

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**EVSEL ATIK DEĞERLENDİRME TESİSİ ENERJİ-EKONOMİ ANALİZİ  
VE KOCAELİ İLİ İÇİN UYGULAMA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ali Osman SARAÇ**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Programı**

**ARALIK 2015**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**EVSEL ATIK DEĞERLENDİRME TESİSİ ENERJİ-EKONOMİ ANALİZİ  
VE KOCAELİ İLİ İÇİN UYGULAMA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ali Osman SARAÇ  
(301131002)**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. A. Beril TUĞRUL**

**ARALIK 2015**







## ÖNSÖZ

Evsel Atıkların bertarafında birbirine göre avantajı ve dezavantajları olan birçok farklı bertaraf teknolojileri mevcuttur. Bu bağlamda “Yakma Yöntemi” de üzerinde sıklıkla durulan, uygulanan ve tartışılabilen bertaraf teknolojisi olarak uzunca bir geçmişe dayanmaktadır. Ülkemizde, katı atık bertarafına yönelik yakma tesisi bulunmayışı ve özellikle nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu şehirlerdeki ihtiyaç düşünüldüğünde böyle bir çalışma yapmanın önemi kendini göstermiştir.

Tez çalışmamı bilimsel esaslara göre şekillendiren ve büyük bir sabırla çalışmamı irdelleyen, yönlendiren danışmanım Prof.Dr.A.Beril TUĞRUL Hocama çok teşekkür ederim.

Bu tezin oluşmasında büyük katkıları olan İZAYDAŞ Genel Müdürü Muhammet SARAÇ Beyefendiye şükranlarımı sunarım. Çalışma boyunca bilgi ve birikiminden istifade ettiğim İZAYDAŞ Proje Şefi Onur ULUDAĞ’a da teşekkürü bir borç bilirim.

Öğrenim hayatım boyunca üzerimde emeği olan tüm hocalarıma ne kadar teşekkür etsem azdır. Böyle bir çalışma ancak onların gayretleriyle oluşmuştur denebilir. Ayrıca, tabii ki; her zaman beni destekleyen, ilim, irfan ve hikmeti aşıl原因 Anneme, Babama ve Abilerime şükranlarımı sunarım.

Kasım 2015

Ali Osman SARAÇ  
(Elektrik Mühendisi)





## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER .....	vii
KISALTMALAR .....	ix
SEMBOLLER .....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY .....	xxi
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. EVSEL ATIKLAR ve BERTARAF TEKNOLOJİLERİ.....</b>	<b>5</b>
2.1 Atık.....	5
2.2 Çevre ve İnsan Sağlığı Sorunu Olarak Katı Atıklar .....	5
2.3 Katı Atıkların Yasal Mevzuatı.....	6
2.4 Katı Atıkların Sınıflandırılması .....	8
2.4.1 Bileşimine ve özelliklerine göre katı atıklar .....	8
2.4.2 Kaynaklarına göre katı atıklar .....	9
2.5 Evsel Atık (Kentsel Katı Atık) .....	9
2.6 Entegre Atık Yönetimi .....	9
2.6.1 Atık Önleme.....	11
2.6.2 Atık Azaltma.....	11
2.6.3 Yeniden Kullanım.....	11
2.6.4 Geri Dönüşüm.....	12
2.7 Katı Atık Bertaraf Etme Teknolojileri.....	12
2.7.1 Depolama Yöntemi .....	12
2.7.2 Biyolojik Sistemler .....	15
2.7.2.1 Kompostlaştırma .....	15
2.7.2.2 Biyometanizasyon .....	17
2.7.2.3 Biyokütle (Biyometanol, Biyodizel) .....	18
2.7.3 Termal Sistemler.....	19
2.7.3.1 Yakma .....	20
2.7.3.2 Piroлиз .....	24
2.7.3.3 Plazma .....	26
2.7.3.4 Gazifikasyon.....	27
2.8 Atıktan Enerji Üretimi .....	27
2.8.1 Yakma Yöntemiyle Atıktan Enerji Üretimi.....	28
2.9 Evsel Atıkların Türkiye Değerlendirmesi .....	33
2.9.1 Evsel Atıkların Türkiye'deki Durumu ve Bertarafı.....	33
<b>3. EVSEL ATIK YAKMA TESİSİ KÜTLE VE ENERJİ ANALİZİ....</b>	<b>41</b>
3.1 Kütle Dengesi Hesabı .....	41
3.2 Enerji Dengesi Hesabı .....	47
3.3 Kazanda Elde Edilen Buhar Miktarı Hesabı .....	50

3.4 Baca Gazı ve Soğutma Suyu Hesaplamaları .....	53
3.5 Buhar ile Türbinde Üretilecek Elektrik Enerjisi Hesabı.....	56
3.6 Kurulu Güç ve Verim Hesabı .....	59
<b>4. EKONOMİK ANALİZ.....</b>	<b>61</b>
4.1 Kurulum Maliyeti .....	61
4.2 İşletme Maliyeti.....	62
4.2.1 Değişken Maliyet.....	63
4.2.2 Sabit Maliyet.....	64
4.3 Gelirler.....	65
4.3.1 Enerji Satışından elde edilen Gelir .....	66
4.3.2 Atık Bertaraf Bedeli.....	66
4.3.3 Cüruf Geri Kazanım ile elde edilen gelir.....	67
4.3.4 Karbon Kredisi Geliri .....	67
4.4 Nakit Akışı Tablosu.....	68
<b>5. KOCAELİ EVSEL ATIK YAKMA TESİSİ ENERJİ EKONOMİ ANALİZİ.....</b>	<b>71</b>
5.1 Kocaeli İlinin Tanıtımı .....	71
5.2 Kocaeli İli Bertaraf Tesisleri .....	73
5.3 Kocaeli Evsel Atık Yakma Tesisi için Kütle ve Enerji Dengesi Analizi.....	78
5.3.1 Kocaeli Katı Atık Yakma Tesisi için Kütle Dengesi Hesabı.....	78
5.3.2 Kocaeli Katı Atık Yakma Tesisi için Enerji Dengesi Hesabı.....	81
5.4 Kocaeli Katı Atık Yakma Tesisi için Buhar Miktarı ve Besleme Suyu Hesapları.....	84
5.5 Kocaeli Katı Atık Yakma Tesisi için Baca Gazı ve Soğutma Suyu Hesapları .....	87
5.6 Kocaeli Katı Atık Yakma Tesisi için Buhar ile Türbinde Üretilecek Elektrik Enerjisi Hesabı.....	89
5.7 Kocaeli Katı Atık Yakma Tesisi için Kurulu Güç ve Verim Hesabı .	91
5.8 Kocaeli Katı Atık Yakma Tesisi Ekonomik Analizi .....	92
5.8.1 Kocaeli Katı Atık Yakma Tesisi için Kurulum Maliyeti.....	94
5.8.2 Kocaeli Katı Atık Yakma Tesisi için İşletme Maliyeti .....	94
5.8.2.1 Kocaeli ili yakma tesisi için değişken maliyetler.....	95
5.8.2.2 Kocaeli ili yakma tesisi için sabit maliyetler .....	95
5.8.3 Kocaeli Katı Atık Yakma Tesisi için Gelirler .....	96
5.8.3.1 Kocaeli ili yakma tesisi için nakit akış tablosu .....	97
<b>6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....</b>	<b>99</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>103</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>107</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>121</b>

## KISALTMALAR

<b>AB</b>	: Avrupa Birliği
<b>ABD</b>	: Amerika Birleşik Devletleri
<b>ATY</b>	: Atıktan Türetilmiş Yakıt
<b>CEWEP</b>	: Avrupa Atıktan Enerji Üretim Tesisleri Federasyonu (Confederation of European Waste-to-Energy Plants)
<b>ÇSB</b>	: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
<b>ÇOKA</b>	: Çukurova Kalkınma Ajansı
<b>EfW</b>	: Atıktan Enerji (Energy from Waste)
<b>EMO</b>	: Elektrik Mühendisleri Odası
<b>EPA</b>	: Çevre Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency)
<b>EPDK</b>	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
<b>ETKB</b>	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
<b>EUROSTAT</b>	: Avrupa Komisyonu İstatistik Kurumu (Statistical Office of the European Communities)
<b>GSYİH</b>	: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
<b>HCl</b>	: Hidroklorik Asit
<b>HF</b>	: Hidroflorik Asit
<b>IPCC</b>	: Uluslararası İklim Değişikliği Paneli (International Panel on Climate Change)
<b>İBB</b>	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
<b>İSTAÇ</b>	: İstanbul Çevre Yönetimi San. ve Tic. A.Ş.
<b>İZAYDAŞ</b>	: İzmit Atık ve Artıkları Arıtma, Yakma ve Değerlendirme A.Ş.
<b>KBB</b>	: Kocaeli Büyükşehir Belediyesi
<b>KKA</b>	: Kentsel Katı Atık
<b>LFG</b>	: Depo Gazı (Land Fill Gass)
<b>MARKA</b>	: Doğu Marmara Kalkınma Ajansı
<b>MEB</b>	: Milli Eğitim Bakanlığı
<b>OECD</b>	: Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (Organisation for Economic Co-operation and Development)
<b>OSB</b>	: Orman ve Su İşleri Bakanlığı
<b>RDF</b>	: Atıktan Türetilmiş Yakıt (Refuse Derived Fuel)
<b>TCMB</b>	: Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası
<b>TÜİK</b>	: Türkiye İstatistik Kurumu
<b>UNFCCC</b>	: Birleşmiş Milletler İklim Değerikliği Çerçeve Sözleşmesi (United Nations Framework on Climate Change Convention)
<b>VER</b>	: Gönüllü Karbon Emisyon Azaltımı (Verifiable/Voluntary Emission Reduction)
<b>WHO</b>	: Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organisation)
<b>WtE</b>	: Atıktan Enerji (Waste to Energy)



## SEMBOLLER

<b>A<sub>ısı</sub></b>	: Atığın toplam ısı gücü [kCal/saat]
<b>A<sub>kül</sub></b>	: Yanma sonucu kül miktarı [ton/saat]
<b>ALHV</b>	: Atığın alt ısı değeri [kCal/kg]
<b>A<sub>nem</sub></b>	: Atık içerisinde mevcut olan ve yanma sonucu oluşacak nem-ıslak baca gazı miktarı [ton/saat]
<b>A<sub>net</sub></b>	: Nem ve külden arındırılmış atık kütlesi [ton/saat]
<b>A<sub>t</sub></b>	: Toplam katı atık miktarı [ton/yıl]
<b>A<sub>YS</sub></b>	: Yakma tesisi saatlik yakıt(atık) miktarı [ton/saat]
<b>A<sub>YT</sub></b>	: Sızma sonrası yılda oluşan atık kütlesi [ton/yıl]
<b>A<sub>nısı</sub></b>	: Yanma sonucu cüruf ve fırın kaybından arındırılmış ısı gücü [kCal/saat]
<b>AG</b>	: Amortisman Gideri
<b>AÖ</b>	: Banka yada finansman şirketin ana para ödemesi
<b>B<sub>buhar</sub></b>	: Buhar ısı gücü
<b>B<sub>ısı</sub></b>	: Besleme suyun ısı gücü [kCal/saat]
<b>B<sub>kurugaz</sub></b>	: Yanma sonucu atık kaynaklı kuru gaz miktarı [ton/saat]
<b>B<sub>m</sub></b>	: Buhar miktarı [kg/saat]
<b>B<sub>nem</sub></b>	: Yanma sonucu atık kaynaklı nem-ıslak baca gazı miktarı [ton/saat]
<b>B<sub>s</sub></b>	: Besleme suyu miktarı [kg/saat]
<b>B<sub>toplam</sub></b>	: Yanma sonucu oluşan kuru gaz ve nem miktarları [ton/saat]
<b>B<sub>çısı</sub></b>	: Kazanda buharlaşmaya neden olduktan sonra baca gazının çıkış ısı gücü [kCal/kg]
<b>B<sub>hkurugaz</sub></b>	: Sistemde bulunan hava fazlası ile oluşan kuru gaz [ton/saat]
<b>B<sub>kbuhar</sub></b>	: Kazanda oluşan ısı gücü [kCal/saat]
<b>B<sub>kısı</sub></b>	: Kuru gazın ısı gücü [kCal/saat]
<b>B<sub>nısı</sub></b>	: Nem-ıslak baca gazının ısı gücü [kCal/saat]
<b>B<sub>t<sub>kurugaz</sub></sub></b>	: Yanma sonucu oluşan toplam kuru gaz miktarı [ton/saat]
<b>B<sub>t<sub>nem</sub></sub></b>	: Yanma sonucu oluşacak toplam nem-ıslak baca gazı miktarı [ton/saat]
<b>BYM</b>	: Bakım ve yedek parça maliyeti
<b>C</b>	: Spesifik su özgül ısı [kCal/kg °C]
<b>C<sub>baca gazı</sub></b>	: Bacadan atılan gazın sıcaklığı [°C]
<b>C<sub>ısı</sub></b>	: Yanma sonucu kül-cüruf'un ısı gücü [kCal/saat]
<b>C<sub>kazan</sub></b>	: Kazandan çıkan filtre sistemine giren baca gazının sıcaklığı [°C]
<b>CBM</b>	: Cüruf bertaraf maliyeti
<b>D</b>	: Diğer maliyetler
<b>d<sub>b</sub></b>	: Baca gazı çıkış debisi [m <sup>3</sup> /dk]
<b>d<sub>emisyon</sub></b>	: Baca gazı kirletici yoğunluk [g/m <sup>3</sup> ]
<b>D<sub>ısı</sub></b>	: Deşarj edilen suyun ısı gücü [kCal/saat]

<b>D<sub>s</sub></b>	: Kazanda Deşarj edilen su miktarı [kg/saat]
<b>d<sub>w</sub></b>	: Soğutma suyu debisi [m <sup>3</sup> /dk]
<b>DM</b>	: Değişken Maliyet
<b>E<sub> Baca gazı</sub></b>	: Baca gazı ısı gücü [kCal/kg]
<b>e<sub> besleme</sub></b>	: Besleme suyun entalpi değeri [kCal/kg]
<b>e<sub> buhar</sub></b>	: Kazanda oluşan buharın entalpi değeri [kCal/kg]
<b>e<sub> deşarj</sub></b>	: Deşarj edilen suyun entalpi değeri [kCal/kg]
<b>E<sub> elektrik</sub></b>	: Tesisin 1 yılda üreteceği elektrik enerjisi miktarı [MWh]
<b>e<sub> g-kuru gaz</sub></b>	: Baca sıcaklığında kuru gazın entalpi değeri [kCal/kg]
<b>e<sub> g-nem</sub></b>	: Baca sıcaklığında nemin entalpi değeri [kCal/kg]
<b>E<sub> ihtiyaç</sub></b>	: İç ihtiyaç elektrik enerjisi miktarı [MWh]
<b>Ekazan-kuru gaz</b>	: Kuru gazın kazandan çıkış sıcaklığındaki entalpi değeri [kCal/kg]
<b>Ekazan-nem</b>	: Nemin kazandan çıkış sıcaklığındaki entalpi değeri [kCal/kg]
<b>ekurugaz</b>	: Kuru gazın belirli sıcaklıktaki entalpi değeri [kCal/kg]
<b>enem</b>	: Nemin belirli sıcaklıktaki entalpi değeri [kCal/kg]
<b>E<sub> ulusal</sub></b>	: Ulusal şebekeye satılacak elektrik enerjisi miktarı
<b>F<sub> emisyon</sub></b>	: Emisyon faktörleri [kg/ton atık]
<b>FÖ</b>	: Faiz Ödemesi
<b>G<sub> tesis</sub></b>	: Tesiste buhar ile üretilecek güç
<b>H<sub> alt</sub></b>	: Atığın Alt kalorifik (ısı) değeri
<b>h<sub> f</sub></b>	: Türbinden çıkan doymuş suyun entalpi değeri [kJ/kg]
<b>h<sub> fg</sub></b>	: Türbinden çıkan su-buhar karışımının entalpi değeri [kJ/kg]
<b>H<sub> hava</sub></b>	: Sistemde bulunan hava miktarı [ton/saat]
<b>H<sub> üst</sub></b>	: Atığın Üst kalorifik (ısı) değeri
<b>H<sub> thava</sub></b>	: Atığın yanması için hava fazlası dahili ile oluşacak toplam hava miktarı [ton/saat]
<b>h<sub> 3</sub></b>	: Türbine giren buharın entalpi değeri [kJ/kg]
<b>h<sub> 4s</sub></b>	: Türbinden çıkan çürük buhar-suyun entalpi değeri [kJ/kg]
<b>İM</b>	: İşletme Maliyet
<b>K</b>	: Külün alt ısı değeri [kCal/kg]
<b>K<sub> emisyon</sub></b>	: Kirletici emisyon [kg/saat]
<b>K<sub> fırın</sub></b>	: Radyasyon dolayısıyla fırın yüzeylerinde meydana gelen kayıp [kCal/saat]
<b>K<sub> toplam</sub></b>	: Yanma sonucu toplam ısı kayıp [kCal/saat]
<b>KYM</b>	: Kimyasal ve yardımcı malzeme maliyeti
<b>n<sub> fırın</sub></b>	: Fırındaki hızdan kaynaklı fırındaki ısının radyasyon kaybı oranı [%]
<b>n<sub> hava</sub></b>	: Hava fazlası oranı [%]
<b>n<sub> kazan</sub></b>	: Kazan yüzeylerinde oluşan kayıp enerji yüzdesi [%]
<b>n<sub> kuru gaz</sub></b>	: Stokiyometrik yanmada kuru gaz için atığın parametrik değerleri [kg/kCal]
<b>n<sub> kül</sub></b>	: Yanma sonucu oluşacak kül/cüruf oranı [%]
<b>n<sub> nem</sub></b>	: Stokiyometrik yanmada nem için atığın parametrik değerleri [kg/kCal]
<b>n<sub> nem-atık</sub></b>	: Atık içerisindeki nem oranı [%]
<b>n<sub> s</sub></b>	: Aktarma, transfer ve bunkerde bekletilmesi sonucu atık kütledeki sızma oranı [%]

<b>n</b> <sub>tesis</sub>	: Tesisin verimi [%]
<b>P</b> <sub>1</sub>	: Besleme suyun pompaya giriş basıncı [kPa]
<b>P</b> <sub>2</sub>	: Besle suyun pompadan çıkış basıncı [kPa]
<b>Q</b>	: Baca gazı sıcaklığını istenilen çıkış sıcaklığına düşürecek soğutma suyun ısıl gücü [kCal/saat]
<b>r</b>	: hava-yakıt oranı [%]
<b>r</b> <sub>t</sub>	: Hesaplamalar ile elde edilen güç ile atık projeksiyon ve çalışma kapasitesi durumları dikkate alınarak mevcut durumdaki çalışma kapasitesi
<b>S</b>	: Sigorta
<b>S</b> <sub>deşarj</sub>	: Kazandadeşarj edilen suyun besleme suyuna oranı [%]
<b>s</b> <sub>f</sub>	: Türbinden çıkan suyun entropi değeri [kJ/kg K]
<b>s</b> <sub>fg</sub>	: Türbinden çıkan su-buhar karışımının entropi değeri [kJ/kg K]
<b>SM</b>	: Sabit Maliyet
<b>s</b> <sub>3</sub>	: Türbine giren buharın entropi değeri [kJ/kg K]
<b>s</b> <sub>4</sub>	: Türbinden çıkan doymuş buharın entropisi [kJ/kg K]
<b>T</b>	: Tesis kurulu gücü [MW]
<b>v</b>	: Doymuş su özgül hacmi [m <sup>3</sup> /kg]
<b>v</b> <sub>b</sub>	: Baca gazın çıkış sıcaklığı değerindeki hacmi [m <sup>3</sup> /kg]
<b>w</b>	: Atığın içerisindeki su muhtevasının ağırlıkça oranını
<b>W</b>	: Soğutma suyu miktarı [ton/saat]
<b>W</b> <sub>net</sub>	: Sistemde yapılan net iş miktarı [kJ/kg]
<b>W</b> <sub>p</sub>	: Pompa işi [kJ/kg]
<b>w</b> <sub>s</sub>	: Tesis yıllık çalışma saati [saat/yıl]
<b>W</b> <sub>t</sub>	: Türbinin yaptığı iş [kJ/kg]
<b>X</b>	: Kuruluk derecesi
<b>Δt</b>	: Sıcaklık farkı [°C]
<b>η</b> <sub>p</sub>	: Pompa verimi
<b>η</b> <sub>t</sub>	: Türbinin verimi





## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 2.1</b> : Farklı yakıtlar için emisyon faktörleri (Danimarka Enerji Ajansı, 2006) .....	32
<b>Çizelge 2.2</b> : Yıllara göre nüfus ve atık değişimi (TÜİK, 2012) .....	33
<b>Çizelge 2.3</b> : 2012 yılı Verilerine göre evsel atık miktarı ve bertaraf oranları (TÜİK, 2012) .....	35
<b>Çizelge 2.4</b> : 2012 yılı Türkiye atık bertaraf yöntemleri ve miktarları.....	36
<b>Çizelge 2.5</b> : Türkiye'deki atıkların şehir, kasaba ve kırsal alanlara göre dağılımı (Tolay, M., 2008) .....	37
<b>Çizelge 2.6</b> : Belediyeler tarafından toplamam atıkların mevsimsel değişimi (TÜİK,2012) .....	37
<b>Çizelge 2.7</b> : Kentsel Katı atık bileşenlerin ısı değerleri (Akpınar, 2006)	38
<b>Çizelge 2.8</b> : Türkiye toplam sera gazı emisyonları (milyon ton CO <sub>2</sub> Eşdeğeri) (TÜİK-sera gazı emisyon envanteri, 2013).....	39
<b>Çizelge 3.1</b> : Fırındaki hız ve radyasyon kaybı .....	48
<b>Çizelge 3.2</b> : Kirletici emisyon faktörü değerleri (AB Çevre Ajansı, 2009).....	55
<b>Çizelge 4.1</b> : Tesis kurulum maliyetinin dağılımları .....	62
<b>Çizelge 4.2</b> : Değişken maliyetler .....	64
<b>Çizelge 4.3</b> : Amortisman giderleri .....	65
<b>Çizelge 4.4</b> : Cüruf geri kazanım ile elde edilen gelir birim fiyatı .....	67
<b>Çizelge 4.5</b> : Bir örnek nakit akışı tablosu .....	68
<b>Çizelge 5.1</b> : Kocaeli nüfus bilgileri .....	72
<b>Çizelge 5.2</b> : 2012 yılı ilçe bazlı evsel katı atık miktarı (MARKA, 2013).....	75
<b>Çizelge 5.3</b> : Evsel katı atık karakterizasyonu sonuçları (KBB, 2013) .....	76
<b>Çizelge 5.4</b> : 2010 yılı itibariyle atık bertaraf tesislerine göre evsel katı atık karakterizasyonu .....	77
<b>Çizelge 5.5</b> : Kocaeli evsel atıklarının ısı değerleri .....	77
<b>Çizelge 5.6</b> : Kocaeli ili için kütle dengesi hesabı için kullanılan atığın karakterizasyonu .....	79
<b>Çizelge 5.7</b> : Kocaeli ili atık özellikleri .....	79
<b>Çizelge 5.8</b> : Kocaeli ili evsel atık yakma tesisi için kütle dengesi hesaplamaları ile elde edilen değerler .....	79
<b>Çizelge 5.9</b> : Stokiyometrik yanma için atığın parametrik değerleri .....	80
<b>Çizelge 5.10</b> : Kuru gaz ve nem için stokiyometrik havada atığın yanma parametreleri.....	80
<b>Çizelge 5.11</b> :Yanma parametreleri değerleri .....	80
<b>Çizelge 5.12</b> : Yanma sonucu oluşan kütle dengesi değerleri .....	80
<b>Çizelge 5.13</b> : Yakma sistemi ısı güç değerleri .....	81
<b>Çizelge 5.14</b> : Hava ve nem için sıcaklık değişimine bağlı entalpi değerleri.....	82
<b>Çizelge 5.15</b> : Kuru gaz ve nem için entalpi değerleri .....	83
<b>Çizelge 5.16</b> : Yanma sonucu oluşan kuru gaz ve nem ısı güç değerleri ...	83

<b>Çizelge 5.17:</b> Yakma sisteminde enerji dengesi .....	84
<b>Çizelge 5.18:</b> Tesis çevrim bilgileri .....	85
<b>Çizelge 5.19:</b> Kazan giriş-çıkış su ve buhar entalpi değerleri .....	86
<b>Çizelge 5.20:</b> Kazan besleme suyu ve oluşan buhar miktarı hesapları ile ulaşılan değerler .....	86
<b>Çizelge 5.21:</b> Baca gazı ve soğutma suyu hesaplamaları sonuçları.....	87
<b>Çizelge 5.22:</b> Baca gazına ilişkin ulaşılan değerler .....	87
<b>Çizelge 5.23:</b> Emisyon faktörleri (AB çevre Ajansı, 2009).....	87
<b>Çizelge 5.24:</b> Tesis baca gazı kirletici emisyonlar .....	88
<b>Çizelge 5.25 :</b> Tesis baca gazı kirletici kütleli debi .....	88
<b>Çizelge 5.26:</b> İZAYDAŞ baca gazı limit değerleri .....	89
<b>Çizelge 5.27:</b> Rankine çevrimi ve türbinin yaptığı iş hesabı ile ulaşılan değerler .....	90
<b>Çizelge 5.28:</b> Atık projeksiyonu ile üretilecek enerji miktarı yıllar içerisindeki değişimi .....	93
<b>Çizelge 5.29:</b> Tesis kurulum nakit akışı .....	94
<b>Çizelge 5.30:</b> Tesisin kurulum maliyeti .....	94
<b>Çizelge 5.31:</b> Kocaeli evsel katı atık yakma tesisi değişken maliyetler .....	95
<b>Çizelge 5.32:</b> Banka anapara ve faiz ödemesi .....	95
<b>Çizelge 5.33:</b> Amortisman gideri .....	96
<b>Çizelge 5.34:</b> Öngörülen 3 senaryo için elektrik enerjisi satış birim fiyatı .....	96
<b>Çizelge 5.35:</b> Cüruf geri kazanım ile elde edilecek gelir .....	96
<b>Çizelge 5.36:</b> Karbon kredisi geliri .....	97
<b>Çizelge E.1 :</b> Hava ve nem için sıcaklık değişimine bağlı entalpi değişimi.....	108
<b>Çizelge E.2:</b> Stokiyometrik yanma için atığın yanma parametrik değerleri .....	109
<b>Çizelge E.3:</b> Doymuş su özellikleri – sıcaklık tablosu .....	110
<b>Çizelge E.4:</b> Doymuş suyun özellikleri – basınç tablosu .....	111
<b>Çizelge E.5:</b> Kızgın buhar tablosu .....	112
<b>Çizelge E.6:</b> Senaryo-I nakit akışı-1.....	113
<b>Çizelge E.7:</b> Senaryo-I nakit akışı-2.....	114
<b>Çizelge E.8:</b> Senaryo-I nakit akışı -3.....	115
<b>Çizelge E.9:</b> Senaryo-II nakit akışı-1 .....	116
<b>Çizelge E.10:</b> Senaryo-I nakit akışı-2.....	116
<b>Çizelge E.11:</b> Senaryo-II nakit akışı-3 .....	117
<b>Çizelge E.12:</b> Senaryo-III nakit akışı-1 .....	117
<b>Çizelge E.13:</b> Senaryo-III nakit akışı-2 .....	118
<b>Çizelge E.14:</b> Senaryo-III nakit akışı-3 .....	118
<b>Çizelge E.15:</b> Senaryo-I+ nakit akışı-1 .....	119
<b>Çizelge E.16:</b> Senaryo-I+ nakit akışı-2 .....	119
<b>Çizelge E.17:</b> Senaryo-I+ nakit akışı-3 .....	119

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Atıkların toplanması, taşınması ve transferi (ÇOKA, 2014).....	10
Şekil 2.2 : Entegre atık yönetimi hiyerarşisi.....	11
Şekil.2.3 : Düzenli depolama sahalarına ilişkin kesit (ÇSB, 2013).....	14
Şekil 2.4 : Depo gazından enerji üretimi (US DoE, 2005).....	15
Şekil 2.5 : Kompostlaştırma prosesi ve kütle dengesi (Url-3).....	17
Şekil 2.6 : Biyogaz enerji üretim şeması (Url-4).....	18
Şekil 2.7 : Biyodizel üretim blok şeması .....	19
Şekil 2.8 : Atıktan türetilmiş yakıt proses şeması (Url-6) .....	21
Şekil 2.9 : Yakma tesisi akış şeması.....	23
Şekil 2.10: Piroliz sistemi (Url-7).....	25
Şekil 2.11: Plazma teknolojisi enerji üretim şeması (Ceylan, 2011).....	26
Şekil.2.12: Konvansiyonel gazifikasyon proses şeması (Ceylan, 2011) .....	27
Şekil 2.13: 2011 yılı gelişmiş ülkelerin atık bertaraf oranları .....	29
Şekil 2.14: AB kentsel katı atık bertarafının yıllar içerisindeki değişimi (EUROSTAT, 2012).....	30
Şekil 2.15: WtE tesislerinde 2010 yılında üretilen enerji (milyon MWh)...	31
Şekil 2.16: Türkiye’de yıllara ve nüfusa göre evsel atık miktarı değişimi..	34
Şekil 2.17: Ülkelerin gelir durumuna göre ürettikleri atık oranı (Dünya Bankası, 2012).....	35
Şekil 2.18: Türkiye’de belediye atıkları 2006 yılı kompozisyonu (TÜİK, 2006).....	36
Şekil 2.19: Sektörlere göre toplam sera gazı emisyonları (ÇSB, 2013) .....	39
Şekil 3.1 : Bir evsel atık yakma tesisi Kütle dengesi hesabına ilişkin şematik görünüm .....	42
Şekil 3.2 : Enerji dengesi şematik gösterimi .....	47
Şekil 3.3 : Rankine çevrimi .....	56
Şekil 3.4 : Tesis çevrimi .....	57
Şekil 5.1 : Kocaeli ili haritası .....	72
Şekil 5.2 : Kocaeli ilindeki bertaraf tesisleri .....	74
Şekil 5.3 : Kocaeli ili 2013 yılı atık kompozisyonu (KBB, 2013) .....	74
Şekil 5.4 : 2012 yılı ilçe bazlı evsel katı atık miktarı (kg/kişi-gün) .....	76
Şekil 5.5 : Yanma sonucu oluşan kütle dengesi .....	81
Şekil 5.6 : Yanma sonucu oluşan ısıl denge .....	84
Şekil 5.7 : Tesis çevrim şeması .....	85
Şekil 5.8 : Fırın ve kazan sıcaklık değişimleri .....	86
Şekil 5.9 : Rankine çevrimi sıcaklık-entropi değişimi grafiği.....	90
Şekil 5.10: 3 hatlı sistem ve eklenebilecek ek sistem .....	92



## EVSEL ATIK DEĞERLENDİRME TESİSİ ENERJİ-EKONOMİ ANALİZİ VE KOCAELİ İLİ İÇİN UYGULAMA

### ÖZET

İnsanoğlu yaşamını sürdürürken çevre ile etkileşim içerisinde olmaktadır. Nüfus artışı ve tüketim alışkanlıklarının değişimiyle birlikte doğal kaynak tüketimi her geçen gün artmaktadır. Günlük faaliyetler sonucu ortaya çıkan katı atıklar bu kapsamda önemli bir çevre sorunu haline gelmiş bulunmaktadır. Bu bağlamda, katı atıkların çevreye zarar vermeden bertaraf edilmesi büyük önem kazanmaktadır.

Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında, kentsel katı atıkların bertaraf teknolojileri içerisinde yer alan “Yakma Yöntemi”yle bertarafın enerji-ekonomik analizi ele alınmıştır. Kütleli yakma sistemiyle, katı atıkların çevresel zararlı etkileri minimuma indirilirken elektrik enerjisi üretilmektedir. Bu sayede, katı atıklar ekonomiye enerji olarak geri kazandırılabilir.

Bu Yüksek Lisans Tez Çalışması altı Bölümden oluşmaktadır. 1.Bölümde genel hatlarıyla konunun tanıtıldığı “Giriş” bölümü yer almaktadır.

2.Bölümde ise, “Evsel Atıklar ve Bertaraf Teknolojileri” başlığı altında öncelikle atık tanımı ve yasal mevzuat anlatılmaktadır. Bu bölümde, katı atık bertarafında kullanılan teknolojiler de açıklanmıştır. Bertaraf teknolojileriyle atıktan enerji üretimi ile özellikle Avrupa’da kullanılan teknolojiler ve kullanıma yüzdeleri ifade edilmiştir. Bu Yüksek Lisans tez çalışmasında “Yakma Teknolojisi” ile çalışılması amaçlandığından, özellikle yakma yöntemi merkezli atıktan enerji üretimi ele alınarak incelenmiştir. İkinci bölümde son olarak, “Evsel Atıkların Türkiye Değerlendirilmesi” ile ülkemizdeki mevcut atık ve bertaraf durumuna yer verilmiştir.

3.Bölümde ise, “Yakma Tesisimizin Kütle ve Enerji Dengesi” ifadeleri çıkartılmıştır. Bu ifadelerle öngörülen bir yakma tesisinde yanma sonucu oluşan kütle ve enerji dengesi denklemleri oluşturulmaktadır. Bu veriler temel veriler olmakta olup, yakma teknolojisini baz alacak tesislerin kullanabileceği şekilde oluşturulmuştur. Burada, Rankine Çevrimi esas alınarak buhar üretimi ile üretilen elektrik enerjisi miktarı hesabına yönelik denklemler bulunmaktadır. Bu bölümde, son olarak tesisin kurulu gücü ve verim hesapları yer almaktadır.

4.Bölümde de, “Ekonomik Analiz”e yer verilmiştir. Öngörülen tesisin maliyetlendirilmesine yönelik ifade ve denklemler oluşturulmuştur. “Giderler ve Gelirler” ifade edilerek nakit akışı tablosu hazırlanması için gerekli ifadeler anlatılmıştır. Kurulum Maliyetini etkileyen değişkenler de bu kapsamda ifade edilmiştir.

Katı Atık Yakma Tesisinin enerji-ekonomik analizinin Kocaeli ili için yapılması hedeflenmiştir. Kocaeli ilinin seçilmesindeki nedenleri temel olarak ifade etmek gerekirse; sanayi tesisleri ile göç alması, refah seviyesinin yüksek oluşu ile kişi başı atık tüketiminde Türkiye ortalamasına sahip olması, çok farklı tüketim alışkanlıklarına sahip nüfus yapısı, İstanbul'dan sonra en büyük ikinci nüfus yoğunluğuna sahip il olması olarak sayılabilir. Bunlara ek olarak, il sınırları içerisinde Türkiye'nin ilk ve tek tehlikeli atık bertaraf tesisi İZAYDAŞ bulunmaktadır. Yakma Teknolojisine yönelik kamuoyunda oluşan bazı çekincelere karşın, İZAYDAŞ tesisiyle, Kocaeli Türkiye'de bu alanda tecrübesi bulunan tek il konumundadır. Ülkemizde kentsel katı atıkların bertarafından yasa gereği Belediyeler ve Büyükşehir belediyeleri sorumludur. İZAYDAŞ Tesisi Kocaeli Büyükşehir iştiraki olduğu için bu sayede Kocaeli Büyükşehir Belediyesi; yakma teknolojisine yönelik bilgi, birikim ve tecrübeye ek olarak uzman personellere de sahip bulunmaktadır. Bu gibi destekleyici etkenler ile Kocaeli ili verileri baz alınarak katı atık yakma tesisi enerji-ekonomik analizi 5.Bölümde ele alınmaktadır.

6.Bölüm, bu Yüksek Lisans tezi çalışması sonucu elde edilen verilerin değerlendirildiği "Sonuç" kısmıdır. Bu bölümde, halen bu yüksek lisans çalışması ile ulaşılan sonuçlar yorumlanmakta olup, ayrıca ülkemizde bulunmayan "Kentsel Katı Atıkların Yakma" teknolojisiyle bertarafı tesisine yönelik öneriler de sunulmaya çalışılmış bulunmaktadır.

## **ENERGY ECONOMIC ANALYSIS FOR MUNICIPAL WASTE DISPOSAL PLANT AND APPLICATION FOR KOCAELI STATE**

### **SUMMARY**

Mankind is in interactions with the environment while maintaining the life. Damage to the environment with changes in population growth and consumption patterns are increasing every day. The solid wastes as a result of daily activities has already become a major environmental problem in this context. In this context, the disposal of solid waste without or minimizing damaging the environment is of great importance.

In this MSc thesis, Energy-economic analysis of incineration technology, which is located municipal solid waste disposal technology, is discussed. Environmental harmful effects of solid waste are minimized with the mass combustion systems. At the same time with combustion electrical energy is produced. Thus, the solid waste can be recycled economy as energy.

This MSc Thesis consists of six sections. First chapter comprise Introduction section that contents the subject of the thesis and its importance are described in general terms in this section.

The second chapter, under “Municipal Waste and Disposal Technologies” heading primarily describes the waste definition and legislation. In this section, the technologies used in the disposal of solid wastes are also described. The production of energy from waste disposal technology has been specifically expressed with the use of technology and the percentage used in Europe. This Master's thesis on the work "Combustion Technology" is discussed, especially were examined based energy production from waste incineration. Finally in this section, Turkey waste and disposal state is given.

Mass and Energy Balance expressions and equations are created in Chapter 3. incineration plant mass and energy balance is created with these equations. This chapter also includes about electric energy equations which is produced from steam. For these calculations, Rankine cycle is used. This chapter contains the installed power and efficiency equations.

Economic Analysis is covered in chapter 4. Expression for the costing of the proposed facility and the balance has been established. "Expenses and Income" statement is described. Cash Flow is gained by these statements. Construction and Installation Costs also referred this chapter.

In this MSc thesis focused on Kocaeli Municipality. The Incineration Plant has modeled Kocaeli solid waste and characteristics properties. There are many reasons for selection Kocaeli. Firstly, Kocaeli is Turkey industrial base. On the other hand, with this industrial facility Kocaeli takes migration for years. The other reasons can be sort as; high level of welfare, Kocaeli

waste consumption per person approximately same with Turkey average, Kocaeli have very different consumption habits population, except Istanbul Kocaeli is the largest population density in Turkey. In addition, Turkey's first and only hazardous waste disposal facility within the city limits is IZAYDAS.

Despite some reservations for Combustion Technology of public opinion, with IZAYDAS facility people of Kocaeli have experiences and knowledge about combustion technology. In our country, Municipalities are responsible for disposal of solid wastes. IZAYDAS is a public body. Because of this IZAYDAS is also responsible for disposal of Kocaeli solid wastes. Thesis is supported by IZAYDAS data and experiences. Finally, such supportive factors about Kocaeli, solid waste incineration plant energy-economic analysis are discussed in Chapter 5 based on the data of the Kocaeli-IZAYDAS.

Chapter 6 is the last chapter that includes Conclusion and Suggestions part. Thanks to previous chapters data thoughts and present suggestions for Solid Waste Incineration Plants for Kocaeli are expressed.



## 1. GİRİŞ

Kullanılmış, artık istenmeyen ve çevre için zarar oluşturabilen her türlü madde olarak nitelenebilen atıklar, yaratabilecekleri çevre sorunları nedeniyle ülkelerin önde gelen sorunlarından biri durumundadır. Bir başka deyişle, her çöpün atık olarak değerlendirilmesi ve atılması önemli çevre sorunlarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu bağlamda, atık sorununun azaltılması için son yıllarda atık yönetim sistemleri oluşturularak atıkların değerlendirilmesi hedeflenmektedir.

Nüfus artışı, kentleşme, tüketim alışkanlıklarının değişmesi, gelir ve refah seviyesindeki artış ile birlikte kişi başı tüketilen katı atık miktarı her geçen gün artmaktadır. Katı atıklar ve bu bağlamda evsel atıklar, salt olarak yok edilmesi gereken maddeler olarak değil de; geri dönüştürülmesi, tekrar faydalanılması gereken zenginlik kaynakları olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Ancak, böyle bir yaklaşımla çevre sorunlarının üstesinden gelinebilmesinin mümkün olabileceği düşünülmektedir.

Doğal kaynakların sınırlı olması nedeniyle, nüfus artışı, teknolojik gelişim ve sanayileşme karşısında, söz konusu kaynakların talebe cevap vermekte yetersiz kalacağı kaçınılmaz görülmektedir. Geleceğin dünyasında, yaşanabilir dünya şartlarının sürdürülebilmesi bağlamında kalkınma ve gelişmişlik; ülkelerin geri dönüşüm, geri kazanım ve verimlilik oranlarına verdikleri önem ve hayata geçirebilme oranları ile bağıntılı olacaktır denebilir (Tuğrul, 2014a, Tuğrul 2014b).

Son dönemlerde, tüm dünyada sürdürülebilir kalkınma yaklaşımı benimsenmektedir. Bu kapsamda, atıkların çevre ve insan sağlığı açısından bir tehdit olmaktan çıkıp, ekonomi için bir girdiye dönüştürülmesini amaçlayan atık yönetim stratejileri öne çıkmaktadır (Tuğrul, 2014c, Tuğrul,2014d).

Sürdürülebilir kalkınmanın en önemli bileşenlerinden birisi hiç şüphesiz enerjidir. Bu bağlamda, atık yönetim stratejilerinin bir parçası olan atıktan enerji üretimi yöntemi için temel ilke, şu şekilde ifade edilebilir: “Çevresel zararlı etkiyi minimize ederek hatta yok etmeye çalışarak, faydayı maksimize etmek”.

Öte yandan, ülkelerin enerji tüketimi ile gelişmişlik seviyesi arasında bir ilişki mevcuttur. Ülkelerdeki kişi başı elektrik tüketimi değeri, o ülkenin gelişmişlik ölçütünde göstergelerden biri olarak değerlendirilmektedir (Çağır, G. ve diğ, 2013).

OECD ülkeleri Enerji talep artışına bakıldığında; Türkiye, son 10 yıllık dönemde OECD ülkeleri içerisinde enerji talep artışının en hızlı gerçekleştiği ülke konumundadır. Bu bağlamda, ülkemizin gelecek 10 yıl içerisinde enerji talebinin iki katına çıkması beklenmektedir (ETKB, 2014). Dışa bağımlılığı azaltmak ve iki katına çıkacak olan enerji talep artışını sorunsuz karşılamak ve de enerji arz güvenliğini sağlamak için yerli kaynakları kullanmak öncelikli konu olmaktadır. Bu amaçla, günlük faaliyetlerin ve yaşamın sorunsuz devam ettirilebilmesi için tüketilen atıkların enerji üretim amaçlı kullanılması yadsınamaz önem taşımaktadır denebilir.

2013 yılı verilerine göre elektrik enerjisi üretiminin yaklaşık %57,9'u ithal kaynaklardan elde edilmiştir (ETKB, 2014; Sakarya, 2014). Dolayısıyla, elektrik enerjisi birim fiyatının küresel değişkenlere büyük oranda bağlı olduğu söylenebilir. Bu durum, özellikle yatırımcı ve imalat sanayicisi için istenmeyen bir durumu oluşturmaktadır.

2012 yılında, Türkiye'nin toplam ithalatı 235 milyar dolar değerinde gerçekleşmiştir. Enerji sektöründen kaynaklanan ithalat ise 60 milyar dolar değerindedir. Dolayısıyla, toplam ithalatın yaklaşık %26'sı enerji ithalatıdır. Elektrik üretiminde ise, ithalat 22,8 milyar dolar seviyesinde olup, enerji ithalatının yaklaşık %39'u elektrik üretimi sektörü tarafından gerçekleştirilmiştir (TCMB, 2013/II).

Görüldüğü üzere; elektrik üretimi ve elektrik üretiminde yerli payın artırılması önem arz etmektedir. Bu katkılarından ötürü enerji ekonomik açıdan kentsel ve bu bağlamda evsel atıkların değerlendirilmesinin stratejik öneme sahip olduğu da ifade edilebilir. Bu durum, ülkenin bütçe cari açığının düşürülmesine de hizmet eden bir nitelik taşımaktadır.

Diğer taraftan, atıkların enerji üretim amaçlı değerlendirilmesi, aynı zamanda yenilebilir enerji kaynağı kapsamında olup, bu kaynakların değerlendirilmesiyle Yenilebilir enerji kaynağı kurulu gücüne de katkı verilebilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarında (özellikle güneş ve rüzgarda) en büyük sorun, genel anlamda doğa olaylarından etkilenmeleri ve elektrik üretimi için düşük kapasite faktörüne sahip

olmalarıdır. Ancak, atık değerlendirmesi ile atıktan enerji üretim santralleri, emre-  
amade santraller kapsamında nitelenebilmektedir.

Türkiye'nin 2023 yılı hedefleri doğrultusunda elektrik üretiminde kurulu gücün  
120.000MW'a çıkarılması ve yenilenebilir enerji kaynakları payının da elektrik  
enerjisi üretiminde %30'a yükseltilmesi amaçlanmaktadır (ETKB, 2013). Aynı  
zamanda, AB'nin 2020 yılı hedefleri de göz önüne alındığında atıktan enerji üretimi,  
enerji-ekonomik ve çevresel olarak önemli bir alan olarak öngörülmektedir.

Tüm bu hususlar göz önüne alınarak, bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında, kentsel  
katı atıkların bertarafıyla çevre sorununun azaltılması yanında elektrik üretimi  
sağlayacak bir evsel atık bertaraf tesisinin enerji-ekonomik analizinin yapılması  
amaçlanmaktadır.



## **2. EVSEL ATIKLAR ve BERTARAF TEKNOLOJİLERİ**

### **2.1 Atık**

Atık, farklı şekillerde ifade edilebilirse de öz bir tanımla, üreticinin kendi üretim, dönüşüm ya da tüketim amaçları doğrultusunda kullanamadığı ve attığı veya atmayı planladığı ya da atması gereken, ana ürünler (pazar için üretilen ürünler) dışındaki malzemelerdir. Atıklar, ham maddelerin elde edilmesi, ara ve nihai ürünlere dönüştürülmek üzere işlenmesi, nihai ürünlerin kullanımı ve diğer başka bir insani faaliyet sırasında oluşabilmektedir (OECD).

Sanayide, ulaşımda, tarımda, turizmde, inşaat sektöründe, üretim yaparken, hizmet verirken, çok sayıda madde ve malzeme biçim değiştirmektedir. Tüm bu faaliyetler için, enerji sağlanırken ve enerji kullanırken de, gaz, sıvı ve katı halde atıklar ve artıklar ortaya çıkmaktadır. Bu atıkların bir bölümü nihai olarak bertaraf edilirken, bir bölümü de geri kazanılarak, yeniden kullanılabilir (Url-1).

Atıklar; katı, sıvı veya gaz olabilmektedir. İnsanların sosyal ve ekonomik faaliyetleri sonucunda işe yaramaz hale gelen ve akıcı olabilecek kadar sıvı içermeyen her tür madde ve malzemeyi katı atık olarak tanımlamak mümkündür.

“Çevre ve Orman Bakanlığı Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği” (1991) ’ne göre katı atıklar; üreticisi tarafından atılmak istenen ve toplumun huzuru ile özellikle çevrenin korunması bakımından, düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddeler ve arıtma çamuru olarak tanımlanmaktadır (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 1991).

### **2.2 Çevre ve İnsan Sağlığı Sorunu Olarak Katı Atıklar**

Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 1946) sağlık kavramını sadece hastalıklardan uzak olma anlamında değil insanın fiziksel, zihinsel ve sosyal iyilik hali olarak tanımlamaktadır. Sağlıklı olmanın temel koşullarından birisi de sağlıklı çevre olmaktadır.

Katı atıklar, atık döngüsü içinde, üretildikleri andan son uzaklaştırma aşamasına kadar çevre ve insanla doğrudan ya da dolaylı etkileşim içindedir. Katı atıklar, gerek içeriklerindeki hastalık yapıcı veya bulaştırıcı maddelerle doğrudan; gerekse fare, sinek vb. diğer canlılar için beslenme ve üreme kaynağı olması nedeniyle dolaylı olarak çevre ve insan sağlığını olumsuz etkileyebilmektedir (Güler ve Çobanoğlu, 1996).

Katı atıkların çevreye etkileri biyolojik, kimyasal ve fiziksel nitelikte olabilmektedir. Bu bağlamda, doğrudan veya ara hayvanlarla bulaşabilen cüzzam, veba, kolera, dizanteri, tüberküloz, kuduz, sıtma gibi hastalıklar biyolojik olumsuzluklara örnek olarak verilebilir.

Öte yandan, çöp depolama alanlarında oluşan sızıntı suları ve gazlar iyi kontrol edilemezse, kimyasal ve biyolojik olumsuzluklara neden olabilmekte, çevreye sorumsuzca bırakılan atıklar insanlara fiziksel zararlar verebilmektedir. Yetersiz temizlik ve atık yönetimi uygulamaları ile çevre ve insan sağlığı arasındaki yakın ilişki, kalkınmamış ve/veya kalkınmakta olan ülkelerde açıkça gözlemlenebilmektedir (Palabıyık, 2001).

### **2.3 Katı Atıkların Yasal Mevzuatı**

Günümüzde gelişen refah düzeyine paralel şekilde daha fazla atık üretilmektedir. Artan bu katı atık miktarı sadece değerleri yükselen boş alanları doldurmakla kalmamakta aynı zamanda hava, su, toprak kirliliğine de sebep olmaktadır. Bu nedenle, AB üye ülkelerinin hazırlamış oldukları Altıncı Çevre Eylem Planında belirlenen dört önemli öncelik konularından birisi atık önleme ve yönetimidir.

AB Çevre Mevzuatı; çevresel risklerin önüne geçilmesi ve sürdürülebilir bir çevre yönetiminin sağlanması amacıyla Çevre Mevzuatını sekiz alt kategoride ele almıştır. Atık yönetimi bu sekiz alt kategoride yer almaktadır (Kemirtlek, 2006).

Ülkemizde, katı atıkların toplanması, taşınması ve geri kazanılması ile çevre ve insan sağlığına olumsuz etki yapmadan nihai bertarafına ilişkin yükümlülük, yetki ve sorumluluklar 5393 Sayılı Belediye Kanunu'nun 14 ve 15'inci maddeleri ile Belediyelere ve 5216 Sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanunu'nun 7'inci maddesi ile Büyükşehir Belediyelerine verilmiştir.

AB Düzenli Depolama Direktifi 1993 yayınlamıştır. Söz konusu direktife göre üye ve aday ülkeler için düzenli depo sahalarına göndermiş oldukları organik atıklar için sınırlamalar getirilmiştir. Direktifin, 1995 yılında oluşan kentsel katı atıkların %80'ini depolayan üye ülkeler için öngördüğü düzenli depolamaya kabul edilecek biyolojik olarak ayrışabilir atık kotaları, 2010 yılı için 1995 yılındaki biyolojik olarak ayrışabilir atık miktarının %75'i, 2013 yılı için %50'si ve 2020 yılı için %35'i şeklindedir.

AB tarafından bu konuda yayınlanmış direktifler:

- “Atık Çerçeve Direktifi” 15/07/1975 tarihli ve 75/442/EEC sayılı Konsey Direktifi,
- Atık yağlar konusunda 16/06/1975 tarihli ve 75/439/EEC sayılı Konsey Direktifi,
- Akümülatör ve piller konusunda 18/03/1991 tarihli ve 91/157/EEC sayılı Konsey Direktifi,
- Ambalaj atıkları konusunda 20/12/1994 tarihli ve 94/62/EEC sayılı Konsey Direktifi,
- Arıtma çamurları konusunda 12/06/1996 tarihli ve 86/278/EEC sayılı Konsey Direktifi,
- Tehlikeli atıklar konusunda 12/12/1991 tarihli ve 91/689/EEC sayılı Konsey Direktifi,
- Düzenli Depolama konusunda 26/04/1999 tarihli ve 99/31/EEC sayılı Konsey Direktifi,
- Atık Yakma Direktifi” 04/12/2000 tarihli ve 2000/76/EEC sayılı Avrupa Parlamentosu ve Konsey Direktifi.

Uluslararası mevzuata uyum ile ilişkili Türkiye'nin gündemindeki en önemli konulardan biri, Avrupa Birliği ile müzakereler kapsamında 21 Aralık 2009 tarihinde açılan 27 sıra no.lu “Çevre Faslı”dır.

Ülkemizde atıklarla alakalı birçok yasa, kanun, düzenleme mevcut olup bir kısmı şu şekildedir:

- 2872 Sayılı Çevre Kanunu

- 5491 sayılı Çevre Kanununda değişiklik yapılmasına dair kanun
- 5216 sayılı Büyükşehir Belediyesi kanunu
- 5393 sayılı Belediye Kanunu
- 2464 sayılı Belediye Gelirleri Kanunu
- 5237 sayılı Türk Ceza Kanunu
- Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik (05.07.2008 - 26927)
- Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (14.03.1991 - 20814)
- Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (14.03.2005 - 25755)
- Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik (06.10.2010 - 27721)
- Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (22.07.2005 - 25883)
- Ambalaj Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (24.06.2007 - 26562)

## **2.4 Katı Atıkların Sınıflandırılması**

Katı atıkların kaynağına, bileşimine ve özelliklerine göre sınıflandırılması mümkün olabilmektedir. Söz konusu tasnifleme; toplama, taşıma ve bertaraf sistemlerinin tasarımı, tesisi ve işletilmesi, geri kazanılabilir maddelerin ekonomiye kazandırılması yanında bu atıklardan enerji üretimi bağlamında önem arz etmektedir.

Katı atıkların sınıflandırılması konusunda çeşitli yaklaşımlar olmakla birlikte iki gruba ayırabilmektedir (MEB, 2009).

### **2.4.1 Bileşimine ve özelliklerine göre katı atıklar**

Bileşimine ve özelliklerine göre katı atıkları 3'e ayırmak mümkündür (MEB, 2009)

- Kompostlanabilir ve yanabilir organikler  
(bitkisel, hayvansal, kağıt, tekstil atıkları)
- Biyokimyasal ayrışması imkansız ya da çok yavaş olan organikler  
(odun, kağıt, deri, lastik, kemik, plastik atıklar),
- İnert maddeler ise yanmayan maddelerdir  
(cam, porselen, taş, kil atıkları).



## 2.4.2 Kaynaklarına göre katı atıklar

Kaynaklarına göre katı atıklar da üçe ayrılabilir. Bunlar:

- Evsel nitelikli atıklar,
- Endüstriyel atıklar,
- Tıbbi atıklar ve özel atıklardır.

Bu Yüksek Lisans tezinde evsel atık tesisi ile ilgilenilmesi hedeflendiğinden evsel atıklar üzerinde durulacaktır.

## 2.5 Evsel Atık (Kentsel Katı Atık)

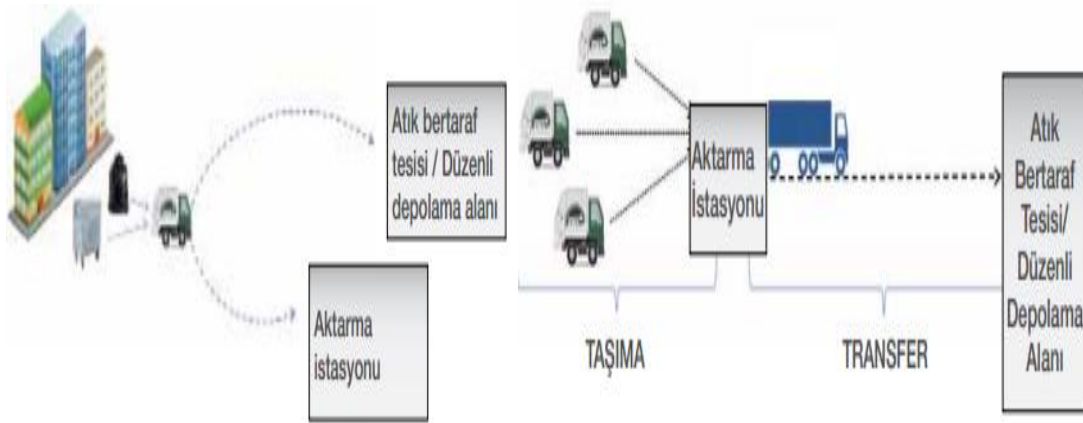
Evsel atıklar; evlerden atılan mutfak çöpleri, park, bahçe gibi alanlardan gelen, tehlikeli atık olmayan, belediye hizmeti ile toplanıp taşınan çöp depolama sahalarında bertaraf edilebilen, ayırma yolu ile geri kazanılabilen kompost yapılabilen veya yakılabilen evsel veya endüstri kökenli atıklardır (MEB, 2009).

Daha kapsamlı şekilde ifade edilirse günlük faaliyetler sonucu ev ortamında oluşabilecek tehlikeli ve zararlı atık sınıfına girmeyen her türlü katı atık evsel katı atık sınıfına girmektedir. Kentsel katı atık kavramı; literatürde, yerel yönetimlerce ya da onlar adına yürütülen hizmetlerle toplanıp uzaklaştırılan atıklar için kullanılmaktadır.

Evsel atıkların muhtevası ve özellikleri, atık alanı kapsayan refah seviyesi, kültürü, sosyo-ekonomik yapısı, nüfus yaş ve cinsiyet dağılımı, beslenme alışkanlığı gelişmişliği gibi ve benzeri birçok özelliklere bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Atığın karakterizasyonu bertaraf etme yöntemleri açısından da önem arz etmektedir.

## 2.6 Entegre Atık Yönetimi

Entegre Atık Yönetimi; katı atıkları oluştukları andan itibaren azaltmayı, yeniden toplamayı, geri kazanmayı, taşımayı, işlemeyi ve bertarafını içeren, belirli bir bölge için birlikte düşünülüp tüm unsurlarının birlikte yönetildiği yönetim sistemidir. Çevresel ve ekonomik olarak sürdürülebilirliği atık minimizasyonunu hedefler. Toplumun refah içinde yaşamasına engel olmadan en az atık üretimini hedefler ve gereksiz kullanımı önlemeyi, enerji ve hammaddeyi geri kazanmayı da amaçlar (Şekil 2.1).



**Şekil 2.1:** Atıkların toplanması, taşınması ve transferi (ÇOKA, 2014).

Katı atıkların miktarı, tür ve üretim hızlarının artması; katı atık bileşenlerinin yer ve zamana göre büyük farklılık göstermesi; kentsel alanların gelişmesi; kamu hizmetleri için finansal kaynak kısıtları; teknolojinin etkileri nedeniyle, katı atık yönetimi ile ilgili sorunlar daha karmaşık hale gelmiştir. Bu nedenle, etkin ve sistematik bir katı atık yönetimi kaçınılmaz hale gelmiş bulunmaktadır.

Öncelikle, yaşamın kaçınılmaz sonucu olarak ortaya çıkan katı atıklar, yeni bir olgu olmamakla birlikte sorunun boyutlarının ve karmaşıklığının anlaşılması ancak son yıllarda mümkün olabilmiştir. Bundan böyle, katı atık yönetiminin konusu yönetsel, teknik, ekonomik ve sosyal disiplinler ile çok yönlü ilişkiler içerisinde yer alan önemli inceleme alanı haline gelmiştir (Palabıyık, H., D. Altunbaş, 2004). Bu bağlamda, entegre katı atık yönetimi büyük bir önem kazanmıştır denebilir.

Entegre atık yönetimi, belli bir atık yönetimi hedefine yönelik olarak gerekli uygun yöntem, teknoloji ve yönetim programlarının seçilmesi ve uygulanması olarak da tanımlanabilir. Entegre atık yönetimi aynı zamanda ilgili yasal mevzuatta öngörülen hususların sağlanmasını da kapsamaktadır. Şekil 2.2'de entegre atık yönetimi hiyerarşisi görülmektedir (Kemirtlek, 2006).



**Şekil 2.2:** Entegre atık yönetimi hiyerarşisi.

### **2.6.1 Atık Önleme**

“Atık Önleme” yöntemi “sıfır atık” olarak da bilinmekle beraber, amaç atığın hiç değil tamamen değerlendirilmesini sağlamaktır. Ancak, teknik ve sosyal açıdan bunun olması mümkün olamamaktadır (Battal, 2011).

### **2.6.2 Atık Azaltma**

Atık azaltma, atık üretiminden sakınılan her türlü aktivite manasına gelmektedir. Atık üretildikten sonra ne yapılacağını düşünülmesinden önce, atık azaltımı ile ilk kullanım yerinde, atığın üretilmemesi ya da yaratılmamasını teşvik eder (Ekmekçioğlu ve diğ, 2010).

Atık yönetimi, atık yönetimi sistemi içinde oluşan atıkların bertaraf edilmesinde çevreye ve ekonomiye olan etkilerin en aza indirilmesini amaçlar. Bu amaca ulaşmanın en kısa yolu ise doğal olarak atık miktarının azaltılması olmaktadır (Büyükbektaş ve Varınca, 2010).

### **2.6.3 Yeniden Kullanım**

Yeniden kullanım, istenmeyen maddelerin (atıkların) yok edilmesinin belki de en iyi yoludur. Yeniden kullanımın temelinde; atıl, yararsız mallar ile malzemeleri almayı ve onların orijinal formlarının yerlerine, mümkün olduğunca küçük bir miktar tahkim ile aynı ya da biraz farklı amaçla kullanmayı gerektirir (Ekmekçioğlu ve diğ, 2010).

Bu bağlamda, atıkların herhangi bir işleme tabi tutulmadan, yeniden kullanılmasıdır, denebilir. Yeniden kullanım uygulamaları çeşitli şekillerde olabilmektedir. Bunlar; birkaç kez kullanılan ürünlerin üretimini tekrar gözden geçirmek, depozito uygulamak, atık borsası oluşturmak, ikinci el satış yerlerinin açılmasını desteklemek, boya ve kimyasal atıklarının bırakılması için belli bir merkez kurmak ve ihtiyacı olanların buradan teminini sağlamak olabilmektedir (Battal, 2011; Magrinho ve diğ, 2006).

#### **2.6.4 Geri Dönüşüm**

Geri dönüşüm prosesinde, atıklar tekrar hammadde olarak kullanılmak üzere fiziksel veya kimyasal işlemlerden geçirilmektedir. Bu uygulama için atıkları kaynağında gruplara ayırarak biriktirmek en etkili yöntem olmaktadır. Atıkların geri dönüşümü; sadece doğal kaynaklarda değil, enerji kaynaklarının kullanımında da önemli bir azalma sağlamaktadır. Böylelikle, metal ve plastiklerin ilk üretiminde kullanılan enerjinin çok az bir oranıyla bu atıklar geri kazanılabilmektedir (Battal, 2011; Mi ve diğ, 2010).

### **2.7 Katı Atık Bertaraf Etme Teknolojileri**

Katı atıkların bertarafı için kullanılan yöntemler, üç başlık altında incelenebilmektedir:

- Depolama Yöntemi
- Biyolojik Sistemler
- Termal Sistemler

#### **2.7.1 Depolama Yöntemi**

Özellikle ekonomik maliyetinin düşük olması nedeniyle çoğu kez tercih edilen bir yöntem “Depolama Yöntemi” olmaktadır. Düzenli Depolama sahaları inşa edilerek düzensiz depolamanın oluşturduğu zararlı etkenler bertaraf edilerek kontrollü bir şekilde katı atık bertarafı sağlanmış olabilmektedir. Atıkların toprak altına düzenli bir şekilde gömülmesi şeklinde de ifade edilebilir. Düzenli depo sahalarının inşa edilmesindeki amaç; yeraltı ve yüzey sularının kalitesinin korunması, hava kalitesinin korunması ve gaz toplama amaçlı sistemler ile enerji kazanma, depo sahasının etkili ve uzun süreli kullanımı ve depolama sona erdiğinde sahanın değerlendirilmesidir.

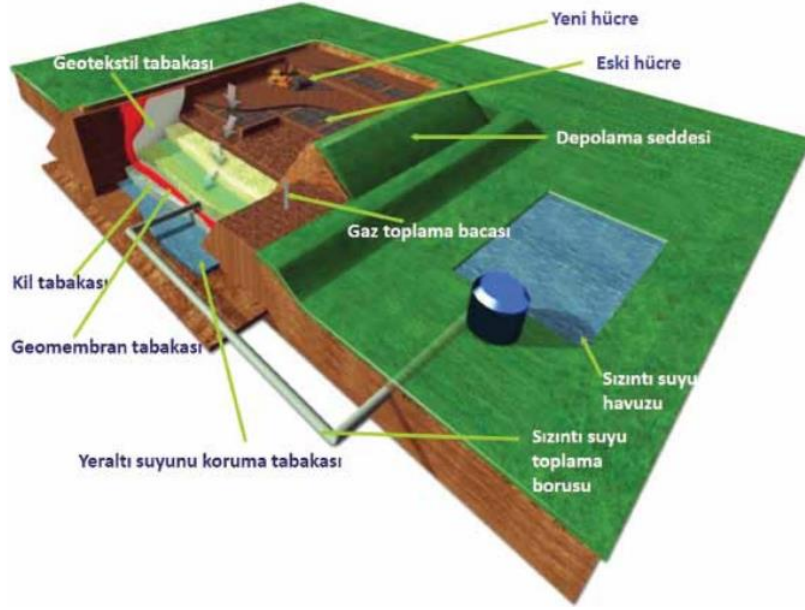
Burada, katı atıkların sızdırmazlığı sağlanmış büyük alanlara dökülmesi, sıkıştırılması ve üzerinin örtülerek doğal biyolojik reaktör haline getirilmesi esas olmaktadır. Atık bertarafında kullanılan en ekonomik yöntem olması, çevresel açıdan kabul edilebilir ve emniyetli bir yöntem olması, enerji ihtiyacının az olması ile metan gazından elektrik enerjisi elde edilmesinin mümkün olması önemli özellikleri ve avantajları olarak sayılabilir (Yaman, 2011).

Atıkların toprak altına gömülmesi olarak da tanımlanan düzenli depolama, atıkların araziye gelişi güzel bırakılmasından farklılık arz etmektedir. Katı atıkların çevre sağlığına uygun bir şekilde önceden bu amaçla hazırlanmış olan araziye dökülerek sıkıştırılması; günlük olarak üzerinin toprakla örtülmesi; arazi dolumu tamamlanınca üzerinin toprakla kapatılması ve çürümeye terk edilmesi; bu alanların yeşil alan yapmak gibi yollarla kullanıma açılması yöntemi olmaktadır (Muşdal, 2007).

Burada şunu da belirtmek gerekir ki; atık bertaraf etme yöntemlerinden hangisi uygulanırsa uygulansın yine de bir şekilde depolama yöntemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bir başka deyişle, genellikle depolama yöntemi nihai olarak başvurulan bir yöntem durumundadır.

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre evsel atıkları düzenli depolamak amacıyla inşa edilen depolara; insan ve çevre sağlığını korumak amacıyla sıvıların ve sıvı atıkların, akıcılığı kayboluncaya kadar suyu alınmamış arıtma çamurlarının, patlayıcı maddelerin, hastane ve klinik atıklarının, hayvan kadavralarının, depolama esnasında aşırı toz, gürültü, kirlenmeye ve kokuya sebep olabilecek atıkların, radyoaktif madde ve atıkların, tehlikeli atık sınıfına giren katı atıkların, hafriyat topraklarının ve ambalaj atıklarının depolanması yasaktır. Hafriyat toprakları hariç, yukarıda belirtilen atıklar, evsel atıklardan ayrı olarak, zemin geçirimsizliği iki kat artırılmış ayrı bölmelerde depolanmaları gerekmektedir (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 1991).

Çevresel açıdan değerlendirildiğinde, düzenli depolama alanlarında en büyük sorun çöp sızıntı suyu problemi olmaktadır. Çözümlerden biri, depolama tabanından sızıntı suyu tahliye edilerek arıtma işlemine tutulması olabilmektedir. Ancak, sızıntı su arıtma tesisi maliyetli bir ünite olup düzenli depolama atık bertarafında maliyet yükseltici bir etkidir. Şekil 2.3'te düzenli depolama sahalarına ilişkin bir kesit görüntü verilmektedir.



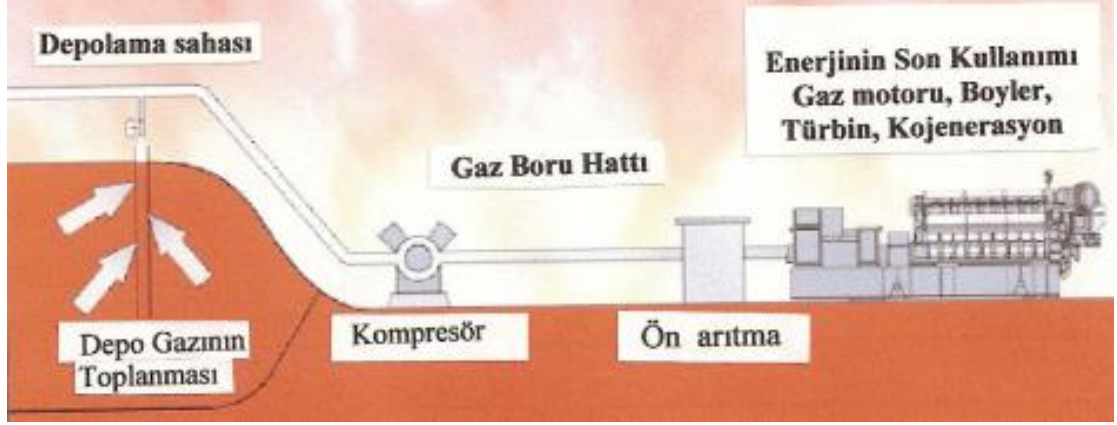
**Şekil.2.3:** Düzenli depolama sahalarına ilişkin kesit (ÇŞB, 2013).

Katı atık düzenli depolama sahalarında depolanan atıkların, zamanla içeriğindeki oksijeni tüketerek, bu ortamda üreyen anaerobik bakteriler yardımı ile oksijensiz (anaerobik) çürümesi sonucu oluşan gaza “Depo Gazı (LFG)” denmektedir (İZAYDAŞ, 2013). Gazın oluşumu katı atık içerisindeki organik atık miktarı ile orantılı olarak değişebilmektedir.

Depo gazının yanıcı ve patlayıcı özelliğinin yanı sıra içeriğinde bulunan metan ve metan gazı, karbondioksit gazına oranla yirmi üç kat daha fazla güçlü sera gazı etkisine sahiptir. Depo gazının bu zararlı etkilerinin ortadan kaldırılması için uygun tekniklerle toplanıp bertaraf edilmesi gerekmektedir. (Arıkan, 2013).

Bertaraf edilen (tipik) evsel atığın her bir tonu, depolama sahasının ömrü boyunca yaklaşık olarak 170 m<sup>3</sup> depolama gazı oluşturmaktadır. Depolama gazının % 60’ı atık depolandıktan sonra 10 sene içinde oluşmaktadır. Bu miktar 15-20 yıl içinde %90 seviyesine çıkmaktadır (World Bank-ESMAP, 2004).

Atıkların Düzenli Depolanmasına dair yönetmelik çerçevesinde; düzenli depolama tesislerinde gazlar toplanıp doğrudan veya işlenerek enerji üretiminde kullanılabilir. Elde edilen depo gazının enerji üretiminde kullanılmasının ekonomik olmaması halinde depo gazı meşalelerde (flare) yakılması söz konusu olmaktadır. Depo gazından enerji üretimi akış şeması Şekil 2.4’te görülmektedir.



**Şekil 2.4:** Depo gazından enerji üretimi (US DoE, 2005).

Az gelişmiş-gelişmemiş ülkelerde düzenli depolamanın yanında, maalesef düzensiz depolama (vahşi depolama) da mevcuttur. Kısa bir şekilde düzensiz depolamaya değinmek gerekirse; düzensiz depolama; kentsel katı atıkların geliş güzel bir şekilde yığılması işlemidir denebilir. Herhangi bir çevresel hassasiyet içermez. Katı atıkların çevresel ve ekonomik uygun koşullarda kabul edilebilir bertarafından ziyade toplumların katı atıkları gözden uzak olsun anlayışıyla nitelendirdikleri eski bir yöntemdir. Çöp sızıntı sularının atmosferi ve yer altı sularını kirletmesi, çöplerin atmosfere salınım yaptığı metan gazı gibi zararlı gazların etkisi, hijyen ve sağlık sorunlarına yol açması nedeniyle yasaklanmış ve dolayısıyla uygulanmaması gereken bir yöntemdir. Çöplerde biriken metan gazı patlamaları nedeniyle can kayıplarına da neden olabilme potansiyeli mevcuttur.

## 2.7.2 Biyolojik Sistemler

Biyolojik sistemler; öz olarak, biyolojik olarak ayrışabilir organik maddelerin, kararlı bir ürüne dönüştürülmesi işlemidir. Daha çok, atık hacminin azaltılması amacını gerçekleştirmeye yönelik olarak uygulanmaktadırlar. (Sezer ve diğ, 2009).

Biyolojik sistemler üç başlık altında toplanabilir.

- Kompostlaştırma
- Biyometanizasyon
- Biyokütle (Biyometanol, Biyodizel)

### 2.7.2.1 Kompostlaştırma

Kompostlaştırma, katı atıkların içindeki organik kısımların (sebze, meyve, selüloz, yemek atıkları, her türlü bahçe atıkları) biyokimyasal süreçten geçirilmesi sonucu

stabilize edilmiş, mineralize olmuş, humusa benzer yapıdaki maddeye dönüştürülmesi işlemidir (Arıkan, 2013). Bu maddeye de “Kompost” denir. Kompostlaştırma doğada kendiliğinden gerçekleşen, bir başka deyişle doğal bir işlemdir. Kısaca, kendi haline bırakılan organik maddeler yavaş bir çürüme süreci sonunda kompost haline gelebilirler. Dolayısıyla, Kompostlaştırma işlemi; nemli tutulan ve havalandırılan karışık organik atıklarda doğal olarak bulunan, kendiliğinden çoğalan mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilmektedir (Url-2). Bir başka deyişle, katı atık organik bileşenlerinin, özellikle mutfak ve bahçe atıklarının kontrol edilen şartlar altında biyolojik olarak ayrışmasıdır.

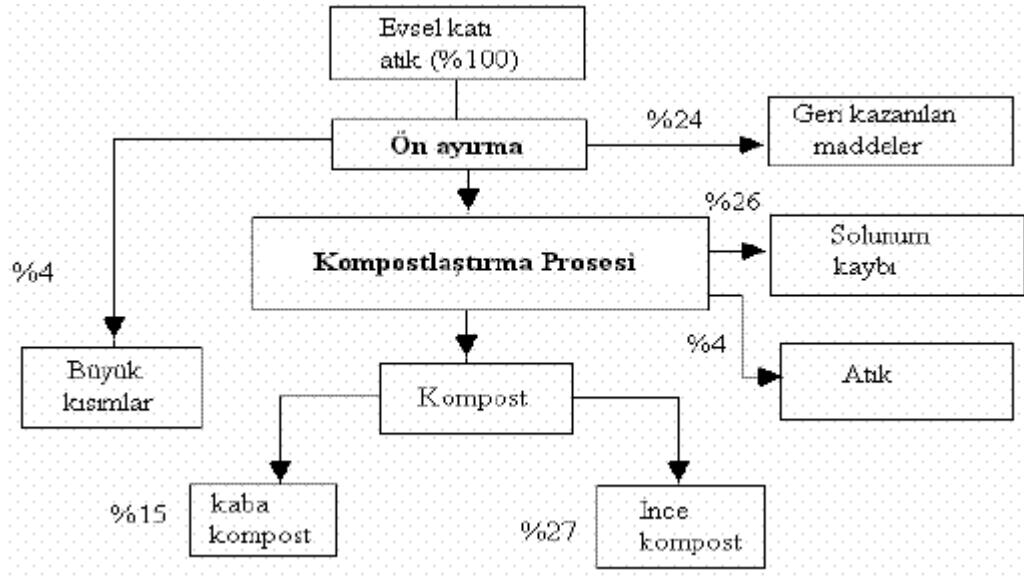
Ancak, burada kompostlaştırma işleminin doğru bir şekilde yürütülmesi esas olmaktadır. Çevreye en az zarar verecek şekilde kompost üretilmesini ve ürünün toprakta kullanılabilir olmasını sağlayacak tedbirlerin alınması gerekmektedir (Url-2).

Kompostlama gibi kısmi dönüştürme işlemi içeren metotlarda atığın organik miktarı ve atığın nem içeriği önemli parametrelerdir. Kompost tesislerinden kaynaklanacak çevresel etkilerin minimizasyonu için alternatifler değerlendirilirken kullanılan proseslerin ve ekipmanların özellikleri önem taşımaktadır.

Katı atıkların çevre ile uyumlu bir yapıya dönüştürülmesi; bir başka deyişle, atıkların dengeli bir ürüne dönüştürülerek doğada yeniden kullanılması entegre atık yönetiminin öncelikli hedefleri arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, dünyanın birçok mega kentinde her gün yüz binlerce ton organik kökenli kentsel atık oluşmakta ve bu atıklar komposta dönüştürülerek başta tarım ve orman alanlarının iyileştirilmesi olmak üzere çok yönlü amaçlar için kullanılmaktadır.

Kompostlaştırma sonucu elde edilen kompost, gübreden farklı olarak toprağı ıslah edici, organik değeri ve su tutma kabiliyeti yüksek bir malzemedir. Toprağın boşluk hacmini arttırıp havalandırılmasını, besin maddelerinin daha iyi kullanılmasını sağlamakta ve toprağın işlenebilirliğini kolaylaştırmaktadır (Yıldız ve diğ, 2009). Şekil 2.5’te kompostlaştırma prosesi ve kütle dengesi görülmektedir.





Şekil 2.5: Kompostlaştırma süreci ve kütle dengesi (Url-3).

### 2.7.2.2 Biyometanizasyon

Biyometanizasyon; organik maddelerin oksijensiz ortamda anaerobik mikroorganizmalarla ayrışması sırasında meydana gelen çok adımlı biyokimyasal reaksiyonlardan oluşan biyolojik bir süreçtir (Erdoğan, 2010). Bu bağlamda, organik atıklardan metan gazı (CH<sub>4</sub>) üretme yöntemidir. Bu nedenle çeşitli proseslerden geçen atıktan en sonunda zenginleştirilmiş metan elde edilmektedir.

Biyogaz da, biyometanizasyon sonucu ortaya çıkan renksiz, kokusuz, havadan hafif, parlak mavi bir alevle yanan gazdır (Sezer, 2011). Organik atıklardan anaerobik şartlarda biyogaz üretimi (biyometanizasyon) hem çevresel, hem de yenilenebilir enerji kazanımı açısından önem arz etmektedir. Biyometanizasyon yoluyla enerji elde edilmesi yenilenebilir enerji kapsamında değerlendirilmektedir. Kaynağından ayrı toplanmış atıklar biyometanizasyon teknolojisinde yakıt olarak kullanılmış olmaktadır. Organik maddelerin metan gazına dönüştürülmesinde çeşitli tür ve özellikle mikroorganizma grupları yer alabilmektedir.

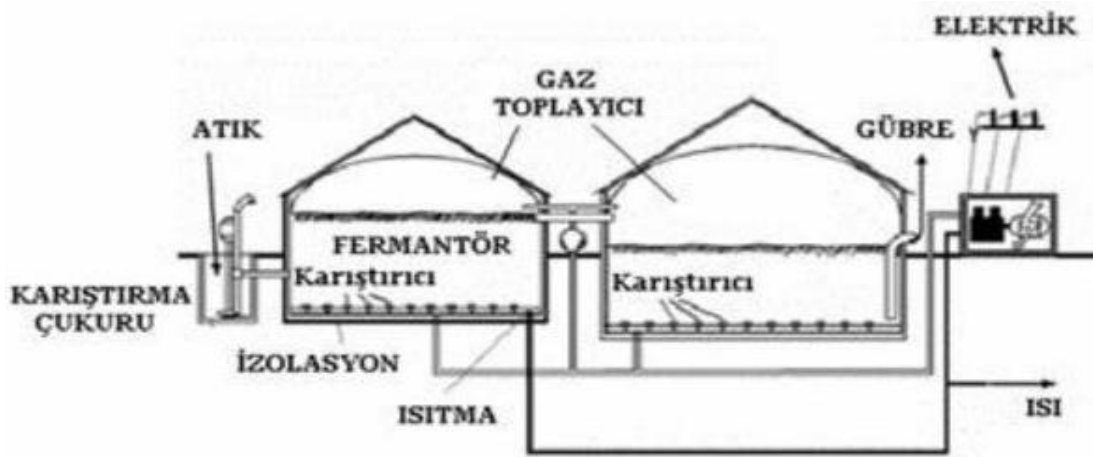
Kompleks organiklerin anaerobik ayrıştırılmasıyla metan gazına dönüştürülmesi üç aşamada gerçekleşmektedir. Bunlar:

- **Hidroliz:** Kompleks organik maddeler, fermentatif ve hidrolitik bakteri grupları tarafından daha basit yapıda çözülebilir uçucu organik maddelere parçalanırlar. Hidroliz hızını etkileyen en önemli faktörler pH, sıcaklık ve çamur yaşı olmaktadır.

- **Asit Üretimi:** Bu aşamada asetojenik bakteri grupları tarafından birinci aşama hidroliz ürünleri olan uçucu organik maddeler, organik asitlere dönüştürülmektedir.
- **Metan Üretimi:** Anaerobik arıtmanın son aşamasında ise, diğer iki kademede oluşan ürünler metan oluşturan bakteriler tarafından metan gazına dönüştürülmektedir.

Anaerobik çürütücülerde oluşan biyogaz, hacimsel olarak %65–70 metan, %25–30 karbondioksit ve küçük miktarlarda azot, oksijen, dihidrojen sülfür, su buharı ve diğer gazlardan meydana gelmektedir (Sezer ve diğ., 2009). Bir m<sup>3</sup> biyogaz 0.66 lt motorine, 0.75 lt benzine eşdeğer kabul edilmektedir. (Yılmaz ve diğ., 2004)

Biyogaz üretimindeki ve kompost kalitesindeki yüksek verimler, ayrı olarak toplanmış veya kaynağında ayrılmış evsel organik katı atık ile elde edilebilmektedir. Biyogaz enerji üretim şeması Şekil 2.6’da verilmektedir.



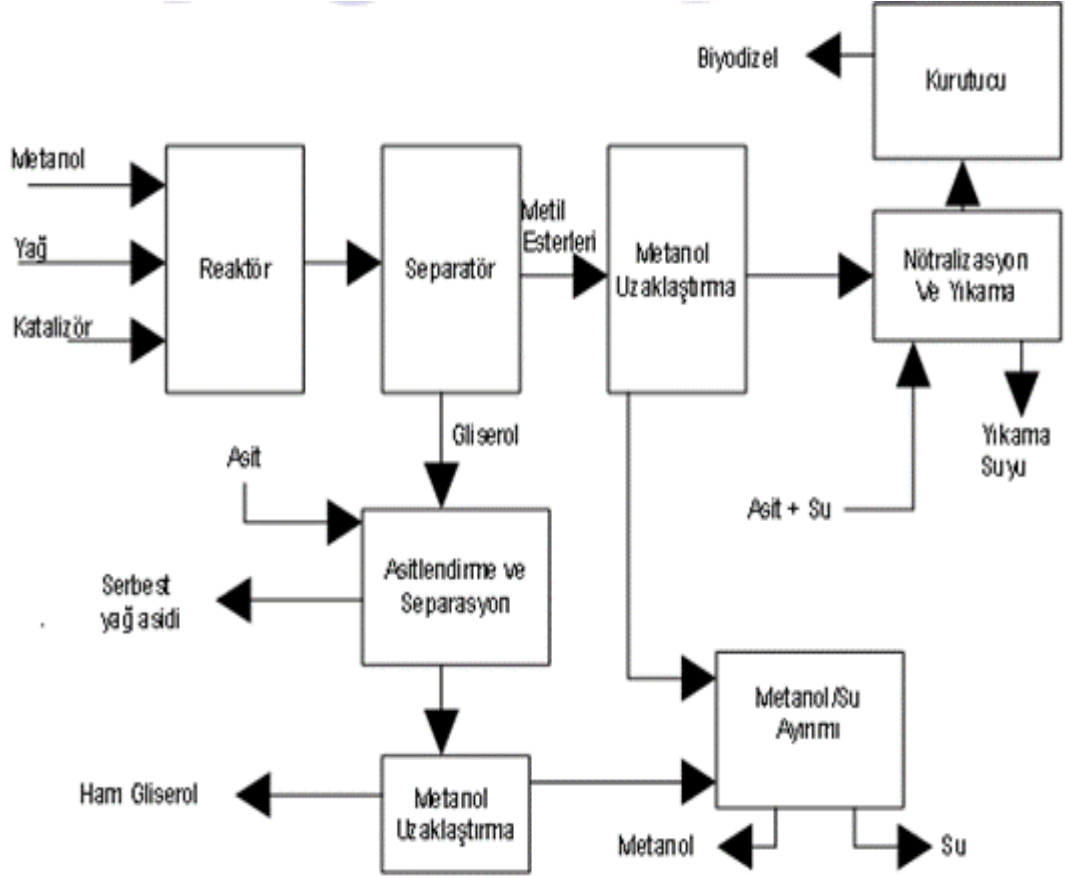
Şekil 2.6: Biyogaz enerji üretim şeması (Url-4).

### 2.7.2.3 Biyokütle (Biyometanol, Biyodizel)

Teknolojisi açısından kaynağında ayrılmış biyobozunur kentsel atıkların kontrollü şartlar altında etanol ve dizel yakıtına dönüştürülmesi işlemidir. Biyometanol, ham maddesi şeker pancarı, mısır, buğday ve odunsular gibi şeker, nişasta veya selüloz özlü tarımsal ürünlerin fermantasyonu ile elde edilmektedir (Url-5). Biyometanol ve biyodizel, esas itibariyle yağlı biyokütleden üretilen yakıtlardır.

Bu işlemlerin temelinde oksijensiz ortamda biyolojik parçalanma yer almaktadır. Dolayısıyla, havasız ortamda biyobozunur malzemelerin parçalanmasıdır.

Şeker kamışı, pancar gibi bitkilerden üretilenlere “Etanol”, ayçiçeği ve kanola gibi bitkilerden üretilenlere “Dizel” yakıtına ulaşılmaktadır. Sürecin sonunda üretilen maddeye göre isimlendirilme yapılmaktadır. Etanol üretildiğinde “biyoetanol”, dizel yakıt üretildiğinde “Biyodizel” adını almaktadır (Sezer ve diğ., 2009). Şekil 2.7’de Biyodizel üretim blok şeması görülmektedir.



Şekil 2.7: Biyodizel üretim blok şeması.

Biyoetanol dünya çapında ulaşım sektöründe en yaygın olarak kullanılan alternatif enerji kaynağıdır. Biyoetanol tek başına yakıt olarak kullanılabilirdiği gibi, genellikle benzinle çeşitli yüzdelerde karıştırılarak da kullanılabilir. Araçlarda benzinle biyoetanol karışımlarının kullanılması, petrol kullanımını ve sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilmektedir (Yığıtoğlu ve diğ., 2011).

### 2.7.3 Termal Sistemler

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 (Tolay, 2008).

Termal sistemler kullanılarak dört yöntem ile atık bertaraf edilebilmektedir:

- Yakma
- Piroliz
- Plazma
- Gazifikasyon

Termal bertaraf teknolojileri, atık yönetiminde birçok ülkede yaygın olarak kullanılan teknolojidir. Ancak, yüksek maliyetlidir.

Depolama alanları için arazi bulma imkânlarının sınırlı olduğu ülkelerde tercih edilmekte olan termal yöntemlerin temel faydası, atıkların kütle ve hacimsel olarak azaltılmasıdır. Yaşanabilir alanların sınırlı olması sebebiyle dünyada 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 (Sezer, 2011).

### **2.7.3.1 Yakma**

Yakma yönteminin başlıca amacı, depolama ile uzaklaştırılacak atık miktarının azaltılması olmaktadır. Böylelikle, katı atıklar hacimce % 80–90, ağırlık bakımından % 75–80 oranında azaltılabilmektedir (Saltabaş ve diğ, 2011). Enerji elde etmeksizin yakarak atık giderme artık OECD ülkelerinde neredeyse tamamen yasaklanmış durumdadır.

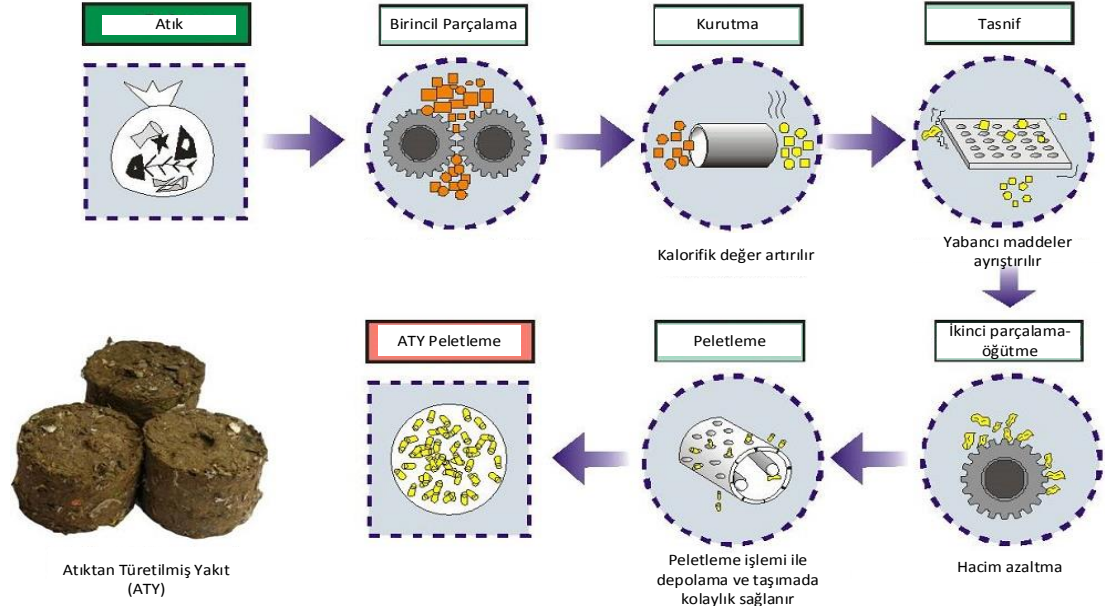
Kentsel katı atıkları yakma sistemleri ön arıtma metodolojisine göre ikiye ayrılmaktadır. Bunlar;

- İşlenmemiş katı atık yakma sistemleri (mass burning)
- İşlenmiş katı atık yakma sistemleri (RDF burning)

İşlenmiş katı atığın (RDF: Refuse Derived Fuel) bir yakıt olarak işlenmemiş katı atığa oranla avantajları bulunmaktadır. Bunlar arasında; 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 olması sayılabilir.

İşlenmiş katı atık, genellikle akışkan yataklı yakma sistemlerinde yakılmaktadır. En basit formda bir akışkan yatak yakma sistemi kum yataklı dikey çelik bir silindir,

genellikle refrakter kaplamalı, destekleyici bir ızgara yüzey ve “tuyeres“ olarak bilinen hava enjeksiyon nozüllerinden oluşmaktadır Şekil 2.8’de atıktan türetilmiş yakıt proses şeması görülmektedir.



**Şekil 2.8:** Atıktan türetilmiş yakıt proses şeması (Url-6).

RDF için yaygın bir uygulama da çimento fabrikalarında ikincil yakıt olarak kullanılmasıdır. Böylece çimento fabrikalarının yakıt maliyeti de düşürülmektedir (Vesilind, 2011).

İşlenmemiş katı atık yakma sistemlerinde atık doğrudan fırında yakılmaktadır. Başlıca ürün buhar olmaktadır. Buhar, direkt olarak kullanılabilir veya elektrik enerjisine, sıcak suya, soğutma suyuna dönüştürülerek kullanılabilir.

Yakma sonucunda; ısı enerjisi, kül ve baca atık gazı oluşmaktadır. Isı enerjisi, buhar türbini vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. Hem elektrik hem de ısı enerjisine dayalı kojenerasyon sistemlerle de prosesin veriminin artırılması mümkündür.

Net enerji üretimi; atığın bileşimine, yoğunluğuna, nem oranına ve atık içerisindeki inert maddelere bağlıdır. Yakma yöntemi ile organik maddenin ısı içeriği % 65–80 oranında sıcak hava, buhar ve sıcak suya dönüştürülebilir.

Yakma sistemlerinde atıkların yanabilmesi için gerekli oksijen miktarı fazla miktarda sisteme verilir ve tam yanma temin edilmeye çalışılır. Ancak, bu sistemlerde yanmanın gerçekleştirildiği 900-1200°C sıcaklıkta meydana gelen gaz emisyonlarının artırılması ve kontrolü hayli zor ve maliyetlidir.

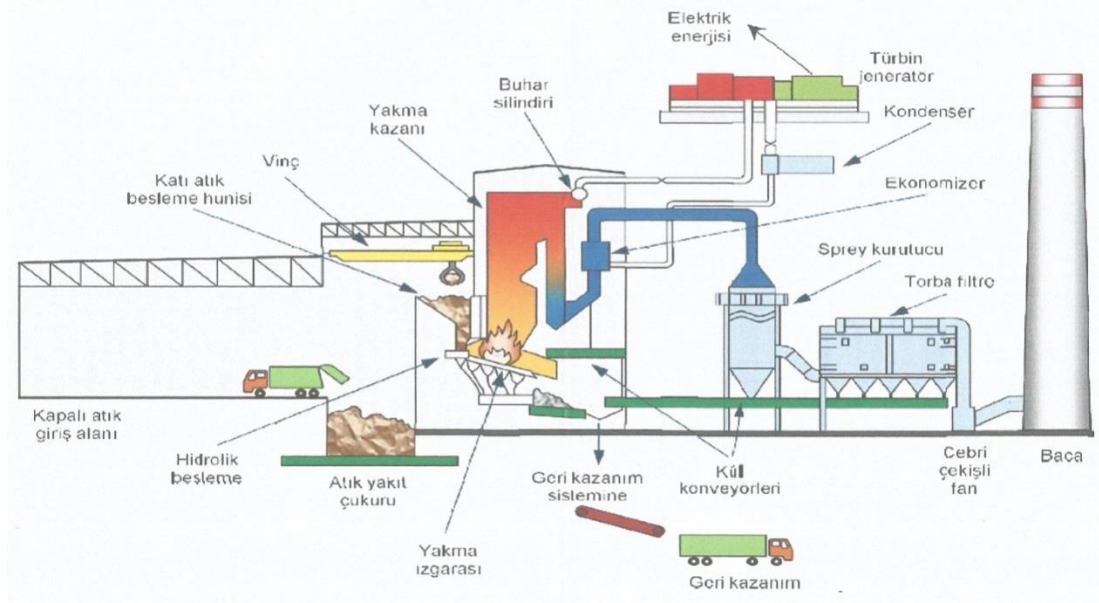
Avrupa Atık Yakma Yönetmeliklerine göre alev sıcaklığı minimum 850 °C olmak zorunda olup toksik maddelerin tümüyle dekompoze olması için bu sıcaklıkta en az 2 saniye yanmaya uğraması gerekmektedir (European Waste Incineration Directive, 2000). Bu tür yüksek alev ısı, baca gazı sıcaklığının da yüksek olmasına ve dolayısıyla kaçan bu enerjinin geri kazanımı için ilave teknolojik düzeneklere ihtiyaç bulunmaktadır. Bir başka deyişle, yanma sonucu oluşan baca gazlarının arıtılması zorunluluğu, bu metodun en mahzurlu yanını oluşturmaktadır.

Katı atıkların yakılması sonucu ortaya çıkan kül ve cürufun uzaklaştırılması için düzenli bir depolamaya ihtiyaç bulunmaktadır. Oluşan cüruf da çeşitli amaçlarla (örneğin; asfalt yol yapımı maddesi vb.) kullanılabilir. Buna karşın; alan ihtiyacına en az gereksinimi olan sistem olması nedeniyle kentleşmenin ve nüfus artışının etkili olduğu metropollerde kullanışlı bir yöntem olarak değerlendirilebilmektedir. Çevreye zararlı sera etkisi oluşturan fosil yakıtların kullanımını azaltması bakımından da çevreci bir yöntemdir denebilir.

Katı atık yakma tesisleri, teknoloji yoğun projeler oldukları için ilk yatırım ve işletme maliyetleri yüksek olmaktadır. Ayrıca, nitelikli personel ihtiyacına da ihtiyaç duyulan proseslerdir. Şekil 2.8’de yakma tesisi akış şeması görülmektedir.

Yakma tesislerinde özellikle aşağıdaki hususlara dikkat etmek gerekmektedir:

- Yakma tesisinde baca gazı temizleme sisteminin kurulması ve toz, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HCl, HF gibi maddelerin emisyonunun azaltılması.
- Yakma tesisinde enerji tasarrufu ve yakma işleminde elde edilen ısının kullanımını için yöntemler uygulanması.
- Yakma sonucu ortaya çıkan maddelerin (cüruf, kül) başka sanayi tesislerinde kullanılması.



**Şekil 2.9:** Yakma tesisi akış şeması.

Atık yakma sistemlerinin kurulum aşamasında ve işletilmesi esnasında dikkate alınması gereken en önemli husus atığın yanma özellikleridir. Bu bağlamda, yanma özelliklerinin tespitinde kullanılan temel parametre, atığın yakılması sonucu ortaya çıkacak enerji miktarını ifade eden kalorifik değer olmaktadır.

Bu değer, üst ısıl değer(brüt kalorifik değer) ve alt ısıl değer(net kalorifik değer) şeklinde ifade edilmektedir. Üst ısıl değer, atığın kuru maddesinin vereceği enerji miktarı olmaktadır. Çalışma kolaylığı açısından üst ısıl değer ile çalışılmakta ve daha sonra atığın su içeriğinden yararlanılarak hesaplama yolu ile alt ısıl değer bulunmaktadır.

Atık alt ısıl değerini hesaplamak için kullanılan deneye dayalı hesaplama;

$$H_{alt} = \left[ H_{üst} \times \left( \frac{100-w}{100} \right) \right] \times (5.85 \times w) \quad (2.1)$$

şeklinde yapılabilmektedir.

Burada;

$H_{alt}$  : Atığın Alt kalorifik (ısıl) değeri;

$H_{üst}$  : Atığın Üst kalorifik (ısıl) değeri,

$w$  : Atığın içerisindeki su muhtevasının ağırlıkça oranını

göstermektedir.

Yakma sistemlerinin işletim maliyeti açısından akılcı olabilmesi için atığın 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.

Tipik bir evsel katı atık yakma tesisinde yürütülen faaliyetler sırasıyla;

- Atık kabul ve geçici depolama,
- Atıkların -gerekliyse 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

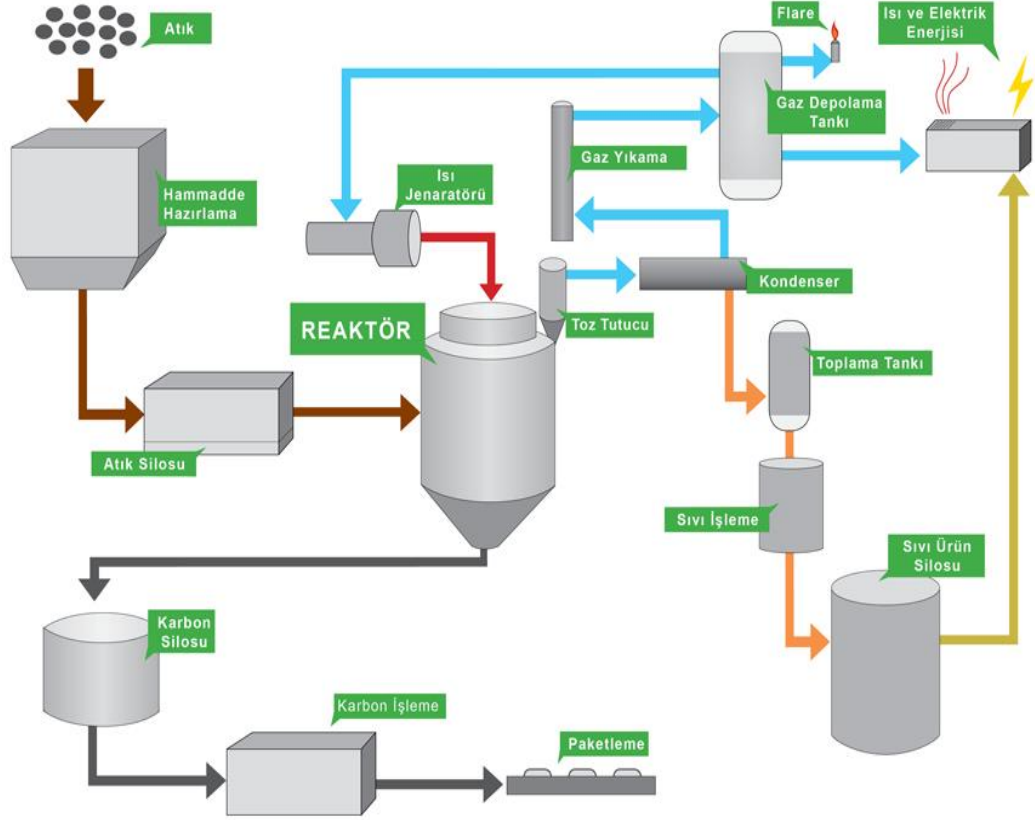
olarak sayılabilir (Saltabaş ve diğ, 2011).

Yanma ile atık bertarafında atık karakterizasyonu büyük önem taşımaktadır. Zira bu proseslerin yakıtları atıklardır. Çöpün ilave yakıt olmaksızın sürekli yanabilmesi için kalorifik değerinin 1500-1600 kCal/kg dan az olmaması gerekmektedir. Proses sadece elektrik enerjisi üretimine dayalı olursa verimi %15-%27 arasında değişebilmektedir. Ancak, Avrupa’da özellikle son 20 yılda yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları sonucunda önemli ilerlemeler sağlanmıştır. Kojenere sistemlerde verim çok daha yüksek olabilmektedir.

### **2.7.3.2 Piroliz**

Piroliz sözcüğü, Yunancada ortamda gaz olmaksızın gerçekleştirilen ısı bozundurma anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, piroliz, organik maddelerin oksijensiz ortamda ısıtılarak küçük moleküllü bileşiklere parçalanması olayı olarak betimlenmektedir. Doğru uygulanan piroliz yönteminde sisteme ya hiç oksijen verilmemekte ya da işlemin yürütülmesi için gerekli ısının teminine yetecek kadar oksijen verilmektedir. Isının etkisi ile bertaraf edilmek istenilen atıklar, yanıcı bir gaza ve bir miktar katı atığa dönüşmektedir. Piroliz yönteminin en önemli avantajı düşük oksijen ihtiyacı olmasıdır. Böylelikle, tesis daha küçük olarak boyutlandırılabilirken, aynı zamanda işletme esnasında daha az yakıt da ihtiyaç duyuluyor olmaktadır. Buna karşılık ,bu yöntem hayli pahalı olup, ciddi önlemler alınmadan kontrolsüz hava girişinin önlenmesi de mümkün olamamaktadır (Saraç ve Uludağ, 2010). Şekil 2.9’da piroliz sistemi şematik olarak görülmektedir.





**Şekil 2.10:** Piroliz sistemi (Url-7).

Elde edilen piroliz ürünleri piroliz gazı, yarı kok (kömür granülü) ve yağdır. Piroliz gazı yakıt olarak kullanılabilir. Yarı kok da yakıt olarak kullanılabilir veya uzaklaştırılabilir. Yağ ise, kimyasal endüstrisi için bir hammadde veya yakıt olarak kullanılabilir (Sezer, 2011).

Ürün olarak elde edilen piroliz yağı, genellikle ham petrolün yarısına eş bir enerji miktarına sahiptir ve ısı ile güç üretiminde petrolün yerine kullanılabilir. Piroliz ürünleri elektrik, ısı ve diğer yan ürünlere kolayca dönüştürülebilmektedir. Isı pazarının potansiyeli yüksek olmasına rağmen fosil yakıtlarla yarışabilmesi açısından maliyete bağlılığı hayli fazladır. Tanımlanan şartnamelere 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. Ayrıca, 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 (Tezçakar ve Can, 2011).

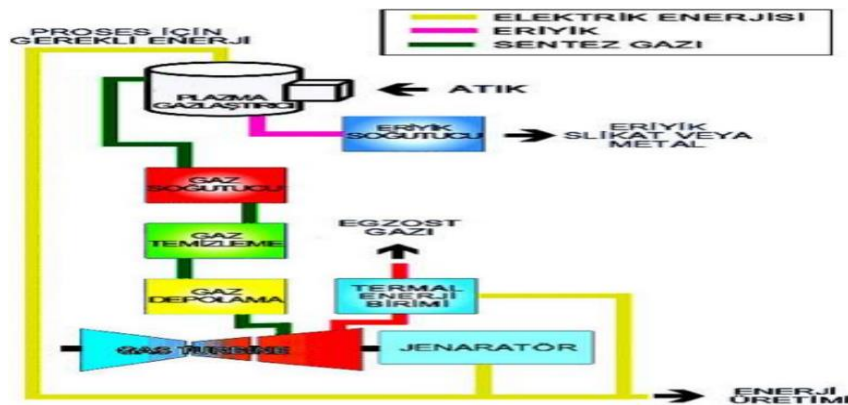
### 2.7.3.3 Plazma

Plazma, maddenin katı, sıvı ve gaz olan üç halinden farklıdır ve maddenin dördüncü hali olarak da adlandırılmaktadır(Url-9). Plazma yönteminde tüm katı maddelerin ayrıştırılmadan- elektrik arklarla oluşturulmuş çok yüksek ısıdaki bir (2000 – 5000 °C) bölgede plazma haline getirilmesi tekniği uygulanmaktadır.

Plazma teknolojisi, elektriksel bozunma olarak kabul edilen bir işlem olan, bir proseste elektrik akımının bir gaz içerisinde geçirek aralıksız bir elektrik arki oluşturmayı kapsamaktadır. Sistemdeki elektriksel özdirençten dolayı, gaz moleküllerinden elektronları ayıran, iyonlaşmış bir gaz akışına veya plazmaya sebep olur. Bu şartlarda, kayda değer bir ısı açığa çıkmaktadır. 2000°C’de, gaz molekülleri atomlarına ayrılır ve sıcaklık 3000 C’ye yükseldiğinde gaz molekülleri elektron kaybeder ve iyonlaşırlar. Bu durumda gaz, sıvılarınki gibi atmosfer basıncındaki bir viskoziteye ve serbest elektrik yükleri gaza nispeten yüksek, metallerinkine yakın bir elektriksel iletkenliğe sahip olmaktadır (Gomez, Amutha, 2008). Şekil 2.11’de plazma teknolojisi enerji üretim şeması görülmektedir.

Plazmatik bertarafın en önemli avantajı; katı atığın, ayrıştırılmaksızın bertaraf edilmesidir denebilir. Metal ve cam dahil ergimeye uğrayarak, sonuçta volkanik taş benzer gözenekli bir cürufa dönüşmesiyle oluşan maddeler, yapı elemanı veya yol inşaatında dolgu materyali olarak kullanılabilir. Ancak, bu işlem ek yatırım gerektirmektedir.

Öte yandan, plazma yöntemi kütleli katı atık bertarafı için uygun olarak nitelenmemektedir. Ufak çapta ve özellikle bertaraf işlerinde kullanılabilir bir yöntemdir. Teknolojik olarak karmaşık ve atık bertarafı için ileri bir uygulamadır.



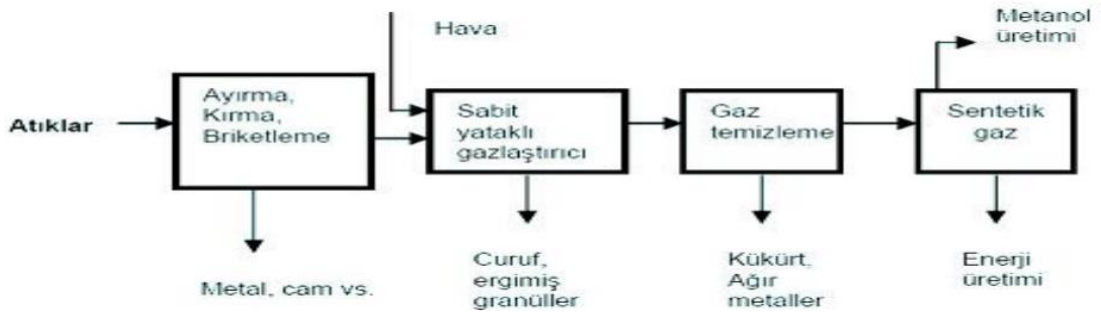
Şekil 2.11: Plazma teknolojisi enerji üretim şeması (Ceylan, 2011).

### 2.7.3.4 Gazifikasyon

Gazifikasyon, bir yarı yakma metodudur. Başka bir deyişle, gazlaştırma (gazifikasyon) terimi, yakıtın stokiometrik hava miktarında daha az havayla yakıldığı kısmi bir yanma prosesini tarif eder. Burada, yanma için gerekli olan oksijen ihtiyacının altında bir oksijen miktarının sisteme verilerek atıkların bozunması sağlanmaktadır. Gazifikasyon, atıkların hacmi azaltılarak bertarafı için gerekli enerji kullanımı ve üretimi açısından etkili bir metot olarak nitelenmektedir (Hanan ve diğ., 2012).

Gazlaştırma prosesi kentsel katı atıkların hacminin azaltılmasında ve enerji geri kazanımı için verimli bir teknik durumundadır. Gazlaştırmanın yanmaya göre en büyük avantajı elektrik üretim veriminin daha iyi olmasıdır. Temel enerji üretimi ise yanmadan daha düşüktür.

Gazlaştırma prosesinde atığın kısmi yanması sonucu; karbonmonoksit (CO), hidrojen (H<sub>2</sub>) ve başta metan (CH<sub>4</sub>) olmak üzere bazı doymuş hidrokarbonlardan oluşan yanabilir bir gaz yakıt elde edilmektedir. Elde edilen gaz daha sonra içten yanmalı motor, gaz türbini ve yanma kazanlarında yakılarak enerji üretilmektedir. Gazlaştırma sistemlerinde, sadece işlenmiş katı atık kullanılmaktadır. Bu yüzden atıkların öncelikle ön arıtma prosesine tabi tutulmaları gerekmektedir (Tchobanoglous, Theisen, 1993). Şekil 2.11'de konvansiyonel gazifikasyon proses şeması verilmektedir.



Şekil.2.12: Konvansiyonel gazifikasyon proses şeması (Ceylan, 2011).

### 2.8 Atıktan Enerji Üretimi

Kentsel katı atıkların bertaraf edilme yöntemlerinin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajı mevcuttur. ABD, AB ve OECD ülkelerinde atıktan enerji üretimi büyük önem taşımaktadır. AB direktifleri de düzenli depolamaya kotalar getirerek geçici çözümlere engel olmaktadır. Zira, sadece düzenli depolama, palyatif ve geçici bir

yöntem olup nüfus artışı ve kentselleşmeyle birlikte bir süre sonra devam ettirilebilmesi mümkün olmayan çözümler halini almaktadır.

Atıktan enerji üretim tesisleri için “Energy from Waste” betimlemesi yapılmakta ve EfW olarak kısaltılmış şekilde kullanılmaktadır (Energy from Waste, A Wasted Opportunity?, 2006). Genel anlamda bu tesislerde, Biyo-metanizasyon, Biyoyakıt, Gazifikasyon ve Yakma Teknolojilerini kapsayan yöntemler uygulanarak atıktan enerji elde edilmektedir.

### **2.8.1 Yakma Yöntemiyle Atıktan Enerji Üretimi**

Yakma yöntemiyle enerji üretim teknolojisi; diğer yöntemlere göre daha eskilere dayanması, kendisini ispatlamış yöntem olması ve büyük güçlü enerji üretim tesislerin kurulabilmesi imkanı gibi başlıca nedenleriyle gelişmiş ülkelerde özellikle tercih edilerek kullanılmaktadır. Literatürlerde WtE kısaltması yakma yöntemine atıfta bulunmak için sıklıkla yer almaktadır (Mayor of London, 2008). Bu kısaltma “Atıktan Enerji” (Waste to Energy) şeklinde ifade edilmektedir. Bu çalışma kapsamında da kısaltma olarak WtE terimi, yakma yöntemine atıfta bulunmak için kullanılacaktır.

Ülkemizde Kentsel katı atıklara yönelik yakma yöntemiyle enerji üretim tesisleri bulunmadığı için özellikle Avrupa Birliği üyesi ülkelerdeki durum ve Dünya uygulamalarına yönelik veriler üzerinde durulacaktır

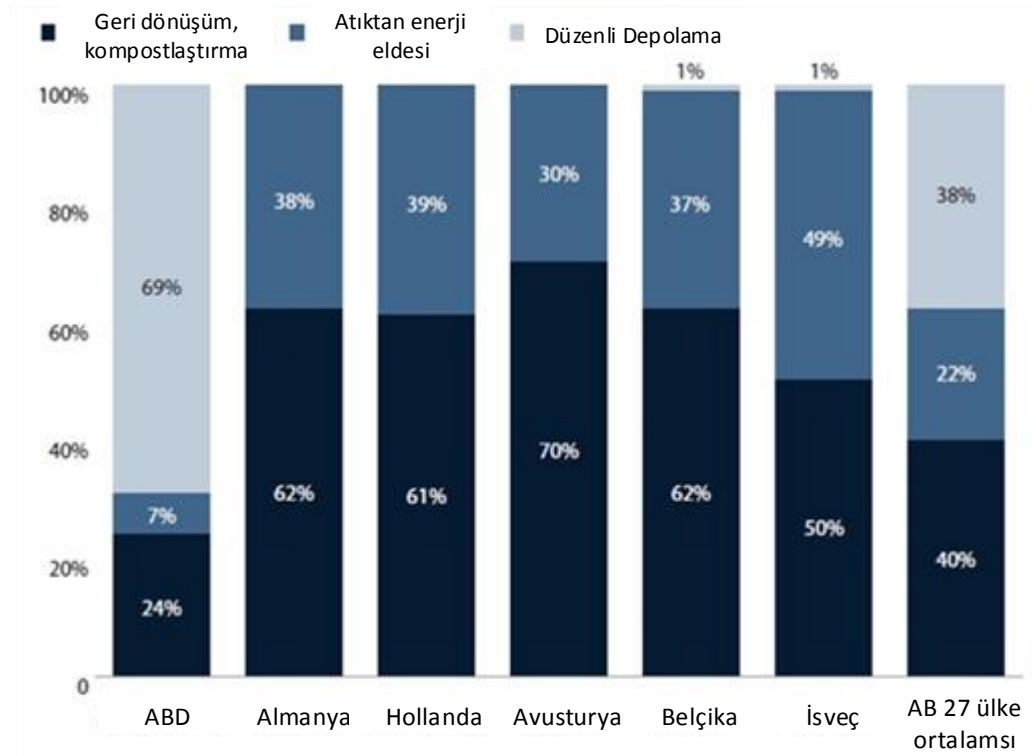
Dünya’da ilk yakma tesisi 1874’de İngiltere’ de (Nottingham) ve Kuzey Amerika’da da 1885’de ABD (Governors Island, New York)’da kurulmuştur. İlk örneklerinden bu yana kontrollü yakma tesislerinin gelişimi, çöp gömme yöntemine alternatif olarak gelişmiş bulunmaktadır. Buna karşın, 1960’lardan sonra çevre faktörlerinin toplumda önem kazanmaya başlaması sonucunda daha verimli ve temiz yakma yönündeki teknolojik gelişmeler de hız kazanmıştır.

Atıktan enerji üretimi, kısmi bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak görülebilir. ASME atıktan enerji üretim tesislerini yenilenebilir enerji üretim tesisleri kapsamında değerlendirmektedir (US DoE, 2005).Bu bağlamda, AB ülkeleri, atıktan enerji üretimi tesislerini yenilenebilir enerji üretimi tesisleri kapsamında değerlendirerek bu tesisler ile yenilenebilir enerji üretim oranlarını artırmayı hedeflemektedirler. AB “Yenilenebilir Enerji Kaynakları Direktifi” kentsel katı atık içerisinde yer alan biyobozunur fraksiyonu, yenilenebilir kaynak olarak tanımlamıştır. Evsel atıklar; fosil

kaynaklı plastik vb. gibi atıkları içermesi yanında biyojenik, biyobozunur kaynak olarak nitelendirebileceğimiz ahşap, yiyecekler vb. gibi atıkları da içermektedir. Atık kaynaklı santrallerin kısmi yenilebilir enerji santrali sayılmasının en önemli diğer bir nedeni ise; düzenli depolamayı engellediği ve bu sayede CO<sub>2</sub> salınım emisyonunun azaltılmasına katkısının yanı sıra, elde edilmesi gereken enerji için fosil kaynaklı tesislerin kullanımını engellemesidir.

Türkiye'nin atıktan enerji üretim potansiyeli değerlendirilirse, 2020 yılı için AB'nin de hedeflemiş olduğu toplam enerji üretimdeki yenilebilir enerji oranının %20 seviyesine çıkartılmasına katkı sağlayabilecek bir seçenek durumundadır.

Yenilebilir enerji kaynağı olarak, atıktan enerji üretimi kesintisiz ve emre amade kaynak olarak nitelenebilmektedir. Oysa, rüzgar, güneş gibi yenilebilir enerji kaynakları doğa olaylarından direkt olarak etkilenmekte ve bu bağlamda emre amade olarak nitelenememektedir.



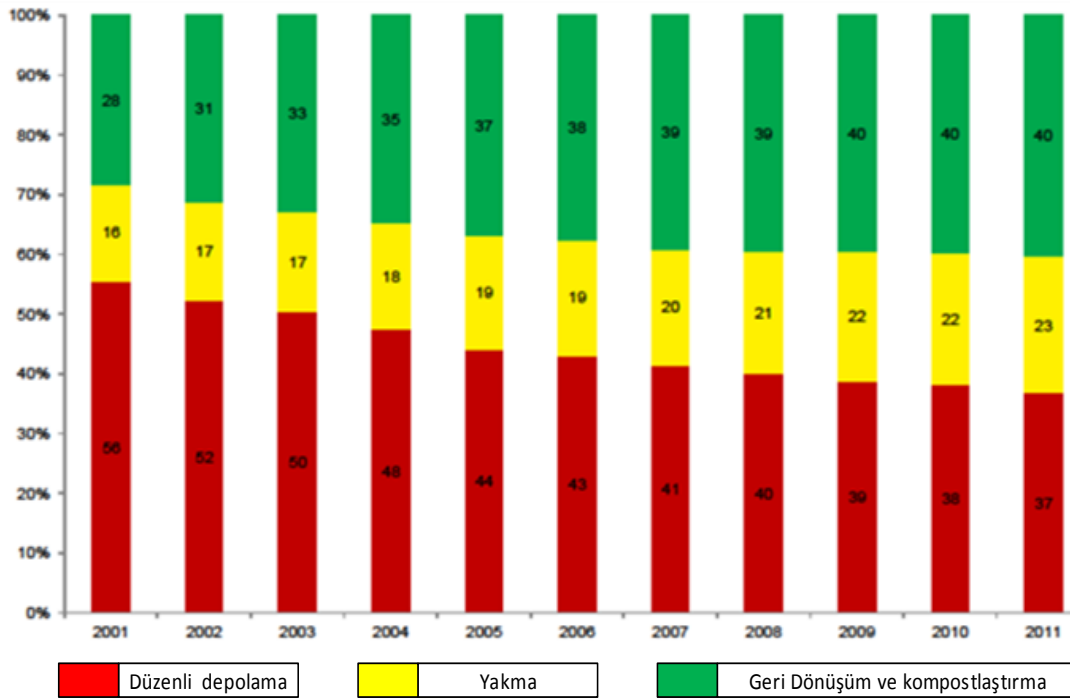
**Şekil 2.13:** 2011 yılı gelişmiş ülkelerin atık bertaraf oranları.

Atık bertaraf edilmesine yönelik gelişmiş ülkelerin oranlarına bakıldığında (Şekil 2.13), son yıllarda bu konuda çalışmalar olduğu da bilinmesine karşın, ABD'nin atıktan enerji yüzdesinin diğer ülkelere oranla oldukça düşük olduğu görülmektedir. Özellikle Almanya ve Hollanda'ya bakıldığında bu ülkelerde düzenli depolamanın

olmadığı, atık geri dönüşüm oranlarının hayli yüksek olduğu gözükmektedir. Aynı şekilde geri dönüşümü sağlanamayan atıklar enerji üretimi amacıyla değerlendirilmektedir.

Daha önce de belirtildiği üzere, atıktan enerji üretim amaçlı birçok teknoloji bulunmasına karşın AB ülkelerinde yakma yoluyla atıktan enerji üretim yöntemi kullanımı artmaktadır. Şekil 2.14'te AB Kentsel Katı Atık bertarafının yıllar içerisindeki değişimi görülmektedir (EUROSTAT, 2012).

AB'ye üye 27 ülkenin 2001-2011 yılları arası Kentsel Katı atık yönetim şekillerine bakıldığında 2001 yılında %56 olan düzenli depolama oranı yıllar içerisinde azalarak %37'ye düşmektedir. Yakma yoluyla bertaraf ise 2001 yılında %16'lık orana sahipken 2011 yılında %23'lük orana yükselmiştir. Yine aynı dönemlerde geri dönüşüm ve kompostlaştırma oranlarında da önemli artışlar görülmektedir.

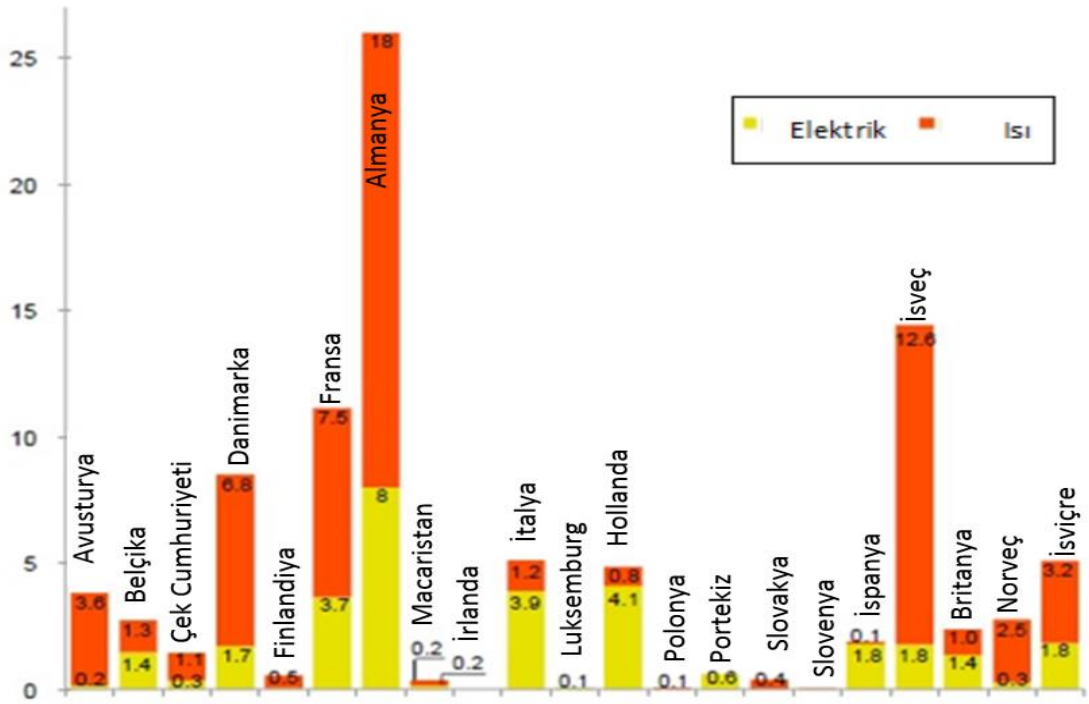


Şekil 2.14: AB kentsel katı atık bertarafının yıllar içerisindeki değişimi.

AB ülkelerinde 472 adet yakma yoluyla atıktan enerji üretim tesisleri bulunmaktadır. Literatürde bu tesisler WtE (Waste to Energy) olarak geçmektedir. ABD'de ise, 87 adet WtE tesisleri bulunmaktadır. Tehlikeli atıkların bertarafına ilişkin WtE tesisi mevcut olmasına karşın maalesef ülkemizde kentsel katı atıkların bertarafına yönelik WtE tesisleri bulunmamaktadır. Şekil 2.15'te WtE tesislerinde 2010 yılında üretilen enerji miktarı görülmektedir.

WtE tesislerinde atıktan üretilen enerji elektrik ve ısı enerjisi olarak kullanılmaktadır. Kojenere sistemler yüksek verimli olması sebebiyle daha fazla tercih edilmektedir (CEWEP, 2001-2010). WtE tesislerinden elde ettiği enerji ile AB üyesi 27 ülke 11 milyon ton CO<sub>2</sub> salınımını engellenmiş bulunmaktadır (CEWEP, 2001-2010).

WtE tesisleri AB’de birçok şekilde kullanılmaktadır. Fransadaki Louvre Müzesi WtE tesislerinin ısı enerjisini kullanmaktadır. Hollanda-Amsterdam şehrinde ise WtE tesislerinden elde edilen enerji metro ve tramvay ulaşımında kullanılmaktadır. Yine Almanya Köln şehrinde yer alan Cologne Katedrali Köln’de yer alan WtE tesislerinde elde edilen elektrik enerjisi ile aydınlatılmaktadır. Bu bağlamda, WtE tesislerinden elde edilen ısı enerjisi AB’de ısı enerjisi ihtiyacı duyulan endüstriyel tesislerde, fırınlarda ya da merkezi ısıtma olarak konutlarda kullanılmaktadır.



Şekil 2.15: WtE tesislerinde 2010 yılında üretilen enerji (milyon MWh).

WtE tesisleri ile elde edilen ısı enerjisi Avrupa Birliği ülkelerindeki 13 milyon kişi tarafından kullanılmaktadır (CEWEP, 2010). Özellikle Danimarka’da merkezi ısıtma olarak atıktan elde edilmiş ısı enerjisi sıklıkla kullanılmaktadır. Dünyanın en uzun bölgesel ısıtma ağlarından biri Danimarka Kopenhag ilinin doğusu ve batısı arasında uzanan 50 km’lik hattır. Isıtma Hattının enerjisinin %30 oranındaki kısmını, atıkların yakılması sonucu oluşan ısı enerjisi oluşturmaktadır.

Atık yakma sonucu oluşan külün; %80-%85 aralığı mineralleri, %10-%15 kadarı metalleri, %3-%5 oranında demir içermeyen metalleri ve yaklaşık %3'den az miktarda yanmayan materyalleri ihtiva etmektedir. Cüruftan geri kazanım yoluyla metaller ayrıştırılarak kullanılabilir ve geri kalan kısım ise yapı malzemesi olarak değerlendirilebilmektedir. 1 ton cüruftan 15-20 kg alüminyum içermektedir. Otomotiv sektöründe alüminyum döküm olarak bu geri kazanılmış cüruftan değerlendirilebilmektedir (CEWEP, 2012). AB üyesi 27 ülkenin, cüruftan metal geri kazanımı %8 kadardır. Teknolojik gelişmeler ile bu oranın artacağı öngörülmektedir (CEWEP, 2010).

WtE tesisleri kompleks yapılar olduğundan iş imkanı, yan sanayinin gelişmesi, AR-GE yatırımlarını teşvik etmesi gibi ekonomik ve bilimsel katkılarda sunmaktadır.

**Çizelge 2.1:** Farklı yakıtlar için emisyon faktörleri (Danimarka Enerji Ajansı, 2006).

Yakıt	Kömür	Gaz yağı	Doğalgaz	Atık
CO <sub>2</sub> (kg/GJ)	95	74	57	18
CH <sub>4</sub> (g/GJ)	1.5	1.5	15	0.6
N <sub>2</sub> O (g/GJ)	3	2	1	1.5
SO <sub>2</sub> (g/GJ)	45	23	0	23.9
NO <sub>x</sub> (g/GJ)	130	52	50	124

WtE santralinde en önemli zorluğu atıkların yakılmasından sonra oluşan baca gazı emisyonlarının çevreye zararsız hale getirilmesi olmaktadır. CO<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub> oranlarına bakıldığında atık kaynaklı tesislerin en düşük etkiye sahip olduğu gözlemlenmektedir. Çizelge 2.1'de Farklı Yakıtlar için Emisyon faktörleri verilmektedir.

Özellikle metan gazının (CH<sub>4</sub>), CO<sub>2</sub>'ye oranla 23 kat daha zararlı olması dikkate alınır atıkların diğer yakıtlara göre daha çevreci olduğu gözlemlenmektedir. SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> oranlarını azaltıcı şekilde filtre tasarımları ile zararlı emisyonun önüne geçilebilmektedir. Danimarka'da 1 ton kentsel atığın yakılması sonucu 2 MWh ısı enerjisi 0.67 MWh elektrik enerjisi üretilmektedir. Danimarka Enerji Ajansı verilerine göre yakıttan enerji elde edilmesine göre 4 ton atık 1.6 ton kömüre ve 1 ton benzine denk gelmektedir.



Dünya iklim değişikliğini önleme ve sera gazlarının azaltılması için çöpten enerji üretimi (WtE); KYOTO Antlaşması, EPA (Environmental Protection Agency-USA), EU (Avrupa Birliği), IPCC (International Panel on Climate Change) , UNFCCC (United Nations Framework on Climate Change Convention) ve benzeri uluslararası kuruluşlar nezdinde kabul görmüş bir teknolojidir.

WtE projeleri onaylanmak kaydıyla, Kyoto protokolünde zikredilen CDM (Clean Development Mechanism) tanımına uyan projelerdendir. Dolayısıyla WtE tesislerinin üretimi, söz konusu projelerin karbon kredisi kazanımına imkân sağlamaktadır. WtE üretimi ile hak kazanılabilecek karbon kredisi VER (Verifiable/Voluntary Emission Reduction) türünde olup, akredite kuruluşlarca tasdik edildikten sonra karbon piyasalarında alım satımına konu teşkil edebilmektedir (The Gold Standard, Mayıs 2006).

## 2.9 Evsel Atıkların Türkiye Değerlendirmesi

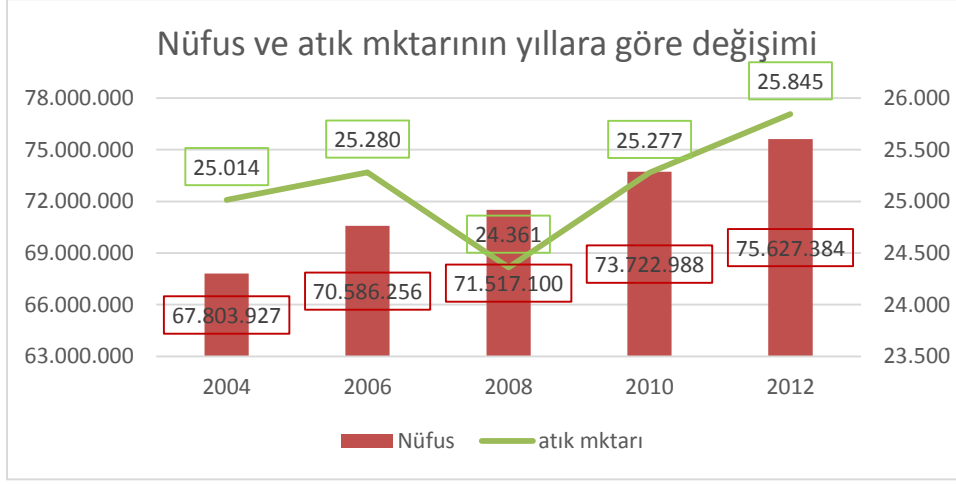
Türkiye’de evsel atıkların yıllar içerisindeki oluşumu giderek artmış bulunmaktadır. Ülkemizde evsel atıkların artmasına etkili olan bazı etkenler bulunmaktadır. Bu bağlamda yapılan inceleme aşağıdaki alt bölümlerde verilmektedir.

### 2.9.1 Evsel Atıkların Türkiye’deki Durumu ve Bertarafı

Nüfus ile birlikte evsel atık değişimi arasında doğrusal denebilecek korelasyon olduğu kabul edilmektedir. Ancak; ekonomik gelişmeler, kişi başına düşen GSYİH miktarı, enflasyon vb. gibi değişkenler ile doğrusal ilişki bozulabilmektedir. Çizelge 2.2.’de yıllara göre nüfus ve atık değişimi verilmektedir. Çizelge 2.2’deki verilerden hareketle çizilen grafik ise Şekil 2.16’de görülmektedir.

**Çizelge 2.2:** Yıllara göre nüfus ve atık değişimi (TÜİK, 2013).

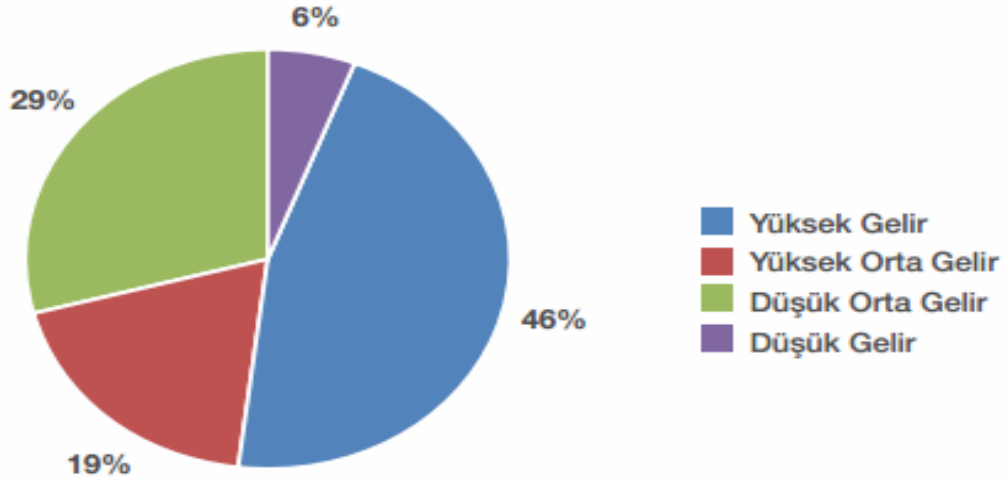
	Türkiye nüfusu (milyon/yıl)	Toplanan atık miktarı (bin ton/yıl)
2004	67 803 927	25 014
2006	70 586 256	25 280
2008	71 517 100	24 361
2010	73 722 988	25 277
2012	75 627 384	25 845



**Şekil 2.16:** Türkiye’de yıllara ve nüfusa göre evsel atık miktarı değişimi.

Çizelge 2.2 ve Şekil 2.16’den görüleceği üzere 2004-2012 yılları arası nüfus ve belediyeler tarafından toplanan atık miktarları seneler içerisinde artış göstermekle birlikte, atık miktarı sadece nüfus değişkenine bağlı olmayıp ekonomik değişkenler tarafından da etkilendiği izlenimi edinilmektedir. Nitekim, 2004-2012 yılları arasında nüfus; 2004 yılı referans alınır %11.5 kadar artış göstermiş, buna karşın yine 2004 yılı referans alınarak irdelendiğinde belediyeler tarafından toplanan atık değişimi %3.3 kadar artış göstermiş bulunmaktadır.

Nüfus sayımı yapılan 2004, 2006, 2010, 2012 yılları arasında nüfus sürekli artış göstermiştir. Ayrıca, nüfus artış oranlarının da nispeten benzerlik gösterdiği söylenebilir. Ancak 2004-2012 yılları arası atık miktarlarına bakıldığında artış olmakla birlikte belirli dönemlerde artış eğimi düşmekte belirli dönemlerde negatif eğim görülebilmektedir. Negatif eğimin görüldüğü yıla bakıldığında ise ekonomik krizin olduğu yıla karşı geldiği gözlenmiştir. Bu durum, evsel atık miktarının; nüfusun yanı sıra ekonomik gelişmelerin de etkisinde olduğunun bir göstergesi olarak nitelenebilmektedir. Nitekim, benzer durum Birleşik Krallık ve ABD değerlerinde olduğu da görülmektedir (Dünya Bankası, 2012, UK Department for Environment, 2014). Bu bağlamda, Türkiye’nin de, atık değerlendirmesine ilişkin olarak yaklaşık olarak gelişmiş ülkelerin karakterini gösterdiği söylenebilir. Ülkelerin gelir durumuna göre ürettikleri atık oranı Şekil 2.17’de görülmektedir.



**Şekil 2.17:** Ülkelerin gelir durumuna göre ürettikleri atık oranı (Dünya Bankası, 2012).

Şekil 2.17'den gözlemlendiği üzere, yüksek gelirli ülkelerdeki atık miktarı, dünyada toplanan atık miktarının yaklaşık yarısını oluşturmaktadır. Gelişmiş ülkelerde günlük ortalama atık kişi başı 1.5-2 kg kadar olmaktadır. TÜİK 2012 verilerine göre, Türkiye nüfusu 75.6 milyon ve kişi başına günlük ortalama belediye atık miktarı 1.12 kg olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 3.2.).

**Çizelge 2.3:** 2012 yılı verilerine göre evsel atık miktarı ve bertaraf oranları (TÜİK, 2012).

2012 yılı Adrese Dayalı Nüfus Kayıt sistemine göre toplam nüfus	75 627 384
Toplam belediye sayısı	2950
Toplam belediye nüfusu	63 743 047
Atık hizmeti verilen belediye sayısı	2894
Atık hizmeti verilen belediye nüfusu	63 105 474
Atık hizmeti verilen nüfusun toplam nüfusa oranı (%)	83
Atık hizmeti verilen nüfusun toplam belediye nüfusuna oranı (%)	99
Atık bertaraf ve geri kazanım tesisleri ile hizmet edilen nüfusun belediye nüfusuna oranı (%)	64
Atık bertaraf ve geri kazanım tesisleri ile hizmet edilen nüfusun toplam nüfusa oranı (%)	54
Toplanan belediye atık miktarı (bin ton/yıl)	25 845
Kişi başı ortalama belediye atık miktarı (kg/kişi-gün)	1.12

Türkiye nüfusunun %83.4'üne ilişkin atık hizmeti belediyeler tarafından sağlanmaktadır. Öte yandan, atık bertaraf ve geri kazanım tesisleri ile hizmet verilen nüfus, belediyeden hizmet alan nüfus oranının ancak %64'ü olmaktadır. Çizelge 2.4.'de 2012 yılı Türkiye Atık Bertaraf Yöntemleri ve miktarları görülmektedir (TÜİK, 2012)

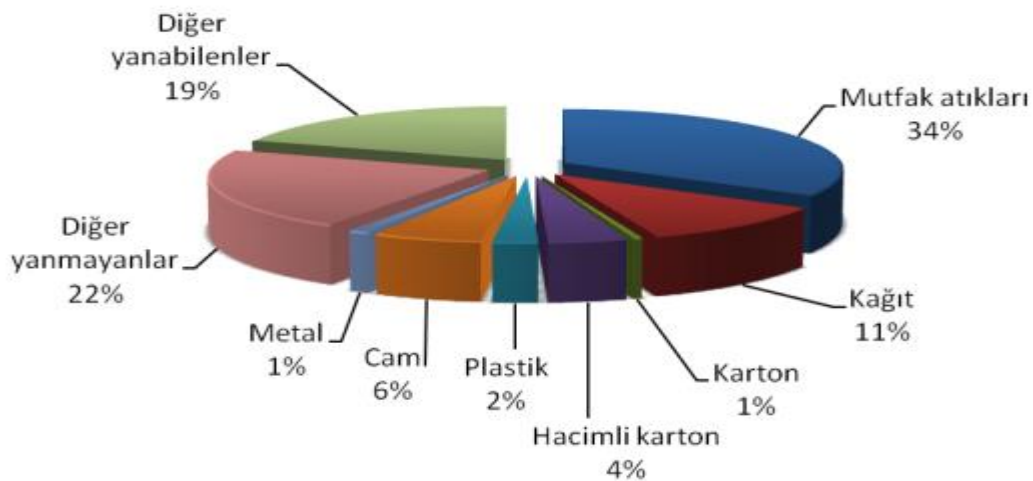
**Çizelge 2.4:** 2012 yılı Türkiye atık bertaraf yöntemleri ve miktarları.

2012 yılı Atık bertaraf yöntemleri ve miktarı (bin ton/yıl)	
Büyükşehir belediyesi çöplüğü	1107
Belediye çöplüğü	8217
Başka belediye çöplüğü	448
Düzenli depolama sahalarına götürülen	15484
Kompost tesisine götürülen	155
Açıkta yakarak	105
Dereye ve göle dökerek	33
Gömerek	94
Diğer	202
<b>TOPLAM</b>	<b>25845.00</b>

Türkiye genelinde atık bertaraf yöntemlerine bakıldığında, toplam atıkların %59.9'unun düzenli depolama sahalarında bertaraf edildiği görülmektedir. Yaklaşık %35'lik oranda ise belediye çöplüklerinde atıkların bertaraf edildiği anlaşılmaktadır.

2012 yılı verileri ile Türkiye'de 69 adet düzenli depolama tesisi mevcuttur. Söz konusu bu 69 adet tesis, 903 adet belediyeye ve dolayısıyla tarafından 44.5 milyon vatandaşa hizmet vermektedir. Ayrıca, inşaat ve ihale aşamasında olan 32 adet, plan-proje aşamasında olan 55 adet düzenli depolama tesisleri çalışmaları mevcuttur (ÇSB, 2013). Depo gazı enerji üretim tesisleri sayısı ise 2012 yılında 15 adet olarak görülmektedir. Bunlardan ayrı olarak, 8 adet kompost tesisi ve 4 adet biyometanizasyon tesisi bulunmaktadır (Öztürk, İ., 2014).

Atıkların karakterizasyonu, bertaraf etme teknolojileri açısından önem taşımaktadır. Bu bağlamda, Türkiye'de belediye atık kompozisyonu Şekil 2.18'de görülmektedir.



**Şekil 2.18:** Türkiye'de belediye atıkları 2006 yılı Kompozisyonu (TÜİK, 2006).

TÜİK tarafından 2006 yılında yapılan çalışma kapsamında, Türkiye genelinde kentsel katı atıkların %34'ünü mutfak atıklarının oluşturduğu görülmektedir. İkinci sırada %22 oransal değeri ile yanmayan maddelerin yer aldığı görülmektedir. Yanabilen atıkların oranı ise %19 düzeyindedir.

Çizelge 2.5'te de Türkiye'deki atıkların şehir, kasaba ve kırsal alanlara göre dağılımı verilmektedir. Çizelge 3.4'den hareketle, evsel katı atıkların kompozisyonuna bakıldığında yiyecek ve bahçe atığı oranının toplam atık kompozisyonunun yarısını teşkil ettiği ve kırsal kesimlerde bu oranın arttığı gözlenmektedir.

**Çizelge 2.5:** Türkiye'deki atıkların şehir, kasaba ve kırsal alanlara göre dağılımı (Tolay, 2008).

Atığın bileşenleri	Şehir alanları	Kasaba alanları	Kırsal alanlar
Kağıt	8	6	4
Karton	5	4	3
Plastik	10	8	5
Metal	4	3	2
Yiyecek ve bahçe atığı	50	55	60
Cam	4	3	2
Evsel tehlikeli atıklar	0.5	0.5	0.5
Yanıcı olmayan kalıntı atıklar	13	16	20
Yanıcı kalıntı atıklar	5.5	4.5	3.5

Ayrıca, mevsimlere göre de Türkiye'de atık miktarı ve kompozisyonu değişebilmektedir. Çizelge 2.6'de belediyeler tarafından toplanan atıkların mevsimsel değişimi verilmektedir. TÜİK 2012 yılı istatistiklerinden elde edilen bilgiler göstermektedir ki; yaz mevsiminde, kış mevsimine göre daha çok atık oluşmaktadır. Fazla olarak, atık miktarı ile birlikte atık karakterizasyonu içerisindeki atık oranları da değişebilmektedir.

**Çizelge 2.6:** Belediyeler tarafından toplanan atıkların mevsimsel değişimi (TÜİK, 2012).

Mevsimsel Atık değişimi	Yaz Mevsimi	Kış Mevsimi
Belediye atık miktarı (bin ton/yaz)	14 615	11 229
Günlük toplanan belediye atık miktarı (bin ton/gün)	72	68
Kişi başı ortalama belediye atık miktarı (kg/kişi-gün)	1.14	1.09

2017 yılı sonuna kadar mevcut atık altyapı tesislerinin tümünün iyileştirilmesi ve atık bertaraf hizmeti verilen nüfus oranının %100'e çıkarılması amaçlanmaktadır. Ayrıca,

geri kazanılabilir nitelikteki atıkların en az yarısının, kaynağında ayrı toplanması ve bu atıkların en az %75 oranında geri kazanımının sağlanması hedeflenmektedir.

Dünya genelinde 2005 yılı referans alınır, 2020 yılı için kentsel katı atık miktarında %25 oranında artış olacağı beklenmektedir. Bu oranın, ülkemiz için de yaklaşık benzer olacağı varsayılırsa, düzenli depolama ile atık bertarafının sürdürülebilir bir çözüm olmayacağı anlaşılmaktadır.

Kentsel katı içerisinde bulunan bileşenlerin farklı ısı değerlerinde olması söz konusudur. Kağıt, karton, plastik içeriğinin yüksek olması ile atıkların kalorifik değeri yükselmektedir. Organik atıkların içerdiği nem muhtevası özellikle atıkların kalorifik değerini düşürmektedir. Çizelge 2.7’de kentsel katı atık bileşenlerin ısı değerleri verilmektedir.

**Çizelge 2.7:** Kentsel katı atık bileşenlerin ısı değerleri (Akpınar, 2006).

Bileşen	Isıl değer kcal/kg kuru ağırlık
Yiyecek atıkları	1111
Kağıt	4000
Karton	3889
Plastik	7778
Tekstil	4167
Lastik	5556
Deri	4167
Bahçe atıkları	1556
Tahta	4445
Cam	33
Metaller	167
Kül, diğer safsızlıklar	1667

1 ton evsel atık düzenli depolanma şartlarında 1 m<sup>3</sup> yer kaplamaktadır. Türkiye 2012 verilerine göre, yaklaşık 25 milyon ton evsel atık mevcuttur ve çalışmalar sonucunda tahmin edilmektedir ki; 2030 yılında evsel atık miktarı Türkiye için 50 milyon tona ulaşacaktır (Saraç M., Uludağ O., 2010). Dolayısıyla, söz konusu fazladan 25 milyon ton evsel atığın düzenli depolanabilmesi için ekstradan 1 metre derinliğinde yaklaşık 4630 adet futbol sahası büyüklüğünde alana ihtiyaç duyulacaktır. Bu durum, oluşabilecek sorun cesametinin hayli yüksek olacağı sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

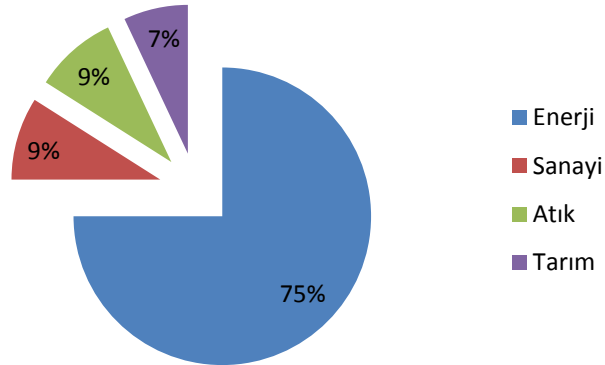
Atıkların çevreye etkileri incelenirse, 2009 yılı verilerine göre sera gazı etkisi emisyonlarının %9’u atıklardan oluşmaktadır (TÜİK-Sera Gazı Emisyon Envanteri,

2013). Çizelge 2.8’de Türkiye’de sektörlere göre toplam sera gazı emisyonları verilmektedir. Şekil 2.19’de ise sektörlere göre dağılımı grafik olarak görülmektedir.

**Çizelge 2.8:** Türkiye toplam sera gazı emisyonları (milyon ton CO<sub>2</sub> eşdeğeri)  
(TÜİK-sera gazı emisyon envanteri, 2013).

EMİSYON	YILLAR					
	1990	1995	2000	2005	2010	2011
CO <sub>2</sub>	141.36	173.9	225.43	259.61	326.47	344.69
CH <sub>4</sub>	33.5	46.87	53.3	52.38	57.54	58.81
N <sub>2</sub> O	11.57	16.22	16.62	14.18	13.03	12.65
F-Gazları	0.6	0.52	1.66	3.73	4.89	6.26
Toplam	187.03	237.51	297.01	329.9	401.93	422.42

Sera gazı miktarları içinde CO<sub>2</sub> gazının önemli ölçüde etkin olduğu görülmektedir. CO<sub>2</sub>’e göre 23 kat daha zararlı olan metan (CH<sub>4</sub>) emisyonunun ise önemli miktarlarda olduğu gözlenmektedir. CH<sub>4</sub> emisyonlarının %58’i atık bertarafından, %32’si tarımsal faaliyetlerden ve %9’u ise enerjiden kaynaklanmaktadır (ÇSB, 2012). N<sub>2</sub>O emisyonlarının ise, %77’sinin tarımsal faaliyetlerden, %15’inin de atıktan ve %8’inin enerjiden (yakıt yanmasından) kaynaklandığı görülmektedir (TÜİK-Sera Gazı Emisyon Envanteri, 2013).



**Şekil 2.19:** Sektörlere göre toplam sera gazı emisyonları (ÇSB, 2011).

Çizelge 2.8’den görüldüğü üzere, sera gazı emisyonlarının yıllar içerisinde değişimi, arta giden yönde olmuştur. Kyoto protokolünü kabul etmiş ülkemiz için, gelecek yıllarda önemli bir sera gazı emisyonu aynı zamanda önemli sorunlar oluşturabilecek nitelik arz etmektedir.





### **3. EVSEL ATIK YAKMA TESİSİ KÜTLE ve ENERJİ ANALİZİ**

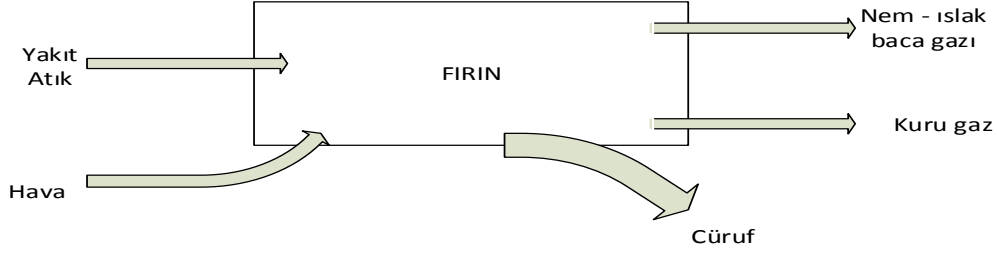
Evsel atık yakma tesisi enerji analizi için öncelikle tesiste üretilecek elektrik enerjisi miktarının belirlenmesi esas olmaktadır. Elektrik enerjisi miktarının belirlenebilmesi için ise, tesiste üretilen buhar miktarı hesabının yapılması gerekmektedir. Bu amaçla, kazanda buharlaşmaya neden olacak yakma sonucu elde edilen gazların ısı güçleri bulunmalıdır. Bu ısı güçler, fırın içerisindeki sıcaklığa bağlı olmaktadır. Fırın sıcaklığı da atığın ısı değeri ile yanmanın gerçekleşebilmesi için gereken havanın yanması sonucu oluşan sıcaklıktır. Bir başka deyişle, elektrik enerjisi miktarını bulabilmek için birbiriyle etkileşimli değerleri bulmak ve hesap etmek gerekmektedir.

Bu amaçla, ilk önce kütle dengesi hesabı, daha sonra enerji dengesi hesabı yapılacaktır. Bu hesaplardan sonra, baca gazı ve soğutma suyu hesabına geçilmesi planlanmıştır. Çevresel açıdan bu gazların debisi ve miktarı filtre sistemleri için gerekli olmaktadır. Buhar hesabı kısmında, kazanda üretilecek buhar miktarı belirlenecektir. Buhar miktarı belirlendikten sonra buhar türbininde üretilecek elektrik enerjisi miktarı hesap edilebilir hale gelmiş olacaktır. Daha sonra, tesisin kurulu gücü ve verimi bulunacaktır. Bu hesaplamalardaki ifadeler baz alınarak tesisin kurulması istenilen bölgeye ilişkin atık özelliklerine göre yakma tesisi tasarımı yapılmıştır.

#### **3.1 Kütle Dengesi Hesabı**

Kütlenin korunumu ilkesi gereği; bir proseste işleme giren kütleler ile çıkan kütleler her zaman birbirine eşit olması gerekmektedir. Kütlenin korunumuyla bu işlemler gerçekleşirken giren maddeler hal değişimine uğrayabilirler. Evsel atık yakma tesisinde, giren maddeler; yakıt olarak katı atıklar ve yanmanın gerçekleşmesi için hava dolayısıyla oksijendir. Çıkan maddeler ise, kuru gaz, nem-ıslak baca gazı ve cüruf olmaktadır.

Şekil 3.1'de kütle hesabı yapılan bir evsel atık yakma tesisi şematik olarak görülmektedir.



**Şekil 3.1:** Bir evsel atık yakma tesisi kütle dengesi hesabına ilişkin şematik görünüm.

Kentsel katı atık içerisinde organik atıkların nem-rutubet kaynaklı bekleme işlemleri sonucu kütlece kayıp olacağı açıktır. Bu nedenle, söz konusu bu sızıntı miktarının toplam kütlede çıkarılması gerekmektedir. Buna göre;

$$A_{YT} = A_t - (A_t \times n_s) \quad (3.1)$$

olarak yazılabilir. Burada:

$A_{YT}$ : Sızma sonrası yılda oluşan atık kütlesi [ton/yıl]

$A_t$ : Toplam katı atık miktarı [ton/yıl]

$n_s$ : aktarma, transfer ve bunkerde bekletilmesi sonucu atık kütledeki sızma oranı [%]

temsil etmektedir.

Tesislerin yıllık periyodik bakım çalışmalarının yapılması söz konusudur. Bir başka deyişle, tesisler 365 gün 24 saat çalışmamaktadır. Saatlik yakıt miktarını belirleyebilmek için tesisin 1 yılda çalışacağı saat değerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda;

$$A_{YS} = \frac{A_{YT}}{w_s} \quad (3.2)$$

olarak ifade edilebilir. Burada;

$A_{YS}$  : Yakma tesisi saatlik yakıt(atık) miktarı [ton/saat]

$w_s$ : Tesis yıllık çalışma saati [saat/yıl]

olmaktadır.

Atık karakterizasyonu, yakma tesis hesaplarında önem arz etmektedir. Yakıt içerisindeki nem oranı ile yanma işlemiyle ıslak baca gazı – nem oluşmaktadır. Dolayısıyla;

$$A_{nem} = n_{nem-atık} \times A_{YS} \quad (3.3)$$

olarak yazılabilir. Burada;

$A_{nem}$ : Atık içerisinde mevcut olan ve yanma sonucu oluşacak nem-ıslak baca gazı miktarı [ton/saat]

$n_{nem-atık}$ : Atık içerisindeki nem oranı [%]

temsil etmektedir.

Yanma sonucunda ise cüruf oluşmaktadır. Söz konusu bu cüruf miktarı, atık kompozisyonunda yer alan yanmayan maddelerin oranıyla doğrudan ilişkili olmaktadır. Cüruf miktarını hesap edebilmek için atık karakterizasyonundaki yanmayan madde ve kül oranının bilinmesi gerekmektedir.

$$A_{kül} = n_{kül} \times A_{YS} \quad (3.4)$$

olarak yazılabilir. Burada;

$A_{kül}$ : Yanma sonucu kül miktarı [ton/saat]

$n_{kül}$ : Yanma sonucu oluşacak kül/cüruf oranı [%]

temsil etmektedir.

Tesiste yakılacak atığın ısı gücü enerji dengesi hesabı açısından önemli ve gerekli bir ifade olmaktadır. Atığın ısıl gücünü tespit edebilmek için yine atık karakterizasyonu devreye girmektedir. Burada; atık için belirlenmiş alt ısıl değer esas alınarak:

$$A_{ısl} = A_{YS} \times A_{LHV} \quad (3.5)$$

yazılabilir. Burada;

$A_{LHV}$ : Atığın alt ısıl değeri [kCal/kg]

$A_{ısl}$ : Atığın toplam ısıl gücü [kCal/saat] ifade etmektedir.

Yanma işleminin gerçekleşebilmesi için ortamda havanın bulunması şarttır. Hava miktarını ise, nem ve külden arındırılmış atık külesine karşın stokiyometrik hava katsayısı çarpımı ile tespit edilebilmektedir. Atığın yanması için ortamda bulunan havanın-oksijenin stokiyometrik oranda olması gerekmektedir. Bir başka deyişle, hava miktarı stokiyometrik orandan fazla ise, fazla yanma gerçekleşir ki bu durum baca gazı kayıplarına ve baca gazı filtrasyonu problemlerine neden olmaktadır. Eğer, hava miktarı stokiyometrik orandan az ise, bu durumda da eksik yanma gerçekleşmektedir. Bu hal, atıkların tam olarak yanmaması ile cüruf miktarında artışa ve fırın içerisindeki sıcaklığın düşük olmasıyla sistem veriminin düşük olmasına neden olacaktır. Dolayısıyla;

$$A_{net} = A_{YS} - A_{nem} - A_{kül} \quad (3.6)$$

olarak yazılabilir. Burada;

$A_{net}$  : Nem ve külden arındırılmış atık kütlesi [ton/saat]

temsil etmektedir.

Yanma sonucu oluşan kuru gaz miktarını bulabilmek için, kuru gaz atığın stokiyometrik yanmadaki parametrik değeri ile hesap yapılması gerekmektedir. Bu değer, atığın ısı enerjisine karşılık gelen değer olmaktadır. EK B Çizelge E.2'de belirli ısı enerjisi için parametrik değer bulunmaktadır. Enterpolasyon yöntemiyle atığın ısı enerjisine karşılık gelecek kuru gaz parametrik değeri elde edilebilmektedir. Buna göre;

$$B_{kuru\ gaz} = n_{kuru\ gaz} \times A_{ısı} \quad (3.7)$$

olmaktadır. Burada;

$B_{kurugaz}$  : Yanma sonucu atık kaynaklı kuru gaz miktarı [ton/saat]

$n_{kuru\ gaz}$  : Stokiyometrik yanmada kuru gaz için atığın parametrik değerleri [kg/kCal]

ifade etmektedir.

Yanma sonucu oluşan nem miktarı için, yine stokiyometrik yanmadaki nem parametrik değeri ile hesap yapılmaktadır. Bu değer, atığın ısı enerjisine karşılık gelen değer olmaktadır. Enterpolasyon yöntemiyle atığın ısı enerjisine karşılık gelen nem değeri ifadesi.

$$B_{nem} = n_{nem} \times A_{ıstl} \quad (3.8)$$

elde edilmektedir. Burada;

$B_{nem}$  : Yanma sonucu atık kaynaklı nem-ıslak baca gazı miktarı [ton/saat]

$n_{nem}$ : Stokiyometrik yanmada nem için atığın parametrik değerleri [kg/kCal]  
olmaktadır.

Atığın yanması sonucu atık karakterizasyonunda yer alan nem oranından kaynaklı nem-ıslak baca gazı oluşumu ile havayla yanma sonucu yine nem oluşmaktadır. Toplam nem miktarı işte bu iki değer

$$B_{t_{nem}} = B_{nem} + A_{nem} \quad (3.9)$$

toplamı olmaktadır. Burada;

$B_{t_{nem}}$  : Yanma sonucu oluşacak toplam nem-ıslak baca gazı miktarı [ton/saat]'dır.

Atık yanma sonucu kuru gaz ve nem miktarı toplamı sistemde yer alacak hava fazlası miktarı hesabı açısından önem arz etmektedir. Dolayısıyla;

$$B_{toplaml} = B_{kuru\ gaz} + B_{nem} \quad (3.10)$$

olmaktadır. Burada;

$B_{toplaml}$ : Yanma sonucu oluşan kuru gaz ve nem miktarları [ton/saat]

ifade etmektedir.

Sistemde bulunan hava miktarı; yanma sonucu oluşan kuru gaz ve nemin toplamından, cüruf ve nemden arındırılmış atık miktarının farkına eşit olmaktadır.

$$H_{hava} = B_{toplaml} - A_{net} \quad (3.11)$$

Burada;

$H_{hava}$ : Sistemde bulunan hava miktarı [ton/saat]

temsil etmektedir.

Kütle yakma tesislerinde yanmanın gerçekleşebilmesine ilişkin olarak, hava fazlası oranı tespit edilerek sistemde bulunan hava miktarı ile toplam hava miktarı hesap

edilmektedir. Burada, ortamda bulunan hava miktarı 1.0 olarak düşünölmüştür. Buna göre;

$$Ht_{hava} = H_{hava} \times (n_{hava} + 1) \quad (3.12)$$

olmaktadır.

$Ht_{hava}$ : Atığın yanması için hava fazlası dahili ile oluşacak toplam hava miktarı [ton/saat]

$n_{hava}$ : Hava fazlası oranı [%]

temsil etmektedir.

Sistemde bulunan hava fazlasının yanma sonucu kuru gaz haline geldiği varsayımı yapılarak hava fazlası kaynaklı kuru gaz miktarı ise;

$$Bh_{kuru\ gaz} = n_{hava} \times H_{hava} \quad (3.13)$$

hesap edilir. Burada;

$Bh_{kurugaz}$  : Sistemde bulunan hava fazlası ile oluşan kuru gaz [ton/saat]

olmaktadır.

Yakma sisteminde toplam kuru gaz miktarı; atık kaynaklı kuru gaz miktarı ile hava fazlası yanması, dolayısıyla oluşacak kuru gaz miktarı toplamına eşit olmaktadır.

Buna göre;

$$Bt_{kuru\ gaz} = B_{kuru\ gaz} + Bh_{kuru\ gaz} \quad (3.14)$$

yazılabilir. Burada da;

$Bt_{kurugaz}$  : Yanma sonucu oluşan toplam kuru gaz miktarı [ton/saat]

temsil etmektedir.

Yakma sistemlerinde türbölans önemli bir değişken olmaktadır. Türbölans, yakıt hava oranı olarak düşünölebilmektedir. Efektif karışım oranı sağlanarak tesis işletilmesi esastır. Buna göre;

$$r = \frac{Ht_{hava}}{A_{YS}} \quad (3.15)$$

olarak ifade edilebilir.

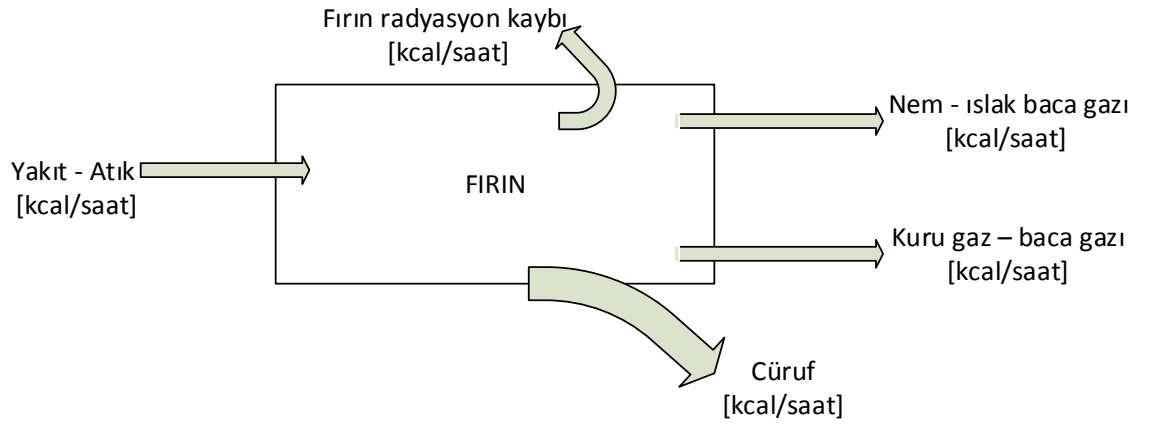
Burada;

$r$  : hava-yakıt oranı [%]

olmaktadır.

### 3.2 Enerji Dengesi Hesabı

Enerji dengesi hesabı için düşünülen hesaplama, Şekil 3.2'deki şemada yer alan parametreler göz önüne alınarak geliştirilmiştir.



Şekil 3.2: Enerji dengesi şematik gösterimi.

Enerji korunumu kanunu sistemdeki toplam enerji miktarının değişmeyeceğini ifade etmektedir. Enerji ne yok edilebilir ne de yoktan var edilebilir ancak sistem içerisinde enerji türü değişiklikleri oluşabilir. Yakma tesisimizde de yanma sonucu ısı enerjisi elde edilmektedir. Bir başka deyişle, sistemin ısı dengesi sabittir. Yakılacak atığın ısı değeri, fırında oluşacak kayıplar çıkarıldıktan sonra yanma sonucu oluşacak kuru gaz, nem-ıslak baca gazı ve cüruf ısı değerleri toplamı şeklinde ifade edilmektedir.

Yanma sonucu oluşan kül-cürufun ısı gücü;

$$C_{\text{ısı}} = A_{\text{kül}} \times K \quad (3.16)$$

olarak bulunmaktadır. Burada;

$C_{\text{ısı}}$  : Yanma sonucu kül-cüruf'un ısı gücü [kCal/saat]

$K$  : külün alt ısı değeri [kCal/kg]

ifade etmektedir.

Kazan yüzeylerinde radyasyondan kaynaklı kayıplar oluşmaktadır. Bu kayıp faydalı ısıya dönüştürülememektedir. Kazanda kaybedilen ısı gücü, fırın içerisindeki hıza karşılık gelen radyasyon kaybı oranından faydalanılarak bulunmaktadır (Çizelge 3.1).

**Çizelge 3.1:** Fırındaki hız ve radyasyon kaybı.

Fırındaki hız ( GCal/saat)	Radyasyon kaybı(%)
<2.5	3.00%
3.78	2.75%
5.04	2.50%
6.30	2.00%
7.56	1.75%
>8.82	1.50%

Buna göre;

$$K_{fırın} = n_{fırın} \times A_{ısıl} \quad (3.17)$$

olmaktadır. Burada;

$K_{fırın}$ : Radyasyon dolayısıyla fırın yüzeylerinde meydana gelen kayıp [kCal/saat]

$n_{fırın}$ : Fırındaki hızdan kaynaklı fırındaki ısının radyasyon kaybı oranı [%]

temsil etmektedir.

Ayrıca, yanma sonucu cüruf ve radyasyondan kaynaklı ısı gücü kayıpları da faydalı enerjiye çevrilememektedir. Sistemde faydalı ısı enerjisi çevrilecek ısı gücü hesap edebilmek için atığın ısı değerinden bu kayıpların çıkartılması gerekmektedir.

Dolayısıyla;

$$K_{toplam} = K_{fırın} + C_{ısıl} \quad (3.18)$$

olarak hesaplanabilmektedir. Burada;

$K_{toplam}$  : Yanma sonucu toplam ısı kayıp [kCal/saat]

ifade etmektedir.

Yanma sonucu cüruf ve kazan kaybından arındırılmış ısı gücü ( $A_{n,ısıl}$  [kCal/saat]) ise;



$$An_{\text{ısı}} = A_{\text{ısı}} - K_{\text{toplama}} \quad (3.19)$$

olarak yazılabilmektedir.

Yanma sonucu oluşan kuru gaz ve nem ısı gücü kazandaki suyu buharlaştırarak buhar elde edilmesini sağlamaktadır. Yanma sonucu oluşan kuru gaz ve nemin ısı gücünü bulabilmek için öncelikle belirlenecek sıcaklık değerine karşılık gelen entalpi değeri bulunması gereklidir. Belirlenecek sıcaklık değeri fırın sıcaklığıdır. Direktiflere göre 850°C den az olmamak zorundadır (European Waste Incineration Directive, 2000). İlgili tablolarda belirli değer aralıkları için entalpi değerleri tanımlanmıştır. Öngörüle bulunarak tabloda fırın sıcaklığına yönelik üst ve alt ısı güçleri hesap edilebilmektedir. Bu alt ve üst ısı güçlerinin sıcaklığına bağlı olarak enterpolasyon yöntemiyle fırın sıcaklığı belirlenebilir.

Kuru gazın ısı gücü;

$$Bk_{\text{ısı}} = Bt_{\text{kuru gaz}} \times e_{\text{kuru gaz}} \quad (3.20)$$

olarak bulunabilir. Burada;

$Bk_{\text{ısı}}$ : Kuru gazın ısı gücü [kCal/saat]

$e_{\text{kuru gaz}}$ : Kuru gazın belirli sıcaklıktaki entalpi değeri [kCal/kg]

temsil etmektedir.

Ayrıca;

$$Bn_{\text{ısı}} = Bt_{\text{nem}} \times e_{\text{nem}} \quad (3.21)$$

$$An_{\text{ısı}} = Bk_{\text{ısı}} + Bn_{\text{ısı}} \quad (3.22)$$

$$An_{\text{ısı}} = (Bt_{\text{kuru gaz}} \times e_{\text{kuru gaz}}) + (Bt_{\text{nem}} \times e_{\text{nem}}) \quad (3.23)$$

olarak yazılabilmektedir. Burada;

$Bn_{\text{ısı}}$ : Nem-ıslak baca gazının ısı gücü [kCal/saat]

$e_{\text{nem}}$ : nemin belirli sıcaklıktaki entalpi değeri [kCal/kg]

ifade etmektedir.

$An_{\text{ısı}}$  denkleğini gösterirken kuru gaz ve nemin entalpi değerinden faydalanılmaktadır. İşte bu denkliği sağlayacak entalpi değeri fırın sıcaklığında oluşan entalpidir. Fırın sıcaklığı tespiti, bu denkliği kullanarak elde edilebilir. Entalpi tablolarında belirli sıcaklık değerleri için değerler olduğunu ifade edilmişti. Eğer sıcaklık değeri, tabloda yer almıyorsa, enterpolasyon yöntemiyle fırın sıcaklığındaki kuru gaz ve nemin entalpi değerleri tespit edilebilmektedir.

### 3.3 Kazanda Elde Edilen Buhar Miktarı Hesabı

Yanma sonucu oluşan fırın sıcaklığında elde edilen baca gazları ile kazanda buhar elde edilmektedir. Kazandan elde edilen buhar, tesisin işletme koşullarına uygun basınç ve sıcaklık değerleri ile buhar türbinine gönderilmektedir. Basınç ve sıcaklık değerleri; kazanda üretilen buhar, fırın sıcaklığı ve buhar türbini özellikleri gibi farklı değişkenlere bağlı olarak belirlenmesi gerekmektedir. Buhar türbinin kanatlarına çarpan buhar türbini döndürmekte, türbine bağlı alternatörde mekanik enerji elektrik enerjisine çevrilmiş olmaktadır. Bu bağlamda, elektrik enerjisi miktarının hesap edilebilmesi için ilk olarak kazanda üretilecek buhar miktarı hesap edilmesi gerekmektedir.

Fırın sıcaklığında oluşan kuru gaz ve nem, kazan içerisindeki besleme suyunu buharlaştırarak ısıl gücün bir kısmını kaybetmiş şekilde filtre sistemine geçmektedir. Bu ısıl güç, kazanda buharlaşmaya neden olmaktadır. Fırın sıcaklığında oluşan kuru gaz ve nemin kazandan çıkış sıcaklığı değerinin bilinmesi gerekmektedir. Belirlenen kazan çıkış sıcaklığı değeri için, kuru gaz ve neme ait entalpi değerleri bulunmaktadır. Fırında oluşan ısıl güçten kazanı terk eden gazın ısıl güç farkı, kazana aktarılan ısıl gücü vermektedir.

Buna göre;

$$B_{\zeta_{\text{ısı}}} = (e_{\text{kazan-kuru gaz}} \times Bt_{\text{kuru gaz}}) + (e_{\text{kazan-nem}} \times Bt_{\text{nem}}) \quad (3.24)$$

olarak yazılabilmektedir. Burada;

$B_{\zeta_{\text{ısı}}}$  : Kazanda buharlaşmaya neden olduktan sonra baca gazın çıkış ısıl gücü

[kCal/kg]

$e_{\text{kazan-kuru gaz}}$  : Kuru gazın kazandan çıkış sıcaklığındaki entalpi değeri [kCal/kg]

$e_{kazan-nem}$  : Nemin kazandan çıkış sıcaklığındaki entalpi değeri [kCal/kg]

$Bt_{kuru\ gaz}$  : Yanma sonucu oluşan toplam kuru gaz miktarı [ton/saat]

$Bt_{nem}$  : Yanma sonucu oluşacak toplam nem-ıslak baca gazı miktarı [ton/saat]'dır.

temsil etmektedir.

Ayrıca;

$$Bk_{buhar} = An_{isil} - B\zeta_{isil} \quad (3.25)$$

yazılabilir. Burada:

$Bk_{buhar}$  : Kazanda oluşan ısı güç [kCal/saat]

$An_{isil}$  : Yanma sonucu cüruf ve fırın kaybından arındırılmış ısı güç [kCal/saat]

$B\zeta_{isil}$  : Kazanda buharlaşmaya neden olduktan sonra baca gazın çıkış ısı gücü  
[kCal/kg]

$C_{kazan}$  : Kazandan çıkan filtre sistemine giren baca gazın sıcaklığı [°C]

ifade etmektedir.

Kazanda elde edilen ısı gücün bir kısmı kazan yüzeylerinde kayıp olarak harcanacaktır. Kazana aktarılan ısı güç değerinden kayıp miktar çıkartılarak buharlaşmaya neden olacak ısı güç hesap edilebilir.

$$Bn_{buhar} = Bk_{buhar} - (n_{kazan} \times Bk_{buhar}) \quad (3.26)$$

Burada;

$n_{kazan}$  : Kazan yüzeylerinde oluşan kayıp enerji [%]

temsil etmektedir.

Kazana gelen besleme suyun bir kısmı deşarj edilmektedir. Bu oran kazanın özelliğine bağlı bir değer olmaktadır.

Kazanda oluşan buharın sıcaklık ve basınç değerine karşılık gelen entalpi değeri bulunabilir. Yine kazanda deşarj edilen doygun suyun entalpi değeri bulunmalıdır. Kazana gönderilen besleme suyu sıcaklığı ve basıncı işletme şartlarına bağlı olmakla

birlikte bu değerlerin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu değerlere karşılık gelen besleme suyunun entalpi değeri bulunur.

$$D_{isil} = s_{deşarj} \times e_{deşarj} \times B_s \quad (3.27)$$

Burada:

$B_s$  : Besleme suyu miktarı [kg/saat]

$s_{deşarj}$  : Kazanda deşarj edilen suyun besleme suyuna oranı [%]

$e_{deşarj}$  : Deşarj edilen suyun entalpi değeri [kCal/kg]

ifade etmektedir.

$$B_{isil} = B_s \times e_{besleme} \quad (3.28)$$

Burada;

$B_{isil}$  : Besleme suyun ısııl g¼c¼ [kCal/saat]

$e_{besleme}$  : Besleme suyunun entalpi değeri [kCal/kg]

temsil etmektedir.

Öte yandan;

$$D_s = s_{deşarj} \times B_s \quad (3.29)$$

olarak yazılabilmektedir. Burada da;

$D_s$  : Kazanda Deşarj edilen su miktarı [kg/saat]

temsil etmektedir.

Buhar miktarı ( $B_m$ ) [kg/saat] ise;

$$B_m = B_s - D_s \quad (3.30)$$

olmaktadır.

Buhar ısııl g¼c¼ ( $B_{buhar}$ ) de;

$$B_{buhar} = B_m \times e_{buhar} \quad (3.31)$$

olarak yazılabilmektedir. Burada

$e_{\text{buhar}}$  : Kazanda oluşan buharın entalpi değeri [kCal/kg]

ifade etmektedir.

Kazanda oluşan buharın ısı gücü için, deşarj edilen suyun ısı güç değerinden besleme suyunun ısı gücü değeri farkı alındığında, kazana aktarılan gücü verecektir. Isıl güç miktarında yer alan besleme suyu miktarı değeri,

$$Bn_{\text{buhar}} = B_{\text{buhar}} - D_{\text{ısl}} - B_{\text{ısl}} \quad (3.32)$$

böylelikle bulunabilir. Burada;

$D_{\text{ısl}}$  : Deşarj edilen suyun ısı gücü [kCal/saat]

ifade etmektedir.

Bulunan besleme suyu miktarının deşarj edilen kısmı hariç geri kalan oran buharlaşmış şekilde kazandan türbine ulaşmaktadır. Bu sayede kazandan elde edilen buhar miktarı bulunabilmektedir.

#### 3.4 Baca gazı ve Soğutma Suyu Hesaplamaları

Baca gazı ve soğutma suyu hesapları için öncelikle soğutma suyu sıcaklığı ve bacadan atılacak gazın olması istenilen sıcaklık değerleri tespit edilmelidir. Filtrasyona girecek kuru gazın sıcaklık değeri tespit edilerek işlemlere başlanabilir. Bu değer, kazanda buharlaşmaya neden olduktan sonra kuru gaz ve nemin kazandan filtre sistemine geçiş sıcaklığıdır. Filtre sistemine giren kuru gaz ve nemin ısı gücü ile bacadan atılan sıcaklıktaki baca gazının ısı gücü farkı filtre sistemindeki soğutma suyundan harcanan ısı gücü vermektedir. Bu güç değerinden soğutma suyu miktarı hesap edilebilir.

$$E_{\text{baca gazı}} = (e_{g\text{-kuru gaz}} \times Bt_{\text{kuru gaz}}) + (e_{g\text{-nem}} \times Bt_{\text{nem}}) \quad (3.33)$$

$E_{\text{baca gazı}}$  : Baca gazı ısı gücü [kCal/kg]

$e_{g\text{-kuru gaz}}$  : Baca sıcaklığında kuru gazın entalpi değeri [kCal/kg]

$e_{g\text{-nem}}$  : Baca sıcaklığında nemin entalpi değeri [kCal/kg]

ifade etmektedir.

Ayrıca;

$$Q = W \times C \times \Delta t \quad (3.34)$$

$$\Delta t = C_{kazan} - C_{baca\ gazı} \quad (3.35)$$

olmaktadır. Burada;

Q : Baca gazı sıcaklığını istenilen çıkış sıcaklığına düşürecek soğutma suyun ısı gücü [kCal/saat]

W : Soğutma suyu miktarı [ton/saat]

C : spesifik su özgül ısısı [kCal/kg °C]

$\Delta t$  : sıcaklık farkı [°C]

$C_{kazan}$  : Kazandan çıkan filtre sistemine giren baca gazının sıcaklığı [°C]

$C_{baca\ gazı}$  : Bacadan atılan gazın sıcaklığı [°C]

temsil etmektedir.

Ayrıca;

$$Q = B\dot{c}_{ısı} - E_{baca\ gazı} \quad (3.36)$$

$$W = \frac{Q}{(C \times \Delta t)} \quad (3.37)$$

yazılabilmektedir.

Baca gazı analizleri ve filtre sistemi açısından baca gazından atılan gazın debisinin bilinmesi gereklidir. Bu amaçla baca gazı debisi bulunmalıdır. Bu değeri bacadan atılacak gazın sıcaklık değerine karşılık gelen hacim miktarı ile bacadan atılan gazın miktarının çarpımı ile bulabiliriz.

$$d_b = v_b \times Bt_{kuru\ gaz} \quad (3.38)$$

Burada:

$d_b$  : baca gazı çıkış debisi [ $m^3/dk$ ]

$v_b$  : baca gazının çıkış sıcaklığı değerindeki hacmi [ $m^3/kg$ ]

temsil etmektedir.

$d_w$  : soğutma suyu debisi [ $m^3/dk$ ]

Bulunan baca gazı debisi ile kirletici emisyonlar hesap edilebilir. Kirletici emisyon faktörleri değeri Avrupa Çevre Ajansı tarafından kentsel katı atıkların kütle yakma sistemleri için belirlediği değerlerdir (Çizelge 3.2).

**Çizelge 3.2:** Kirletici emisyon faktörü değerleri (AB Çevre Ajansı, 2009).

Emisyon faktörleri		
NO <sub>x</sub>	1071	g/ton atık
CO	41	g/ton atık
SO <sub>x</sub>	87	g/ton atık
PM10	3	g/ton atık
NMVOC	5.9	g/ton atık
Pb	58	mg/ton atık
Hg	18.8	mg/ton atık
Cd	4.6	mg/ton atık

Emisyon faktörü değerleri ile tesiste yakılan atık miktarı çarpımı; kirletici emisyonunu vermektedir.

$$K_{emisyon} = F_{emisyon} \times A_{YS} \quad (3.39)$$

Burada;

$K_{emisyon}$  : Kirletici emisyon [kg/saat]

$F_{emisyon}$  : Emisyon faktörleri [kg/ton atık]

$A_{YS}$  : Yakma tesisi saatlik yakıt(atık) miktarı [ton/saat]

ifade etmektedir.

Kirletici emisyon değerinin hesap edilmesi ile baca gazı kirletici yoğunluk değeri belirlenebilir. Bu bağlamda, kirletici emisyon değerinin baca gazı debisine bölümü bize kirletici gaz emisyonu yoğunluğunu verecektir.

$$d_{emisyon} = \frac{K_{emisyon}}{d_b} \quad (3.40)$$

Burada;

$d_{emisyon}$  : Baca gazı kirletici yoğunluk [ $g/m^3$ ]

$K_{emisy\text{on}}$  : Kirletici emisyon [kg/saat]

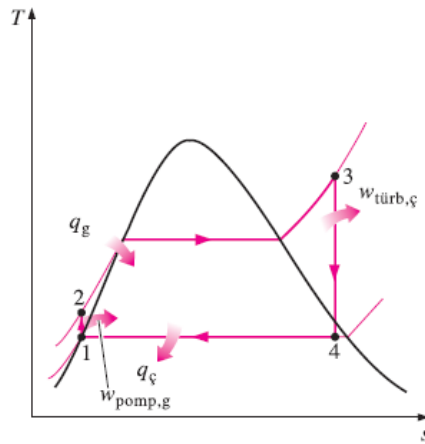
$d_b$  : baca gazı çıkış debisi [ $m^3/dk$ ]

temsil etmektedir.

Bu hesaplamalar ile filtre sistemi olmadığı takdirde atmosfere salınacak gazların yoğunluğu ve emisyon miktarları bulunmuş olmaktadır. Filtre sistemleri, söz konusu bu değerler ve ilgili düzenlemeler, yönetmeliklere uygun ve istenilen değerlere ayarlayabilecek şekilde seçilerek uygulanmaktadır.

### 3.5 Buhar ile Türbinde Üretilen Elektrik Enerjisi Hesabı

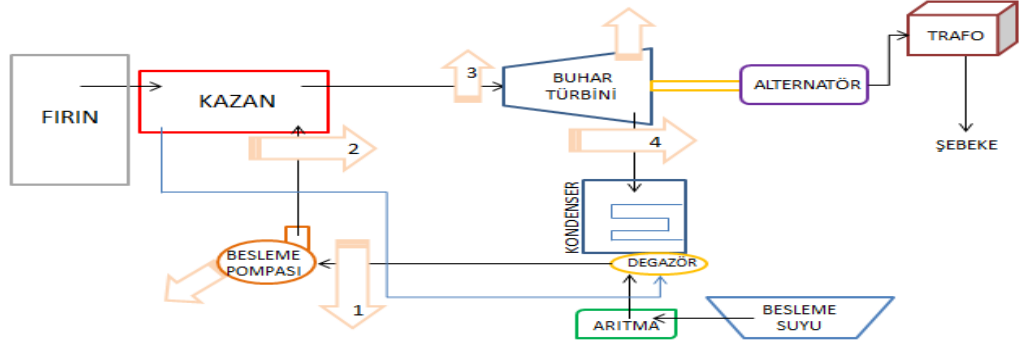
Buhar hesabı ile elektrik enerjisi miktarına yönelik Rankine çevriminden faydalanılabilir. Bu amaçla Sıcaklık – Entropi grafiği (Şekil 3.3) ile çevrime ait yer alan bölgelere ilişkin sıcaklık ve basınç değerlerinin bilinmesi gereklidir.



Şekil 3.3: Rankine çevrimi.

Tesis çevrimi dört aşamadan oluşmaktadır (Şekil 3.4). Buna göre ifadeler belirlenmesi gerekmektedir. Öncelikle, buhar ile üretilen güç için besleme suyu pompasının yaptığı iş ve türbinin yaptığı iş hesaplanmalıdır.





Şekil 3.4: Tesis çevrimi.

Pompa işi ( $W_p$ ) [kJ/kg]:

$$W_p = \frac{v(P_2 - P_1)}{\eta_p} \quad (3.41)$$

olarak yazılabilmektedir. Burada;

$v$  : doymuş su özgül hacmi [ $m^3/kg$ ]

$\eta_p$  : pompa verimi

$P_1$  : besleme suyunun pompaya giriş basıncı [kPa]

$P_2$  : besleme suyunun pompadan çıkış basıncı [kPa]

ifade etmektedir.

$$h_{4s} = h_f + (X \times h_{fg}) \quad (3.42)$$

yazılabilir. Burada;

$h_{4s}$  : Türbinden çıkan çürük buhar-suyun entalpi değeri [kJ/kg]

$h_f$  : Türbinden çıkan doymuş suyun entalpi değeri [kJ/kg]

$h_{fg}$  : Türbinden çıkan su-buhar karışımının entalpi değeri [kJ/kg]

temsil etmektedir. X ise;

$$X = \frac{(s_4 - s_f)}{s_{fg}} \quad (3.43)$$

olmaktadır. Burada da;

$s_4$  : Türbinden çıkan doymuş buharın entropisi [kJ/kg K]

$s_f$  : Türbinden çıkan suyun entropi değeri [ kJ/kg K]

$s_{fg}$  : Türbinden çıkan su-buhar karışımın entropi değeri [kJ/kg K]

ifade etmektedir.

Türbinin yaptığı iş ise;

$$W_t = \eta_t \times (h_3 - h_{4s}) \quad (3.44)$$

olarak yazılabilmektedir. Burada;

$W_t$  : Türbinin yaptığı iş [kJ/kg]

$\eta_t$  : Türbinin verimi

$h_3$  : Türbine giren buharın entalpi değeri [kJ/kg]

temsil etmektedir.

Öte yandan;

$$s_4 = s_3 \quad (3.45)$$

olmaktadır. Burada:

$s_3$  : Türbine giren buharın entropi değeri [kJ/kg K]

Sistemde yapılan net iş miktarı ( $W_{net}$ ) [kJ/kg]; türbinin yaptığı iş ile besleme suyunun yaptığı iş farkıdır.

$$W_{net} = W_t - W_p \quad (3.46)$$

Tesiste buhar ile üretilecek güç ( $G_{tesis}$ ) ise, buhar miktarı ( $B_m$ ) ile net işin ( $W_{net}$ ) çarpımına eşit olmaktadır.

$$G_{tesis} = B_m \times W_{net} \quad (3.47)$$

Gerekli dönüşümler yapılarak kJ/saat olarak elde edilen güç miktarı MW olarak dönüştürülebilir. Bu hesaplamalardan sonra tesiste üretilen güç MW olarak bulunmuş olur.

Tesisin yılda çalışacağı saat miktarı başlangıç aşamasında belirlenmekteydi. İşte bu sayede yılda çalışma saati ile elde edilen güç değerini çarparsak 1 yılda üretilecek elektrik enerjisi miktarı hesap edilebilir.

$$E_{elektrik} = G_{tesis} \times w_s \quad (3.48)$$

Burada:

$E_{elektrik}$  : Tesisin 1 yılda üreteceği elektrik enerjisi miktarı [MWh]

$w_s$  : Tesis yıllık çalışma saati [saat/yıl]

temsil etmektedir.

Yakma tesisinde iç ihtiyaç elektrik enerjisi talebi olacaktır. Bu miktar tesisin kurulu gücü ve benzeri birçok parametreye bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Bu bağlamda;

1 yılda üretilen elektrik enerjisi miktarından iç ihtiyaç nedeniyle kullanılacak yıllık elektrik enerjisi miktarı farkı ulusal şebekeye satılacak elektrik enerjisi miktarını verecektir.

$$E_{ulusal} = E_{elektrik} - E_{ihtiyaç} \quad (3.49)$$

yazılabilir.

$E_{ihtiyaç}$  : İç ihtiyaç elektrik enerjisi miktarı [MWh]

$E_{ulusal}$  : Ulusal şebekeye satılacak elektrik enerjisi miktarı [MWh]

### 3.6 Kurulu güç ve Verim Hesabı

Tesiste yılda üretilecek elektrik enerjisi miktarının bilinmesiyle yakma tesisinin verimi elde edilebilir.

1 kW = 860 kCal/saat

$$E_{elektrik} = A_{ısl} \times n_{tesis} \quad (3.50)$$

yazılabilir. Burada;

$A_{ısl}$  : Atığın toplam ısı gücü [kCal/saat]

$n_{\text{tesis}}$  : Tesisin verimi [%]

temsil etmektedir.

Böylelikle verim bulunabilmektedir. Hesaplamalar, açık çevrim düşünülerek yapılmış olduğundan elde edilen verim %15-27 arası bir değerde olacaktır. Kojenerasyon sistemlerinde verim daha yüksek çıkacaktır.

Tesisin kurulu gücünü belirlemek için atık projeksiyonu önem arz etmektedir. Zira, refah, nüfus artışı gibi temel etkenler dolayısıyla atık miktarı her geçen gün artmaktadır. Bu tesislerin ömrü genel anlamda 29 yıl şeklinde ifade edilmektedir. 29 yıl sonunda her yıl yapılan bakım prosedürleri dışında ekipmanların değişimi gibi durumlar oluşabilecektir. Tesisin en azından 29 yıl boyunca kurulacak bölgedeki atık artışına cevap verebilecek şekilde olması istenilen durum olmaktadır. Diğer taraftan tesisin sürekli %100 kapasitede çalışması da olası bir durum değildir. Bu durumlar hesaba katılarak, tesisin kurulu gücü elde edilen güçten büyük olacaktır.

$$T = \frac{E_{\text{elektrik}}}{r_t} \quad (3.51)$$

Burada;

T : Tesis kurulu gücü [MW]

$r_t$  : Hesaplamalar ile elde edilen güç ile atık projeksiyon ve çalışma kapasitesi durumları dikkate alınarak mevcut durumdaki çalışma kapasitesi

ifade etmektedir.

## 4. EKONOMİK ANALİZ

Bölüm 3 içinde Kütle ve Enerji dengesi hesaplamaları yapılan bir Evsel Katı Atık Yakma Tesisi için tesisin bu bölüm içinde ekonomik analizinin yapılması hedeflenmiştir. Ekonomik analizde, “Gelirler” ve “Giderler” hesaplanarak tesisin kurulum maliyetini ne kadar sürede geri ödediği değerlendirilmesi yapılabilmektedir. Tesiste gider olarak “Kurulum maliyeti” ve “İşletme Maliyeti”nden bahsedebilir. Tesis kurulmadan herhangi bir gelir getiremeyeceği gibi “İşletme Maliyeti” de oluşmayacaktır. Bu tesisler genel olarak 30 ay gibi bir sürede inşa edilmektedir. Ancak bu süre izin aşamalarının hazırlandığı, bir başka deyişle temel atmadan itibaren geçerli olan süredir.

### 4.1 Kurulum Maliyeti

Tesisin devreye alınması için gerekli olan maliyet “Kurulum Maliyeti” olarak nitelenmektedir. Yakma tesisi genel olarak üç kısımdan oluşmaktadır.

Bunlar:

- Atık Kabul, Fırın ve Kazan Sistemi
- Buhar Türbini ve Alternatör
- Filtre Sistemi'dir.

Söz konusu bu üç kısım yakma tesisi kurulumu içerisinde yer alan ana maliyet kalemleri olmaktadır. Tesisin büyüklüğüne ve ihtiyaca göre fırın kazan hatları mevcuttur. Bu tür tesisler tek bir fırın-kazan sistemi bulundurmamaktadır. İlerleyen yıllarda oluşacak atık miktarını bertaraf edebilmeye yönelik ek hat da konulabilmektedir. Üç kısımdan oluşan yakma tesisinin kurulum maliyeti ise dört ana başlık altında incelenmektedir.

Bunlar:

- Atık Kabul Fırın-Kazan Sistemi Maliyeti
- Buhar Türbini ve Alternatör Maliyeti
- Filtre ve soğutma suyu sistemi maliyeti

- Tesis kurulum ekipmanı ve montaj elemanları maliyetidir.

Yakma Tesisi kurulumu maliyetinde yer alan söz konusu bu dört ana başlığın toplam kurulum maliyeti içerisindeki payı ise Çizelge 4.1’de verilmektedir (Mayor of London, 2008)

**Çizelge 4.1:** Tesis Kurulum Maliyetinin dağılımları.

Atık Kabul, Fırın ve Kazan sistemi	52%
Buhar Türbini ve Alternatör Grubu	16%
Filtre Sistemi	17%
Tesis kurulum ekipmanı ve montaj elemanları	15%
<b>TOPLAM</b>	<b>100%</b>

Öte yandan, tesiste yakılacak atık miktarı başına literatürde kurulum maliyeti tanımlaması yapılmaktadır. Buna göre, atık yakma tesisin kurulum maliyeti ton başına 380 US\$ olarak ifade edilebilmektedir (Mayor of London, 2008). Yine benzer şekilde, Dünya Bankası tarafından yapılan bir çalışmada da, bu tür tesislerin günlük ton atık başına kurulum maliyeti ifade edilmektedir (World Bank, 2000). Bu Yüksek Lisans tez çalışmasında söz konusu bu iki raporda göz önüne alınacaktır. Ayrıca, Kocaeli de kurulu İZAYDAŞ’ın öngördüğü kurulum maliyeti bedeli ile de değerlendirme yapılması benimsenmiş bulunmaktadır.

## 4.2 İşletme Maliyeti

Kurulumu bittikten sonra, tesis devreye alınmaktadır. Yakma Tesisi devreye alındıktan sonra çalışma zamanı boyunca “İşletme Maliyeti” oluşacaktır. Söz konusu bu maliyet yıl bazlı değerlendirilmektedir. İşletme Maliyeti kapsamında; “Değişken Maliyet” ve “Sabit Maliyet” yer almaktadır.

Değişken Maliyet yıllar içerisinde atık miktarındaki değişime paralel olarak değişkenlik göstermektedir. Değişken Maliyet alt kalemleri US\$/ton-atık olarak belirtilmektedir. Sabit Maliyet ise, atık miktarından bağımsız olarak önceden planlanan ödeme kapsamında yer alan maliyet olmaktadır.

Bu bağlamda; İşletme Maliyeti;

$$\dot{I}M = DM + SM \quad (4.1)$$

olarak ifade edilebilmektedir.

Burada;

İM : İşletme maliyet

DM: Değişken maliyet

SM: Sabit Maliyet

ifade etmektedir.

#### 4.2.1 Değişken Maliyet

Tesisin işletme süresince atık miktarına bağlı olarak yıllar içerisinde değişkenlik gösteren maliyete “Değişken Maliyet” denmektedir. Değişken maliyet kapsamında:

- Kimyasal ve Yardımcı malzemeler (KYM)
- Cüruf nihai bertaraf maliyeti (CBM)
- Personel Giderleri (PG)
- Bakım ve yedek parça maliyeti (BYM)
- Diğer (D) maliyet kalemleri

yer almaktadır.

Kimyasal ve yardımcı malzemeler ile yakma tesisinde ilk yanmanın oluşması için gerekli kimyasal maddeler ve yakma tesisinde kullanılacak yardımcı malzemeler kast edilmektedir. Yakma sonucu cüruf oluşmaktaydı bu cürufun belirli bir kısmı geri dönüşüme gönderilebilmekte ve bu sayede gelir elde edilmektedir. Ancak, büyük oranda cüruf kullanılabilir düzeyde olmadığından nihai bertaraf olarak düzenli depolama alanlarında bertaraf edilir.

Yakma tesisi 24 saat çalıştığından üç vardiya iş olmaktadır. Bu kapsamda yakma tesisinde çalışanların maliyeti “Personel Gideri” olarak ifade edilmektedir.

Ayrıca, bu tesisler yılda 365 gün çalışmamakta her yıl bakım periyodu olmaktadır. Bu dönemde gerçekleşen maliyetler bakım ve yedek parça kaleminde maliyetlendirilmektedir. Değişken maliyet kapsamında son olarak, “Diğer” başlığı altında öngörülemeyen veya çok küçük oranlarda maliyete sahip birçok ve farklı değişken maliyetler yer almaktadır.

Bu bağlamda; “Değişken Maliyetler (DM)”;

$$DM = KYM + CBM + PG + BYM + D \quad (4.2)$$

olarak ifade edilebilir. Burada;

KYM : Kimyasal ve yardımcı malzeme maliyeti

CBM : Cüruf bertaraf maliyeti

PG : Personel gideri

BYM : Bakım ve yedek parça maliyeti

D : Diğer maliyetler

temsil etmektedir. Çizelge 4.2’de Değişken Maliyetler görülmektedir.

**Çizelge 4.2:** Değişken maliyetler.

DEĞİŞKEN MALİYET	Birim Maliyet \$/ton
Kimyasal + Yardımcı Malzemeler	6
Cüruf nihai Bertaraf Bedeli	7.3
Personel Gideri (120 kişi)	3
Bakım ve yedek parça (%1)	5.3
Diğer	0.3
<b>Toplam Değişken Gider</b>	<b>21.9</b>

NOT: Ton-atık başına belirlenen değişken maliyet değerleri İZAYDAŞ’ dan temin edilmiştir.

#### 4.2.2 Sabit Maliyet

İşletme maliyeti kapsamında yer alan sabit maliyet ton-atık başına değişmeyen yıllar içerisinde önceden planlanmış olarak ifade edilebilen maliyettir.

Sabit Maliyet olarak:

- Amortisman Gideri (AG)
- Sigorta (S)
- Faiz Ödemesi (FÖ)
- Banka ya da finansman şirketin anapara ödemesi (AÖ)

sayılabilmektedir

Tesiste yer alan maddi duran varlıklarda amortisman gideri oluşmaktadır. Bu gider her bir maddi duran varlığın ömrüne bağlı olarak belirlenmektedir. Bu ömür boyunca bu duran varlıklar amortisman gideri olarak yer almaktadır (Çizelge 4.3).



**Çizelge 4.3:** Amortisman giderleri.

AMORTİSMAN	Oran	Yıl
Atık Kabul, Fırın ve Kazan sistemi	6.67%	15
Buhar Türbini ve Alternatör Grubu	5%	20
Filtre Sistemi	6.67%	15
Tesis kurulum ekipmanı ve montaj elemanları	3.44%	29

Evsel katı atık yakma tesisleri sigortalanarak herhangi bir doğa olayı, sabotaj veya kaza durumuna karşı maddi açıdan önlem alınmaktadır. Sigorta bedeli tesisin ömrü boyunca devam etmektedir. Söz konusu bu tesisler, yatırım bedeli yüksek olan tesisler olduğundan yatırımın tamamıyla öz sermayeden yapılması mümkün olamamaktadır. Bu kapsamda bankalardan finansman desteğiyle yatırım gerçekleştirilmektedir. Bankadan çekilecek miktara bağlı olarak faiz oluşacaktır.

Tesisin devreye alınmasında sonra faiz ve anapara ödemeleri başlamaktadır. Dolayısıyla vade oranının bilinçli olarak belirlenmesi gerekmektedir. Tesisin finansmanı banka kredisi gibi yollardan yapılmışsa bu finansmanın faiz ödemeleri de sabit maliyet altında incelenmektedir. Yine, benzer şekilde, banka kredisi gibi yollardan finansman yapılan tesisin kredi anapara ödemesi de sabit maliyet altında yer almaktadır.

Bu bağlamda, Sabit Maliyet;

$$SM = AG + S + FÖ + AÖ \quad (4.3)$$

olarak ifade edilebilmektedir.

### 4.3 Gelirler

Tesis devreye alındıktan sonra elektrik enerjisi üretmeye başlamakta ve bunun yanında atık bertaraf bedeli ile gelir sağlamaktadır.

Yakma Tesisin gelir kalemleri:

- Enerji Satışından elde edilen gelir
- Atık Bertaraf bedeli ile elde edilen gelir
- Cüruf Geri dönüşümden elde edilen gelir olarak

yer almaktadır.

### **4.3.1 Enerji satışından elde edilen gelir**

Yanma sonucu oluşan buhar ile elektrik enerjisi üretilen tesiste, üretilen elektrik ulusal şebekeye satılmaktadır. Üretilen elektrik enerjisinin bir kısmı tesisin iç ihtiyaç kapsamında kullanılmaktadır.

Üretilen elektrik enerjisi buhar miktarına bağlıdır. Buhar miktarı ise atık miktarına bağlı olarak değişmektedir. Yıllar içerisinde atık miktarı artacağı için bu artış elektrik enerjisi miktarını da artıracak ve her geçen yıl enerji satışından elde edilecek gelirden artacaktır.

Burada, elde edilen elektrik enerjisinin birim fiyatı önem arz etmektedir. Bu tesislerden elde edilen elektrik enerjisi biyokütle kapsamında değerlendirilerek satılabilmektedir. 5346 numaralı Yenilenebilir Enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin kanun baz alınarak elektrik enerjisinin kWh fiyatı 10 yıl boyunca 13.3 US\$cent olarak ele alınmaktadır.

Ülkemizde katı atık yakma tesisi olmadığı için yönetmelikte boşluk vardır. Bu yüzden enerji satışı geliri için diğer alternatiflerde düşünülebilir.

### **4.3.2 Atık Bertaraf Bedeli**

Ülkemizde kentsel katı atıkların bertarafı yasa ile belediye ve büyükşehirler için verilmiştir. Bertaraf hizmeti karşılığı su faturasında “Çevre Temizlik Vergisi” adı altında alınan ücret belediyeler tarafından atık bertaraf hizmetinde kullanılmaktadır. Bu bedel illere göre değişkenlik göstermektedir.

Yakma Tesisi ile bertaraf edilen katı atıklar için de ton-atık başına bertaraf bedeli alınacaktır. Bu bedel düzenli depolamaya göre bir miktar daha fazla olacaktır. Ancak kentleşmenin artması, düzenli depolama alanlarının kent içerisine yaklaşması sonucu bu alanlarının değerlerinin artması gibi nedenlerle belirli bir süre sonra düzenli depolama ve yakma tesisi atık bertaraf bedeli eşit noktaya gelmesi beklenmektedir. Buna ek olarak, AB'nin düzenli depolamaya getirdiği kota sonucu ilerleyen yıllarda sıkıntı yaşanması olağandır. Bu durum belki cezai durumları da doğurabilecektir.

Çevresel açıdan da, düzenli depolama yöntemi daha zararlı bir bertaraf yöntemidir denebilir. AB'de birçok ülkede Atık Yakma Tesisi olduğu belirtilmişti. Bu tesislerin atık bertaraf bedeli de oldukça farklılık göstermektedir.

Kaynaklarda, atık bertaraf bedeli “Gate Fee” veya “Tipping Fee” olarak geçmektedir (UK Department for Environment, 2014).

Bu anlamda atık bertaraf bedelinde 27 Euro ile Danimarka en düşük fiyata sahiptir. Aynı ülke içinde farklı illerde farklı atık bertaraf bedeli de uygulanmaktadır. Almanya’da ise 200 Euro ile en büyük atık bertaraf bedeli uygulaması bulunmaktadır (Global Energy Network Institute, 2010). Endüstriden gelen katı atıklara, evlerden toplanan katı atıklara oranla daha fazla atık bertaraf bedeli uygulanmaktadır.

#### 4.3.3 Cüruf geri kazanım ile elde edilen gelir

Yanma sonucu cüruf oluşmaktadır. Bu cüruf, içerisinde metalleri ve geri kazanılabilir malzemeleri bulundurmaktadır. Ancak, cüruf geri kazanımı oldukça düşük bir orana sahip olmaktadır. AB’de cüruftan geri kazanım %8 oranındadır. İZAYDAŞ’ın öngörülere ülkemizde bu oranın %3 civarında oluşabileceği yönünde ifade edilmiştir. Bu kapsamda, cüruf ton başına geri kazanım geliri hesaplanmaktadır. Çizelge 4.4’de cüruf geri kazanım ile elde edilen gelir birim fiyatı verilmektedir.

**Çizelge 4.4:** Cüruf geri kazanım ile elde edilen gelir birim fiyatı.

Cürufta değerlendirme oranı	%	0.03
Cürufta değerlendirme fiyatı	US\$/ton	200

#### 4.3.4 Karbon Kredisi Geliri

WtE tesisleri düzenli depolamaya kıyasla bertarafta CO<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub> salınımını azalttığı için karbon kredisi geliri kazanımı imkanına sahiptir. Karbon Kredisi gönüllü emisyon azaltımı yani “VER” (Voluntary Emission Reduction) türünde olup akredite kuruluşlarca tasdik edildikten sonra karbon piyasalarında alım satım işlemi gerçekleşmektedir.

İleriye dönük VER fiyatlarını projekte etmek spekülatif sonuçlar doğuracağından belirlenen fiyatın yıllar içerisinde aynı değerde kalacağını düşünülmesi benimsenmiştir. Herhangi bir artış, pozitif yönlü geri dönüş olarak nitelenecektir. Karbon kredisi geliri önemli bir potansiyele sahip olduğu için ekonomik analiz çalışmalarında yer alması projenin gelirini artıracak niteliktedir. Ancak bu gelirin ekstra bir durum olduğundan, bu kazanımın olmadığı varsayımıyla da hesap yapılması gerekmektedir.

Yapılan bir araştırmaya göre Yakma tesisi düzenli depolamaya oranla ton atık bertaraf başına 0.35 ton CO<sub>2</sub> salınımını engellemiş olmaktadır (Temelis, Nickolas, 2003). Bu değer karbon kredisinde kullanılmaktadır. Karbon azaltımı ton birim fiyatı ise 10\$ olarak ele alınabilmektedir (The Gold Standard, 2006).

#### 4.4 Nakit Akışı Tablosu

Evsel Atık Yakma tesisi için “Kurulum Maliyeti”, “İşletme Gideri” ve “Gelirleri” bilinen tesis için nakit akışı tablosu hazırlanabilir. Çizelge 4.5’te bir örnek nakit akışı tablosu görülmektedir.

**Çizelge 4.5:** Bir örnek nakit akışı tablosu.

<b>Nakit Akışı</b>	<b>Yıl</b>
Özsermaye	US\$
Kredi	US\$
Faiz Ödemesi	US\$
Anapara Ödemesi	US\$
Sigorta	US\$/yıl
İlave Yatırım	US\$/yıl
Yıllık Atık Miktarı	ton/yıl
İşletme Giderleri	US\$/ton
İşletme Giderleri	US\$/yıl
Toplam Nakit Çıkışı	US\$/yıl
Enerji Üretimi	kWh/yıl
Enerji Geliri	US\$/yıl
Bertaraf Bedeli	US\$/ton
Bertaraf Bedeli	US\$/yıl
Cüruf GD Fiyatı	US\$/ton
Cüruf GD Geliri	US\$/yıl
Karbon Kredis Geliri	US\$/yıl
Toplam Gelir	US\$/yıl
<b>NAKİT AÇIĞI/FAZLASI</b>	<b>US\$/yıl</b>
Kümülatif	US\$/yıl

Çizelge 4.5’teki gibi nakit akışı tablosu hazırlanarak tesisin yıllar içerisindeki geliri ve gideri hesaplanmaktadır. Tesise yapılan yatırımı kaç yıl sonra geri ödeyebileceği bu sayede tespit edilebilmektedir. Bu tür tesislerin, ömürlerinin 30 yıl olduğu belirtilmektedir (World Bank-Municipial Solid Waste Incineration, 2000).

Bu bağlamda, evsel atık yakma tesisine ilişkin olarak devreye alındıktan sonra 30 yıl boyunca gelir ve gider hesapları yapılarak tesisin ekonomik analizinin yapılması gerekmektedir. Söz konusu bu tesisler stratejik öneme sahiptir. Bir başka deyişle, ekonomik gelir olarak kısa dönemde kendini karşılaması beklenmemelidir.

Kurulu güç olarak diğer elektrik enerjisi üretim santrallerine kıyasla maliyetleri daha fazla olmaktadır. Zaten bu tesislerin asıl amacı elektrik enerjisi üretmek değildir. Bu tesislerde esas amaçlanan, atıkların çevreye zarar vermeden bertaraf edilerek enerji üretiminin sağlanması olmaktadır.



## **5. KOCAELİ EVSEL ATIK YAKMA TESİSİ ENERJİ-EKONOMİ ANALİZİ**

Bu Yüksek Lisans tezi ile Enerji Ekonomik Analizi incelenen “Evsel Atık Yakma Tesisi” için bir ile ilişkin uygulama yapılması hedeflenmiştir. Bu bağlamda, bu bölümde böyle bir uygulama yapılmaya çalışılacaktır.

Evsel Atık Yakma Tesisinin kurulumu için Kocaeli ilinin ele alınması benimsenmiştir.

Kocaeli ilinin seçilmesinin nedenleri olarak;

- İstanbul’dan sonra en büyük ikinci nüfus yoğunluğuna sahip il olması
- Kocaeli ilinin nüfusunun farklı tüketim alışkanlıklarına sahip bir il olması
- Refah seviyesinin yüksek oluşu ile kişi başı atık tüketiminde Türkiye ortalamasına sahip olması
- Bunlara ek olarak, il sınırları içerisinde Türkiye’nin ilk ve tek tehlikeli atık bertaraf tesisi İZAYDAŞ’ın bulunması

olarak sayılabilir. Bu bağlamda, Kocaeli ilinin “Evsel Atık Yakma Tesisi”ni besleyebilecek atığı çıkarabilecek mertebede potansiyele sahip olması ve ilgili yakma tesisine gereksinimi bulunması ve de ilgili deneyime sahip olması nedeniyle seçilmiştir. Bu nedenle, öncelikle Kocaeli ili tanıtılacaktır.

### **5.1 Kocaeli İlinin Tanıtımı**

Kocaeli; Asya ve Avrupa’yı birbirine bağlayan yolların kavşağında bulunan Marmara Denizi’nin ve Marmara Bölgesi’nin doğusunda yer alan bir İl’dir. Kuzeyde Karadeniz, doğuda ve güneydoğuda Sakarya, güneyde Bursa batıda Yalova ve İstanbul illeri yer almaktadır. Biri Büyükşehir Belediyesi ve İzmit, Derince, Körfez, Gebze, Gölcük, Karamürsel, Kandıra, Başiskele, Kartepe, Çayırova, Darıca, Dilovası 12 İlçe Belediyesi olmak üzere toplam 13 Belediyesi bulunmaktadır. Şekil 5.1’de Kocaeli haritası verilmektedir.



Şekil 5.1: Kocaeli ili Haritası.

Türkiye'nin en küçük altıncı İl'i olan Kocaeli'nin yüzölçümü 3505 km<sup>2</sup>'dir. 2011 yılı Adrese Dayalı Nüfus Sayımına göre nüfusu 1 601 720 kişidir. 1 499 958 kişi il ve ilçe merkezlerine ikamet ederken 101762 kişi köylerde yaşamaktadır. Çizelge 5.1'de Kocaeli nüfus bilgileri verilmektedir. Ayrıca, Kocaeli ili; kara, demir, deniz ve hava yolu ulaşımını ile Türkiye'nin önemli geçiş noktalarından biridir.

Çizelge 5.1: Kocaeli nüfus bilgileri.

Yıl	Toplam	Sıra	Oran
2000	1 206 085	15	%1.78
2007	1 437 926	12	%2.04
2008	1 490 358	12	%2.08
2009	1 522 408	11	%2.1
2010	1 560 138	11	%2.12
2011	1 601 720	11	%2.14
2012	1 634 691	11	%2.16
2013	1 676 202	11	%2.19



Sanayi yapısı, jeopolitik konumu itibariyle Kocaeli göç alan bir şehirdir. 2012 yılı itibariyle Türkiye nüfusunun %2.16'sı Kocaeli de bulunmaktadır ve yine Kocaeli'nde 2012 yılı evsel atık miktarının Türkiye toplam evsel atık miktarı oranı %2.16 dır.

Kocaeli sanayi yapısı ile dikkat çeken en önemli illerimizden biridir. Türk imalat sanayi üretimine yapmış olduğu yaklaşık %13' lük üretim katkısı ile İstanbul'dan sonra gelen en büyük il konumundadır.

Kocaeli de bulunan ağırlıklı sektörler; taşıt araçları ve yan sanayi, kimya ve petrokimya, makine, plastik ve demir çelik sektörleridir. Kocaeli İmalat sanayi içerisinde kimya sanayi, Türkiye İmalat Sanayi içerisindeki %27'lik payı ile ilk sırada yer almaktadır. Türkiye'nin en büyük firması olan Tüpraş Petrol Rafineri tesisleri de Kocaeli'nde yer almaktadır.

Kocaeli ili Türkiye'nin en yüksek gayrisafı milli hasılayı üreten ili durumundadır. Kişi başına yurtiçi milli hasıla 2011 yılı itibariyle 33620\$ mertebesindedir (Url- 8).

## **5.2 Kocaeli İli Atık Bertaraf Tesisleri**

Kocaeli genelinde oluşan belediye atıkları (evsel nitelikli katı atık); Solaklar Köyü Mevkii (İzmit) ve Çiçektepe Mevkiinde (Dilovası) bulunan Katı Atık Bertaraf Tesislerinde bertaraf edilmektedir. Şekil 5.2'de Kocaeli ilindeki Bertaraf Tesisleri görülmektedir.

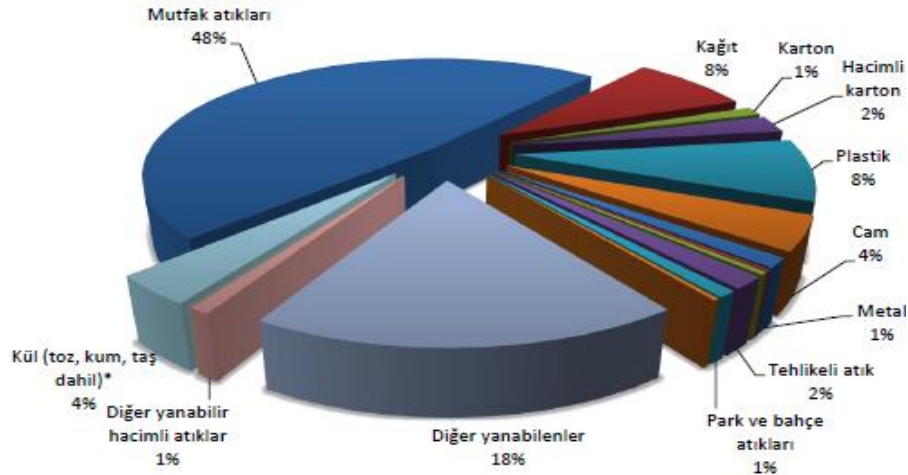
Atıklar, ulusal mevzuatta yer alan "Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik"nin teknik esaslarına bağlı olarak bertaraf edilmekte olup, bu tesislerdeki iş ve işlemler İZAYDAŞ tarafından yürütülmektedir. Katı Atık Bertaraf Tesisleri'nde 2013 yılında toplam 551 745.30 ton (ortalama 1533 ton/gün) belediye atığı bertaraf edilmiş bulunmaktadır (MARKA, 2013).

Solaklar sahasının 4-5 yıl, Dilovası sahasının ise 3 yıl içinde dolması beklenmektedir. Doğan ihtiyaca göre Kocaeli'nde yeni depolama alanlarının tahsisi konusunda coğrafi sıkıntıların yanında, AB müktesebatı nedeniyle organik atıkların depolanmasının yasaklanması durumu da mevcuttur.



**Şekil 5.2:** Kocaeli ilindeki bertaraf tesisleri.

Kocaeli ili atık kompozisyonuna bakıldığında; mutfak atıklarının %48 oranı ile ilk sırada olduğu görülmektedir. Yanabilen atıkların oranı yaklaşık %20 seviyesindedir. Kalorifik değer olarak yüksek olan kağıt, hacimli karton, plastik, karton miktarlarının toplamı ise %19 kadardır (Şekil 5.3).



**Şekil 5.3:** Kocaeli ili 2013 yılı atık kompozisyonu (KBB, 2011).

Kocaeli ilçeleri nüfus ve atık miktarına bakıldığında en büyük miktarda atık nüfusun etkisiyle de İzmit'te toplanmıştır (Çizelge 5.2). Kocaeli ilinde 2010 yılında 496.2 bin ton evsel katı atık oluşmuş olup bu miktar 2011 yılında %4.11 artışla 517 bin ton ve 2012 yılında ise (2010 yılına göre) %9.85 artış oranı ile 547.5 bin tona ulaşmıştır.

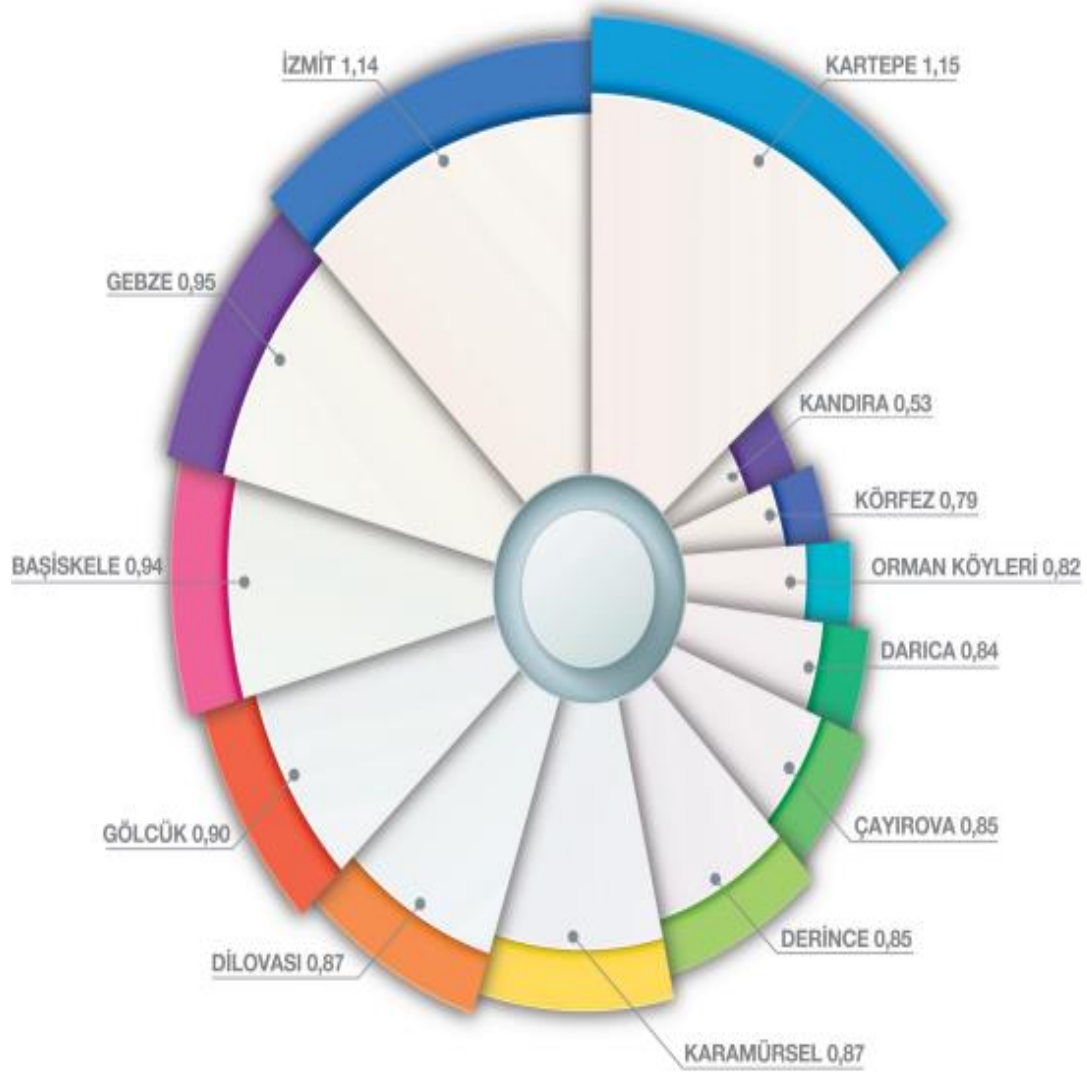
**Çizelge 5.2:** 2012 yılı ilçe bazlı evsel katı atık miktarı (MARKA, 2013).

İlçe	Nüfus (kişi)	Toplam (kg)	Ortalama kg/kişi-gün
Başiskele	69 711	23 683 040	0.94
Çayırova	98 367	30 176 750	0.85
Darıca	157 304	47 838 800	0.84
Derince	125 485	38 173 160	0.85
Dilovası	42 292	13 209 950	0.87
Gebze	304 283	103 703 310	0.95
Gölcük	138 074	44 524 470	0.90
İzmit	302 960	124 583 750	1.14
Kandıra	50 042	9 461 690	0.53
Karamürsel	47 433	14 900 070	0.87
Kartepe	91 375	37 693 090	1.15
Körfez	135 379	38 316 390	0.79
Orman köyleri	71 986	21 279 050	0.82
Kocaeli	1 634 691	547 543 520	0.93
Türkiye	75 627 384	25 280 000 000	1.14

2014 yılı itibari ile Kocaeli’nde günlük toplam 1600 ton kentsel katı atık oluşmaktadır. Ayrıca endüstriden kaynaklanan günlük 180-200 ton civarındaki evsel nitelikli atıkta dikkate alındığında, söz konusu bu atık toplam yıllık 650 000 ton civarına ulaşmaktadır. Zaman içerisinde nüfus ve refah seviyesindeki artış ile birlikte 25 yıl içerisinde nüfusun 2 500 000’a ulaşacağı ve iki katı atık oluşacağı öngörülmektedir.

Yüzölçümü itibariyle, Kocaeli, Türkiye’nin en küçük altıncı ili durumundadır. Kentleşme ile arazilerin değer kazanmasının yanında sanayi tesislerindeki olası artış da düşünülürse, ilerleyen dönemlerde oluşan atıkların düzenli depolanmasının hayli maliyetli işlemler haline geleceği düşünülmektedir.

Kocaeli ilçe bazlı ortalama günlük kişi başı evsel katı atık miktarları incelendiğinde (Şekil 5.4) ilçelerin gelişmişlik düzeyleri ve demografik yapıları ile ilişki kurulabilir. İzmit ilçesinin günlük hareketli nüfusu ve toplam nüfusu ile kişi başı günlük ortalama evsel katı atık miktarı 1.14 kg ile Türkiye ortalamasına eşittir (MARKA, 2013).



**Şekil 5.4:** 2012 yılı İlçe Bazlı Evsel Katı Atık Miktarı (kg/kişi-gün).

Katı atık karakterizasyonu sonuçları değerlendirildiğinde yaklaşık %46.2'sini organik atıklar, %23.7'sini ambalaj atıkları geri kalan %30.01'ini diğer atık grupları oluşturmakta olup, son üç yıl seyrinde bu kategorizasyon ayrımlarında çok da fazla farklılık gözlemlenmemektedir. Çizelge 5.3'de evsel katı atık karakterizasyonu, Çizelge 5.4'de ise, 2010 yılı itibariyle atık bertaraf tesislerine göre evsel katı atık karakterizasyonu verilmektedir.

**Çizelge 5.3:** Evsel katı atık karakterizasyonu sonuçları (KBB, 2013).

KATI ATIK BİLEŞENLERİ [%]	2010	2011	2012
Organik Atıklar	45.90	46.28	46.35
Ambalaj Atıkları	22.38	23.71	24.74
Diğerleri	31.72	30.01	28.91
Toplam	100	100	100

**Çizelge 5.4:** 2010 yılı itibariyle atık bertaraf tesislerine göre evsel katı atık karakterizasyonu.

Katı Atık Bileşenleri \ Depo Alanları	Solaklar	Dilovası	Toplam
1 Mutfak atıkları	38.39	37.29	37.98
2 Kağıt	4.35	4.34	4.35
3 Karton	0.95	0.40	0.74
4 Hacimli karton	3.13	6.04	4.23
5 Plastik	11.99	6.56	9.93
6 Cam	2.95	2.74	2.87
7 Metal	2.63	0.87	1.96
8 Hacimli metal	0.00	0.00	0.00
9 Atık elektrik ve elektronik	2.52	0.11	1.60
10 Tehlikeli atık	2.81	1.12	2.17
11 Park ve bahçe atıkları	2.61	4.41	3.30
12 Diğer yanmayanlar	4.10	0.33	2.68
13 Diğer yanabilenler	23.57	35.68	28.16
14 Diğer yanabilir hacimli atıklar	0.00	0.10	0.04
15 Diğer yanmayan hacimli atıklar	0.00	0.00	0.00
16 Diğerleri	0.00	0.00	0.00
TOPLAM	100.00	100.00	100.00

2010 yılı için İZAYDAŞ'ın yaptırmış olduğu evsel atıklar için ısıl değer analizinde üst kalorifik değer 2900 kCal/kg ve nem oranı da %50 olarak bulunmuştur (Çizelge 5.5.).

Buna karşın, İZAYDAŞ'ın 2013 yılında yapmış olduğu çalışma ile atığın alt ısıl değeri 1500-2000 kCal/kg arasında çıkmıştır. Çalışmamızda 1830 kCal/kg değeri baz alınarak kurulu güç ve ekonomik değer analizlerinin yapılması benimsenmiştir. Yine çalışmamızda endüstriden gelen katı atıklarla birlikte 1800 ton günlük atık miktarı düşünülerek hesap yapılacaktır.

**Çizelge 5.5:** Kocaeli evsel atıklarının ısıl değerleri.

Üst kalorifik değer	2900	kCal/kg
Nem oranı	50	%

### **5.3 Kocaeli Evsel Katı Atık Yakma Tesisi İçin Kütle ve Enerji Dengesi Analizi**

Kocaeli ilinde yer alacağı öngörülen evsel atık yakma tesisine ilişkin olarak öncelikle tesiste üretilecek elektrik enerjisi miktarının hesap edilmesi gereklidir. Bu amaçla ilk olarak kütle dengesi hesabını ardından enerji dengesi hesabının yapılması gerekmektedir.

Bu hesaplamalardan sonra tesiste üretilecek buhar miktarı belirlenebilecektir. Belirlenen buhar miktarıyla, tesiste üretilecek elektrik enerjisi miktarı da bu aşamalardan sonra belirlenmiş olacaktır. Hesaplama aşamalarında belirli kabuller yapılarak işlemler gerçekleştirilecektir. Bu kabulleri yaparken Türkiye'nin ilk ve tek tehlikeli atık bertaraf tesisi olan ve Kocaeli'de bulunan İZAYDAŞ tesisinin çalışma parametrelerinin baz alınması benimsenmiştir. Böylelikle, gerçekçi bir yaklaşım yapılmış olacağı düşünülmektedir.

İZAYDAŞ tehlikeli atık bertaraf tesisi olması nedeniyle, uyması gereken direktifler farklılık arz etmektedir. Burada; evsel ve tehlikeli atıkların yakma yoluyla bertarafında öncelikle fırın sıcaklıkları farklılık göstermekte ve bacadan atılan kuru gaz içerisindeki maddelerin limit değerleri farklılık göstermektedir.

Evsel atık yakma tesisinin fırın sıcaklığı ve baca gazı hesabı tarafımızdan yapılması söz konusudur. Bu bağlamda, İZAYDAŞ'dan faydalanılarak göz önüne alınan bilgiler genel anlamda yakma tesislerinde olması gereken değerler olacaktır.

İZAYDAŞ, sadece tehlikeli atık bertarafıyla kalmayıp Büyükşehir Belediyesi tarafından toplanan kentsel katı atıkların bertarafından da sorumlu olan bir kuruluştur. Ayrıca, kentsel katı atıklar düzenli depolama alanlarında İZAYDAŞ yönetiminde bertaraf edilmektedir.

Öte yandan, yakma yöntemiyle enerji üretimi yapılırken en önemli parametre; (daha önce de belirtildiği üzere) atık karakterizasyonu olmaktadır. Tesiste yakıt olarak kullanılacak atık özellikleri de İZAYDAŞ'ın kentsel katı atıklar için yaptırmış olduğu analiz çalışmaları verileri olarak alınmıştır.

#### **5.3.1 Kocaeli Katı Atık Yakma Tesisi İçin Kütle Dengesi Hesabı**

Evsel katı atık yakma tesisi kütle dengesi hesabı için Bölüm 4.1'de yer alan denklemlerden yararlanılacaktır. Bu denklemler kullanılarak tesise giren maddelerin kütleleri toplamının çıkan maddelerin kütleleri toplamına eşitliğini sağlanmış olunacaktır. Enerji dengesi hesabı yapabilmesi için kütle dengesi hesabı yapılması zorunludur. Kütle dengesi hesabı için kullanılan atık karakterizasyonu Çizelge 5.6'da verilmektedir. Çizelge 5.7'de ise Kocaeli ili atık özellikleri görülmektedir.

**Çizelge 5.6:** Kocaeli ili için kütle dengesi hesabı için kullanılan atığın karakterizasyonu.

KOCAELİ İLİ KENTSEL ATIK MİKTARI	
Kentsel katı Atık Miktarı [ton/yıl]	600 000
Endüstriden gelen evsel nitelikli kentsel katı atık [ton/yıl]	69 350

**Çizelge 5.7:** Kocaeli ili atık özellikleri.

Atık ve sistem Özellikleri	
Alt ısı değeri [kCal/kg]	1830
Nem [%]	%30
Kül, yanmayan maddeler [%]	%14
Hava fazlası	%100

Bölüm 4.1’de detayı verilen hesaplamalar çerçevesinde Kocaeli ili evsel atık yakma tesisi için hesaplanan değerler Çizelge 5.8’de bir arada verilmektedir

**Çizelge 5.8:** Kocaeli ili evsel atık yakma tesisi için kütle dengesi hesaplamaları ile elde edilen değerler.

$A_t$	Toplam katı atık miktarı [ton/yıl]	669 350
$n_s$	Aktarma, transfer ve bunkerde bekletilmesi sonucu atık kütledeki sızma oranı [%]	%10
$A_{YT}$	Sızma sonrası yılda oluşan atık kütlesi [ton/yıl]	609 350
$w_s$	Tesis yıllık çalışma saati [saat/yıl]	8000
$A_{YS}$	Yakma tesisi saatlik yakıt(atık) miktarı [ton/saat]	76.17
$n_{nem-atık}$	Atık içerisindeki nem oranı [%]	%30
$A_{nem}$	Atık içerisinde mevcut olan ve yanma sonucu oluşacak nem-ıslak baca gazı miktarı [ton/saat]	22.85
$n_{kül}$	Yanma sonucu oluşacak kül/cüruf oranı [%]	%14
$A_{kül}$	Yanma sonucu kül miktarı [ton/saat]	10.66
$A_{LHV}$	Atığın alt ısı değeri [kCal/kg]	1830
$A_{ısıl}$	Atığın toplam ısı gücü [kCal/saat]	$139.39 \times 10^6$
$A_{net}$	Nem ve külden arındırılmış atık kütlesi [ton/saat]	42.66

Yanma sonucu oluşan kuru gaz miktarını bulabilmek için, kuru gaz atığın stokiometrik yanmadaki parametrik değeri ile hesap yapılması gerekmektedir. Bu değer, atığın ısı enerjisine karşılık gelen değer olmaktadır. Ek.B Çizelge E.2’de yer alan tablodan belirlenen ısı enerjisi için parametrik değer bulunmaktadır. Enterpolasyon yöntemiyle atığın ısı enerjisine karşılık gelecek kuru gaz parametrik değeri elde edilebilmektedir. Çizelge 5.9’da stokiometrik yanma için atığın parametrik değerleri verilmektedir (Brunner, 1988).

**Çizelge 5.9:** Stokiyometrik yanma için atığın parametrik değerleri.

Stokiyometrik yanma için atığın yanma parametrik değerleri			
Q [kCal]	Hava [kg/kCal]	kuru gaz [kg/kCal]	Nem [kg/kCal]
1765.58	0.001268	0.001422	0.000103
2017.52	0.001273	0.001398	0.000101

Isıl değeri 1830 kCal/kg idi. Çizelgede bu değer olmamakla birlikte kuru gaz için enterpolasyon yöntemi uygulamasıyla sonuç alınabilmektedir. Çizelge 5.10'da Kuru gaz ve nem için stokiyometrik havada atığın yanma parametreleri verilmektedir.

**Çizelge 5.10:** Kuru gaz ve nem için stokiyometrik havada atığın yanma parametreleri.

$A_{LHV}$ [kCal]	Kuru gaz [kg/kCal]	Nem [kg/kCal]
1830	0.00415	0.0001024

Verilen bu değerler kullanılarak Bölüm 4.1'de verilen hesaplama yöntemi çerçevesinde ulaşılan yanma parametreleri değerleri Çizelge 5.11'de, yanma sonucu oluşan kütle dengesi değerleri ise Çizelge 5.12'de verilmektedir

**Çizelge 5.11:** Yanma parametreleri değerleri.

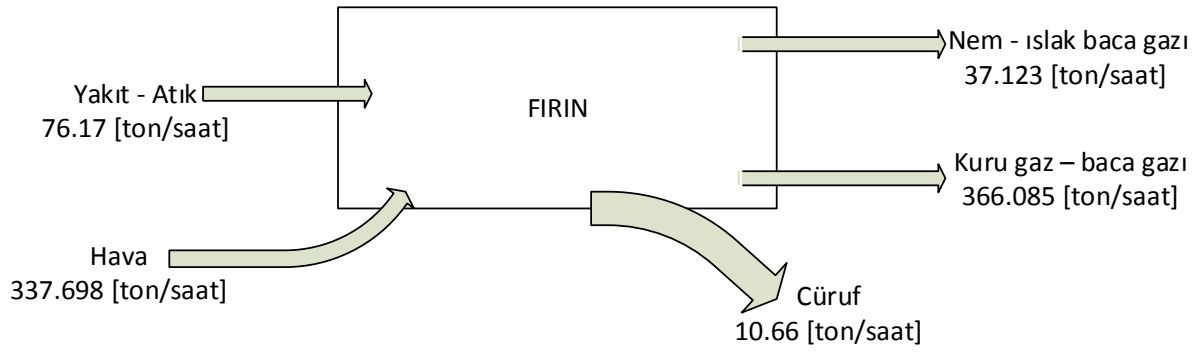
$n_{kuru\ gaz}$	Stokiyometrik yanmada kuru gaz için atığın parametrik değerleri [kg/kCal]	0.00415
$B_{kuru\ gaz}$	Yanma sonucu atık kaynaklı kuru gaz miktarı [ton/saat]	197.2360
$n_{nem}$	Stokiyometrik yanmada nem için atığın parametrik değerleri kg/kCal]	0.0001024
$B_{nem}$	Yanma sonucu atık kaynaklı nem-ıslak baca gazı miktarı [ton/saat]	14.2730
$B_{t_{nem}}$	Yanma sonucu oluşacak toplam nem-ıslak baca gazı miktarı [ton/saat]	37.1230
$B_{toplam}$	Yanma sonucu oluşan kuru gaz ve nem miktarı [ton/saat]	211.5090
$H_{hava}$	Sistemde bulunan hava miktarı [ton/saat]	168.8490
$n_{hava}$	Hava fazlası oranı [%]	%100
$H_{t_{hava}}$	Atığın yanması için hava fazlası dahili ile oluşacak toplam hava miktarı [ton/saat]	337.6980
$B_{h_{kuru\ gaz}}$	Sistemde bulunan hava fazlası ile oluşan kuru gaz [ton/saat]	168.8490
$B_{t_{kuru\ gaz}}$	Yanma sonucu oluşan toplam kuru gaz miktarı [ton/saat]	366.0850
R	hava - yakıt oranı [%]	%22.56

**Çizelge 5.12:** Yanma sonucu oluşan kütle dengesi değerleri.

KÜTLE DENGESİ			
GİRENLER	[ton/saat]	ÇIKANLAR	[ton/saat]
Yakıt- Atık	76.17	Buhar-Nem	37.1230
Hava	337.6980	Kuru gaz	366.0850
		Cüruf	10.66
TOPLAM	413.8680	TOPLAM	413.8680

Tesisin fırınında yanma sonucu oluşan maddelerin kütlesi ile giren maddelerin kütleleri denkliği Çizelge 5.12'de görüldüğü üzere sağlanmıştır. Kütle dengesine ilişkin şematik gösterim Şekil 5.5'te verilmektedir.





Şekil 5.5: Yanma sonucu oluşan kütle dengesi.

### 5.3.2 Kocaeli Eysel Katı Atık Yakma Tesisi İçin Enerji Dengesi Hesabı

Yakma sistemimize giren ve yanma sonucu oluşan kütleleri belirledikten sonra enerji dengesi hesabı yapılabilir. Yakma tesisimizde yanma sonucu ısıl enerji elde edilmektedir. Bir başka deyişle, sistemin ısıl dengesi sabittir. Yakılacak atığın ısıl değeri, fırında oluşacak kayıplar çıkarıldıktan sonra yanma sonucu oluşacak kuru gaz, nem-ıslak baca gazı ve cüruf ısıl değerleri toplamına eşit olacaktır. Enerji Dengesi hesabında Bölüm 4.2 yer alan denklemlerden yararlanılmıştır. Bu bağlamda, yakma sistemi ısıl güç değerleri Çizelge 5.13’de verilmektedir.

Çizelge 5.13: Yakma sistemi ısıl güç değerleri.

K	Külün alt ısıl değeri [kCal/kg]	400
$C_{\text{ısl}}$	Yanma sonucu kül-cüruf’un ısıl gücü [GCal/saat]	4.2640
$n_{\text{fırın}}$	Fırındaki hızdan kaynaklı fırındaki ısının radyasyon kaybı oranı [%]	% 1.50
$K_{\text{fırın}}$	Radyasyon dolayısıyla fırın yüzeylerinde meydana gelen kayıp [GCal/saat]	2.09
$K_{\text{toplam}}$	Yanma sonucu toplam ısıl kayıp [GCal/saat]	6.3540
$An_{\text{ısl}}$	Yanma sonucu cüruf ve fırın kaybından arındırılmış ısıl güç [GCal/saat]	133.0360

Eysel Atık yakma sisteminde fırın sıcaklığı 850 °C den az olmamalıdır. Avrupa Yakma Direktifi evsel atık yakma sistemleri için belirli sınır değerler getirmiştir. Bu değerleri genel olarak 3T kuralı olarak ifade edilebilmektedir. Söz konusu 3T ifadesi “Temperature” yani Sıcaklık, “Time” yani Zaman ve “Turbulance” yani Türbülans kelimelerinin İngilizce baş harfleridir. Direktife göre evsel atık yakma sistemi sıcaklığı 850 °C den büyük olmak zorundadır.

Fırın içerisinde katı atık en az 2 saniye süre ile en az 850° sıcaklığa maruz kalmalıdır. Türbülans ise hava yakıt karışımı şeklinde ifade edilebilir. Bunun için direktifte sınır değer ifadesi mevcut değildir. Eysel atık yakma sistemlerinde fırın sıcaklığı için üst sınır olmamakla birlikte yüksek fırın sıcaklığı, baca gazı kayıp miktarındaki artışa ve yanma sonucu oluşan kuru gazın filtre sistemleri maliyetini artıran etken olmaktadır. Ancak yapılan bazı

çalışmalarda, fırın sıcaklığı değerinin 1000 °C sıcaklığına yakın olması da istenilen durum olarak ifade edilmektedir. (Brunner, 1988)

Öncelikle sistemin 850 °C sınır sıcaklığından büyük bir fırın sıcaklığına sahip olduğunu test etmemiz gerekmektedir. Bu amaçla hava ve nem için sıcaklık değişimine bağlı entalpi değerlerinden faydalanılmıştır. Ek A Çizelge E.1’de yer alan çizelgede 850°C sıcaklık değerine en yakın 871.11°C sıcaklığı mevcuttur. Çizelge 5.14’te hava ve nem için sıcaklık değişimine bağlı entalpi değerleri verilmektedir.

**Çizelge 5.14:** Hava ve nem için sıcaklık değişimine bağlı entalpi değerleri.

Hava ve nem için sıcaklık değişimine bağlı entalpi değişimi		
T (Sıcaklık) [°C]	kuru gaz [kCal/kg]	Nem [kCal/kg]
871.11	220.5544	1017.4034
926.67	236.0532	1049.6062
982.22	251.6909	1081.7645
1037.8	267.4230	1114.6113

Sistemde kayıplar çıkarıldıktan sonra 133.036 GCal/saat ısı güç mevcuttur. Eğer, fırın sıcaklığı 871.11 °C olsaydı ısı gücümüz 118.510 GCal/saat olacaktı. Bir başka deyişle, 871.11°C direktif sıcaklığından yüksek olarak bulunmuş olmaktadır. Bu sayede 850°C olan direktif sınır sıcaklık değerinden büyük bir fırın sıcaklığına ulaşmaktayız.

Kuru gaz ve nem için sıcaklık değerlerine karşılık gelen entalpi değişimiyle fırın sıcaklığı tespit edilebilir. Bu amaçla Ek A Çizelge E.1 yer alan 982.22 °C ve 1037.8 °C sıcaklık değişiminde mevcut şartlarda oluşan kuru gaz ve nem kütlelerine karşın entalpi değerleri ile bu sıcaklık değerlerinde oluşabilecek ısı güç miktarı belirlenmiştir.

$$982.22^{\circ}\text{C} \rightarrow 132.298 \text{ [GCal/saat]}$$

$$X \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 133.036 \text{ [GCal/saat]}$$

$$1037.8 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 139.203 \text{ [GCal/saat]}$$

Enterpolasyon yöntemiyle kayıplar çıkarıldıktan sonra 133.036 GCal/saat ısı güç değerimize karşılık gelen fırın sıcaklığının 988.156 °C olduğu belirlenmiştir. Fırın sıcaklık değeri belirlendikten sonra bu sıcaklık değerinde kuru gaz ve nemin entalpi değeri de yine enterpolasyon yöntemiyle belirlenebilmektedir. Çizelge 5.15’te kuru gaz ve nem için entalpi değerleri görülmektedir.

**Çizelge 5.15:** Kuru gaz ve nem için entalpi değerleri.

Sıcaklık [°C]	Kuru gaz entalpi [kCal/kg]	Nem entalpi [kCal/kg]
982.22	251.6909	1081.7645
988.156	X	Y
1037.8	267.4230	1114.6113

Enterpolasyon yöntemiyle 988.156°C de kuru gazın entalpi değeri  $X=253.3710$  [kCal/kg] olarak hesap edilmiştir. Aynı şekilde, nem entalpi değeri de  $Y=1085.2720$  [kCal/kg] olarak tespit edilmiştir.

Fırın sıcaklığını yanma sonucu oluşan ürünlerin yani kuru gaz ve nem kütleleri ile entalpi değerleri çarpımının kayıplardan arındırılmış fırın ısı güç değerine eşitliğiyle bulduğumuzu ifade etmiştik Bu amaçla doğrulama işlemi yapılırsa;

$$An_{\text{ısı}} = Bk_{\text{ısı}} + Bn_{\text{ısı}} \quad (5.1)$$

İdi. Burada;

$$Bk_{\text{ısı}} = 92.755 \text{ GCal/saat}$$

$$Bn_{\text{ısı}} = 40.278 \text{ GCal/saat}$$

$$An_{\text{ısı}} = 133.036 \text{ GCal/saat}$$

olarak denklik ifade edilmiş olmaktadır. Çizelge 5.16'da yanma sonucu oluşan kuru gaz ve nem ısı güç değerleri verilmektedir.

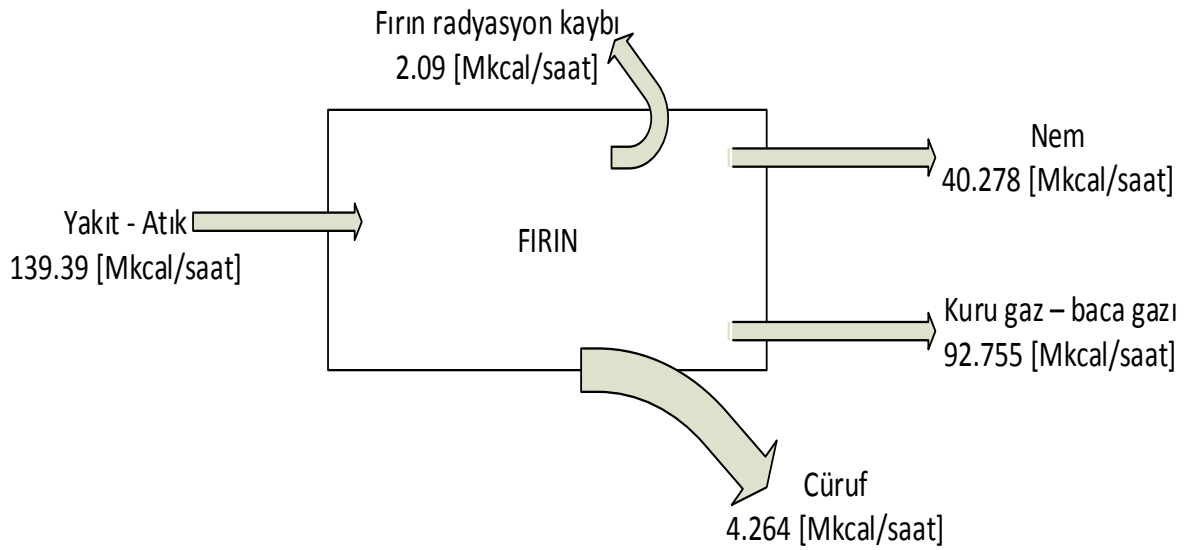
**Çizelge 5.16:** Yanma sonucu oluşan kuru gaz ve nem ısı güç değerleri.

$E_{\text{kuru gaz}}$	Kuru gazın fırın sıcaklığındaki entalpi değeri [kCal/kg]	253.3710
$Bt_{\text{kuru gaz}}$	Yanma sonucu toplam kuru gaz miktarı [ton/saat]	366.0850
$Bk_{\text{ısı}}$	Kuru gazın ısı gücü [GCal/saat]	92.7550
$e_{\text{nem}}$	Nemin fırın sıcaklığındaki entalpi değeri [kCal/kg]	1085.2720
$Bt_{\text{nem}}$	Yanma sonucu toplam nem miktarı [ton/saat]	37.1230
$Bn_{\text{ısı}}$	Nem-ıslak baca gazın ısı gücü [GCal/saat]	40.2780
$An_{\text{ısı}}$	Yanma sonucu kayıplar çıkarıldıktan sonra ısı güç [GCal/saat]	133.0360

Yakma sisteminde enerji dengesine ilişkin olarak ise Çizelge 5.17 düzenlenmiştir. Şekil 5.6'da ise yanma sonucu oluşan ısı denge şematik olarak görülmektedir.

**Çizelge 5.17:** Yakma sisteminde enerji dengesi.

ENERJİ DENGESİ (ISIL DENGE)			
GİRENLER	[GCal/saat]	ÇIKANLAR	[GCal/saat]
		Nem	40.2780
Yakıt- Atık	139.39	Kuru gaz	92.7550
		Cüruf	4.2640
		Kazan kayıp	2.09
TOPLAM	139.39	TOPLAM	139.39



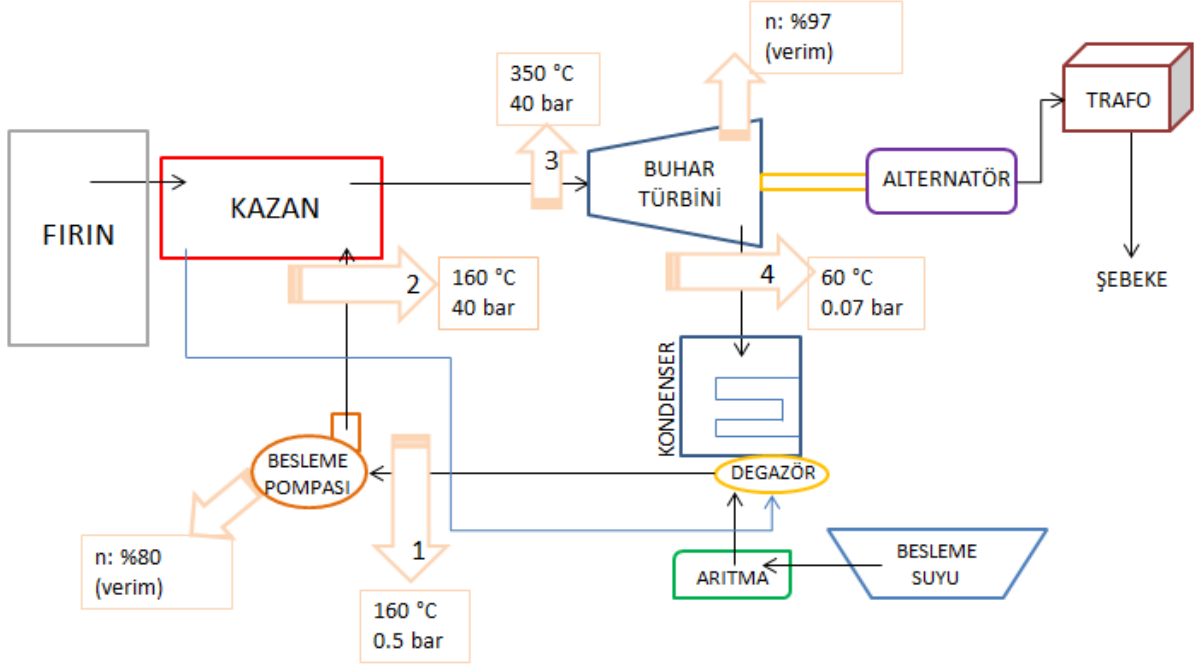
**Şekil 5.6:** Yanma sonucu oluşan ısıl denge.

Deniz seviyesinde nemli havanın entalpi değeri  $0.24 \text{ kCal/kg}^\circ\text{C}$  olduğu için enerji dengesi hesaplarında hava yok sayılmıştır.

#### **5.4 Kocaeli Eysel Katı Atık Yakma Tesisi İçin Buhar Miktarı ve Besleme Suyu Hesapları**

Buhar Miktarı ve Besleme Suyu hesabında Bölüm 4.4 de yer alan denklemler kullanılacaktır. Fırın sıcaklığı  $988.156 \text{ }^\circ\text{C}$  olan evsel katı atık yakma tesisinde kazanda buhar elde edilmektedir. Fırın içerisinde oluşan ısıl değer besleme suyu pompasından kazana basılan suyu buharlaştıracaktır. Kazandan elde edilen buhar  $350^\circ\text{C}$  de 40 bar basınçta buhar türbinine gönderilmektedir.

Buhar türbini kanatlarına çarpan buhar, türbini döndürmektedir. Buhar türbinine bağlı alternatör bu dönme şeklindeki mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Alternatör çıkışı bir yükseltici trafo ile elektrik enerjisi, enerji nakil hatlarına verilmektedir. Şekil 5.7’de tesisi çevrim şeması görülmektedir.



Şekil 5.7: Tesis çevrim şeması.

Buhar türbininde işi biten çürük buhar, kondenser bir başka deyişle yoğunlaştırıcıya gelerek tekrar su haline dönüştürülerek, besleme suyu pompası ile tekrar kazana gönderilmektedir. Bu işlem döngü halinde devam ederek elektrik enerjisi üretilmektedir. Çizelge 5.18'de tesis çevrim bilgileri verilmektedir.

Çizelge 5.18: Tesis çevrim bilgileri.

1	Besleme suyu sıcaklığı	160 °C
	Besleme suyu basıncı	0.50 bar
2	Kazan giriş su sıcaklığı	160 °C
	Kazan giriş su basıncı	40 bar
3	Türbin giriş buhar sıcaklığı	350 °C
	Türbin giriş buhar basıncı	40 bar
4	Türbin çıkış buhar sıcaklığı	60 °C
	Türbin çıkış buhar basıncı	0.07 bar
	Buhar Türbini verimi	97%
	Besleme pompası verimi	80%

Çevrimde yer alan arıtma (demineralizasyon) ve degazör ise kondensere gelen yoğunlaşmış buharın, su haline gelerek toplandığı su tankı olmasının yanında aynı zamanda kazan deşarj sisteminden gelen saf suyun da depolandığı birimdir. Fazla olarak, suda bulunan CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S gibi gazların sudan fiziksel yollarla ayrıştırılmasını sağlayan birimdir. Arıtmada, suyun demineralizasyonu da sağlanmış olmaktadır.

Fırın içerisinde oluşan ısı değer ile fırın çıkışındaki ısı değer farkı; kazanda kullanılabilir, buharlaşmaya neden olabilecek ısı değeri vermektedir. Şekil 5.8’de fırın ve kazan sıcaklık değişimleri şematik olarak görülmektedir.



**Şekil 5.8:** Fırın ve kazan sıcaklık değişimleri.

Fırında 988.156 °C oluşan kuru gaz ve nemin ısı gücü ile kazan içerisinde yer alan besleme suyu ısıtılarak buharlaştırılmaktadır. Kazandan kuru gaz ve nemin çıkış sıcaklığı da 200 °C olmaktadır. Çizelge 5.14’da kuru gaz ve nem için entalpi değerleri verilmektedir.

Çizelge 5.19’de kazan giriş-çıkış su ve buhar entalpi değerleri görülmektedir. Çizelge 5.20’de ise kazan besleme suyu ve oluşan buhar miktarı hesapları ile ulaşılan değerler verilmektedir.

**Çizelge 5.19:** Kazan giriş-çıkış su ve buhar entalpi değerleri.

	Entalpi [kCal/kg]
350 °C - 40 bar Buhar	739.1250
160 °C - 40 bar doymuş Su	259.39
160 °C - 0.5 bar besleme Suyu	80.9390

**Çizelge 5.20:** Kazan besleme suyu ve oluşan buhar miktarı hesapları ile ulaşılan değerler.

$A_{n\text{ısı}}$	Yanma sonucu kayıplar çıkarıldıktan sonra ısı gücü [GCal/saat]	133.0360
$B_{\text{ısı}}$	Kazanda buharlaşmaya neden olduktan sonra baca gazının çıkış sıcaklığı [GCal/saat]	41.2150
$B_{\text{buhar}}$	Kazanda oluşan ısı gücü [GCal/saat]	91.8210
$n_{\text{kazan}}$	Kazan yüzeylerinde oluşan kayıp enerji yüzdesi [%]	%1
$B_{n\text{buhar}}$	Kazanda buharlaşmaya neden olacak ısı gücü [GCal/saat]	90.9020
$S_{\text{deşarj}}$	Kazandadeşarj edilen suyun besleme suyuna oranı [%]	%2
$D_s$	Kazanda Deşarj edilen su miktarı [ton/saat]	3.0760
$B_s$	Besleme suyu miktarı [ton/saat]	153.80
$D_{\text{ısı}}$	Deşarj edilen suyun ısı gücü [GCal/saat]	5.5850
$e_{\text{deşarj}}$	Deşarj edilen suyun entalpi değeri [kCal/kg]	259.39
$B_{\text{ısı}}$	Besleme suyunun ısı gücü [GCal/saat]	12.44
$e_{\text{besleme}}$	Besleme suyunun entalpi değeri [kCal/kg]	80.9390
$e_{\text{buhar}}$	Kazanda oluşan buharın entalpi değeri [kCal/kg]	739.1250
$B_m$	Buhar miktarı [ton/saat]	150.7240
$B_{\text{buhar}}$	Buhar ısı gücü [GCal/saat]	97.7640

Kazandandeşarj edilen su, kazan besleme suyunun %2’si olarak kabul edilmiştir (Kenneth, 1989).

## 5.5 Kocaeli Evsel Katı Atık Yakma Tesisi İçin Baca Gazı ve Soğutma Suyu Hesapları

Kocaeli evsel katı atık yakma tesisi fırınında 988.156°C sıcaklıkta oluşan kuru gaz ve nem kazanda ısı gücünü aktararak soğutma suyu ve filtre sistemine 200°C ile girmektedir. Filtreden geçtikten sonra bacadan atılma sıcaklığı 65°C olarak kabul edilmiştir. Hesaplamalarda Bölüm 6.3 deki eşitliklerden faydalanılarak ulaşılan sonuç değerler Çizelge 5.21’de verilmektedir.

**Çizelge 5.21:** Baca gazı ve soğutma suyu hesaplamaları sonuçları.

$C_{\text{bac}} \text{ gazı}$	Kazandan çıkan filtre sistemine giren baca gazının sıcaklığı [°C]	200
$B\check{c}_{\text{ısı}}$	Kazandan çıkan filtre sistemine giren baca gazının ısı gücü [GCal/kg]	41.2150
$e_{\text{kazan-kuru gaz}}$	Kuru gazın kazandan çıkış sıcaklığındaki entalpi değeri [kCal/kg]	44.5570
$e_{\text{kazan-nem}}$	Nemin kazandan çıkış sıcaklığındaki entalpi değeri [kCal/kg]	670.8460
$C_{\text{bac}} \text{ gazı}$	Bacadan atılan gazın sıcaklığı [°C]	65
$e_{\text{g-kuru gaz}}$	Baca sıcaklığında kuru gazın entalpi değeri [kCal/kg]	12
$e_{\text{g-nem}}$	Baca sıcaklığında nemin entalpi değeri [kCal/kg]	606.35
$E_{\text{bacagazı}}$	Bacadan atılan gazın ısı gücü [GCal/saat]	26.90
$Q$	Baca gazı sıcaklığını istenilen çıkış sıcaklığına düşürecek soğutma suyunun ısı gücü [GCal/saat]	14.31
$W$	Soğutma suyu miktarı [ton/saat]	106
$C$	Spesifik su özgül ısı [kCal/kg °C]	1
$\Delta t$	Sıcaklık farkı [°C]	135
$d_w$	Soğutma suyu debisi [m <sup>3</sup> /dk]	1.76

Baca gazı çıkış debisi değeri baca gazı analizi açısından önemli olmaktadır. Baca gazı çıkış debisini baca gazı sıcaklığına karşılık gelen hacim miktarından hesaplanarak bulunabilmektedir. Baca gazına ilişkin ulaşılan değerler Çizelge 5.22’te, emisyon faktörleri ise Çizelge 5.23’te verilmektedir.

**Çizelge 5.22:** Baca gazına ilişkin ulaşılan değerler.

Sıcaklık [°C]	Özgül hacim, doymuş karışım [m <sup>3</sup> /kg]	Baca gazı çıkış debisi [m <sup>3</sup> /dk]
65	1.2840	7834

**Çizelge 5.23:** Emisyon faktörleri (AB Çevre Ajansı, 2009).

$F_{\text{emisyon}}$ : Emisyon faktörleri		
NO <sub>x</sub>	1071	g/ton atık
CO	41	g/ton atık
SO <sub>x</sub>	87	g/ton atık
PM10	3	g/ton atık
NMVOC	5.9	g/ton atık
Pb	58	mg/ton atık
Hg	18.8	mg/ton atık
Cd	4.6	mg/ton atık

Elde edilen debi ile birlikte tesisin oluşturduğu emisyonlar hesap edilebilir. Burada, Avrupa Çevre Ajansının 2009 yılı kütleli yakma tesisleri için öngördüğü emisyon faktörleri değerlerinden faydalanılacaktır. Ayrıca, kirletici emisyonların bulunabilmesi için kirletici kütleli debilerden faydalanılacaktır.

Kirletici emisyon değerinin hesap edilmesi ile baca gazı kirletici yoğunluk mertebesi belirlenebilir. Bu amaçla kirletici emisyon değerinin baca gazı debisine bölümü bize kirletici gaz emisyonu yoğunluğunu verecektir.

Çizelge 5.24'te tesis baca gazı kirletici emisyonları, Çizelge 5.25'da ise tesis baca gazı kirletici kütleli debi değerleri verilmektedir.

**Çizelge 5.24:** Tesis baca gazı kirletici emisyonlar.

<u>K<sub>emisyon</sub>: Kirletici emisyon</u>		
NO <sub>x</sub>	81.57	kg/saat
CO	3.12	kg/saat
SO <sub>x</sub>	6.62	kg/saat
PM10	0.22	kg/saat
NMVOC	0.44	kg/saat
Pb	4.41	g/saat
Hg	1.43	g/saat
Cd	0.325	g/saat

**Çizelge 5.25:** Tesis Baca gazı kirletici kütleli debi.

<u>d<sub>emisyon</sub>: Baca gazı kirletici yoğunluk</u>		
NO <sub>x</sub>	0.17	g/m <sup>3</sup>
CO	0.006	g/m <sup>3</sup>
SO <sub>x</sub>	0.014	g/m <sup>3</sup>
PM10	0.00046	g/m <sup>3</sup>
NMVOC	0.00093	g/m <sup>3</sup>
Pb	0.0093	mg/m <sup>3</sup>
Hg	0.003	mg/m <sup>3</sup>
Cd	0.00069	mg/m <sup>3</sup>

Çizelge 5.24 ve Çizelge 5.25'da verilen değerler filtre sistemi mevcut olmadığı durumlardaki değerlerdir. Filtreleme işlemine ilişkin İZAYDAŞ referans alınarak işlem yapılması benimsenmiştir.

Kazan çıkışında sıcaklığı 200 °C'ye düşen ve içindeki büyük toz partiküllerini bırakan atık gaz, elektrostatik filtreden geçirilerek etkin bir toz ayırım işlemine tabi tutulmaktadır. Filtrenin ortalama verimi % 99.63' kabul edilebilmektedir. Elektrostatik filtreden çıkan gaz, venturi



yıkayıcısında su ile yıkanarak bünyesindeki halojen bileşikleri ve ağır metaller tutulabilmektedir.

Gerekli görülmesi durumunda yıkama suyuna kireç çözeltisi de eklenebilmektedir. Daha sonra damlacık tutuculardan geçirilen atık gaz; nötralizasyon, oksidasyon ve absorpsiyon bölümlerinden oluşan kireç püskürtmeli yıkayıcıda kireç sütü çözeltisi ile yıkanarak, SO<sub>2</sub> ile arta kalan halojen bileşikleri ve ağır metallerden arındırılmaktadır.

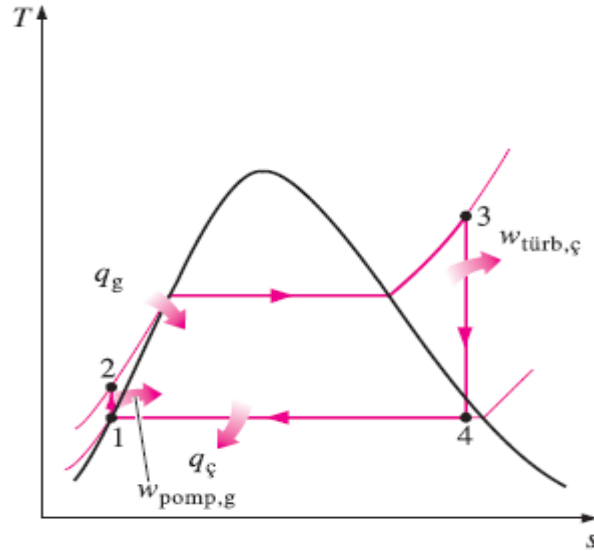
Filtre sonucu çıkan gaz “Dioksin-Dibenzo Furan Kontrol Ünitesi”nden geçirilmektedir. Fiziksel ve kimyasal olarak temizlenen 65 °C sıcaklığındaki gaz, fan aracılığı ile tesis bacasından atmosfere verilmektedir. Bu işlemlerden sonra baca gazı değerlerinin, İZAYDAŞ arıtma sonrası baca gazı emisyonları ve limit değerlerine denk olacağı kabul edilmektedir. Bu bağlamda, Çizelge 5.26’de İZAYDAŞ baca gazı limit değerleri görülmektedir.

**Çizelge 5.26: İZAYDAŞ baca gazı limit değerleri.**

Kirletici Emisyonlar	Emisyon Limit Değerleri [mg/m <sup>3</sup> ]
TOZ	10
HF	1
TOC	10
HCl	10
SO <sub>2</sub>	50
NO <sub>x</sub>	400
CO	50
O <sub>2</sub>	-

## **5.6 Kocaeli Eysel Katı Atık Yakma Tesisi İçin Buhar Türbininde Üretilen Elektrik Enerjisi Hesabı**

Kocaeli evsel katı atık yakma tesisi için tasarlanan sisteme ait üretilen elektrik enerjisi miktarını hesaplayabilmek için Rankine çevriminden faydalanılacaktır (Şekil 5.9). Hesaplamalar Bölüm 4.5 de yer alan denklemler kullanılarak yapılmıştır.



**Şekil 5.9:** Rankine çevrimi sıcaklık-entropi değişimi grafiği.

Güç hesabı için besleme suyu pompasının yaptığı iş ve türbinin yaptığı işin bulunması gerekmektedir. Rankine çevriminde sisteme ait basınç ve sıcaklık değerleri için entalpi ve entropi değerleri EkC-D 'te yer alan Buhar ve Doymuş Su tablolarından alınmaktadır. Çizelge 5.27'de Rankine çevrimi ve türbinin yaptığı iş hesabı ile ulaşılan değerler verilmektedir.

**Çizelge 5.27:** Rankine çevrimi ve türbinin yaptığı iş hesabı ile ulaşılan değerler.

$v$	doymuş su özgül hacmi [ $m^3/kg$ ]	0.001028
$\eta_p$	pompa verimi [%]	0.8
$P_1$	besleme suyun pompaya giriş basıncı [kPa]	50
$P_2$	besleme suyun pompadan çıkış basıncı [kPa]	4000
$W_p$	Pompa işi [kJ/kg]	5.0750
$\eta_t$	Türbinin verimi [%]	0.97
$h_3$	Türbine giren buharın entalpi değeri [kJ/kg]	3092.5
$s_3$	Türbine giren buharın entropi değeri [kJ/kg K]	6.5821
$s_4$	Türbinden çıkan doymuş buharın entropisi [kJ/kg K]	6.5821
$h_f$	Türbinden çıkan doymuş suyun entalpi değeri [kJ/kg]	151.5
$h_{fg}$	Türbinden çıkan su-buhar karışımının entalpi değeri [kJ/kg]	2515.9
$s_f$	Türbinden çıkan suyun entropi değeri [ kJ/kg K]	0.5208
$s_{fg}$	Türbinden çıkan su-buhar karışımının entropi değeri [kJ/kg K]	7.8104
$X$	Kuruluk derecesi	0.776
$h_{4s}$	Türbinden çıkan çürük buhar-suyun entalpi değeri [kJ/kg]	2103.8384
$W_t$	Türbinin yaptığı iş [kJ/kg]	959

Sistemde yapılan net iş miktarı türbinin yaptığı iş ile besleme suyunun yaptığı iş farkı olmaktadır (Denklem 3.46). Bu bağlamda hesaplanan sistemde yapılan net iş 953.24 [kJ/kg] olarak bulunmuştur. Tesiste buhar ile üretilecek güç ( $G_{tesis}$ ) ise, Denklem 3.47 kullanılarak 143 585 711.4 [kJ/saat] ve yaklaşık olarak  $G_{tesis} = 40$  MW olarak tespit edilmiştir.

Tesisin yılda çalışacağı saat miktarı başlangıç aşamasında belirlenmekteydi. İşte bu sayede yılda çalışma saati ile elde edilen güç değerini çarparsak bir yılda üretilen elektrik enerjisi miktarını hesap edebilmekteydik. Denklem 3.48 kullanılarak tesisin bir yılda üreteceği elektrik enerjisi ( $E_{\text{elektrik}}$ ) 320 000 MWh olarak bulunmuştur.

Yakma tesisinde iç ihtiyaç elektrik enerjisi talebi olacaktır. Bu miktar, İZAYDAŞ verileri bağlamında üretilen elektrik enerjisinin %8'i olduğu kabulü yapılmıştır. Buna göre;  $E_{\text{ihtiyaç}} = 25\ 600$  MWh olarak belirlenmiştir.

Bir yılda üretilen elektrik enerjisi miktarından iç ihtiyaç nedeniyle kullanılacak yıllık elektrik enerjisi miktarı farkı ulusal şebekeye bir yılda satılacak elektrik enerjisi miktarını vermekteydi (Denklem 3.49). Bu miktar  $E_{\text{ulusal}} = 294\ 400$  MWh olarak hesap edilmiştir.

### **5.7 Kocaeli Eysel Katı Atık Yakma Tesisi İçin Kurulu Güç ve Verim Hesabı**

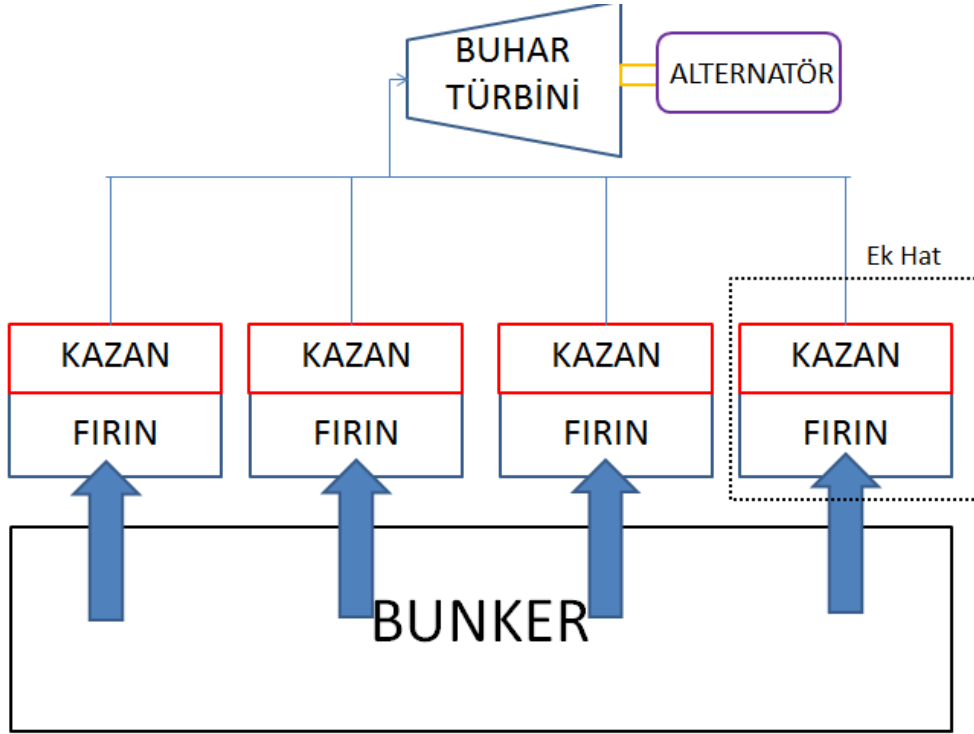
Kocaeli evsel katı atık yakma tesisinde yılda üretilen elektrik enerjisi miktarının bilinmesiyle yakma tesisin verimi elde edilebilir. Bu hesaplamalar Bölüm 3.6'da yer alan denklemler kullanılarak yapılmıştır. Atıktan elde edilen verim, Denklem 3.50 kullanılarak  $\eta_{\text{tesis}} = \%24$  olarak bulunmuştur.

Hesaplamalarımız açık çevrim düşünülerek yapılmıştır. Literatürde böyle bir tesisin veriminin %15-27 arası bir değerde olacağı belirtilmektedir (World Bank-Municipial Solid Waste, 2000). Kocaeli evsel katı atık yakma tesisi için bulunan %24 verim, bu bağlamda uygun olarak nitelenmiştir. Kojenere sistemlerde verim daha yüksek olabilmektedir. Öte yandan, İZAYDAŞ'ın kendi çalışmalarında verimin %21 olarak ele alındığı ifade edilmiştir. Bu bilgi de, hesapların doğruluğu ve gerçekliğine destek olan bir değer olarak nitelenmiştir.

Tesisin kurulu gücünü belirlemek için atık projeksiyonu önem arz etmektedir. Zira, refah, nüfus artışı gibi temel etkenler dolayısıyla atık miktarı her geçen gün artmaktadır. Bu tesislerin ömrü genel anlamda 29 yıl şeklinde ifade edilmektedir. 29 yıl sonunda her yıl yapılan bakım prosedürleri dışında ekipmanların değişimi gibi durumlar söz konusu olacaktır.

Tesisin en azından 29 yıl boyunca bölgedeki atık artışına cevap verebilecek şekilde olması istenilen durumdur. Diğer taraftan tesisin sürekli %100 kapasitede çalışması istenilen bir durum değildir. Bu bağlamda, Denklem 3.51 kullanılarak ve  $r_t = 0.72$  alınarak tesis kurulu gücü  $T = 56$  MW olarak bulunmuştur.

Kocaeli evsel katı atık yakma tesisinde (çoğu kez tercih edildiği üzere) üç hat mevcut olacağı öngörülmüştür. Kapasite artışı durumunda Ek hat tesis edilerek 30 yıl boyunca Kocaeli ili katı atık bertarafı sağlanabilir. Şekil 5.10’da üç hatlı sistem ve eklenebilecek ek sistem şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.10: Üç hatlı sistem ve eklenebilecek ek sistem.

### 5.8 Kocaeli Katı Atık Yakma Tesisi Ekonomik Analizi

Kocaeli evsel katı atık yakma tesisine ilişkin olarak ekonomik analiz çalışmaları için öncelikle Kocaeli ilinin atık projeksiyonunu incelemek ve yıllar içerisinde üretilecek ve satılacak enerji miktarı belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, İZAYDAŞ’ın yapmış olduğu atık projeksiyonundan faydalanılmıştır.

Üretilen enerjinin %8’i iç ihtiyaç olarak tesis tarafından tüketilmekteydi. Bu durumda, satılan enerji üretilen enerjinin % 92’si olmaktadır. Tesis, 30 ayda kurulumunu tamamlayıp devreye alınacağı öngörüldüğünden atık projeksiyonu 2018 yılından başlamaktadır. Tesisin fırın-kazan sistemi (daha önce belirtildiği üzere) üç hattan oluşmaktadır. İhtiyaca göre bir ek hat eklenebilmektedir. Buna göre tesisin kurulu gücü de 56 MW olarak hesap edilmişti.

Atık projeksiyonu çerçevesinde üretilecek enerji tablosundan da görülebileceği gibi 2027 yılında ek fırın-kazan hattı devreye alınmalıdır. Bu durum nakit akışında maliyet ve amortisman gideri olarak bulunacaktır.

Ek hattın devreye alınmasıyla birlikte tesisin kurulu gücü 74 MW ulaşacaktır. Projeksiyonumuza göre de 2034 yılında üretilen enerji 73 MW'a ulaşmaktadır. Bu değer sınır değer olup 2034 yılında tesis tam kapasitede çalışacağı öngörülmektedir 2034 yılından sonra tesiste her yıl bertaraf edilebilecek atık miktarı 2 milyon 400 bin ton olacaktır. Bu bağlamda 2034 yılından sonra üretilecek enerji de sabit kalacaktır. Tesisin ömrü 30 yıl olarak düşünülecek olup 2047 yılına 2034-2047 yılları arasında üretilecek enerji miktarı aynı olacaktır. Atık projeksiyonu mevcut durum alınarak yapılmıştır. Yıllar içerisinde geri dönüşüm miktarı artacağından 2034 yılından sonra bertaraf edilecek atık miktarında artış oranında azalma olması beklenilebilir (Çizelge 5.28).

**Çizelge 5.28:** Atık projeksiyonu ile üretilecek enerji miktarı yıllar içerisindeki değişimi.

YILLAR	NÜFUS	GSMH	Kentsel Katı Atık		Kümülatif Atık	Üretilen Güç	Üretilen Enerji	Satılan Enerji
	Kişi	\$/kişi	kg/kişi-gün	kg/gün	ton/yıl	MW	kWh/yıl	kWh/yıl
2018	1 758 964	12 723	1.1416	2 008 033	669 344	40.00	320 000 000	294 400 000
2019	1 793 053	13 168	1.1634	2 086 046	695 349	41.51	332 098 478	305 530 599
2020	1 827 802	13 629	1.1856	2 167 089	722 363	43.13	345 000 556	317 400 511
2021	1 863 225	14 106	1.2083	2 251 281	750 427	44.80	358 403 882	329 731 571
2022	1 899 334	14 600	1.2313	2 338 743	779 581	46.54	372 327 929	342 541 695
2023	1 936 143	15 111	1.2549	2 429 604	809 868	48.35	386 792 928	355 849 494
2024	1 973 666	15 640	1.2788	2 523 994	841 331	50.23	401 819 895	369 674 303
2025	2 011 915	16 187	1.3033	2 622 052	874 017	52.18	417 430 661	384 036 208
2026	2 050 906	16 754	1.3282	2 723 919	907 973	54.21	433 647 908	398 956 076
2027	2 090 653	17 340	1.3535	2 829 744	943 248	56.31	450 495 198	414 455 582
2028	2 131 170	17 947	1.3794	2 939 680	979 893	58.50	467 997 008	430 557 247
2029	2 172 472	18 575	1.4057	3 053 887	1 017 962	60.77	486 178 765	447 284 464
2030	2 214 574	19 225	1.4326	3 172 531	1 057 510	63.13	505 066 887	464 661 536
2031	2 257 493	19 898	1.4599	3 295 784	1 098 595	65.59	524 688 816	482 713 710
2032	2 301 243	20 595	1.4878	3 423 826	1 141 275	68.13	545 073 059	501 467 214
2033	2 345 841	21 315	1.5162	3 556 842	1 185 614	70.78	566 249 233	520 949 295
2034	2 391 303	22 062	1.5452	3 695 026	1 231 675	73.53	588 248 106	541 188 257

Ekonomik analiz çalışmasında, elektrik enerjisi satış fiyatındaki belirsizlikten dolayı 3 senaryo ele alınması benimsenmiştir.

Senaryo-I’de; elektrik enerjisi 0.133 US\$cent/kWh olarak 10 yıl süreyle satılacaktır. Daha sonraki süreçte güncel fiyat (serbest piyasa fiyatı) olan 0.08 US\$cent/kWh olarak satılacaktır.

Senaryo-II’de elektrik enerjisinin satış fiyatı 10 yıl boyunca %50 yenilenebilir birim fiyatı olan 0.133 US\$cent/kWh’dan geri kalan %50 ise 0.08 US\$cent/kWh olacak şekilde satılacaktır. 10 yılın sonunda elektrik enerjisi yine 0.08 US\$cent/kWh olarak satılacaktır.

Senaryo-III’de ise elektrik enerjisi 30 yıl boyunca 0.08 US\$cent/kWh olarak satılacaktır.

Bunlara ek olarak sadece Senaryo-I için potansiyel “Karbon Kredisi” geliri de hesap edilecek olup Senaryo-I+ olarak nitelenecektir.

### 5.8.1 Kocaeli Katı Atık Yakma Tesisi İçin Kurulum Maliyeti

Kocaeli evsel katı atık yakma tesisinin kurulumu 30 ayda tamamlanacaktır. Tesisin finansmanında %20 öz kaynak %80 banka finansmanı kullanımı modeli düşünülmüştür. Tesisin Kurulum Maliyeti 250 milyon US\$ olarak öngörülmektedir. Kredi faiz oranı için Garanti Bankası ile görüşülmüş olup projemiz için %7 faiz oranının uygun olacağı 2 yıl ön ödemesiz 10 yıl vadeli finansman sağlanabileceği ifade edilmiştir. Buna göre kurulum döneminde nakit akışı Çizelge 5.29’daki gibi olacaktır.

**Çizelge 5.29:** Tesis kurulum nakit akışı.

Yıl	2015/6	2016	2017
Özkaynak	50 milyon US\$	-	-
Banka Finansmanı	-	100 milyon US\$	100 milyon US\$

Tesisin kurulumu dört ana başlık altında maliyetlendirilmekteydi. Buna göre kurulum maliyetinin ünitelere dağılımı Çizelge 5.30’deki gibi olacaktır.

**Çizelge 5.30:** Tesisin kurulum maliyeti.

Atık Kabul, Fırın ve Kazan sistemi	52%	130 milyon US\$
Buhar Türbini ve Alternatör Grubu	16%	40 milyon US\$
Filtre Sistemi	17%	42.5 milyon US\$
Tesis kurulum ekipmanı ve montaj elemanları	15%	37.5 milyon US\$
TOPLAM	100%	250 milyon US\$

### 5.8.2 Kocaeli Katı Atık Yakma Tesisi İşletme Maliyeti

Devreye alındıktan sonra Kocaeli evsel katı atık yakma tesisinin işletme maliyeti oluşacaktır. İşletme Maliyeti; Sabit maliyet ve Değişken maliyetten oluşmaktaydı (Bölüm 4.2).

### 5.8.2.1 Kocaeli Katı Atık Yakma Tesisi için Değişken Maliyetler

Kocaeli evsel katı atık yakma tesisinin değişken maliyetleri, Bölüm 4.2.1’de bağlamında Çizelge 5.31 oluşturulmuştur.

**Çizelge 5.31:** Kocaeli evsel katı atık yakma tesisi değişken maliyetler.

DEĞİŞKEN MALİYET	Birim Maliyet \$/ton	Katı Atık Miktarı Ton/yıl	MALİYET \$/yıl
Kimyasal + Yardımcı Malzemeler	6	669 344	4 016 064
Cüruf nihai Bertaraf Bedeli	7.3	669 344	4 886 211
Personel Gideri	3	669 344	2 008 032
Bakım ve yedek parça	5.3	669 344	3 547 523
Diğer	0.3	669 344	200 803
Toplam Değişken Gider	2.9	669 344	14 658 634

### 5.8.2.2 Kocaeli Katı Atık Yakma Tesisi İçin Sabit Maliyetler

Bölüm 4.2.2’de açıklandığı üzere, sabit maliyetler; sigorta, amortisman, faiz ödemesi ve ana para ödemesinden oluşmaktaydı. Kurulum maliyeti 250 milyon US\$ olan tesisin finansmanında banka kredisi kullanılmış olup 200 milyon US\$ kredi kullanılacağı öngörülmüştü. 2 yıl ön ödemesiz 10 yıl vade %7 faizli kredi için yıllara göre banka anapara ve faiz ödemesi Çizelge 5.32’deki gibi olacaktır.

**Çizelge 5.32:** Banka anapara ve faiz ödemesi.

Yıl	Ana Para [ US\$]	Ana Para İtfası [ US\$]	Faiz [US\$]	Kalan Ana Para [US\$]	Yıllık Ödemeler [US\$]
2015			ÖZKAYNAK		
2016	100 000 000	-	-	-	-
2017	100 000 000	-	-	-	-
2018	200 000 000	20 000 000	14 000 000	180 000 000	34 000 000
2019	180 000 000	20 000 000	12 600 000	160 000 000	32 600 000
2020	160 000 000	20 000 000	11 200 000	140 000 000	31 200 000
2021	140 000 000	20 000 000	9 800 000	120 000 000	29 800 000
2022	120 000 000	20 000 000	8 400 000	100 000 000	28 400 000
2023	100 000 000	20 000 000	7 000 000	80 000 000	27 000 000
2024	80 000 000	20 000 000	5 600 000	60 000 000	25 600 000
2025	60 000 000	20 000 000	4 200 000	40 000 000	24 200 000
2026	40 000 000	20 000 000	2 800 000	20 000 000	22 800 000
2027	20 000 000	20 000 000	1 400 000	0	21 400 000
TOPLAM		200 000 000	77 000 000		277 000 000

Amortisman oranları için, Gelir İdaresi Başkanlığı’nın hazırlamış olduğu “Amortisman Tabii İktisadi Kıymetler Tablosu”ndan yararlanılmıştır. Buna göre dört ana başlık altında maliyetlendirilen tesisin Amortisman Gideri Çizelge 5.33’deki gibi olacaktır.

**Çizelge 5.33: Amortisman Gideri.**

AMORTİSMAN	Oran	Yıl	Amortisman Gideri
Atık Kabul, Fırın ve Kazan sistemi	6.67%	15	8.67 milyon US\$
Buhar Türbini ve Alternatör Grubu	5%	20	2 milyon US\$
Filtre Sistemi	6.67%	15	2.84 milyon US\$
Tesis kurulum ekipmanı ve montaj elemanları	3.44%	29	1.3 milyon US\$
<b>TOPLAM</b>			<b>14.8 milyon US\$</b>

Sabit maliyet kaleminde son olarak “Sigorta” bulunmaktadır. Sigorta bedeli için İZAYDAŞ referans alınmış olup bu bedel, yıllık 100 000 US\$ olarak ele alınmıştır.

### 5.8.3 Kocaeli Katı Atık Yakma Tesisi için Gelirler

“Kurulum Maliyeti”, “İşletme Maliyeti” belirlenen Kocaeli evsel katı atık yakma tesisinin bu aşamada, “Gelirler”i hesaplanarak “Nakit Akışı Tablosu” hazırlanacaktır.

Tesiste üretilen buhar, türbin-alternatör vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. En önemli gelir elektrik enerjisi olmaktadır. Daha önce de belirtildiği gibi elektrik enerjisi birim fiyatındaki belirsizlikten dolayı 3 farklı senaryo ele alınacaktır. Çizelge 5.34’de ele alınan üç senaryo için elektrik enerjisi satışı birim fiyatları görülmektedir.

**Çizelge 5.34: Öngörülen 3 senaryo için elektrik enerjisi satış birim fiyatı.**

Senaryo	10 yıl	20 yıl
Senaryo –I	0.133 US\$cent/kWh	0.08 US\$cent/kWh
Senaryo-II	0.133 US\$cent/kWh (%50) 0.08 US\$cent/kWh (%50)	0.08 US\$cent/kWh
Senaryo-III	0.08 US\$cent/kWh	0.08 US\$cent/kWh

Tesisteki bir önemli gelir kalemi de “Atık Bertaraf Bedeli” idi. Bu bedel İZAYDAŞ’ın öngördüğü 20 US\$/ton olarak ele alınacaktır.

Bir diğer gelir kalemimiz ise, Cüruf Geri kazanımdan elde edilecek olan gelir olmaktadır. Bu gelir için birim fiyat İZAYDAŞ’tan alınmıştır. Cüruf geri kazanım %3 olarak ele alınmaktadır. Cüruf geri kazanım ile elde edilecek gelir Çizelge 5.35’de görülmektedir.

**Çizelge 5.35: Cüruf geri kazanım ile elde edilecek gelir.**

Atık miktarı (sızma yaptıktan sonra) [ton/yıl]	609 350
Cüruf Miktarı [ton/yıl]	85 309
Cürufta değerlendirme oranı [%]	0.03
Cürufta değerlendirme miktarı [ton/yıl]	2 559.27
Cürufta değerlendirme fiyatı [US\$/ton]	200
Cürufta değerlendirme tutarı [US\$/yıl]	511 854
Cüruf Geliri [US\$/ton-Atık miktarı]	0.76470



Gelir kaleminde son olarak Karbon Kredisi Geliri mevcuttur. Bu gelir sadece Senaryo-I'e eklenecek ve bu durum Senaryo-I+ şeklinde ele alınacaktır. Çizelge 5.36'de karbon kredisi geliri görülmektedir.

**Çizelge 5.36: Karbon kredisi geliri.**

Karbon Kredisi	ton CO2
Düzenli depolama 1 ton	0.85 ton CO2
Yakma tesisi	0.50 ton CO2
Net fayda	0.35 ton CO2
VER	10 US\$/ton CO2

Karbon kredisi ile ton atık başına 10 US\$ gelir elde edilmesi beklenmektedir. Bu değer tesis ömrü boyunca sabit olarak ele alınacaktır.

Gelirlerde hesaplandıktan sonra, artık nakit akışı tablosu hazırlanabilir.

#### **5.8.3.1 Kocaeli Katı Atık Yakma Tesisi için Nakit Akışı Tablosu**

Üç senaryomuza göre Nakit Akışı tablosu verilecektir. Senaryo-I için Gelir ve Giderler açıkça gösterilecek olup diğer senaryolarda sadece enerji geliri fark edeceği için açıkça belirtilmeyecektir. Son olarak Senaryo-I+ ile karbon kredisi geliri göz alınarak nakit akışı verilecektir.

Kurulum maliyeti 250 milyon US\$ olan tesiste banka finansmanı sağlanmıştı ve 77 milyon US\$ faiz ödemesi olacaktır. Nakit Açığı-Fazlası satırında 327 milyon US\$'a ulaşılan yıl tesisin kendisini geri ödediği yıl olacaktır.

Senaryolara ait Nakit Akış tabloları Ek-F de verilmiştir. Senaryo I'e ait nakit akışı Çizelge E.6 – Çizelge E.8'de, Senaryo II ye ait nakit akışı sırasıyla Çizelge E.9 – Çizelge E.11'de ve Senaryo III ait nakit akışı da sırasıyla Çizelge E.12 – Çizelge E.14'de ve Senaryo I+ için nakit akışı sırasıyla Çizelge E.15 – Çizelge E.17'de verilmektedir.

EK F de yer alan izelge E.6 – izelge E.17'daki ‘‘Nakit Akışı Tablolarından’’ geri ödeme süreleri her bir senaryo için görülebilmektedir.

Senaryo-I'e göre tesis kendini 2032 yılında geri ödeyebilmektedir. Yani 17 yılda geri ödemesini tamamlamaktadır. Senaryo-II'de ise tesis kendini ancak 2035 yılında bir başka deyişle 20 yılda ödeyebilmektedir. Senaryo-III'de ise en kötü durum olmakta olup 2037 yılında kendini ödeyebilmektedir. Ayrıca, Senaryo-II ve Senaryo-III için ilk yıllarda Nakit Açığı oluşmaktadır.

Bunlara ek olarak Senaryo-I+ mevcuttur. Bu durum en iyi senaryo olup, tesis kendini 2031 yılında geri ödemektedir. Bir başka deyişle, 16 yılda geri ödemesini tamamlamaktadır.

İZAYDAŞ'ın yaptırmış olduğu fizibilite çalışmalarının birinde karbon Kredisi geliri de hesap edilerek tesisin kendini 17 yılda ödeyeceği hesaplanmıştır. Bu ifade, yapılan hesaplamaların gerçekçi olduğunu göstermesi açısından önemli bir dayanak teşkil etmektedir.

## 6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu Yüksek Lisans tez çalışmasında öncelikle atık ve atık değerlendirme yöntemleri ele alınmıştır. Tez kapsamında yakma teknolojisi ile evsel katı atıkların değerlendirilmesi konusu üzerinde odaklanılması hedeflendiğinden konu, günümüzdeki gelişmeleriyle tanıtılmıştır.

Evsel katı atık yakma tesisleri için enerji-ekonomik analizi genel olarak ele alınmış ve kütle ve enerji dengesi konusu detayı ile açıklanmıştır. Ayrıca, evsel katı atık yakma tesisleri için ekonomik analiz de genel kavramlarla yapılmıştır.

Genel lojik yaklaşım ile verilen evsel katı atık yakma tesisleri için enerji-ekonomik analiz, somut bir örnek ile verilmek üzere bir uygulama yapılması benimsenmiştir. Bu bağlamda, Kocaeli ili uygun bir il olarak seçilmiş ve “Kocaeli ili için Kentsel Katı Atık Yakma Tesisi Enerji-Ekonomik Analizi” yapılmıştır. Enerji-ekonomik analiz yapılırken, ülkemizde katı atık yakma tesisi olmayışından kaynaklı veri eksikliği olması nedeniyle İZAYDAŞ Tehlikeli atık bertaraf tesisi verileri referans olarak hesaplar gerçekleştirilmiştir.

Türkiye genelinde büyük oranda kullanıldığı gibi Kocaeli ilinde de atık bertarafı olarak düzenli depolama yöntemi kullanılmaktadır. İZAYDAŞ yönetimindeki Kocaeli ili mevcut düzenli depolama alanlarının beş yıl içinde dolması beklenmektedir. Doğan ihtiyacı karşılamak için Kocaeli’de yeni depolama alanlarının tahsisi nüfus artışı ile birlikte alan ihtiyacının artması gibi nedenlerle önemli bir sorun oluşturacak mahiyettedir. Bu bakımdan, yapılan bu çalışma, Kocaeli ili için üzerinde durulması ve zaman içinde hayata geçirilmesi önem kazanacak bir tesis için yapılmış bulunmaktadır.

Bu Yüksek Lisans Tez çalışması sonucunda Kocaeli ili için 2018 yılında devreye girecek 56 MW kurulu güce sahip yakma tesisi tasarlanmıştır. Bu tesis aynı zamanda Kocaeli ili atık projeksiyonuna uygun şekilde hizmet verecektir. Bu kapsamda başlangıçta tesisimizde üç adet fırın-kazan hattı olacağı öngörülmüştür. İlerleyen yıllardaki atık miktarındaki artışa cevap verebilmek adına bir ek fırın-kazan hattını

da devreye alarak yakma tesisi Kocaeli iline hizmet verecek şekilde düşünülmüştür. Bu bağlamda uygulamaya enerji ve kütle dengesi hesaplamaları ile başlanmıştır. Buhar miktarı ve besleme suyu hesapları yapılmış, baca gazı ve soğutma suyu hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Buhar türbininde üretilen elektrik enerjisi hesaplanmış, tesis için kurulu güç ve verim hesabı da yapılmıştır.

Kocaeli evsel katı atık yakma tesisine ilişkin ekonomik analiz yapılırken, üç farklı senaryo esas alınmıştır. Bu senaryolardaki farklılık elektrik enerjisi satış fiyatındaki belirsizlikten kaynaklanmaktadır. Ülkemizde bu tür tesisin olmayışı ve ülke gündeminde de yoğun olarak bulunmayışı gibi nedenlerle yasal mevzuatta eksiklikler söz konusudur.

Kocaeli evsel katı atık yakma tesisinin, yenilenebilir enerji kaynağı ile elde edilen elektrik enerjisi kapsamında biyokütle kategorisinde değerlendirilebilmesi söz konusudur. Bu bağlamda, elektrik enerjisi satış fiyatı ilk on yıl için 13,3 US\$cent/kWh olarak alınabilmektedir.

Kocaeli evsel katı atık yakma tesisine ilişkin ekonomik analiz yapılırken, üç farklı senaryo (Senaryo I, Senaryo II ve Senaryo III) ile ilk senaryonun bir versiyonu (Senaryo I+) ile çalışılmıştır. Bu senaryolardaki farklılık elektrik enerjisi satış fiyatındaki belirsizlikten kaynaklanmaktadır. Tesise ilişkin kurulum maliyeti 250 milyon US\$ olarak belirlenmiş ve tesis için geri ödeme planları hazırlanmıştır.

Yapılan ekonomik analiz sonucunda, en uygun geri ödeme planının Senaryo-I+ olduğu tespit edilmiştir. Bu senaryoya göre tesisin kendisini 16 yılda geri ödemesi gerçekleşmektedir.

Evsel katı atık yakma tesislerinin kurulum maliyetleri oldukça yüksektir. Bu bağlamda, diğer enerji santralleri ile maliyet analizi kıyaslaması yapmak gerçekçi ve doğru bir yaklaşım olmamaktadır. Zira, bu tip tesislerin gerçek amacı atıkların çevreye zarar vermeden bertaraf edilmesi olmaktadır.

Bu kapsamda, bu tesisler atık bertaraf teknolojileri içerisinde yer alan diğer yöntemlerin maliyetiyle kıyaslanması belki daha uygun olmaktadır. Öte yandan, bu güçte bir tesis, ancak yakma teknolojisiyle mümkün olabileceğinden diğer atık bertaraf yöntemleriyle de mukayese yapılması mümkün olamamaktadır.

Çalışmamızda bütüncül bir yaklaşımla Yakma Tesisini ele aldık. Enerji-Ekonomi analizi çalışmalarında bu nedenle belirli kabullerle hesaplamalar yapılmıştır. Bu çalışmadan sonra Yakma Tesisi üzerine çalışmayı planlayanlar için karşılaştığımız durumlara ilişkin birkaç öneride bulunmak gerekirse:

- Birçok üniteden oluşan tesisin bir ünitesi üzerine odaklanarak ünite detayına inilebilir.
- Çevresel şartları hesaplamalarımızda varsayımlarla ele aldık. Özellikle enerji dengesi hesaplamaları gibi çevresel şartlarla değişkenlik gösteren durumlar düşünülürse bu konu üzerine çalışmak önem kazanacaktır.
- Fırın sıcaklığı ve stokiyometrik hava oranı arasındaki değişim ve bunlarla Filtre sistemi değişimi önemli bir başlık olarak da durmaktadır.
- Ekonomik Analiz çalışmasında Atık Bertaraf Bedeli Projeksiyonu oluşturmak ve uluslararası yatırım bankalarından kredi desteği alınması gibi başlıklar incelenebilir.

Ülkemizde Katı Atık Yakma Tesisinin bulunmayışı ve bu konu hakkında kamuoyunda yeterli gündem olmayışı düşünüldüğünde akademik düzeyde bu alanda çalışma yapmak farkındalığı ve bu tesislerin gerekliliği konusunda bu alana dikkat çekecektir.

Öz olarak, henüz ülkemizde kullanımda olmayan bir tesis olan evsel katı atık yakma tesisine ilişkin enerji-ekonomik analiz, bu çalışmayla yapılabilmüş ve çevreyi destekleyen, yerel elektrik enerjisinin karşılanmasına yönelik olarak elektrik üretimine hizmet veren bir tesisin geri ödeme araştırmasıyla irdelemesi gerçekleştirilmiştir.



## KAYNAKLAR

- AB Çevre Ajansı** (2009). Municipal Waste Incineration Guidebook
- Arıkan, E.** (2013). Çok kriterli karar verme teknikleri ile katı atık bertaraf etme teknolojisi seçimi ve bir uygulama Yüksek Lisans Tezi, Hava Harp Okulu.
- Battal, E.R.** (2011). Entegre Katı Atık Yönetimi Türkiye Uygulaması. Yüksek Lisans tezi. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli
- Büyükbektaş, F. Varınca, K.B.** (2010). Entegre Atık Yönetimi Kavramı ve AB Uyum Sürecinde Atık Çerçeve Yönetmeliği, 1-6
- Brunner R. Calvin,** (1988). Incineration Systems Handbook, McGrawHill
- CEWEP** (2010/11). A decade of Waste to Energy in Europe
- CEWEP** (2012). Waste to Energy's contribution to Resource & Energy Efficiency
- Ceyhan, M.** (2011). Tekirdağ İl Çevre ve Orman Müdürlüğü
- Çağıl, G. ve diğ.** (2013). Enerji ve Makroekonomik Değişkenler arasında İlişki: Türkiye Açısından Bir Uygulama, Muhasebe ve Finansman Dergisi
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı** (2013). Çevresel Göstergeler
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı** (2013). 2013 yılı katı atık düzenli depolama tesisleri mevcut durumu
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı** (2013). Düzenli Depolama Esasları sunumu
- ÇOKA** (2014). Evsel Atıkların Ekonomiye Kazandırılması
- Danimarka Enerji Ajansı** (2006). Waste to Energy in Denmark
- Doğu Marmara Kalkınma Ajansı** (2013). Kocaeli Atık Envanteri
- Dünya Bankası** (2012). Bölgelere göre Atık Üretimi
- Ekmekçioğlu, M. Kaya, T. Kahraman, C.** (2010). Fuzzy Multicriteria Disposal Method and Site Selection for Municipal Solid Waste, Waste Management, 30, 1729-1736
- Energy from Waste, A Wasted Opportunity?** (2006). Institution of Mechanical Engineers, Energy-UK
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı** (2013). Enerji ve Stratejik Plan
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı** (2014). Dünya ve Ülkemiz Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı** (2014). Meclis Bütçe Konuşması
- European Waste Incineration Directive** (2000). 2000/76/EC

- Erdoğan, D.** (2010). Belediye Atıkları Yönetiminde Biyometanizasyon Teknolojisi, Sunu, Çevre ve Orman Bakanlığı Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, İstanbul, 1-26.
- EUROSTAT** (2012). AB Katı Atık Miktarları ve Atıktan Enerji Üretimi Değerleri
- Global Energy Network Institute**, (2010). Waste to Energy
- Gomez, E., Amutha Rania, D.** (2008). Thermal plasma technology for the treatment of wastes, A critical review Journal of Hazardous Materials
- Güler, Ç., Çobanoğlu, Z.,** (1996). Sağlık Açısından Çöp, Tıbbi Dokümantasyon Merkezi Toplum Sağlığı Dizisi No: 14, Ankara.
- Hanan, D. Burnley, S. Cooke D.** (2012). A Multi-Criteria Decision Analysis Assessment Of Waste Paper Management Options, Waste Management, 1-8.
- İZAYDAŞ** (2013). Tanıtım Kitapçığı
- Kemirtlek, A.** (2006). Entegre Katı Atık Yönetimi, İSTAÇ
- Kenneth G. Oliver**, (1989). Industrial Boiler Management, Industriel Press Inc.
- Kocaeli Büyükşehir Belediyesi** (2013). Çevre ve Orman
- Kocaeli Valiliği** (2013). Çevre Durum Raporu
- Magrinho, A. Didelet, F. Semiao, V.** (2006). Municipal Solid Waste Disposal in Portugal, Waste Management 26, 1477–1489.
- Mayor of London**, (2008). Cost of incineration and non-incineration energy from waste Technologies
- Mi, L. Liu, N. Zhou, B.** (2010). Disposal Methods for Municipal Solid Wastes and Its Development Trend, School of Power and Energy, Northwestern Polytechnical University Xi'an, China, IEEE, 1-4.
- Milli Eğitim Bakanlığı** (2009). Çevre Koruma Katı Atık Toplama
- Muşdal, H.** (2007). Tıbbi Atıkları İşleme ve Bertaraf Etme Teknolojisi Seçme Problemine Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Bulanık Analitik Ağ Prosesi Yaklaşımı. Yüksek Lisans tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı** (1991). Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği
- Öztürk, İ.** (2014). Current Status of Integral Municipal Solid Waste Management In Turkey, EURASIA 2014 Waste Management Symposium
- Palabıyık, H., D. Altunbaş,** (2004). Kentsel Katı Atıklar ve Yönetimi, Çevre Sorunlarına Çağdaş Yaklaşımlar: Ekolojik, Ekonomik, Politik ve Yönetimsel Perspektifler, Beta, İstanbul
- Sakarya, O.** (2014). Türkiye’de Kömürden Elektrik Üretimi, EMO Enerji Birimi
- Saltabaş, F. ve diğ.** (2011) Municipal Solid Waste Thermal Disposal Methods and its Applicability in İstanbul, YTÜ Sigma-3, 109-116
- Saraç, M. Uludağ, O.** (2010). Dünyada ve Türkiyede Atıktan Enerji Üretimi, Elektrik Mühendisleri Odası



- Sezer, K.** (2011). Entegre Katı Atık Yönetimi ve Son Teknolojiler, İSTAÇ A.Ş., Sunu, Giresun Katı Atık Yönetimi Semineri, 10 Haziran, 1-69.
- Sezer, K. Yıldız, Ş. Saltabaş, F. Balahorli, V. Yağmur, K.** (2009). Organik Atıklardan Biyogaz Üretimi (Biyometanizasyon) Projesi – İstanbul Örneği, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu, 15-17 Haziran, 1-8.
- Tchobanoglous, G.,Theisen, H.** (1993). Integrated Solid Waste Management, McGraw-Hill
- Temelis, Nickolas J.,** (2003). An overview of the global waste-to-energyindustry, Waste Management World.
- Tezçakar, M. ve Can, O.** (2011). Atıktan Enerji Eldesinde Termal Bertaraf Teknolojileri, Recydia A.Ş., 1-6.
- The Gold Standard** (2006). Voluntaryemissionreductions Manuel for Project developers,
- The World Bank – ESMAP,** (2004). HandbookforthePreparation of LandfillGas toEnergyProjects in Latin Americaand the Caribbean
- Tolay, M.** (2008).Katı Atıklardan ve Biyokütleden Enerji Üretimi Teknolojileri veEntegre Katı Atık Yönetiminde Yatırım Fizibilite Çalışmaları,Tolay Energy
- Tuğrul,A.B.,** (2014a). Energy, Sustainable Development and Importance of Worlwide Cooperation, Novel Energy for the Regenerative Built Environment Technical and Managerial Aspects Workshop, 3-6 Mart 2014, İstanbul
- Tuğrul,A.B.,** (2014b). Energy Policy and Sustainable Development, Novel Energy and Biotechnology Developments in the Sustainable Built Environment Workshop, 24-27 Mart 2014, İstanbul
- Tuğrul,A.B.,** (2014d) “Energy Policy and Interactions with Politics and Economics, International Conference on Energy Environmental Engineering– ICEEE 2014”, 21-22 November2014, Paris-France,Proc.pp.801-804
- Tuğrul,A.B.,Çimen,S.,** (2014c). “Assessment of Sustainable Energy Development, ICEM-2014, 5-7 June, 2014, Istanbul, Springer
- TÜİK** (2013). Sera Emisyon Envanteri
- TÜİK** (2013). Nüfus Bilgileri
- TÜİK** (2013). Katı Atık Miktarı
- Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası** (2013/II). Ödemeler Dengesi Raporu
- UK Departmentfor Environment Food & Rural Affairs** (2014). EnergyfromWaste  
A Guide toDebate
- US Department of Energy** (2005). Energy Policy Act
- US Department of Energy** (2005). BiomassandAlternative Methane Fuels Fact Sheet
- Vesilind, P.** (2011). Solid Waste Engineering,

- World Bank**, (2000). Decision's Maker Guide
- World Bank**, (2000). Municipal Solid Waste Incineration
- Yaman, C.** (2011). İstanbul'da Atık Yönetimi, Sunu, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Daire Başkanlığı , İstanbul, 1-30.
- Yıldız, Ş. Ölmez, E. Kiriş, A.** (2009). Kompost Teknolojileri ve İstanbul'daki Uygulamaları, İSTAÇ A.Ş., Kompostlaştırma Sistemleri ve Kompostun Kullanım Alanları Çalıştayı, 19-29 Haziran, 1-12.
- Yılmaz, A. H., Atalay, F. S.,** (2004). Çeşitli Organik Katı Atıkların Anaerobik Fermantasyonu ve Modelleme Çalışmaları, V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, s. 619-626.
- Yiğitoğlu, M. İnal, M. Gökğöz, M.** (2011). Alternatif Bir Enerji Kaynağı Olarak
- Url-1** <[http://www.aso.org.tr/kurumsal/index.php?sayfa\\_no=55](http://www.aso.org.tr/kurumsal/index.php?sayfa_no=55) >, alındığı tarih 10.11.2014
- Url-2** <<http://www.ibb.gov.tr/sites/atikyonetimi/Documents/pdf/kompost-nedir.pdf>> alındığı tarih 20.12.2014
- Url-3** < <http://www.pales.com.tr>>, alındığı tarih 07.01.2015
- Url-4** <<http://www.ekipmuhendislik.com.tr>>, alındığı tarih 09.01.2015
- Url-5** < <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyoetanol.aspx>>, alındığı tarih 06.01.2015
- Url-6** < <http://wastebusters.com.pk/refuse-derived-fuel/>>, alındığı tarih 17.02.2015
- Url-7** <<http://www.marmore.com.tr/teknolojiler-piroliz>>, alındığı tarih 03.01.2015
- Url- 8**<[http://tr.wikipedia.org/wiki/Türkiye'de\\_iller\\_bazında\\_kişi\\_başına\\_düşen\\_yıllık\\_milli\\_gelir](http://tr.wikipedia.org/wiki/Türkiye'de_iller_bazında_kişi_başına_düşen_yıllık_milli_gelir) >, alındığı tarih 26.04.2015
- Url-9**<[http://www.plasmatreat.com.tr/plazma\\_teknolojisi/plazma\\_nedir.html](http://www.plasmatreat.com.tr/plazma_teknolojisi/plazma_nedir.html)>, alındığı tarih 03.01.2015

## **EKLER**

- EK A:** Hava ve nem için sıcaklık değişimine bağlı entalpi değişimi
- EK B:** Stokiyometrik yanma için atığın yanma parametrik değerleri
- EK C:** Doymuş suyun özellikleri – sıcaklık tablosu
- EK D:** Doymuş suyun özellikleri – basınç tablosu
- EK E:** Kızgın buhar tablosu
- EK F:** Farklı senaryolara ilişkin nakit akışı

**EK A****Çizelge E.1:** Hava ve nem için sıcaklık değişimine bağlı entalpi değişimi.

Hava ve nem için sıcaklık değişimine bağlı entalpi değişimi		
T (Sıcaklık) [°C]	h (hava) [kCal/kg]	h (H <sub>2</sub> O) [kCal/kg]
65.56	12.0004	606.3594
93.33	18.6863	620.0757
121.11	25.3834	633.4587
148.89	32.1028	646.6753
176.67	38.8609	659.8362
204.44	45.6413	672.9417
232.22	52.4495	686.0748
260	59.3021	699.2635
287.78	66.1991	712.5078
315.56	73.1294	725.8632
343.33	80.1042	739.2740
371.11	87.1122	752.8514
398.89	94.1750	766.4844
426.67	104.0549	780.2285
454.44	108.4308	794.1114
482.22	115.6221	808.1608
510	122.8634	822.2658
537.78	130.1436	836.5374
565.56	137.4682	850.9645
593.33	144.8317	865.3582
621.11	152.2396	880.0630
648.89	159.6800	894.7344
676.67	167.1609	909.7501
704.44	174.6798	924.6659
732.22	182.2377	939.6761
760	189.8344	955.0416
787.78	197.4588	970.5237
815.56	205.1167	985.9727
871.11	220.5544	1017.4034
926.67	236.0532	1049.6062
982.22	251.6909	1081.7645
1037.8	267.4230	1114.6113
1093.3	283.2495	1148.0690
1148.9	299.1592	1182.0988
1204.4	315.1523	1216.0951
1260	331.2176	1250.9023
1315.6	347.3606	1285.7317
1371.1	363.5646	1320.4277
1426.7	379.8409	1356.8008
1482.2	396.1727	1394.8843

**EK B****Çizelge E.2:** Stokiyometrik yanma için atığın yanma parametrik değerleri.

Q [kCal]	Hava [kg/kCal]	kuru gaz [kg/kCal]	Nem [kg/kCal]
1008	0.001239	0.001569	0.000121
1261.95	0.001252	0.001500	0.000113
1513.9	0.001262	0.001454	0.000107
1765.58	0.001268	0.001422	0.000103
2017.52	0.001273	0.001398	0.000101
2269.2	0.001277	0.001379	0.000098
2523.163	0.001280	0.001363	0.000097
2274.85	0.001283	0.001351	0.000095
3026.787	0.001285	0.001341	0.000094
3278.47	0.001286	0.001332	0.000093
3530.41	0.001288	0.001325	0.000092
3782.096	0.001289	0.001318	0.000091
4036.052	0.001290	0.001312	0.000091
4287.74	0.001291	0.001307	0.000090

**EK C**

**Çizelge E.3:** Doymuş suyun özellikler – sıcaklık tablosu.

$T, ^\circ\text{C}$	$P, \text{MPa}$	<b>Hacim, m<sup>3</sup>/kg</b>		<b>Enerji, kJ/kg</b>		<b>Entalpi, kJ/kg</b>			<b>Entropi, kJ/kg·K</b>		
		$v_f$	$v_g$	$u_f$	$u_g$	$h_f$	$h_{fg}$	$h_g$	$s_f$	$s_{fg}$	$s_g$
100	0.1013	0.001044	1.673	418.9	2506.5	419.0	2257.0	2676.0	1.3071	6.0486	7.3557
110	0.1433	0.001052	1.210	461.1	2518.1	461.3	2230.2	2691.5	1.4188	5.8207	7.2395
120	0.1985	0.001060	0.8919	503.5	2529.2	503.7	2202.6	2706.3	1.5280	5.6024	7.1304
130	0.2701	0.001070	0.6685	546.0	2539.9	546.3	2174.2	2720.5	1.6348	5.3929	7.0277
140	0.3613	0.001080	0.5089	588.7	2550.0	589.1	2144.8	2733.9	1.7395	5.1912	6.9307
150	0.4758	0.001090	0.3928	631.7	2559.5	632.2	2114.2	2746.4	1.8422	4.9965	6.8387
160	0.6178	0.001102	0.3071	674.9	2568.4	675.5	2082.6	2758.1	1.9431	4.8079	6.7510
170	0.7916	0.001114	0.2428	718.3	2576.5	719.2	2049.5	2768.7	2.0423	4.6249	6.6672
180	1.002	0.001127	0.1941	762.1	2583.7	763.2	2015.0	2778.2	2.1400	4.4466	6.5866
190	1.254	0.001141	0.1565	806.2	2590.0	807.5	1978.8	2786.4	2.2363	4.2724	6.5087
200	1.554	0.001156	0.1274	850.6	2595.3	852.4	1940.8	2793.2	2.3313	4.1018	6.4331
210	1.906	0.001173	0.1044	895.5	2599.4	897.7	1900.8	2798.5	2.4253	3.9340	6.3593
220	2.318	0.001190	0.08620	940.9	2602.4	943.6	1858.5	2802.1	2.5183	3.7686	6.2869
230	2.795	0.001209	0.07159	986.7	2603.9	990.1	1813.9	2804.0	2.6105	3.6050	6.2155
240	3.344	0.001229	0.05977	1033.2	2604.0	1037.3	1766.5	2803.8	2.7021	3.4425	6.1446
250	3.973	0.001251	0.05013	1080.4	2602.4	1085.3	1716.2	2801.5	2.7933	3.2805	6.0738
260	4.688	0.001276	0.04221	1128.4	2599.0	1134.4	1662.5	2796.9	2.8844	3.1184	6.0028
270	5.498	0.001302	0.03565	1177.3	2593.7	1184.5	1605.2	2789.7	2.9757	2.9553	5.9310
280	6.411	0.001332	0.03017	1227.4	2586.1	1236.0	1543.6	2779.6	3.0674	2.7905	5.8579
290	7.436	0.001366	0.02557	1278.9	2576.0	1289.0	1477.2	2766.2	3.1600	2.6230	5.7830
300	8.580	0.001404	0.02168	1332.0	2563.0	1344.0	1405.0	2749.0	3.2540	2.4513	5.7053
310	9.856	0.001447	0.01835	1387.0	2546.4	1401.3	1326.0	2727.3	3.3500	2.2739	5.6239
320	11.27	0.001499	0.01549	1444.6	2525.5	1461.4	1238.7	2700.1	3.4487	2.0883	5.5370
330	12.84	0.001561	0.01300	1505.2	2499.0	1525.3	1140.6	2665.9	3.5514	1.8911	5.4425
340	14.59	0.001638	0.01080	1570.3	2464.6	1594.2	1027.9	2622.1	3.6601	1.6765	5.3366
350	16.51	0.001740	0.008815	1641.8	2418.5	1670.6	893.4	2564.0	3.7784	1.4338	5.2122
360	18.65	0.001892	0.006947	1725.2	2351.6	1760.5	720.7	2481.2	3.9154	1.1382	5.0536
370	21.03	0.002213	0.004931	1844.0	2229.0	1890.5	442.2	2332.7	4.1114	0.6876	4.7990
374.136	22.088	0.003155	0.003155	2029.6	2029.6	2099.3	0.0	2099.3	4.4305	0.0000	4.4305

EK D

Cizelge E.4: Doymuş suyun özellikleri – basınç tablosu.

P, MPa	T, °C	Hacim, m <sup>3</sup> /kg		Enerji, kJ/kg		Entalpi, kJ/kg			Entropi, kJ/kg-K		
		v <sub>f</sub>	v <sub>g</sub>	u <sub>f</sub>	u <sub>g</sub>	h <sub>f</sub>	h <sub>fg</sub>	h <sub>g</sub>	s <sub>f</sub>	s <sub>fg</sub>	s <sub>g</sub>
0.000611	0.01	0.001000	206.1	0.0	2375.3	0.0	2501.3	2501.3	0.0000	9.1571	9.1571
0.0008	3.8	0.001000	159.7	15.8	2380.5	15.8	2492.5	2508.3	0.0575	9.0007	9.0582
0.001	7.0	0.001000	129.2	29.3	2385.0	29.3	2484.9	2514.2	0.1059	8.8706	8.9765
0.0012	9.7	0.001000	108.7	40.6	2388.7	40.6	2478.5	2519.1	0.1460	8.7639	8.9099
0.0014	12.0	0.001001	93.92	50.3	2391.9	50.3	2473.1	2523.4	0.1802	8.6736	8.8538
0.0016	14.0	0.001001	82.76	58.9	2394.7	58.9	2468.2	2527.1	0.2101	8.5952	8.8053
0.0018	15.8	0.001001	74.03	66.5	2397.2	66.5	2464.0	2530.5	0.2367	8.5259	8.7626
0.002	17.5	0.001001	67.00	73.5	2399.5	73.5	2460.0	2533.5	0.2606	8.4639	8.7245
0.003	24.1	0.001003	45.67	101.0	2408.5	101.0	2444.5	2545.5	0.3544	8.2240	8.5784
0.004	29.0	0.001004	34.80	121.4	2415.2	121.4	2433.0	2554.4	0.4225	8.0529	8.4754
0.006	36.2	0.001006	23.74	151.5	2424.9	151.5	2415.9	2567.4	0.5208	7.8104	8.3312
0.008	41.5	0.001008	18.10	173.9	2432.1	173.9	2403.1	2577.0	0.5924	7.6371	8.2295
0.01	45.8	0.001010	14.67	191.8	2437.9	191.8	2392.8	2584.6	0.6491	7.5019	8.1510
0.012	49.4	0.001012	12.36	206.9	2442.7	206.9	2384.1	2591.0	0.6961	7.3910	8.0871
0.014	52.6	0.001013	10.69	220.0	2446.9	220.0	2376.6	2596.6	0.7365	7.2968	8.0333
0.016	55.3	0.001015	9.433	231.5	2450.5	231.5	2369.9	2601.4	0.7719	7.2149	7.9868
0.018	57.8	0.001016	8.445	241.9	2453.8	241.9	2363.9	2605.8	0.8034	7.1425	7.9459
0.02	60.1	0.001017	7.649	251.4	2456.7	251.4	2358.3	2609.7	0.8319	7.0774	7.9093
0.03	69.1	0.001022	5.229	289.2	2468.4	289.2	2336.1	2625.3	0.9439	6.8256	7.7695
0.04	75.9	0.001026	3.993	317.5	2477.0	317.5	2319.1	2636.7	1.0260	6.6449	7.6709
0.06	85.9	0.001033	2.732	359.8	2489.6	359.8	2293.7	2653.5	1.1455	6.3873	7.5328
0.08	93.5	0.001039	2.087	391.6	2498.8	391.6	2274.1	2665.7	1.2331	6.2023	7.4354
0.1	99.6	0.001043	1.694	417.3	2506.1	417.3	2258.1	2675.5	1.3029	6.0573	7.3602
0.12	104.8	0.001047	1.428	439.2	2512.1	439.2	2244.2	2683.5	1.3611	5.9378	7.2980
0.14	109.3	0.001051	1.237	458.2	2517.3	458.2	2232.0	2690.4	1.4112	5.8360	7.2472
0.16	113.3	0.001054	1.091	475.2	2521.8	475.2	2221.2	2696.5	1.4553	5.7472	7.2025
0.18	116.9	0.001058	0.9775	490.5	2525.9	490.5	2211.1	2701.8	1.4948	5.6683	7.1631
0.2	120.2	0.001061	0.8857	504.5	2529.5	504.5	2201.9	2706.6	1.5305	5.5975	7.1280
0.3	133.5	0.001073	0.6058	561.1	2543.6	561.1	2163.8	2725.3	1.6722	5.3205	6.9927
0.4	143.6	0.001084	0.4625	604.3	2553.6	604.3	2133.8	2738.5	1.7770	5.1197	6.8967
0.6	158.9	0.001101	0.3157	669.9	2567.4	669.9	2086.2	2756.8	1.9316	4.8293	6.7609
0.8	170.4	0.001115	0.2404	720.2	2576.8	720.2	2048.0	2769.1	2.0466	4.6170	6.6636
1	179.9	0.001127	0.1944	761.7	2583.6	761.7	2015.3	2778.1	2.1391	4.4482	6.5873
1.2	188.0	0.001139	0.1633	797.3	2588.8	797.3	1986.2	2784.8	2.2170	4.3072	6.5242
1.4	195.1	0.001149	0.1408	828.7	2592.8	828.7	1959.7	2790.0	2.2847	4.1854	6.4701
1.6	201.4	0.001159	0.1238	856.9	2596.0	856.9	1935.2	2794.0	2.3446	4.0780	6.4226
1.8	207.2	0.001168	0.1104	882.7	2598.4	882.7	1912.3	2797.1	2.3986	3.9816	6.3802
2	212.4	0.001177	0.09963	906.4	2600.3	906.4	1890.7	2799.5	2.4478	3.8939	6.3417
3	233.9	0.001216	0.06668	1004.8	2604.1	1004.8	1795.7	2804.1	2.6462	3.5416	6.1878
4	250.4	0.001252	0.04978	1082.3	2602.3	1082.3	1714.1	2801.4	2.7970	3.2739	6.0709
6	275.6	0.001319	0.03244	1205.4	2589.7	1213.3	1571.0	2784.3	3.0273	2.8627	5.8900
8	295.1	0.001384	0.02352	1305.6	2569.8	1316.6	1441.4	2758.0	3.2075	2.5365	5.7440
10	311.1	0.001452	0.01803	1393.0	2544.4	1407.6	1317.1	2724.7	3.3603	2.2546	5.6149
12	324.8	0.001527	0.01426	1472.9	2513.7	1491.3	1193.6	2684.9	3.4970	1.9963	5.4933
14	336.8	0.001611	0.01149	1548.6	2476.8	1571.1	1066.5	2637.6	3.6240	1.7486	5.3726
16	347.4	0.001711	0.009307	1622.7	2431.8	1650.0	930.7	2580.7	3.7468	1.4996	5.2464
18	357.1	0.001840	0.007491	1698.9	2374.4	1732.0	777.2	2509.2	3.8722	1.2332	5.1054
20	365.8	0.002036	0.005836	1785.6	2293.2	1826.3	583.7	2410.0	4.0146	0.9135	4.9281
22.088	374.136	0.003155	0.003155	2029.6	2029.6	2099.3	0.0	2099.3	4.4305	0.0000	4.4305

**Çizelge E.5: Kızgın buhar tablosu.**

T	v				u				h				s			
	P = 0.010 MPa (45.81 °C)				P = 0.050 MPa (81.33 °C)				P = 0.10 MPa (99.63 °C)							
	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s				
Doy.	14.674	2437.9	2584.7	8.1502	3.240	2483.9	2645.9	7.5939	1.6940	2506.1	2675.5	7.3594				
50	14.869	2443.9	2592.6	8.1749												
100	17.196	2515.5	2687.5	8.4479	3.418	2511.6	2682.5	7.6947	1.6958	2506.7	2676.2	7.3614				
150	19.512	2587.9	2783.0	8.6882	3.889	2585.6	2780.1	7.9401	1.9364	2582.8	2776.4	7.6134				
200	21.825	2661.3	2879.5	8.9038	4.356	2659.9	2877.7	8.1580	2.172	2658.1	2875.3	7.8343				
250	24.136	2736.0	2977.3	9.1002	4.820	2735.0	2976.0	8.3556	2.406	2733.7	2974.3	8.0333				
300	26.445	2812.1	3076.5	9.2813	5.284	2811.3	3075.5	8.5373	2.639	2810.4	3074.3	8.2158				
400	31.063	2968.9	3279.6	9.6077	6.209	2968.5	3278.9	8.8642	3.103	2967.9	3278.2	8.5435				
500	35.679	3132.3	3489.1	9.8978	7.134	3132.0	3488.7	9.1546	3.565	3131.6	3488.1	8.8342				
600	40.295	3302.5	3705.4	10.1608	8.057	3302.2	3705.1	9.4178	4.028	3301.9	3704.7	9.0976				
700	44.911	3479.6	3928.7	10.4028	8.981	3479.4	3928.5	9.6599	4.490	3479.2	3928.2	9.3398				
800	49.526	3663.8	4159.0	10.6281	9.904	3663.6	4158.9	9.8852	4.952	3663.5	4158.6	9.5652				
900	54.141	3855.0	4396.4	10.8396	10.828	3854.9	4396.3	10.0967	5.414	3854.8	4396.1	9.7767				
1000	58.757	4053.0	4640.6	11.0393	11.751	4052.9	4640.5	10.2964	5.875	4052.8	4640.3	9.9764				
1100	63.372	4257.5	4891.2	11.2287	12.674	4257.4	4891.1	10.4859	6.337	4257.3	4891.0	10.1659				
1200	67.987	4467.9	5147.8	11.4091	13.597	4467.8	5147.7	10.6662	6.799	4467.7	5147.6	10.3463				
1300	72.602	4683.7	5409.7	11.5811	14.521	4683.6	5409.6	10.8382	7.260	4683.5	5409.5	10.5183				
	P = 0.20 MPa (120.23 °C)				P = 0.30 MPa (133.55 °C)				P = 0.40 MPa (143.63 °C)							
Doy.	.8857	2529.5	2706.7	7.1272	.6058	2543.6	2725.3	6.9919	.4625	2553.6	2738.6	6.8959				
150	.9596	2576.9	2768.8	7.2795	.6339	2570.8	2761.0	7.0778	.4708	2564.5	2752.8	6.9299				
200	1.0803	2654.4	2870.5	7.5066	.7163	2650.7	2865.6	7.3115	.5342	2646.8	2860.5	7.1706				
250	1.1988	2731.2	2971.0	7.7086	.7964	2728.7	2967.6	7.5166	.5951	2726.1	2964.2	7.3789				
300	1.3162	2808.6	3071.8	7.8926	.8753	2806.7	3069.3	7.7022	.6548	2804.8	3066.8	7.5662				
400	1.5493	2966.7	3276.6	8.2218	1.0315	2965.6	3275.6	8.0330	.7726	2964.4	3273.4	7.8985				
500	1.7814	3130.8	3487.1	8.5133	1.1867	3130.0	3486.0	8.3251	.8893	3129.2	3484.9	8.1913				
600	2.013	3301.4	3704.0	8.7770	1.3414	3300.8	3703.2	8.5892	1.0055	3300.2	3702.4	8.4558				
700	2.244	3478.8	3927.6	9.0194	1.4957	3478.4	3927.1	8.8319	1.1215	3477.9	3926.5	8.6987				
800	2.475	3663.1	4158.2	9.2449	1.6499	3662.9	4157.8	9.0576	1.2372	3662.4	4157.3	8.9244				
900	2.706	3854.5	4395.8	9.4566	1.8041	3854.2	4395.4	9.2692	1.3529	3853.9	4395.1	9.1362				
1000	2.937	4052.5	4640.0	9.6563	1.9581	4052.3	4639.7	9.4690	1.4685	4052.0	4639.4	9.3360				
1100	3.168	4257.0	4890.7	9.8458	2.1121	4256.5	4890.4	9.6585	1.5840	4256.5	4890.2	9.5256				
1200	3.399	4467.5	5147.3	10.0262	2.2661	4467.2	5147.1	9.8389	1.6996	4467.0	5146.8	9.7060				
1300	3.630	4683.2	5409.3	10.1982	2.4201	4683.0	5409.0	10.0110	1.8151	4682.8	5408.8	9.8780				
	P = 0.50 MPa (151.86 °C)				P = 0.60 MPa (158.85 °C)				P = 0.80 MPa (170.43 °C)							
Doy.	.3749	2561.2	2748.7	6.8213	.3157	2567.4	2756.8	6.7600	.2404	2576.8	2769.1	6.6628				
200	.4249	2642.9	2855.4	7.0592	.3520	2638.9	2850.1	6.9665	.2608	2630.6	2839.3	6.8158				
250	.4744	2723.5	2960.7	7.2709	.3938	2720.9	2957.2	7.1816	.2931	2715.5	2950.0	7.0384				
300	.5226	2802.9	3064.2	7.4599	.4344	2801.0	3061.6	7.3724	.3241	2797.2	3056.5	7.2328				
350	.5701	2882.6	3167.7	7.6329	.4742	2881.2	3165.7	7.5464	.3544	2878.2	3161.7	7.4089				
400	.6173	2963.2	3271.9	7.7938	.5137	2962.1	3270.3	7.7079	.3843	2959.7	3267.1	7.5716				
500	.7109	3128.4	3483.9	8.0873	.5920	3127.6	3482.8	8.0021	.4433	3126.0	3480.6	7.8673				
600	.8041	3299.6	3701.7	8.3522	.6697	3299.1	3700.9	8.2674	.5018	3297.9	3699.4	8.1333				
700	.8969	3477.5	3925.9	8.5952	.7472	3477.0	3925.3	8.5107	.5601	3476.2	3924.2	8.3770				
800	.9896	3662.1	4156.9	8.8211	.8245	3661.8	4156.5	8.7367	.6181	3661.1	4155.6	8.6033				
900	1.0822	3853.6	4394.7	9.0329	.9017	3853.4	4394.4	8.9486	.6761	3852.8	4393.7	8.8153				
1000	1.1747	4051.8	4639.1	9.2328	.9788	4051.5	4638.8	9.1485	.7340	4051.0	4638.2	9.0153				
1100	1.2672	4256.3	4889.9	9.4224	1.0559	4256.1	4889.6	9.3381	.7919	4255.6	4889.1	9.2050				
1200	1.3596	4466.8	5146.6	9.6029	1.1330	4466.5	5146.3	9.5185	.8497	4466.1	5145.9	9.3855				
1300	1.4521	4682.5	5408.6	9.7749	1.2101	4682.3	5408.3	9.6906	.9076	4681.8	5407.9	9.5575				
	P = 4.0 MPa (250.40 °C)				P = 4.5 MPa (257.49 °C)				P = 5.0 MPa (263.99 °C)							
Doy.	.049 78	2602.3	2801.4	6.0701	.044 06	2600.1	2798.3	6.0198	.039 44	2597.1	2794.3	5.9734				
275	.054 57	2667.9	2886.2	6.2285	.047 30	2650.3	2863.2	6.1401	.041 41	2631.3	2838.3	6.0544				
300	.058 84	2725.3	2960.7	6.3615	.051 35	2712.0	2943.1	6.2828	.045 32	2698.0	2924.5	6.2084				
350	.066 45	2826.7	3092.5	6.5821	.058 40	2817.8	3080.6	6.5131	.051 94	2808.7	3068.4	6.4493				
400	.073 41	2919.9	3213.6	6.7690	.064 75	2913.3	3204.7	6.7047	.057 81	2906.6	3195.7	6.6459				
450	.080 02	3010.2	3330.3	6.9363	.070 74	3005.0	3323.3	6.8746	.063 30	2999.7	3316.2	6.8186				
500	.086 43	3099.5	3445.3	7.0901	.076 51	3095.3	3439.6	7.0301	.068 57	3091.0	3433.8	6.9759				
600	.098 85	3279.1	3674.4	7.3688	.087 65	3276.0	3670.5	7.3110	.078 69	3273.0	3666.5	7.2589				
700	.110 95	3462.1	3905.9	7.6198	.098 47	3459.9	3903.0	7.5631	.088 49	3457.6	3900.1	7.5122				
800	.122 87	3650.0	4141.5	7.8502	.109 11	3648.3	4139.3	7.7942	.098 11	3646.6	4137.1	7.7440				
900	.134 69	3843.6	4382.3	8.0647	.119 65	3842.2	4380.6	8.0091	.107 62	3840.7	4378.8	7.9593				
1000	.146 45	4042.9	4628.7	8.2662	.130 13	4041.6	4627.2	8.2108	.117 07	4040.4	4625.7	8.1612				
1100	.158 17	4248.0	4880.6	8.4567	.140 56	4246.8	4879.3	8.4015	.126 48	4245.6	4878.0	8.3520				
1200	.169 87	4458.6	5138.1	8.6376	.150 98	4457.5	5136.9	8.5825	.135 87	4456.3	5135.7	8.5331				
1300	.181 56	4674.3	5400.5	8.8100	.161 39	4673.1	5399.4	8.7549	.145 26	4672.0	5398.2	8.7055				



**EK F****Çizelge E.6: Senaryo-I nakit akışı-1.**

<b>Senaryo-I</b>	<b>Yıl</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>
Özsermaye	US\$	50 000 000	0								
Kredi	US\$		100 000.000	100 000.000							
Faiz Ödemesi	US\$	0	0	0	14 000 000	12 600 000	11 200 000	9 800 000	8 400 000	7 000 000	5 600 000
Anapara Ödemesi	US\$				20 000 000	20 000 000	20 000 000	20 000 000	20 000 000	20 000 000	20 000 000
Sigorta	US\$/yıl				100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000
İlave Yatırım	US\$/yıl				0	0	0	0	0	0	10 000 000
Yıllık Atık Miktarı	ton/yıl				669 344	695 349	722 363	750 427	779 581	809 868	841 331
İşletme Giderleri	US\$/ton				21.90	21.90	21.90	21.90	21.90	21.90	21.90
İşletme Giderleri	US\$/yıl				14 658 643	15 228 134	15 819 749	16 434 349	17 072 826	17 736 108	18 425 158
Toplam Nakit Çıkışı	US\$/yıl				48 758 643	47 928 134	47 119 749	46 334 349	45 572 826	44 836 108	54 125 158
Enerji Üretimi	kWh/yıl				294.400.000	305.530.599	317 400 511	329 731 571	342 541 695	355 849 494	369 674 303
Enerji Geliri	US\$/yıl				39.155.200	40.635.570	42 214 268	43 854 299	45 558 045	47 327 983	49 166 682
Bertaraf Bedeli	US\$/ton				20	20	20	20	20	20	20
Bertaraf Bedeli	US\$/yıl				13 386 889	13 906 971	14 447 259	15 008 538	15 591 622	16 197 359	16 826 629
Cüruf GD Fiyatı	US\$/ton				0.765	0.765	0.765	0.765	0.765	0.765	0.765
Cüruf GD Geliri	US\$/yıl				512 048	531 942	552 608	574 077	596 380	619 549	643 619
Toplam Gelir	US\$/yıl				53 054 137	55 074 483	57 214 135	59 436 913	61 746 047	64 144 890	66 636 930
NAKİT AÇIĞI/FAZLASI	US\$/yıl				4 295 494	7 146 349	10 094 386	13 102 564	16 173 221	19 308 783	12 511 771
Kümülatif	US\$/yıl				4 295 494	11 441 843	21 536 229	34 638 794	50 812 015	70 120 797	82 632 568

Çizelge E.7: Senaryo-I nakit akışı-2.

2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
4 200 000	2 800 000	1 400 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20 000 000	20 000 000	20 000 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000
10 000 000	12 500 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
874 017	907 973	943 248	979 893	1 017 962	1 057 510	1 098 595	1.141.275	1 185 614	1 231 675	1 279 526	1 329 236
21.90	21.90	21.90	21.90	21.90	21.90	21.90	21.90	21.90	21.90	21.90	21.90
19 140 979	19 884 609	20 657 129	21 459 662	22 293 373	23 159 474	24 059 223	24 993 928	25 964 946	26 973 688	28 021 620	29 110 265
53 440 979	55 284 609	42 157 129	21 559 662	22 393 373	23 259 474	24 159 223	25 093 928	26 064 946	27 073 688	28 121 620	29 210 265
384 036 208	398 956 076	414 455 582	430 557 247	447 284 464	464 661 536	482 713 710	501 467 214	520 949 295	541 188 257	541 188 257	541 188 257
51 076 816	53 061 158	55 122 592	34 444 580	35 782 757	37 172 923	38 617 097	40 117 377	41 675 944	43 295 061	43 295 061	43 295 061
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
17 480 346	18 159 460	18 864 958	19 597 865	20 359 245	21 150 205	21 971 893	22 825 505	23 712 279	24 633 505	25 590 521	26 584 717
0.765	0.765	0.765	0.765	0.765	0.765	0.765	0.765	0.765	0.765	0.765	0.765
668 623	694 599	721 585	749 618	778 741	808 995	840 425	873 076	906 995	942 232	978 837	1 016 865
69 225 785	71 915 218	74 709 135	54 792 063	56 920 743	59 132 123	61 429 415	63 815 958	66 295 218	68 870 797	69 864 419	70 896 643
15 784 806	16 630 609	32 552 006	33 232 401	34 527 370	35 872 649	37 270 192	38 722 030	40 230 272	41 797 109	41 742 799	41 686 378
98 417 374	115 047 983	147 599 989	180 832 390	215 359 760	251 232 409	288 502 601	327 224 630	367 454 902	409 252 011	450 994 810	492 681 188

**Çizelge E.8: Senaryo-I nakit akışı-3.**

2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 380 877	1 434 524	1 490 256	1 548 152	1 608 298	1 670 781	1 735 691	1 803 123	1 873 174	1 945 948	2 021 548
21.90	21.90	21.90	21.90	21.90	21.90	21.90	21.90	21.90	21.90	21.90
30 241 203	31 416 079	32 636 598	33 904 535	35 221 732	36 590 102	38 011 633	39 488 391	41 022 521	42 616 252	44 271 901
30 341 203	31 516 079	32 736 598	34 004 535	35 321 732	36 690 102	38 111 633	39 588 391	41 122 521	42 716 252	44 371 901
541 188 257	541 188 257	541 188 257	541 188 257	541 188 257	541 188 257	541 188 257	541 188 257	541 188 257	541 188 257	541 188 257
43 295 061	43 295 061	43 295 061	43 295 061	43 295 061	43 295 061	43 295 061	43 295 061	43 295 061	43 295 061	43 295 061
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
27 617 537	28 690 483	29 805 113	30 963 046	32 165 965	33 415 618	34 713 820	36 062 457	37 463 489	38 918 952	40 430 959
0.765	0.765	0.765	0.765	0.765	0.765	0.765	0.765	0.765	0.765	0.765
1 056 371	1 097 411	1 140 046	1 184 337	1 230 348	1 278 147	1 327 804	1 379 389	1 432 978	1 488 650	1 546 484
71 968 968	73 082 954	74 240 219	75 442 443	76 691 374	77 988 826	79 336 684	80 736 907	82 191 529	83 702 662	85 272 504
41 627 765	41 566 876	41 503 620	41 437 908	41 369 642	41 298 724	41 225 051	41 148 516	41 069 008	40 986 410	40 900 604
534 308 953	575 875 829	617 379 449	658 817 357	700 186 999	741 485 723	782 710 775	823 859 291	864 928 298	905 914 708	946 815 312

**Çizelge E.9: Senaryo-II nakit akışı-1.**

<b>Senaryo-II</b>	Yıl	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Toplam Nakit Çıkışı	US\$/yıl				48 758 643	47 928 134	47 119 749	46 334 349	45 572 826	44 836 108	54 125 158
Enerji Üretimi	kWh/yıl				294 400 000	305 530 599	317 400 511	329 731 571	342 541 695	355 849 494	369 674 303
Enerji Geliri	US\$/yıl				31 353 600	32 539 009	33 803 154	35 116 412	36 480 691	37 897 971	39 370 313
Bertaraf Bedeli	US\$/yıl				13 386 889	13 906 971	14 447 259	15 008 538	15 591 622	16 197 359	16 826 629
Cüraf GD Geliri	US\$/yıl				512 048	531 942	552 608	574 077	596 380	619 549	643 619
Toplam Gelir	US\$/yıl				45 252 537	46 977 922	48 803 022	50 699 027	52 668 692	54 714 879	56 840 561
NAKİT AÇIĞI/FAZLASI	US\$/yıl				-3 506 106	-950 212	1 683 272	4 364 678	7 095 866	9 878 771	2 715 402
Kümülatif	US\$/yıl				-3 506 106	-4 456 318	-2 773 045	1 591 633	8 687 499	18 566 270	21 281 672

**Çizelge E.10: Senaryo-II nakit akışı-2.**

2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
55 440 979	55 784 609	42 157 129	21 559 662	22 393 373	23 259 474	24 159 223	25 093 928	26 064 946	27 073 688	28 121 620
384 036 208	398 956 076	414 455 582	430 557 247	447 284 464	464 661 536	482 713 710	501 467 214	520 949 295	541 188 257	541 188 257
40 899 856	42 488 822	44 139 520	34 444 580	35 782 757	37 172 923	38 617 097	40 117 377	41 675 944	43 295 061	43 295 061
17 480 346	18 159 460	18 864 958	19 597 865	20 359 245	21 150 205	21 971 893	22 825 505	23 712 279	24 633 505	25 590 521
668 623	694 599	721 585	749 618	778 741	808 995	840 425	873 076	906 995	942 232	978 837
59 048 825	61 342 882	63 726 062	54 792 063	56 920 743	59 132 123	61 429 415	63 815 958	66 295 218	68 870 797	69 864 419
3 607 847	5 558 273	21 568 933	33 232 401	34 527 370	35 872 649	37 270 192	38 722 030	40 230 272	41 797 109	41 742 799
24 889 518	30 447 791	52 016 724	85 249 125	119 776 495	155 649 144	192 919 336	231 641 365	271 871 637	313 668 746	355 411 545

**Çizelge E.11: Senaryo-II nakit akışı-3.**

2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047
29 210 265	30 341 203	31 516 079	32 736 598	34 004 535	35 321 732	36 690 102	38 111 633	39 588 391	41 122 521	42 716 252	44 371 901
541 188 257	541 188 257	541 188 257	541 188 257	541 188 257	541 188 257	541 188 257	541 188 257	541 188 257	541 188 257	541 188 257	541 188 257
43 295 061	43 295 061	43 295 061	43 295 061	43 295 061	43 295 061	43 295 061	43 295 061	43 295 061	43 295 061	43 295 061	43 295 061
26 584 717	27 617 537	28 690 483	29 805 113	30 963 046	32 165 965	33 415 618	34 713 820	36 062 457	37 463 489	38 918 952	40 430 959
1 016 865	1 056 371	1 097 411	1 140 046	1 184 337	1 230 348	1 278 147	1 327 804	1 379 389	1 432 978	1 488 650	1 546 484
70 896 643	71 968 968	73 082 954	74 240 219	75 442 443	76 691 374	77 988 826	79 336 684	80 736 907	82 191 529	83 702 662	85 272 504
41 686 378	41 627 765	41 566 876	41 503 620	41 437 908	41 369 642	41 298 724	41 225 051	41 148 516	41 069 008	40 986 410	40 900 604
397 097 923	438 725 688	480 292 564	521 796 184	563 234 092	604 603 734	645 902 458	687 127 509	728 276 026	769 345 033	810 331 443	851 232 047

**Çizelge E.12: Senaryo-III nakit akışı-1.**

<b>Senaryo-III</b>	Yıl	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Toplam Nakit Çıkışı	US\$/yıl				48 758 643	47 928 134	47 119 749	46 334 349	45 572 826	44 836 108	54 125 158
Enerji Üretimi	kWh/yıl				294 400 000	305 530 599	317 400 511	329 731 571	342 541 695	355 849 494	369 674 303
Enerji Geliri	US\$/yıl				23 552 000	24 442 448	25 392 041	26 378 526	27 403 336	28 467 960	29 573 944
Bertaraf Bedeli	US\$/yıl				13 386 889	13 906 971	14 447 259	15 008 538	15 591 622	16 197 359	16 826 629
Cüraf GD Geliri	US\$/yıl				512 048	531 942	552 608	574 077	596 380	619 549	643 619
Toplam Gelir	US\$/yıl				37 450 937	38 881 361	40 391 908	41 961 140	43 591 337	45 284 867	47 044 192
NAKİT AÇIĞI/FAZLASI	US\$/yıl				-11 307 706	-9 046 773	-6 727 841	-4 373 209	-1 981 489	448 759	-7 080 967
Kümülatif	US\$/yıl				-11 307 706	-20 354 479	-27 082 320	-31 455 528	-33 437 017	-32 988 258	-40 069 225

**Çizelge E.13: Senaryo-III nakit akışı-2.**

2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
55 440 979	55 784 609	42 157 129	21 559 662	22 393 373	23 259 474	24 159 223	25 093 928	26 064 946	27 073 688	28 121 620
384 036 208	398 956 076	414 455 582	430 557 247	447 284 464	464 661 536	482 713 710	501 467 214	520 949 295	541 188 257	541 188 257
30 722 897	31 916 486	33 156 447	34 444 580	35 782 757	37 172 923	38 617 097	40 117 377	41 675 944	43 295 061	43 295 061
17 480 346	18 159 460	18 864 958	19 597 865	20 359 245	21 150 205	21 971 893	22 825 505	23 712 279	24 633 505	25 590 521
668 623	694 599	721 585	749 618	778 741	808 995	840 425	873 076	906 995	942 232	978 837
48 871 866	50 770 546	52 742 989	54 792 063	56 920 743	59 132 123	61 429 415	63 815 958	66 295 218	68 870 797	69 864 419
-6 569 113	-5 014 063	10 585 860	33 232 401	34 527 370	35 872 649	37 270 192	38 722 030	40 230 272	41 797 109	41 742 799
-46 638 338	-51 652 401	-41 066 541	-7 834 140	26 693 230	62 565 879	99 836 071	138 558 100	178 788 372	220 585 481	262 328 280

**Çizelge E.14: Senaryo-III nakit akışı-3.**

2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047
29 210 265	30 341 203	31 516 079	32 736 598	34 004 535	35 321 732	36 690 102	38 111 633	39 588 391	41 122 521	42 716 252	44 371 901
541 188 257	541 188 257	541 188 257	541 188 257	541 188 257	541 188 257	541 188 257	541 188 257	541 188 257	541 188 257	541 188 257	541 188 257
43 295 061	43 295 061	43 295 061	43 295 061	43 295 061	43 295 061	43 295 061	43 295 061	43 295 061	43 295 061	43 295 061	43 295 061
26 584 717	27 617 537	28 690 483	29 805 113	30 963 046	32 165 965	33 415 618	34 713 820	36 062 457	37 463 489	38 918 952	40 430 959
1 016 865	1 056 371	1 097 411	1 140 046	1 184 337	1 230 348	1 278 147	1 327 804	1 379 389	1 432 978	1 488 650	1 546 484
70 896 643	71 968 968	73 082 954	74 240 219	75 442 443	76 691 374	77 988 826	79 336 684	80 736 907	82 191 529	83 702 662	85 272 504
41 686 378	41 627 765	41 566 876	41 503 620	41 437 908	41 369 642	41 298 724	41 225 051	41 148 516	41 069 008	40 986 410	40 900 604
304 014 658	345 642 423	387 209 299	428 712 919	470 150 827	511 520 469	552 819 193	594 044 244	635 192 760	676 261 768	717 248 178	758 148 782

**Çizelge E.15: Senaryo-I+ nakit akışı-1.**

<b>Senaryo-I+</b>	Yıl	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Toplam Gelir	US\$/yıl				53 054 137	55 074 483	57 214 135	59 436 913	61 746 047	64 144 890	66 636 930	69 225 785
Toplam Nakit Çıkışı	US\$/yıl				48 758 643	47 928 134	47 119 749	46 334 349	45 572 826	44 836 108	54 125 158	55 440 979
KARBON GELİRİ	US\$/yıl				2 342 706	2 433 720	2 528 270	2 626 494	2 728 534	2 834 538	2 944 660	3 059 061
NAKİT AÇIĞI/FAZLASI	US\$/yıl				6 638 200	9 580 069	12 622 656	15 729 059	18 901 755	22 143 320	15 456 431	16 843 867
Kümülatif	US\$/yıl				6 638 200	16 218 269	28 840 925	44 569 984	63 471 738	85 615 059	101 071 490	117 915 357

**Çizelge E.16: Senaryo-I+ nakit akışı-2.**

2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
71 915 218	74 709 135	54 792 063	56 920 743	59 132 123	61 429 415	63 815 958	66 295 218	68 870 797	69 864 419	70 896 643
55 784 609	42 157 129	21 559 662	22 393 373	23 259 474	24 159 223	25 093 928	26 064 946	27 073 688	28 121 620	29 210 265
3 177 906	3 301 368	3 429 626	3 562 868	3 701 286	3 845 081	3 994 463	4 149 649	4 310 863	4 478 341	4 652 325
19 308 514	35 853 374	36 662 027	38 090 238	39 573 935	41 115 273	42 716 493	44 379 921	46 107 973	46 221 140	46 338 703
137 223 871	173 077 245	209 739 272	247 829 510	287 403 444	328 518 717	371 235 211	415 615 131	461 723 104	507 944 243	554 282 947

**Çizelge E.17: Senaryo-I+ nakit akışı-3.**

2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047
71 968 968	73 082 954	74 240 219	75 442 443	76 691 374	77 988 826	79 336 684	80 736 907	82 191 529	83 702 662	85 272 504
30 341 203	31 516 079	32 736 598	34 004 535	35 321 732	36 690 102	38 111 633	39 588 391	41 122 521	42 716 252	44 371 901
4 833 069	5 020 834	5 215 895	5 418 533	5 629 044	5 847 733	6 074 918	6 310 930	6 556 111	6 810 817	7 075 418
46 460 834	46 587 710	46 719 515	46 856 441	46 998 686	47 146 457	47 299 970	47 459 446	47 625 118	47 797 227	47 976 022
600 743 781	647 331 491	694 051 006	740 907 447	787 906 133	835 052 590	882 352 560	929 812 006	977 437 125	1 025 234 351	1 073 210 373





## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : Ali Osman SARAÇ  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : Kumru, 1991  
**E-posta** : aosarac@outlook.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013, Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği

### MESLEKİ DENEYİM:

TÜBİTAK SAGE – Araştırmacı (08.2015-...)

Mavi Proje Müh. Müş. Ltd.Şti. – ARGE Mühendisi(12.2014-08.2015)

Okosis Otomasyon ve Kontrol Sis. Ltd.Şti – Proje Mühendisi (06.2014–09.2014)

Diko Elektrikli Cihazlar San. Tic. A.Ş. – Elektrik Mühendisi (01.2014-06.2014)

### TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR:

**Saraç A.O., Tuğrul A.B.**, 2015.Kütle ve Enerji Dengesi Hesapları ile Eysel Atık Yakma Tesisi Tasarımı. 11.Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Bildiriler Kitabı Cilt-1 s.722-733, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, Uludağ Üniversitesi, 15-17 Ekim 2015, Bursa.