşmayan sürelerde uçucu katı maddenin yaklaşık %50 'sinin ayrıştırılabileceği kabul edilir.

3. KATI ATIK BERTARAFI VE YER SEÇİMİ

3.1. Bertaraf Tanımı

Katı atıkların üretildikleri yerlerde geçici olarak biriktirilmesi, bu yerlerden toplanması, taşınması, geri kazanılması gibi işlemlerden sonra çevre ve insan sağlığı açısından zararsız hâle getirilmesi ve ekonomiye katkı sağlanması amacıyla enerji kazanmak üzere yakma ve/veya düzenli depolama işlemlerinin tümüne “bertaraf etme” denir.

Geri kazanım tesisi, kompost veya yakma tesisi gibi katı atıklardan tekrar kullanılabilir madde veya enerji elde etmek, katı atıkların hacmini küçültmek ya da çevreye zararını azaltmak maksadı ile kurulan, inşa edilen tesis ve yapılara da bertaraf tesisleri denir. Katı atıkların çevresel, ekonomik ve toplumsal kistaslara uygun şekilde bertaraf edilmesi (uzaklaştırılması), özellikle son yıllarda hızlı nüfus artışı ve kentleşme ile birlikte endüstrileşme gibi nedenlerle gerçekleştirilmesi çok daha zor ve yarattığı çevresel etkiler nedeniyle de bir o kadar gerekli hâle gelmiştir.

3.2. Katı Atık Bertaraf Tesislerinin Yer Seçiminde Dikkat Edilmesi Gereken Unsurlar

Katı atıkların gelişi güzel doğaya bırakılması çevre ve insan sağlığı için büyük tehdit oluşturmaktadır. Doğaya bırakılan çoğu atıkların yok olması yüz yıllar sürmektedir. Katı atıkların birikmesi kadar hızlı olmayan bu yok olma süreci insanları, çevre sağlığını ve hatta günümüzde iklimleri dahi etkilemektedir.

Doğaya bırakılan çöplerden kaynaklı zararlı sular, yağmurun etkisiyle toprağa geçmekte ve bunun sonucunda da yer altı suları kirlenmektedir. Ayrıca büyük çöp yığınlarında gaz oluşumu ile birlikte patlama ve heyelan riskleri ortaya çıkmaktadır. Bunun yanı sıra büyük çöplüklerde biriken gazın yoğunluğunun rüzgârın dağıtamayacağı yoğunluğa ulaşması sonucunda çöplüğün bulunduğu bölge iklimi de sera etkisine maruz kalabilmektedir. Katı atık bertaraf tesislerinin yer seçiminde;

- Yerleşim birimine uzaklığı,
- Havaalanına uzaklığı,

- Yer altı ve yüzeysel su kaynakları ve koruma havzalarının durumu,
- Topoğrafik, jeolojik, jeomorfolojik ve hidrojeolojik durum,
- Taşkın, heyelan, çığ, erozyon ve yüksek deprem riski,
- Hâkim rüzgâr yönü,
- Orman alanları, ağaçlandırma alanları, yaban hayatı ve bitki örtüsünün korunması gibi özel amaçlarla koruma altına alınmış alanlara uzaklığı,
- Atık taşıma mesafesi,
- Alanın yeterli büyüklüğe sahip olup olmadığı,
- Tesise ulaşım durumu,

gibi unsurların göz önünde bulundurulması gerekir.



4. KATI ATIK BERTARAF YÖNTEMLERİ

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte katı atıkların bertaraf yöntemleri de hızla gelişmektedir. Tabii ki bu gelişmişlik birtakım maliyetleri de beraberinde getirmektedir. Dünya geneline bakıldığında başta ABD ve Avrupa ülkeleri ile Japonya gibi gelişmişlik düzeylerini tamamlayan ülkelerde atık konusu sorun olmaktan çıkmaktadır. Fakat gelişen teknolojiyle birlikte her ne kadar atıkların bertarafı sorun olmaktan çıtıysa da bu amaçla harcanan maliyetler her geçen gün artmaktadır. Günümüzde artık, atık bertarafına yüksek maliyetler harcama yerine atık azaltım politikaları benimsenmekte hatta sıfır atık oluşumu gündeme gelmektedir. Birçok ülke bu yönde politika gerçekleştirerek çalışma yapmaktadır. Atık azaltımını, hatta sıfır atık oluşumunu devlet politikası haline getiren ülkelerin yanı sıra gelişmesine devam etmekte olan ülkemiz atık konusunda son 20 yılda oldukça hızlı atılımlar yapmıştır. Çevre anlayışının bir devlet politikası haline gelmesiyle ve bu konuda çıkarılan kanun ve yönetmeliklerle birlikte ülkemizde atık bertarafı konusunda somut adımlar atılmıştır. Ülkemizde üretilen katı atıkların büyük çoğunluğu vahşi depolama sahalarında biriktirilirken gerek gelişen teknoloji gerekse devletimizin çevre politikalarındaki düzenlemeleri ve halkın çevreye olan duyarlılığının artması ile düzenli depolama sahaları oluşturulmaya başlanmıştır. Bugün itibariyle ülkemizde oluşan katı atıkların büyük çoğunlu düzenli depolama sahalarında kontrollü bir şekilde etkisiz hale getirilmeye çalışılmaktadır. Atık bertarafı konusunda özellikle Avrupa ülkelerine kıyasla geç kalınmış olursa bile ülkemizde bu konuda ki çalışmalar hızla devam etmekte olup atıkların termal yöntemlerle bertarafı konusunda da bazı illerimizde somut adımlar atılmaya başlanmıştır. Her ne kadar üretilen katı atığın hiçbir değeri olmayan artık madde değil de geri dönüşebilir veya enerji elde edilebilir bir madde olduğu fikri oluşmuş olsa dahi termal bertaraf tesislerin kurulması ve işletilmesi oldukça maliyetli olduğu bilinmektedir. Bu nedenledir ki özellikle Avrupa ülkeleri üretilen atıkların bertarafına oldukça yüklü bütçeler ayırmaktansa sıfır atık oluşturma yoluna gitmekte ve devlet politikalarını bu yönde şekillendirmektedirler. Bu durumda da günümüzde atık bertarafı konusunda uygulanan en belirgin ve ucuz yöntem olan düzenli depolama sistemi de en azından geri kazanılabilir atıklar ile enerji değeri olan atıklar için yavaş yavaş geçerliliğini kaybetmektedir. Üretilen atıkların enerji, geri dönüşebilirlik veya geri kazanımı gibi değerleri varsa toprağın altına gömülmesinin hiçbir geçerliliği yoktur. Gelişmiş ülkeler

sıfır atık politikasını benimsemiş olsalar dahi bu amaca ulaşana kadar gelişen teknoloji ile birlikte termal yöntemlerle atıkların bertarafını sağlamaktadırlar. Günümüzde atığın bir enerji değeri olduğu bilinmekte olup fosil yakıtların her geçen gün azaldığı dünyamızda atığın fosil yakıtlar yerine kullanılması fikri hızla benimsenmiştir. Dünya’da ve ülkemizde atık, bazı ön işlemlerden geçirilip gerekli fiziksel şartlar sağlanarak Çimento sektöründe fosil yakıtlar yerine kullanılmasının örnekleri mevcuttur. Bunun yanı sıra termal yöntemler ile atıklardan enerji üretimi de Dünya’da uygulanan oldukça yaygın sistemlerdir. Bu sayede fosil yakıtlar harcanarak enerji üretilmesi yerine atık kullanılarak enerji üretilmektedir. Böylelikle atıklardan kurtulma sağlanırken bir yandan da enerji üretilerek fosil yakıtların kullanımı azaltılarak doğanın dengesinin bozulması önlenmektedir. Katı atıklara uygun bertaraf yöntemlerinin seçimi, uygulanan planlama ve idare metotlarına bağlıdır. Bunlar arasında ekonomi, mühendislik, arazi kullanımı, çevre düzenlemesi, coğrafi ve sosyal faktörler sayılabilir. Katı atık bertaraf yöntemleri; düzensiz (vahşi) depolama, düzenli depolama, termal yöntemler olarak sıralanmaktadır.

4.1. Düzensiz (Vahşi) Depolama

Atıkların rahatsız edici görüntü ve kokulara, su, toprak ve hava kirliliğine yol açacak biçimde açık alanlara, deniz ya da ırmaklara hiçbir tedbir alınmaksızın gelişigüzel verilerek uzaklaştırılmasıdır. Bu yöntem, geçmiş yıllarda kullanılmakla birlikte atıklardan kaynaklanan sızıntı sularının yer altı ve yer üstü su kaynaklarını kirletmesi, böcek ve haşerelerin kolayca üremelerine yol açması, oluşturduğu koku ve görüntü kirliliği gibi sebeplerle kullanılması çevre ve insan sağlığı açısından uygun görülmemektedir. Ayrıca düzensiz depolama yapılan alanlarda oluşan gazların sıkışmasıyla patlamalar da meydana gelebilmektedir.



Şekil 4.1. Katı atıkların düzensiz depolanmasına örnek

Katı atıkların yol, nehir ve deniz kenarları ile terk edilmiş maden ve kum ocaklarına dökülmesi, günümüzde dahi Türkiye’de ve dünyanın pek çok ülkesinde ki yerleşim birimlerinde uygulanan, bir atık uzaklaştırma tarzı olmuştur. Özellikle cadde ve sokaklarda biriken atıkların, en ucuz uzaklaştırma yöntemi olan vahşi dökümde, yüzeysel ve yeraltı suyu kirlenmesi tehlikesi göz ardı edilmektedir. Yağışlı iklimlerde düzensiz depolama adı verilen açık döküm sahalarının üzeri, doğal proseslerle hızlıca bitki örtüsü ile kaplanır ve kısa sürede kötü görsel görünümü kendiliğinden ortadan kaldıran bir doğal ıslah gerçekleşir. Ancak, bu sadece atık yüzeyinin üstü ile sınırlı bir ıslah sağlar. Üst kısım geçirimli olduğundan, yağış suları atık yığınının içine nüfuz ederek depolanan atık bünyesindeki (genellikle tehlikeli) kirleticileri çözüp sızıntı suyu halinde yüzeysel ve yeraltı sularına taşıyarak, çevre için önemli bir tehlike ve kirlilik kaynağı oluşturur.

Açık döküm sahalarına boşaltılan atıklar esas itibariyle evlerden ve ticari alanlardan toplanan katı atıkları ihtiva eder. Atık içindeki organik veya biyobozunur madde oranı %70-80 ve su muhtevası %50-70’dir. Büyükşehir ve sanayi bölgelerine yakın vahşi depolama alanlarında evsel atıklar genellikle tehlikeli atıklarla karışık durumda bulunurlar.

Düzensiz depolamanın dezavantajları aşağıdaki gibidir:

1. Sızıntı suları ile su kaynaklarının kirlenmesi
2. Estetik görüntülerin bozulması
3. Koku ve toz gibi istenmeyen şeylerin oluşması
4. Yangın tehlikesi
5. Patlayıcı ve zehirli gazların oluşması
6. Çeşitli zararlı hayvanlar için yasama ortamı sağlaması
7. Kağıt ve plastikler gibi maddelerin rüzgarlarla etrafa dağılması
8. Geleceğe yönelik olarak kullanılan arazinin kaybedilmesi

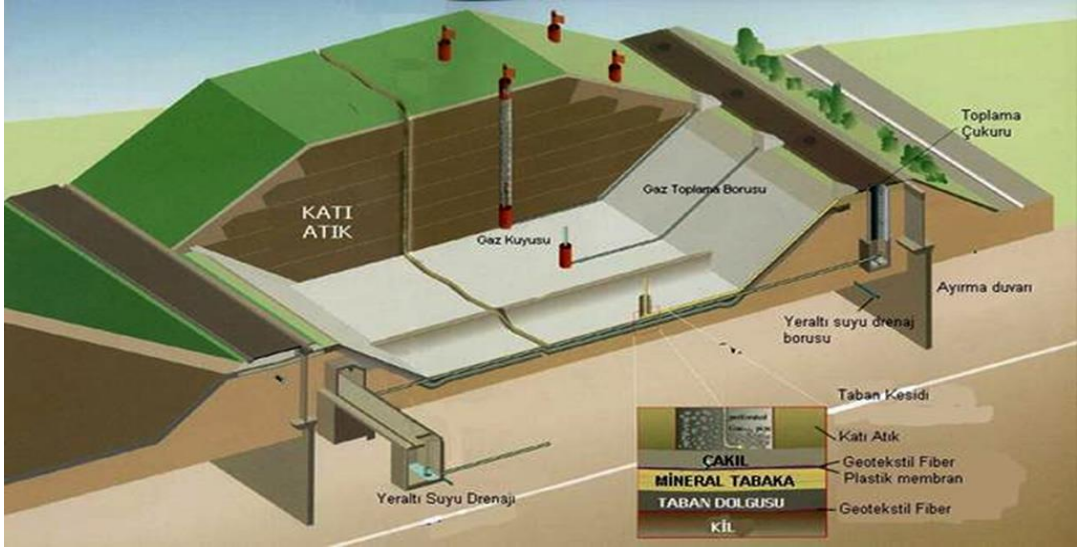
9. Metan vb. kullanılabilir gazların kaybedilmesi
10. Vahşi çöp sahalarında oluşan büyük boyutlu şev kaymaları (28 Nisan 1993'de Ümraniye -Hekimbaşı çöp sahasında yaklaşık 350.000 m³'lük çürümüş atığın, çığ halinde 500 m aşağıdaki vadiye ve oradan da Pınarbaşı mahallesinin sınırlarına yığılarak birkaç evi çöp yığınının altında bırakıp, 27 kişinin ölümüne neden olan büyük boyutlu ani çöp kayması)

4.2. Düzenli Depolama Yöntemi

Düzenli depolama, katı atıkların giderilmesinde her zaman en ekonomik yöntem olmuştur. Atıkların azaltılması, yeniden kullanımı ve geri dönüşüm teknolojilerinin uygulanması bile, depolama yönteminin hala en önemli katı atık yönetim stratejisi olmasını engelleyememiştir. Atık geri dönüşüm ve geri kazanım ile sağlanacak azaltım oranı ne olursa olsun, kentsel katı atığın belli bir kısmı mutlaka atık depolama tesislerine verilmek zorundadır. Düzenli Depolama, katı ve tehlikeli atıkların çevreye zarar vermeden arazide bertarafı için geliştirilen bir mühendislik çözüm yöntemi olup katı atıkların bertarafı konusunda en fazla uygulanan yöntemdir.

Düzenli depolama, her katı atık yönetim sisteminin ayrılmaz bir parçasıdır. Biyolojik arıtma ve termal yöntemler gibi dönüştürme proseslerinin kendileri de atık ürünler oluşturdukları için her durumda mutlaka belli bir miktarda atığın düzenli depolama sahasında bertarafı gerekir. Düzenli Depolama katı atık yönetiminin tarihi gelişim süreci içinde en basit, ucuz ve yaygın bertaraf yöntemi olma özelliğini sürdürmektedir.

Maliyeti diğer yöntemlere göre daha azdır. Düzenli depolama; basit olarak katı atıkların sızdırmazlığı sağlanmış büyük alanlara dökülmesi, sıkıştırılması ve üzerinin örtülerek doğal biyolojik reaktör hâline getirilmesi olarak tanımlanabilir. Daha basit bir ifadeyle katı atıkların çevreye zarar vermeyecek ve insan sağlığını riske sokmayacak şekilde araziye kontrollü bir şekilde depolanması aktivitesidir. Bir işlemin düzenli depolama olabilmesi için oluşacak olan sızıntı suyu ile gaz için de gerekli toplama, uzaklaştırma ve bertaraf/değerlendirme tedbirlerinin alınması zorunludur. Bu alanlar kullanıldıktan sonra rehabilite edilerek rekreasyonel alanlara dönüştürülebilir.



Şekil 4.2. Klasik düzenli depolama tesisi şematik görünümü (Öztürk, 2010)

Düzenli depolama işlemi uygun arazi seçildikten sonra depo zemininin hazırlanması, oluşacak sızıntı sularının toplanması atıkların serilmesi sıkıştırılması, dolan sahanın örtülmesi, oluşan gazın uzaklaştırılması gibi işlemleri kapsar. Bu yöntemde, toplanan çöpleri uzaklaştırmak için seçilen saha dikkatli bir şekilde bu amaç için hazırlanmakta ve işletilmektedir. Düzenli depolama için seçilen alanın önce geçirimsizliği sağlanmaktadır. Bu amaç için kil ve gerekirse özel şekilde hazırlanmış membranlar kullanılabilir. Depolama sahasının geçirimsizliği sağlanırken çöplerden kaynaklanacak sızıntı sularını toplayacak drenaj sistemi de yapılmaktadır. Bu hazırlıklar tamamlandıktan sonra çöplerin bu sahaya dökülmesine başlanmaktadır. Dökülen çöpler her gün iyice sıkıştırıldıktan sonra her taraftan en az 20 cm kalınlığında toprakla örtülmektedir. Arazi doldukça, çürüme neticesinde oluşacak gazları uzaklaştırmak için gerekli boru tertibatı da yerleştirilmektedir. Arazi tamamen dolduktan sonra 1.0m toprakla örtülmektedir. Bu yöntemde, depolama sahasına dökülen çöplerin içinde bulunan organik maddeler anaerobik bozuşma neticesinde CO_2 , CH_4 , NH_3 ve H_2S gazları ile suya dönüşmektedir. Bunlardan metan (CH_4) kalorifik değeri yüksek yanıcı bir gazdır. Bu nedenle söz konusu gazın toplanıp enerji üretimi için kullanılması önerilmektedir. Organik maddelerin haricindeki maddelerden de bir kısmı değişik yöntemlerle imha olmakta veya parçalanmakta ve naylon torbalar gibi inert bazı maddeler bozuşmadan veya parçalanmadan kalmaktadır. Bozuşma neticesinde bu sahalarda zamanla çökmeler oturmalar görülmektedir. Bu nedenle terk edilmiş, dolmuş düzenli depolama sahalarının üstünde bina yapmaktan kaçınılmalıdır. Bunun yerine söz

konusu sahalar çimlendirilip golf, futbol sahalarına dönüştürülebileceği gibi rekreasyon alanına da dönüştürülebilir. Yöntemin avantaj ve dezavantajlarını şu şekilde ifade edebiliriz.

Düzenli depolama yönteminin avantajları;

- Uygun arazi bulunduğu ekonomik bir yöntemdir.
- Ön yatırımı en az olan yöntemdir.
- Nihai imha metodudur.
- Esnek bir metottur. Katı atık miktarına göre kapasite kolaylıkla arttırılır.
- Kullanılıp kapatılan arazilerde regresyon amacı ile istifade edilebilir.

Düzenli depolama yönteminin dezavantajları;

- Kalabalık yörelerde ekonomik taşıma mesafesi içerisinde uygun yer bulmak güçtür.
- Yerleşim yerlerine yakın depolama alanları için halkın tepkisi ile karşılaşılabılır.
- Tamamlanmamış depolama alanlarında göçük ve yerel çökmeler olacağından devamlı bakımı gerekmektedir.
- Sıvı ve gaz sızıntıları kontrol edilmezse sakıncalı durumlar ortaya çıkabilir.

Düzenli depolama tesislerinin neden olabileceği çevresel etkilerin azaltılabilmesi için depo tabanında dizayn edilen geçirimsizlik tabakası sayesinde depo ortamından sızan çöp sularının toplanarak yer altı sularının ve yüzeysel sularının kirlenmesi önlenebilir. Düzenli depolama sahalarını, düzensiz depolama alanlarından ayıran en önemli farklarından biri de sızıntı sularının ve depo gazının olumsuz etkilerini kontrol altına alacak bir tasarımının olmasıdır.

Bir düzenli depolama tesisinin projelendirilmesinin ve işletilmesinin uygun yapılabilmesi için en önemli ön şart uygun yer seçiminin yapılmasıdır. Bunun için alternatif sahalar incelenirken topografik ve zemin (jeolojik ve hidrojeolojik) özelliklerin çok iyi değerlendirilmesi gereklidir. Topografik olarak uygun alternatif alanların zemin özelliklerinin ön incelemesi yapıldıktan sonra detaylı incelemeler yapılmalıdır. Bu incelemelerde zeminin taşıma gücü, kayma ihtimali ve yeraltı suyu dikkatlice incelenmelidir.

Düzenli depolama Tesisleri projelendirilirken Atıkların Düzenli Depolamasına Dair Yönetmelik ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Genelgesi esas alınmaktadır. Mevzuatta olmayan hususlarda ise Avrupa Birliği ve diğer yurtdışı mevzuatlara, mühendislik ile fen ve sanat kaidelerine uymalıdır. Tesisin projelendirilmesi planı yapılırken ilk yapılması

gereken doğru bir yerleşim planı yapmaktır. Bunu yaparken öncelikle lot yerleri seçilirken sızıntı suyunun cazibe ile uzaklaşması tercih edilmelidir. İkinci öncelik ise yağmur suyu kontrolüdür. Ayrıca, saha içi ulaşım kolaylığı sağlanması hususu dikkate alınmalıdır.

Atık lotlarının taban geometrisi yapılırken eğim mümkün olduğunca az yapılmalıdır. Taban şev eğimleri 1(dikey)/3(yatay)'ü geçmemelidir. Daha dik yapılması zorunluluğu varsa şev stabilitesi için gerekli tedbirler alınmalıdır. Yan şevlerin düşey yüksekliği 15 metreden fazla ise yan şevler sekili (palyeli) olacak şekilde yapılmalıdır. Şev eğimi 1/3'den daha dik ise, jeomembran ve jeotekstil sekilerde mutlaka kilitlenmelidir. Kilitler inşa edilirken hendek kenarları mutlaka yuvarlatılmalıdır. Lotlar aşırı büyük yapılmamalı, değişik sebeplerle lotlar büyük yapılırsa küçük seddelerle lotlar bölünmelidir. Aksi takdirde çöpe yağmur suyu karışımı engellenememektedir. Bu da sızıntı suyu oluşumunu artırmaktadır. Saha geometrisi yapılırken sedde oluşumundan mümkünse kaçınılmalı, değişik nedenlerle sedde yapımı gerekli ise seddelerin yüksekliği aşırı olmamalı ve sedde stabilitesi ilgili uzmanlarca tahkik edilmelidir. Düzenli depolama tesisinin tabanı ve yan yüzeylerinde, sızıntı suyunun yer altı suyuna karışmasını önleyecek şekilde bir geçirimsizlik tabakası oluşturulması gerekmektedir. Bunun için kil veya eşdeğeri malzemeden oluşturulmuş geçirimsizlik tabakası serilir. Geçirimsizlik tabakasının fiziksel, kimyasal, mekanik ve hidrolik özellikleri depolama tesisinin toprak ve yeraltı suları için oluşturacağı potansiyel riskleri önleyecek nitelikte olmak zorundadır. Geçirimsizlik malzemeleri teknik özellik bakımından Türk Standartları Enstitüsü standartlarına uygun olmalıdır.

4.2.1. Depo Gazı Bileşimi ve Özellikler

Depo gazı depolama sahasında oluşan gazların bir karışımıdır, büyük miktarlarda bulunan ana gazlarla, az miktarda bulunan eser gazlardan oluşur. Depo gazı kentsel katı atıkların organik fraksiyonlarının anaerobik bozunması sonucu oluşur. Bazı esergazlar, küçük miktarlarda olmalarına rağmen, toksik etki gösterebilmekte ve kamu sağlığını tehdit edebilmektedir.

Depolama sahalarında bulunan gazlar CH_4 , CO_2 , CO , H_2 , H_2S , NH_3 , N_2 ve O_2 'dir. Depo gazı genellikle %45-60 oranında metan, CH_4 ve %40-60 oranında karbondioksit, CO_2 içermektedir. Diğer gazlar depo gazında çok küçük miktarlarda

bulunmaktadır. Bu gazların depolama sahasında bulunma oranları ve depo gazı özellikleri Tablo 4.1’de belirtilmiştir.

Tablo 4.1. Depo gazında bulunan bileşenler ve depo gazının özellikleri (Akpınar, 2006)

Bileşen	Yüzde (kuru hacimde)
Metan	45-60
Karbondioksit	40-60
Azot	2-5
Oksijen	0,1-1,0
Sülfür,merkaptan vb.	0-1,0
Amonyak	0,-1,0
Hidrojen	0-0,2
Karbonmonooksit	0-0,2
Eser Bileşenler	0,01-0,6
Özellik	Değer
Sıcaklık (°C)	68-88
Özgül ağırlık	1,02-1,06
Nem muhtevası	Doymun
Isı değeri (kJ/m ³)	14900-20500

Depo gazının en önemli özelliği metan içeriğinden dolayı enerji değeridir. Ortalama alt kalorifik değer metre küp basına 20.000 kJoule civarında gerçekleşmektedir. Depo gazının diğer özellikleri potansiyel patlayıcılığı, boğuculuğu, zehirliliği ve kötü kokusudur. Depo gazının patlayıcılığı esas olarak metan içeriğinden kaynaklanmaktadır. Metan renksiz, kokusuz, yanıcı bir gazdır ve birim ağırlığı havadan daha azdır (0,717metan-1,29 hava). Hacimce %5-15 metan konsantrasyonları hava ile patlayıcı karışımlar oluşturmaktadır. Metan konsantrasyonu bu kritik seviyeye ulaştığı zaman depo alanında sınırlı miktarda oksijen bulunduğundan dolayı patlama tehlikesi olur. Patlama seviyesindeki metan karışımı; depo dışına göç eden metan gazı ve havanın karışmasıyla oluşur. Bu üst limitin üzerinde metan-hava karışımı alev verildiğinde yanmakta, fakat patlayıcılık göstermemektedir.

Depo gazındaki diğer önemli bir gaz da renksiz, kokusuz ve yanıcı olmayan karbondioksittir. CO₂ havadan daha ağırdır. Zehirli olmayan özelliğine karşın karbondioksit, solunum isteminde oksijenin yerini alarak hayat için tehlikeli özellik göstermektedir. Hidrojen, organik maddenin biyolojik ayrışmasının ilk aşamalarında

oluşmaktadır. Hidrojen en hafif gazdır ve atmosfere doğru yükselme eğilimindedir. Yüksek miktarda yanıcıdır ve havada hacimce %4-7 oranında patlayıcılık aralığına sahiptir. Azot ve oksijen, depo gazında ancak atmosferik havanın girişiyle bulunmaktadır. Azot inert bir madde olup metanın yanıcılığı üzerindeki etkisinden dolayı önem taşımaktadır. Hidrojen sülfür, H₂S, yüksek miktarda zehirli ve yanıcıdır ve keskin bir kokuya sahiptir. Karbon monoksit renksiz, kokusuz ve yüksek zehirliliğe sahip bir gazdır. Depo gazındaki oranı ise yaklaşık hacimce %0,001 kadardır. Yaklaşık metre küp başına 30 mg amonyak konsantrasyonları depo gazında bulunmaktadır. Metaller de depo gazında buhar basınçları ve sıcaklıktan dolayı bulunabilmektedirler. Yüksek konsantrasyonlarda bulunan tek bileşik yüksek buhar basıncından dolayı cıva, Hg'dir. Metre küp başına 370 µg cıvanın rastlandığı depolama sahalarının varlığı bilinmektedir.

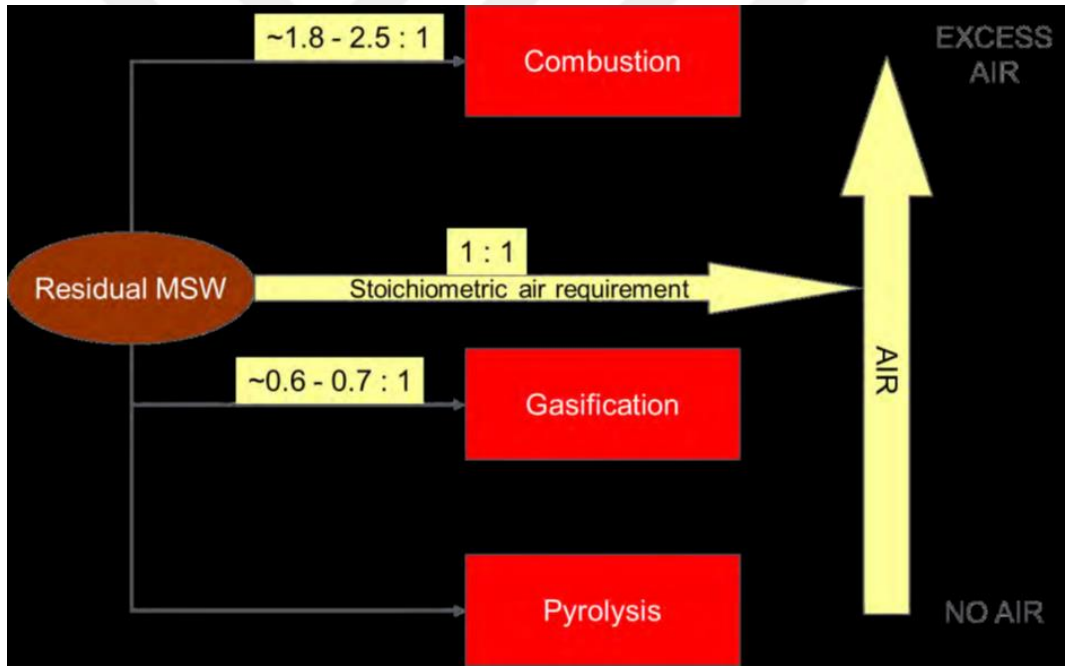
4.3. Termal Bertaraf Yöntemleri

Bazı atık fraksiyonlarının yakılması ilk olarak Avrupa' da 1870 senesinde uygulanmıştır (Oldham, İngiltere). O zamandan bu yana atıkların yakılması işlemlerinde teknik standartlar her geçen gün gelişerek termal arıtım olarak adlandırılmaya başlanılmıştır. Termal bertaraf süreçleri enerji kazanımı ve ortadan kaldırılması gereken atığın hacminin ve ağırlığının azaltılması için kullanılmaktadırlar. Termal işlemlerle kentsel katı atıkların yakılabilir bölümünün hacmi %85 ila %95 arasında azaltılabilir. Yerleşim birimlerin yoğun olduğu ve düzenli depolama yapılabilecek alanların bulunmadığı bölgeler için atık yönetimine getirilecek çözümler arasında bu teknolojiler özellikle önem kazanmaktadır. Bu tarz teknolojilerin kullanılmasında atıkların hacminin azaltılmasının yanı sıra ısı formunda enerji geri kazanımı oluşması da termal işleme süreçlerinin diğer bir çekici özelliğidir.

Maddi kaynakların ve enerjinin geri kazanımı için atıkların kaynak olarak kullanılması, dünya üzerindeki yerel ve ulusal hükümetler için gittikçe cazip bir seçenek haline gelmektedir. Atıktan Enerji üretilmesiyle birlikte büyük miktarlardaki belediye katı atıkları sorun olmaktan çıkıp enerji için hammaddeye dönüşmekte olup bunun yanı sıra atık malzemelerin geri kazanımıyla etkin şekilde geri dönüştürülemeyen veya biyolojik arıtma yoluyla geri kazanılamayan atıkların (kompostlama gibi) geri kazanımını da sağlamaktadır. Bu şekilde, AB Mevzuatı Yönergesi gibi ilgili yönetmelikler uyarınca mevcut ve gelecekteki yükümlülüklerin yerine getirilmesine de katkıda bulunabilir.

Atıklardan enerji üretmek amacıyla kurulan sistemler aynı zamanda, CO₂ azaltma hedeflerini karşılamak için Yerel ve Ulusal Devlet enerji stratejileri ve politikalarının bir parçası olarak, iklim değişikliğinin hafifletilmesine katkıda bulunmak için önemli bir potansiyel sunmaktadır.

Atık Enerjisi, atık içinde depolanan enerjinin (kimyasal enerji), bir enerji üretim tesisinde kullanılmak üzere elektrik, ısı ve / veya bir yakıt olarak ayrıştırıldığı işleme verilen genel terimdir. Atıktan enerji üretimiyle ilgili özellikle ABD, Danimarka, Hollanda, Almanya, İsviçre ve Birleşik Krallık gibi ülkelerde birtakım teknolojiler piyasaya sürülmekte ve kullanılmaktadır. Piyasaya sürülen bu teknolojiler doğrudan yanma (yakma) ve İleri Dönüştürme Teknolojileri (gazlaştırma ve piroliz) olmak üzere iki ana grupta toplanmaktadır.



Şekil 4.3. Termal dönüşüm işlemleri (WSP, 2013)

Kentsel katı atıkların bertarafında atıkların yakılarak zararlı etkilerinin azaltılması ve atıkların enerji formuna dönüştürülmesi önemli yöntemler arasındadır. Termal sistemler sisteme verilen hava miktarına göre sınıflandırılırlar. Termal dönüşüm süreçleri olan yakma, gazlaştırma ve piroliz oksijen konsantrasyonuna bağlıdır. Yukarıda ki Şekil 4.4'de görülebileceği gibi; yanma oksijen fazlalığı bir ortamda gerçekleşirken, gazlaştırma oksijen konsantrasyonunun sitokiyemetrik seviyenin biraz altına düşmesini gerektiren bir

oksidasyon işlemidir. Piroliz ise oksijen olmadan meydana gelmektedir. Yakma sistemleri en yaygın kullanılan sistemdir ve atığın sitokiyometrik orandan fazla oksijenle yüksek sıcaklıkta yanma ürünlerine dönüştürülmesine dayanır. Kentsel katı atıkların yakılması ile hacimce %90 ağırlıkça %70 bir azalma sağlanır (Öztürk, 2010). Atık yakma sistemi düzenli depolama sistemlerine göre daha kısa sürede atığın bertarafının gerçekleştirilmesi ve daha az alan ihtiyacının olması gibi avantajlara sahiptir ancak düzenli depolamaya göre daha pahalı bir bertaraf yöntemidir (Tchobanoglous ve Kreith 2002). Avrupa'da 400'ün üzerinde tesis, ABD'de 87 tesis ve Japonya'da ise 1300'ün üzerinde tesis bulunmakta olup bunların yaklaşık 250 kadarı atıktan enerji üretme tesisi olarak kullanılmaktadır. Yakma sistemi Japonya gibi düzenli depolama için uygun alan bulunmayan ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin Japonya'da üretilen yaklaşık 50 milyon ton atığın %77' si sayısı 1300'ü aşan tesiste yakılmaktadır (Saltabaş ve diğ., 2010). Piroliz yöntemi ise atığın oksijensiz ortamda ısı geri kazanımı olarak tanımlanabilir ve endotermik bir ısıl işlemidir. Organik maddeler ısıl olarak kararlı bir yapıda değildir. Bu nedenle, organik madde oksijensiz ortamda ısıya maruz bırakıldığında, ısıl bozunma ve yoğunlaşma reaksiyonları sonucu katı, sıvı ve gaz son ürünlere dönüşür (Apaydın, 2008). Bu ürünler;

1. Gaz: Hidrojen, metan, karbondioksit, karbonmonoksit ve çeşitli diğer gazlar.
2. Sıvı: Katran veya yağ içeriği (asetik asit, aseton, metanol ve oksitlenmemiş HC). Oluşan sıvı işlendiğinde 6 nolu fuel-oil eşdeğeri yakıt eldesi mümkündür.
3. Katı: Kömür yapısında yüksek karbon içeriğinde ürün oluşur. Oluşan katı bileşenin içeriği evsel atığın inert içeriğini de ihtiva eden maddelerdir.

4.3.1. Dünya'da Termal Bertaraf Yöntemlerinin Kullanım Durumu

Yaşanabilir alanların sınırlı olması sebebiyle Dünya'da katı atık bertarafında termal yöntemleri en çok kullanan ülke Japonya'dır. Üretilen yaklaşık 50 milyon ton atığın %77 si sayısı 1300'ü aşan tesiste yakılmaktadır. Avrupa Birliği üyesi ülkelerde ise durum biraz daha farklıdır. Katı atık bertarafında mevcut durumda en çok tercih edilen yöntem düzenli depolama ise de Atık Yakma Direktifi'nde (Waste Incineration Directive, 2000/76/EC) belirlenen şartların sağlanması amacıyla depolamaya dışındaki bertaraf yöntemlerinin kullanımı her geçen gün artmaktadır.

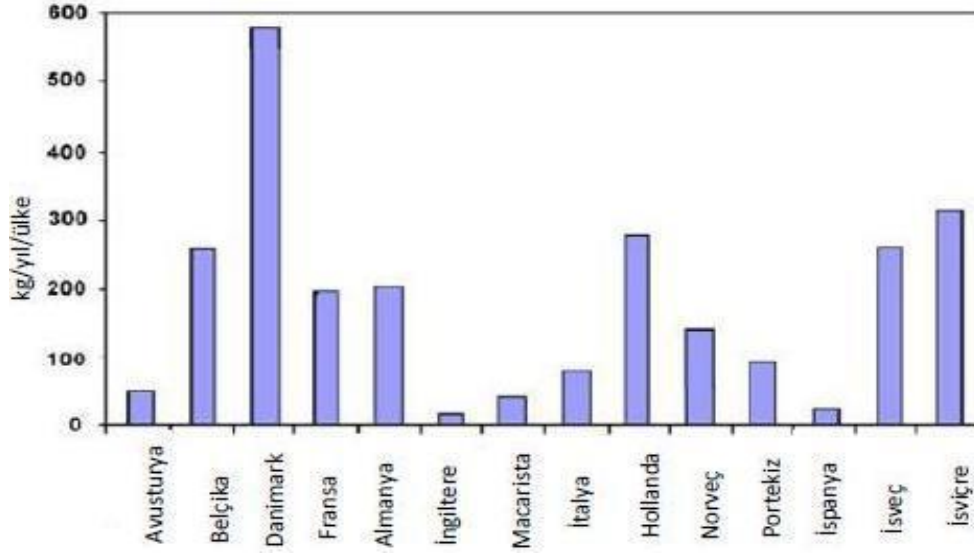
Günümüzde Avrupa Birliği üyesi ülkelerde 400'e yakın katı atık yakma tesisinde her yıl 59 milyon ton evsel katı atık termal yollarla bertaraf edilmektedir. Bu tesislerde yılda 7

milyon evin ihtiyacı olan 23 milyon GW-saat elektrik enerjisi üretilmektedir. Bunun yanında, üretilen 58 milyon GW-saatlik ısı enerjisi ile 13 milyon konutun ısı ihtiyacı karşılanmaktadır. ABD de ise evsel atıkların yakılarak bertaraf edildiği 87 adet atık yakma tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerde yılda 30 milyon tona yakın atık bertaraf edilirken 15 milyon GW-saat enerji üretimi gerçekleştirilmektedir.

Tablo 4.2. Dünyada enerji üretimine yönelik kurulan yakma sistemleri (European Commission, 2006.a)

Yakma Teknolojilerinin Dünyadaki Uygulamaları	Tesis Sayısı	Yakma ile bertaraf oranı (%)	Yakma ile bertaraf edilen atık miktarı (milyon ton/yıl)	Toplam üretilen enerji MW-h
Avrupa	>400	20-30	55	2200
A.B.D	89	8-15	30	2700
Japonya	263	70-80	40	1441
Diğer	70	-	25	-

Ülkemizde zaman zaman çöplerden elektrik enerjisi üretilmesi gündeme gelmesine karşın, kentsel katı atıkların yakılarak elektrik enerjisi üretimi yönünde tesisler bulunmamaktadır. Bu tür yatırımlar gelişmiş ülkelerde, özellikle Almanya, İngiltere, Fransa. Japonya gibi ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Avrupa ve diğer ülkelerde yapılan yakma tesisleri hem kapasite hem de teknik yönünden bölgesel olarak farklılıklar göstermektedir. Şekil 4.4'de Avrupa'da yakma sistemlerinin kapasiteleri görülmektedir.



Şekil 4.4. Avrupa'daki yakma sistemlerinin kapasitelerini gösteren grafik (European Commission, 2006.a)

Avrupa'da kişi başına yakılan atık miktarının en yüksek olduğu ülkelerden biri Danimarka'dır. Danimarka'da ilk kentsel atıklardan yakma tesisi 1903 yılında yapılmıştır. 2003 yılında ise toplam yakma tesisi sayısı ise 32'ye ulaşmıştır. Bu tesislerden 30 tanesi kombine ısı güç üretim sistemleridir. 2002 yılında bu tesislerde toplam 2.9 milyon ton atık bertaraf edilmiştir.

Avrupa'da kentsel katı atıkların yakma ile bertarafının yaygın şekilde sağlandığı ülkelerden biri de Almanya'dır. Almanya'da toplam 59 adet yakma tesisi bulunmaktadır ve toplam atık yakma tesislerinin kapasitesi 257 kton/yıldır (European Commission, 2006.a). Almanya'da yayınlanan yönetmeliğe göre, 2005 yılından itibaren, tüm belediyeler ve belediye birlikleri, geri kazanılamayan atıkları yakmak zorunda olacaktır. Almanya'da Neustadt'taki katı atık yakma tesisinin kapasitesi 56. 000 t/yıl'dır. Bu tesisin baca gazı arıtma birimi, hiç atıksu üretmeden çalışmaktadır. İlk önce yakma sonucu oluşan ham baca gazı, 220 °C'ye soğutulur, sonra yıkayıcıda oluşan gazdaki partikül ve su karışımı çamurla birlikte bir doğru akışlı kurulama biriminden geçer. Baca gazındaki çamur, bir santrifüjlü püskürtücü ile kabarcıklara ayrılıp kolaylıkla kurutulur. Kurutma enerjisinin baca gazından alınmasıyla gazın baca gazı çıkış sıcaklığı 160 °C düşer. Baca gazı, daha sonra yüksek verimli siklon ayırıcısına geçer. Siklonlarda, 15 µm'den daha büyük olan partiküller ayıklanır ve daha sonra baca gazı bir yıkayıcıdan geçer. Bu yıkayıcıda sıcaklık 75°C'ye düşürülür. İkinci bir yıkayıcıda HCl ve HF absorpsiyonu gerçekleştirilmek üzere gaz dolgu kolondan geçer. SO₂ ve aerosol ayırımı için gaz akımı jet yıkayıcısında gerçekleştirilir. Jet

yıkayıcısından sonra, baca gazları yine dolgulu bir yıkayıcıdan geçer. Sistemin sonunda baca gazı 60 °C sıcaklıkla 55 m yüksek olan bir baca vasıtasıyla alıcı ortama verilir (R&R Bilimsel ve Teknik Hizmetler Ltd. Şti & DHV Consultants,2010) .

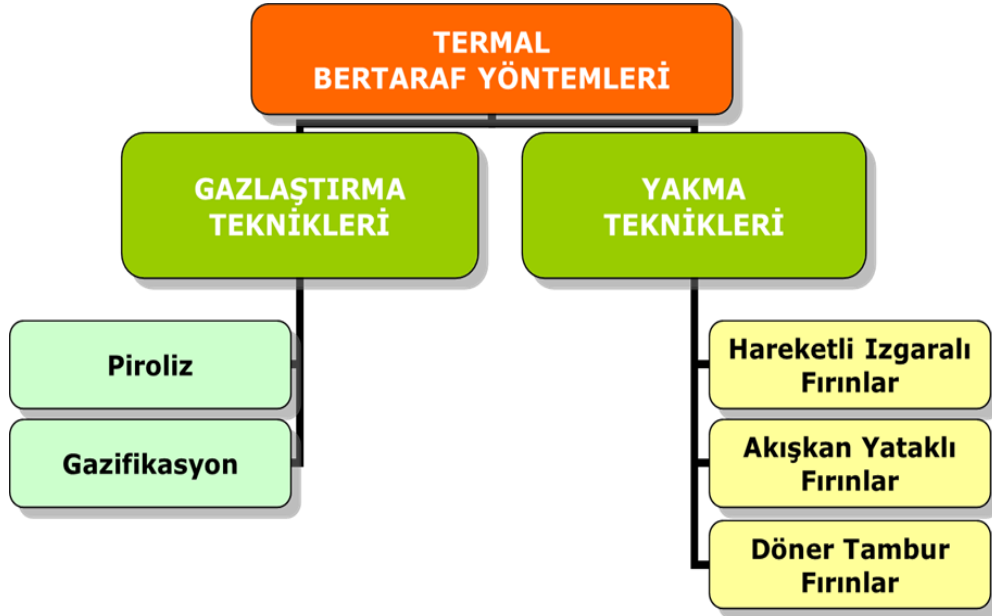
Almanya'dan sonra en fazla evsel atık yakma tesisi bulunduran ülke Fransa'dır. Fransa'da 210 adet evsel atık yakma tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerin toplam kapasitesi 11.748MT/yıl'dır. Fransa'da yapılan tesislerden en önemlisi Paris şehrindeki St. Quen bölgesinde bulunan çöp santralidir. Tesisin kuruluş amacı Paris'te üretilen kentsel atığın %30 unun yakılmasıdır. Tesis 3 adet her birinin kapasitesi 28t/s olan hareketli ızgaralardan oluşmaktadır. 1990 yılında kurulan tesis 1992 yılında toplam 635.153 ton atık bertarafını gerçekleştirmiş ve 1.538.600 ton buhar 19.800 MWh elektrik üretmiştir. St. Quen Santrali, son derece modern mimarisi ile göze çarpan iyi bir örnektir ve bitirildiğinde 155 milyon dolara mal olmuştur.

İngiltere'de, 1994 yılında Londra yakınlarında kurulan Deptford Sanrali'nin çöplerden enerji üretmek amacıyla işletmeye alınmıştır ve bölgede bulunan en önemli tesislerdendir. Tesis yaklaşık olarak 30MW elektik üretmektedir. Buda yaklaşık olarak 50.000 evin ihtiyacını karşılamaktadır. Tesis yılda 420.000 ton evsel atık yakmaktadır. Tesise gelen ham atık 4 gün depolama kapasitesi olan kapalı bir depoda depolanmaktadır. Atıklar bir vinç ile her biri 29 ton/saat kapasitedeki 2 adet fırına beslenir. Her iki fırındada geri hareketli ızgara sistemi kullanılmaktadır. Sistemde 47 bar basıncında 395 °C buhar üretilir. Bu buhar 32 MW'lık türbinlere iletilir. Aynı zamanda ısı dönüştürücüleri ile buhardan 7.500 evi besleyecek kadar bölge ısıtmasında kullanılmak üzere sıcak su sağlanır. Emisyonları en aza indirmek için kontrollü bir şekilde yüksek sıcaklık sağlanmakta ve gaz temizleme üniteleri kullanılmaktadır. Gaz temizleme ekipmanları asit gaz temizleyici ve partikül giderimi için torba filtreler içermektedir. Tesisin kurulum maliyeti 85 milyon euro olarak belirtilmiştir. İşletme maliyeti ise laboratuvar, kül bertarafı, sarf malzemeleri için yaklaşık olarak £7 milyon/yıl olarak hesaplanmıştır. Tesiste üretilen enerji perakende fiyatları endeksine göre endekslenerek fiyatlandırılmaktadır. Aynı zamanda ızgara külünden elde edilen demirli metaller geri kazanım için satılmaktadır. Amerika'da ise günlük kapasitesi 250 tondan fazla olan toplam 167 adet evsel atık yakma ünitesi bulunmaktadır. Bu 167 yakma ünitesinden 133 tanesi su duvarlı kütle yakma tesisleridir.34 tanesi ise yine su duvarlı ısı geri kazanım sistemi olan işlenmiş atık yakma tesisleridir. Aynı zamanda küçük kapasiteli modüler yakma tesisleride bulunmaktadır.

Bazı istisnalar dışında yakma ünitelerinde üretilen buhar türbinlere gönderilerek elektrik üretimi sağlanır. Yakma tesislerinde yıllık toplam 22.000 gigawatsaat elektrik üretimi sağlanmaktadır. Ancak bazı küçük kapasiteli tesisler yanma sonucu oluşan buharı elektrik üretiminde kullanmak yerine endüstriyel prosesler de kullanmak amacıyla kullanır (UNEP Questionnaire, 2010). Avrupa’da son 20 yıldır atık yakma sistemleri yapılan araştırma ve geliştirmeler sonucunda oldukça ilerlemiştir. Evsel katı atıkların bertarafı için kullanılan sistemlerin genellikle ızgaralı sistemlerdir. Iızgaralı sistemler uzun süre kullanım sonucunda elde edilen tecrübeler ve işletim kolaylığı açısından tercih edilmektedir.

4.3.2. Termal Bertaraf Teknikleri

Atıklara uygulanan termal bertaraf yöntemleri atıkların yüksek sıcaklıkta enerji ve diğer yan ürünlere dönüştürülmesi işlemidir. Burada temel amaç, atığın hacminin ve miktarının azaltılmasıdır. Yöntem sayesinde, katı atıkların depolanması için ihtiyaç duyulan alan azaltılırken, atık içerisinde bulunan ve işlem sonucu ortaya çıkan ısı kullanılarak enerji geri kazanımı sağlanmaktadır. Katı atıkların bertarafı amacıyla kullanılmakta olan termal yöntemleri üç ana başlık altında gruptandırmak mümkündür.



Şekil 4.5. Termal bertaraf teknikleri

- Yakma Yöntemi: En yaygın olarak kullanılan yöntem olmakla birlikte atığın stokiyometrik oksijen ihtiyacından fazla oksijen varlığında işlenmesi prensibine dayanır. Evsel katı atık yakma amacıyla kurulmuş olan tesislerde ızgaralı sistemler ve akışkan yataklı fırınlar kullanılmaktadır. Izgaralı sistemlerde atıklar bir ön işlemden geçirilmezken, akışkan yataklı sistemlerde belli tane boyutuna getirilmiş atıklar ve özellikle literatürde RDF olarak geçen atıktan türetilmiş yakıtlar bertaraf edilmektedir.
- Piroliz: Atığın tamamen oksijensiz ortamda termal bozunması prensibine dayanan yöntemidir. Piroliz yöntemiyle atıkların bertarafı sonucunda kok, katran, uçucu yağlar, yoğunlaşabilir hidrokarbonlar, su ve piroliz gazları (H₂, CO, Hidrokarbonlar, H₂O, N₂) açığa çıkar.
- Gazifikasyon: Temelde piroliz ile aynı yöntemeye dayanmakta olup, ortama bir miktar hava verilmekte; ancak ortamdaki oksijen miktarını stokiyometrik oranın altında olması sağlanmaktadır.

Atık bertarafı amacıyla yaygın olarak kullanılan bu üç tekniğin yanında, özellikle Japonya ve Avrupa'da üzerinde çalışılan plazma gazifikasyon gibi yeni teknikler de kullanılmaya başlanmıştır. Yakma, piroliz ve gazifikasyon yöntemlerinin temel nitelikleri Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.3. Termal bertaraf yöntemleri tipik reaksiyon koşulları ve ürünler (Saltabaş ve diğ., 2010)

	Yakma	Piroliz	Gazifikasyon
Reaksiyon Sıcaklığı (°C)	800 - 1450	250 - 700	500 - 1600
Yanma Odası Basıncı (bar)	1	1	1-45
Ortam	Hava	İnert - Azot	O ₂ ,H ₂ O
Stokiyometrik Hava Oranı	> 1	0	< 1
Gaz Halindeki Ürünler	CO ₂ , H ₂ O, O ₂ , N ₂	H ₂ , CO, H ₂ O, N ₂	H ₂ , CO, CO ₂ , CH ₄ , H ₂ O, N ₂
Katı Haldeki Ürünler	Kül, Cüruf	Kül, Kömür	Cüruf, Kül
Sıvı Haldeki Ürünler		Piroliz Yağı, Su	

Kaynak: "Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration", European Commission Integrated Pollution Prevention and Control, Brüksel, 2006

Başlıca amacı depolama ile uzaklaştırılacak atık miktarının azaltılması olan termal yöntemler ile katı atıklar hacimce %80-90 ağırlık bakımından % 75-80 oranında azaltılabilmektedir. Proses sonucunda ısı enerjisi, inert gaz ve kül oluşur. Net enerji üretimi atığın bileşimine, yoğunluğuna, nem oranına ve atık içerisindeki inert maddelere bağlıdır. Termal yöntemler ile organik maddenin ısı içeriği %65-80 oranında sıcak hava, buhar ve sıcak suya dönüştürülebilir. Tipik bir evsel katı atık termal bertaraf tesisinde yürütülen faaliyetler sırasıyla şöyledir:

- Atık kabul ve geçici depolama,
- Atıkların -gerekliyorsa ön işlemden geçirilmesi ve yakılması,
- Yanma sonucu ortaya çıkan ısının faydalı kullanımı,
- Yanma sonucu ortaya çıkan kirletici gazların arıtımı,
- Yanma sonucu ortaya çıkan katı artıkların bertarafı.

Avrupa'da son 20 yılda bu alanda yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları neticesinde atıkların termal sistemlerle bertaraf edilmesinde büyük ilerleme sağlanmıştır. Evsel katı atıkların bertarafı için kullanılan sistemlerin büyük bir çoğunluğu yakma sistemi olup yakma tesislerinin de büyük çoğunluğu ızgaralı sistemlerdir. Bu sistemler uzun süreli kullanım tecrübesi ve proses güvencesi sağlamaları açısından evsel katı atık bertarafında diğer sistemlere nazaran daha çok tercih edilmektedirler. Sistemin avantaj ve dezavantajları Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4. Izgaralı yakma sistemleri avantaj ve dezavantajlar (Saltabaş ve diğ., 2010)

Avantajlar	Dezavantajlar
<ul style="list-style-type: none"> • Ön işleme ihtiyaç yoktur. (Kaba atık haricinde) • Uzun süreli kullanım tecrübesinden ötürü güvenli işletme sağlar. • Kalorifik değer ve atık kompozisyonundaki değişimlere karşı dirençlidir. • % 85'e varan termal verim değerleri elde edilebilir. • Günlük 1200 ton atık bertaraf edebilen fırınlar tasarlanabilmektedir. 	<ul style="list-style-type: none"> • Yüksek ilk yatırım ve işletme atık haricinde) maliyeti • Dökülebilir, akabilir nitelikteki sıvı atıklar için kullanılamaz.

Termal bertaraf tesislerinde yer alan birimlerin her biri yukarıda sıralanan farklı görevlerin yerine getirildiği üniteler olup; bu ünitelerin faaliyetleri sonucunda farklı türde atıklar ortaya çıkmaktadır. Tesislerde oluşan en yüksek miktardaki artık; yakma ünitesinde

oluşan taban külüdür. Giren atığın yaklaşık ağırlıkça %15-20 si oranında taban külü oluşmaktadır. Isı geri kazanma ve baca gazı arıtma sisteminde taban külüne oranla daha az miktarda, giren atığın yaklaşık %5 i kadar, uçucu kül oluşmaktadır. Atıkların depolandığı bölümde, küllerin soğutulması işlemi sonucunda ve baca gazı arıtma sisteminden atık su çıkışı söz konusudur. Tesislerde oluşan tüm bu atık ve artıklar, Avrupa Birliği tarafından yayımlanan Atık Yakma Direktifi'nde (Waste Incineration Directive, 2000/76/EC) belirlenen limitlerin altında olmalıdır.

Atık termal bertaraf sistemlerinin kurulum aşamasında ve işletilmesi esnasında dikkate alınması gereken en önemli husus atığın yanma özellikleridir. Yanma özelliklerinin tespitinde kullanılan temel parametre, atığın yakılması sonucu ortaya çıkacak enerji miktarını ifade eden kalorifik değerdir. Bu değer üst ısıl değer (brüt kalorifik değer) ve alt ısıl değer (net kalorifik değer) şeklinde ifade edilir. Üst ısıl değer atığın kuru maddesinin verdiği enerji miktarıdır.

Termal sistemlerin işletim maliyeti açısından akılcı olabilmesi için atığı yakılması neticesinde ortaya çıkan ısının, tüm sistemin enerji ihtiyacından daha fazla olması gerekmektedir. Bu da atık içerisindeki yanabilir kısmın kalorifik değerinin belirli bir değerin üzerinde olması ile sağlanmaktadır.

Termal sistemlerde atık kütlelerinde bulunan suyun buharlaşarak uzaklaşabilmesi için öncelikle tüm atığın suyun buharlaşma sıcaklığına getirilmesi gerekir. Kalan kuru maddeye verilen ısı enerjisi ile tutuşma temin edildikten sonra kuru maddenin organik fraksiyonu yanarak enerji açığa çıkarır.

4.3.3. Atığın Yanma Durumu

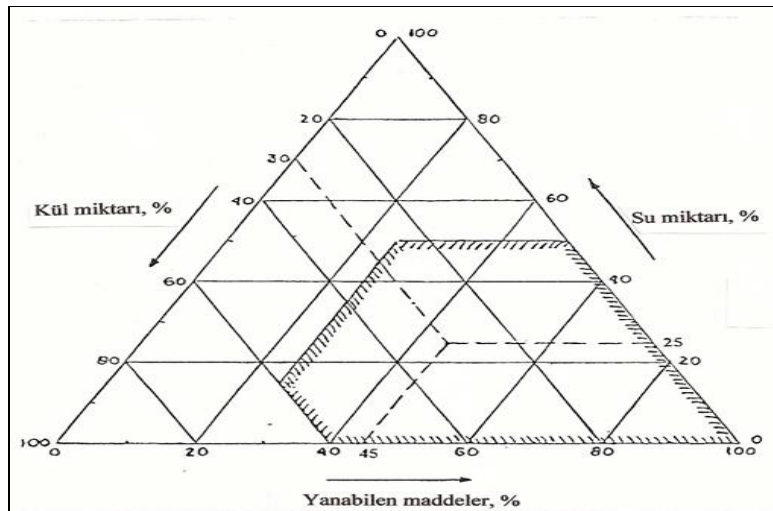
Atıkların yakılabilmesi için başlangıçta kurutucu ve tutuşturucu olarak bir yakıt ihtiyacı vardır. Daha sonra çöplerin kendi kendilerine yanabilmesi, ek yakıt ihtiyacı göstermemesi gerekir. Yakma tesislerinde koku meydana getiren yüksek moleküllü organik maddelerin yanabilmesi veya termik olarak parçalanabilmesi için minimum sıcaklık 800°C olmalıdır. Ancak böyle karbonhidrat ve benzerleri CO_2 ve su buharına dönüşebilirler. Külün ergiyip ızgara ve fırına yapışmaması için ızgaralı yakıcılarda maksimum sıcaklık 1.200°C 'yi aşmamalıdır. Döner fırın tipi ızgarasız yakıcılarda böyle bir sınırlama yoktur. Katı atıkların ilave yakıtla yanabilmesi için alt kalorifik değerinin 3.300 kJ/kg olması gerekmektedir. Katı atığın bir defa tutuştuktan sonra kendi kendine

yanabilmesi için minimum kalorifik değer 5.000 kJ/kg olmalıdır. Kalorifik değer minimum 3.300 kJ/kg'ın altındaysa çöp yakmaya uygun değildir. Diğer yandan katı atığın su, organik madde ve inorganik madde yüzdelerinin işaret ettiği noktanın, yanma üçgenindeki yanabilir bölgede bulunması gerekmektedir. Katı atıkların yakılmasına ilişkin başka bir problem, katı atıkların heterojen bir yapıya sahip olmaları, bileşim ve niteliklerinin aynı yerleşim biriminde bile mevsimler boyunca değişiklik göstermesidir. Çöp yakıcının çalıştırılması bu nedenle zor olmaktadır. Ayrıca iyi bir yanma için, sırasıyla;

- İyi bir karışım,
- Uygun bir sıcaklık,
- Yanmanın sağlanması için yeterli bir süre geçmesinin sağlanması,

gerekmektedir. Başka bir deyişle tam bir yanma sağlanabilmesi için katı atıkların yanma odasında yeterli bir süre, uygun sıcaklıkta tutulmaları ve iyice karıştırılmaları gerekmektedir.

Yanabilirlik atığın bileşimine bağlıdır. Atığın bileşimi yıl içindeki mevsimsel değişimlere, yerleşim birimine, atığın toplanma sekline göre değişir. Atığın bileşimi kalorifik değeri belirler. Kalorifik değer atığın yanabilirliğini belirleyen en önemli özelliktir, bunun dışında atığın nem ve kül miktarı da yanabilirliği etkileyen diğer faktörlerdir. Atığın içerdiği organik atık miktarı, kül ve nem değerleri temelinde, Tanner diyagramı atığın yanabilirliği konusunda bir fikir verebilir. Diyagrama göre taralı alan içinde kalan atık yardımcı yakıtlara gerek duymadan yanabilir. Nem ve kül yönünden zengin olan atıklar bu sınırın dışında kalırlar.



Şekil 4.6. Tanner diyagramı (Akpınar, 2006)

Tanner diyagramında atığın karakteristik değerleri (kül, nem, organik mad.) taralı alan içerisinde kalıyorsa atık ek yakıtta ihtiyaç duymadan yanabilir. Buna karşın diyagramdan da görülebileceği gibi nem içeriğinin artması, yanabilen kısmın azalması atığın ek yakıtsız yanabilen aralığın dışında kalmasına neden olmaktadır.

4.3.4. Evsel Atığın Isıl Değeri

Isı enerjisinin eskiden beri bilinen ve halen çoğu mühendisler tarafından sıkça kullanılan birimi Btu (British Thermal Unit) dur. Btu, 1 lt suyun sıcaklığını 1 °F arttırmak için gerekli ısı miktarı olarak tanımlanmaktadır. Isı enerjinin uluslararası camiada kabul edilen birimi ise Joule'dür. Bununla birlikte ısı enerjisi, kalori ve kilowatt-saat olarak da ifade edilebilir. Kaloribirimi genellikle doğa bilimlerinde, kW-sa birimi ise daha çok mühendislik alanında kullanılır.

Enerji geri kazanımlı kütleli yakma için kentsel atığın ortalama ısı değeri 1.600 kcal/kg (en az 1400 kcal/kg) civarında olmalıdır. Zengin ülkelerde evsel atığın ısı değeri 2.400 kcal/kg düzeyindedir (Öztürk, 2010). Yanabilir atıklarda prensip olarak atığın organik madde içeriği ne kadar fazla ise yanmaya o derece elverişlidir.

Bu şartı sağlayan başlıca atıklar aşağıda verilmiştir:

- Evsel katı atık
- Ticari atık (alışveriş merkezleri, ofisler)
- Endüstriyel atık
- Atıksu arıtma tesisi çamurları
- Zararlı atıklar
- Organik atıklarla kirlenmiş toprak

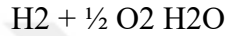
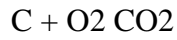
Yakma;

- Katı atıkları,
- Arıtma çamurlarını,
- Sıvı atıkları ve
- Gazları

ısıl proseslerle zararsız hale getirmek ve enerji geri kazanmak üzere kullanılabilir.

4.3.5. Yanma Prosesi

Temel olarak atık yakma, atığın içerisindeki yanabilen maddelerin oksidasyonudur. Atıklar genellikle içerisinde bulundurduğu organik maddeler, metaller, mineral maddeler ve sudan dolayı heterojen bir yapıya sahiptir. Atıktaki organik yakıt maddeleri yeterli sıcaklıkta oksijenle temas ettiğinde yanma gerçekleşir. Eğer atığın kalorifik değeri ve verilen hava miktarı yeterliyse tam yanma gaz fazında saniye fraksiyonunda herhangi bir ek yakıt gereksinimi olmadan gerçekleşir. Temel yanma reaksiyonları (Tanrıseven,2009);



Tablo 4.5. Kentsel atıkların yanma reaksiyonu sonucunda oluşan ürünler (Aynur, 2011)

Atık Bileşeni	Yanma Ürünü
*Organik	
Karbon	CO ₂
Hidrojen	H ₂ O
Kükürt	SO ₂
Azot	NO ₂
Oksijen	-
Klorid	HCL
Florid	HF
*Su(W)	W (Buhar)
*İnorganik(I)	I

Kentsel katı atıkların homojen olmayan yapısı nedeniyle atığın stokiometrik hava miktarı ile yakılması pratikte mümkün değildir. Tam yanmayı sağlamak için hava fazlası kullanmak gerekir. Fazla havanın kullanımı, sıcaklığı ve yanma ürünlerinin yani baca gazının bileşimini etkiler. Fazla hava yüzdesinin artmasıyla, baca gazındaki oksijen miktarı artar ve yanma sıcaklığı düşer. Bu bağlamda yanma havası yanma sıcaklığını kontrol etmek için kullanılabilir.

Kentsel katı atıkların tam yanması için gerekli minimum sıcaklık 700-800 derecedir. Maksimum yanma sıcaklığı ise çelik yapıyı korumak için fırının iç duvarında kullanılan malzemeye bağlıdır. Çöp fırınları için bu değer yaklaşık 1000 derecedir. Sıcaklık aralığı

yanma için gerekli minimum ve maksimum hava ihtiyaçlarını belirler. Yanma için gerekli hava miktarı bu aralığa denk gelmelidir. Yanma sıcaklığı hava miktarı kontrol edilerek doğru aralıkta tutulabilir.

Yakma sistemlerinde gerçekleşen evreler ise sırasıyla;

- Kurutma ve gaz giderme; Bu basamakta genellikle 100 ile 300 °C'de hidrokarbonlar ve su gibi uçucu kısmın dönüşümü gerçekleşir. Kurutma ve gaz giderme basamağında oksitleyici ajanlara ihtiyaç yoktur. İşlemin gerçekleşmesi sadece verilen ısıya bağlıdır.
- Piroliz ve gazlaştırma: Piroliz organik maddelerin 250-700 °C arasında oksitleyici madde olmadan parçalanmasıdır. Karbon içerikli artıkların gazlaştırılması artıkların su buharı ve CO₂ ile 500-1000 °C reaksiyonu gerçekleşir ancak bu adımda sıcaklık 1600 derecelere kadar çıkabilir. Bu adımda katı organik madde gaz fazına transfer edilir. Sıcaklığa ilave olarak bu adımda oksijen ilavesi de gerçekleşir.
- Oksidasyon; Bir önceki adımda üretilen yanabilen gazlar oksitlenir. Yakma metoduna bağlı olarak atık gazın sıcaklığı genellikle 800-1450 °C arasında olmaktadır.

Tam oksidatif bir yanmada atık gazın temel bileşenleri; su buharı, azot, karbondioksit ve oksijendir. Atığın kompozisyonuna bağlı olarak CO, HCl, HF, HBr, HI, NO_x, SO₂, VOCs, PCDD/F, PCB ve ağır metaller oluşabilir. Yanmanın gerçekleştiği basamaklarda ki sıcaklığa bağlı olarak uçucu ağır metaller ve inorganik bileşenler kısmi veya tam olarak buharlaşır. Bu maddeler sisteme verilen atıktan hem atık gaza hem de sistemde olan uçucu küllerin yapısına geçerler. Tam yanmanın gerçekleşmesi için de yeterli miktarda oksijenin sağlanması gereklidir.

4.3.6. Evsel Katı Atık Yakma Tesisleri

06.10.2010 tarih ve 27721 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmeliğine göre Yakma tesisi; Atık kabul birimi, geçici depolama birimi, ön işlem birimi, atık besleme ve hava besleme sistemleri, kazan, baca gazı arıtım sistemleri, yakma sonucu oluşan kalıntıların düzenli depolanması ve atık suların arıtılması için tesis içinde yer alan birimler, baca, yakma işlemlerini kontrol etmek ve yakma şartlarını izlemek ve kaydetmek için kullanılan ölçüm cihazları ve sistemler de

dâhil olmak üzere tesiste yer alan bütün birimleri kapsayan, ortaya çıkan yanma ısını geri kazanabilen veya kazanamayan, atıkların oksitlenme yoluyla yakılması, piroliz, gazlaştırma veya plazma işlemleri gibi diğer termal bertaraf işlemleri de dâhil olmak üzere termal yolla bertarafına yönelik her türlü sistem olarak tanımlanmaktadır.

Katı atıklar, atıkların hijyenik olarak bertaraf edilmesi, hacim azaltma ve enerji üretmek gibi amaçlarla yakılmaktadır. Yakma, organik maddelerin oksijenle kimyasal bir reaksiyonu olup bunun sonunda oksitlenmiş bileşenler ile ısı ortaya çıkmaktadır. Aşırı havanın mevcut olması ve ideal şartlar altında belediye atıklarının organik kısmının yanması aşağıdaki denklemle ifade edilebilir.

Organik madde+aşırı hava \rightarrow $N_2+CO_2+H_2O+O_2$ +Eser miktarda diğer gazlar+Kül ve cüruf+Isı

Tam yanmanın oluşması için stokiyometrik hava ihtiyacından iki katı daha fazla aşırı havanın verilmesi gerekmektedir. Çöp yakmanın gerçekleştirilmesi için katı atıkların nem, organik madde ve inorganik madde muhtevalarının belirli oranlarda olması ve bazı şartların sağlanması gerekir. Yakma hem ilk tesis hem de işletme masrafları açısından, sırasıyla, depolama ve kompostlaştırmadan daha pahalı bir bertaraf metodudur. Yakma, düzenli depolamanın on katı kadar daha pahalıdır. Yakma tesisinin şehir merkezinde inşaa edilmesi halinde taşıma masraflarından tasarruf sağlanmaktadır. Düzenli depolamanın konulardan belirli mesafede ve uzakta olması gerektiğinden arazisi kıymetli olan büyük şehirlerde yakma, belediye gelirlerinin yeterli olması halinde uygun bir çözüm olarak kabul edilip uygulanmaktadır. Böylece hem depolama hem de çöp taşıma masraflarından tasarruf sağlanmaktadır. Kentsel atıkların kalorifik değerleri 2.500 kJ/kg ile 7.500 kJ/kg arasında değişmekte olup normal yakıtlara göre düşüktür.

Yakma genellikle düzenli depolama için yer sıkıntısı olan ülkelerde, gerekli depo alanı ihtiyacını azaltması için yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Bu yöntem son yıllarda depolama alanlarının azlığı, arazi fiyatlarının artması sebebiyle birçok ülke tarafından benimsenmiş ve uygulanmaktadır. Geri dönüşümü mümkün maddelerin ayrılmasından sonra, katı atık nem oranı ve kalorifik değerinin uygun olması halinde, gerekli hava kalitesi standartlarının sağlanması şartıyla bu yöntemin uygulanması ekonomik ve çevresel açıdan faydalı olabilir. Söz konusu yöntem uygulanmadan önce mutlak surette katı atıkların yakma işlemi için gerekli şartları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir.

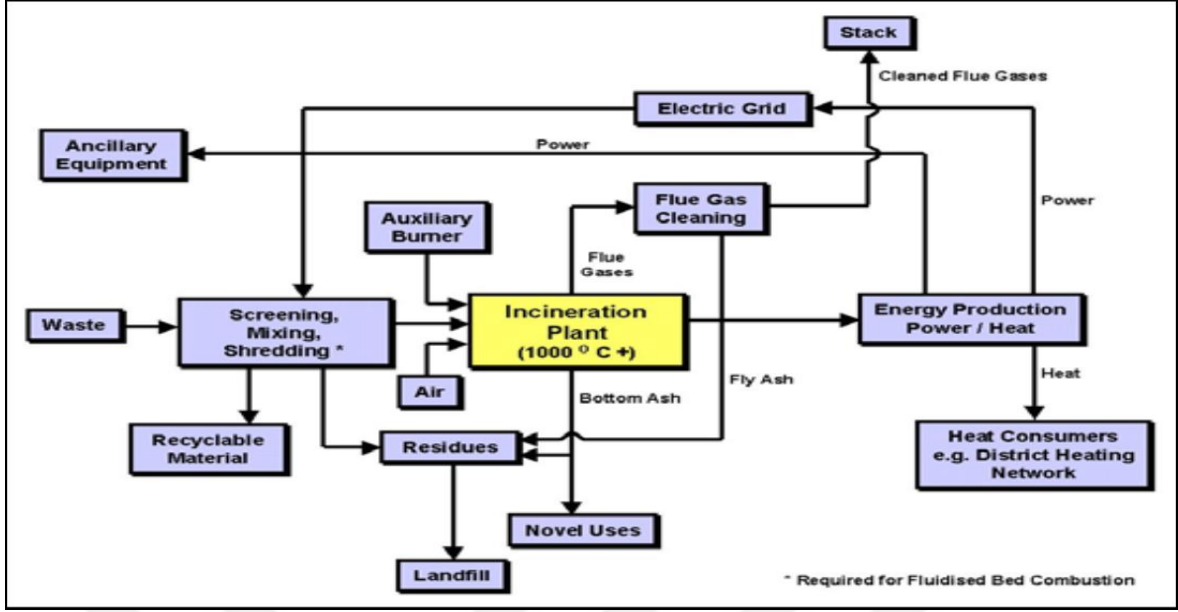
Kentsel atık yakma tesisi projelerinin sürdürülebilir bir şekilde hayata geçirilebilmesi için başlıca aşağıdaki şartların sağlanması gerekir (Rand vd., 2000)

- İyi planlanmış ve oturmuş bir entegre atık yönetim sisteminin varlığı
- Atıkların iyi işletilen düzenli depolama tesislerinde depolanmakta olması
- Yanabilir özellikte asgari 50.000 t/yıl miktarında kentsel atığın sürekli temin garantisi
- Yakılacak atığın ortalama ısıl değerinin asgari 7 MJ/kg civarında olması ve hiçbir şekilde 6 MJ/kg altına düşmemesi
- Halkın, yakma dolayısı ile artacak atık bertaraf tariflerini ödeme kapasite ve isteğinin varlığı
- Yakma tesislerini işletecek kalifiye teknik personelinin bulunabilmesi
- Yakma tesisi projeleri ile ilgili asgari 15 yıl ve üzerinde bir dönem için master planlama yapılabilmesi.

Atık yakma sistemlerinde temel amaç atığın hacminin ve tehlikeli etkilerinin giderilmesi ve bu esnada açığa çıkabilen potansiyel kirletici maddelerin yakalanması veya bertarafıdır. 1 ton kentsel katı atığın yakılması sonunda yaklaşık 700 kg baca gazı(%70), 230-270 kg taban külü (%24), 30 kg hurda demir (%3,2), 20-30 kg filtre(uçucu) külü (%2,2) ve 1-2 kg baca gazı arıtma çamuru (jips) oluştuğu bilinmektedir(Öztürk,2010). Yakma tesislerinde işlem sırasında yüksek miktarda ısı ortaya çıktığından bu ısıyı kullanarak enerji geri kazanımı da yapılmaktadır.

Enerji geri kazanımında en önemli faktör atığın kalorifik değeridir. Dünyada evsel atıkların kalorifik değeri son 50 yıldır artmaktadır. Günümüzde bazı gelişmiş ülkelerde atığın kalorifik değeri çok yüksek olup yaklaşık olarak linyit kömürüne eşdeğerdir. Bu verilerde atıkların enerji kaynağı olabileceğinin bir göstergesidir. Atık yakma sistemlerinde diğer bir amaç atığın içerisindeki tehlikeli maddelerin tamamen mineralizasyonunu sağlamaktır. Atığın yakılmasıyla atıktaki organik karbonun tamamen CO₂'e dönüştürülmesi sağlanır. Enerji geri kazanımının olduğu yakma sistemlerinde atık direk ya da ısıl değerini yükseltmek amacıyla ön işlemden geçirilerek yakılabilir.

Atıkların iyi işletilen düzenli depolama tesislerinde depolanmakta olması ve depolama sahasının yanma sonucu oluşan atıkların depolanmasına imkân sağlaması gerekmektedir. Yakılacak atığın ortalama ısıl değerinin asgari 1.600 kcal/kg civarında olması ve hiçbir şekilde 1.400 kcal/kg altına düşmemesi gereklidir.



Şekil 4.7. Yakma tesisi şematik gösterimi

Kaynak: Feasibility Study Of Thermal Treatment Options For Waste In The Limerick, 2005

Atığa uygulanacak sistemin seçilmesi için atığın fiziksel, kimyasal ve karakterinin belirlenmesi gereklidir. Atıkların herhangi bir ön proses uygulanmadan yakılması, dünyada en yaygın olan kentsel katı atıklardan enerji üretme teknolojisidir. (Akpınar, 2006). Yakma sistemleri genel olarak atığın depolanması, yakılması, baca gazının ve atık suların arıtılması bileşenlerinden oluşur. Enerji kazanım sistemlerinin uygulanması için atığın kalorifik değerinin ortalama 1600 kcal /kg olması gerekmektedir. Zengin ülkelerde evsel atığın ısısal değeri 2.400 kcal/kg düzeyindedir (Öztürk, 2010).

Değişik atık türleri için farklı yakıcı tipleri geliştirilmiştir. Bunlar beş farklı grup içinde toplanmaktadır.

1. Izgaralı yakıcılar
2. Döner fırınlar
3. Akışkan yataklı yakıcılar
4. Çok gözlü yakıcılar
5. Modüler (Paket) Yakma Sistemleri

Tablo 4.6. Kentsel atık yakmada kullanılan yakma sistemleri ve uygulama aralığı (Aynur, 2011)

Teknoloji	Tipik uygulama aralığı (ton/gün)
Hareketli Izgara (kütlesel yakma)	120-720
Akışkan Yatak	36-200
Döner Fırın	10-350
Modüler yakma tesisi	1-75

Yakma sistemleri ön arıtma işlemlerine göre de ikiye ayrılırlar;

- İşlenmemiş katı atık yakma
- İşlenmiş katı atık yakma (RDF)

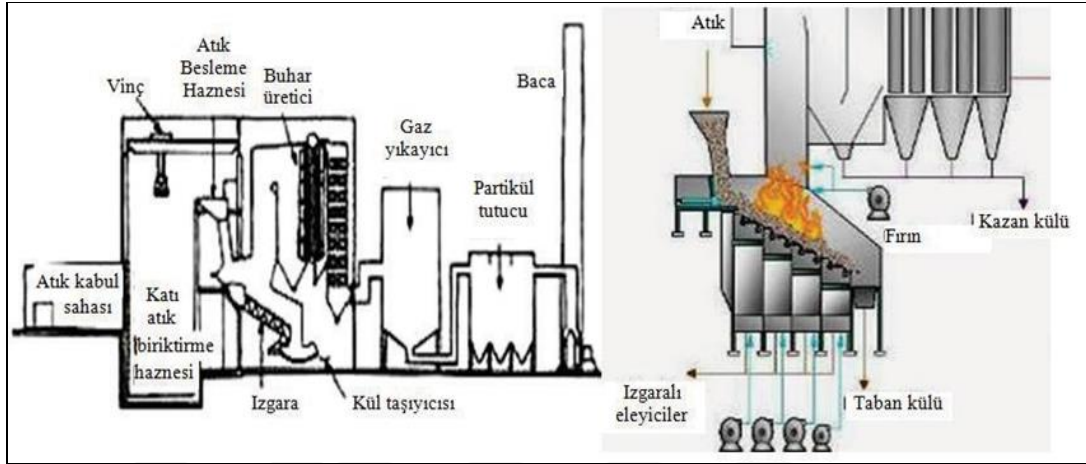
4.3.6.1. Izgaralı Yakma Tesisleri

a) Proses Özellikleri

Modern yakma tesisleri katı atıkların yakılması yanında, enerji geri kazanımına da imkân verecek şekilde tasarlanmışlardır (Şekil 5.8.). Bu tip yakma tesisleri; gelen atığın depolandığı ve ayıklandığı bir biriktirme haznesine, atıkları besleme haznesine vermek amacıyla kullanılacak bir vince, üzerinde yakmanın gerçekleştiği özel taban ızgaralarına sahip bir yakma odasına, içerisinden geçen suyun buhara dönüştürüldüğü ısı değiştirici borulardan oluşan ısı geri kazanım sistemine, kül uzaklaştırma ve baca gazı arıtma sistemlerine sahiptirler. Yakma odalarının iç kısmı, evlerdeki şöminelerin tuğlalarına benzer yapıda, sıcağa dayanıklı tuğlalarla kaplıdır. Bu tesislerde, yakma odasının en üstünde bir kazan varmış gibi buhar üretilir.

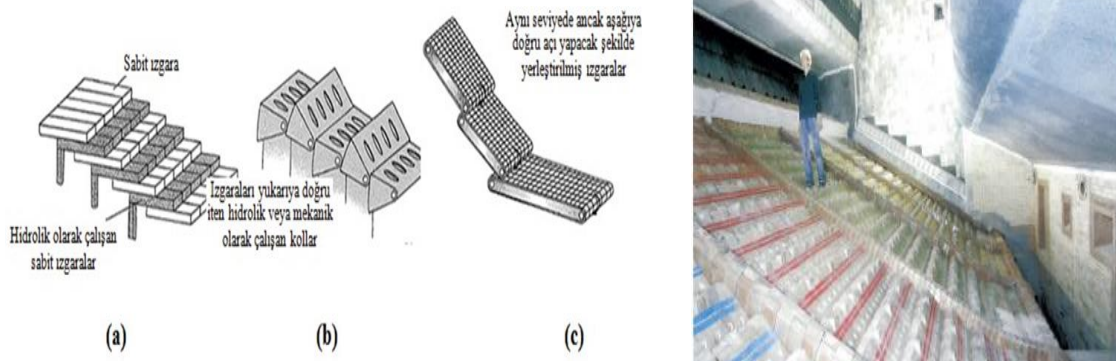
Izgaralı sistemler atık yakmada en yaygın olarak kullanılan ve test edilmiş sistemlerdir. Bu sistemde ızgaralar atığın taşınmasını, karıştırılmasını ve homojen şekilde dağılmasını sağlamak için sabit ve hareketli kısımlardan oluşur. Atık yakma sistemlerinde kullanılan çeşitli ızgara tipleri bulunmaktadır. Bunlar hareketli basamaklı, fırlatmalı kademeli zincir-palet şeklinde olabilirler. Yakma havasının bir kısmı birincil yakma havası olarak Izgaranın açıklıklarından aşağıdan yukarıya doğru verilir. Bu sayede ızgara materyalinin soğutulması aşırı ısı ve korozyona karşı korunması yanında atığın hava ile iyice karıştırılarak organik karbonun tam yanması sağlanır. Partikül tutucu filtrelerde partiküller yanında kirleticileri adsorblamak üzere baca gazına enjekte edilen CaCO_3 , CaO , Ca(OH)_2 veya karışımlarında ileri gelen maddeler de tutulur. Baca gazındaki SO_2 , HCl , HF

gibi asidik kirleticiler iki kademeli ıslak gaz tutucularda tutulabilir, NO_x ise yakıcıya NH₃ enjekte edilerek N₂+H₂O formunda uzaklaştırılır. De-NO_x olarak bilinen bu reaksiyonun gerçekleştirilebilmesi için yüksek yanma sıcaklığı (900-1000°C) gereklidir.



Şekil 4.8. Izgaralı tip evsel katı atık yakma tesisi tipik görüntüsü (Öztürk, 2010)

Izgaralı yakıcılarda merdiven basamağı şeklinde hareketli izgaralar, sarsıntılı izgaralar, fırlatmalı izgaralar ve kademeli zincir-palet tipi izgaralar en yaygın kullanılan izgara tipleridir (Şekil 4.9).



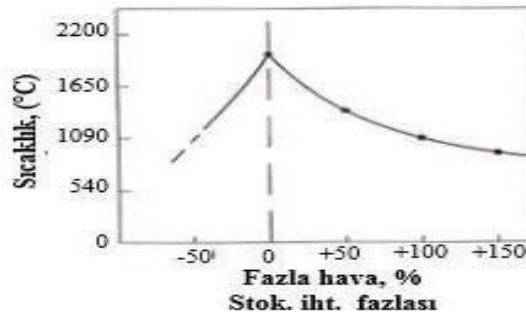
Şekil 4.9. KKA yakma tesislerinde kullanılan izgara tipleri: (a)merdiven basamağı şeklinde hareketli izgara, (b) fırlatmalı izgara, (c) kademeli zincir-palet tipi izgaralar (Öztürk, 2010) (ISWA, 2013)

Yakma prosesinin en önemli kısmı, yanmanın gerçekleştiği yakma odasıdır. Pratikte, çoğu tesiste katı atıklar, yakma odalarına hareketli izgaralar vasıtasıyla iletilirler ve bu yüzden izgaraların tasarımı ve işletilmesi, tüm sistemin gelecekteki durumunu belirlemek

açısından büyük önem taşır. Izgaraların işlevi; katı atıkların doğrudan yakılabilmesi için gerekli türbülansı sağlamak, atığı aşağıya ve yakma odasına doğru hareket ettirmek ve son olarak ızgara açıklıklarından atığa yanma için gerekli olan havayı tedarik etmektir. Havanın kontrolü, yakma odasında istenen işletme sıcaklığının sağlanması açısından en önemli proses değişkenlerinden biridir. Atık yakma tesisleri, 980 - 1090°C sıcaklık aralığında işletilirler. Bu sıcaklık aralığı, yanmanın iyi bir şekilde gerçekleşmesine ve koku oluşumunun azaltılmasına imkân verir; ayrıca yakma odasının iç kısmını kaplayan malzemenin de zarar görmemesini sağlar. Bu sıcaklık aralığında dioksin, furan, uçucu organik karbon ve diğer potansiyel tehlikeli emisyonların oluşması da en az düzeyde tutulabilir.

Yakma odası içerisindeki sıcaklık, iyi bir işletme için önemlidir. Sıcaklığın 770°C'nin altında olması, plastiklerin çoğunun ortamda yanmadan kalmasına, 1090°C'nin üstünde olması ise yakma odası içerisindeki kaplama malzemesinin yüksek ısıya dayanamamasına sebep olacaktır. Dolayısıyla, etkili bir işletme için, yakma odasına atığın doldurulması esnasında dikkatli olunmalı ve yanma havası miktarı sürekli ve etkin biçimde izlenmelidir.

Gereğinden fazla havanın ortama verilmesi durumunda sıcaklık düşer. Kullanılabilir hava ile yakma odasındaki sıcaklık arasındaki ilişki Şekil 5.10'da verilmiştir. Stokiyometrik hava miktarlarında sıcaklık artışı, tolere edilebilir seviyelerin üzerine çıkar. Şekil 4.10'da görüldüğü üzere, yakma odasında 1090°C sıcaklığı sağlayabilmek için stokiyometrik ihtiyacı %100 daha fazla havaya ihtiyaç duyulmaktadır. Aynı zamanda, yakma ünitesinin yetersiz hava beslemeli olarak işletilmesi, yani yakma ünitesine stokiyometrik hava ihtiyacından daha az hava sağlanması durumunda sıcaklığın düştüğü unutulmamalıdır.



Şekil 4.10. KKA yakılmasında fazla yanma havası ve sıcaklık arasındaki ilişki (Öztürk, 2010)

b) Tesis Birimleri ve Tasarım Esasları

Modern bir evsel katı atık yakma tesisi aşağıdaki birimlerden oluşmaktadır.

- Atık kabulü
- Ön-işlemler ve depolama
- Yükleme (besleme) haznesi (bunker)
- Yakma
- Baca gazının soğutulması
- Baca gazının arıtılması
- Baca gazının deşarjı
- Katı ve sıvı yanma atıklarının arıtılması ve bertarafı

Atık Kabulü:

Tesiste atıkların kabulü kapsamında, dolu ve boş araçların tartılması, muayene edilmesi, gözle incelenmesi, numune alınması, analizi ve gerekli kararların verilmesi işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bu işlemlerin sonuçlarına göre, atık kabul edilir veya reddedilir. Tartım ve kontrol, kapı girişinde, gözle inceleme, numune alma ve araç boşaltma alanında yapılır. Döküm sahası kapalı bir hacim içinde veya açık alanda da olabilir.

Ön İşlemler ve Depolama:

Atık taşıma araçları genellikle yüklerini depolama haznesine boşaltırlar. Ancak, kaba (hacimli) atıklar önce döküm sahasına boşaltılır ve bir parçalama işlemine tabi tutulur. Depolama haznesinin bir kısmı yüksek kalorili yakıtların depolanması için ayrılabilir. Atık haznesinin en önemli iki işlevi, sürekli besleme ve kalorifik değer bakımından homojen bir karışıma imkân vermesidir. Hazne yakınında yangın söndürme cihazları bulunmalıdır. Aynı zamanda haznede koku kontrolü için negatif basınç oluşturulması gerekmektedir.

Yükleme Haznesi (Bunker)

Haznedeki atıkların yakma sistemine taşınmasında, kavramalı el tipi vinçler (sallama kepçe) kullanılır. Bu tür vinçler, aynı zamanda atıkların homojenleştirilmesi için karıştırılması ve yığın halinde depolanmasını mümkün kılar. Kapasiteleri 1-4 m³ arasında değişmektedir. Vinç ile atıklar yakma tesisinin haznesine yüklenir. Haznenin yapısı, atıkların kolaylıkla yakma hacmine ulaşımını mümkün kılacak şekilde olmalıdır. Hazne yolu ile yakma hacmine giren aşırı hava olumsuz etkilere neden olduğu için, hazne boyu yeteri kadar uzun tutularak hava girişinin önlenmesi sağlanır. Haznenin son kısımlarında, atıkların istenmeden yanmaya başlamasını önlemesi için su fiskiyeleri ile soğutulması

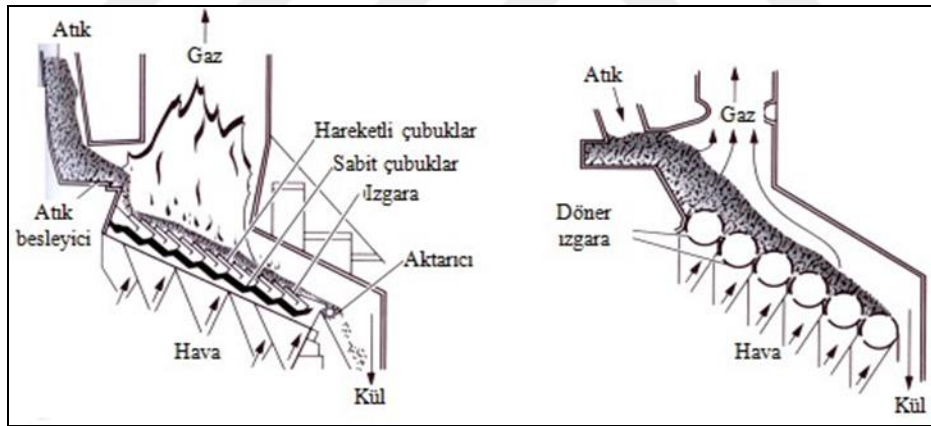
sağlanır. Hidrolik veya zincirli bir taşıyıcı vasıtası ile atıklar yakma sistemi içine düşürülür. Atıkların depolanması ve yakma sistemine beslenmesi esnasında yoğunluklarında değişimler olur.

Temsil edici değerler:

- Bunkere boşaltmada : 0,15-0,25 ton/m³
- Bunkerde sıkıştırılma sonrası : 0,30-0,40 ton/m³
- Vinç ile işlemede : 0,40-0,50 ton/m³
- Yakma sistemi haznesinde : 0,25-0,35 ton/m³

Yakma Birimi

Yakma ünitesinin iç kısmında atıkların yanması, genellikle ızgara üstünde ve daha yukarısındaki yanma odasında sürdürülür. Yanma odası içinde, atıkların ve gazlaşan hidrokarbonların yanması gerçekleştirilir. Sistemde yakma sürekli bir prostedir ve bu nedenle ızgara üzerinde atıkların akışının sağlanması gerekir. Bu akış; eğimli ızgaralarla (30°) veya hareketli ızgaralarla (Şekil 4.11) sağlanır.



Şekil 4.11. Örnek ızgara tipleri (Öztürk, 2010)

Izgaraların hareketliliği, atıkların karışarak yanmada homojen hale gelmesini sağlar. Izgaralar üzerinde atıkların yakılması üç farklı bölgede gerçekleşir. Bunlar, kuruma, tutuşma ve yanma bölgeleridir. Bu bölgelerde, farklı sıcaklıklar ve hava miktarları söz konusudur. Uygulamada bu farklı bölgeler zaman zaman birbirleri içine girebilirler. Zira, atık akımının bileşenlerinin nem ve tutuşma sıcaklıkları değişebilir. Yanma havası bunker alanından çekilir. Yakma birimine verilmeden önce, havanın ön ısıtılması gerçekleştirilir. Yanma havası ikiye ayrılır. Bunlar, birincil (primer) ve ikincil (seconder) havalardır.

Birincil hava, ızgara sisteminin altından yakma sistemine alınarak ızgaraların soğutulmasında görev alırken, aynı zamanda havanın ön ısıtılması da sağlanmış olur. İkincil hava ise ızgara üzerindeki atıklardan gazlaşan hidrokarbonların yanma odasında tam olarak yanması için kullanılır.

Bir yakma tesisi ızgarasının çalışma düzeni Şekil 4.12.'deki grafikte verilmiştir. Bu grafik, ızgaralara verilen atık yükleri ile ısı yüklerinin ilişkisini göstermektedir. Bir ızgaranın ısı ve kütle kapasitesi,

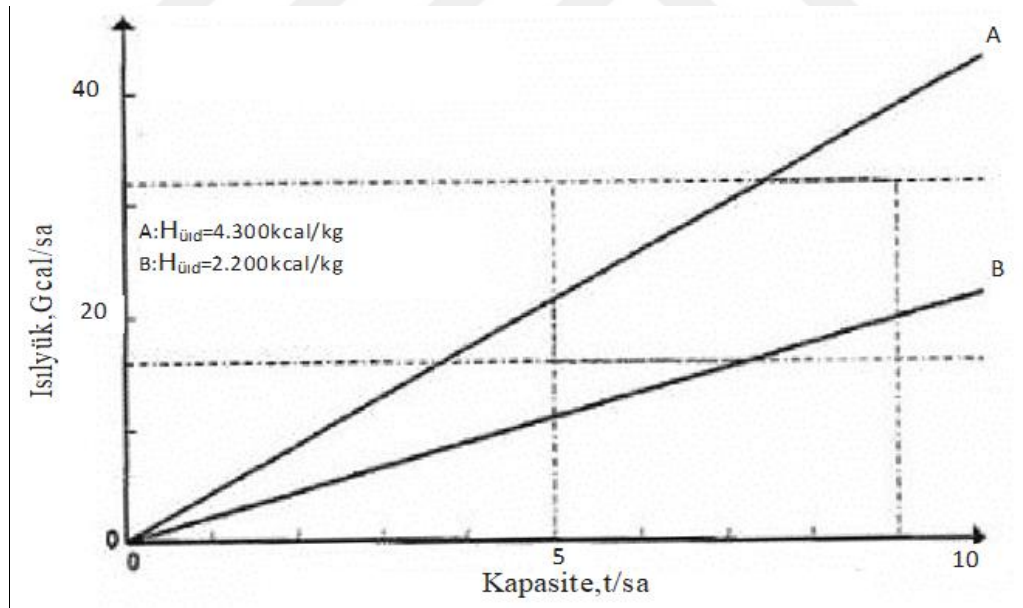
Isıl kapasite,

- Minimum: yanma sıcaklığı (750°C)
- Maksimum: yanma sıcaklığı (1000°C)

Kütle kapasite,

- Minimum: ızgaranın kaplanması
- Maksimum: tam yanma (bekletme süresi, karışım)

gibi faktörlerle sınırlanabilir.



Şekil 4.12. Yakma birimi ızgarasının çalışma düzeneği diyagramı (Öztürk, 2010)

Isıl kapasite, 1,67-3,35 GJ/m².saat aralığında değişir. Atık yakma ünitelerinin kütle kapasitesi ise 5-50 ton/saat aralığındadır. Atıkların ızgara üzerindeki bekleme süreleri 0,5-1 saat'dir. Buharlaştan atık bileşenlerinin yanması (sonradan yanma veya

ikincil yanma) için gazların yanma odası içinde birkaç saniyelik bekleme süresine sahip olması gerekir.

- Yanma Gazlarının Soğutulması

Yanma gazları, yanma odası çıkışında 750-1000°C sıcaklıktadır ve soğutulur.

Soğutma, farklı kullanımlar için gerçekleştirilir. Bunlar:

- Isı enerjisinin geri kazanılması
- Yanma gazlarının hacminin azaltılması
- Ucuz malzemenin kullanılması
- Etkili bir yanma gazı arıtımı

Nispeten ucuz yumuşak çelik malzemelerin yanmayan gazların arıtımında kullanımına imkân verilmesi için sıcaklığın 350°C'i aşmaması; yanma gazları içindeki nemin yoğunlaşarak metal malzeme korozyonuna sebep olmaması için ise 200-250°C'nin altında olmaması gerekmektedir.

Gerekli sıcaklık düşürme hedeflerine ulaşmada, şu metotlar uygulanabilir:

Isı geri kazanımı olmayan tesisler:

- Su püskürtme (buharlaştırma)
- 800°C'ı 200°C'ye düşürmek için: 1,4 kg/kg atık miktarında su
- Hava vermek (karıştırmak)
- 800°C'ı 200°C'a düşürmek için: L (stokiyometrik hava ihtiyacı)

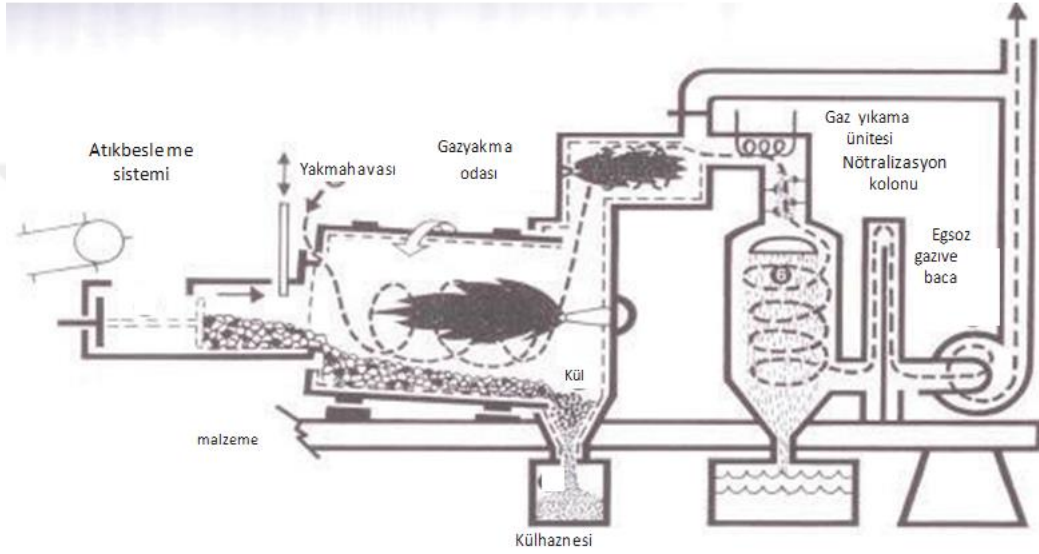
Isı geri kazanımlı tesisler:

- Yanma gazları-sulu ısı değiştiriciler (buhar kazanı): Sıcak su (konutların ısıtılması, seraların ısıtılması), buhar, elektrik ve damıtık su (endüstri) üretilir.
- Yanma gazları-havalı ısı değiştiriciler: Isı, ayrı bir tesiste çamurların kurutulmasında/yakılmasında ve yanma havasının ön ısıtılmasında kullanılabilir.

Bu metotlar arasında seçim, tesis kapasitesine, enerji maliyetlerine ve hava kirleticilerin kontrolü için yasal düzenlemelerin öngördüğü arıtma ihtiyaçlarına göre yapılmalıdır. Sistemde, bütün enerjinin geri kazanılması mümkün olur. Yakma sisteminin duvarlarından ve yanma sonucu atılan cürüflarla ısı kayıpları oluşur. Yanma gazlarının yoğunlaşmasının önüne geçilecek şekilde, sıcaklığının düşmesinin önlenmesi de gereklidir.

4.3.6.2. Döner Fırınlı Yakma Tesisi

Yakma odasının bir diğer modifikasyonu döner fırındır (Şekil 4.13). Bu ünite de atık, ateşleme ızgarasına doğru yerçekimi etkisiyle hareket eder ve yanmanın gerçekleştiği döner fırın içine ulaşır. Döner fırınlar, herhangi bir ızgara sisteminden daha fazla türbülans sağlar ve dolayısıyla yanmanın hızını artırarak tamamlanmasını kolaylaştırır.



Şekil 4.13. Döner fırınlı yakma tesisi (Öztürk, 2010)

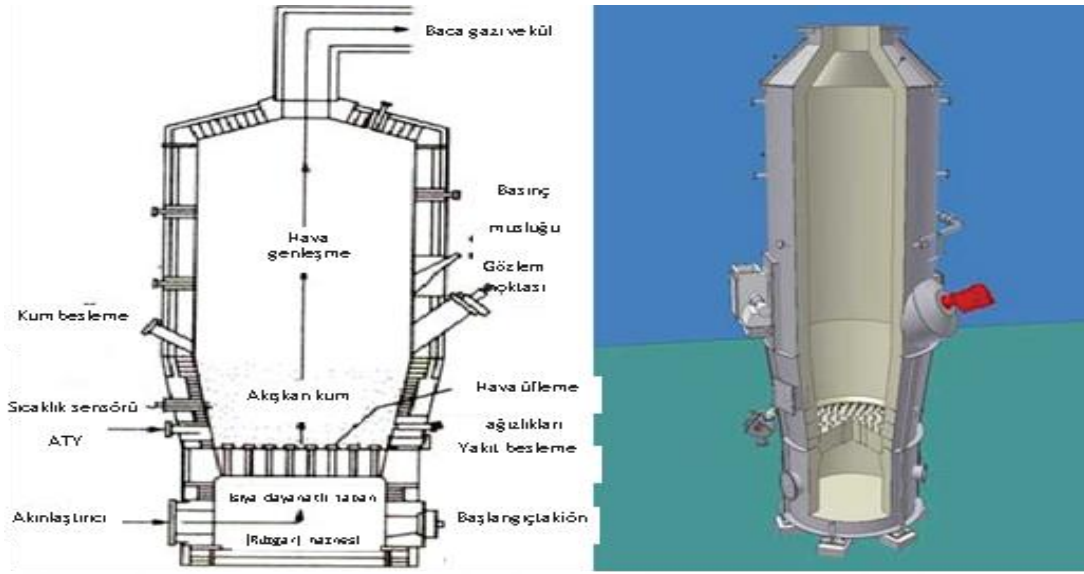
Döner fırınlarda katı atık dışında, arıtma tesisi çamurları ve sıvılar da yakılabilir. Bu tip yakma tesislerinde atık, iç kısmı yanmaya karşı dayanıklı tuğla döşenmiş olan çelikten yapılmış döner bir hazne içerisinde yakılır. Yakma fırınının dönme hızı dakikada birkaç

dönüştür (rpm) ve atığın hareketini kolaylaştırmak açısından atığın fırına giriş kısmı, çıkış kısmına göre daha yukarıda kalır. Dönme hareketine bağlı olarak atık, sürekli bir karışım halindedir. Yakma hızı, döner fırının dönme hızının ayarlanmasıyla kontrol edilebilir. Çamurumsu atıklar veya yanma sırasında sıvılaştıran atıkların yakılmasında çok uygun bir sistemdir. Sıcaklık, zararlı atık arıtımı için de uygun aralık olan 1000-1300°C aralığında değişir. Bu tür bir tesisin kapasitesi ≤ 480 t/gün.ünite (20 t/sa.ünite) olup toplam ısı verim $\leq \%80$ düzeyinde gerçekleşir.

4.3.6.3. Akışkan Yataklı Yakma Tesisi

Akışkan yataklı yakma tesisleri, inert granüler partiküllerden bir yatak içeren, ısıya dayanıklı malzemeden yapılmış kapalı sistemlerdir (Şekil 4.14). Gazlar yatağın genleşmesini sağlayacak kadar yüksek bir hızla tabandan reaktöre üflenerek, yatağın ideal bir akışkan gibi davranması sağlanır. Normalde yatak tasarımı yakmanın, yatağın giriş bölgesinde olmasını engelleyecek şekilde yapılır. Bu sayede akışkan yatak üzerinde yükselen gazlardan, inert partikülleri ayıran bir bölge oluşması sağlanır.

Akışkan yataklı yakma biriminden çıkan sıcak gazlar, ısı geri kazanım tesisine ya da gaz arıtma ünitesine gönderilir. Yakma gazlarıyla yakılan atığın yakın teması sebebiyle, gerekli stokiyometrik hava ihtiyacı yaklaşık %40'ın üzerinde tutulur. Akışkan yataklı yakıcılarda, düşük kül füzyon sıcaklıkları ve ergime sıcaklığı düşük maddelere bağlı problemler yaşanabilir. Bu tip maddeler (alüminyum, cam gibi), prosese girmeden önce giderilmelidirler. Bu durum, işletme sıcaklığını kül ergime seviyesinin altında tutarak ya da külün ergime sıcaklığını arttıran kimyasallar ekleyerek engellenebilir. Bu teknolojinin bir avantajı, halojenleri (klorür, florür gibi) tutan maddelerin prosese eklenebilmesi ve bu sayede asit gazlarının deşarjının azaltılmasıdır (Mc Dougall v.d., 2001).



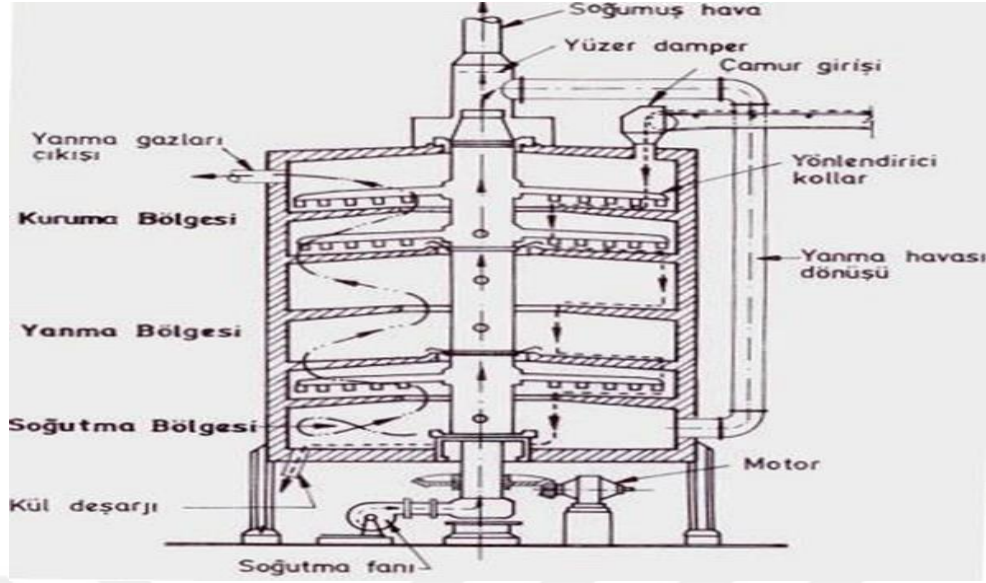
Şekil 4.14. Akışkan yataklı yakma ünitesi (Öztürk, 2010)

4.3.6.4. Çok Gözlü Yakma Tesisi

Bu tip yakma tesisleri, mekanik olarak susuzlaştırılmış çamur keklerinin yakılması için geliştirilmiş sürekli bir prosestir. Çok gözlü bir yakma tesisi, silindirik bir şekle sahiptir (Şekil 4.15). Çamur keki, yakma tesisinin en üst gözünden içeri beslenir ve atık bu gözden daha aşağı gözlere doğru ilerler. Yakma ünitesindeki, gözler arası geçiş delikleri merkezde ve çevrede bulunmaktadır. Sıyırıcıların döner kısımları, yakma havası olarak geri devrettirilen hava ile soğutulur. Yakma havası ve ek yakıt aşağıdan yukarıya doğru ters akımla beslenir. Cüruf ise, yakma ünitesinin alt kısmından dışarı atılır. Yakma ünitesi en yukarıdan en aşağıya doğru 3 bölgeye ayrılabilir:

- Kurutma bölgesi; yukarıya doğru giden baca gazlarıyla temas halinde olan susuzlaştırılmış çamurun doğrudan kurutulduğu bölge
- Yakma bölgesi
- Soğutma bölgesi; külün hava ile soğutulduğu bölge

Kurutma bölgesinde, uçucu özellikteki koku oluşturan maddeler ve hidrokarbonlar baca gazlarıyla birlikte taşınırlar. Kurutma bölgesinde tam bir yanma için gerekli hava sıcaklığının çok düşük olması sebebiyle, ikinci bir yakma gerekmektedir. Oluşan baca gazı arıtımı ise diğer yakma tesislerindeki ile aynıdır.

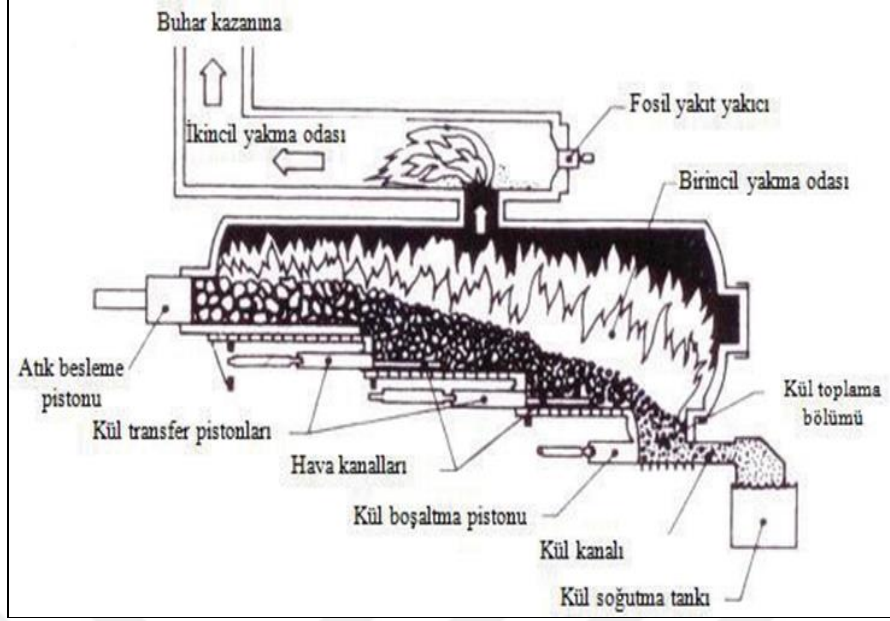


Şekil 4.15. Çok gözlü yakma tesisi (Öztürk, 2010)

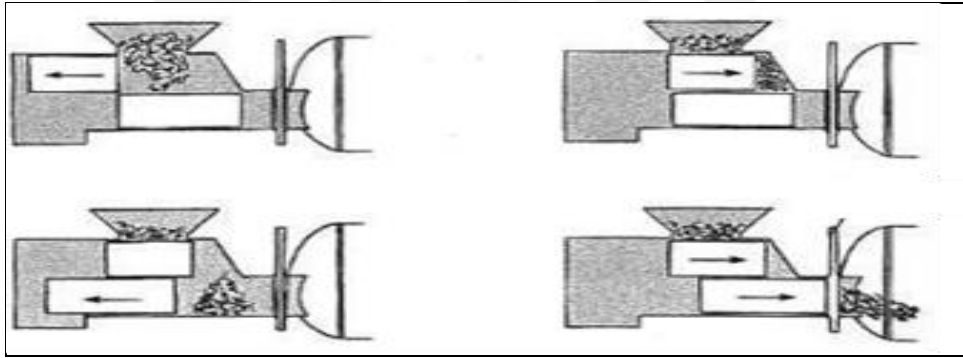
4.3.6.5. Modüler (Paket) Yakma Sistemleri

Yakma tesislerinin diğer bir tipi, yetersiz (stokiyometrik altı) hava ile beslenen modüler yakma tesisleridir (Şekil 4.16). Bu tür yakma tesislerinde, 2 kademeli yakma sistemi mevcuttur ve ilk kademede, yanma için gerekli stokiyometrik hava miktarından daha az hava verilerek yanma gerçekleştirilir. Bunun sonucunda, yüksek miktarda hidrokarbon oluşur. Oluşan bu hidrokarbonlar, daha sonra ek hava kullanılarak ikinci kademede yakılır. Bu üniteler, hareketli piston sistemi ile kesikli beslenen üniteler olup günde 15- 100 ton atık yakabilirler (Şekil 4.17).

Modüler yakma tesisleri atığın yakılmasının zorunlu olduğu, ancak miktarının ise tipik bir su duvarı veya ısıya dayanıklı malzeme ile kaplanmış büyük yakma tesislerinin inşasına imkân vermeyecek kadar küçük olduğu durumlarda kullanılırlar. Bu tür yakma tesisleri genellikle, hastanelerden kaynaklanan tehlikeli atıkların yakılmasında kullanılırlar. İnşa maliyetinin düşüklüğü ve devreye almanın hızlı olması nedeniyle kapasite artırımına en uygun sistemdir.



Şekil 4.16. Modüler yakma tesisi (Öztürk, 2010)



Şekil 4.17. Modüler bir yakma tesisi için hazne besleme sistemi (Öztürk, 2010)

4.3.6.6. İşlenmemiş Katı Atık Yakma

Atıkların herhangi bir ön proses uygulanmadan yakılması, dünyada en yaygın olan kentsel katı atıklardan enerji üretme teknolojisidir. Bu teknolojiye işlenmemiş katı atık direkt olarak fırında yakılır. Başlıca ürün buhardır. Buhar direkt kullanılabilir veya elektrige, sıcak suya, soğutma suyuna dönüştürülerek kullanılır. Bu teknoloji birçok endüstriyel uygulamada yıllardır kullanılmaktadır, kamu sektöründeki kömür yakma tesisleri ilk verimli kullanım örnekleridir.

4.3.6.7. İşlenmiş Katı Atık Yakma

RDF (refuse-derived fuel) evsel ya da endüstriyel katı atıklar, geri kazanılabilen malzemeler (plastik, cam, metal vb.) ayrıştırıldıktan sonra geriye kalan yanabilir malzemedan elde edilen alternatif bir tür katı yakıttır. İşlenmiş katı atığın (RDF:Refuse Derived Fuel) bir yakıt olarak işlenmemiş katı atığa oranla avantajları vardır. Başlıca faydaları daha yüksek ve sabit kalorifik değer, fiziksel – kimyasal bileşimin homojen olması, transferinin daha kolay olması, yanma esnasında daha az hava fazlası gerektirmesi ve baca gazı emisyonlarının daha az olmasıdır. RDF yüksek kalite standartları nedeniyle birçok yakma sisteminde yardımcı yakıt olarak kullanılabilir. Katı atığın işlenip RDF haline gelmesi için bir dizi işlem uygulamak gerekir. Bir RDF üretim prosesi istenmeyen bileşenleri ayırmak ve daha önce belirlenen özelliklerde RDF üretmek için peşpeşe sıralanmış birkaç istasyondan oluşur. RDF üretim prosesi genellikle sırasıyla ekleme, parçalama, boyut küçültme, sınıflandırma, ayırma, kurutma ve yoğunlaştırma aşamalarından oluşur. Ekipmanların tipi, sayısı ve pozisyonu ağırlıklı olarak kütle dengesini ve oluşan ürünün kalitesini etkiler.

4.3.6.8. İşlenmemiş Katı Atık Yakma ve İşlenmiş (RDF/Atıktan Türetilmiş Yakıt) Yakma Tesisleri Kıyaslaması

Yakma sistemleri, İşlenmemiş Katı Atık ile İşlenmiş katı atıktan (RDF) beslenen tesisler olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılırlar. İşlenmemiş katı atık yakma tesislerine beslenen kentsel katı atık, herhangi bir ön işleme tabi tutulmadan doğrudan yakma ünitesine verilir.

RDF işleyen tesislerde ise, katı atık içerisindeki inert maddeler, yakma tesisine beslenmeden önce ayıklanır ve böylece yanabilir kısmın hacmi azaltılmış olur. Bunun sonucunda, daha yüksek ısı değere sahip yakıt üretilmiş olur. RDF, döner bir atık besleme ünitesine beslenir ve yakma odasına ızgaralar vasıtasıyla iletilir. Yakma odasından çıkan atık, ızgaralar üzerinde de yanmaya devam eder. Buna askıda yanma denir. Ortamda herhangi bir ızgaranın bulunmaması durumunda, yanmanın tamamı havada gerçekleşir ve askıda yanma olarak adlandırılır. Askıda (veya asılı) yanma, genellikle toz haline getirilmiş (pulverize) kömürün yakılmasında kullanılır. RDF'ye uygulanması ise yaygın değildir.

RDF tesisinin avantajı, üretilen yakıtın ısı değeri üniforma olması ve dolayısıyla da yanma için gerekli olan fazla hava miktarının azalmasıdır. Kullanılan yanma havası miktarı önemlidir zira yanma odasında yetersiz oksijen bulunması indirgeyici bir atmosfer oluşmasına, bu da korozyon problemlerine neden olur. RDF sistemleri için gerekli fazla hava miktarı yaklaşık %50 (stokiyometrik gereksinimlerin üzerinde) civarında olmasına karşılık, kütleli yakma tesislerinde bu miktar %100 civarındadır. Aynı miktarda enerji üretmek için bir kütleli yakma tesisi daha fazla havaya ve daha büyük hava kirlenmesi kontrol (gaz arıtma) ekipmanlarına gereksinim duymaktadır. Buna ilaveten, katı atığın ön işleme tabi tutulmasıyla potansiyel problem teşkil eden maddeler (cıva içeren piller gibi) atık içerisinde giderilmiş olur.

RDF tesisleri, işlenmemiş katı atık yakma tesislerine göre daha avantajlı olmalarına rağmen, birçok işletme problemi vardır. Katı atığın işlenmesi çok kolay değildir ve RDF tesisleri korozyon ve aşınma sorunlarına maruz kalırlar. Ancak, RDF tesisleri ile gerekli olan yanma havası miktarı oldukça azalır ve emisyon kontrolünün maliyeti düşer. Geri dönüşüm çalışmalarının bir sonucu olarak elde edilen, karışık kâğıttan (ve plastiklerden) oluşan bir RDF değerli bir yakıt kaynağı olarak kullanılmaktadır. Karışık kağıt atıkların ısı değeri, yüksek miktarda kül içeriğine rağmen şaşırtıcı bir biçimde yüksektir ve $H_{\text{üid}}$ 'si 16700 kJ/kg'dır. Karışık kağıt atıklarına ilaveten, başka ikincil yakıtlar da enerji kaynağı olarak kullanılabilir. RDF'nin işlenmemiş katı atık yakmaya göre diğer bir avantajı da, RDF'nin büyük konteynerlerde depolanabilmesi ve istendiği zaman yakılabilmesidir. İşlenmemiş katı atık yakma tesislerinde ise, ham kentsel katı atıkların depolama süresi sınırlıdır.

4.3.6.9. Yakma Tesislerinde Karşılaşılan En Önemli Arızalar

- Korozyon, erozyon (SO_2 , SO_3 , HCl, HF oluşumu nedeniyle)
- Cürüflerin topaklaşması ve cüruf tıkanması,
- Izgara plakalarının tıkanması, ızgara başlıkları körelmesi, arıza kazan kirlenmesi
- Beslenme konisinde arıza
- Kazan borularında arıza
- Isıtıcı petek yüzeylerinde arıza
- Toz tutucularda arıza
- Elektro filtrelerde arıza

- Basınç artırma tesislerinde arıza
- Türbinlerde arıza
- Voltaj düşmesi, elektrik kesilmesi
- Çeşitli metal, çelik aksamalarda korozyon veya arıza

4.3.7. Piroliz

Piroliz sözcüğü Yunanca'da ortamda gaz (inert, indirgen veya yükseltgen gaz) olmaksın gerçekleştirilen ısıl bozundurma anlamına gelmektedir. Modern tanımı ile piroliz, organik maddelerin oksijensiz ortamda ısıtılarak gaz, katı veya sıvı ürünlere ayrılması (bozundurulması) işlemidir. Organik katı atıkların fiziksel ve kimyasal işlemlerle üç üründen arınmasına neden olan yükseltilmiş sıcaklık ortamı oluşturmak için oksijenin reaktörden dışlandığı bir süreçtir. Katı kül, piroliz yağı ve piroliz gazı içerir ve bunların her birinin oranları piroliz reaktörü içindeki çalışma sıcaklığına tabi olmaktadır. Piroliz çok farklı kaynaklardan gelen ve çok değişken miktarlarda, özelliklerde olan atıklar ve katı atıklar için uygulanabilecek, katı atık teknolojilerinden biridir. Yakma gibi çok yaygın bir uygulama alanı yoktur, ama yanma olayı sırasında da kuruma aşamasından sonra artan sıcaklıklarla gaz, sıvı ve katı şeklinde yakıtlar olmakta ve her bir yanabilir ara ürün anında havalı (oksijenli) ortamda termik olarak parçalanmaktadır. Piroliz oksijensiz ortamda yakmadır. Proses ürünleri ise katı, sıvı ve gaz olmaktadır. Uygulamada organik bir atığa dışarıdan ısı enerjisi aktarılır. Pirolizin en ağır ürünü biyoçar'dır. Reaktörün alt kısmında oluşur, biyoçar paketlenip gübre olarak satılabilir.

Piroliz olayında termik olarak madde parçalanması:

100°C-120 °C: Mutlak kuruma

120°C-250 °C: Dezoksidasyon, desülfürleşme, bünye sularının ayrışması CO₂

250°C: Depolimerizasyon, hidrojen, sülfürün parçalanması başlangıcı

340°C: Alifatik bileşiklerin bağlarının dağılması, bozunması, metan ve hidrokarbonların oluşması

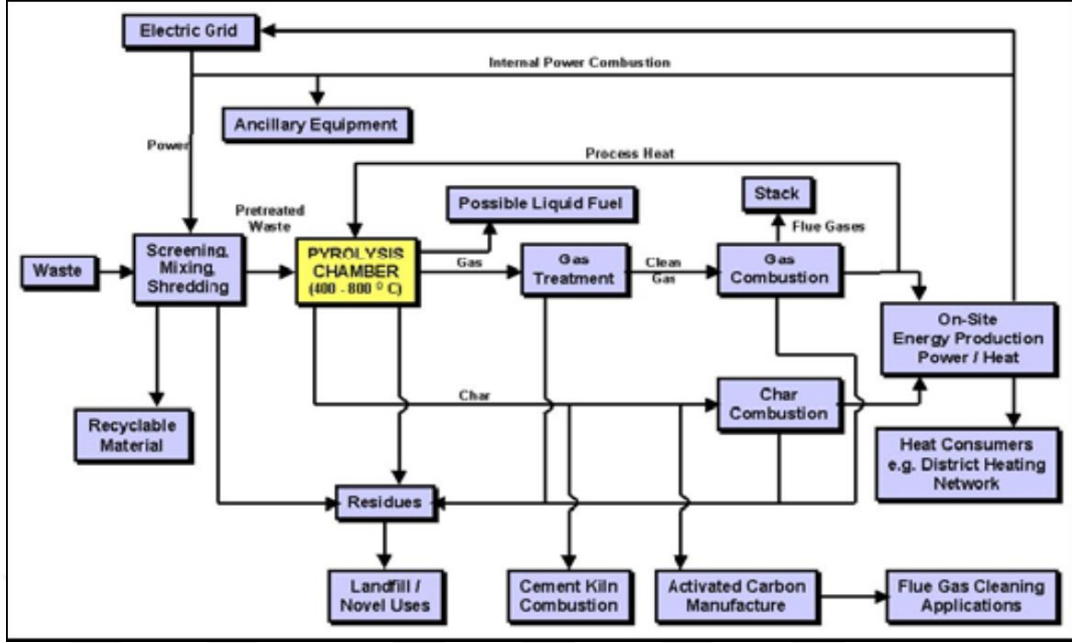
380 °C: Karbonlaşma ve zenginleşme aşaması

400 °C: C-O ve C-N bileşiklerin bağlarının parçalanması

400°C-420°C: Bütün maddelerin Piroliz yağına ve katrana dönüşmesi

600°C: Bütün maddelerin ısıya dayanımlı maddelere kranklaşması

600°C Aromatların ve etilenlerin oluşması



Şekil 4.18. Piroliz şematik gösterimi

Kaynak: Feasibility Study Of Thermal Treatment Options For Waste In The Limerick, 2005

Piroliz, gazlaştırmadan farklı olarak organik maddelerin tamamen oksijensiz ortamda yüksek sıcaklıklarda ($300-700^{\circ}\text{C}$) bozunmasıdır. Prosesin ürünleri; H_2 , CH_4 , CO , CO_2 ve diğer gazları içeren gaz (sın gaz), katran ve çeşitli yağları içeren sıvı ve/veya kömür granülü, karbon ve diğer inert materyalleri içeren katı fazlardan oluşur. Piroliz bir yakıtı diğerine dönüştürmede bilinen en eski metoddur (örn: karbonizasyon ile kömür granülü üretimi). Ürün olarak elde edilen piroliz yağı genellikle ham petrolün yarısına eş bir enerji miktarına sahip olup ısı ve güç üretiminde petrolün yerine kullanılabilir. Petrol gibi, pirolitik veya “biyo-yağ” da kolaylıkla taşınabilir ve artırılarak pek çok farklı ürüne dönüştürülebilir. Son zamanlarda, katı biyo kütleye kıyasla enerji miktarı daha fazla olan ve kontrolü daha kolay olan biyo-yağ üretimine ilgi artmıştır. İstenilen son ürünün çeşidine bağlı olarak (katı, sıvı veya gaz) piroliz yavaş veya hızlı olarak gerçekleştirilebilir. Yavaş piroliz olarak bilinen geleneksel proses, tahtayı kömür granülüne dönüştürse bile uçucu bileşenin taşıdığı enerjiyi boşa harcar. Hızlı piroliz prosesinde hammadde, oksijensiz ortamda yüksek sıcaklıklarda ısıtılarak gaz karışımı, kömür granülü ve biyo-sıvıya dönüştürülür. Piroliz gazının kalorifik değeri kullanılan hammaddeye bağlı olarak 10 - 20 MJ/m³ arasında değişir, örn: doğal gazın %25-50’si kadar kalorifik değerde (eğer plastik

hammadeden elde edilirse 18-20 MJ/m³ arasındadır. Piroliz prosesinin sıcaklıkları, düşük sıcaklıklı piroliz için 450-600⁰C ve yüksek sıcaklıklı piroliz için 850- 1000 ⁰C arasındadır.

Piroliz işleminden geçen atıklar elektrik, ısı ve diğer yan ürünlere dönüşümleri oldukça kolay olmaktadır. Isı pazarının potansiyeli yüksek olmasına rağmen fosil yakıtlarla yarışabilmesi açısından maliyete bağlılığı daha fazladır. Tanımlanan şartlara bağlı olarak biyo- yağ, hafif fuel- oil ve ağır fuel- oil olarak kullanılabilir. Piroliz gazı, jeneratörlere bağlı olan gaz türbinlerinde veya gaz motorlarında yakılarak elektrik üretimi için kullanılabilir. Elektrik enerjisi yüksek değeri, dağıtım kolaylığı ve ulusal ve uluslararası pazar standartlarına adaptasyonu açısından çekici bir üründür. Kojenerasyon (Birleşik ısı güç) tesisleri ile daha verimli ve iç çevrim oranı yüksek yatırımlar gerçekleştirilebilmektedir. Gerekli performans garantilerini sağlayabilmek açısından motorlar ve türbinlerin geliştirilmeye ihtiyacı vardır. Buna ek olarak, piroliz ürünleri diğer bir yakıt formu olan hidrojene de dönüştürülebilir. Bu ürün katalitik buhar reformasyonu arkasından sıvı-gaz yer değiştirme reaksiyonları kullanılarak hidrojen verimini arttırmak amacıyla hidrojen üretiminde kullanılabilir.

Hızlı Piroliz: Biyokütle + Isı > H₂ + CO + CH₄+ diğer ürünler

Hızlı piroliz; yüksek sıcaklıklar, yüksek ısıtma hızı ve kısa gaz muamele süresine ihtiyaç duyan bir termal bozunma prosesi olduğu için belirtilen parametreler singaz ve katı artığın kompozisyonun belirlenmesinde önemli rol oynar. Öyle ki günümüzde yapılan pek çok araştırma doğru reaktör tipinin, ısıtma hızının ve kullanılacak olan biyokütlenin çeşidini belirlemek üzerine odaklanmıştır. Piroliz için dönen fırın, ısıtılmış tüp ve yüzey temaslı farklı reaktör tipleri kullanılmaktadır. Reaktör konfigürasyonu ve işletme parametreleri, başlangıçtaki kuru biyokütleden %85'lere ulaşan verimlerde gaz elde edebilmek üzere optimize edilmiştir. Piroliz prosesi diğer biyolojik ve termal proseslere göre aşağıda belirtilen avantajlara sahiptir;

- Gaz motor veya türbinlerinde kullanılabilecek ve elektrik üretebilecek, yüksek kalorifik değerde gaz üretir.
- Biyokütle miktarıyla orantılı olarak karbon kredileri ticareti için uygundur.
- Singaz, gaz motorlarında veya gaz türbinlerinde yakılmadan önce, içerisindeki kirlilikten arıtılmak üzere temizlendiği için havaya salımlar çok daha azdır.
- Kirlilik kontrol arıtma tesisleri yakma ve hatta gazlaştırmaya oranla daha küçük ve haliyle daha ucuzdur. Yakma ile karşılaştırıldığında proses gazlarının hacmi daha azdır.

- Singaz; enerjiyi buhar türbinlerinden, anaerobik çürütmeden elde edilen biyogazdan veya düzenli depolamadan elde eden depo gazının gaz motorlarında yakılması prosesine kıyasla, gaz türbinlerini veya gaz motorların kullanarak daha verimli bir biçimde enerji elde etmek üzere kullanılabilir.
- Pirolizin yan ürünleri ve proses atığı genel olarak stabilizasyon materyali vb. olarak kullanılabilir.
- Tesisler modülerdir ve inşası kolaydır.

Piroliz ile gazlaştırma arasındaki farklılıklara dair belirli bir yanlış anlaşılmalara sözkonusudur. Gerçek piroliz, havanın serbest olduğu bir ortamda çalışan düşük sıcaklıklı bir termal dönüşüm teknolojisidir ve birincil bir sıvı ürünün yanı sıra gaz ve katı faz ürünleri üretir. Piroliz yüksek sıcaklıklarda ($>800^{\circ}\text{C}$) çalıştırılırsa, birincil ürün sentetik gaz haline gelir, ancak işlem aynı zamanda daha az miktarlarda sıvı ve katı faz ürünleri üretecektir.

Piroliz ve gazlaştırma sistemlerinin her ikisi de katı atıkları gaz, sıvı ve katı ürünlere dönüştürmek için kullanılırlar. İki sistem arasındaki temel fark ise piroliz sistemlerinin oksijensiz ortamda endotermik reaksiyonları sürdürmek için dış bir ısı kaynağı kullanırken, gazlaştırma sistemlerinin gerekli ısıyı kendi içinde sağlaması olup katı atığın kısmi yanması için hava veya oksijen kullanılmaktadır. Yüksek oranda ekzotermik olan yanma ve gazlaştırma proseslerine karşı, piroliz prosesi yüksek oranda endotermiktir. Bu sebeple “kuru damıtma” (destructive distillation) terimi de piroliz için sıklıkla kullanılan alternatif bir terimdir.

Piroliz prosesi sonucu başlıca üç fraksiyon oluşur:

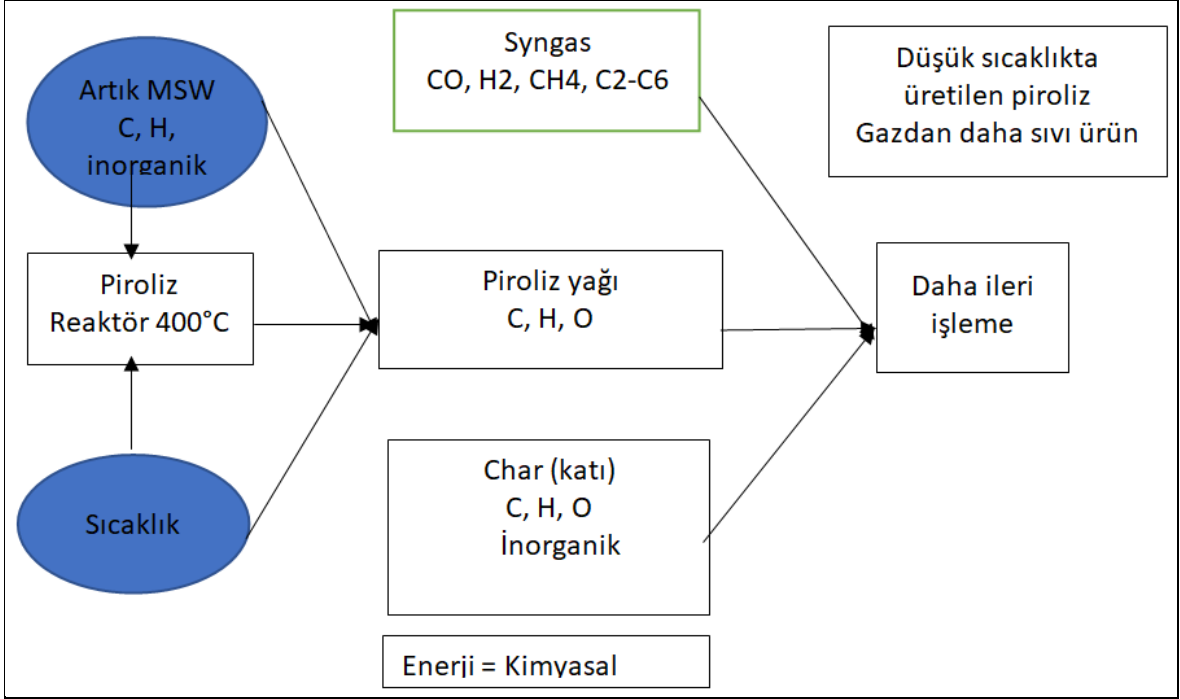
- 1) Atığın organik özelliklerine bağlı olarak esasen hidrojen, metan, karbonmonoksit, karbon dioksit ve diğer gazlardan oluşan bir gaz akımı.
- 2) Asetik asit, aseton, metanol ve kompleks hidrokarbonları içeren bir katran veya yağ akımında oluşan sıvı fraksiyon. Ek prosesler uygulanarak, sıvı fraksiyon fuel oil yerine sentetik bir fuel oil olarak kullanılabilir.
- 3) Saf karbon ve katı atıkta bulunan sert materyallerden oluşan kömürleşmiş katı (char).

Piroliz ünitesinde ürün fraksiyonlarının dağılımı sıcaklıkla değişmektedir. Piroliz yağların enerji miktarı yaklaşık 20.933 kJ/kg olarak tahmin edilmektedir. Maksimum gazlaştırma şartları altında, oluşan gazın enerji miktarının yaklaşık 2.607 kJ/m^3 olacağı tahmin edilmektedir. Sadece bir adet tam ölçekli kentsel katı atık piroliz sistemi Amerika Kaliforniya’da inşa edilmiştir. Tesis (esas işletme amacı olan) satılabilir piroliz yağı

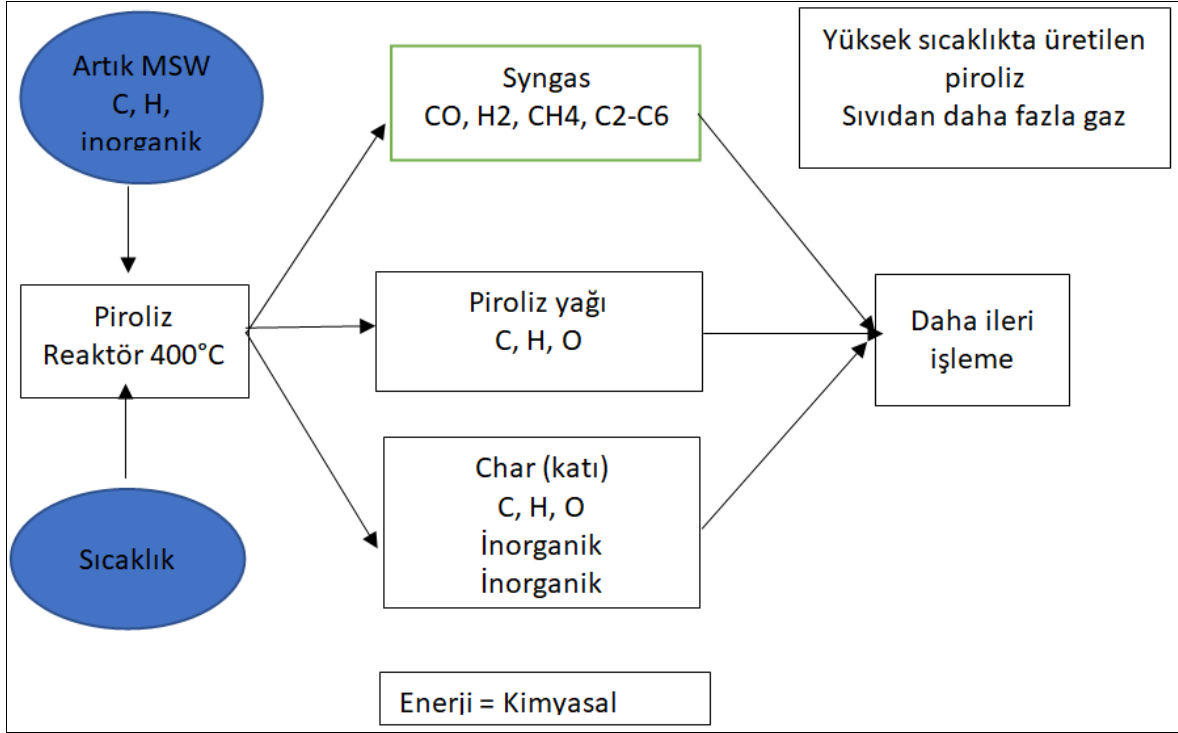
üretimini gerçekleştirememiş ve sadece iki yıl çalıştıktan sonra kapatılmıştır. Sistemin analizi yapıldığında, sistemin başarısız olmasına neden olan birkaç faktör belirlenmiştir.

Bunlar;

- 1) Ön arıtma sistemin başarısızlığının nedeni, alüminyum ve cam için saflık spesifikasyonları ile karşılaşılmasıdır, bu da sistemin ekonomisini etkilemiştir.
- 2) Sistemin satılabilir bir piroliz yağı üretememesi sistemin başarısız olmasının temel nedenidir. Üretilen yağ pilot tesisten tahmin edilen %14 nem oranına değil, %52 nem oranına sahiptir. Yağdaki bu yüksek nem miktarı enerji miktarını 8373 kJ/kg'a düşürmüştür, oysa pilot tesis testlerinde bu değer 20933 kJ/kg olarak tahmin edilmiştir.

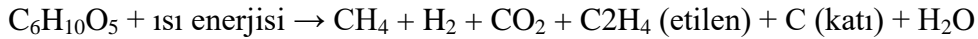


Şekil 4.19. Düşük sıcaklıkta piroliz işleminin şematik gösterimi (WSP, 2013)



Şekil 4.20. Yüksek sıcaklıkta piroliz işleminin şematik gösterimi (WSP, 2013)

Piroliz, kuru damıtma veya oksijensiz ortamda yakmadır. Piroliz prosesi ürünleri katı, sıvı ve gaz olabilir. Uygulamada organik bir atığa dışarıdan ısı enerjisi aktarılır. Örneğin, yakıtın saf selüloz olması durumunda dengelenmemiş piroliz reaksiyonu aşağıda verildiği gibidir;



Denklemden de görüleceği gibi, piroliz sonucunda katı madde olarak karbon, sıvı madde olarak etilen, gaz olarak da metan elde edilebilmektedir. Tüm bu maddeler yakıt olarak kullanılabilirler. Piroliz de iki önemli değişkenden biri ısıtma hızı (yakıtın ne kadar hızlı bir şekilde yüksek sıcaklığa getirildiği) diğeri ise son sıcaklıktır. Bu iki parametrenin değişim aralıkları Tablo 4.7.'de verilmiştir.

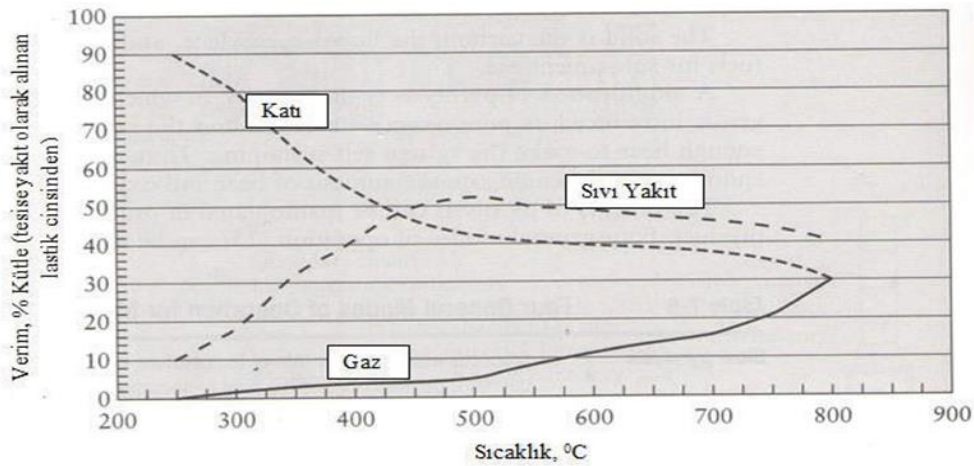
Tablo 4.7. Pirolizdeki ana proses değişkenleri (Öztürk, 2010)

Isıtma hızı	°C/s	Sıcaklık	°C
Düşük	<1	Düşük	500-750
Orta	5-100	Orta	750-1000
Hızlı	500-10 ⁶	Yüksek	1000-1200
Çok hızlı	>10 ⁶	Çok yüksek	>1200

Bu değişkenlerin (ısıtma hızı ve sıcaklık) seçimi, piroliz sisteminden hangi ürünün elde edileceğini belirlemede rol oynar (Şekil 4.21). Çok yüksek sıcaklıklar ve yavaş ısıtma durumunda piroliz ürününün büyük çoğunluğu gaz formundadır. Buna mukabil çok düşük ısıtma hızları ve düşük sıcaklıklarda ürünün büyük kısmı katı formdadır.

Piroliz ve gazlaştırma prosesleri çevresel yönden mükemmeldir, çok az kirlilik oluşturmakta ve sonuçta kullanılabilir yakıt üretimini sağlamaktadır. Tüm bu avantajlar, KKA'nın piroliz ile gideriminin yapılabileceği konusunu gündeme getirmiştir. 1970'lerde çöpten piroliz ile sıvı ve katı yakıtların üretiminin yapılmasını sağlayabilmek üzere büyük ölçekli tesisler inşa edilmiş ancak bu tesisler, işletme problemleri nedeniyle başarısız olmuşlardır. Piroliz, şeker kamışı küspesi, orman atıkları gibi homojen ve yapısı bilinen maddelerin yakılmasında iyi sonuçlar verirken, KKA gibi heterojen ve yapısı bilinmeyen atıklarda kötü sonuçlar vermektedir.

Japonya, 2000'li yıllarda kentsel katı atıkların yakılmasında gazlaştırma teknolojisini kullanmaya başladı. Bu kapsamda gerçek ölçekli bir gazlaştırma tesisi 2009 yılında Nagoya'da işletmeye açıldı. Bu tesis, mevcut 3 adet klasik atık yakma tesisini desteklemek üzere planlanmıştır. Nagoya Plazma gazlaştırma tesisinde mevcut atık yakma tesislerinde oluşan kül ve cürufun ergitilerek tamamen inert yapıda bir ürüne dönüştürülmesi ön görülmüştür. Ancak bu tesisin işletme maliyeti klasik yakma tesislerine göre önemli mertebede daha yüksek kaldı ve daha az enerji geri kazanılabildiği gözlemlendi. İşletme maliyetinin daha yüksek olmasına rağmen, daha az bakiye atık üretimi ve düşük baca gazı emisyonları dolayısıyla gazlaştırma teknolojisinin daha da geliştirilerek yaygınlaştırılması yönündeki faaliyetler (özellikle ABD'de) sürdürülmektedir.



Şekil 4.21. Piroliz ürünlerinin oluşumunda sıcaklık ve zamanın etkisi (TBB, 2015)

4.3.7.1. Piroliz ve Yakma Karşılaştırması

Tablo 4.8. Yakma ve piroliz karşılaştırılması (E.Erdin; <http://web.deu.edu.tr/erdin>)

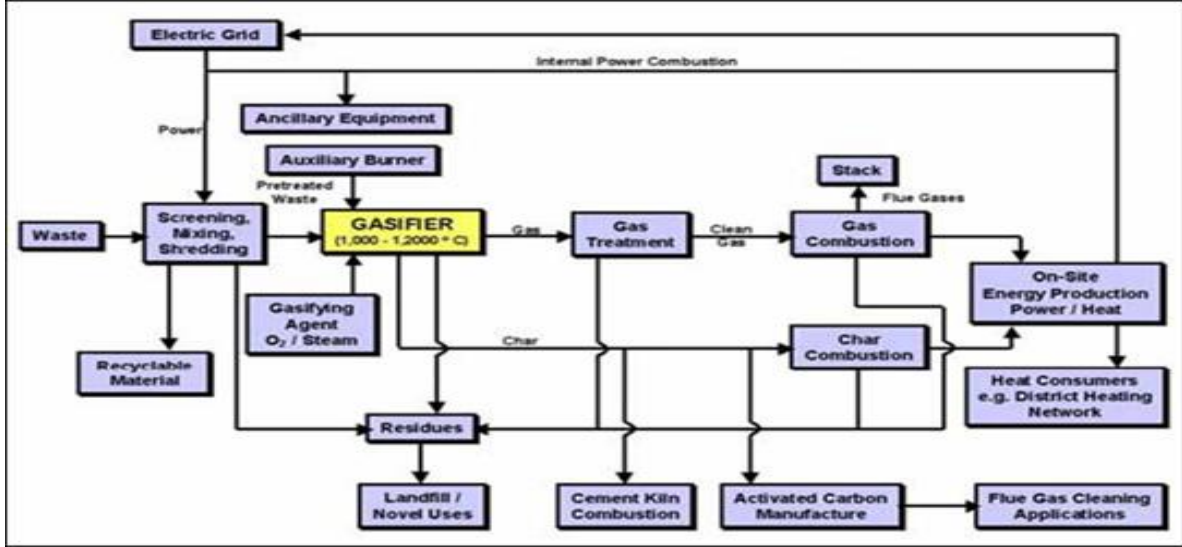
Yakma	Piroliz
Oksijenli reaksiyonla termik parçalanma	Oksijensiz reaksiyonla termik parçalanma
Yanma sıcaklığı 800 - 1200 °C	Piroliz sıcaklığı 500 - 1000 °C
Ürünler	
Katı oksitlenmiş maddeler (kül-Cüruf)	Katı: İndirgenmiş katı kalıntıları (kömür)
Sıvı: Su	Sıvı: Su, Sıvı, hidrokarbonlar
Gaz: CO ₂ , SO _x , NO _x , vs	H ₂ , CO ₂ , CO, CH ₄ , Etan, Propan, H ₂ NH ₃ ...
Ekzotermik reaksiyon	Endotermik reaksiyon
Çöpün bileşeninin değişimine çok az duyarlı	Çöpün bileşenine duyarlı

4.3.8. Gazifikasyon

Gazlaştırma biyokütlenin yüksek sıcaklıkta stokiometrik oksijen ihtiyacından daha az hava kullanılarak sentez gazına (sin gaz) dönüştürülmesidir. Gazlaştırma teknolojisi ilk kez 1800'lü yıllarda ‘şehir gazı’ elde etmek amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. Doğal gaz bulunana kadar kömürün gazlaştırılmasıyla elde edilen şehir gazı ısıtma ve aydınlatma amacıyla uzun süre kullanılmıştır. Gazlaştırma teknolojisinin bir sonraki evresinde; 2. Dünya savaşı sırasında çekilen yakıt sıkıntısı nedeniyle Alman mühendisler bu teknolojiyi yakıt elde etmek amacıyla kullanmışlardır. Fischer-Tropsch prosesi olarak bilinen bu proseste gazlaştırma sonucunda elde edilen ürün dizel yakıtı dönüştürülerek kullanılmıştır. 1973’de gerçekleşen enerji krizi sonrasında ise Entegre gazlaştırmalı kombine çevrim santralleri kurulmaya başlanmıştır. Günümüzde gazlaştırma prosesinde hammadde olarak atık-biyokütle, düşük kalorifik değerli kömür, petrokok gibi maddeler kullanılarak enerji ve kimya sektöründe deterjan, gübre, reçine gibi pek çok malzeme için hammaddeler elde edilmektedir.

Yaklaşık 150 yıldan beri bilinen eski bir enerji üretim teknoloji olan gazlaştırma gazlaştırıcı adı verilen sistemlerde katı atıkların hava veya oksijen, buhar veya bunların çeşitli karışımları ile temas edebileceği bir reaktör içinde meydana gelmektedir. Katı yakıtın kullanımına göre gazlaştırıcılar sabit yatak, akışkan yatak ve entegre yatak şeklinde gazlaştırıcılar sınıflandırılabilir. Katı yakıtlardan elde edilen fakir gaz türü, sentez gazı, syngaz, havagazı, şehir gazı isimleri verilen yanıcı gaz üretimi gazlaşma olarak bilinen bir

kimyasal işlemidir. Kapsamlı bir tanımlama ile gazlaştırmanın karbon ve hidrojen içerikli katı atığın uygun ısıtma değeri olan gaz ürüne dönüştürülmesi işlemidir. Gazlaştırma piroliz, kısmi oksidasyon, indirgeme ve hidrojenizasyon gibi tanımları içermektedir. Günümüzde uygulanan teknoloji kısmi oksidasyondur ve böylece katı atıktan fakir gaz veya syngaz üretilir. Bu gaz farklı oranlarda yanıcı komponent olarak metan, hidrojen ve karbonmonoksit ve bunların yanı sıra oksijen, azot ve su içerir. Gazlaştırma prosesi 800°C ile 1300°C arasında meydana gelmektedir. Özellikle külün yumuşama ve erime noktaları gibi kesin sıcaklık besleme malzemesi özelliklerine bağlıdır. Bu durum koşulsuz olarak tüm sabit yatak gazlaştırıcılara uygundur ve birçok akışkan yatak ve hareketli yatak gazlaştırıcılara dahi uygulanabilir ve buradaki besleme malzemesinin teorik olarak karbon ve hidrojen kaynağı olduğunu bilmek gerekir. reaksiyonları mevcuttur. Endüstriyel katı atıkların gazlaştırılmasında genellikle büyük güç üretimlerinde optimum kapasite için akışkan ve entegre yataklı gazlaştırıcılar gazlaştırma için güçlü ve işlevseldirler. Üretilen syngaz, şehir gazına çok benzerdir ve elektrik gücü ve/veya kimyasal maddeler, gübre yapımı için kullanılabilir. Katı yakıt esaslı elektrik enerjisi üretim teknolojisi en uygun hava emisyonlarına, katı atık ve atık su değerlerine sahiptir. Yüksek enerji verimliliğinin nedeni, daha az karbondioksit (CO₂) emisyonlarıyla sonuçlanan katı yakıt gazlaştırmada aynı miktarda enerji üretmek için daha az katı yakıt kullanılmasıdır. Gazlaştırma, yakma teknolojilerine göre daha çevreci teknolojilerdir ve CO₂, SO₂, NO_x emisyonları bakımından çok daha avantajlıdır. Kükürt çoğunlukla, SO₂'ye nazaran daha kolay şekilde giderilebilen H₂S formunda veya saf kükürt şeklinde bulunur. Gazlaştırma sırasında NO_x, dioksin ve furan problemleri oluşmamaktadır.



Şekil 4.22. Gazifikasyon akım şeması

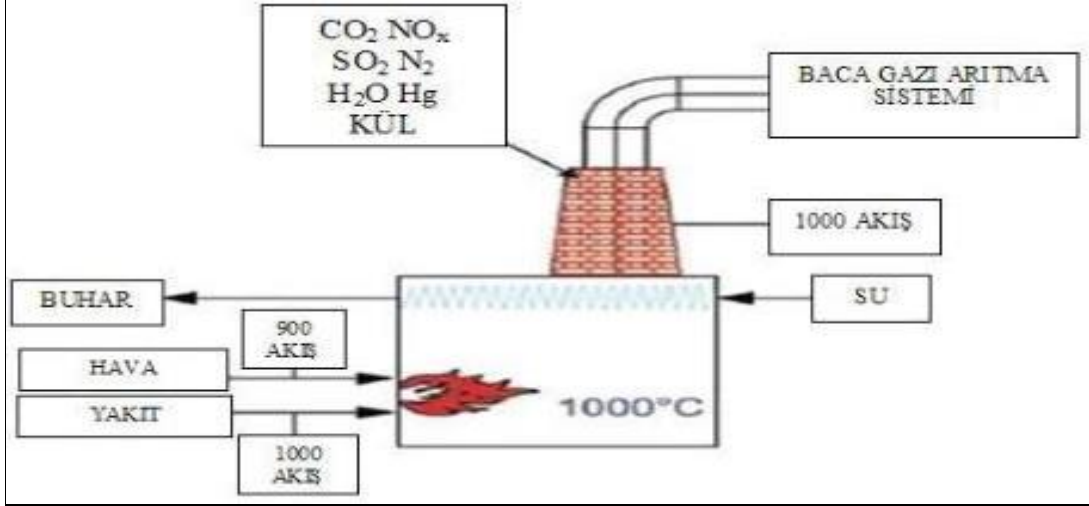
Kaynak: Feasibility Study Of Thermal Treatment Options For Waste In The Limerick, 2005

Gazlaştırma prosesini bilinen yakma prosesinden ayıran en önemli fark, prosesin stokiometrik oksijen ihtiyacından daha az oksijenle yürütülmesidir. Dolayısıyla gazlaştırmada yakmaya oranla daha az atık gaz ve karbondioksit oluşur (Tablo 4.9).

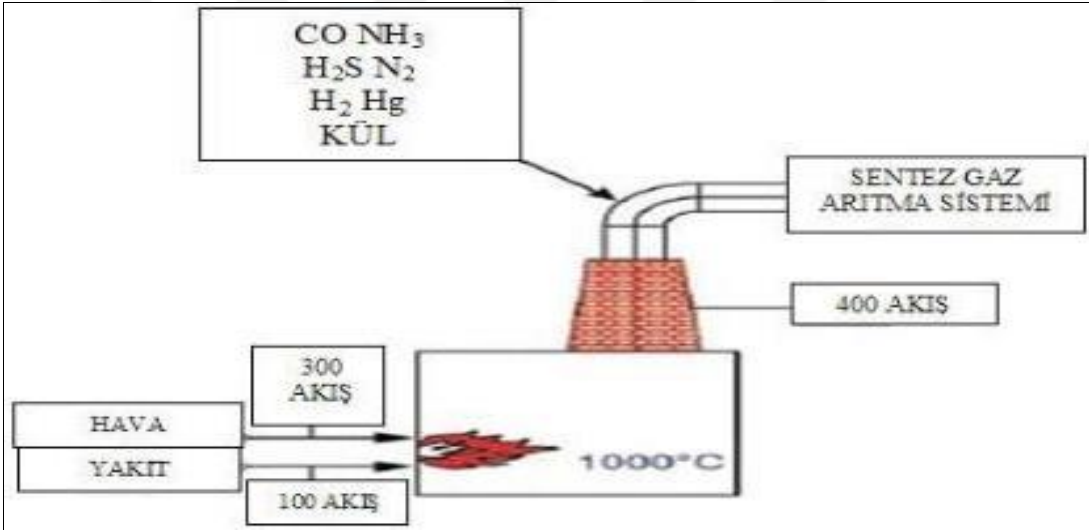
Tablo 4.9. Yakma ve gazlaştırmada birincil ürünlerin karşılaştırılması (TBB, 2015)

Yakıt Ana Bileşenleri	Yakma	Gazlaştırma
Karbon	CO ₂	CO
Hidrojen	H ₂ O	H ₃
Azot	NO, NO ₃	HCN, NH ₃ veya N ₂
Kükürt	SO ₂ veya SO ₃	H ₂ S veya COS
Su	H ₂ O	H ₂

Gazlaştırma prosesinde SO_x ve NO_x salımları dioksin, furan oluşumu görülmez ve bu sistemlerinde oluşan atık su yakma sistemlerindeki göre daha azdır. Şekil 4.22 ve Şekil 4.23.'de yakma ve gazlaştırma sonucunda oluşan kirletici emisyon ve baca gazı miktarları gösterilmektedir. Dolayısıyla gazlaştırma teknolojisi düşük kirletici emisyonlar ve oluşturduğu sentez gazın elektrik üretimi, kimya sektörü gibi geniş kullanım alanı olmasından dolayı geleceğin teknolojisi olarak değerlendirmektedir.

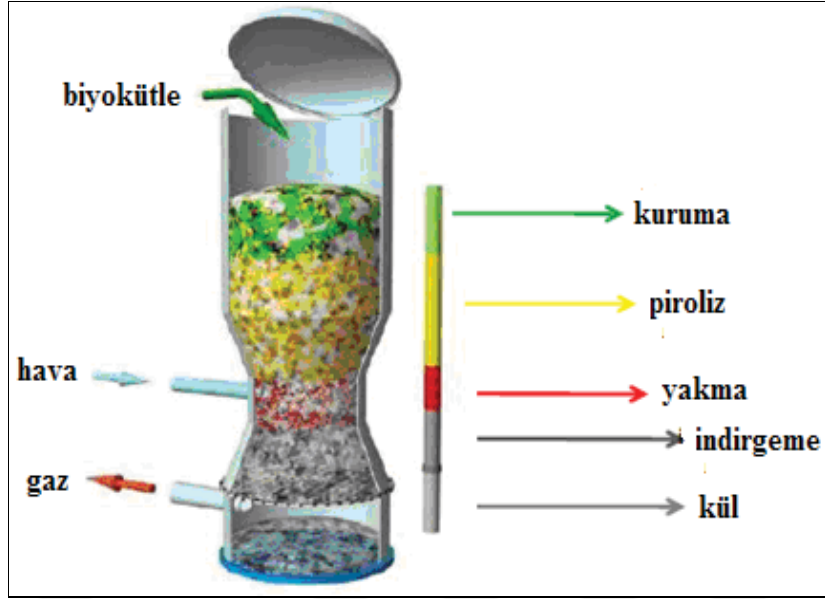


Şekil 4.23. Kazanda hava ile yakma (TBB, 2015)

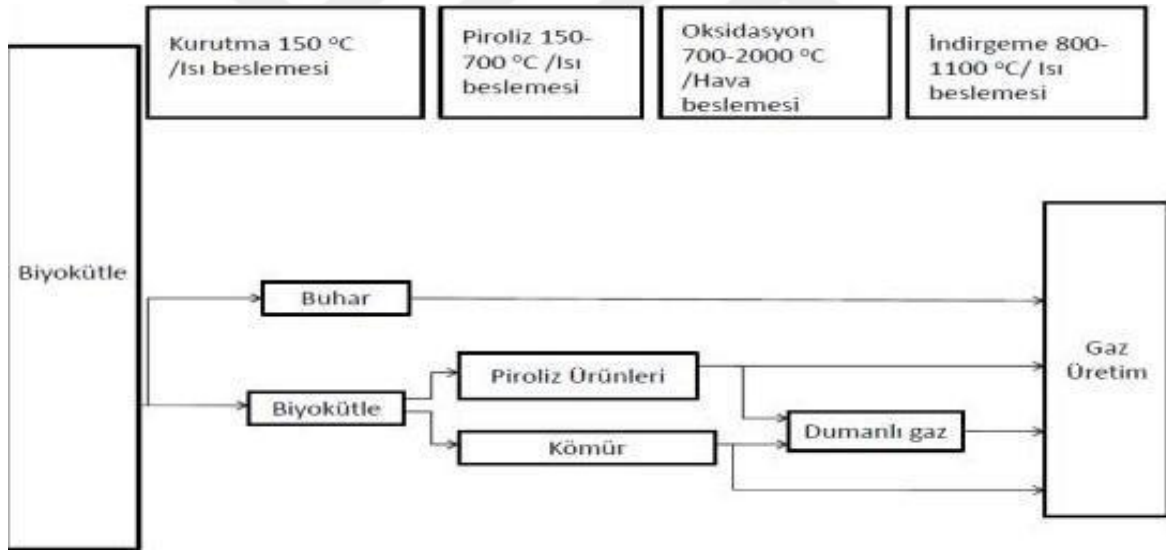


Şekil 4.24. Kazanda hava ile gazlaştırma (TBB, 2015)

Gazlaştırma prosesi kuruma, piroliz, yakma ve gazlaştırma olarak başlıca 4 safhada gerçekleşir (Şekil 4.25 ve Şekil 4.26.).



Şekil 4.25. Gazlaştırma (TBB, 2015)



Şekil 4.26. Gazlaştırma prosesi aşamaları (TBB, 2015)

Gazlaştırma prosesi ilk olarak kurutma safhası ile başlar. Bu safhada amaç biyokütlenin içinde bulunan nemin buhar fazına geçişini sağlamaktır. Bu aşamada oksidatif madde ilavesi ve bozunma olayı gerçekleşmez. Sıcaklık 150 °C'ye yükseltilerek nemin buhar fazına geçişi sağlanır.

Piroliz Safhası; Piroliz safhasında organik kısımdaki uçucu kısım uzaklaştırılır. Bunun sonucunda oluşan katran sabit karbon ve inorganik bileşenler içerir. Piroliz safhası

sonucunda katı sıvı ve gaz ürünler oluşur. Katı ürünler; Saf karbon ve katı atıkta bulunan inert materyallerden oluşan kömür yapısında yüksek karbon içerikli üründür.

Sıvı ürün: Asetik asit, aseton, metanol ve kompleks hidrokarbonları içeren bir katran veya yağ akımında oluşan sıvı fraksiyon piroliz sonucu oluşan sıvı ürünlerdir. Sıvı fraksiyon ek prosesler uygulanarak işlendiğinde, fuel oil eşdeğeri sentetik bir yakıt eldesi mümkündür.

Gaz ürün: Atığın özelliklerine bağlı olarak Hidrojen, metan, karbondioksit, karbonmonoksit ve çeşitli diğer gazlardan oluşur.

Oksidasyon; Bu aşamada sıcaklık 700-2000°C aralığında değişmektedir. Sisteme hava verilerek biyokütlede karbon ve hidrojen içeren kısmın oksidasyonla karbondioksit ile su buharına dönüşmesi sağlanır ve ayrıca ısı enerjisi açığa çıkar.

İndirgeme: Bu aşamada sıcaklık 800-1100 °C arasında değişmektedir ve reaksiyonlar oksijensiz ortamda gerçekleşir. Gerçekleşen ana reaksiyonlar aşağıda verilmiştir: Bu reaksiyonlar indirgeme evresinde ısı ihtiyacı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla gazın sıcaklığı azalmaktadır. Gazlaştırma prosesinin sonunda karbon karbonmonoksite dönüşür. Bu adımlar bütün gazlaştırma teknolojilerinde bu sırayla gerçekleşmez örneğin atığın pulvarize şekilde beslendiği ve gazlaştırma işleminin gerçekleştiği yatak bölgesinin ayrımının net yapılmadığı sistemlerde adımlar bütünleşmiş durumdadır.

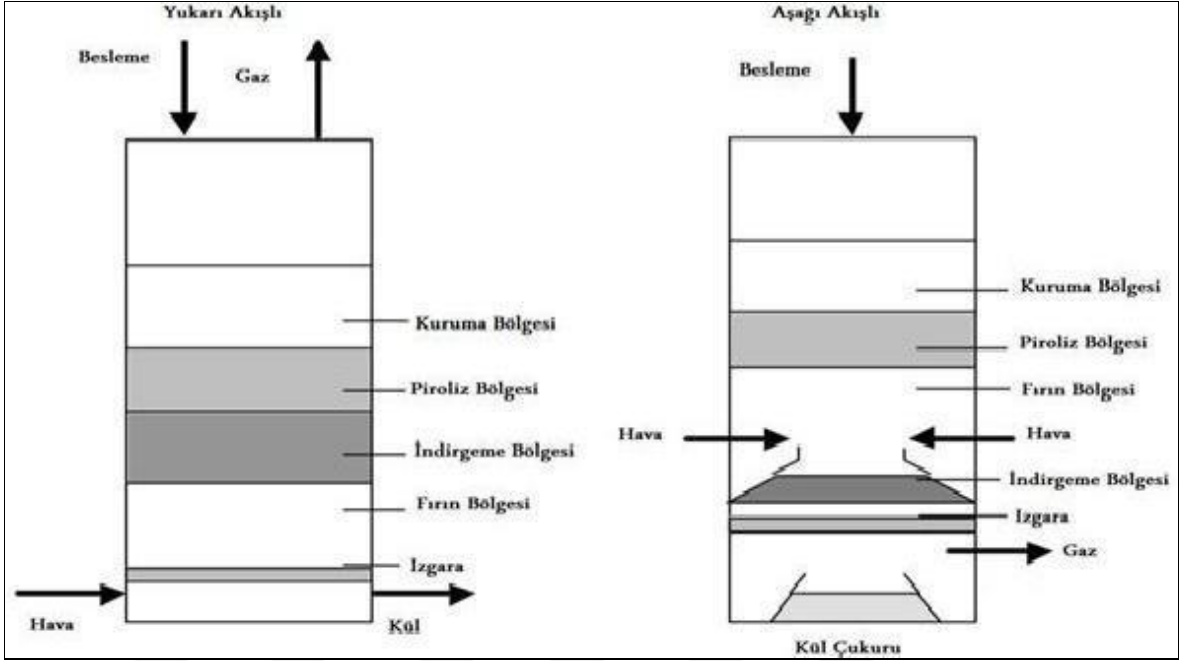
Gazlaştırma prosesini standart yakma sisteminden ayıran en önemli fark oksijen miktarıdır. Yakma sistemlerinde sitokiyometrik oksijenden daha fazla oksijen kullanılırken gazlaştırmada sitokiyometrik ihtiyacın altında oksijen kullanılmaktadır. Gazlaştırma sistemi sonucunda oluşan yanma ürünleri yakma sistemlerinden farklılık göstermektedir.

Gazlaştırma, kömür ve biyokütle gibi karbon içerikli maddelere sınırlı miktarda oksijen, hava, hava-su buharı karışımı veya zenginleştirilmiş oksijen içerikli hava verilerek yanabilen gaz bileşenlerin (CO, H₂, CH₄ vb.) oluşumunu sağlayan bir süreçtir. Gazifikasyon sınırlı miktarda oksijen sisteme verilir ve bunun sonucunda oluşan oksidasyon ile sistem kendi kendinin sürekliliğini sağlayabilecek miktarda ısı üretir. Kullanılan yakıt cinsine, kullanım amacına ve sistem kapasitesine göre en çok tercih edilen gazlaştırıcı tipleri sabit yataklı, akışkan yataklı, sürüklemeli akış yataklı ve plazma gazlaştırıcılarıdır.

4.3.8.1. Sabit Yataklı Gazlaştırıcılar

Sabit yataklı gazlaştırıcılar yüksek termal verimlilik ve yakıt ile reaktanların karşılıklı akımından dolayı düşük baca gazı sıcaklığına sahiptir (United Technologies Research Center [UTRC], 2002). Sabit yataklı gazlaştırıcılarda reaksiyon bölgesini oluşturmak ve gelen yakıtı desteklemek için metal bir ızgara bulunur (Öztürk,2010). Sabit yataklı gazlaştırıcıda oksitleyicinin aşağıdan verildiği sistemler yukarı akışlı, yukarıdan verildiği sistemler ise aşağı akışlı olarak adlandırılır. Gazlaştırıcıya yukarıdan yakıtın ilave edilmesi ve ızgaraların altından külün deşarj edilmesiyle belirli bir derinlikte sabit bir yakıt tabakası oluşturulur. Gazlaştırıcıya yukarıdan yakıtın ilave edildikten sonra kuruma, buhar giderme, gazlaştırma ve oksidasyon tabakalarından geçer. Yukarı akışlı gazlaştırıcılarda katran oranı aşağı akışlı sistemlere göre daha fazladır. Gazlaştırmada yakıtın kısmi oksidasyon, buharlı gazlaştırma ve su-gaz değişim reaksiyonlarıyla sentez gaza dönüştürmek için hava, oksijen veya buhar kullanılabilir. Sabit yataklı gazlaştırıcılarda külün erimesini engellemek için sıcaklık 1000 - 1300 °C lerin altında tutulmalıdır.

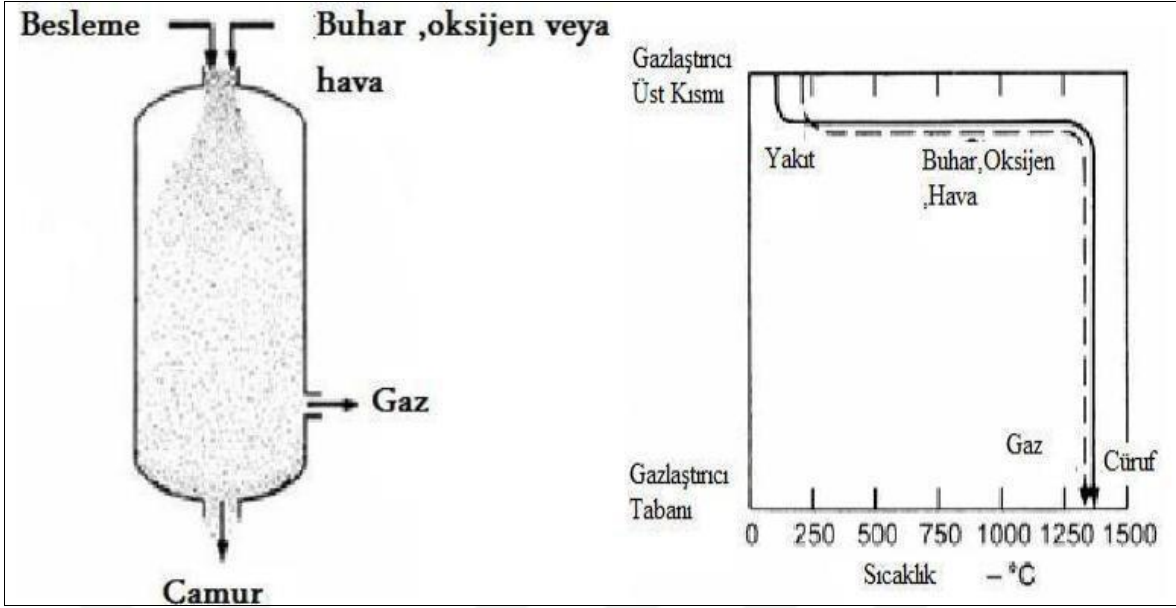
Sabit yataklı gazlaştırma sistemleri de çıkış gazında bulunan katran, istenmeyen bileşenlerin temizlenmesi sistemi daha karmaşık yapıda ve yüksek maliyetli olmasına neden olmaktadır. Ancak elde edilen katran ve diğer yan ürünler ekonomik olarak değerlendirilebilir ürünler olabilmektedir. Gaz akışının sürekliliğinin sağlanması ve gazdaki safsızlıkların giderilmesi için yakıt olarak beslenen maddelerde iri parçacıkların giderilmesi gereklidir. Bu sistemde partikül çapının minimum 6.3 mm olması sağlanmalıdır (UTRC,2002).



Şekil 4.27. Yukarı ve aşağı akışlı sabit yataklı gazlaştırıcılar (Aynur, 2011).

4.3.8.2. Sürüklemeli Akışlı Gazlaştırıcılar

Sürüklemeli akışlı gazlaştırıcılar pülverize olmuş yakıtı yaklaşık 1 saniye gibi hızlı bir sürede genellikle oksijen kullanarak kısmi oksidasyonla $1370\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $1925\text{ }^{\circ}\text{C}$ de sentez gaza döndürebilirler. Yakıt beslenirken basınç altında ve $100\text{ }\mu\text{m}$ altında boyutlarda olmalıdır. Bu sistemler 20-25 bar arası basınçlarda işletilirler (Van der Drift A., Boerrigter, H., Coda, B., Cieplik, M. K., Hemmes, K., 2004). Sürüklemeli sistemlerin avantajları dizaynının basit olması, yakıtın kekleşmesine karşı toleranslı olması, sistem veriminin yüksek olması ve karbon dönüşüm verimliliğinin yüksek olmasıdır. Dezavantajları ise atık gaz sıcaklığının yüksek olmasından dolayı gaz soğutmada sistemlerinin veya ısı geri kazanım sistemlerinin daha büyük yapılması, gazlaştırıcının içinde kükürt yakalama imkanının az olması, yakıt besleme sisteminin kompleks olmasıdır. Şekil 4.26'da sürüklemeli gazlaştırıcı ve gazlaştırıcı boyunca sıcaklık değişimi bulunmaktadır.



Şekil 4.28. Sürüklemeli gazlaştırıcı ve gazlaştırıcı boyunca sıcaklık değişimi (Aynur, 2011)

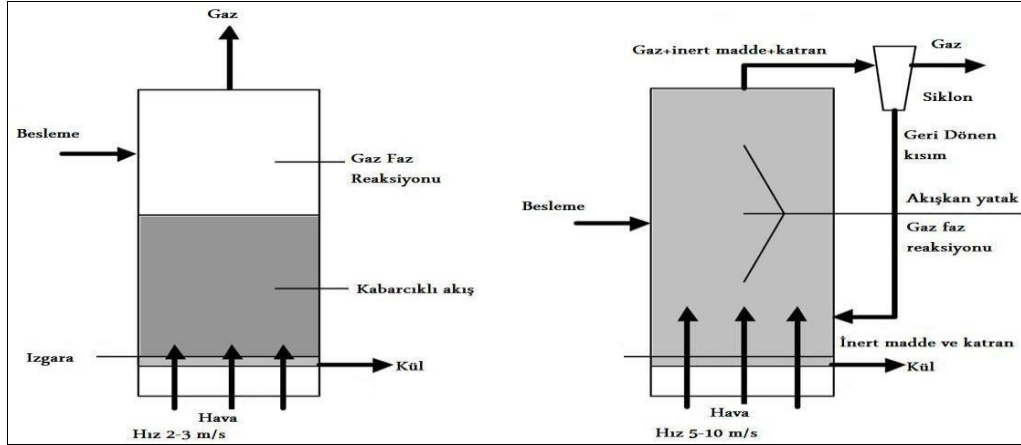
4.3.8.3. Akışkan Yataklı Gazlaştırıcılar

Akışkan yataklı biyokütle gazlaştırma teknolojisinde katı atık ön hazırlama operasyonları aşamasından sonra, akışkan yataklı gazlaştırıcıya alt kısımdan verilir. Akışkan yatağa giren katı atık taneciği ilk önce suyunu kaybeder ve kurur. Sıcaklığı 250°C–400°C arasında değişmektedir. Katı atık parçacığı, gazlaştırıcı boyunca yukarı hareket ederken 400°C–600°C arasında sıcaklığa ulaşır ve piroliz olmaya başlar ve kok, katran, CH₄, ve H₂'ye parçalanır. Oksijen taşıyıcı (önceden ısıtılmış hava) akışkan yataklı gazlaştırıcının altından girer. Hava hem gazlaşma hem de yukarıya doğru taşıma görevi görür. Katı atık parçacığı 900 °C sıcaklığa ulaştığında, giren havanın oksijeni ve H₂O kok ile reaksiyona girer ve ortaya çıkan gaz, genel olarak CO, H₂, CO₂, CH₄ içeren, 900°C sıcaklıkta syngazdır. Katı atık taneciği artık küçülmüş ve sadece külü kalmıştır. Yukarı doğru ilerlerken kömür gazı (leangaz) 800 °C'ye soğur. Syngaz, gazlaştırıcıdan çıkıp 400 °C – 600 °C'ye ulaştığında gaz temizleme bölgesine çekilir. Burada kül ve toz toplayıcı özel siklonlar vardır öncelikle. Daha sonra gaz temizleme kısmına gelir. Gazlaştırıcının diğer tip gazlaştırıcılardan farkı sadece akışkan yatağın elek kısmının alt bölgesinden hava girişidir. Üretilen syngaz başlıca CO, H₂, CO₂, CH₄'den oluşur. Oluşum prosesi için oksijen kaynağı sadece ortam koşullarından alınan ve elek altında ısınan havadır.

Reaksiyonun sonunda üretilen katran miktarı düşük olup gazlaştırıcı atmosfer basıncının biraz üzerinde çalıştırılmaktadır.

Akışkan yatak sisteminde yakıt veya katıların sürekli ve yüksek hızda beslenmesi dolayısıyla askıda (akışkan) kalmaktadır. Bu sistemde oluşan türbülanslı karışım, üretilen gazın daha homojen olmasını ve gaz ile katı arasında maksimum ısı ile kütle transferinin gerçekleşmesini sağlar (Öztürk, 2010). Bu sistemin avantajı gazlaştırıcıda kükürt gideriminin yapılabilmesidir. Kirecin akışkan yatakta kullanılması sonucu 900°C'de %90'a kadar kükürt yakalama gerçekleşmektedir. Ancak yatakta kükürt giderimi sistemde oluşan kararsız kalsiyum sülfiti depolama için daha uygun olan kalsiyum sülfata dönüştürmek için ek bir yakma ünitesi ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Bu sistemin avantajları oluşan gazın katran içeriği az olması, yüksek kül içeriğine sahip materyallerle çalışmasıdır. Buna karşın oluşan gazın partikül içeriğinin çok olması ve sistemde hava – katı ihtiyacının sürekli kontrol edilmesi gerekliliğinden dolayı karmaşık proses kontrolü sistemin dezavantajlarından (Öztürk, 2010). Akışkan yataklı gazlaştırıcılardan enerji üretiminde yaygın olarak kullanılan 2 tip kabarcıklı akışkan yatak ve sirkülasyonlu akışkan yataktır. Kabarcıklı akışkan yataklı sistemlerde verilen havanın hızı yataktaki katı maddeleri kabarcık oluşturmasını sağlayacak şekilde yüksek olmalıdır. Bu sistemlerde sıcaklık genellikle 900°C ile 1000 °C arasında değişebilmektedir. Yanma sonucu oluşan uçucu kül gazla beraber sürüklenir ve nispeten daha iri parçalar siklonlarda, ince tanelerde elektrostatik filtre ya da torba filtrelerde tutulur (Oymak ve Batu). Sirkülasyonlu yataklarda; gazın hızının artmasıyla yataktaki katı parçacıklar yatak içinde hareket eder.

Kabarcıklı yataklardan farklı olarak bu sistemde yatak ile serbest bölge arasında ayırım belirgin bir şekilde yapılamaz (Oymak ve Batu). Sirkülasyonlu yataklarda yoğunluk 560 kg/m, kabarcıklı yataklarda ise 720 kg/m'dir (Klein, 2002). Yanma 840-900 derecede gerçekleşir. Yanma esnasında ince parçacıklar yanma odasının dışına çıkar ve genellikle çıkıtsa bulunan siklonlar tarafından tutulup sisteme döndürülür. Bu şekilde dolaşım gerçekleşmiş olur. Atık gazlaştırmada kullanılan sistemlerin kapasiteleri farklılık göstermektedir. Tablo 4.10'da gazlaştırma sistemlerinin kapasiteleri yer almaktadır.



Şekil 4.29. Kabarcıklı (a) ve sirkülasyonlu (b) gazlaştırıcı (Aynur, 2011)

Tablo 4.10. Gazlaştırıcıların ısı kapasiteleri (Aynur, 2011)

Gazlaştırıcı Sistem	Yakıt kapasitesi
Aşağı akışlı	1kW-1MW
Yukarı akışlı	1.1MW-12MW
Kabarcıklı akışkan yatak	1MW-50MW
Sirkülasyonlu akışkan yatak	10MW-200MW

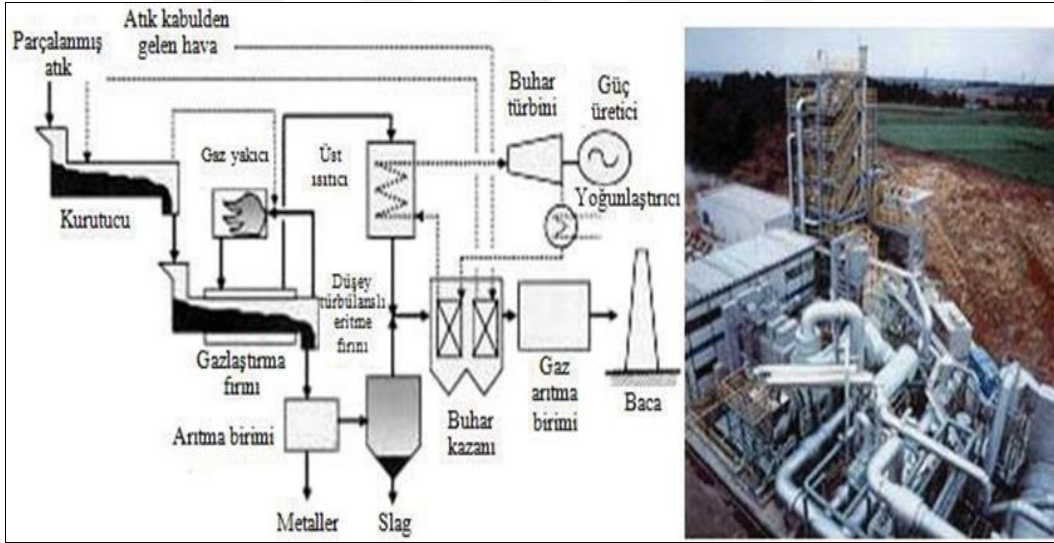
4.3.8.4. Plazma Gazlaştırma

Plazma elektriksel yük ile oluşturulan sıcak iyonlaşmış gazdır. Plazma teknolojisinde oksijen, azot, hidrojen, argon gibi gazlar ya da bu gazların kombinasyonundan oluşan gazı 5000 °C ve üzerine çıkarmak için elektriksel yük kullanılır. Oluşturulan bu sıcak gaz bu gaz atıkların arıtımında kullanılır. Plazma gazlaştırma sistemleri yakma sonucu oluşan küllerin arıtımında uzun süredir kullanılmasına karşın evsel atıklar için yeni gündeme gelen bir sistemdir. Plazma gazlaştırma kapalı ve basınç altında olan reaktörün içinde gerçekleşir. Yakıt olarak beslenecek madde reaktöre girdiğinde sıcak plazma gaz ile temas eder. Bazı sistemlerde birden fazla torç daha homojen bir akım sağlamak için reaktörün içine dairesel olarak yerleştirilirler. Gazlaştırma gerçekleşmesi için sisteme giren oksijen miktarının kontrol edilmesi gereklidir (CH2M Hill International Ltd., 2009). Plazmalı gazlaştırıcılarda C ihtiva eden her madde gazlaştırılabilmekte ve %80-85 arasında gazlaştırma verimi sağlanabilmektedir. Plazma gazlaştırma teknolojisi ile KKA bertarafında özellikle <1600 kcal ısı değerli atıklar için destekleyici ek yakıt (kömür, petrokok v.b.) kullanımı

gerekebilmektedir. Plazma gazlaştırma sistemlerinin standart yakma sistemine göre üstünlükleri bulunmaktadır.

Bunlar;

- Plazma gazlaştırma sistemlerinde oluşan gaz enerji üretimi ve kimya sanayinde çeşitli maddelerin üretiminde kullanılabilir. Yanma sonucu oluşan gazın ise tamamı sadece enerji üretiminde kullanılır.
- Plazma gazlaştırma sistemi klasik yakma sistemlerinde oluşan uçucu kül veya cüruf malzeme üretmemesidir. Bu proseste yan ürün olarak toksik olmayan eriyik silikat veya metal üretilmektedir (Öztürk, 2010). Bu malzemeler hacimce gazlaştırmada kullanılan atığın %6-15'i arasında değişmektedir ve yol taşı, agrega ve kiremit gibi yapı ve inşaat malzemesi yapımında kullanılabilir. Yakmada ise açığa çıkan kül yakılan atığın hacimce %20-30'u arasındadır ve tehlikeli madde sınıfında değerlendirilmektedir (Gökçek, 2009).



Şekil 4.30. Döner fırınla plazma gazlaştırma tesisi (TBB, 2015)

Tablo 4.11. Klasik ve plazma gazlaştırma karşılaştırması (TBB, 2015)

Karşılaştırma Kriteri	Plazma Gazlaştırma	Klasik Gazlaştırma
Gazlaştırma Sıcaklığı	5,500 °C	1,600 °C
Gazlaştırma Basıncı	Atmosferik	Atmosferik
Gazlaştırma Verimi	%80-85	%70-75
Gazlaştırılabilen Yakıtlar	Her şey	Biyokütle, kömür, ATY
Tek Reaktör Kapasitesi	900 ton/gün	300 ton/gün
Sin gazı kalitesi	Maksimum ısı değer, düşük gaz temizleme gereksinimi	Yüksek ısı değer, daha yoğun gaz temizleme gereksinimi
Proses Artıkları	Cam görünümlü mıcır	İnert, hafif yapılı

4.3.8.5. Sentez Gaz ve Kullanım Alanları

Gazlaştırma sonucu oluşan sentez gazı çoğunlukla karbonmonoksit, hidrojen, su buharı ve metan içerir. Karbon içerikli maddelerin gazlaştırılması sonucu elde edilen elektriksel yük ile oluşturulan sıcak iyonlaşmış gazdır. Bu gazın ısı değeri 1100~3100 kcal/m³ arasında değişmektedir.

Sentez gaz kimya endüstrisinde çeşitli maddelerin üretiminde kullanılmaktadır. Sentez gazının gelecekte erimiş karbonatlı yakıt hücresi ve metanol üretiminde kullanımının yaygınlaşacağı düşünülmektedir. Erimiş karbonatlı yakıt hücreleri enerji verimliliği ve değişik enerji kazanım sistemlerine kolay entegre olmasından dolayı oldukça ilgi çekici sistemlerdir. Metanol ise H₂, CO ve CO₂ içeren gazın bakır katalizörü kullanılarak sentezlenmesiyle oluşan iyi bilinen, temiz bir yakıttır. Metanolün homojen atık kullanılarak elde edilebilmesinin gelecekte yaygınlaşabilmesi düşünülmektedir (Belgiorno v.d. 2003). Sentez gaz pek çok kimyasalım üretiminde kullanıldığı gibi fischer tropsch prosesi ile sıvı yakıt üretiminde de kullanılmaktadır. Bu sistem sentez gazda bulunan kimyasal katalizörün kullanıldığı reaksiyonla karbonmonoksit ve hidrojenin sıvı hidrokarbona dönüştürülmesidir. Genellikle katalizör olarak demir ve kobalt kullanılır. Bu reaksiyonların sonucunda sentetik yakıt elde edilir (Bowen, Irwin, 2006). Atıkların plazmalı gazlaştırılması sonucunda oluşturulan sentez gazdan aynı zamanda jet yakıtı üretimi de sağlanmaktadır.

4.4. Termal Yöntemlerin Kıyaslanması

Tablo 4.12. Piroliz, yakma ve gazlaştırma sistemlerinin temel özellikleri (Aynur, 2011)

	YAKMA	PİROLİZ	GAZİFİKASYON
Reaksiyon Sıcaklığı (° C)	800 – 1450	250 – 700	500 – 1600
Yanma Odası Basıncı (bar)	1	1	1–45
Ortam	Hava	İnert – Azot	O ₂ ,H ₂ O
Stokiyometrik Hava Oranı	> 1	0	< 1
Gaz Halindeki Ürünler	CO ₂ , O ₂ , N ₂	H ₂ , CO, H ₂ O, N ₂	H ₂ , CO, CO ₂ , CH ₄ , H ₂ O, N ₂
Katı Haldeki Ürünler	Kül, Cüruf	Kül, Kömür	Cüruf, Kül

Kaynak: “Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration”, European Commission Integrated Pollution Prevention and Control, Brüksel, 2006

Gazlaştırma sistemi, yakma sistemine göre daha düşük su muhtevalı atıklar ile çalışmaktadır. Dolayısıyla Trabzon ve Rize illeri genelinde oluşan atıkların ön işlemden geçirilmeden gazlaştırma teknolojisi ile bertarafı mümkün değildir. Ancak gazlaştırma sistemlerinde aynı özellik ve miktardaki atıktan daha fazla enerji üretmek mümkündür. Ayrıca gazlaştırma sistemlerinde düşük miktarda oluşan atık gaz, kullanılması gereken hava kirliliği kontrol sistemlerinin daha küçük kapasitelerde olmasını sağlamaktadır. Gazlaştırma sisteminin bir diğer avantajı ise işlem sonucunda oluşan külün inert yapıda olmasıdır. Dolayısıyla yakma prosesi sonucunda oluşan kül için tehlikeli atık bertaraf yöntemleri uygulanması gerekebilirken gazlaştırma sisteminde buna ihtiyaç duyulmamaktadır. Bunun yanında gazlaştırma sistemleri yakma sistemlerine oranla evsel atık bertarafında daha az kullanılan ve atık bertaraf, besleme koşulları yakmaya göre daha kompleks sistemlerdir. Dolayısıyla işletme koşulları doğru sağlanmadığı takdirde gazlaştırma teknolojisinin, yakmaya oranla oluşturabileceği sorunların daha fazla olması muhtemeldir.

Atık gazlaştırma sistemlerinde atık çoğunlukla basınç altında bertaraf edilmektedir bu da uygulanacak olan sistemin işletilmesini daha karmaşık yapabilmektedir. Dünyada evsel atık bertarafında yaygın olarak kullanılan basınçsız çalışan teknolojiler; Envirotherm,

Westinghouse Plasma, Thermoselect, PRM gazlaştırma teknolojileridir. Bunların dışında da gazlaştırma teknolojisi bulunmasına rağmen bu teknolojilerin kullanımı; bu sistemlerin kömürle atığın karıştırılmasını gerektirmesi, çok yüksek kapasiteli olması veya teknolojiyi üreten firmaların teknoloji satmak yerine ekipman ve sistem satmak arzusunda olmasından dolayı yatırım maliyetinin yüksek olması bu sistemlerin kullanımını sınırlamaktadır.

Tablo 4.13. Yakma ve gazlaştırma proseslerinin karşılaştırılması (Öztürk, 2010)

Gazlaştırma(1400-2000 °C)	Yakma (maksimum 1000 °C)
Sentez gazı üretimi sırasındaki emisyonlar yasal sınırların altındadır	Emisyonları yüksek miktarda sera gazlarını, kirleticileri, dioksin ve furanları içermektedir.
Kükürt H ₂ S e dönüşür	Kükürt SO ₂ ye dönüşür
Kükürt yakalama fiziksel veya kimyasal çözücülerde emilim gerçekleştirilir	Kükürt yakalama baca gazı temizleyicileri veya kazana kireç taşı enjeksiyonuyla gerçekleşir
NO _x kontrolü genelde gerekli değildir	Gereklidir
Atıktaki C, sentez gazın içindeki CO'ye dönüşür	C, karbondioksit'e dönüşür
Yakmaya kıyasla daha az suya ihtiyaç duyar	Buhar çevrimi, soğutma için yüksek miktarda su çevrimi
Biyokütle atığın enerjisi bol yakıt'a çevrilmesi	Tüm girdinin ısıya çevrilmesi

Tablo 4.14. Yakma ve piroliz proseslerinin karşılaştırılması (MEB, 2009)

Yakma	Piroliz
Oksijenli reaksiyonla termik parçalanma	Oksijenli reaksiyonla termik parçalanma
Yanma Sıcaklığı 800 °C-1200 °C	Piroliz sıcaklığı 500°C-1000°C
Ürünler	
Katı: Oksitlenmiş maddeler (kül+cüruf)	Katı: İndirgenmiş kalıntılar (kömür)
Sıvı: Su	Sıvı: Su, Sıvı hidrokarbonlar
Gaz: CO ₂ , Sox, Nox v.s	H ₂ , CO ₂ , CO, CH ₄ , Etan, Propan, H ₂ NH ₃ ...
Ekzotermik Reaksiyon	Endotermik Reaksiyon
Çöpün bileşeninin değişimine duyarlı	Çöpün bileşeninin değişimine çok az duyarlı

4.5. Yakma Tesislerinin Çevresel Etkileri

Kentsel katı atık ve atıktan türetilmiş yakıt gibi yakıtların yanması sonucunda istenmeyen yan etkiler oluşabilir. Bu yan etkiler, bu bölümde belli alt başlıklar halinde açıklanacaktır.

4.5.1. Atık Isı

Kentsel katı atıklar buhar üretiminde kullanılabilen düşük dereceli yakıtlardır. Katı atıkların termal işleme maruz kalması sonucu elde edilen buhar, türbinleri çevirmek açısından yeterlidir, ancak kalan buharın (çürük, atık) endüstride kullanımı ise çok sınırlıdır. Genellikle, kalan buhar yoğunlaştırılarak kondense (suya) dönüştürülür. Oluşan su, soğutulur, tekrar enerji tesisinde kullanılır veya çevreye (alıcı ortama) sıcak su olarak verilir.

Kazan suyunun sadece bir kez kullanımı genellikle çok pahalı olduğundan, arıtılıp tekrar kullanılır. Bu suyun çok azı (%10'dan daha az), çözülmüş katı madde miktarını düşük tutmak için blöf suyu olarak atılır (geri devir suyuna temiz su eklenir). Atık buharın su ile soğutulmasından elde edilen sıcak suyun (soğutma suyu) çevreye verilmesi durumunda, akarsu, nehir ve körfezler üzerinde çeşitli zararlı ekolojik etkiler (termal kirlenme) oluşabilir. Bu sebeple termal deşarjlar, yönetmeliklere uygun olarak yapılmalıdır. Tipik olarak, bir ortama sıcak su deşarjı yapıldığında, alıcı ortamdaki su sıcaklığının yazın 1°C'den fazla artmaması gerekmektedir (ÇŞB, 2004.c).

Bazı ülkelerde, alıcı ortam sıcaklığını 1°C'den daha az arttıran termal deşarjlar bile yasaklanmış olduğundan soğutma suyundaki atık ısının deşarj edilmeden önce atmosfere salınması gerekmektedir. Bu enerjiyi düşürmek amacıyla geniş sığ havuzlar ve soğutma kulelerini de içeren çeşitli soğutma yöntemleri uygulanır. Tipik bir soğutma kulesi Şekil 4.31'de gösterilmiştir. Soğutma kuleleri elektrik tüketimini artıran ek bir maliyet getirir.

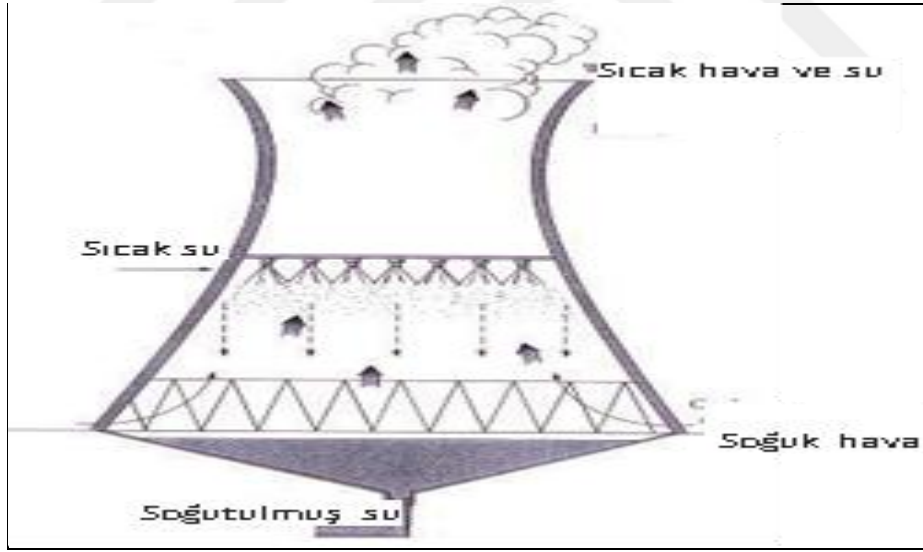
4.5.2. Kül

Enerji tesisleri taban külü ile uçucu kül üretirler. Kül, yakma odasında yanma sonucu oluşan kalıntıdır ve yanmamış organik maddelerle birlikte inorganik maddeleri de ihtiva

eder. Uçucu kül ise, gaz emisyonlarından baca gazı arıtımı esnasında tutulan partiküller maddelerdir. Her iki tip kül dikkate alındığında, KKA'nın yakılması sonucu tipik olarak ağırlıkça %75 (hacimce %95) giderim sağlanır. Dolayısıyla toplam ağırlığın %25'i, yaklaşık yoğunluğu 712-1070 kg/m³ olan yüksek yoğunluklu kül ve cüruftan oluşur. Tipik bir KKA külünde bulunan maddeler Tablo 4.15.'de verilmiştir.

Tablo 4.15. Tipik bir KKA külünde bulunan maddeler (Öztürk, 2010)

Madde	Ağırlıkça yüzde
Metaller	16,1
Yanabilir maddeler	4
Demir İçeren maddeler	18,3
Demir dışı metaller	2,7
Cam	26,2
Seramşık	8,3
Mineral, kül ve diğer maddeler	24,1



Şekil 4.31. Fosil yakıt ve KKA yakma tesislerinde tipik olarak kullanılan soğutma kuleleri (Öztürk, 2010)

Kentsel katı atıkların yanmasından kaynaklanan temel problem, KKA içerisinde ağır metallerin mevcut olmasıdır. Tablo 4.16.'da, kentsel katı atıklardan enerji üreten bir tesisin uçucu ve taban küllerinin birleşiminde bulunan ağır metal miktarları verilmiştir.

Tablo 4.16. Uçucu ve dip küllerinin birleşiminde bulunan toplam metal miktarları (Öztürk, 2010)

Metal	mg/kg kül, ağırlıkça
Alüminyum	17800
Kalsiyum	33600
Sodyum	3800
Demir	20400
Kurşun	3100
Kadmiyum	35
Çinko	4100
Mangan	500
Civa	<3

Kentsel katı atıkların yanması sonucu oluşan kül, EPA tarafından tehlikeli atık özelliklerine yakın bir atık olarak sınıflandırılmaktadır. Bu küllerin, tehlikeli atık olup olmadığı ekstraksiyon prosedürünü içeren bir test yardımıyla belirlenir. Bu testte kül, çözücü madde ile çalkalanır ve çözücüye geçen metal konsantrasyonu ölçülür. Bu konsantrasyon, içme suyu standartlarında verilen konsantrasyonun 100 katını aşarsa, atık, tehlikeli atık olarak sınıflandırılır ve pahalı bir bertaraf gerektirir. Sadece uçucu küllerin teste tabi tutulması durumunda, bu küllerin zararlı atık sınıfına girdiği görülmüştür. Taban külü ile karıştırıldığında ise karışım zararsız atık sınıfına girer (ÇŞB, 2005). Külün bertarafı, özel olarak ya da KKA'nın depolandığı düzenli depolama sahalarında gerçekleştirilir. Külün sıkıştırılmamış yoğunluğu 890 kg/m³'dür. Sıkıştırıldığında ise yoğunluk 1960 kg/m³ olur. Bu yoğunluktaki kül oldukça geçirimsizdir ve geçirimsizliği 1x10⁻⁹ cm/s kadardır.

Yakma sonucu oluşan ve düzenli depo sahasında depolanacak olan külün kullanılabilmesi alternatif alanlar araştırılmaktadır. Zira özellikle Avrupa'da çok yüksek miktarda kentsel katı atık yakılarak bertaraf edilmektedir. Depo alanı, bu atığı depolayamayacak kadar küçük olduğundan, yakma sonrası oluşan külün depolanması pahalı bir bertaraf metodu olmaktadır. Bu sebeple, oluşan külün çeşitli alanlarda kullanımı gündeme gelmiştir. Külün kullanıldığı alanlardan bazıları aşağıda verilmiştir:

- Yol temel malzemesi
- Yapı malzemesinde dolgu
- Çakıl drenaj hendeklerinde
- Maden sahalarının üstünü kaplamada
- Yapı malzemesi yapımında çimento ile karıştırma

4.5.3. Hava Kirleticileri

Evsel katı atık yakma tesislerinde oluşan hava kirleticileri; gazlar ve partiküler maddeler olarak sınıflandırılmaktadır. Diğer bir sınıflandırma ise, birincil kirleticiler ve ikincil kirleticiler olarak yapılmaktadır. Birincil kirleticiler, yakma prosesinin ürünleridir ve ortama verildiklerinde zararlı etkiler oluştururlar. İkincil kirleticiler ise, birincil kirletici emisyonlarının bir sonucu olarak atmosferde oluşan kirleticilerdir. Evsel katı atıkların yakılması zor bir proses olduğundan, yanma sırasında istenmeyen reaksiyonlar oluşur ve bunun sonucunda da istenmeyen atıklar açığa çıkabilir.

Yakma sonrasında meydana gelen en önemli problemlerden biri, kükürt oksitlerin oluşumudur. Yüksek sıcaklıkta, atıktaki kükürt, oksijenle birleşerek kükürt dioksiti oluşturur. Kükürt dioksit, bir birincil kirleticidir ve solunum problemlerine sebep olduğu gibi eşyaların korozyon sonucu zarar görmesine de yol açar. Ancak kükürt, aynı zamanda ikincil bir kirletici de olabilir. Bu durum, ortamda su buharı ve oksijenin olması durumunda kükürt dioksitin, kükürt trioksite yükseltgenmesi ile gerçekleşir. Kükürt trioksit daha sonra suda çözünerek sülfürik asidi oluşturur. Sülfürik asit, klorlu bileşiklerin reaksiyonu sonucu oluşan hidroklorik asit ve azot oksitlerden oluşan nitrik asit ile birlikte asit yağmurlarını oluşturur.

Kentsel katı atıkların yakılması sonucu dikkate alınacak diğer bir ikincil kirletici ise, fotokimyasal sis oluşumudur. Çok iyi bilinen ve çok tartışılan Los Angeles sisi, ikincil kirleticilerin oluşturduğu bir olaydır. Baca gazı emisyonları ile birlikte ağır metal salımı ise, diğer önemli hususlardan birisidir. Ağır metal olarak, kurşun, kadmiyum ve cıva üzerinde en çok çalışılan ve sağlığa zararlı etkileri çok fazla olan metallere dendir. Civanın kontrolü çok zordur, çünkü hızlı bir şekilde uçucu forma döner ve gaz emisyonları ile birlikte dışarı kaçar. Cıva emisyonlarını kontrol etmenin en iyi yolu civanın kaynağında azaltılmasıdır. Örneğin, evlerde atık pillerin ayrı toplanması, yakma tesislerindeki cıva emisyonlarını büyük oranda azaltmaktadır.

Katı atıkların yakılması sonucu ayrıca küresel ısınmaya sebep olan gazlar (sera gazları) da oluşur. Dünya güneşin ışınlarını alır ve bu ışınların bir kısmını uzaya yansıtır (albedo), geriye kalan ışınları ise adsorplar ve daha sonra uzaya ısı olarak yansıtır. Ancak, metan ve karbondioksit gibi gazlar, ısı radyasyonu ile hemen hemen aynı dalga boyunda radyasyonu adsorplarlar. Radyasyon, bu gazlar tarafından atmosferde adsorbe olduğundan atmosferin sıcaklığı artar ve dünyayı ısıtır.

5. TRABZON VE RİZE İLLERİNDE OLUŞAN KATI ATIKLARIN GAZLAŞTIRMA YÖNTEMİ İLE ETKİSİZ HALE GETİRİLMESİ

5.1. Trabzon ve Rize İllerinde Termal Yöntem Uygulama Amacı

Katı atıklardan kaynaklanan problemler ülkemizin çevre sorunlarının başında gelmektedir. Hızlı nüfus artışına paralel olarak ve özellikle Avrupa Birliğine girme süreci içinde tüketim alışkanlıklarının değişmesi ile birlikte kişi başına üretilen katı atık miktarının da artması ile oluşan atık karakteristiği hızla değişmektedir. Bu artışların devam edeceğinden, katı atıkların sağlıklı ve en ekonomik şekilde uzaklaştırılması ve bertarafı konusu yüksek önemiyet kazanmıştır. Özellikle Doğu Karadeniz Bölgesinde mevzuata uygun katı atık bertaraf tesisleri için uygun alanların bulunması çok zordur. Bu sebeple bazı Karadeniz illerinde hala düzensiz depolama yapılmaktadır.

Trabzon ve Rize illerinde de uzun yıllar düzensiz depolama alanlarına gelişigüzel kontrolsüz döküm yapılmıştır. Her bir yerleşim, katı atıkları açık alanlara, nehir yataklarına ve deniz kenarlarına dökerek çevreye önemli derecede olumsuz etkilere sebep olmuşlardır. Trabzon ve Rize illerinin içinde bulunduğu coğrafi yapı nedeniyle bu bölgelerde katı atıkların bertarafı konusunda düzenli depolama sahalarının bulunması, inşaa edilmesi ve işletilmesi çok zor şartlarda olabilmektedir. Katı atık sorunu bu illerimiz için son 30 yıldır çözülmesi gereken önemli bir sorun olmuştur. Her ne kadar TRAB-Rİ-KAB gibi kurumsal bir yapının kurulması ve Birlik tarafından Çamburnu Kutlular Düzenli Depolama sahasının 2007 yılında işletmeye açılmasıyla birlikte son on yıldır geçici bir çözüm bulunmuştur. Mevcut düzenli depolama sahasının kullanım ömrünün sınırlı olması ve kullanımında sona yaklaşılmasından dolayı yeni alanların bulunması gerekmektedir. Her ne kadar alan bulunsa bile bulunabilecek bu alanın mevzuat hükümlerini ne kadar karşılayabileceği, kullanım ömrünün ne kadar olabileceği ve işletilmesinde yaşanabilecek sorunların oldukça fazla olacağı aşıkardır.

Bilindiği üzere katı atık düzenli depolama sahalarının tasarımında en az 20 yıllık planlamalar yapılması fizibil olarak kabul edilmektedir. Fakat bu tür bir planlamanın Trabzon ve Rize bölgesi için yapılması oldukça güç hatta imkansızdır. Bu nedenden ötürü Trabzon ve Rize illerinde oluşan katı atıkların bertarafı konusunda termal yöntemler ön plana çıkmaktadır. Fakat ülkemizde evsel katı atıkların bertarafı konusunda herhangi bir

termal yöntem uygulaması bulunmamaktadır. Ülkemizde daha çok endüstriyel tehlikeli atıkların bertarafı için termal yöntemler uygulanmaktadır. Gerek ülke genelinde gerekse Trabzon-Rize illerinde oluşan katı atık karakterizasyonuna bakıldığında kalorifik değer açısından düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Bunun başlıca nedenleri arasında tüketim alışkanlıklarımız ile atıkların toplanmasından kaynaklanan aksaklıklar söylenebilir. Atık karakteristiğinin düşük olması atıkların termal yöntemlerle bertaraf edilmesine engel olmamaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte termal yöntem sistemleri de gelişmekte olup gerek ek yakıt kullanımı gerekse atığın kendi ısıl değeri ile atıklar termal işleme tabi tutulabilmektedirler. Evsel atığın kalorifik değerinin düşük olması sebebiyle termal işlem uygulamalarında maliyetler oldukça önemli boyut kazanmaktadır. Özellikle ülkemizde evsel atık bertarafında bu tarz sistemlerin kullanılmaması maliyet ile doğrudan ilişkilidir. Termal yöntem sistemleri evsel atık bertarafında düzenli depolamaya göre en az 20 kat daha fazla pahalı olup işletme maliyetleri de oldukça fazladır. Ülkemizde atık bertarafı, yerel yönetimler eliyle yapıldığından bu büyüklükte bertaraf maliyetlerini karşılamaya belediyelerimiz gücü yeterli olmamaktadır. Fakat son yıllarda merkezi bütçeden yenilenebilir enerjiye sağlanan teşvikler ile evsel atık bertaraf tesislerinin yaygınlaşması sağlanmıştır. Ülkemizde bulunan düzenli depolama sahalarının büyük çoğunluğu hatta vahşi döküm alanlarına kurulan metan gazından elektrik üretim tesisleriyle birlikte bu alanlardan enerji elde edilmesinin yanı sıra metan gazının atmosfere salınımı engellenerek sera gazı etkisi de önlenmektedir. Son yıllarda yalnızca düzenli depolama sahaları değil artık evsel atıkların termal yöntemlerle bertarafı konusunda da önemli aşamalar kat edilmiştir. Gelişen teknoloji ile birlikte evsel atıklar için özellikle RDF ve endüstriyel atıklarının bertarafında kullanılan termal işlemlerden enerji geri kazanımı da mümkün olmaktadır. Enerji geri kazanımının çok önemli olması ve bu tesislerden üretilen elektriğin teşvikler neticesinde yüksek fiyatlarla Devlet tarafından alım garantisinin verilmesi tür tesislerin hayata geçirilmesinde büyük etken oluşturmaktadır. Söz konusu tesislerin kurulum ve işletme maliyetlerinin çok yüksek olduğu ve yerel yönetimlerin bu giderleri karşılama lüksünün olmadığından yukarıda bahsedilmiştir. Fakat enerji geri kazanımı ve devlet teşvikleriyle birlikte bu enerjinin elektriğe çevrilmesiyle birlikte bu tarz tesislerin kurulum ve işletilmesi, belediyelerin dışında özel sektör yatırımcıları içinde cazip hale gelmektedir.

Düzenli depolama sahası yapılacak alan bulunmasının pek mümkün olmadığı Trabzon ve Rize bölgesinde de evsel atık bertarafı için termal işlemlerin uygulanması

kaçınılmaz görülmektedir. Doğu Karadeniz Bölgesi genellikle, düz alanların nadiren bulunduğu dağlık alanlardır. Yerleşimler bir arada bulunmayıp yayılmış halde bulunmaktadır. Şehir merkezleri dışında yaşayanlar büyük oranda evlerini kendi tarım alanları içinde tesis etmişlerdir. Bu sebeple uygun düzenli depolama yeri bulunamamaktadır.

Bu sebeple TRAB-Rİ-KAB bölgesinde, en ekonomik bertaraf metodu olan, ancak geniş sahalara ihtiyaç duyulan düzenli depolama yerine, geniş sahalara ihtiyaç duyulmayan başka bertaraf metotların kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle yapılan bu çalışmada Trabzon ve Rize bölgesinde oluşan evsel katı atıkların bertarafı için Gazlaştırma yönteminin uygulanabilirliği konusunda araştırmalar yapılmış olup böyle bir tesisin bu bölgeye kurulmasının gerek sosyal yaşam gerekse çevre açısından değerlendirildiğinde nasıl bir katkısının olacağı araştırılmıştır.

5.2. Katı Atık Birliği Kurumsal Yapı

Trabzon ve Rize illerine ait katı atıkların bertarafı için gerekli kurumsal yapı, 27/10/1997 tarih ve 97/10183 Sayılı Bakanlar Kurulu kararı ile Trabzon ve Rize İlleri Yerel Yönetimleri Katı Atık Tesisleri Yapma ve İşletme Birliği (TRAB-Rİ-KAB) olarak kurulmuş olup, 19 kurucu üyesi, daha sonra 88 üyeye ulaştıktan sonra 6360 sayılı kanundan sonra Birliğin, Rize İl Özel İdaresi ile 9 belediyesi ve Trabzon İli Büyükşehir Belediyesi dahil 19 belediye ile birlikte 29 üyesi bulunmaktadır.

Birliğin amacı; Birliği oluşturan Yerel İdarelerin yapmakla görevli ve yükümlü oldukları fakat maddi imkânlarının yetersizliği nedeniyle tek başlarına yerine getiremedikleri veya yerine getirmelerinde güçlük çektikleri; Her türlü çevre kirliliği oluşturan atıkların toplanması, taşınması değerlendirilmesi ve bertarafı ile belirlenecek öncelik sırasına göre diğer çevre alt yapı çalışmalarını ve hizmetlerini, bu çalışmalarını destekleyen ölçme izleme ve bunlarla ilgili gerekli tesislerin yapımını, onarımını ve işletilmesini yapmak veya yaptırmak ve devamlı işletilmesini sağlamaktır.

Birlik tarafından yürütülen Katı Atık Projesi kapsamında Sürmene Çamburnu Mahallesiinde bulunan Düzenli depolama sahasının yanında Of/ Eskipazar, Trabzon Deliklitaş ve Çarşıbaşı Yoroş mevkiinde olmak üzere üç adet aktarma istasyonu bulunmaktadır. Çamburnu Kutlular Düzenli Depolama sahasında 10 yıllığına metan gazından elektrik üreten 2.8 MW/h kurulu yenilenebilir enerji santrali bulunmaktadır.

Deliklitaş transfer istasyonunda ayrıca 5000kg kapasiteli tıbbi atık sterilizasyon tesisi de bulunmaktadır.

5.3. Trabzon-Rize Bölgesi Genel Bilgileri

Trabzon ili, Karadeniz sahili ile Zigana Dağları arasında yer almakta olup yüzölçümü açısından az bir alan kaplamaktadır. 4,685 km²'lik yüzölçümü ile 38° 39'-40° 30' doğu meridyenleri ile 40° 30' ve 41° 30' kuzey paralelleri arasında yer almaktadır. Batısında Giresun'a bağlı Eynesil ilçesi, güneyinde Gümüşhane'ye bağlı Torul ilçesi ve Bayburt, doğusunda da Rize'ye bağlı İkizdere ve Kalkandere ilçeleri, kuzeyi Karadeniz ile çevrilidir. Şehir, dar bir sahil şeridinin ardında denize dikey uzanan dağlık bir araziye sahip Boztepe (antik Minthron tepesi) üzerine kurulmuştur. İlin kıyıda dar bir alanda düzlükler, iç kesimlerde dağlar ve vadilerden oluşması; kıyıda dar alanda olan merkezin dolması nedeniyle yapılaşmanın köylere kadar yoğun bir şekilde yayılmasına sebebiyet vermiştir. Deniz seviyesinden başlayarak güneye doğru artan yükseklik bölgede 3000 metreyi bulur. Yüksek kesimlerde genellikle dağlar, tepeler ve yaylalar yer almaktadır. İl topraklarının % 22,4 yayla, % 77,6 si ise tepelerden oluşmaktadır.

Trabzon ilinde, Karadeniz iklimi hüküm sürer. Yazları serin ve kışları ılık, her mevsim yağışlı geçer. Güneye dağlık bölgeye varıldıkça iklim sertleşir. Kıyıda yağmur olarak görülen yağış yüksek yerlerde kar şekline dönüşür. Senelik yağış miktarı 730 mm ile 1680 mm arasında değişir. Merkez ilçede senede ortalama 3 gün kar yağar ve 7 günü karla örtülü kalır. Senenin 140 günü yağışlı geçer. Şimdiye kadar en soğuk -7,4°C (9 Şubat 1929) ve en sıcak 38,2°C (20 Ağustos 1941) tespit edilmiştir.

Rize ilimizin, batısında Trabzon, doğusunda Artvin, Güneybatısında Bayburt, güneyinde Erzurum illeri bulunur. 3,920 km² yüzölçümü ile 40° 21'-41° 25' doğu boylamları ile 40° 33'-41° 20' kuzey enlemleri arasında yer alır. Şehrin yerleşiminin bir bölümü doğal yapıya uyumlu olarak dağınık biçimde yerleşim düzeni göstermiş, bir bölümü de şehrin merkezinde yer almıştır. Kıyıya paralel, vadilerle bölünmüş yüksek dağlardan oluşan doğal yapı, iklim, orman dokusu yapılanmayı etkilemiştir. Bu nedenle de bölgede özellikle kırsal kesimde dağınık şekilde yerleşim dikkat çekmektedir. Bu dağınık yerleşimden ötürü de evler birbirlerinden oldukça uzak mesafede bulunmaktadır. Rize ilinin iç kesimlerinde, zengin orman dokusu civarında yer alan yaylalar (Ayder, Anzer,

Çat, Elevit ve Handüzü yaylaları) turizm için büyük önem arz etmektedir. Rize ilinin 12 adet ilçesi mevcuttur.

Rize ilinde, yazları ve kışları ılık, her mevsimi bol yağmurlu bir iklim hüküm sürer. Türkiye'nin en çok yağış alan bölgesidir. Kıyıdan uzaklaşıp güneydeki dağlara gittikçe iklim sertleşir. Kafkas Dağları, Rize ilini soğuk kuzey rüzgârlarından korur. Yıllık yağış ortalaması merkez ilçede 2500 mm civarındadır. Yazın nemli kuzey rüzgârları bol yağmur getirir. Senenin 140 günü yağışlıdır. Senenin 10 günü 0°C'nin altında, sadece 3 günü 30°C'nin üstünde olur. Yıllık ısı ortalaması 15°C'dir (Merkez ilçede). Sıcaklık -6,9°C ile 37,9°C arasında seyreder.

5.4. Nüfus Tahminleri

Trabzon ve Rize illerinde yaşanan katı atık sorununun çözümü için kurulacak gazlaştırma tesisinin Trabzon ve Rize illerin de önümüzdeki 30 yıllık süre zarfında oluşacak katı atık miktarının belirlenerek dizayn edilmesi gerekmektedir. Oluşacak katı atık miktarının belirlenmesinde ise birinci öncelik nüfus tahminlerinin yapılması gerekmektedir.

Nüfus tahminleri için illerin sosyo-ekonomik durumu ve bölgesel özellikleri dikkate alınarak çeşitli matematiksel yöntemlerden elde edilen sayısal sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu amaçla, İller Bankası yöntemi, Aritmetik Artış Yöntemi ve Geometrik Artış Yöntemi gibi farklı yöntemlerle gelecekteki nüfus hesaplanmıştır. İller Bankası'nın belirlediği yöntem, bu yöntemler içinde en uygun yöntem olarak bulunarak TRAB-RI-KAB' a üye belediyeler için gelecek nüfus öngörüsü yapılmıştır. Birliğin 2016 yılındaki toplam nüfusu 1.028.144'dür.

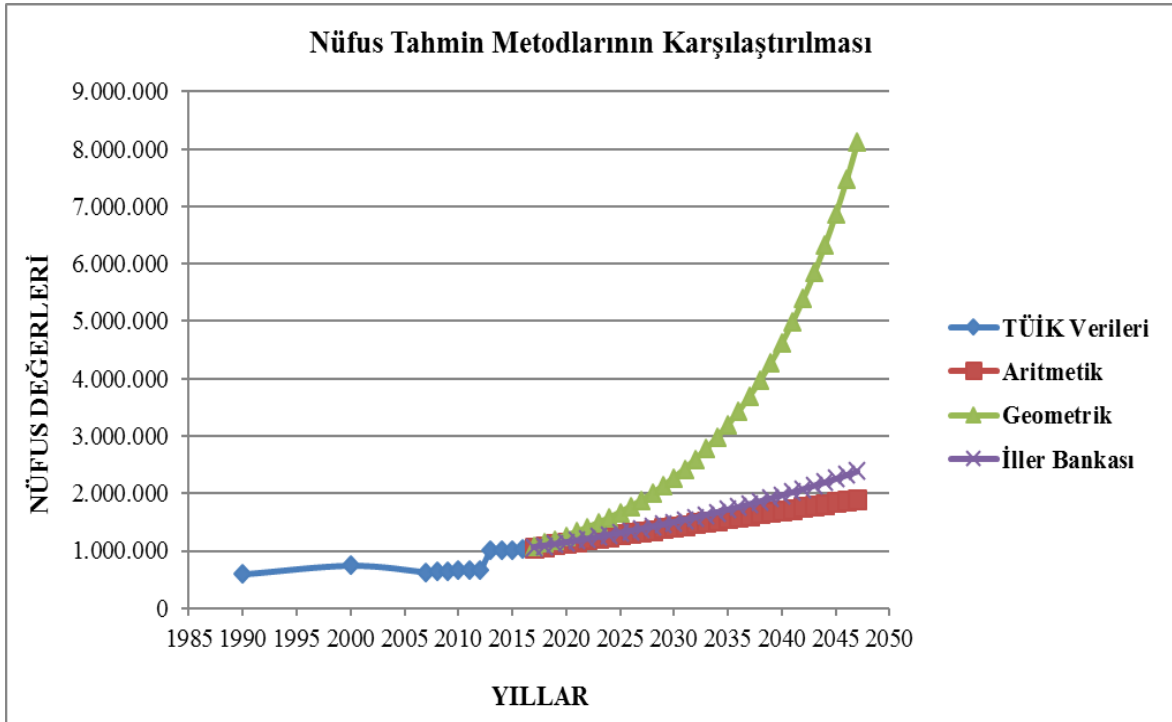
5.4.1. Nüfus Projeksiyonlarının Karşılaştırılması

Nüfus tahminleri için illerin sosyo-ekonomik durumu ve bölgesel özellikleri dikkate alınarak İller Bankası yöntemi, aritmetik artış yöntemi ve geometrik artış yöntemi ile elde edilen sayısal sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu amaçla, birkaç farklı yöntemle gelecekteki nüfus hesaplanmıştır. İller Bankası'nın belirlediği yöntem, bu yöntemler içinde en uygun yöntem olarak bulunarak gelecek nüfus öngörüsü yapılmıştır.

Tablo 5.1. TRABRİKAB nüfus projeksiyonu sonuçları

Yıllar	Aritmetik Artış Yöntemine Göre Nüfus	Geometrik Artış Yöntemine Göre Nüfus	İller Bankası Yöntemine Göre Nüfus
1990	596.164	596.164	596.164
2000	745.613	745.613	745.613
2007	631.929	631.929	631.929
2008	633.988	633.988	633.988
2009	649.434	649.434	649.434
2010	657.328	657.328	657.328
2011	663.628	663.628	663.628
2012	668.903	668.903	668.903
2013	1.009.341	1.009.341	1.009.341
2014	1.014.949	1.014.949	1.014.949
2015	1.016.088	1.016.088	1.016.088
2016	1.028.144	1.028.144	1.028.144
2017	1.056.385	1.079.717	1.055.889
2018	1.084.626	1.135.191	1.084.426
2019	1.112.867	1.194.912	1.113.782
2020	1.141.108	1.259.255	1.143.973
2021	1.169.349	1.328.632	1.175.024
2022	1.197.590	1.403.501	1.206.965
2023	1.225.831	1.484.360	1.239.823
2024	1.254.072	1.571.761	1.273.623
2025	1.282.313	1.666.314	1.308.395
2026	1.310.554	1.768.684	1.344.163
2027	1.338.795	1.879.610	1.380.955
2028	1.367.036	1.999.904	1.418.803
2029	1.395.277	2.130.469	1.457.741
2030	1.423.518	2.272.290	1.497.799
2031	1.451.759	2.426.468	1.539.008
2032	1.480.000	2.594.213	1.581.402
2033	1.508.241	2.776.866	1.625.016
2034	1.536.482	2.975.912	1.669.887
2035	1.564.723	3.192.989	1.716.050
2036	1.592.964	3.429.919	1.763.549
2037	1.621.205	3.688.722	1.812.417
2038	1.649.446	3.971.634	1.862.694
2039	1.677.687	4.281.135	1.914.424
2040	1.705.928	4.619.980	1.967.647
2041	1.734.169	4.991.228	2.022.408
2042	1.762.410	5.398.282	2.078.754
2043	1.790.651	5.844.913	2.136.729
2044	1.818.892	6.335.325	2.196.385
2045	1.847.133	6.874.193	2.257.765
2046	1.875.374	7.466.720	2.320.922
2047	1.903.615	8.118.699	2.385.911

Nüfus tahmin metotlarını sonuçları tek bir grafik üzerinde aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Geçmiş yılların nüfus sayım sonuçlarının oluşturduğu eğrinin eğimi tüm metotlara göre yapılan nüfus projeksiyonlarının oluşturduğu eğimlerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda en yakın eğime sahip eğri İller Bankası metodu olarak belirlendiğinden kurulması planlanan gazlaştırma tesisi ve mekanik biyolojik ayırma tesisinin nüfus projeksiyonlarında “İller Bankası” metodunun kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 5.1. Nüfus tahmin metotlarının karşılaştırılması

Kurulması planlanan gazlaştırma tesisinin tasarımında oluşacak atık miktarları oldukça önem arz etmektedir. Oluşması muhtemel atık miktarları da nüfus miktarı ile doğru orantılı olduğu göz önüne alınarak yapılan değerlendirme sonucunda gazlaştırma tesisi tasarımında kullanılacak nüfus değerleri Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Projede kullanılacak nüfus değerleri

Yıllar	İller Bankası Yöntemine Göre Nüfus
2016	1.028.144
2017	1.055.889
2018	1.084.426
2019	1.113.782
2020	1.143.973
2021	1.175.024
2022	1.206.965
2023	1.239.823
2024	1.273.623
2025	1.308.395
2026	1.344.163
2027	1.380.955
2028	1.418.803
2029	1.457.741
2030	1.497.799
2031	1.539.008
2032	1.581.402
2033	1.625.016
2034	1.669.887
2035	1.716.050
2036	1.763.549
2037	1.812.417
2038	1.862.694
2039	1.914.424
2040	1.967.647
2041	2.022.408
2042	2.078.754
2043	2.136.729
2044	2.196.385
2045	2.257.765
2046	2.320.922
2047	2.385.911

5.5. Yıllara Dayalı Birim Atık Miktarları

Bu bölüm, Trabzon ve Rize illerinde gelecekte üretilecek katı atık miktarlarını ve karakterizasyonunu, atık geri kazanım hedeflerini ve düzenli depolama tesisine gönderilecek atık miktarlarını içermektedir.

TÜİK 2014 verilerine göre kişi başına katı atık oluşumu Trabzon için 0,67 kg/kişi-gün, Rize için 0,97 kg/kişi-gün değerleri verilmiştir. Bu değerler anket ile tespit edilmiştir. Ancak TRABRİKAB'da tüm atıklar hali hazırda tamamı tartılarak Kutlular düzenli depolama alanına gönderilmektedir. Bu veriler tartıma dayalı gerçek veriler olduğundan

bundan sonraki hesaplarda dikkate alınacaktır. Bu çalışmada yer alan Trabzon ve Rize illerine ait yıllık atık miktarları ve birim atık oluşum verileri ile bu veriler baz alınarak hesaplanan toplam atık miktarı ve birim atık oluşum miktarı Tablo 5.3’de verilmiştir.

Tablo 5.3. Trabzon ve Rize illerine ait yıllık atık miktarları ve birim atık oluşum verileri

	Nüfus (kişi)	Atık (ton/yıl)	Birim Atık (kg/gün)
Trabzon	766.782	205.728	0,735
Rize	329.779	73.280	0,610
TRABRİKAB	1.014.949	260.982	0,704

TRABRİKAB’a üye belediyelerde günlük kişi başı 0,704 kg atık oluştuğu hesaplanmıştır. Bu veri baz alınarak gelecekteki birim atık oluşumu tahminleri hesaplanarak Tablo 5.4’de verilmiştir. Yapılan çalışmanın bundan sonraki kısmında atık hesaplamalarında bu değerler kullanılacaktır.

Tablo 5.4. Birim atık oluşum tahminleri

Yıllar	Birim Atık Oluşum Tahminleri, kg/kişi.gün	Birim Atık Oluşumunun Artışı, %
2014	0,70449	
2015	0,71153	1
2016	0,71865	1
2017	0,72584	1
2018	0,73309	1
2019	0,74042	1
2020	0,74783	1
2021	0,75531	1
2022	0,76286	1
2023	0,77049	1
2024	0,77819	1
2025	0,78598	1
2026	0,79187	0,75
2027	0,79781	0,75
2028	0,80379	0,75
2029	0,80982	0,75
2030	0,8159	0,75
2031	0,81997	0,5
2032	0,82407	0,5
2033	0,8282	0,5
2034	0,83234	0,5
2035	0,8365	0,5
2036	0,83859	0,25
2037	0,84069	0,25
2038	0,84279	0,25
2039	0,84489	0,25
2040	0,84701	0,25
2041	0,84701	0
2042	0,84701	0
2043	0,84701	0
2044	0,84701	0
2045	0,84701	0
2046	0,84701	0
2047	0,84701	0

Trabzon ve Rize illerinde üretilen evsel katı atık miktarları yıl içerisinde mevsimlere göre farklılık göstermektedir. Özellikle Trabzon ve Rize illerinin buldukları coğrafi bölge dolayısıyla turizm etkisi ve yetiştirilen tarım ürünleri göz önüne alındığında yaz aylarında atık miktarlarında ciddi artışlar meydana gelmektedir. Bölgede yapılan çay ve fındık tarımı dolayısıyla bu ürünlerin hasat zamanında illerin genelinde yaz aylarında gözle

görülür düzeyde nüfus artışı gözlenmektedir. Bunun yanı sıra bölgenin turizm potansiyelinin son yıllarda oldukça fazla artış göstermesi nedeniyle de atık oluşumu ciddi miktarda artmaktadır.

5.6. Atık Karakterizasyonu

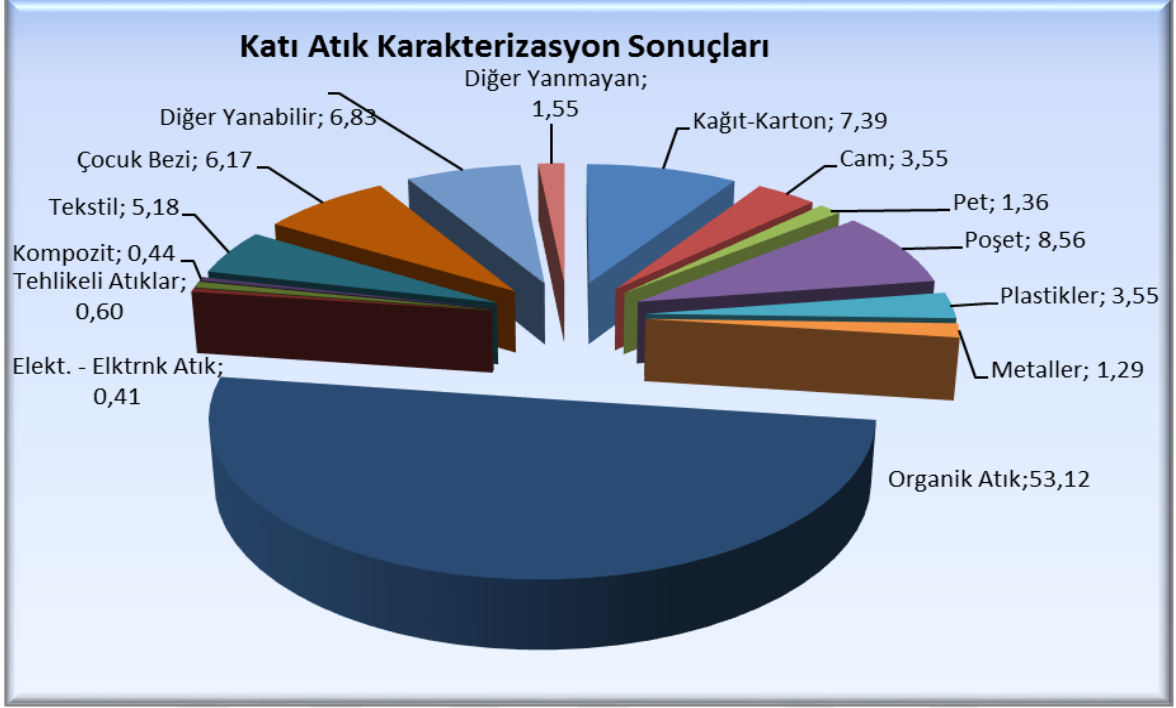
Atık yönetimi çalışmalarında atılacak ilk adım atık özelliklerinin belirlenmesidir. Atık miktarı, atık yoğunluğu, madde grup analizi, nem muhtevası, kızdırma kaybı, kalorifik değeri ve bir takım elementel analizler atık karakteristiğinin yansıtan en temel özelliklerdendir. Bu bölümde Trabzon-Rize illeri için atık karakteristiğinin belirlenmesine yönelik saha çalışması ve laboratuvar analizleri değerlendirilmiştir.

Bu analizlerin birçok açıdan önemi vardır. Atıkların termal işlemlerle bertarafında ve enerji elde edilmesi gibi bazı yararlı kullanımlarının düşünülmesi durumunda, atık içerisindeki yanabilir kısım ile organik madde miktarının bilinmesi gerekir. Dolayısıyla katı atıktan bazı maddelerin geri dönüşümü planlandığında ya da gazlaştırma ile enerji kazanımı söz konusu olduğunda, katı atık bileşenlerinin iyi bilinmesi gerekir.

Bu amaçla karakterizasyon çalışmasında, bölgede karışık toplama yapıldığı bilindiğinden ve toplanan tüm evsel atıkların aktarma istasyonları sonrası düzenli depolama sahasına geldiği dikkate alınarak numune alma işlemi hem Deliklitaş, Of-Eskipazar ve Çarşıbaşı aktarma istasyonunda hem de katı atık düzenli depolama sahasında gerçekleştirilmiştir. Aktarma istasyonlarında yapılan söz konusu çalışmalar Birliğe üye her bir belediye için ayrı ayrı yapılarak ilçelerimizin coğrafi ve gelişmişlik düzeyleri de göz önünde tutularak katı atık bileşimleri incelenmiştir (Ek.1, Ek.2, Ek3).

Atık muhtevasına sosyo-ekonomik etkinin araştırılmasında merkez ve taşra yerleşiminin atık üzerine etkisi dikkate alınmıştır. Bu etkinin araştırılması için alınan 24 numunenin 14'ü merkez ilçelerden, 10'u merkez dışı ilçe-beldelerden atık getiren araçlardan alınmıştır. Aktarma istasyonu bazlı numune sayılarına atık tonajları dikkate alınarak karar verilmiştir. Numune alınan her bir araç için atığın geldiği belediye ve taşıdığı atık miktarı verileri alınmıştır. Sahada yapılan çalışmada Madde-Grup sınıflandırması (ayırma) işlemi için toplamda yaklaşık 615.360 kg atık üzerinden çalışma yapılmış olup homojen karıştırma yapılarak her bir numune 0,5 m³ olacak şekilde alınmış ve toplamda yaklaşık 3.036 kg atıkta ayırma işlemi yapılmıştır. Serbest atık yoğunluğu ortalama 253 kg/m³ olarak bulunmuştur. Bulunan bu değer bölgenin coğrafi yapısı

nedeniyle yağışlı mevsimlerde nem muhtevasına paralel olarak artış göstermesi muhtemel olacaktır.



Şekil 5.2. Yapılan karakterizasyon çalışması sonuçları



Şekil 5.3. Yapılan karakterizasyon çalışması görüntüleri

Karakterizasyonla ilgili yapılan çalışmalar sonbaharda yapılmıştır. Soğuk hava şartlarının başlamamış olması atık içerisindeki kül miktarının düşük olması ile doğrudan ilişkilidir. Bu durum kül bileşenin üst kategorisi olan diğer yanmayan bileşenin çok düşük çıkmasına neden olmuştur. Çalışma yapılan bölge Türkiye'nin en çok yağış alan bölgelerindedir. Açık konteynır sistemi ile toplama yapılan bölgelerde, yağışlı dönemlerde, su tutma kapasitesi yüksek olan biyobozunur atık, tekstil, çocuk bezi, kağıt-karton gibi bileşenlerin ağırlıkça artış olması muhtemeldir.

Sosyal refah seviyesinin yükselmesiyle birlikte artan ambalajlı ürün tüketiminin doğal sonucu olarak atık içerisindeki ambalaj değeri yüksek bulunmaktadır. Tüm numunelerin ağırlıklı ortalama değerleri dikkate alındığında kâğıt-karton, cam, pet, plastikler, metaller, elektrik ve elektronik atıklardan oluşan toplamda %17,55'lik atık geri kazanım potansiyeline sahiptir. Ayrıca %8,56 ağırlıkça ortalama değere sahip olan poşetler, ağırlıklı olarak evsel atıkların toplanması amacıyla kullanıldığı için kaynakta ayrı toplanma potansiyeli yoktur. Bu atıklar gazlaştırma tesisinden önce kurulacak mekanik

biyolojik ayrıştırma tesisinde ayrıldıktan sonra ekonomik bir değer olarak değerlendirilebilir. Ancak bu atıkların ekonomik değeri plastik atıklara oranla oldukça düşüktür.

Yapılan analizler değerlendirildiğinde atığın yanabilir muhtevasının ağırlıkça ortalama yaklaşık %90 gibi önemli değere sahip olduğu görülmektedir. Bu nedendir ki atık yönetiminde ve özellikle Karadeniz Bölgesi gibi düzenli depolama sahalarının bulunmasının çok zor olduğu bölgelerde tercih sebebi olarak belirlenen gazlaştırma tesisi açısından bu değer önem arz etmektedir. Her ne kadar ülkemiz genelinde gazlaştırma işlemi, atık kompozisyonun içindeki organik madde yüzdesinin yüksekliği, kışın artan kül oranı, buna bağlı olarak çöp (kalorifik değerinin düşük olması 1000kcal/kg) ve ayrıca yüksek yatırım, işletme maliyetleri nedeni ile uygun bir bertaraf yöntemi olarak görülmesi dahi son yıllarda bu konuda yapılan çalışmalar hız kazanmıştır.

Katı atık yönetiminin sağlıklı bir şekilde uygulanabilmesi ve gazlaştırma tesisi ile birlikte mekanik biyolojik ayrıştırmanın aksamadan çalışması için sağlıklı ve periyodik olarak atık karakterizasyon verileri yapılmalıdır. Yapılan çalışma sonucu elde edilen laboratuvar analizleri sadece bir mevsimi (yağışsız) temsil etmektedir. Yapılan değerlendirmeler sadece bu çalışmaya özgü olup atık karakterizasyon sonuçlarının atık yönetimi açısından da yol gösterici olacaktır.

Karakterizasyon çalışması sırasında alınan numuneler için atık özelliklerine ait laboratuvar analiz sonuçları Tablo 5.5’de verilmiştir. Buna göre 24 numune için ortalama su muhtevası %50,6 bulunmuştur. Çalışma Ekim ayında yapılmış olmasına rağmen çalışma süresince ve öncesinde (2-3 haftalık periyod) önemli bir yağış olmamıştır. Bu nedenle, su muhtevası değerinin beklenen değerden daha düşük olduğu görülmüştür. Nem muhtevası atık yönetimi ve seçilecek bertaraf teknolojileri açısından büyük öneme sahiptir.

Gazlaştırma tesisinin işletilmesi sırasında atığın nem muhtevası oldukça önemlidir. Atıkların termal yöntemlerle bertarafında yanma olayının gerçekleşmesi ve üretilecek enerji miktarının yüksek olması için atığın ısı değeri de yüksek olması gerekir. Bu nedenle nem muhtevası oldukça önem arz etmektedir. Bilindiği üzere termal sistem tesislerinin kurulum ve işletme maliyetleri oldukça yüksektir. Özellikle işletme maliyetleri açısından atığın gazlaştırılarak yakılması sırasında ek yakıt ihtiyacının düşürülmesi son derece önemlidir. Bu durumda atığın yanabilirliği ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle toplanan atıkların su muhtevasının oldukça düşük olması gerekir. Bu durumu sağlamak için ise özellikle yağışlı dönemde atık toplama (konteynır) sistemlerinde gerekli

önlemlerin alınarak nem miktarının kontrol edilmesi önemlidir. Trabzon ve Rize bölge geneline bakıldığında coğrafi durumdan ötürü zaten nemli olan atıkların yanında toplama sisteminde meydana gelebilecek aksaklıklardan ötürü yağmur suları ile de ıslanması istenen bir durum değildir.

Evsel atık yakmanın gerçekleşmesi için katı atıkların nem, organik madde ve inorganik madde muhtevalarının belirli oranlarda olması gerekir. Kül ve cüruf muhtevası %60 tan az yanabilen organik miktarı %25 ten fazla nem oranı %50 den az olan katı atıklar yanabilir olarak kabul edilir.

Tablo 5.5. Laboratuvar analizleri sonuçları

TARİH	NUMUNE	NEM %	ÜST KALORİ- Kcal/Kg	ALT KALORİ- Kcal/Kg	Loi %
08.10.2017	1-T-M	52,7	3554	1373	77,8
	2-T-M	56,7	4166	1474	88,3
	3-R-M	52	4582	1897	90,5
	4-O-M	38	4062	2294	85,4
	5-T-M	53,4	3912	1511	84,1
	6-Ç-D	54,7	4380	1666	86
	7-O-D	55,8	4369	1605	86,9
	8-T-D	59,8	4130	1309	86
	9-R-M	50,9	4127	1727	89,3
	10-T-M	42,3	3840	1969	83,2
	11-T-D	48	3925	1760	81,4
	12-R-M	49	3340	1418	81,7
09.10.2017	13-T-M	43,5	3893	1943	85,6
	14-T-M	48,6	4089	1818	88,3
	15-T-M	47	3969	1828	83,5
	16-Ç-D	54,4	3499	1279	78,4
	17-O-D	49,4	3670	1567	77,3
	18-R-M	64,1	3975	1050	88
	19-T-M	56,1	4100	1471	88,6
	20-O-D	37	4053	2339	87,8
	21-R-M	41,9	4353	2284	92,3
	22-T-D	53,7	4027	1550	89
	23-T-D	48,7	3947	1739	88,4
	24-R-M	55,9	4157	1506	79,9
ORTALAMA		50,6	4004,7	1682,4	85,3

Kentsel atıklarda üst kalorifik değerinin 2.500-5.000 kcal/kg mertebelerindedir. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlarda Atık üst kalorifik değerlerinin normal seviyelerde (3.340-4.582 kcal/kg) olduğu görülmektedir. Atık alt kalorifik değeri, atık nem muhtevasının ters orantılı bir fonksiyonu olduğundan elde edilen %50,6 nem muhteva değeri ile ortalama alt kalorifik değeri 1.682 kcal/kg atık olarak bulunmuştur. Bu değer nem muhtevastaki yağışlı mevsimlerdeki muhtemel artışla beraber azalacaktır. Aynı numuneler için ortalama nem muhtevası % 60 olması durumunda alt kalorifik değeri yaklaşık olarak 1.250 kcal/kg olarak hesaplanmaktadır.

Alt kalorifik değer hesaplarında aşağıdaki formül kullanılmıştır.

Alt Kalorifik Değer Hesaplama Formülü: $H_u = (H_o * ((100-w)/100)) - (5,85w)$

$H_u =$ Alt kalorifik değer(kcal/kg)

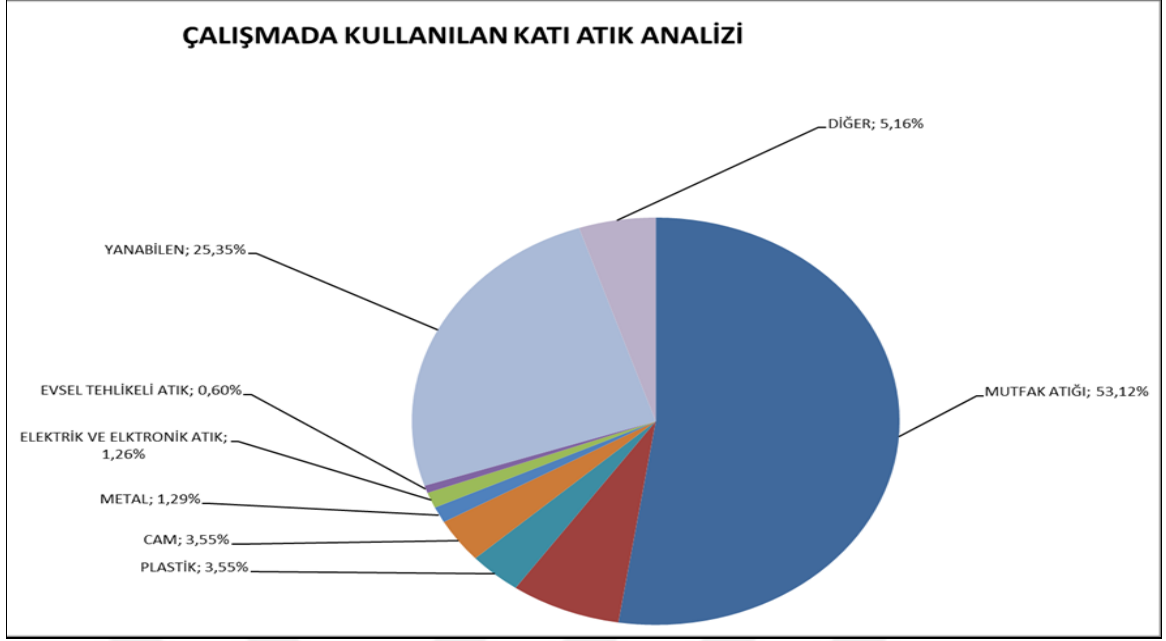
$H_o =$ Üst kalorifik değer(kcal/kg)

$w =$ Su muhtevası(%)

Elde edilen alt kalorifik değer termal yöntemler açısından önemlidir. Harici ek yakıt kullanmaksızın kentsel atıkların yakma teknolojisi ile bertarafı için atık alt kalorifik değeri min 1.500-1.600 kcal/kg atık mertebesinde olması gerekmektedir.

Atık içerisindeki uçucu organik maddelerin yüzdesel olarak bir göstergesi olan kızdırma kaybı %85,3 gibi yüksek oranda bulunmuştur. Bu değer hem termal hem de biyolojik yöntemler açısından yüksek olması istenmektedir. Kızdırma kaybı değeri inert muhteva ile ters orantılıdır. İntert atıklar termal ve biyolojik sistemlerde verim düşmesi ve iletim hatlarında tıkanma gibi en temel işletme problemlerine sebep olduğundan mümkün mertebe ayrı bir yönetim sistemi olmalıdır.

Trabrikab'a ait aktarma istasyonları ile düzenli depolama sahasında yapılan karakterizasyon çalışmaları sonucunda ve Ek1, Ek2 ve Ek3'de verilen tabloların değerlendirilmesi sonucunda aşağıdaki Tablo 5.6 elde edilmiştir. Trabzon ve Rize illeri için düşünülen gazlaştırma tesisinin dizaynında kullanılmak üzere Tablo 5.6'da verilen değerler baz alınmıştır.



Şekil 5.4. Çalışmada kullanılacak atık bileşimi grafiği

Tablo 5.6. Çalışmada kullanılacak atık bileşimi

Bileşenler	Ortalama
Organik	53.12 %
Kağıt-Karton	7.39 %
Plastik	3.55 %
Cam	3.55 %
Metal	1.29 %
Yanabilir	25,35%
Evsel Tehlikeli atık	0.60 %
Diğer	5,16 %
TOPLAM	100,00 %

5.7. Oluşacak Atık Miktarları

Yukarıda hesaplanan tablolar ışığında Trabzon ve Rize illerinde birim atık oluşum tahminleri ve toplam gelecekteki nüfus değerleri üzerinden günlük ve yıllık atık miktarları hesaplanmış olup Tablo 5.7 ve Tablo 5.8’de verilmektedir.

Tablo 5.7. Günlük ve yıllık atık miktarları

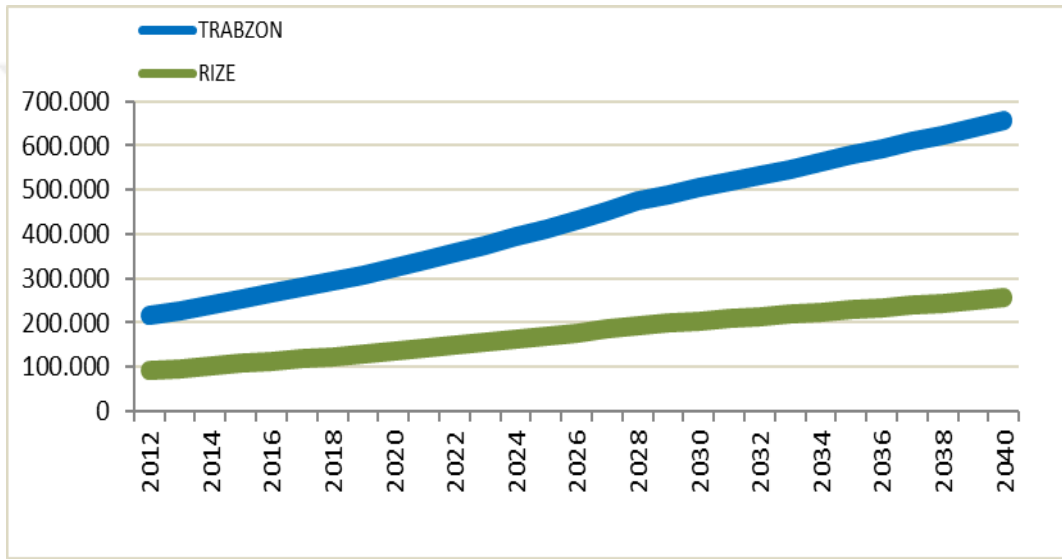
Yıllar	Günlük Atık Oluşumu, kg/gün	Yıllık Atık Miktarı ton/yıl	Yıllar	Günlük Atık Oluşumu, kg/gün	Yıllık Atık Miktarı ton/yıl
2014	715.020	260.982	2031	1.261.948	460.611
2015	722.981	263.888	2032	1.303.193	475.666
2016	738.875	269.689	2033	1.345.830	491.228
2017	766.402	279.737	2034	1.389.907	507.316
2018	794.986	290.170	2035	1.435.472	523.947
2019	824.672	301.005	2036	1.478.893	539.796
2020	855.496	312.256	2037	1.523.673	556.141
2021	887.504	323.939	2038	1.569.855	572.997
2022	920.746	336.072	2039	1.617.486	590.382
2023	955.270	348.674	2040	1.666.610	608.313
2024	991.126	361.761	2041	1.712.993	625.242
2025	1.028.367	375.354	2042	1.760.718	642.662
2026	1.064.403	388.507	2043	1.809.823	660.585
2027	1.101.739	402.135	2044	1.860.352	679.029
2028	1.140.424	416.255	2045	1.912.341	698.005
2029	1.180.510	430.886	2046	1.965.836	717.530
2030	1.222.047	446.047	2047	2.020.882	737.622

Tablo 5.8. Karakterizasyon özelliklerine göre atık bileşimi miktarları (kg/gün)

Yıllar	Biyobozunur Atık - Mutfak Atığı (B)	Kağıt – Karton (K)	Plastik (P)	Cam (C)	Metal (M)	Yanabilir (Y)	Evsel Tehlikeli Atık (T)	Diğer (D)	Toplam (A)
2014	379.797	52.842	25.398	25.367	9.224	181.234	4.290	36.869	715.020
2015	384.025	53.430	25.681	25.650	9.326	183.251	4.338	37.279	722.981
2016	392.467	54.605	26.246	26.213	9.531	187.280	4.433	38.099	738.875
2017	407.089	56.639	27.223	27.190	9.887	194.257	4.598	39.518	766.402
2018	422.272	58.751	28.239	28.204	10.255	201.502	4.770	40.992	794.986
2019	438.040	60.945	29.293	29.257	10.638	209.027	4.948	42.523	824.672
2020	454.413	63.223	30.388	30.351	11.036	216.840	5.133	44.112	855.496
2021	471.415	65.589	31.525	31.486	11.449	224.953	5.325	45.763	887.504
2022	489.072	68.045	32.706	32.666	11.878	233.378	5.524	47.477	920.746
2023	507.410	70.597	33.932	33.891	12.323	242.129	5.732	49.257	955.270
2024	526.455	73.246	35.206	35.163	12.786	251.217	5.947	51.106	991.126
2025	546.237	75.999	36.529	36.484	13.266	260.657	6.170	53.026	1.028.367
2026	565.378	78.662	37.809	37.762	13.731	269.791	6.386	54.884	1.064.403
2027	585.210	81.421	39.135	39.087	14.212	279.254	6.610	56.810	1.101.739
2028	605.758	84.280	40.509	40.459	14.711	289.059	6.843	58.804	1.140.424
2029	627.050	87.242	41.933	41.882	15.229	299.220	7.083	60.871	1.180.510
2030	649.114	90.312	43.409	43.355	15.764	309.748	7.332	63.013	1.222.047
2031	670.308	93.261	44.826	44.771	16.279	319.862	7.572	65.070	1.261.948
2032	692.216	96.309	46.291	46.234	16.811	330.316	7.819	67.197	1.303.193
2033	714.863	99.460	47.805	47.747	17.361	341.123	8.075	69.396	1.345.830
2034	738.276	102.717	49.371	49.310	17.930	352.295	8.339	71.669	1.389.907
2035	762.478	106.085	50.990	50.927	18.518	363.844	8.613	74.018	1.435.472
2036	785.542	109.294	52.532	52.467	19.078	374.850	8.873	76.257	1.478.893
2037	809.328	112.603	54.123	54.056	19.655	386.200	9.142	78.566	1.523.673
2038	833.858	116.016	55.763	55.695	20.251	397.906	9.419	80.947	1.569.855
2039	859.158	119.536	57.455	57.384	20.866	409.979	9.705	83.403	1.617.486
2040	885.251	123.166	59.200	59.127	21.499	422.430	10.000	85.936	1.666.610
2041	909.889	126.594	60.848	60.773	22.098	434.186	10.278	88.328	1.712.993
2042	935.239	130.121	62.543	62.466	22.713	446.283	10.564	90.789	1.760.718
2043	961.322	133.750	64.287	64.208	23.347	458.730	10.859	93.321	1.809.823
2044	988.161	137.484	66.082	66.001	23.999	471.537	11.162	95.926	1.860.352
2045	1.015.776	141.326	67.929	67.845	24.669	484.715	11.474	98.607	1.912.341
2046	1.044.191	145.280	69.829	69.743	25.359	498.274	11.795	101.365	1.965.836
2047	1.073.430	149.348	71.784	71.696	26.069	512.226	12.125	104.204	2.020.882

Yukarıdaki Tablo 5.8 ile düzenli depolama ve bertaraf tesislerine kabul edilecek atık miktarları belirlenmiştir. Tehlikeli atıklar mevzuat gereği tesise kabul edilmeyecektir. Tesise kabul edilecek atıklardan öncelikle kağıt-karton, plastik, cam ve metal atıklar mekanik ayırma ile ayrılarak geri dönüşümü sağlanacaktır. Biyobozunur Atık - Mutfak Atığı ve yanabilir atıklar 800 ton/gün kapasiteli gazlaştırma tesisinde bertaraf edilecek olup kalan atıklar ve gazlaştırma sonrası oluşan inert atıkların ise düzenli depolanması

sağlanacaktır. Gazlaştırma tesisinin tasarımı 200 ton/gün'lük modüler olarak tasarlanmaktadır. Yapılan nüfus ve katı atık oluşum tahminlerine göre Trabzon ve Rize illerinde oluşan atık miktarları göz önünde bulundurulduğunda 2025 yılında oluşan atık miktarı 800 ton/günü geçeceğinden ilk aşamada kurulması planlanan gazlaştırma tesisinin kapasitesi yetersiz kalacağı görülmektedir. Dolayısıyla gazlaştırma tesisi 2025 yılında 1.000 t/gün kapasiteye, 2032 yılında 1.400 t/gün kapasiteye ve 2043 yılında 1.600 t/gün kapasiteye çıkarılması öngörülmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda gazlaştırma tesisine kabul edilecek atık miktarları Tablo 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.5. Trabzon ve Rize yıllık KKA üretim tahminleri

Tablo 5.9. Gazlaştırma tesisine kabul edilecek atık miktarları

Yıllar	Günlük Atık Oluşumu, kg/gün,(A)	Kağıt – Karton (kg/gün) (K)	Plastik (kg/gün) (P)	Cam (kg/gün) (C)	Metal (kg/gün) (M)	Evsel Tehlikeli Atık (kg/gün) (T)	Diğer (kg/gün) (D)	Biyobozunur Atık - Mutfak Atığı (kg/gün) (B)	Yanabilir (kg/gün) (Y)	Toplam (A-P-C-M-T-D), (B+Y)(kg/gün)	**Toplam (A-P-C-M-T-D), (B+Y) (ton/yıl)	Gazlaştırma Tesisi Kapasitesi (kg/gün)
2020	855.496	63.223	30.388	30.351	11.036	5.133	44.112	454.413	216.840	671.253	245.007	800.000
2021	887.504	65.589	31.525	31.486	11.449	5.325	45.763	471.415	224.953	696.367	254.174	800.000
2022	920.746	68.045	32.706	32.666	11.878	5.524	47.477	489.072	233.378	722.450	263.694	800.000
2023	955.270	70.597	33.932	33.891	12.323	5.732	49.257	507.410	242.129	749.539	273.582	800.000
2024	991.126	73.246	35.206	35.163	12.786	5.947	51.106	526.455	251.217	777.672	283.850	800.000
2025	1.028.367	75.999	36.529	36.484	13.266	6.170	53.026	546.237	260.657	806.893	294.516	1.000.000
2026	1.064.403	78.662	37.809	37.762	13.731	6.386	54.884	565.378	269.791	835.169	304.837	1.000.000
2027	1.101.739	81.421	39.135	39.087	14.212	6.610	56.810	585.210	279.254	864.464	315.529	1.000.000
2028	1.140.424	84.280	40.509	40.459	14.711	6.843	58.804	605.758	289.059	894.817	326.608	1.000.000
2029	1.180.510	87.242	41.933	41.882	15.229	7.083	60.871	627.050	299.220	926.270	338.089	1.000.000
2030	1.222.047	90.312	43.409	43.355	15.764	7.332	63.013	649.114	309.748	958.862	349.985	1.000.000
2031	1.261.948	93.261	44.826	44.771	16.279	7.572	65.070	670.308	319.862	990.169	361.412	1.000.000
2032	1.303.193	96.309	46.291	46.234	16.811	7.819	67.197	692.216	330.316	1.022.532	373.224	1.400.000
2033	1.345.830	99.460	47.805	47.747	17.361	8.075	69.396	714.863	341.123	1.055.986	385.435	1.400.000
2034	1.389.907	102.717	49.371	49.310	17.930	8.339	71.669	738.276	352.295	1.090.571	398.058	1.400.000
2035	1.435.472	106.085	50.990	50.927	18.518	8.613	74.018	762.478	363.844	1.126.322	411.108	1.400.000
2036	1.478.893	109.294	52.532	52.467	19.078	8.873	76.257	785.542	374.850	1.160.392	423.543	1.400.000
2037	1.523.673	112.603	54.123	54.056	19.655	9.142	78.566	809.328	386.200	1.195.528	436.368	1.400.000
2038	1.569.855	116.016	55.763	55.695	20.251	9.419	80.947	833.858	397.906	1.231.764	449.594	1.400.000
2039	1.617.486	119.536	57.455	57.384	20.866	9.705	83.403	859.158	409.979	1.269.137	463.235	1.400.000
2040	1.666.610	123.166	59.200	59.127	21.499	10.000	85.936	885.251	422.430	1.307.681	477.304	1.400.000
2041	1.712.993	126.594	60.848	60.773	22.098	10.278	88.328	909.889	434.186	1.344.075	490.587	1.400.000
2042	1.760.718	130.121	62.543	62.466	22.713	10.564	90.789	935.239	446.283	1.381.522	504.256	1.400.000
2043	1.809.823	133.750	64.287	64.208	23.347	10.859	93.321	961.322	458.730	1.420.052	518.319	1.600.000
2044	1.860.352	137.484	66.082	66.001	23.999	11.162	95.926	988.161	471.537	1.459.699	532.790	1.600.000
2045	1.912.341	141.326	67.929	67.845	24.669	11.474	98.607	1.015.776	484.715	1.500.491	547.679	1.600.000
2046	1.965.836	145.280	69.829	69.743	25.359	11.795	101.365	1.044.191	498.274	1.542.465	563.000	1.600.000
2047	2.020.882	149.348	71.784	71.696	26.069	12.125	104.204	1.073.430	512.226	1.585.656	578.764	1.600.000

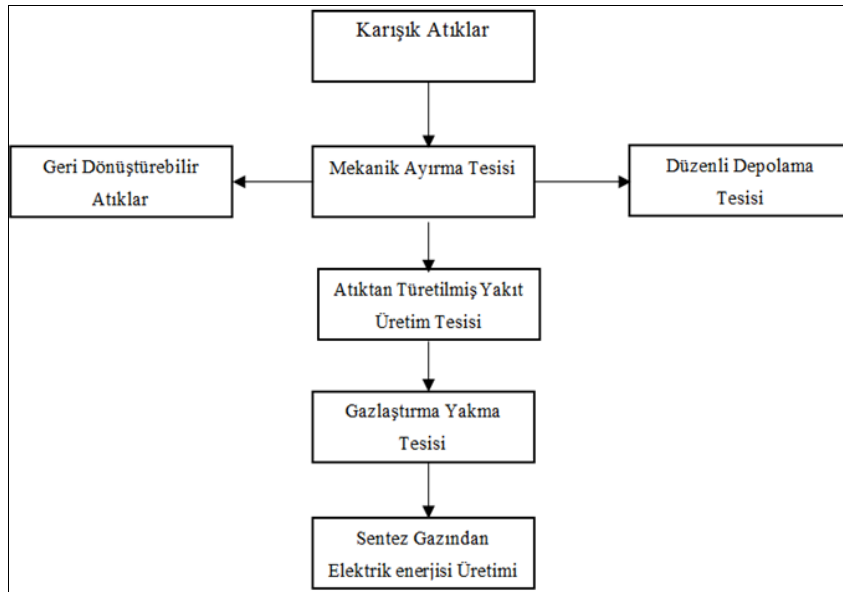
**Gazlaştırma tesisine geri dönüştürülebilir atıklar (kağıt-karton, plastik, cam ve metal), evsel tehlikeli atıklar ve diğer atıklar kabul edilmeyecek olup, biyobozunur atık - mutfak atığı ve yanabilir atıklar kabul edilecektir.

5.8. Kurulması Planlanan Tesisler ve Özellikleri

Trabzon ve Rize illerinde oluşan katı atıkların bertaraf edilmesinde termal sistemlerden birisi olan gazlaştırma sistemi seçilmiştir. Planlanan sistem entegre olarak düşünülmekte olup aşağıdaki üniteleri ihtiva edilecektir.

- Mekanik Ayırma Tesisi (Geri Kazanımı Mümkün Atıkların Ayırıştırılması, RDF Dâhil)
- Gazlaştırma-Yakma Tesisi (Sentez Gazı Üretimi) ve Sentez Gazından Elektrik Enerjisi Üretim Tesisi (Isı ve Elektrik Enerjisi Üretimi)

Kurulacak entegre tesise getirilen karışık belediye atıkları öncelikle Mekanik Ayırma Tesisinde işleme tabi tutularak içerisindeki geri kazanımı mümkün olan atıklar türlerine göre ayrıştırılacak ve ekonomiye geri kazandırılacaktır. Geri kazanımı mümkün olmayan atıklar ve biyokurutma işlemine tabi tutulacak organik atıklar karıştırılarak Atıktan Türetilmiş Yakıt Üretim Tesisinde işleme tabi tutularak atıktan türetilmiş yakıt üretilcektir. Atıktan türetilmiş yakıt Gazlaştırma Tesisinde işleme tabi tutularak sentez gazı elde edilecek olup daha sonra sentez gazı Sentez Gazından Elektrik Enerjisi Üretim Tesisinde yakılarak ısı ve elektrik enerjisi elde edilecektir. Gazlaştırma Tesisinde bakiye atıklar ise Katı Atık Düzenli Depolama Alanı'nda düzenli depolama suretiyle bertaraf edilecektir.



Şekil 5.6. Entegre tesis akım şeması

5.8.1. Mekanik Ayırma Tesisi

Tesise getirilecek karışık belediye atığı ilk önce atık kabul alanına dökülecektir. Bu alanda öncelikle çok büyük ve sert hacimli atıklar (yatak, koltuk, tekstil atığı, inşaat-tadilat atığı, otomobil lastiği, beyaz eşya, eski mobilya, halı vb.), metal ve radyoaktif detektörleri tarafından tespit edilen zararlı olabilecek atıklar, kimyasal içerikli atıklar ve diğer proseste kullanılması mümkün olmayan tüm atıklar ayrıştırılacaktır.

Geriye kalan karışık evsel katı atıklar, besleme konveyörleri ile poşet açıcı sisteme iletilecek ve poşet açıcı bıçaklar ile kapalı poşetler parçalanacaktır. Daha sonra atıklar eleğe taşınarak küçük ve büyük hacimli malzemeler ayrıştırılacaktır. Büyük hacimli malzemeler geri dönüşüm konveyörüne iletilecek, küçük hacimli ve organik miktarı fazla olan malzeme ise organik atık ayırma presine gönderilecektir. Pres ünitesinde oluşturulacak basınç ile gelen malzeme kuru (posa) ve organik (ıslak kısım) olarak ayrılacaktır. Kuru kısım geri dönüşebilir malzemeler ayıklandıktan sonra kalan geri dönüşümsüz malzeme ile birlikte geri dönüşüm konveyörünün sonunda bulunan parçalayıcıya gönderilecektir. Parmak elekte gelen katı atıkların ebatlarına göre ayrılması, dağılması, parçalanması ve yayılması amaçlanmıştır. Bu işlemi yayların salınımı yani rezonans yapacaktır. Bu salınımı da rotasyon ağırlıkların merkezkaç kuvvetinin etkisiyle yapılacaktır. Parmak eleğin amacı katı atıkların birbirinden ayrılması, küçük olanların elekten aşağıya dökülmesi, büyük atıkların eleğin üstünden akarak diğer konveyöre dökülmesini sağlamaktır. Izgaradan çıkacak büyük hacimli bütün atıklar, geri dönüşebilir atıkların ayrıştırılacağı konveyöre gönderilecektir. Bu konveyörde geri dönüşebilen atıklar (kağıt-karton, plastik, cam, metal, vb.) konveyörün kenarlarında bulunan geri dönüşüm toplama kovalarında biriktirilerek, preslenip balyalandıktan sonra depolanacak ve değerlendirilecektir. Geri dönüşümü mümkün olmayan atıklardan ise atıktan türetilmiş yakıt (RDF) elde edilerek gazlaştırma tesisine gönderilip yakılarak enerji üretilecektir. Mekanik ayırma tesisi kütle denge sistemi aşağıdaki verilmiştir.

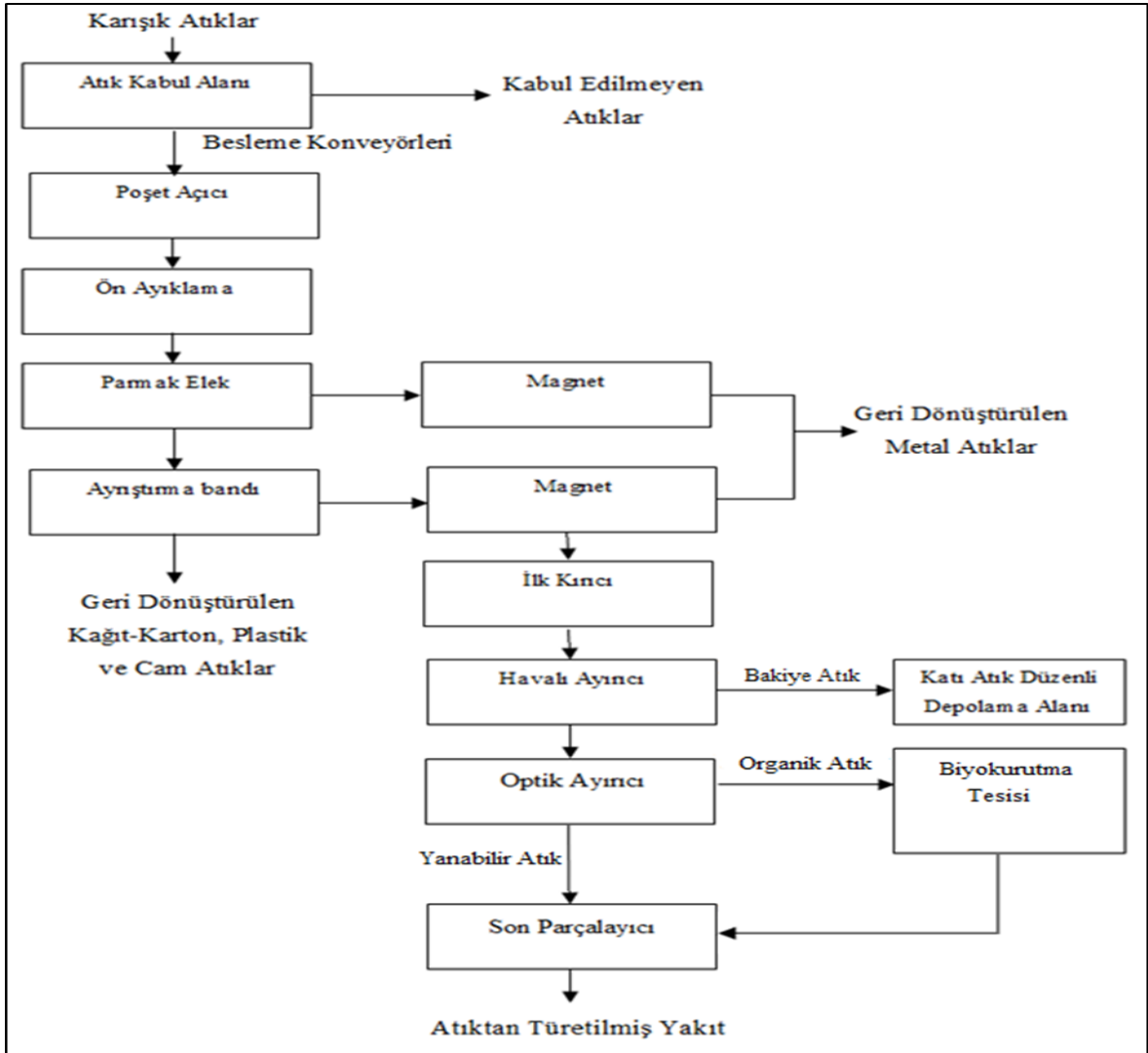
Tablo 5.10. Mekanik ayırma-biyokurutma-ATY tesisi kütle-denge sistemi

	Açıklama	Miktar	
		2020 yılı (ton/yıl)	2047 yılı (ton/yıl)
Giren	Toplam Karışık Belediye Atığı	312.257	737.625
Çıkan	Kabul Edilmeyen Atık (Evsel Tehlikeli Atıklar)	625	1475
	Geri Dönüştürülen Miktar (Kağıt-Karton, Plastik, Cam ve Metal)	49.274	116.397
	Katı Atık Düzenli Depolama Alanına Gönderilen	29.602	69.927
Giren	Biyokurutmaya giren (%50 su muhtevalı atık)	165.871 (biyobozunur) 66.885 (yanabilir atık) 232.756 (toplam)	391.826 (biyobozunur) 157.999 (yanabilir atık) 549.826 (toplam)
Çıkan	Biyokurutmada su kaybı	58.189	137.456
	Biyokurutmada çıkan (%25 su muhtevalı atık)	174.567	412.369
Çıkan	Atıktan Türetilmiş Yakıt Üretimi	174.567	412.39

Mekanik ayırma tesisinde ayrılacak kalorifik değeri yüksek olan yanabilir atıklardan ve biyokurutma işlemi gerçekleştirilen organik atıklardan yakıt türetilecek ve Gazlaştırma Tesisine gönderilecektir. Atıktan türetilmiş yakıtın (ATY), Gazlaştırma Tesisinde sentez gazına dönüştürülmesi sağlanacaktır. Mekanik Ayırma Tesisinde poşet parçalayıcı ve döner elek bulunacaktır. Ayrıştırılan malzemeler Mekanik Ayırma Tesisinden sonra konveyörler vasıtası ile aşağıda bulunan ekipmanların olduğu Atıktan Türetilmiş Yakıt Üretim Tesisine gönderilecektir.

- Ön Parçalayıcı: Ekstrüder presten gelen kuru fraksiyon ile ayrıştırma bandından gelen geri dönüşümsüz atıkların boyutu indirilecektir.
- Manyetik Ayırıcı: Atıkların içerisinde bulunan metal içerikli atıklar elenecektir.
- İnce Izgara: Atıkların içerisinde bulunan 30 mm' den küçük malzemeler elenecektir.
- Eddy Akımlı Ayırıcı; Atıkların içerisinde bulunan alüminyum, demir, bakır ve pirinç malzemeler elenecektir.
- Havalı Ayırıcı: Atıkların içerisinde bulunan ağır inert maddeler elenecektir.

- Optik Ayırıcı: Atıkların içerisinde bulunan klor içerikli PVC malzemeler elenecektir.
- Böylece malzemede klor içerikli malzemelerden ayıklanmış olacaktır.
- Son Parçalayıcı: Gelen malzeme, parçalayıcıdan geçtikten sonra atıktan türetilmiş yakıt üretimi tamamlanmış olacaktır. Son parçalayıcıda boyut 50 mm'ye indirilecektir.



Şekil 5.7. Mekanik ayırma tesisi iş akım şeması

5.8.2. Gazlaştırma Tesisi ve Yöntemi

Trabzon ve Rize illerinde oluşan atıklar için yapılan analiz Tablo 5.5’de verilmiştir. Buna göre alt ısıl değerin 1.682 kcal/kg olduğu ve gazlaştırma prosesinin uygulanması için uygun bir değer olduğu anlaşılmaktadır. Kurulması planlanan gazlaştırma tesisi kapasitesi aşağıdaki tabloda verilmiştir. Bu çalışmada TRABRİKAB için düşünülen gazlaştırma tesisi için yaklaşık 2 ha’lık bir alana ihtiyaç duyulacağı ön görülmektedir. Tesis kapasitesi oluşan atık miktarına göre ilk etapta 800 ton/gün olacak ve daha sonra kademeli olarak 1.600,00 ton/gün’e kadar çıkarılması planlanmaktadır.



Tablo 5.11. Gazlaştırma tesisine kabul edilecek atık miktarları ve atık akışı

Yıllar	Gazlaştırma tesisine gidecek atık miktarı		Gazlaştırma Tesisi Kapasitesi (ton/gün)	Tesiste hâsıl olacak Gazlaştırma Tesisi Külü (ton/gün)
	(kg/gün)	(ton/yıl)		
2019	647.067	236.179	800	50
2020	671.253	245.007	800	50
2021	696.367	254.174	800	50
2022	722.450	263.694	800	50
2023	749.539	273.582	800	50
2024	777.672	283.850	800	50
2025	806.893	294.516	1.000	62,5
2026	835.169	304.837	1.000	62,5
2027	864.464	315.529	1.000	62,5
2028	894.817	326.608	1.000	62,5
2029	926.270	338.089	1.000	62,5
2030	958.862	349.985	1.000	62,5
2031	990.169	361.412	1.000	62,5
2032	1.022.532	373.224	1.400	87,5
2033	1.055.986	385.435	1.400	87,5
2034	1.090.571	398.058	1.400	87,5
2035	1.126.322	411.108	1.400	87,5
2036	1.160.392	423.543	1.400	87,5
2037	1.195.528	436.368	1.400	87,5
2038	1.231.764	449.594	1.400	87,5
2039	1.269.137	463.235	1.400	87,5
2040	1.307.681	477.304	1.400	87,5
2041	1.344.075	490.587	1.400	87,5
2042	1.381.522	504.256	1.400	87,5
2043	1.420.052	518.319	1.600	87,5
2044	1.459.699	532.790	1.600	87,5
2045	1.500.491	547.679	1.600	87,5
2046	1.542.465	563.000	1.600	87,5
2047	1.585.656	578.764	1.600	87,5

Evsel katı atıklarının (MSW) yakılması yurt dışında yaygın olarak uygulanmaktadır. Ancak yanıcı, geri dönüştürülmeyen, katı atık kalıntı termal dönüşüm için tercih edilen işlem kısmi hava beslemeli gazlaştırmadır. MSW'den geri kazanım yöntemi ile türetilen katı atık yakıt türevi (RDF) gazlaştırılması daha verimli ve daha az maliyetlidir ve diğer termal enerji üretimi formlarına göre ton başına atıktan daha fazla enerji üretilir. Daha az

emisyon, daha az kalıntı kül ve 24/7 üretim yeteneği içeren bu faktörler termik döngü ile birleştiğinde gazlaştırma teknolojisini dünyada yenilenebilir enerjinin kanıtlanmış en hızlı büyüyen kaynaklarından biri haline getirmiştir. Bununla birlikte rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla MSW türevi RDF gazlaştırma daha ucuzdur, çok daha az alan gerektirir ve hava, rüzgâr veya güneş durumu ne olursa olsun 24/7 bazında çalışabildiğinden daha güvenilirdir.

MSW/RDF gazlaştırma ileri ısıl yöntemi, yenilenebilir enerji üretmek için kanıtlanmış bir teknolojidir ve depolamaya giden atık hacimlerini önemli ölçüde azaltır. İleri ısıl gazlaştırma işleminin başka bir çevre avantajı sabit karbon ihtiva eden cürufun inert gibi işlem görmesidir. Bu cüruf inert olduğu için sızıntı yapmaz (yer altı sularına zehirli metalleri serbest bırakmaz) ve kokuya neden olmaz ya da sera gazı oluşturmaz. Gazlaştırmanın yan ürünü olan karbon bazlı cüruf diğer endüstri alanlarında ham madde olarak da kullanılması mümkündür (çimento, inşaat, yol vs.).

USEPA atık çöp alanlarının antropojenik metan gazının önemli bir kaynağı olduğu sonucuna varmıştır. (Thorneloe, 2012). Metan, karbon dioksidin 20 katından fazla zararlı sera gazı yayar. Atıkların Termik işlenmesi atık depolama alanlarına giden karbonlu atıkların azaltılmasında net bir etkiye sahiptir (CO₂ eşdeğeri emisyon ile ölçülen metan) ve böylece toplam sera gazı emisyonlarını azaltır. Böylece, gazlaştırma teknolojisini kullanan MSW ileri ısıl işlem, zararlı emisyonlarını azaltırken sadece depolama ömrünü uzatmaz aynı zamanda başka türlü hiçbir yararlı bir amacı olmayacak olan RDF biyokütle malzemedan yenilenebilir enerji üretir.

Gazlaştırma, organik karbonlu materyallerin sentez gazı olarak bilinen bir yakıt gazı meydana getirmek üzere, hava/oksijen-bazlı termal reaktör içinde yüksek sıcaklıkta termal bozulmaya uğrayarak ayrıldığı bir işlemdir (ayrıca sentez gazı veya üretici gaz olarak belirlenmiştir). Sentez gazı esas olarak, karbon monoksit, hidrojen, metan, hidrokarbon, karbon dioksit, nitrojen ve su buharından oluşmaktadır. Termal reaktör hava ile besleniyor ise (sadece Oksijen ile değil), sentez gazı akımı aynı zamanda azot gazı yanında eser miktarlarda diğer doğal gazları içerir. Nispeten büyük miktarlarda, di-moleküler azot içeren sentez gazının bu son şekli, daha doğru bir şekilde üretici gaz olarak adlandırılır. Bununla birlikte, ortak kullanımına uygun olarak, hava ile beslenen gazlaştırıcıdan elde edilen yakıt gazı bu belgede sentez gazı olarak ifade edilir.

Gazlaştırma 30 yılı aşkın bir süredir karışık katı atık malzemeleri dönüştürmek için kullanılır ve mevcut amaçlar için üç ana kategoriye ayrılabilir:

1. Piroliz: Yaklaşık 400 ve 600 °C arasında bir sıcaklıkta çalışan sıfır veya düşük oksijen ile kısmen negatif basınç ortamında gerçekleştirilir:
2. Hava ile beslenen gazlaştırma sistemleri; tipik olarak yaklaşık 900 ve 1200 °C arasında değişen sıcaklıklarda çalışır.
3. Plazma veya plazma arkı gazlaştırma: yüksek yerel sıcaklıklar ile oda sıcaklıklarını 2000 ve 5000 °C ye kadar artırabilir plazma meşaleler kullanılır.

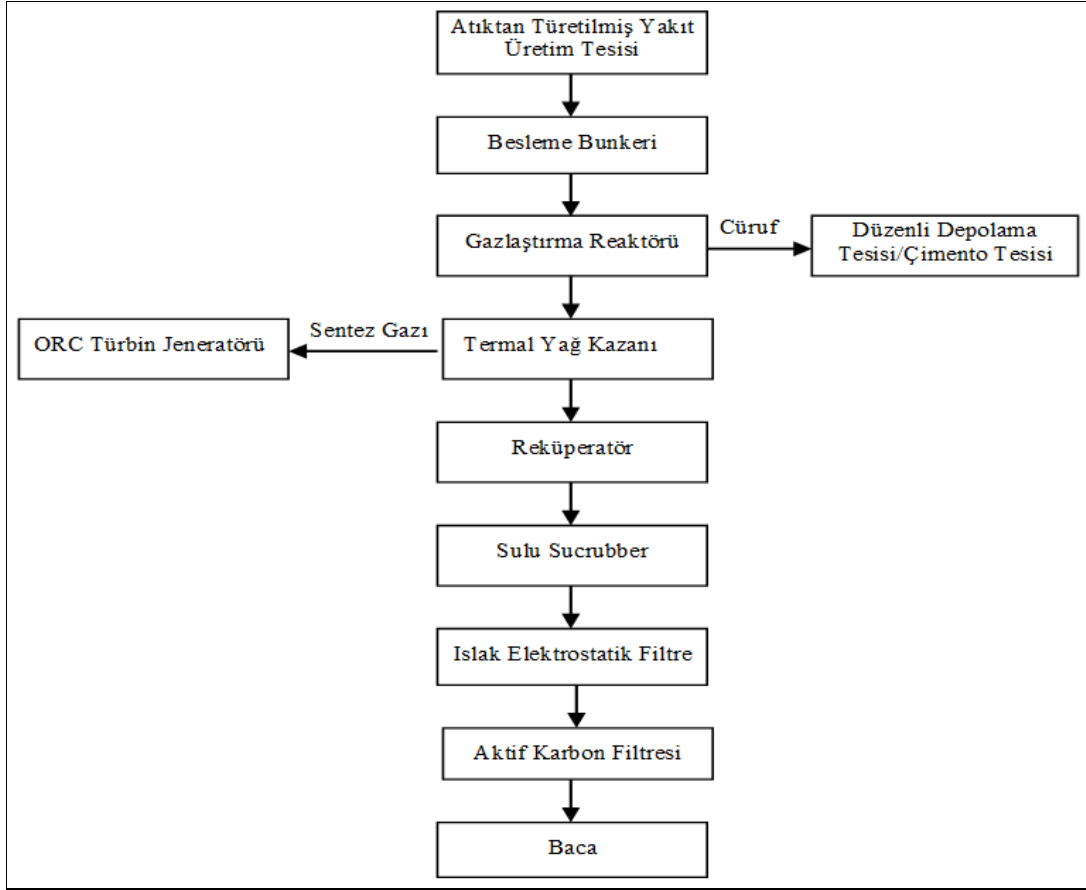
Piroliz ve plazma arkı gazlaştırma sistemleri termal verimlilik ve çevre ile ilgili birtakım nedenlerden dolayı ticari ölçekli MSW için uygun değildir.

Dolayısıyla, bu projede, Trabzon ve Rize illeri için kurulması planlanan entegre tesis dahilinde yapılacak olan gazlaştırma tesisi için “hava ile beslenen gazlaştırma sistemi” tercih edilmiştir.

Gazlaştırma işlemleri büyük ölçüde değişebilir olsa da, tipik hava beslemeli gaz yapıcı reaktörler yaklaşık 900 °C ve 1200 °C arasındaki sıcaklıklarda çalışır ve reaktanlar olarak hava veya oksijen ile buhar kullanabilir. MSW için kullanıldığında, ince nemi azaltmak ve daha homojen kalorisi yüksek bir yakıt oluşturmak için ayıklama sonrası boyutlandırılmış olan RDF’de en iyi şekilde kullanılırlar. Bununla birlikte, söz konusu yüksek sıcaklıklar nedeniyle, gaz haline getirme ile bağlantılı termo-kimyasal reaksiyonlar pirolize göre daha enerjiktir ve temiz bir sentez gazı yakıt elde edilir.

Gazlaştırma işlemine tabi tutulmadan önce atığın tehlikeli atık olup olmadığı, atık içeriğinde radyoaktif madde bulunup bulunmadığı belirlenmelidir. Tehlikeli ve tehlikesiz atıkların yakılmasına veya beraber yakılmasına ilişkin aynı emisyon limit değerleri uygulanır.

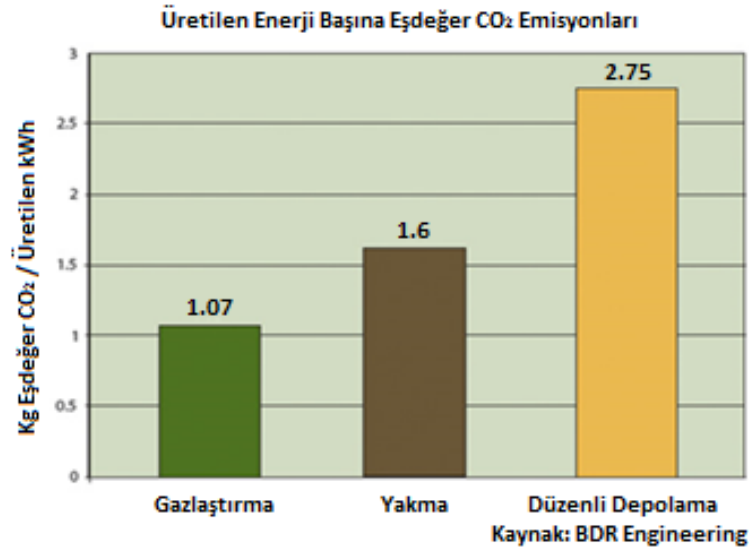
Gazlaştırma işlemi sırasında üretilen ısının, elektrik enerjisine dönüştürme, üretim sürecinde kullanma ya da bölgesel ısıtmada kullanma gibi yöntemlerle en elverişli biçimde geri kazanılması esastır. Gazlaştırma tesisine ait iş akım şeması şekil 5.8’de verilmiştir.



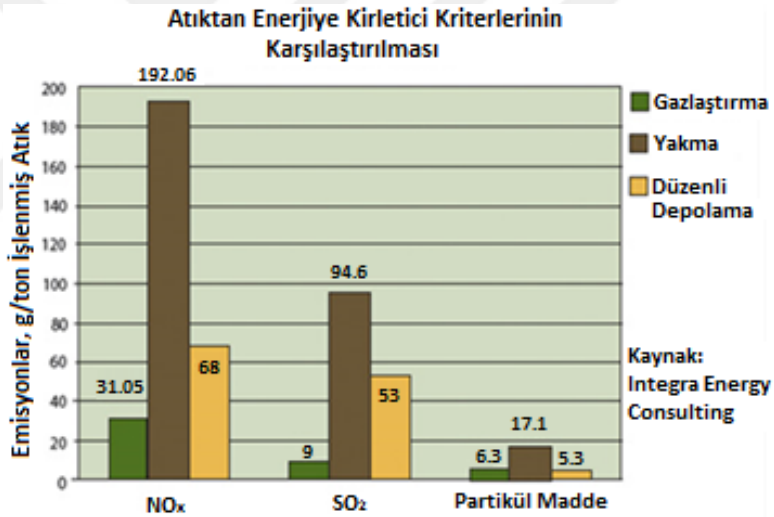
Şekil 5.8. Gazlaştırma tesisi iş akım şeması

MSW ileri termal ısıl işlemleri yenilenebilir enerji üretmek için kanıtlanmış bir teknolojidir ve depolama alanlarına giden atık hacimlerini önemli ölçüde azaltır. Isıl işlemin başka bir çevre avantajı artık oluşan cüruf inert olduğu için sızıntı yapmaz (yer altı sularına zehirli metalleri serbest bırakmaz) ve kokuya neden olmaz ya da sera gazı oluşturmaz.

Gazlaştırmanın Yakma Teknolojilerine göre birtakım avantajları vardır. Yanmaya göre ana reaksiyon haznesinde büyük ölçüde kütle akışının azalması nedeniyle gazlaştırma daha az partikül üretir ve yakma ile karşılaştırıldığında genellikle çok daha düşük konsantrasyonlarda kirletici emisyonları (NO_x, SO_x, Partikül gibi) üretir. (Şekil 5.9 ve 10).



Şekil 5.9. Elektrik enerjisi birimi başına sera gazı eşdeğeri (Wilson, B.).



Şekil 5.10. Bertaraf tesislerinin kirlenici kriterlerinin karşılaştırılması (Wilson, B.).

Elektrik enerjisi birimi başına sera gazı eşdeğeri ve gazlaştırma tesislerinin kirlenici kriterleri katı atıkların yakılması veya atık depolama alanlarından önemli ölçüde daha düşüktür.

Trabzon'da yaşayan vatandaşlara sağlanacak avantajlar olarak ekonomik ve çevresel faydalar açısından kategorize edilebilir. Tesis, yaklaşık 60-80 yeni iş imkanı (ayırıştırma tesis işleri dahil) sağlayacak ve atık depolanması ile karşılaştırıldığında emisyonları azaltacaktır. Ek ekonomik faydası ise gazlaştırma olmadan hiçbir mali değeri olmayan atık

malzemelerden üretilen gelirler olabilmektedir. Gazlaştırma tesisi ayrıca düzenli depolama alanına gönderilen atık miktarını 80%- % 90 oranında azaltır ve servis ömrünü uzatır.

5.8.2.1. Çevresel Faydaları

Geleneksel katı atık bertaraf tesisleriyle kıyasla gazlaştırma teknolojisinin çevresel faydaları;

- Yakma ile karşılaştırıldığında kirletici emisyonlarının büyük ölçüde azaltılması;
- İnert kalıntı cüruf üretimi;
- Mimari bir dolgu olarak da kullanılabilmesi için cüruf kalıntısının sinterlenmesi;
- Atık depolama alanına kıyasla Sera Gazı emisyonlarının azalması;
- Konvansiyonel depolama alanına kıyasla yüzeysel su emisyonları oluşturulmaması.

şeklinde sıralanabilir. Atık yönetimi için gazlaştırma kullanımının çevresel avantajlarının yanı sıra, bu sistemler ilave bölgesel istihdam ve ekonomik faydalar açısından da olumlu etkilere de sahiptirler. Bu avantajlardan bazıları aşağıdaki tabloda listelenmiş olup, bu tabloda gösterilen bilgiler, ABD ve Avrupa’da şu anda işletilen gazlaştırma tesislerinden toplanan verilere dayanarak ve Trabzon ve Rize illeri için yapılan karakterizasyon çalışmaları ile evsel atığın laboratuarda yapılan analizleri sonucunda bulunan kalorifik değerlerine istinaden Trabzon’da kurulması planlanan gazlaştırma tesisi için yapılan üretim tahminleridir.

Tablo 5.12. Gazlaştırma tesis kapasitesi ve ekonomik etkileri

Güç Oluşturma Kapasitesi	
Etiket Kapasitesi	12,90 MW
Şebeke Net Güç	12,08 MW
İletişim Minimum şebeke Güç	7,5 MW
Katı Atık İşleme Kapasitesi	
Toplam İşlenmiş Atık	800 t/gün
Gazlaştırma Tesisi Toplam Atık	686 t/gün
Toplam Alt Cüruf (İnert Sinter Malzeme)	< 50 t/gün
İş Yaratma	
İnşaat Aşaması	60 /80 kişi
Operasyon Aşaması	70 /90 kişi
Ekonomik Etkileri	
Yıllık Vergi Gelirleri	>3 milyon USD

Tesisin inşaatı sırasında, proje en az 60-80 kişinin çalışabileceği, inşaat sonrası ise tesisin çalışması sırasında uzun vadede 70-90 kişi istihdam edilmesi planlanmaktadır. Atıklardan enerji üretme tesisi gerek çalıştırılan personel gerekse üretilen elektrik enerjisi ile ülke ekonomisi ile yerel ekonomiye önemli ölçüde katkı sağlayacaktır. Kurulması planlanan Gazlaştırma teknolojisi tasarım ve yerleşim olarak daha fazla esneklik sunmakta ve yakmaya göre daha az ağır inşaat ve mühendislik çalışmaları gerektirmektedir. Bunun yanı sıra daha kısa inşaat süresi ve daha düşük maliyetlerle kurulum gerçekleştirilebilmektedir.

5.8.2.2. Kimyasal Reaksiyonlar

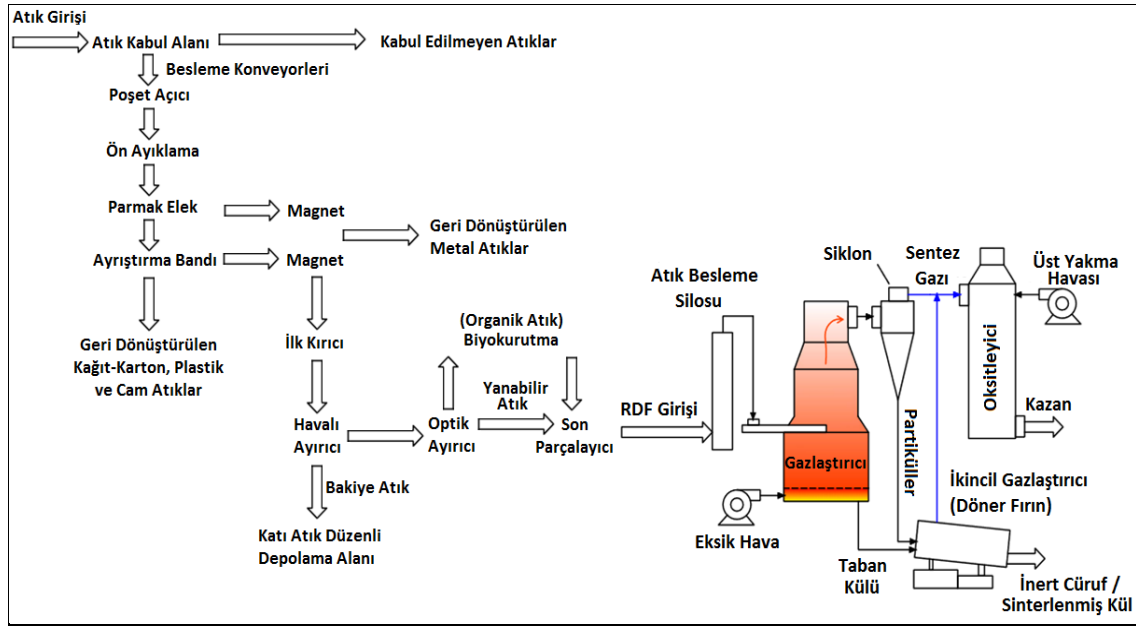
Gazlaştırmaya katılan kimyasal reaksiyonlar proses şartları ve katılaştırma maddesine (hava, oksijen, buhar, karbon dioksit veya hidrojen) bağlı olarak hız ve göreceli önem olarak değişiklik gösterir. MSW'dan türetilen RDF biyokütle gazlaştırma reaksiyonlarının bazılarının ve özellikle buharlaşma sonrası işlemde kalan karbonlu yanmış maddelerin bir listesi aşağıdaki gösterilmiştir. Karbonlu malzemelerin gazlaştırılması aşağıdaki özet kimyasal reaksiyonlar ile karakterize edilebilir:

- | | |
|--|-----------------------------------|
| 1. $C + CO_2 \Rightarrow 2CO$ | Karbondioksit ile gazlaştırılması |
| 2. $C + H_2O (g) \Rightarrow CO + H_2$ | Buhar ile gazlaştırılması |
| 3. $C + 2H_2O (g) \Rightarrow CO_2 + 2H_2 + H_2$ | Buhar ile gazlaştırılması |
| 4. $C + 2H_2 \Rightarrow CH_4$ | Hidrojen ile gazlaştırılması |
| 5. $CO + H_2O (g) \Rightarrow CO_2 + H_2$ | Su gaz kaydırma reaksiyonu |
| 6. $C + 1/2 O_2 \Rightarrow CO$ | Oksijen ile gazlaştırılması |
| 7. $CO + 3H_2 \Rightarrow CH_4 + H_2O (g)$ | Hidrojen ile gazlaştırılması |
| 8. $S + H_2 \Rightarrow H_2S$ | Hidrojen ile gazlaştırılması |
| 9. $C + O_2 \Rightarrow CO_2$ | Oksijen ile kısmi yanma |

Denklem 8'e göre yakıt bağlı kükürt yakmada olduğu gibi SO_x yerine ekzotermik reaksiyonda hidrojen sülfüre dönüştürülür gazlaştırma reaktöründeki yetersiz oksijenden dolayı. Benzer şekilde, klorin, hidroklorik aside ($H + Cl \Rightarrow HCl$) dönüşür. Hidrojen sülfür ve hidroklorik asit kuvvetli asittir ve baca gazı akışından gelen asidik bileşiklerin çıkarılmasında çok etkilidir ve asit gaz çıkarma birimleri ya da gaz yıkayıcılarda alkalın malzeme ile kolaylıkla reaksiyona girerler. Sonuç olarak, yakmaya göre gazlaştırmada aşağıdaki yararlar gerçekleşir:

1. SO_x ve NO_x oluşturmak için daha az yakıt bağlı sülfür ve azot oksidasyonu;
2. Düzgün çalışan gazlaştırıcılarda az veya hiç "termal NO_x" oluşmaz;
3. Yakıttaki nemin bir kısmı temiz yanan sentez gazının ısıl değerini artıran indirgeyici bir atmosferde, hidrojene (Denklem 2) dönüştürülür.

Belediye atıkları (MSW) işlemleri için hava ile beslenen gazlaştırma sisteminin basitleştirilmiş akım şeması Şekil 5.11’de verilmiştir.



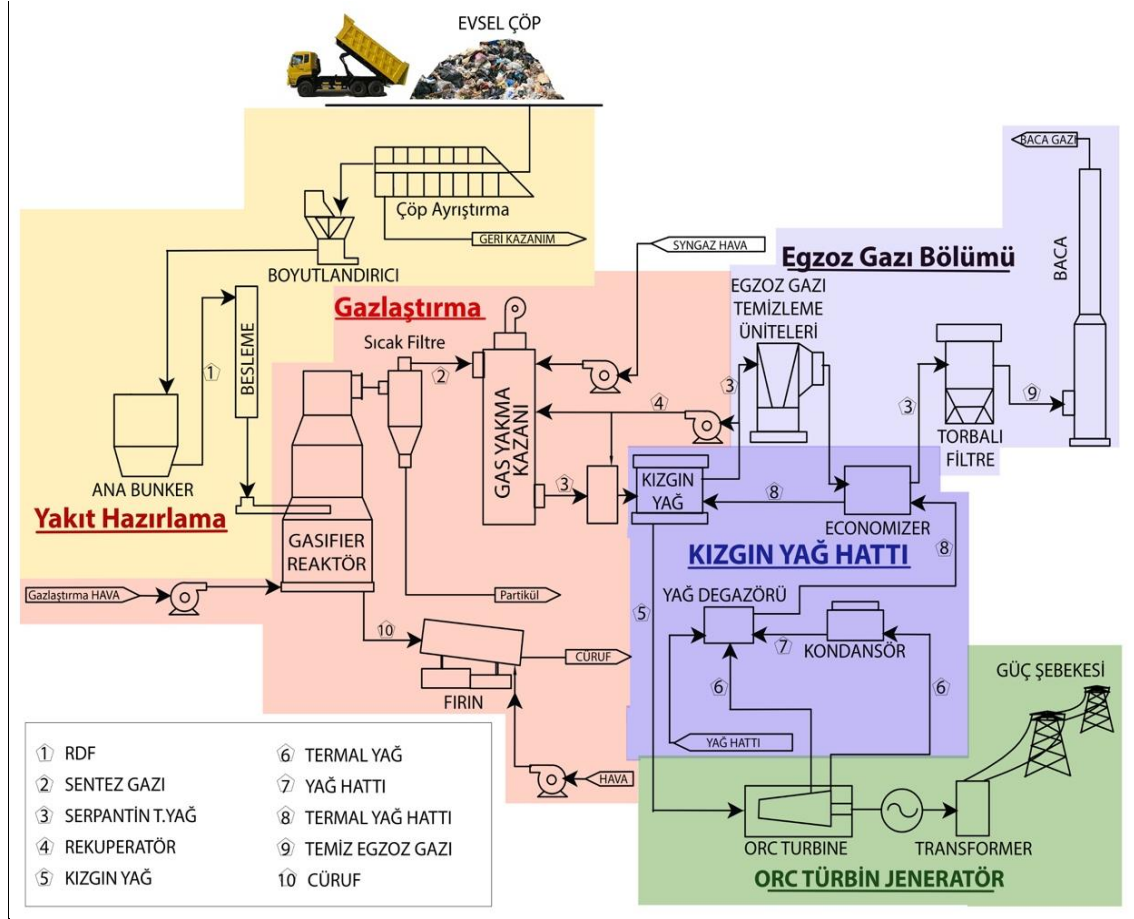
Şekil 5.11. MSW türevi RDF işlemleri için hava ile beslenen yukarı akışlı sabit yatak gazlaştırma sisteminin basitleştirilmiş tasviri

5.8.2.3. Gazlaştırıcılar

Gazlaştırıcılar, ileri termal işlemin başlangıç adımında toplam gaz akışının yaklaşık 1:2 (stokiyometrik yakma için 1:6 ile karşılaştırıldığında) yakıt hava oranı ile gerçekleştirilmesi için tasarlanmıştır. Bu daha düşük bir gaz hacminin katı yakıt ile temas etmesi ve dolayısıyla sentez gazı akımına daha az parçacık ve kül girmesi anlamına gelir. İşlemin gazlaştırma ve oksidasyon (yakma) aşamaları, ayrı bölmeler içerisinde yürütülmesi nedeniyle, sentez gazında sürüklenen parçacıkların çoğunu çıkarmak için (Şekil 5.11’de gösterildiği gibi), gaz haline çevirme ve yakma odası arasında sıcak siklon yerleştirilmesi de mümkündür.

Gazlaştırma: RDF ağırlıklı olarak CO, H₂, CH₄, C_xH_y, CO₂, H₂O ve N₂ oluşan bir sentez gaz yakıt üretmek için gazlaştırılır. Yakıt gazı yüksek sıcaklıkta bir oksitleyicide yakılır ve ısı kızgın yağ üretmek için kullanılır. RDF gazlaştırma için tercih edilen en uygun metot “Yukarı Yönlü Sabit Yatak Gazlaştırma” tasarımı olarak belirlenmiştir.

Aşağıdaki akım şemasında gazlaştırma işlemi ve enerji üretimi de görülmektedir.



Şekil 5.12. Proses üniteleri ve süreç akışlarını gösteren enerji gazlaştırma işlemi (Doğru, 2018)

Tablo 5.13. RDF gazlaştırma sonrası baca gazı analiz sonuçları

RDF Gazlaştırma Sonrası Baca Gazı Analizi	
SO ₂	10 mg/m ³
Nox	150 mg/m ³
CO	15 mg/m ³
O ₂	6 %
Partikül	40 mg/m ³
HF	0 mg/m ³
HCl	1 mg/m ³
TOC	8 mg/m ³
H ₂ O	17 mg/m ³
CO ₂	10%
NH ₃	0,5 mg/m ³
Baca Sıcaklık	181 °C

Bu çalışma kapsamında Trabzon ve Rize illerinde oluşan evsel belediye atıklarından enerji elde edilebilecek gazlaştırma işleminin önemli aşamaları aşağıda açıklanmıştır:

1. Hammadde tesise teslim edilir.
2. Yakıt Hazırlama: Yarı otomatik sistem kullanılarak, MSW katı atık maddeler potansiyel geri dönüştürülebilir ve tehlikeli maddeleri ayırmak için ayrıştırılır. Hammadde sonra RDF (Atıktan Türetilmiş Yakıt) üretmek için parçalanır.
3. Gazlaştırma: RDF ağırlıklı olarak CO, H₂, CH₄, C_xH_y, CO₂, H₂O ve N₂ oluşan bir sentez gaz yakıt üretmek için gazlaştırılır. Yakıt gazı yüksek sıcaklıkta bir oksitleyicide yakılır ve ısı kızgın yağ üretmek için kullanılır.
4. Kızgın Yağ Üretimi: Oksitleyiciden gelen sıcak gazlar Organik Rankin Çevirici (ORC) türbin jeneratörünü çalıştırmak için kızgın yağ üreten bir kazana girer.
5. Baca Gazı Temizliği: Baca gazı temizleme sistemi partiküler madde ve diğer düzenlenmiş bileşenlerin emisyonunu USEPA Hava Kalitesi Standardı konsantrasyonları seviyelerine azaltır.
6. Elektrik Enerjisi Üretimi: Kazandan gelen kızgın termal yağ, elektrik üretmek için ORC türbinini çalıştırır. Yakıtın kalori değerine bağlı olarak bir ton RDF'den saatte 0,8-1,0 MWh veya daha fazlası elektrik enerjisi elde edilebilir.
7. Cüruf İşlemi: Alt Cüruf ve uçucu partiküllerdeki kalıntı sabit karbonun sentez gazına dönüştürüldüğü yüksek sıcaklıkta vidalı döner fırına taşınır ve buradan bakiye çıkan yan ürün sinterlenmiş olur.

İllerimizde oluşan katı atıkların gazlaştırılarak enerji üretilmesini ve hacimsel anlamda %90 oranında azaltılmasını sağlamak üzere dizayn edilmek istenilen tesisin akım şeması ve çalışma aşamalarına yukarıda değinilmiştir. Yapılan bu çalışmada Trabzon ve Rize illerinde oluşan atıkların bertarafında Gazlaştırma sistemi seçilmiştir. Gazlaştırma sistemleri yakma sistemlerine göre daha çevreci yatırımlardır. Gazlaştırmada oluşan gazlar daha az emisyon değerlerine sahiptir. Çevresel etkiler açısından özellikle tesisten çıkan kirletici gazların çokluğu ve kontrol altına alınmasının zor ve pahalı olması neticesinde yakma tesislerinin işletim maliyetleri oldukça yüksek olmaktadır. Gerek çevresel açıdan gerekse maliyetler açısından yakma sistemleri yavaş yavaş terk edilmeye başlanmaktadır. Yakma teknolojileri katı atıklara hiçbir ön işlem uygulanmadan direkt yakılması esasına dayanırken gazlaştırma daha çok homojen ve nem oranı belli bir seviyede tutulan atıklara uygulanmaktadır. Dolayısıyla gerek elektrik üretimi verimi gerekse oluşan tehlikeli gazlar açısından yakmaya kıyasla daha çevreci yatırımlardır. Bunun yanı sıra gazlaştırma tesislerinde meydana gelen taban külü de yüksek karbon içeriğinden ötürü başka endüstri alanlarında değerlendirilmesinin mümkün olabileceği fakat yakma sistemlerinde çıkan külün değerlendirilmesinin çok zor olmaktadır. Yukarıda belirtilen bu özelliklerinden ötürü bu çalışma kapsamında Trabzon ve Rize illerinde oluşan katı atıkların değerlendirilmesi için Hava İle Beslenen Yukarı Akışlı Sabit Yatak Gazlaştırma teknolojisi seçimi yapılmıştır.

6. MALİYET ANALİZİ

Atık bertaraf yöntemleri ve dünyadaki mevcut uygulamalar incelendiğinde Geri Kazanım İşlemleri, Düzenli Depolama, Biyolojik Prosesler ve Termal Bertaraf Yöntemleri uygulanmaktadır. Atık yönetiminin verimli bir biçimde yapılabilmesi için öncelikle geri kazanım işlemlerinin kaynağında yapılması gerekmektedir. Böylece organik atıkların ayrı bir biçimde toplanması ve proses edilmesi de kolaylaşacak, biyolojik prosesler başarıyla uygulanabilecektir. Düzenli depolama yöntemi daha çok bilinen ve en eski bertaraf metodu olup, tüm ülkelerde çeşitli oranlarda uygulanmaktadır. Termal bertaraf sistemleri ise atıkların yüksek ısı değerlerinde hacimsel ve ağırlıkça azaltılmasını esas alan, bununla birlikte enerji geri kazanımının sağlandığı sistemlerdir. Termal bertaraf yöntemleri olarak Yakma, Piroliz ve Gazifikasyon kullanılmakta olup, evsel atıkların termal bertarafında genellikle yakma ve gazlaştırma tercih edilmektedir. Termal prosesler özellikle Japonya ve Avrupa ülkelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tesislerde temel prensip atığın oksijen verilerek yakma işlemine tabi tutulmasıdır. Yanma işlemi öncesi atık, yanma işlemi için hazır hale getirildikten sonra yakma işlemi yapılır. Yakma işlemi sonrası oluşan baca gazı ve kalıntılar uygun yöntemlerle arıtılarak bertaraf edilir ve alıcı ortama verilir.

Yatırım maliyetleri değişkendir ve malzeme ücretleri birçok faktöre bağlıdır. Teknolojiler, seçilen proses düzenleri, egemen pazar piyasasının durumu, yeri, yer koşulları, mimari dizayn, malzemelerin seçimleri yatırım maliyetlerini etkiler. Yerin satın alma maliyetlerine ek olarak, plan izinleri ve finansal maliyetlerde yatırım maliyetlerini etkiler.

İlk yatırım maliyetleri (İYM), tedarikçilerin kendine has tesis dizaynları, tesis boyutu, hava kontrol sistemi, enerji geri kazanım yöntemi ve atığın kalorifik değerine göre değişkenlik gösterebilmektedir. İlk yatırım maliyetine ait veriler elde edilirken firmaların ve idarelerin birtakım bilgileri uzun dönemli ve büyük ölçekli yatırımlar için pek paylaşılmadığı ve güvenilir maliyetlerinin alınmasının zor ve birçok belirsizliklerin olduğu derlenen çalışmalarda bahsedilmiştir. Ayrıca kamuya sunulan bilgiler teknik açıdan yetersiz olduğu için İYM içerisinde arazi temini, proje bedelleri, atığın kalorifik değeri gibi kalemleri içerip içermediği belli olmamaktadır buda maliyet verilerinin karşılaştırılmasının biraz problemli olduğunu göstermektedir. Bu çalışmalarda verilen İYM içerisinde sadece teknolojinin mi yoksa saha temini ve proje bedellerinin mi dâhil olduğu net

bilinmemektedir. Ayrıca benzer kapasitedeki tesisler için maliyetler geniş aralıkta değişirken bunu nedeni tesis konfigürasyonu, hat sayısı ve ekstra mimari incelikler bir faktör olarak maliyetleri etkilemektedir (Tablo 6.1).

Tablo 6.1. Kütlesel yakma tesisleri yatırım ve işletme maliyetleri* (İstaç, 2012)

Kapasite (1000 ton/yıl)		İlk Yatırım Maliyeti (milyon€)		Net Elektrik Üretimi (MW)		İşletme Maliyeti (€/ton)	
Orta	Aralık	Orta	Aralık	Orta	Aralık	Orta	Aralık
	100 - 115	56	44 - 62	6			62 - 81
150		75	62 - 90	9			56 - 62
	170 - 200	94	75 - 112		10 - 12		50 - 56

*Atıktan Enerji Üreten Yakma ve Yakma Olmayan Teknolojilerinin Maliyetleri, Londra Belediyesi, 2008

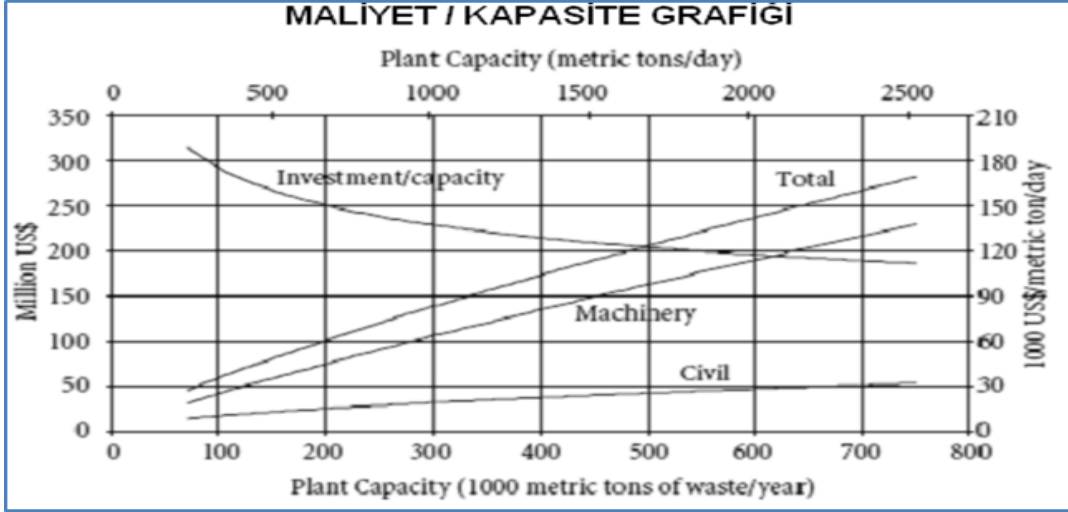
Diğer bir çalışmada elde edilen termal yöntemle atık bertaraf teknolojilerine ait maliyet sonuçları Tablo 6.2’de verilmiştir.

Tablo 6.2. Kütlesel yakma, gazifikasyon ve piroliz teknolojilerine ait maliyetler* (İstaç, 2012)

Kütlesel Yakma	Maliyetler
İlk Yatırım Maliyeti (Ortanca değer)	775\$/yıllık işleme kapasitesi (ton) +/-%50
İşletme Maliyeti (Ortanca değer)	65\$/ton +/-%30

*Kentsel Katı Atık Termal Arıtım Teknolojileri için Teknik Rapor, Kanada Çevre Koruma Birimi, 2010

Başka bir çalışmada yakma sistemleri bertaraf maliyet/kapasite oran değişimi Şekil 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1. Yakma sistemleri bertaraf maliyetleri, (İstaç, 2012)

Avrupa geneli incelendiğinde faaliyet gösteren evsel atık yakma tesisleri için belirtilen ilk yatırım maliyetleri ve kapasiteleri Tablo 6.3’de belirtilmiştir.

Tablo 6.3. Avrupa’daki bazı evsel atık yakma tesisi maliyetleri (İstaç, 2012)

TESİS ADI	AVI-AMSTERDAM	ASM BRESCIA	TREA BRESIGAU	TRIDEL LAUSANNE	BKB HANNOVER
YERİ	Amsterdam-Hollanda	Brescia-İtalya	Freiburg-Almanya	Lausanne-İsviçre	Hannover-Almanya
HAT SAYISI	4+2	2+1	1	2	2
KAPASİTE	4400 ton/gün	480.000 ton/yıl	400 ton/gün	156.000 ton/yıl	280.000 ton/yıl
MALİYET	450+370 Mil €	175 Mil €	83 Mil €	220 Mil €	100 Mil €
BERTARAF ÜCRETİ	60 €/ton	50-65 €/t	-	114 €/t	-

Yakma tesisi işletme maliyetini detaylı incelersek tesisin çalışması ve bakımı sırasındaki maliyetleri kapsamaktadır. İşletme maliyetinin içerdiği harcama kalemleri aşağıda verilmiştir.

- Sabit işletme giderleri:
 - Personel giderleri

- Değişken işletme giderleri:
 - Baca gazı arıtma sisteminde kullanılan kimyasallar
 - Elektrik Giderleri (sistem elektrik üretimi yapmıyor ise)
 - Kullanma, içme suyu ve atık su arıtma maliyeti
 - Katı atıkların depolanması maliyeti
- Bakım giderleri:
 - Ekipman bakımı ve yedek parça giderleri
 - Tesis binaları bakım giderleri

Belirtilen bu giderler tesisin aşağıda verilen unsurlarına göre değişiklik göstermektedir:

- Tesisinin kapasitesi
- Baca gazı arıtımında kullanılacak teknoloji ve sağlanması gereken emisyon limitleri
- Isı ve buhar satış imkânının mevcudiyeti, varsa, satış fiyatları
- Tam kapasiteli işletme/ ihtiyacından daha yüksek kapasite
- Yatırım maliyeti ve yıpranma payı koşulları
- İnsan gücü
- Kullanılan ekipmanın kalitesi ve teknolojisi
- Atıksu arıtımında kullanılacak sistem ve deşarj limitleri

6.1. Üretim Tesisinde Kullanılan Ekipmanlar ve Yaklaşık Maliyetleri

ATY üretim tesisinde kullanılacak ekipmanların seçiminde, atığı işleyebilecek özellikte ekipman teminine dikkat edilmelidir. Seçilecek ekipmanın kapasitesi, teknik özellikleri, marka ve modeli ekipman fiyatlarının değişken olmasının genel sebebidir. Karışık evsel katı atıktan ATY üretim tesisi genel akım şeması Şekil 13.3'de verilmiştir.

Elde edilmek istenilen ATY nin kalitesine ve miktarına göre de tesiste kullanılan ekipmanlar çeşitlendirilebilir sayıca veya kapasitece artırılabilir. ATY tesisinde oluşabilecek tozların tutulması için uygun yerlere torba filtreler yerleştirilebilir. Bunun da yaklaşık maliyeti 150.000 - 200.000 €' dur.

MBT tesislerinin devamı niteliğinde kurulan karışık evsel katı atıklardan ATY üretiminde kullanılabilecek ekipmanlar kapasiteleri ve yaklaşık fiyatları Tablo 6.4'de verilmiştir.

Tablo 6.4. Karışık evsel katı atıktan ATY üretim tesisinde kullanılan ekipmanların yaklaşık fiyatları (İstaç, 2012)

Kullanılan Ekipmanlar	Kapasite (t/h)	Yaklaşık Fiyatlar
Poşet parçalayıcı döner elek	20-30	250.000 € - 450.000 €
Kaba kırıcı (ön parçalayıcı)	6-25	240.000 € - 500.000 €
Magnetik separatör	5-15	15.000 € - 45.000 €
Balistik separatör	15-25	195.000 € - 300.000 €
Son parçalayıcı	6-20	225.000 € - 500.000 €
Kurutucu	6-10	500.000 € - 1 M €
Konveyörler		750 €/m - 2.000 €/m
Vibration Cüte	15-25	75.000 € - 120.000 €
Hava sınıflandırıcı	5-10	60.000 € - 110.000 €
Eddy akımlı separatör	5-15	20.000 € - 50.000 €
TOPLAM*		1.75 M € - 3 M €

*Belirtilen fiyata elektrik ve panolar, mekanik ve elektrik montajı, nakliye ve işletmeye alma hizmetleri ile tesisin yapılacağı arazi ve tesisin inşaat giderleri dâhil değildir.

Bu çalışma kapsamında Trabzon ve Rize illeri için yürütülen atık bertaraf tesisi için Ek4' verilen RDF Gazlaştırma/Orc Turbin Kütle & Enerji Diyagramından anlaşılacağı üzere yapılan hesaplamalardan yaklaşık 12 MW elektrik enerji üretilebileceği ve aşağıdaki maliyetlere mal olabileceği öngörülmüştür. Projelendirilecek bir katı atık bertaraf tesisinin maliyet analizi ilk yatırım maliyeti ve işletme – bakım maliyeti baz alınarak yapılır. Bu doğrultuda hazırlanan maliyetlerin özeti Tablo 6.5 ve Tablo 6.6'da verilmiştir.

Tablo 6.5. İlk yatırım maliyetleri

No	Gösterge	Birim	Maliyeti
1	Araç Maliyeti	TL	3.815.000
2	Katı Atık Kabul Ünitesi	TL	450.000
3	MSW Ayrıştırma, Geri Kazanım ve RDF Üretim Tesisi	USD	8.300.000
4	RDF Gazlaştırma ve Gaz Temizleme Sistemi (2MWh x 5)	USD	37.500.000
5	ORC Türbin Jeneratörü (10 MWh)	USD	16.200.000
6	Gazlaştırma Ünitesi Mühendislik ve İnşaat İşleri	USD	7.500.000
7	Nihai Depolama Sahası	TL	9.000.000
8	Trafo Ünitesi ve Enerji Hatları	TL	6.500.000
9	Yönetim Binası	TL	1.200.000
10	Arıtma Tesisi	TL	5.800.000
11	Çevre Düzenleme (Çit, Saha Betonu vs.)	TL	2.150.000
Genel Toplam		TL	289.540.000

* 1 \$ = 3,75 TL kabul edilmiştir.

Tablo 6.6. İşletme maliyetleri

No	Gösterge	Birim	Birim Maliyet
1	Toplama ve Taşıma	USD/ton	30 - 70
2	Mekanik Ayırma	USD /ton	25 - 40
3	Gazlaştırma Tesisi	USD /ton	40 - 65
4	Düzenli Depolama	USD /ton	15 - 30

TRAB-Rİ KAB bünyesinde oluşan evsel atıklara yapılan kalorifik değer analizinde alt kalorifik değer 1682,4 kcal/ kg olarak hesaplanmıştır. Günlük toplanan atık 800 ton olmakla birlikte yanmayan kısımların ayrıştırılmasıyla birlikte 686 ton/günlük atığın Gazlaştırmaya tabi tutulacağı öngörülmüştür. Yapılan hesaplamalara göre Gazlaştırma sisteminde ise 1682 kcal/kg kalorifik değerdeki atıktan toplam 12 MW/s elektrik enerjisi elde edileceği öngörülmüştür. Üretilen bu elektrik miktarı Türkiye’de 15.05.2005 tarih ve 25819 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren 5346 kanun numaralı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun kapsamında teşvikten yararlanılarak satılmakta olup 1 MW=133 \$ olmaktadır. Ton başına enerji miktarı 0,017 MW ve sağlanacak ton başı gelir ise 2,32 \$ olacaktır. İlk yatırım maliyeti ise gazlaştırma sistemlerinde 800 tonluk tesis için yaklaşık olarak 60 milyon \$ civarındadır.

7. SONUÇ ve ÖNERİLER

Dünya nüfusunun hızla artması, tüketim maddelerinin çeşitliliği ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi ciddi bir atık sorunuyla karşı karşıya kalmamıza sebep olmaktadır. Atık sorununun etkin bir şekilde çözülebilmesi için yeni teknolojilerin kullanımının tüm dünyada yaygınlaşması gerekmektedir. Katı atıkları hiçbir işlemle geçirmeyip vahşi depoladığımız zaman gerek sızıntı suyu etkisi gerek karbon salınımı etkisi ile çevreye büyük zararlar veririz. Aynı zamanda önemli maddi getirileri olan atıklardan faydalanmamış ve potansiyel enerjilerini israf etmiş oluruz. Bu çalışmada doğal yaşamın bir gerçeği olan katı atıkların dünyada kullanılan düzenli depolama, yakma, gazlaştırma ve piroliz teknolojileri ile etkisiz hale getirilmesi incelenmiştir. Düzenli Depolama ve çöp gazının değerlendirilmesi ile yakma teknolojileri dünyada en çok kullanılan teknolojilerdir. Dünya’da tepkilere neden olabilen yakma uygulaması baca gazı emisyonlarının iyi bir şekilde yapıldığı takdirde son derece çevreci de bir uygulamadır. Gazlaştırmanın yakmaya göre elektrik üretim verimi daha yüksektir, bir diğer önemli avantajı da hava kirletici emisyonlarının çok düşük olmasıdır. Bunların yanında birim ton atık başına net elektrik potansiyeli en yüksek olan teknoloji ise piroliz uygulamasıdır.

Ülkemizde kentsel katı atıkların tamamını bu çalışmada belirtilen termal yöntemler ile bertaraf etmek için henüz bir çalışma yapılmamıştır. Fakat çeşitli atık türleri için uygulanmakta olan termal bertaraf yöntemleri mevcut olup bu konudaki çalışmalar hızla ilerlemektedir. Ülkemizde kentsel katı atık bertarafında düzenli depolama yöntemi ağırlıklı uygulanmakta olup termal bertaraf tesisleri için de çalışmalar başlatılmıştır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı verilerine göre ülkemizde şu anda mevcut durumda 83 düzenli depolama sahasının var olduğu belirtilmekte olup bu rakamın artacağı konusunda çalışmaların olduğu bilinmektedir. Trabzon ilinde de 2006 yılından beri düzenli depolama sahası işletilmektedir. İlimizin bulunduğu coğrafi bölge göz önüne alındığında düzenli depolama sahası yapılacak alanların bulunması oldukça güç hatta imkansızdır. Bu nedenledir ki Trabzon ilinde düzenli depolama sahasının dolumundan sonra tekrardan yeni bir düzenli depolama sahası kurulması ön görülmemiş termal yöntemlerden biri olan gazlaştırma sistemi ile kentsel katı atıkların bertarafının sağlanması için çalışmalar başlatılmıştır.

Termal bertaraf sistemlerinde enerji geri kazanımı büyük önem arz etmektedir. Fakat bu sistemlerde baca gazından en yüksek derecede enerji geri kazanımı sağlayan teknolojiler ve buna imkân veren atık özellikleri seçilmelidir. Trabzon için uygulanması düşünülen termal bertaraf sistemi için elektrik ve buharın birlikte üretilmesi sistemin verimli olması açısından önemlidir. Aksi halde büyük miktarda enerjinin baca gazının soğutulup atmosfere verilmesi ile kaybedilmesi söz konusu olur. Kentsel katı atıkların termal bertaraf yöntemlerle bertarafının gerçekleştirilmesi için atığın kalorifik değerinin yüksek olması sistemden üretilen ısı ve güç miktarını artırmaktadır.

Gazlaştırma sistemi, yakma sistemine göre daha düşük su muhtevalı atıklar ile çalışmaktadır. Dolayısıyla Trabzon ilinde oluşan atıkların ön işlemden geçirilmeden gazlaştırma teknolojisi ile bertarafı mümkün değildir. Ancak gazlaştırma sistemlerinde aynı özellik ve miktardaki atıktan daha fazla enerji üretmek mümkündür. Ayrıca gazlaştırma sistemlerinde düşük miktarda oluşan atık gaz, kullanılması gereken hava kirliliği kontrol sistemlerinin daha küçük kapasitelerde olmasını sağlamaktadır. Gazlaştırma sisteminin bir diğer avantajı ise işlem sonucunda oluşan külün inert yapıda olmasıdır. Dolayısıyla yakma prosesi sonucunda oluşan kül için tehlikeli atık bertaraf yöntemleri uygulanması gerekebilirken gazlaştırma sisteminde buna ihtiyaç duyulmamaktadır. Bunun yanında gazlaştırma sistemleri yakma sistemlerine oranla evsel atık bertarafında daha az kullanılan ve atık bertaraf, besleme koşulları yakmaya göre daha kompleks sistemlerdir. Dolayısıyla işletme koşulları doğru sağlanamadığı takdirde gazlaştırma teknolojisinin, yakmaya oranla oluşturabileceği sorunların daha fazla olması muhtemeldir.

Trabzon ili için de yukarıda bahsedilen termal yöntemlerden gazlaştırma sistemi düşünülmekte olup bu yönde çalışmalar hız kazanmıştır. Her ne kadar yakma tesislerinde atıklar herhangi bir ön işleme tabi tutulmadan yakılabilse dahi gazlaştırmada ön işlem gerekliliği olsa bile yüksek enerji verimliliği vardır. Bu nedenle Trabzon ilinde düşünülen gazlaştırma tesisinde toplanan atıklar öncelikle mekanik biyolojik ayrıştırma tesisinden geçtikten sonra RDF üretimi sağlanacaktır. RDF şekline dönüştürülen atıklar gazlaştırma tesisine alınıp yakılması sağlanacak ve elektirik ve ısı üretimi sağlanacaktır. Mekanik biyolojik ayrıştırma tesisinden RDF'nin yanı sıra geri dönüşebilen atıklar ayrılarak geri dönüşümleri sağlanacaktır. Ayrıştırma sonucunda oluşan organik atıklar ise biyokurutma işlemi uygulanarak RDF ile karıştırılarak gazlaştırma işlemine tabi tutulacaktır. Böylelikle Trabzon ve Rize illerinde kentsel katı atıkların bertarafı gerçekleştirilirken mümkün

olabilecek en az miktarda atığın düzenli depolama sahasına gidişi sağlanırken maksimum düzeyde elektrik ve ısı üretimiyle gelir elde edilecektir.

Bu çalışmada katı atık bertaraf yöntemleri olan termal bertaraf sistemlerinden yakma, piroliz ve gazlaştırma sistemlerine değinilerek Trabzon ve Rize illerinde oluşan evsel katı atıkların bu yöntemlerden biri olan gazlaştırma sistemi ile bertaraf edilebilirliği incelenmiştir. Termal bertaraf sistemlerin uygulanması için kalorifik değerin belirli seviyeden yüksek olması gerekmektedir. Türkiye geneli atıklarına bakıldığında atıkların kalorifik değerlerinin termal bertaraf sistemlerine doğrudan uygulanabilirliği çok zor olmaktadır. Fakat kurulması planlanan termal yöntemlerle birlikte çeşitli ön işlem ve yardımcı ünitelerle söz konusu sistemlerin Türkiye’de uygulanabilirliği söz konusu olabilir. Türkiye’de kentsel katı atıklar üzerinde uygulanmakta olan termal bertaraf sistemi bulunmazken çeşitli homojen atıklara termal bertaraf sistemleri özellikle gazlaştırma sistemi uygulanmaktadır. Uygulanan bu sistem teknolojileri çok yakın gelecekte kentsel katı atıklar içinde faaliyete geçirildiğinde ülkemizde özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi gibi düzenli depolama sahası yapılabilecek alanların kısıtlı olduğu bölgeler ile Marmara Bölgesi gibi yüksek miktarda atık oluşan bölgelerde atık bertarafı çözüme kavuşturulurken aynı zamanda da elektrik üretimi elde edilerek yatırım ve işletme maliyetlerinin düşürülmesi de sağlanacaktır.

Bu çalışma kapsamında düzenli depolama sahasında yapılan karakterizasyon çalışmalarında Madde-Grup sınıflandırması (ayırma) işlemi için toplamda yaklaşık 615.360 kg atık üzerinden çalışma yapılmış olup homojen karıştırma yapılarak her bir numune 0,5 m³ olacak şekilde alınmış ve toplamda yaklaşık 3.036 kg atıkta ayırma işlemi yapılmıştır. Serbest atık yoğunluğu ortalama 253 kg/m³ olarak bulunmuştur. TRABRİKAB’a üye belediyelerde günlük kişi başı 0,704 kg atık oluştuğu hesaplanmıştır. Yapılan karakterizasyon çalışmalarında organik atık % 53,12, kağıt-karton %7,39, plastik %3,55, cam %3,55, metal % 1,29, poşet %8,56, tekstil % 5,18, çocuk bezi % 6,17, evsel tehlikel atık %0,60, kompozit % 0,44, elektrik-elektronik atık % 0,41, yanabilir %6,83 ve diğer yanmayan % 1,55 olarak bulunmuştur.

Tüm numunelerin ağırlıklı ortalama değerleri dikkate alındığında kâğıt-karton, cam, pet, plastikler, metaller, elektrik ve elektronik atıklardan oluşan toplamda %17,55’lik atık geri kazanım potansiyeline sahiptir. Ayrıca %8,56 ağırlıkça ortalama değere sahip olan poşetler, ağırlıklı olarak evsel atıkların toplanması amacıyla kullanıldığı için kaynakta ayrı toplanma potansiyeli yoktur. Yapılan analizler değerlendirildiğinde atığın yanabilir

muhtevasının ağırlıkça ortalama yaklaşık %90 gibi önemli değere sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Karakterizasyon çalışması sırasında 24 numune alınarak atık özelliklerine ait laboratuvar analiz sonuçları yapılmış ve su muhtevası %50,6 bulunmuştur. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlarda atık üst kalorifik değerlerinin 4004,7 (normal seviyelerde (3.340-4.582 kcal/kg)) olduğu görülmektedir. Atık alt kalorifik değeri ise atık nem muhtevasının ters orantılı bir fonksiyonu olduğundan elde edilen %50,6 nem muhteva değeri ile ortalama alt kalorifik değeri 1.682 kcal/kg atık olarak bulunmuştur. Atık içerisindeki uçucu organik maddelerin yüzdesel olarak bir göstergesi olan kızdırma kaybı ise %85,3 gibi yüksek oranda bulunmuştur. Bulunan karakterizasyon değerleri ile laboratuvar analizleri sonucunda yapılan planlama ile birlikte gazlaştırma tesisinin tasarımı 200 ton/gün'lük modüler olarak tasarlanmıştır. Yapılan nüfus ve katı atık oluşum tahminlerine göre Trabzon ve Rize illerinde oluşan atık miktarları göz önünde bulundurulduğunda 2025 yılında oluşan atık miktarı 800 ton/günü geçeceğinden ilk aşamada kurulması planlanan gazlaştırma tesisinin kapasitesi yetersiz kalacağı görülmektedir. Dolayısıyla gazlaştırma tesisi 2025 yılında 1.000 t/gün kapasiteye, 2032 yılında 1.400 t/gün kapasiteye ve 2043 yılında 1.600 t/gün kapasiteye çıkarılması öngörülmektedir.

Yapılan çalışma ile birlikte Trabzon ve Rize illerinde oluşan evsel katı atıkların entegre bir tesis ile birlikte gazlaştırma tesisinde yakılarak bertaraf edilebilmesinde aşağıda belirtilen senaryolara varılmıştır.

Senaryo I: Ülkemizde katı atıkların bertarafı yerel yönetimler tarafından yürütülmektedir. Günümüz koşullarına bakıldığında yerel yönetimimizin katı atıkların bertarafına ayırdıkları bütçeler sınırlı olmakta hatta katı atık bertarafına harcanan bedeller çoğu belediyemize ek maliyetler getirmektedir. Çünkü yerel yönetimlerimiz atık bertarafına harcanan bedellerin çok cüzi bir kısmını halka yansıtılmaktadır. Harcanan bütün bedeller belediye bütçesinden olunca atık bertarafı konusunda herhangi bir yatırımın yapılması söz konusu olamamaktadır. Bilindiği üzere atıkların çevre ve insan sağlığına zarar verilmeden bertaraf edilmesi yerel yönetimimizin hukuki görevidir. Fakat atık bertarafı sanıldığı gibi aksine oldukça maliyetli işlemdir. Ülkemizde atık bertarafının yerel yönetimlere bırakılması çeşitli aksaklıkların oluşmasına da zemin hazırlamaktadır. Yukarıda da değinildiği gibi ülkemizde birkaç belediye hariç diğer belediyelerimizin gelirleri atık bertaraf tesisi kurdurup işletilmesini sağlamada yetersiz kalmaktadır. Kaldı ki

yukarıda maliyet analizleri yapılan termal bertaraf yöntemlerinin atık bertarafında kullanılması imkânsız gözükmektedir. Bu nedenle ABD ve Avrupa'da olduğu gibi ülkemizde de termal bertaraf yöntemlerinin bölgesel olarak ilgili Bakanlıklar aracılığıyla yapılacak planlama ile merkezi bütçeden kurulum ve işletme giderleri sağlanmalıdır. Böylelikle her bir yerel idarenin kendi planlamasıyla yapmaya çalışacağı bertaraf tesisleri için gereksiz yatırımların önüne geçilmesi sağlanarak iş gücü ve ekstra maliyetlerin önüne geçilir. Bunun yanı sıra Bakanlıklar aracılığıyla yapılan planlama ile birlikte ülke genelinde termal bertaraf tesisleri kurulurken atık sorununun hızlıca çözümü sağlanır.

Senaryo II: Bilindiği üzere ülkemizde atık bertarafı konusunda belediyelerimizin harcadığı ödeneklerin çok küçük bir kısmı çevre ve temizlik vergisi adı altında hanelere yansıtılmaktadır. Oysa ki Avrupa'da atık bertarafı konusunda hane başı çok ciddi ücretler toplanmakta ve atıkların bertarafı sorunsuz işletilmektedir. Belediyelerimiz tarafından Ülkemizde de Dünya'da ki termal bertaraf tesislerinin kurulması planlanırken kurulum ve işletme aşamasında oluşacak bedeller hane halkına yansıtılarak işin üstesinden gelinebilir. Aksi halde belediyelerimizin bugünkü gelirleri ve giderleri ortada iken oluşan katı atıkların bertarafı konusunda termal bertaraf yöntemini kurdurup işletebilmesi oldukça güç görünmektedir. Bu bağlamda belediyelerimiz tarafından katı atıkların bertarafında termal yöntem tesisi planlaması yapılırken oluşacak maliyetler hane halkından alınacak atık bertaraf vergisi ile çözüme kavuşturulabilir.

Senaryo III: Dünya'da katı atık bertarafında kullanılan termal yöntemler son yıllarda teknolojik olarak oldukça gelişme kaydetmiştir. Üretilen atıkların, bir artık değil fosil yakıtların yerini alabilecek enerji kaynağı olabileceği fikri doğmuştur. Dünya'da ve ülkemizde endüstriyel atıklardan enerji üretimi yapılmaktadır. Fakat ülkemizde evsel katı atıklardan termal bertaraf yöntemleri kullanılarak enerji üretimi yapılmamaktadır. Bunun başlıca nedeni ülke genelinde oluşan atıklarımızın kalorifik değerinin enerji üretmek için uygun olmaması gösterilmektedir. Oysa ki gelişmişlik düzeyini tamamlayan ülkelerin büyük çoğunluğunda evsel atıklardan enerji üretimi yapılmaktadır. Son yıllarda ülkemizin atık profilinde de gelişme yaşanmakta tüketim alışkanlıklarının değişmesiyle birlikte atık profili de büyük kentlerde değişmektedir. Bunun yanı sıra atık toplamada ayrıştırmanın iyi yapılması ile birlikte kalorifik değeri yüksek atıklar elde edilmektedir. Ülkemizde yenilenebilir enerji kapsamında enerji üretiminde önemli derecede devlet desteği sağlanmaktadır. Bu kapsamda son 10 yılda ülkemizdeki düzenli depolama sahalarından kaynaklanan metan gazından elektrik üretim tesisleri yaygınlaşmış, hemen hemen bütün

düzenli depolama sahalarına kurulmuştur. Böylelikle devlet desteği sayesinde atıklardan enerji üretimi özel sektör yatırımcıları tarafından benimsenen bir iş kolu haline geldi hem de en önemlisi çevresel açıdan metan gazının atmosfere salınımı engellenerek sera gazı emisyonu oluşturmaya mâni olunmuştur. Yenilenebilir enerji kapsamında verilen devlet desteği ile Belediyelerimiz tarafından atık bertarafında kurulacak termal bertaraf tesisleri özel sektör yatırımcıları için cazip hale gelmektedir. Belediyelerimiz katı atık bertarafı konusunda yapacakları fizibilite ile atıktan ne kadar enerji üretilebileceğini hesaplayarak termal bir tesis kurulumu için özel yatırımcılarla masaya oturabilirler. Böylelikle atık bertarafına harcanan giderlerin kısılması hatta atıktan üretilen enerjiden gelir elde edilmesi de mümkün olabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında Trabzon ve Rize illerimizde oluşan katı atıklar için yapılan laboratuvar analizlerinde alt kalorifik değerin 1682,4 kcal/kg olduğu anlaşılmıştır. Bulunan bu değerin literatür verilerine göre değerlendirildiğinde atıkların termal bertaraf yöntemi ile bertaraf edilebilmesi mümkün görünmektedir. Böylelikle atıktan üretilebilecek enerji geliri ile yapılacak yatırımların fizibil olup olamayacağı veya özel sektör yatırımcıları için ne kadar sürede geri kazanımın olabileceği hesaplanabilir. Unutulmamalıdır ki yapılan hesaplamalar tesis işletilmesindeki aksaklıklardan ötürü her zaman gerçek değerleri yansıtmaz. Katı atık bertarafında bugün itibariyle özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi gibi coğrafi alanları kısıtlı olduğu bölgeler ve atık yoğunluğu ve nüfusun oldukça fazla olduğu Marmara Bölgesi dışındaki yörelerde kurulmasının gelir-gider dengesi göz önüne alındığında rantabil olmadığı görülmektedir. Çünkü bu çalışmadan da görüldüğü üzere Trabzon ve Rize illerinde oluşan yaklaşık 800 ton/gün atık için kurulacak bir gazifikasyon tesisi yaklaşık 60 Milyon \$ gibi bir maliyete sahip olmaktadır.

Buna karşılık üretilmesi beklenen elektrik enerjisi ise yaklaşık 12 MW/s seviyelerinde olup ton başına enerji miktarı 0,017 MW ve sağlanacak ton başı gelir ise 2,32 \$ olacaktır. Yenilenebilir enerji kapsamında Devlet tarafından sağlanan alım garantisi 10 yıl süreli olarak verilmekte olup 1 MW/s enerji için bugün itibariyle 133 \$/cent'dir. Tesisin yıllık çalışması 8500 saat üzerinden hesap edilmektedir. Bu durumda böyle bir tesisin alacağı yıllık Devlet desteği yaklaşık olarak 13,5 Milyon \$ civarındadır. Bu tür tesislerde ortalama işletme, bakım ve diğer giderler 5 Milyon \$ civarında hesaplanmaktadır. Bu hesaplamalara göre tesisin elde ettiği gelir göz önüne alındığında başka hiçbir gider olmadığı kabul edilse bile sadece gazlaştırma tesisinin kurulum maliyetlerinin yaklaşık 5 yılda amortismanı karşıladığı görülmektedir. Kaldı ki bu giderlere işletme, bakım, onarım

giderleri de eklenince amortisman süresi 10 yılı geçebilmektedir. Bu kadar uzun sürelerde özel sektör yatırımcılarının bu kadar yüklü ödenekleri kullanmaları hiç cazip değildir. Bu durumda da maliyetlerin karşılanması açısından yine belediyerimize ağır Mali yükümlülükler gelmektedir.

Yapılan bütün bu hesaplamalardan anlaşılacağı üzere belediyelerimizin gelirleri göz önüne alındığında termal bertaraf yöntemleri ile katı atıkların bertarafını yapabilmeleri için özel sektör yatırımcılarıyla birlikte her iki tarafında kazanç sağlayacağı şekilde planlamalar yapılmalı ve gerekli bölgelerde tesislerin kurulma işlemi gerçekleştirilmelidir. Yerel idarelerimizin bütçe gelirlerinin kısıtlı olduğu düşünüldüğünde bu tür termal tesislerin kurulması için mutlaka yukarıdaki senaryolarda belirtildiği gibi halkın katılımı (atık vergisi) veya merkezi bütçeden yatırımların yapılması koşullarıyla sistemlerin kurulum ve işletim maliyetleri karşılanması sağlanabilir.

8. KAYNAKLAR

- Arıkan, O., Öztürk, İ. ve Özabalı, A.; 2012. The EU Adapted Integrated Municipal Solid Waste Management Plan of Turkey, International Conference on Recycling and Reuse, İstanbul, June 04-06, 2012.
- Akpınar, N.; 2006. Kentsel Katı Atıklardan Enerji Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Aynur, E.,2011. İstanbul'da Oluşan Kentsel Katı Atıklar İçin Yakma ve Gazlaştırma Sistemlerinin Karşılaştırmalı Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demir, A. ve Tüylüoğlu, B.S.; 1999. Düzenli depolama tesislerinin tasarım ve işletilmesi, Kent Yönetimi İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu, İstanbul, 17-19 Şubat, c. 3, s. 273-281.
- Düzenli Depolama Tesisleri Saha Yönetimi Ve İşletme Kılavuzu, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı; 2015.
- Doğu Karadeniz Entegre Katı Atık Yönetimi Ve Alternatiflerinin Araştırılması Projesi; İSTAÇ, 2012
- Doğru, M., Eysel Katı Atıklar ve Biyokütleden İleri Termal Gazlaştırılma Yöntemi ile Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji Üretimi, Gebze Teknik Üniversitesi, 2018
- Erdem, M., Türkmen, A., Ercan, M. ve Çubukçu, E.; 2010. Türkiye'de Eysel Atık Yönetiminde Yakma Teknolojileri, İstanbul.
- Erdin, E., Yakma-Piroliz Tesisi ve Madde Akışı Hesabı Sunumu, DEÜ, İzmir. <http://web.deu.edu.tr/erdin>
- European Commission, 2006.a. Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration.
- Feasibility Study Of Thermal Treatment Options For Waste In The Limerick, 2005
- For the Federal Ministry for The Environment, Nature Conservation. Status of Alternative Techniques for Thermal Waste Treatment; Haziran 2015.
- Gökçek, Z.; 2009. Gazlaştırma Teknolojileri ile Atıklardan Katma Değer Üretimi, UMDE Gazlaştırma Teknolojileri Tanıtım Dosyası.
- ISWA - The International Solid Waste Association, Iswa Guideliens: Waste to Energy in Low and Middle Income Countries; Ağustos 2013.

- Kaçar, Y.; 1999. Evsel Katı Atıklardan Yakma Prosesi İle Enerji Eldesi, 3. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, İzmir.
- Katı Atık Geri Dönüşüm ve Arıtma Teknolojileri, El Kitabı, Türkiye Belediyeler Birliği; (TBB); Ankara, Mayıs 2015
- Katı Atık Yakma Tesisleri İçin Teknolojiler ve Yer Seçimi, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara; 2000.
- Karakaya, İ.; 2008. İstanbul İçin Stratejik Kentsel Katı Atık Yönetimi Yaklaşımı Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Katı Atıkların Düzenli Depolanması_ve Sızıntı Sularının Sızdırmazlığını Sağlanması, [erişim tarihi 27 Mart 2017]. <https://www.researchgate.net/publication/276272258>
- Klein, A.; 2002, Gasification: An Alternative Process for Energy Recovery and Disposal of Municipal Solid Wastes, Columbia.
- MİMKO Mühendislik İmalat Müşavirlik Koordinasyon ve Ticaret A.Ş.; 2006, 2010. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı. Katı Atık Ana Planı Projesi
- Olgun, H., Doğru, M. ve Howarth, C. R., Katı Atıkların Enerji Dönüşümünde Kullanılması ve Gazlaştırıcılar, IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi,
- Okutan, H.; 2009. Atıktan Enerjiye; Yakma, Piroliz ve Gazlaştırma Uygulamaları, 5. Uluslararası Geri Dönüşüm, Çevre Teknolojileri ve Atık Yönetimi Fuarı, İstanbul.
- Öztürk, İ.; 2010. Katı Atık Yönetimi ve AB Uyumlu Uygulamaları, İSTAÇ.
- Öztürk, İ.; 2013. Katı Atıkların ve Arıtma Çamurlarının Termal Bertarafı ile İlgili Yaklaşımlar, Türktay.
- Öztürk, İ., Kor, M. N., Tüylüoğlu, B. S., Özabalı, A. ve Tezer, B.H.; 2007. Türkiye'nin AB ile Uyumlu Bölgesel Katı Atık Yönetimi Ana Planı, TÜRKAY 2007 Sempozyumu. Mayıs, İstanbul.
- Review of State-Of-The-Art Waste-To-Energy Technologies, Stage Two – Case Studies, WSP, Ocak 2013.
- Saltabaş. F, Soysal, Y, Yıldız, Ş. ve Balahorli, V.; 2011. Evsel Katı Atık Termal Bertaraf Yöntemleri ve İstanbul'a Uygulanabilirliği. Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 3, 109-116.
- Saraç, M. ve Uludağ, O., Dünyada ve Türkiye'de Atıktan Enerji Üretimi, İzaydaş.
- Steiner, M. ve Wiegel, U., Atık Yönetiminin Esaslarına Yönelik Rehber Kitap, Katı Atık Yönetimi, Ankara, Ağustos 2008.

Solar Enerji, İnternet sayfası, <http://www.soleaenerji.com/proliz-sistem/piril-proliz-nedir>

Stantec; 2011. Atık Enerjisi: Belediye Katı Atık Termal İşlem Uygulamaları Teknik İnceleme Nihai Raporu (2011) Çevre Kalitesi Şubesi Victoria <http://www.env.gov.bc.ca/epd/mun-waste/reports/pdf/BCMOE-WTE-Emissions-final.pdf>

Tezcakar, M. ve Can, O., 2010. Atıktan Enerji Eldesinde Termal Bertaraf Teknolojileri, IWES Bildiriler Kitabı, 150-155.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Atık Yönetimi Yönetmeliği, Resmi Gazete Sayısı: 29314, Tarih: 02.04.2015.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, Resmi Gazetesi Sayısı: 27533, Tarih: 26.03.2010.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik, Resmi Gazete Sayısı: 27721, Tarih: 06.10.2010.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ambalaj Atıkları Yönetmeliği, Resmi Gazete Sayısı: 24.08.2011, Tarih: 28035.

T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, Çevre Koruma Katı Atık Toplama; Ankara, 2009.

T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Katı Atıklar, Aile ve Tüketici Hizmetleri; Ankara 2011.

Thorneloe, SA (2012) Katı Atık Yönetiminde Eğilimler ve Depolama Sahası Sera Gazı Emisyonları Sağlık ve Çevre Endişeleri, Berlin Almanya http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/dokumente/us_epa_swm_and_ghg_emission.pdf

Tolay, M. Katı Atıklardan ve Biyokütleden Enerji Üretimi Teknolojileri ve Entegre Katı Atık Yönetiminde Yatırım Fizibilite Çalışmaları, Taslak, Tolay Energy.

Türkiye İstatistik Kurumu web sitesi, <<http://www.tuik.gov.tr>>

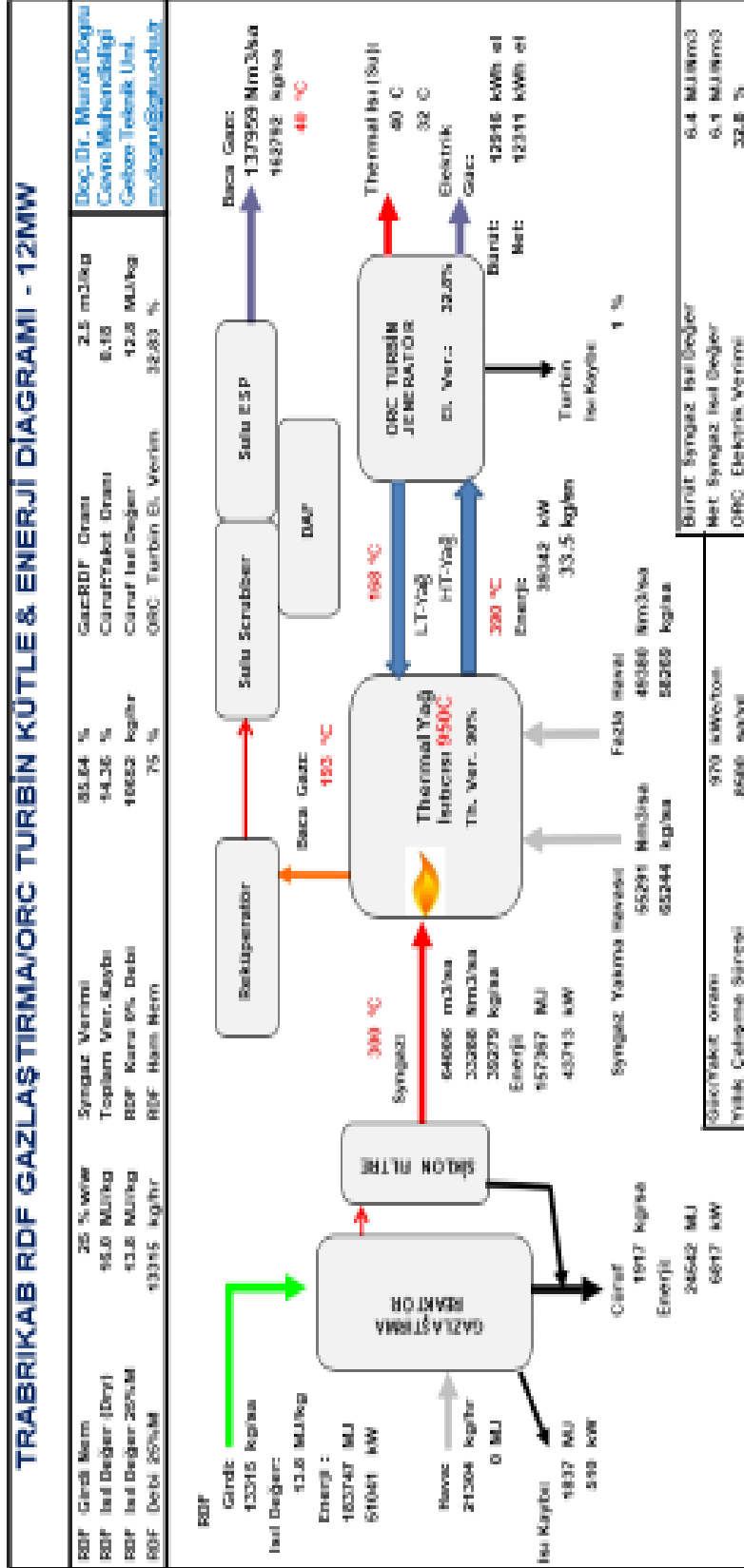
USEPA (2009) Gazlaştırma ve Yenilenebilir Enerji <http://www.epa.gov/osw/hazard/wastemin/minimize/energyrec/renew.htm>

Wilson, B., Waste to Energy Technology for improving Air Quality in Las Vegas, EnviroPower Renewable, Inc.

Vesilind, P.A., Worrell, W.A. ve Reinhart, D.R.; 2002. Solid Waste Engineering, Brooks/Cole, Pacific Grove, USA.

15.05.2005 tarih ve 5346 kanun numaralı, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunu.

Ek 4. RDF Gazlaştırma/Orc Turbin Kütle & Enerji Diyagramı



ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Trabzon'da doğdu. İlköğrenimini Trabzon'da İskenderpaşa İlkokulu'nda tamamladı. Orta öğrenimine Trabzon Kanuni Ortaokulu'nda tamamladı. Lise öğrenimini ise Trabzon Affan Kitapçıoğlu Lisesi'nde tamamladı. 2000 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde lisans programına başladı. 2004 yılında bu bölümden mezun oldu. 2005 yılında vatani görevini tamamladı. 2006 yılında Trabzon ve Rize İlleri Yerel Yönetimleri Katı Atık Tesisleri Yapma ve İşletme Birliği'nde çalışmaya başladı. 2015 yılında Avrasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında Tezli yüksek lisans Öğrenimine başlamış olup halen Trabzon'da çalışmaktadır.