

**PLAZMA GAZLAŖTIRMA TEKNOLOJİSİ İLE KATI ATIK
BERTARAFI**

Caner DERELİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE BİLİMLERİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEMMUZ 2012
ANKARA**

**PLAZMA GAZLAŖTIRMA TEKNOLOJİSİ İLE KATI ATIK
BERTARAFI**

Caner DERELİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE BİLİMLERİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEMMUZ 2012
ANKARA**

Caner DERELİ tarafından hazırlanan “PLAZMA GAZLAŞTIRMA TEKNOLOJİSİ İLE KATI ATIK BERTARAFI” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TOPAL

.....

Tez Danışmanı, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Çevre Bilimleri Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Beril Salman AKIN

.....

Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TOPAL

.....

Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. İbrahim ATILGAN

.....

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih: 05/07/2012

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Caner DERELİ

PLAZMA GAZLAŖTIRMA TEKNOLOJİSİ İLE KATI ATIK

BERTARAFI

(Yüksek Lisans Tezi)

Caner DERELİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2012

ÖZET

Bu tez çalışmasında, oldukça yeni bir teknoloji olan plazma gazlaŖtırma teknolojisi ile katı atık bertarafının değerdendirilmesi üzerinde çalışılmıştır.

Yine bu çalışma ile, atıkların bertarafı konusunda ülkemiz ve dünyadaki durum araştırılmıştır. Yapılan araŖtırmalar neticesinde ülkemizde atık bertarafı konusunda Avrupa Birliğı ülkelerine nazaran yasal düzenlemeler ve bilinçlenme açısından geride olduğumuz, bununla birlikte Avrupa Birliğı Uyum yasaları ile aradaki farkın kapatılmaya çalışıldığı gözlenmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında, daha önce geliştirilmiş olunan analitik model ile içeriğı bilinen bir arıtma çamuru örneğinin gazlaŖtırılması neticesinde açığa çıkan sentez gazının içerikleri hesaplanmıştır. Bununla birlikte plazma torcunun gücü ve açığa çıkan ısı enerjisi hesaplanmıştır. Hesaplamalar yapılırken kazan içerisinde oluşan reaksiyonların tersinmez oldukları kabulü yapılmıştır. Daha sonra bu kabulün doğruluğunu kanıtlamak amacıyla kazan içerisinde oluşan beş adet gazlaşma reaksiyonunun oluşma entalpileri hesaplanıp çalışılması gereken sıcaklık aralıkları grafikler halinde sunulmuştur. Çalışmanın ikinci kısmında ise; birinci kısımda analitik model ile çözülen arıtma çamurunun modellemesi bir paket program yardımıyla yapılmış ve

sonuçları karşılaştırılmıştır. Analitik model ile hesaplanan sentez gazı içeriklerinde CH_4 , NH_3 , HCN gibi bileşikler, bilinmeyen sayısının azaltılması ve hesaplama kolaylığı açısından ihmal edilmiş olup, paket program ile adı geçen bileşiklerin miktarları hesaplanmıştır. Matematiksel hesaplamalar ile paket programın sonuçları incelendiğinde tutarlı olduğu saptanmıştır.

Çalışmanın son kısmında ise bir paket program yardımıyla içerikleri ve ısı kapasiteleri bilinen şehir çöpü atığı ve ithal kömür karışımları ile beş modelleme yapılmıştır. Bu modellerin amacı, çeşitli karışım miktarları ile oluşturulan beslemelerin gazlaştırılması ile açığa çıkan sentez gazlarının içeriklerinin incelenmesidir. Sentez gazının içeriğin, atıkların kütleli konsantrasyonuna doğrudan bağlı olduğu gözlenmiştir.

Yapılan çalışmanın neticesinde; çok yeni bir teknoloji olan Plazma Gazlaştırma Teknolojisi ile gazlaştırmanın analitik ve bilgisayar modellemeleri yapılmış olup elde edilen ürünlerin içerikleri ve ısı değerleri karşılaştırılmıştır. Ülkemizde bu teknolojiyi kullanacak araştırmacılara ve sanayi kuruluşlarına birtakım matematiksel veriler sunarak ve yol göstermek istenilmiştir.

Bilim Kodu : 705.1.038
Anahtar Kelimeler : Plazma, Gazlaştırma, Katı Atık, Bertaraf
Sayfa Adedi : 86
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TOPAL

**SOLID WASTE DISPOSAL WITH PLASMA GASIFICATION
TECHNOLOGY
(M. Sc. Thesis)**

Caner DERELİ

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
July 2012**

ABSTRACT

Solid waste disposal with plasma gasification technology is evaluated in this thesis.

The situation regarding disposal of waste in our country and the world is also investigated in this thesis. Research showed that; our country is behind European Union countries about waste disposal regulations and awareness, however efforts are being made to close the gap with European Union consistence regulations.

In the first phase of the study, with a previously developed mathematical model, the content of the synthesis gas, which is the product of the gasification of sewage sludge sample with a known content, is calculated. Also, the plasma torch power, heat energy and chemical energy is calculated. Reactions formed in the boiler during the calculations are accepted as irreversible. To verify this assumption; formation enthalpies of five gasification reactions are calculated and reaction temperature ranges are presented graphically.

In the second part of this study; sewage sludge which is decomposed with analytical model in the first part is modeled by a computer program and results are compared. Compounds such as CH₄, NH₃ and HCN in the synthesis gas

content calculated with analytical model are neglected due to calculation ease, and these compounds' quantities are calculated with the computer program. Comparison of computer program and mathematical calculation results show consistency.

In the last part of the thesis, the sewage sludge, whose content and heat capacity is calculated using the computer program is modeled five times with imported coal mixtures. These models enable us to identify the contents of the synthesis gases which are the products of gasification with various mixture amounts. This research shows us the content of the synthesis gas is directly related to the wastes' mass concentration.

As a result, analytical and computer models for the solid waste disposal with plasma gasification technology are made and products' contents and heat capacities are compared. This thesis purpose is to guide and to create mathematical data for the researchers and industrial establishments, who are about the use this technology.

Science Code : 705.1.038

Key Words : Plasma, Gasification, Solid Waste, Treatment

Page Number: 86

Adviser : Asist. Prof. Dr. Hüseyin TOPAL

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana her türlü çalışma ortamı, bilgi ve desteği sunan tecrübelerinden yararlanmamı sağlayan ve bunlardan da daha önemlisi bana sonsuz sabır gösteren tez hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TOPAL' a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tezin hazırlanması aşamasında ve diğer kalan tüm zamanlarımda bana sonsuz destek veren her zaman yanımda olan biricik eşim Yük. Mimar Derya KESKİN DERELİ' ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiv
RESİMLERİN LİSTESİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
3. PLAZMA TEKNOLOJİSİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....	11
3.1. Atık Çeşitleri.....	11
3.1.1. Katı atıklar.....	11
3.1.2. Ambalaj atıkları	12
3.1.3. Tıbbi atıklar	13
3.1.4. Radyoaktif atıklar	14
3.1.5. Tehlikeli endüstriyel atıklar	14
3.2. Türkiye ve Dünyadaki Durum	16
3.2.1. Türkiye'deki durum	16
3.2.2. Dünyadaki durum	17
3.3. Atıkların Bertarafı	19

Sayfa

3.3.1. Düzensiz (vahşi) depolama	19
3.3.2. Düzenli depolama	19
3.3.3. Kompastlama	20
3.3.4. Tekrar kullanım	20
3.3.5. Yakma yöntemi	20
3.4. Yakma Teknolojilerine Bakış	21
3.4.1. Izgara fırınları.....	21
3.4.2. Akışkan yataklı fırınlar	22
3.4.3. Döner silindir fırını	23
3.4.4. Alternatif prosesler	24
3.5. Plazma İle Bertaraf.....	30
3.5.1. Tarihçe	30
3.5.2. Plazma üretimi.....	31
3.5.3. Atıkların termal plazma bertarafı	34
3.5.4. Plazmanın diğer bertaraf yöntemlerine göre üstünlükleri.....	36
3.5.5. Plazmanın dünyadaki uygulamaları.....	38
3.5.6. Plazma ünitesi.....	43
3.5.7. Kinetik parametreler	47
3.5.8. Açığa çıkan ürünlerin çevresel açıdan incelenmesi.....	49
4. TEZ KAPSAMINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	53
4.1. Analitik Modelleme.....	53
4.2. Analitik Modellemenin Bir Paket Program ile Karşılaştırılması.....	59

Sayfa

4.3. Farklı Atık-Kömür Karışımlarının Analitik Yöntem ve Bir Paket Program İle Modellenmesi	64
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	69
KAYNAKLAR.....	72
EKLER.....	76
EK-1 Bileşenlerin sıcaklığa karşı h_T verileri.....	77
EK-2 Bileşenlerin sıcaklığa karşı h_{ref} değerleri.....	78
EK-3 Bileşenlerin sıcaklığa karşı $\Delta h_{f,ref}$ değerleri.....	79
EK-4 Reaksiyonların sıcaklığa karşı entalpi değerleri.....	80
EK-5 Reaksiyon 1 için entalpi değişimleri	81
EK-6 Reaksiyon 2 için entalpi değişimleri	82
EK-7 Reaksiyon 3 için entalpi değişimleri	83
EK-8 Reaksiyon 4 için entalpi değişimleri	84
EK-9 Reaksiyon 5 için entalpi değişimleri	85
ÖZGEÇMİŞ.....	86

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Sentez gazının kütleli yüzdeleri	3
Çizelge 2.2. SOFC yakıt hücresinin özellikleri	4
Çizelge 2.3. Çeşitli atıkların gazlaştırma ürünleri	5
Çizelge 2.4. Sentez gazı içerikleri	6
Çizelge 2.5. Metal çamurunun metal kompozisyonları	6
Çizelge 2.6. Belediye atıkları gazlaştırma sisteminin enerji denklığı.....	7
Çizelge 2.7. Sentez gazı ve RDF kompozisyonları	8
Çizelge 2.8. Atık içerisinde bulunan nemin termal içeriğe etkisi.....	10
Çizelge 2.9. CO, H ₂ ve N ₂ nin kalorifik değer üzerindeki etkisi	10
Çizelge 3.1. Atık üretiminin ambalaj bileşenlerine göre dağılımı.....	13
Çizelge 3.2. Plazmanın diğer bertaraf yöntemlerine göre üstünlükleri	38
Çizelge 4.1. Bilinmeyen bileşenler	56
Çizelge 4.2. Bilinmeyen değerlerin molar kesirleri.....	56
Çizelge 4.3. Bileşenlerin A,B,C değerleri.....	57
Çizelge 4.4. Bileşenlerin standart entalpi değerleri	57
Çizelge 4.5. Arıtma çamurunun kütleli içeriği	60
Çizelge 4.6. Modellemede kullanılan kriterler	62
Çizelge 4.7. Arıtma çamurunun analitik model ve paket programı sentez gazı çıktılarının karşılaştırılması.....	63
Çizelge 4.8. Şehir çöpünün atık kompozisyonu	64
Çizelge 4.9. Kömürün kütle içeriği.....	65

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.10. Modellemelerde kullanılan atık ve kömür içerikleri	65
Çizelge 4.11. Modellemelerde kullanılan besleme kompozisyonları	66
Çizelge 4.12. Modellemeler neticesinde açığa çıkan sentez gazı kompozisyonları	67

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Plazma piroliz reaktörünün şematik şekli.....	9
Şekil 3.1. Türkiye’de katı atık kompozisyonu	12
Şekil 3.2. Bertaraf yöntemlerine göre tıbbi atık miktarı	14
Şekil 3.3. Tehlikeli atıkların bertaraf yöntemlerine göre dağılımı	16
Şekil 3.4. Gazlaştırma ve kombine prosesler şeması.....	26
Şekil 3.5. SVZ prosesi.....	27
Şekil 3.6. Krupp prosesi akım şeması.....	28
Şekil 3.7. Thermoselect prosesi akış şeması	29
Şekil 3.8. DC ark plazma torcu şematik gösterimi	32
Şekil 3.9. DC transferli torç şematik gösterimi	33
Şekil 3.10. RF plazma torçu şematik gösterimi.....	34
Şekil 3.11. Plazma gazlaştırma tesis akım şeması.....	44
Şekil 3.12. Plazma torcu şematik gösterimi	45
Şekil 3.13. Plazma gazlaştırma reaktörü şematik gösterimi.....	46
Şekil 3.14. log K- 1/T Grafiği	49

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Katılaşmış vitrifiye çamuru	52
Resim 4.1. Atık kompozisyonunun paket programa tanıtılması	61
Resim 4.2. Paket programın çözüm arayüzü	63

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
$^{\circ}\text{C}$	Derece santigrad (celcius derecesi)
%	Yüzde
a	Alfa
b	Beta
CO	Karbon Monoksit
CO₂	Karbon Dioksit
E_{Elektirik}	Elektrik enerjisi, watt
E	Aktivasyon enerjisi
H^o_f	Beslemenin standart entalpisi, J
H^o_{ref}	Referans oluşum entalpisi, J
H^o_T	T sıcaklığındaki oluşum entalpisi, J
k	Reaksiyon hız sabiti
m	Plazma akışkanı(hava) kütle akışı kg/sa
N₂	Azot gazı
O₂	Oksijen gazı
P	Basınç, Pascal
R	Gaz sabiti, Kj/kgK
T	Sıcaklık, $^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{K}$
V	Hacim, litre
w	Nem miktarı
X_i	i bileşeninin molar kesri
Q	Isı enerjisi, kj/kmol

Kısaltmalar**Açıklama****AAKY**

Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği

AB

Avrupa Birliği

AC

Alternative Current (Alternatif Akım)

CEP

Katalitik Ekstraksiyon Prosesi

DC

Direct Current (Direk Akım)

EAF

Elektrikli Ark Fırımları

INER

Institute of Nuclear Energy Research

İSTAÇ. A.Ş.

İstanbul Çevre Koruma ve Atık Mad.

Değerlendirme San. Anonim Şirketi

İZAYDAŞ

İzmit Atık Yakma ve Değerlendirme A.Ş.

HV

Isıl Değer

LHV

Alt ısı Değer

NCKU

National Cheng Kung University

MSW

Municipal Solid Waste (Belediye Katı Atığı)

RDF

İşlenmiş Belediye Atığı

RF

Radyo Frekansı

SOFC

Yakıt Hücresi

Şb. Md.

Şube Müdürlüğü

OECDOrganization for Economic Cooperation and
Development**TÜİK**

Türkiye İstatistik Kurumu

USEPAUnited States Environmental Protection Agency
(Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma
Örgütü)**VOC**Volatile Organic Component (Uçucu Organik
Bileşik)

1. GİRİŞ

Atık en basit tanımı ile "ihtiyaçlarımızı karşılamak üzere kullandığımız maddelerin, o an için kullanılmayan veya kullanıldıktan sonra atılan kısmıdır". Sanayide, ulaşımda, tarımda, turizmde, inşaat sektöründe, üretim yaparken, hizmet verirken, çok sayıda madde ve malzeme biçim değiştirir. Bu faaliyetler için enerji sağlarken ve enerji kullanırken, gaz, sıvı ve katı halde atıklar ve artıklar ortaya çıkar. Bu atıkların bir bölümü nihai olarak bertaraf edilirken, bir bölümü geri kazanılarak, yeniden kullanılabilir [1].

Atıklar ülkelerin önde gelen sorunlarından biri durumundadır. Her çöpün atık olarak değerlendirilmesi ve atılması büyük çevre sorunlarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu nedenle atık sorunun azaltılması için son yıllarda atık yönetim sistemleri oluşturularak atıkların değerlendirilmesi amaçlanmaktadır [2].

Artan nüfus, yaşam standartlarının yükselmesi, teknolojik gelişmeler, sanayileşme, kentleşme gibi olguların sonucunda ambalajlanmış gıda maddelerine duyulan ihtiyaç artmaktadır. Bu ihtiyaçlarla doğru orantılı olarak çevresel sorunlarda da hızla artış görülmektedir. Katı atık; üreticisi tarafından atılmak istenen ancak çevrenin korunması bakımından düzenli bir şekilde uzaklaştırılması gereken katı maddeler ve arıtma çamurudur. Evsel atıklar, tıbbi atıklar, endüstriyel atıklar, ticari ve kurumsal atıklar, özel atıklar, tehlikeli atıklar, tarım ve bahçe atıkları katı atık türleridir. Katı atık sorunu; su ve hava kirliliğinden sonra üçüncü kirliliktir. Katı atıklar; çevre, çevre sorunları ve yaşanabilirlik kavramlarının ilişkilendirilmesine uygun anlayışla yerel, ulusal ve uluslar arası gündemlere konu olmaktadır.

Katı atıkların depolanırken belirli bir düzen içerisinde toplanması ve buna göre depolanması ya da bertaraf edilmesi gerekmektedir. Örneğin; tıbbi atıkların ayrı toplanıp imha edilmesi gerekir. Aksi takdirde hepatit başta olmak üzere veba, kolera, dizanteri, tüberküloz, kuduz, sıtma gibi birçok hastalığın ortaya çıkması kaçınılmaz olur. Atık yönetiminin atık oluşumu, toplama, işleme ve uzaklaştırma gibi temel unsurları yanında enerji, çevre koruma, kaynakların korunması, verimlilik artışı,

istihdam gibi konularda da bütünlük içinde ele alınması gerekir. Katı atıkların düzenli depolanıp işlenmesi sadece insan ve çevre sağlığının korunmasının yanı sıra ekonomik kalkınmanın sağlanmasına da olumlu katkılar sağlayacaktır [3].

Plazma teknolojisi, elektriksel bozunma olarak kabul edilen bir işlem olan, bir proseste elektrik akımını bir gaz içerisinden geçirerek aralıksız bir elektrik arkı oluşturmayı kapsar. Sistemdeki elektriksel öz dirençten dolayı, gaz moleküllerinden elektronları ayıran, iyonlaşmış bir gaz akışı veya plazma fazı oluşur ve kayda değer bir ısı açığa çıkar. 2000 °C’de, gaz molekülleri atomlarına ayrılır ve sıcaklık 3000 °C’ye yükseldiğinde gaz molekülleri elektron kaybeder ve iyonlaşırlar. Bu durumda oluşan gaz, sıvılardaki gibi bir viskoziteye sahiptir ve serbest elektrik yükleri gaza göre yüksek, metallerinkine yakın bir elektriksel iletkenlik verir [27].

Diğer bertaraf ve yakma yöntemlerine nazaran plazma teknolojisi, açığa çıkardığı ürünleri sayesinde çevreci bir teknolojisidir. Gazlaştırma sırasında ağır metaller reaktörün en alt bölümünde ergiyerek seramik yapısında çamur haline gelmekte ve dışarıya herhangi bir ağır metal çıkışı olmamaktadır. Yüksek sıcaklıklara çıkıldığından dolayı, atık yakma teknolojilerinin en önemli sorunu olan dioksin ve furan oluşumu bu teknolojide bulunmamaktadır. Bu avantajından dolayı plazma teknolojisi ile atık bertarafı çevre dostu olup, gelişmiş ülkeler tarafından kullanılmaktadır.

Bu çalışmada bu yeni teknolojinin özellikleri ve avantajları araştırılmış olup, arıtma çamuru, çeşitli kömürler ve belediye çöpleri için, gazlaşma prosesinin ürünü olan sentez gazının içeriği, açığa çıkan ısı ve gerekli olan elektrik miktarları analitik yöntemler ve bir paket program yardımıyla hesaplanmıştır. Analitik ve nümerik hesaplar arasındaki uyum incelenmiştir. Böylece bundan sonra yapılacak çalışmalara ve sanayicimize bu konuda yol göstermek amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Tzeng ve arkadaşları, Institute of Nuclear Energy Research Merkezinde (INER) yaptıkları çalışmada radyoaktif atıkların bertarafında kullanılmak üzere 100kW gücünde bir transfersiz plazma torcu ve 10 kg/saat besleme kapasiteli bir bertaraf fırını tasarımı yapmışlardır. Operasyon sıcaklığı 1700 °C- 1650 °C de sabit tutup ortalama plazma gazı sıcaklığını 5000-6000 °C olarak hesaplamışlardır. Torçta kullanılan katodun çalışma ömrü 150 saat, anodun ömrü ise 500 saattir. Maksimum çalışma voltajı 600 V, max çalışma akımı 200 A, hava besleme hızı 100-700 santilitre/dakika, ısınan gazın entalpisi 6-10 MJ/kg olarak hesaplanmıştır. Kazandaki maksimum enerji çevrimi verimi % 87 olarak hesaplanmıştır [5].

Ambarish ve arkadaşları Amerikan hava kuvvetlerine ait Basic Expeditionary Airfield Resources (BEAR) ve Carpet adını verdikleri katı atıkları kurmuş oldukları plazma gazlaştırma-katılaştırma prosesinde bertaraf etmişler ve açığa çıkan gaz yüzdeleri incelenmiştir. Buna göre bu atığın gazlaştırılmasından oluşan sentez gazının kütleli yüzdeleri Çizelge 2.1’de verilmiştir [6].

Çizelge 2.1. Sentez gazının kütleli yüzdeleri[6]

Sentez gazı Bileşenleri	Halı-kumaş atığı	USAF BEAR atığı
	Yüzde Kütleli içerik	Yüzde Kütleli içerik
N ₂ Gazı	31,7-38,3	41,9-48,9
O ₂ Gazı	6,39-7,73	4,15-4,85
CO Gazı	12,7-15,3	24,6-28,70
H ₂ Gazı	0,58-0,71	1,08-1,27
CH ₄ Gazı	0,26-0,31	0,07-0,08
Benzen Gazı	0,19-0,22	0,14-0,16
H ₂ O, CO ₂ Gazı	5,51-6,66	5,22-6,09
Katı, sıvı ve gazlaşmamış miktar	30,8-42,7	9,95-22,90

Moustakas ve arkadaşları, 2005 yılında yaptıkları çalışmada plazma gazlaştırma-katılaştırma işlemi için laboratuvar ölçekli bir kazan tasarımı ve bu kazana bağlı bir arıtma sistemi tasarımı yapmış ve bu sistemde belirledikleri atıkları gazlaştırmışlardır. Yaptıkları çalışmalarda atığın içerisinde katılaştırmayı sağlayacak kadar silisyum yok ise dışarıdan silisyum ilavesi yapılmıştır. Yaptıkları çalışmalar neticesinde gazlaştırmadan açığa çıkan sentez gazının kompozisyonu ortalama olarak H_2 : 24–43% (v/v), CO: 25-44%(v/v), CO_2 ve N_2 : 10-26% olarak gözlemlenmiştir [7].

Çizelge 2.2. SOFC yakıt hücresinin özellikleri

RDF kütleli akışı	1 kg/s
RDF alt ısı değeri (LHV)	12,90 MJ/kg
Plazma gazı kütleli akışı (Hava)	0,505 kg/s
Eklenen Oksijenin kütleli akışı	0,207 kg/s
Sentez gazının kütleli akışı	1,60 kg/s
Sentez gazının çıkış sıcaklığı	1245 ° C
H_2 hacimsel yüzdesi	28,65
CO hacimsel yüzdesi	37,37
CH_4 hacimsel yüzdesi	-
CO_2 hacimsel yüzdesi	1,41
H_2O hacimsel yüzdesi	14,19
N_2 hacimsel yüzdesi	17,12
HCl	0,31
H_2S hacimsel yüzdesi	0,22
COS hacimsel yüzdesi	0,01

G. Galeno ve arkadaşları, Cassino Üniversitesinde yaptıkları çalışmada plazma gazlaştırma ünitesi ile yakıt hücresini entegre etmeyi başarmışlardır. Plazma gazlaştırma ünitesinin özellikleri ve sentez gazın yüzde içerikleri Çizelge 2.2.'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Plazma gazlaştırma ünitesinden açığa çıkan sentez gazı

ısı değiştiricisinde istenilen sıcaklığa indirildikten sonra SOFC adı verilen 100kW'lık yakıt hücresine gönderilerek enerji üretimi sağlanmıştır [8].

Huang ve arkadaşları plazma gazlaştırma prosesini piroliz prosesine uyarlamış olup polietilen, polipropilen, lastik kauçuk, ilaç atığı tarım artıkları ve kömür üzerinde piroliz gazlaştırması yapmıştır. Yapılan deneyler neticesinde adı geçen atıkların piroliz işleminden sonra açığa çıkardıkları sentez gazlarının içerikleri Çizelge 2.3.'de gösterilmiştir [9].

Çizelge 2.3. Çeşitli atıkların gazlaştırma ürünleri

Besleme	Gazlaştırma Ürünleri						
	H ₂	CO	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₃ H ₆	CO ₂
Lastik	5-20	4-9	0,60-3	0,50-1	-	-	0,50-7
Polipropilen	24,10	14,20	1,10	0,40	0,50	-	-
Polietilen	-	-	5,60	5,70	22,20	53,40	-
İlaç atıkları	22,60	26,70	1,50	-	-	-	4,20
Tarımsal atıklar	7	53,30	2,70	8,60	-	-	3
Kömür	54,90	39,40	-	-	-	-	4,20

Huang ve arkadaşlarının polipropilen üzerinde sisteme buhar ilave ederek oluşturdukları ve buhar ilave etmeden oluşturdukları sentez gazının içerikleri Çizelge 2.4.'de verilmiştir [9].

Kataou ve arkadaşlarının belediye atıklarının plazma ile bertarafına ilişkin yapmış oldukları çalışmada gazlaştırma-katılaştırma prosesi sonucunda kazanın dibinde, vitrifiye çamurundaki ve metal kısımda kalan ağır metallerin ortalama oranları Çizelge 2.5.'de verilmiştir. Ayrıca yapılan çalışmada Çizelge 2.6.'da sistemin ısı hesabı gösterilmiştir [10].

Çizelge 2.4. Sentez gazı içerikleri

Gazlaştırma Ürünleri	Hacimsel Konsantrasyon Buhar ilavesi olmadan	Buhar ilavesi olarak
H ₂	14,99	27,06
CO	0,83	13,33
C ₂ H ₂	4,96	3,87
CH ₄	1,58	1,45
C ₂ H ₄	1,07	0,57
C ₂ H ₆	0,07	0,02
N ₂	71,83	49,02
Belirlenemeyenler	4,17	4,37

Çizelge 2.5. Metal çamurunun metal kompozisyonları

Bileşikler	Dipteki Kül(%)	Çamur(%)	Toz(%)	Metal(%)
Nem	0,10	1,50	0,10	1,90
SiO ₂	39,80	40,80	9,86	6,80
Al ₂ O ₃	10,30	20,40	2,23	0,09
CaO	13,10	13,70	0,36	4,00
MgO	2,21	1,97	0,43	0,01
Fe ₂ O ₃	18,90	6,40	2,13	77,50
Cu	0,29	0,08	0,87	8,60
Na	1,12	2,89	9,11	0,03
K	0,38	0,89	7,11	0,03
Cl	0,47	0,07	14,7	0,10
S	0,17	0,004	2,40	0,05
Se	3	2	7	1

Çizelge 2.6. Belediye atıkları gazlaştırma sisteminin enerji denkliği

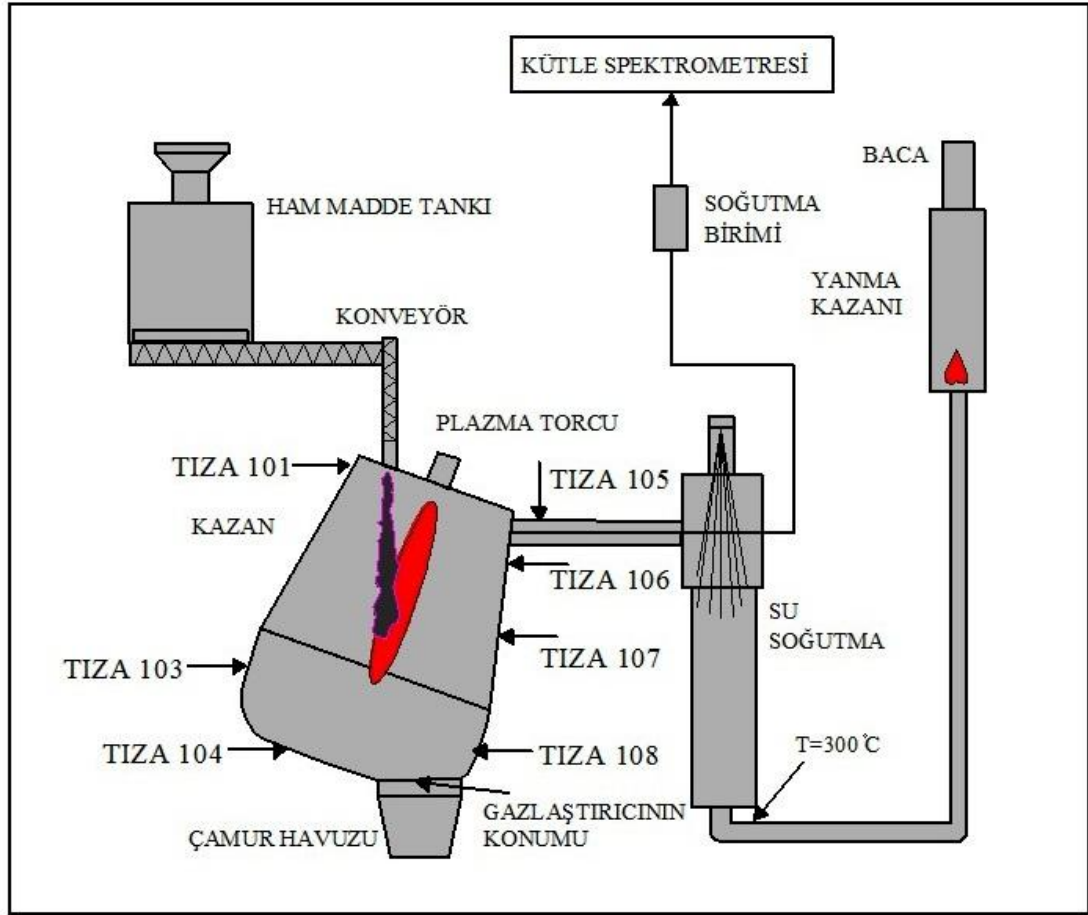
Ürünler	Isı miktarı(kW)	Yüzdesel miktarı
Isı giriş ürünleri		
Yanmamış ürünlerin yanması	60,70	8,40
Elektrotların yanması	8,50	1,20
Elektrik Gücü	649,90	89,80
Külün getirdikleri	4,20	0,60
Toplam Isı Girişi	723,30	100,00
Isı Çıkış Ürünleri		
Sentez Gazı	31,20	4,30
Erimesinden çıkan tozları	3,80	0,50
Çamur	266,70	36,90
Küldeki nemin alt ısı miktarı	10,30	1,40
Tozun alt ısı miktarı	10,50	1,50
Metal oksitlerin redüksiyon ısısı	83,50	11,50
Suyun gazlaşma ısısı	44,00	6,10
Kazan radyasyon ısısı	273,30	37,80
Toplam ısı çıkışı	723,30	100,00

Minutillo ve arkadaşları'nın RDF' nin gazlaştırması işleminde elde ettikleri sentez gazın kompozisyonu ve RDF' nin kompozisyonu Çizelge 2.7'de literatür bilgileri ile karşılaştırmalı şekilde verilmiştir [11].

G. Van Oost ve arkadaşları yaptıkları çalışmada atıkların pirolizi amacıyla plazma torcunun atıkları gazlaştırdığı bir reaktör tasarımı yapmışlardır. Bu reaktörün belirledikleri yerlerine kazan içerisindeki sıcaklık dağılımını ölçebilmek amacıyla termokapiler yerleştirmişler. Tasarladıkları sistem Şekil 2.1'de ve kazan içerisindeki sıcaklık dağılımını (koyulan sıcaklık ölçerlerin ölçtükleri noktalardaki sıcaklık dağılımları) verilmiştir [13].

Çizelge 2.7. Sentez gazı ve RDF kompozisyonları

Sentez gazı kompozisyonu	EPJ Modeli	Literatür bilgisi	Deneyisel bilgiler
H ₂	21,20	21,06	15,23
CO	19,60	19,61	23,04
CO ₂	12,37	12,01	16,42
N ₂	46,82	46,68	42,31
CH ₄	0,01	0,64	1,58
Gazlaştırma sıcaklığı	800 °C	800 °C	800 °C
LHV (Mj/kg)	4,35	4,57	4,32
HHV (Mj/kg)	4,74	4,97	4,65
RDF nin kütleli içeriği;			
C	48,23		
H	6,37		
N	1,22		
Cl	1,13		
S	0,76		
O	28,48		
Kül	13,81		



Şekil 2.1. Plazma piroliz reaktörünün şematik şekli

Mountouris ve arkadaşları Atina National Technical Üniversitesi'nde yapmış oldukları çalışmada arıtma çamurlarının içerisinde bulunan nemin, plazma gazlaştırma işleminden açığa çıkan sentez gazın termal kalitesi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çizelge 2.8.'de görüleceği üzere arıtma çamuru içerisinde bulunan nemin oranı arttıkça gazlaştırma işlemi için gerekli olan elektrik enerjisi miktarı artmış ve bununla birlikte sentez gazın kalorifik değeri azalmıştır [14].

Çizelge 2.8. Atık içerisinde bulunan nemin termal içeriğe etkisi

Nem (%w/w)	Oksijen mol/mol daf	Net termal değişim (MW)	Net elektrik değişim (MW)	Sentez Hazı HV (kWh/Nm ³)
5,20	0,53	-1,07	4,17	1,12
10,23	0,55	-0,92	4,04	1,03
14,68	0,57	-0,77	3,90	0,96
20,50	0,60	-0,54	3,71	0,86
27,04	0,64	-0,25	3,45	0,74
29,88	0,66	-0,10	3,33	0,69
34,92	0,70	0,19	3,07	0,60

Moustakas ve arkadaşları Atina National Technical Üniversitesi'nde yapmış oldukları çalışmada gazlaştırma işlemi sonrasında açığa çıkan sentez gazın termal kalitesini ve sentez gaz içeriğinin kalorifik değer üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çizelge 2.9.'da sonuçları görüleceği üzere sentez gazın kompozisyonundaki CO ve H₂ miktarının artması ve N₂'nin azalması sentez gazın termal özelliklerinin artmasına neden olmaktadır [15].

Çizelge 2.9. CO, H₂ ve N₂ nin kalorifik değer üzerindeki etkisi

Deneme	Hava (Nm ³ /h)	Buhar (kg/h)	CO ₂ %hcm	O ₂ %hcm	CO %hcm	H ₂ %hcm	N ₂ %hcm	Isıl Değer (Mj/Nm ³)
1	0,0	0,0	12,00	2,80	54,00	10,40	20,80	8,10
2	9,30	0,00	8,00	7,60	32,80	3,60	48,00	4,60
3	18,70	0,00	5,20	11,60	22,40	3,20	57,60	3,20
4	0,00	1,00	10,00	1,60	62,40	16,40	9,60	10,00
5	9,30	1,00	5,60	7,60	37,60	2,80	46,40	5,10
6	18,70	1,00	4,00	12,00	21,80	4,20	58,00	3,30
7	9,30	1,80	7,00	7,00	34,00	11,00	41,00	5,70
8	0,00	1,80	12,00	3,00	44,60	16,80	23,60	7,80
9	9,30	1,80	6,40	9,20	31,60	9,80	43,00	5,20
10	20,90	1,00	4,40	13,60	17,20	7,60	57,20	3,10

3. PLAZMA TEKNOLOJİSİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER

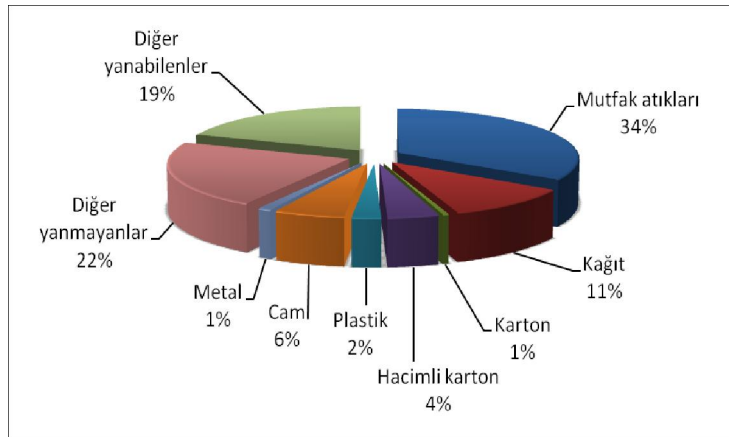
Bu bölümde katı atıkların, bertaraf yöntemleri ve plazma teknolojileri teorik olarak araştırılıp incelenmiştir. Bundan sonraki sayfalarda görüleceği üzere ilk olarak atık çeşitleri ve atık bertarafının ülkemiz ve dünyadaki uygulamaları incelenmiştir. Daha sonra atık bertarafı, çeşitleri ve yakma teknolojileri incelenmiştir. Bu bölümün son kısmında ise tezin ana konusu olan plazma teknolojileri, dünyadaki uygulamaları ve açığa çıkan ürünlerin çevresel açıdan incelenmesi yer almıştır.

3.1. Atık Çeşitleri

Atıklar genel olarak; katı atıklar, ambalaj atıkları, tıbbi atıklar, radyoaktif atıklar, tehlikeli endüstriyel atıklar olmak üzere beş ana başlık altında incelenmektedir.

3.1.1. Katı atıklar

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre Türkiye’de 2008 yılı itibarı ile toplanan kentsel katı atık miktarı 24 360 863 ton/yıl (1,15 kg/kişi.gün, 420 kg/kişi.yıl) olup ülke nüfusunun % 82’si, belediye nüfusunun ise % 99’u atık toplama hizmetinden yararlanmaktadır. Belediyelerden toplanan atığın % 46’sı düzenli depolama ve kompostlaştırma gibi atık yönetimi mevzuatına uygun yöntemlerle bertaraf edilmekte olup belediye nüfusunun ~% 46’sı bu tür tesislerden yararlanmakta, % 54’ünün atıkları ise düzensiz (kontROLSÜZ) depolama ve diğer yöntemlerle uzaklaştırılmaktadır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Atık Yönetimi Eylem Planı’nda (2008-2012), 2012 yılında belediye nüfusunun % 70’inin atıklarının düzenli depolama tesislerinde bertarafı öngörülmektedir. Katı Atık Ana Planı Projesi (2006) kapsamında yapılan katı atık kompozisyon belirleme çalışmasının sonucunda elde edilen ülkemizdeki atık kompozisyonları grafiksel olarak Şekil 3.1’de gösterilmiştir.[4].



Şekil 3.1. Türkiye’de katı atık kompozisyonu [16]

3.1.2. Ambalaj atıkları

Kentsel katı atıkların ağırlıkça ~% 30’unu, hacimce ~% 50’sini ambalaj atıkları oluşturmaktadır. Sürdürülebilir bir atık yönetim sistemi, ambalaj atıklarının diğer atıklarla karışmadan kaynağında ayrı toplanmasının ve organize bir yapılanma (ikili toplama) kapsamında geri kazanımını gerektirmektedir. Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği uyarınca 1992-2004 döneminde piyasaya sürülen ambalaj atıklarının ~% 34’ü (öngörülen oran % 33) geri kazanılmıştır [16].

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Ambalaj Atıkları Şb. Md. Ambalaj Bülteni kayıtlarına göre 2007 yılı itibarı ile Türkiye genelinde 2 136 860 ton ambalaj atığı geri kazanımı sağlanmıştır. Bu değer 2007 yılı kentsel atık üretiminin ~% 8,8’ine karşılık gelmekte olup; ambalaj bileşenlerine göre dağılımı Çizelge 3.1.’de verilmiştir [16].

Çizelge 3.1. Atık üretiminin ambalaj bileşenlerine göre dağılımı

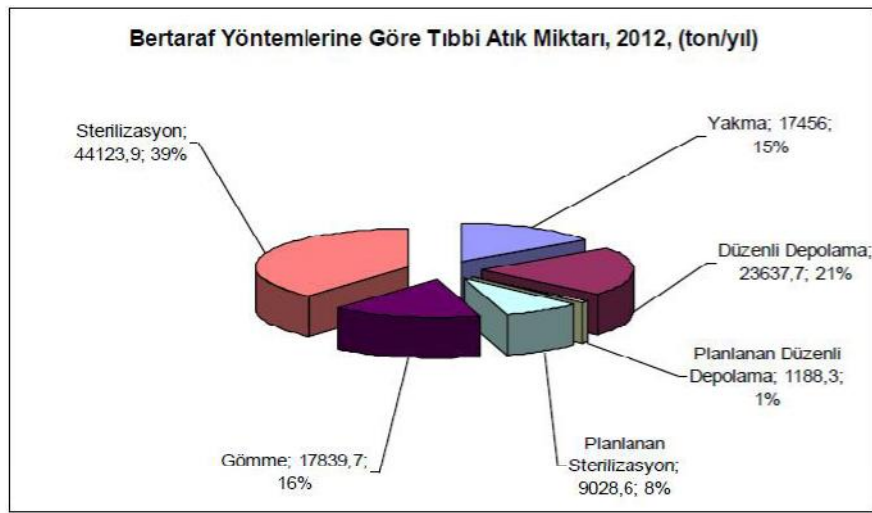
Atık Kodu	Ambalaj Cinsi	Üretilen Ambalaj Miktarı (ton)	Piyasa sürülen Ambalaj Miktarı (ton)	Geri Kazanım Oran(%)	Geri Kazanımın Ger. Miktar (ton)	Geri Kazanım Miktar	Gerçekleşen Geri Kaz. Oranı (%)
150102	Plastik	867,221	351,354	35	115,310	139,703	40
150104	Metal	152,562	133,822	35	46,054	75,323	56
150101	Kağıt Karton	1,496,089	558,918	35	183,718	1,825,692	327* (50)
150107	Cam	343,010	352,550	35	121,987	88,974	25
150105	Kompozit	63,779	49,876	35	16,822	7,168	14
TOPLAM		2,922,661	1,446,520		483,891	2,136,860	92

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından oluşturulan Atık Ambalaj Yazılımı ile kayda alınan ambalaj üreticisi ve piyasaya süren işletme sayısı 2005 yılında 950 iken 2007 yılı sonunda 3.274'e ulaşmış bulunmaktadır. ÇOB Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği (AAKY) ile birlikte geri kazanılan plastik, metal ve kâğıt/karton miktarında öngörülen hedeflerin (% 35) üzerinde, cam ve kompozit ambalajlarda ise önemli oranda geri kazanım sağlanmıştır. Ambalaj atıkları geri kazanımı halen büyük oranda (% 20-25) sokak toplayıcıları ve lisanslı firmalarca (ticari, kurumsal ve endüstriyel ambalaj atıkları) gerçekleştirilmektedir.

3.1.3. Tıbbi atıklar

Tıbbi atıklar, depo tabanı 'Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne uygun olarak inşa edilmiş depolama sahalarında düzenli depolanarak bertaraf edilebilirler. Ancak ülkemizde bu özelliklere haiz tıbbi atık düzenli depolama sahası sayısı sınırlıdır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın verilerine göre Ankara, Bursa, İzmir, Gaziantep, Denizli, Malatya ve Erzincan illerinde yılda toplam 21 646 ton tıbbi atık mevzuata uygun olarak düzenli depolanmak suretiyle bertaraf edilmektedir. Bu rakam ülkemizde oluşan toplam tıbbi atığın yaklaşık % 25'ine karşılık gelmektedir. Bunun dışında kalan 47 866 ton tıbbi atık ise (toplam tıbbi atığın % 55'i) evsel atık depolama sahalarının ayrı bir yerinde açılan çukurlarda üzerleri sönmemiş kireç ile kaplanmak suretiyle gömülmektedir. Yakma, tıbbi atıkların bertarafında en güvenli

yöntem olmakla birlikte, ülkemizde şu anda İZAYDAŞ ile İSTAÇ A.Ş. Tıbbi Atık Yakma Tesisleri tıbbi atıkları yakarak bertaraf etmektedir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı verilerine göre, İstanbul, Kocaeli ve Adapazarı illerinde yakılarak bertaraf edilen tıbbi atık miktarı 17 456 ton/yıl olup, bu rakam ülke genelinde oluşan tıbbi atıkların % 20'sine karşılık gelmektedir (Bkz. Şekil 3.2.). Adapazarı'nda yakma tesisi bulunmamasıyla birlikte, bu il merkezinde oluşan tıbbi atıklar İZAYDAŞ'a taşınarak bertaraf edilmektedir [16].



Şekil 3.2. Bertaraf yöntemlerine göre Türkiye geneli tıbbi atık miktarı

3.1.4. Radyoaktif atıklar

Radyoaktif atıklar taşınma, depolama ve atık düzenlemelerini kolaylaştırmak için içerdiği radyoaktif malzemenin konsantrasyonu ve radyoaktif kaldıkları süre dikkate alınarak sınıflandırılırlar. Kategorilerin tanımı ülkeden ülkeye değişmekle beraber radyoaktif atıklar düşük seviye, orta seviye ve yüksek seviyeli atıklar olarak sınıflandırılabilir [17].

3.1.5. Tehlikeli endüstriyel atıklar

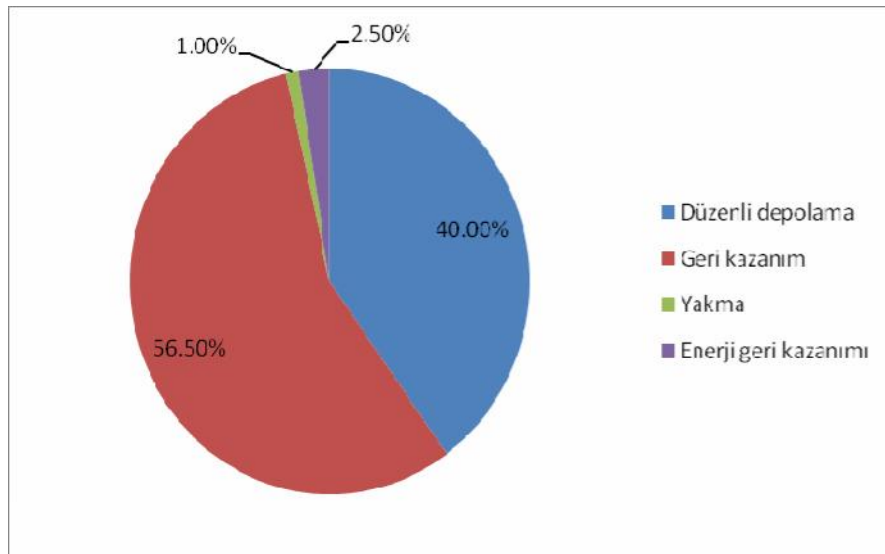
Endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan atıklar bu kapsamda ele alınırlar. Endüstriyel atık üreticilerini aşağıdaki şekilde sınıflandırmak mümkündür.

- Gıda ve benzeri üretim,
- Tekstil, hazır giyim, konfeksiyon,
- Kereste, ağaç ürünleri, mobilya,
- Kâğıt ve kâğıt ürünleri, matbaa yazım,
- Kimya,
- Petrol,
- Kauçuk, plastik,
- Deri ve deri ürünleri,
- Taş, çakıl, cam,
- Metal endüstrisi,
- Makine endüstrisi,
- Elektrik, elektronik,
- Taşıma araçları (otomotiv, gemi, havacılık) vb.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 2009 yılı verilerine göre, Türkiye'de üretilen tehlikeli atığın, bertaraf yöntemlerine göre dağılımı Şekil 3.3.'de gösterildiği gibidir.

Şekil 3.3.'de görüldüğü gibi, tehlikeli atıkların % 3,5'inin bertaraf amaçlı ve enerji geri kazanımı için yakılmaktadır. Ancak, Türkiye'de bu yakma işlemlerinden kaynaklanan CO₂, NH₄ ve N₂O emisyonlarına dair herhangi bir envanter bulunmamaktadır.

Her yıl birçok firmaya atıklarını Basel Sözleşmesi hükümlerine uygun olarak AB, OECD ve Liechtenstein ülkelerinde bertaraf edebilmeleri için gerekli izinler verilmektedir. 2008 yılı içerisinde 21 adet taşıma formu düzenlenmiş ve 30 192 ton atığın ihracatı gerçekleştirilmiştir. 2009 yılında ise 25 adet taşıma belgesi düzenlenmiş ve 34 338 ton atığın ihracı yapılmıştır.



Şekil 3.3. Tehlikeli atıkların bertaraf yöntemlerine göre dağılımı [16]

3.2. Türkiye ve Dünyadaki Durum

Ülkemiz geliştirmekte olan bir ülke olduğundan gelişmiş ülkelere nazaran katı atık yönetimi konusunda daha geriden gelmekte olup son dönemde çıkardığı yasalar ile Avrupa ülkelerine entegre olmaya çalışmaktadır.

3.2.1. Türkiye’deki durum

Atık yönetimi, ülkemizde 1930’lu yıllardan itibaren yasal düzenlemelere konu olmuş ve temel uygulayıcı kuruluşlar olarak belediyeler görevlendirilmiştir. Başlangıçta Sağlık Bakanlığının sorumluluğunda olan ulusal düzeyde politika belirleme ve uygulamayı yönlendirme görevi, günümüzde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yerine getirilmektedir. Ancak bu alandaki yetki ve sorumlulukların çok sayıda kurum ve kuruluş arasında paylaştırıldığı; bunun da, çevreye ilişkin standart, ilke ve politikaların belirlenmesi, uygulamanın yönlendirilmesi, aykırı davranışların izlenmesi ve cezalandırılması gibi alanlarda yetki ve görev örtüşmelerine yol açtığı bilinmektedir.

Evsel nitelikli atıklar genellikle herhangi bir işleme tabi tutulmadan doğrudan atık depolama alanlarına dökülmektedir. 3 225 adet belediyenin olduğu ülkemizde, Çevre

ve Şehircilik Bakanlığı verilerine göre sadece 16 adet düzenli depolama alanı mevcut olup, atıkların % 34'ü bu alanlara, % 66'sı ise vahşi depolama şeklinde orman, göl, nehir ve denizlere ya da açık araziye dökülmektedir.

Ülkemizde atık yönetimi konusunda kamuoyu bilincinin geliştirilmesinden kurumsal kapasitenin güçlendirilmesine, cezalandırma ve özendirme sisteminden eğitim ve rehberlik faaliyetlerine kadar birçok alanda olması gereken noktanın çok gerisinde olunmakla birlikte, Avrupa Birliği Müktesebatına uyum süreci ile birlikte hızlı ve köklü bir değişim trendi yakalandığı ve birçok alanda önemli gelişmeler kaydedildiği gözlenmektedir [4].

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ambalaj malzemelerinin kullanımını ve atık miktarını kontrol altına almak ve bu atıkların değerlendirilmesini sağlamak, ekolojik dengenin bozulmasını önlemek amacı ile kota veya depozito uygulamasını zorunlu kılar. Yönetmelik gereğince, kota veya depozito uygulamasına tabii işletmeler, ambalaj atıklarının toplanmasını ve geri kazanımını sağlarlar. Geri kazanımın mümkün olmadığı durumlarda ise çevreye zarar vermeyecek şekilde diğer yöntemlerle bertaraf eder veya ettirirler [4].

İller Bankası, ilgili mevzuat gereği, belediyelerden aldığı yetki doğrultusunda belediyeler adına, Katı Atık Bertaraf Tesisleri için etüt, proje, ekipman temini, danışmanlık ve inşaat işleri yapmakla yükümlüdür [4].

3.2.2. Dünyadaki durum

19. Yüzyıl sonrasında, endüstri alanındaki gelişmeler ve kentleşme, birçok sorunu da beraberinde getirmiştir. 1972 Stockholm Konferansı sonrasında, bu sorunların giderilmesi üzerine uluslararası düzeyde gelişmeler görülmeye başlanmıştır. Dünyada sanayileşen veya sanayileşme sürecinde olan ülkelerdeki ekonomik gelişmelerin olumsuz yan etkisi olarak ortaya çıkan çevresel problemler, ekolojik dengeyi bozmuş ve insan hayatını tehdit eden bir noktaya gelmiştir.

Bununla beraber, son yıllarda toplumda gelişen çevresel bilinç ve halk baskısı, çevresel ve ekonomik gelişim arasında kalınan ikilemi yok etti ve doğayla uyumlu ekonomik gelişim teşebbüsünün benimsenmesini sağladı [18].

Basel Kongresi, 2000 ve 2001 yıllarında üretilen zararlı ve diğer tür atık sayılarını sırasıyla 318 ve 338 milyon olarak vermiştir. Bu rakamlar, şahıslar bazında Kongre'ye iletilen tamamlanmamış raporlara dayanmaktadır. Bu rakamlar, 2001 senesinde Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü'ne üye 25 ülke tarafından üretilen yaklaşık 4 milyar ton atık rakamıyla karşılaştırıldığında, küresel atık üretimi için kesin bir rakam verme konusunda birçok problem olduğu gözler önüne serilmektedir. Bu sebeple aşağıda gösterilen rakamlar dikkatle kullanılmalıdır. Basel Kongresi'ne bildirimde bulunan ülkeler, 2001 senesinde yaklaşık 108 milyon ton zararlı atık üretmişlerdir. Özbekistan, toplam atık üretiminin % 26'sına sahip olup listenin ilk sırasına yerleşmiştir [19].

Amerika Birleşik Devletleri'nin 1970'lerdeki 25 milyon tonluk atık üretimi, 2000 senesinde 300 milyon seviyesine ulaşmıştır [20]. Basel Kongresi'nden bildirilen değerlere göre, İmalat Sanayi Atık Üretiminde Estonya kişi başı günlük 13,5 kg ile listenin ilk sırasındadır. Estonya'yı sırasıyla Monako, Ukrayna, Kırgızistan, Özbekistan ve Danimarka takip etmektedir. Listenin alt sıralarında bulunan Kıbrıs ve Türkiye'nin İmalat Sanayi Atık Üretimi, kişi başı günlük 0,65 kg' dır [21].

2000 yılında 1 milyar ton katı atığın olduğu Asya'da atık miktarının 2012 yılında 2 milyar ton civarında olacağı tahmin edilmektedir. Japonya ve Singapur gibi yüksek gelir düzeyine sahip ülkelerde kişi başına günlük atık oluşumu 1,5 ile 2,0 kg, Malezya ve Endonezya gibi orta gelir düzeyine sahip ülkelerde 0,75 ile 1,0 kg, Pakistan ve Hindistan gibi düşük gelir düzeyine sahip ülkelerde ise 0,4 ile 0,6 kg düzeyindedir.

Asya'da oluşan atığın % 46'sı doğu Asya'da oluşurken bu oranın Çin'in sahip olduğu yüksek büyüme hızı nedeniyle 2010 yılında % 60 oranına yükselmesi beklenmektedir. Yüksek gelir grubundaki Asya ülkelerinin katı atıklarında kom

postlaştıramayan atık oranı %50'ler seviyesindeyken, bu oran orta gelir grubundaki ülkelerde %30–40, düşük gelir grubundaki ülkelerde ise % 20'den azdır. Asya ülkelerinde atıklardaki nem oranları, yüksek gelire sahip ülkelerde % 60'lara ulaşmaktadır. Yüksek gelir grubundaki ülkelerin atık yoğunluğu, ambalaj atıklarının bolluğu nedeniyle daha düşüktür [22].

3.3. Atıkların Bertarafı

İnsan faaliyetleri sonucu oluşan katı atık sorununun giderilmesinde kullanılan yöntemleri düzensiz depolama, düzenli depolama, kompostlama, tekrar kullanım, geri dönüşüm, geri kazanım ve yakma şeklinde sınıflandırmak mümkündür.

3.3.1. Düzensiz (vahşi) depolama

Katı atıkların hiçbir önlem alınmaksızın açık araziye rastgele boşaltılarak insan çevresinden uzaklaştırıldığı, gelişmemiş ya da gelişmekte olan ülkelerde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem; depo sahasında rüzgâr etkisi ile toz bulutlarının oluşması, meydana gelen gazların hava kirliliğine neden olması, geniş bir alana yayılan katı atıkların çevre ve görüntü kirliliği yaratması ve bu alanlarda barınan ve beslenen hayvanların bulaşıcı hastalıklara sebep olması gibi ciddi problemleri yaratmaktadır [23].

3.3.2. Düzenli depolama

Düzenli depolamada amaç, mekanik, kimyasal ve biyolojik işlemlerle değerlendirilmesi, ekonomik bir şekilde mümkün olmayan ya da bu işlemler sonucu açığa çıkan ve insan sağlığını tehdit eden, diğer canlılara çeşitli şekillerde zarar veren, çevre estetiğini bozan katı atıklarının yerleşim alanlarından uzaklaştırılıp zararlarının önlenmesidir. Uygun yer seçimi ve çevre koruma önlemleri gibi teknik standartlara uygun şekilde inşa edilmiş düzenli depolama alanları atıklardan kurtulmanın en etkili yoludur [23].

3.3.3. Kompastlama

Gıda ve toprak (çimen, bahçe artıkları vs.) artıkları gibi organik maddelerin biyolojik bozulmasını kontrol altına alan bir yöntemdir. Bu yöntemin; toprağa besleyici maddeler kazandırması, yararlı toprak organizmalarını artırması, depolama alanları dışındaki organik atıkların geri kazanılması, belirli bitkisel hastalıkları önlemesi, gübre ve pestisitlere olan ihtiyacı azaltması, toprak erozyonunu engellemesi, kirlilik problemine çözüm getirmesi ve doğal kaynakları koruması gibi birçok yararı söz konusudur [23].

3.3.4. Tekrar kullanım

Atıkların temizleme dışında hiçbir işleme tabi tutulmadan aynı şekilde defalarca kullanılması; geri dönüşüm, atıkların fiziksel ve/veya kimyasal işlemlerden geçirildikten sonra ikinci hammadde olarak üretim sürecine sokulması ve geri kazanım ise, tekrar kullanım ve geri dönüşüm kavramlarını da kapsayan, atıkların özelliklerinden yararlanılarak içindeki bileşenleri fiziksel, kimyasal ya da biyo-kimyasal yöntemlerle başka ürünlere veya enerjiye çevrilmesidir [23].

3.3.5. Yakma yöntemi

Geçmişte bütün kentsel katı atıkları uzaklaştırmak ve kütleli olarak depolamak için sadece uygun hacimli bir araziye ihtiyaç duyan yerel yönetimler, günümüzde artık katı atıklar için geri dönüşüm, kompostlama, enerjinin geri kazanımı ve depolamadan oluşan kombine ve komplike bir sistemi kullanır hale gelmişlerdir.

Ekonomik gelişim ve yükselen yaşam standartları ile ürün ve hizmetlerle ilgili talepteki artış sonucunda kişi başına katı atık üretimi artmıştır. Artan nüfus, büyüyen ekonomi, hızlı kentleşme ve yükselen yaşam standartlarının bir araya gelmesi ile birlikte özellikle gelişmekte olan ülkelerde kentsel katı atıklar büyük bir sorun haline gelmiştir.. Bu boyuttaki bir sorunun etkili çözümünde ise katı atık yönetimi olarak adlandırılan yeni bir olgu ortaya çıkmıştır [23].

3.4. Yakma Teknolojilerine Bakış

Atık bertarafında kullanılan yakma yöntemlerini şu şekilde sıralayabiliriz;

1. Izgaralı yakma sistemleri,
2. Akışkan yataklı fırınlar,
3. Döner fırınlar,
4. Alternatif sistemler,
 - Yaş oksidasyon,
 - Piroliz,
 - Gazlaştırma ve kombine sistemler,
5. Plazma Teknolojileri

Bu bölümde adı geçen yakma teknolojileri kısaca incelenmektedir.

3.4.1. Izgara fırınları

Izgara fırınlarında, yakma prosesi için gerekli olan havanın girişi, yakılacak atığın yanma özellikleri kalorifik değerine göre belirlenen bir ızgara ile ayarlanmaktadır. Atık yükleme ve cüruf uzaklaştırma, ızgarada aynı doğrultuda yapılır. Bu da yakma havasının tüm atık parçalarına ulaşmasını sağlar. Yakma yeterli olduğu takdirde, baca gazındaki fazla hava oranı yüksek olacaktır. Baca gazlarının fırında kalma süresi en az 2 saniye, fırın çıkışındaki sıcaklığı ise 850 °C' dir [24].

Izgaranın mekanik hareketi ile atık karıştırılarak ızgarada ilerlemesi sağlanır. Bu da havalandırmanın iyileştirilmesine yardımcı olur. Doğru akışlı yatay ızgarada, ızgara atıkların gideceği istikamete doğru hareket eder. Ters akışlı ızgaralarda ise ızgara, atık hareketine ters şekilde hareket eder. Bu durumda atıklar ızgara eğiminden dolayı yer çekimiyle hareket ederler. Silindirik ızgaralarda, ızgara döner çubuklardan ibaret olup; bunların her birinin dönme hızı proses ihtiyaçlarına göre ayarlanabilmektedir. Yakma hücreesindeki yüksek ısıdan dolayı, atık fırının girişinde derhal kurutulur ve

kendiliğinden yanar. Yakma prosesi, herhangi bir enerji ilâvesi gerektirmeden, yaklaşık 1000 °C' de gerçekleşir. Yakma ısısı daha sonra bir buhar kazanı vasıtasıyla değerlendirilir [24].

Izgara fırınları, evsel atık için en yaygın fırın tipidir. Bunların uygulama alanları oldukça geniştir. Hem kapasitesi 1 ton/saatten daha düşük olan tesislerde, hem de 50 ton/saatten daha büyük tesislerde ızgara fırınları kullanılmaktadır. "Izgara fırınlarında, birincil hava ızgaranın altından ve yanından, ikincil hava ise baca gazlarında türbülans yaratmak amacıyla son yakma bölümüne verilmektedir. Ateşlemenin yerleri, yakma fırını tasarım ve konstrüksiyonuna göre değişebilir. Tesis, yanma hücreesine bağlı bir son yanma bölümüne sahip olmalıdır. Burada en az % 6 oksijen ihtiva eden baca gazı ve en az 2 saniye kalma süresi durumunda sıcaklık evsel atık için en az 850 °C'de, tehlikeli ve tıbbî atık için ise en az 1200 °C'de tutulmalıdır. Sıcaklık sürekli kaydedilerek kontrol edilmelidir. Atıklar, tam yanma sağlanıncaya kadar yakma hücresinde kalmalıdır. Bu süre, ızgara hareket hızıyla ayarlanabilir ve kullanılan teknoloji ile diğer işletme koşullarına göre değişiklik gösterir. Bu nedenle fırında kalma süresi işletmeci grubun tecrübesi ile netlik kazanır [24].

3.4.2. Akışkan yataklı fırınlar

Sabit akışkan yataklı fırınların ortasında genellikle huni veya silindirik şekilde düzenlenmiş bir reaktör bulunur. Atıklar, akışkan yatağında yakılabilmesi için, standart parçalayıcı ekipman ile yaklaşık 100 mm dane çapına kadar parçalanmalıdır. İnce daneli inert malzemelerden oluşan akışkan yatak yüklenen atıklarla birlikte aşağıdan verilen yakma havası tarafından uçurularak homojenleştirilir ve hareket halinde tutulur (akışkan haline getirilir) [24].

Döner akışkanlar yatağı fırınları, sabit olanların geliştirilmiş şekilleridir. Burada, yakma sonucu oluşan küller, yakma hücreesine geri aktarılır. Akışkanlar yatağı malzemesinin geri dönüşümüyle, sıcaklık ve yakılacak malzemelerin homojenizasyonu sağlanır. Islak atıklardaki su, akışkanlar yatağı malzemesi

vasıtasıyla ısıtılıp buharlaştırılır. Yakılan atıklar, yanma noktasına kadar ısıtılır, sonra herhangi bir enerji ilâvesi gerektirmeden yanar [24].

Genel olarak, akışkanlar yatağı fırınları her kapasitede inşa edilebilir. Yine de bugüne kadar katı atık yakmak için yapılan en büyük akışkanlar yatağı fırınının kapasitesi 6 t/saat'tir. Başka malzemelerin atıkları, tam yanma sağlanıncaya kadar yakma hücresinde kalmalıdır. Bu süreler atık tiplerine, kullanılan teknolojiye ve diğer işletme koşullarına göre değişiklik gösterirler ve işletmeci grubun tecrübesi ile netlik kazanır. Akışkan yataklı fırınlarda, 1000 – 1200 °C'ye varan ve homojen sıcaklıklar elde edilebilir [24].

3.4.3. Döner silindir fırını

Bu teknoloji, özellikle tehlikeli atıklar için uygulanmaktadır. Evsel atıklar için kullanıldığında; sınıflandırma, ayırma gibi ön işlemlere gerek yoktur. Yakma prosesi, alevle ya da yanan atıklara başlatılır. Proses kontrolü, dönme hızı ve dolma derecesi üzerine yapılır. İlâve edilen hava, ızgara ya da akışkanlar yatağı fırınlarındaki gibi atıktan geçmek yerine, atıkla birlikte doğru akımla fırından geçer [24].

Döner silindirli fırınların dönme hızları, proses ihtiyaçlarına göre ayarlanabilir ve bu değerler üreticiden üreticiye göre değişebilir. Dolma derecesi, yaklaşık % 5'tir. Bu sınır değer de yine üreticiden üreticiye değişebilir. Atıkların dönme silindirli fırında, tam yanma sağlayıncaya kadar kalmalıdır. Bu kalma süresi atık cinslerine, kullanılan teknolojiye ve işletme şartlarına bağlı olmakla birlikte yaklaşık 1 saat kadar olmaktadır. Tehlikeli atıklarda, bu durum atık özelliklerine göre daha da fazla değişkenlik gösterebilmektedir. Yanma sıcaklıkları da yine atıkların özelliklerine ve özellikle kalorifik değerlerine bağlıdır. Döner silindirli fırınlar, genellikle tehlikeli atık için geçerli şartları (son yanma sıcaklığı ve baca gazı kalma süresi) sağlayacak şekilde tasarlanır. Tesis, yanma hücreğine bağlı bir son yanma bölümüne sahip olmalıdır. Burada en az % 6 oksijen ihtiva eden baca gazı ve en az 2 saniye kalma süresi durumunda sıcaklık evsel atık için en az 850 °C'de, tehlikeli ve tıbbî atık için

ise en az 1200 °C'de tutulmalıdır. Sıcaklık sürekli kaydedilerek kontrol edilmelidir [24].

3.4.4. Alternatif prosesler

Tek başına/birlikte yakmaya alternatif teknolojiler aramak için çeşitli nedenler vardır. Bunlardan en önemlisi büyük oranlardaki baca gazı emisyonları, çamur yakma boyunca oluşan kül ve ayrıca karmaşık ve pahalı baca gazı arıtma zorunluluğudur. Baca gazı hacmi, baca gazı arıtma tesislerinin boyutunu, sermaye ve işletme maliyetini belirlediği için önemli bir parametredir [25].

Oluşan büyük miktardaki külün uzaklaştırılması çamur değerlendirme maliyetini de artırmaktadır. Burada, hem kül miktarını hem de baca gazı hacmini azaltan alternatif proseslerin tanıtılması amaçlanmaktadır. Alternatif yöntemleri şu şekilde sıralamak mümkündür:

Yaş Oksidasyon

Yaş oksidasyon, herhangi yanabilir bir maddenin 120-370°C sıcaklıklar arasında su içeren bir ortamda –sulu fazda- oksitlenmesi esasına dayanır. Genelde, uygun sıcaklık, basınç (1-22 MPa), reaksiyon süresi ve yeterli basınçlı hava veya oksijen sağlanırsa yüksek yakma verimi elde edilebilir. Yaş oksidasyon süreci ‘Zimpro’ süreci olarak patentlenmiştir. Bu süreç literatürde aynı zamanda, ıslak yakma veya ıslak tutuşturma olarak da anılır. Zimpro süreci, diğer alışılmış yakma sistemlerinde uygulanması gereken ön susuzlaştırma veya kurutma işlemlerini de gerektirmez. Çamurdaki su oranı % 99 mertebesinde olabilir.

İlk endüstriyel uygulama 22.800 ton/yıl katı madde kapasiteli bir tesiste gerçekleştirilmiştir. Ağırlıkça yaklaşık % 5 katı madde içeren çamur 3-5 mm tane boyutuna öğütülmekte, homojenleştirilmekte ve saf oksijenle birlikte karışım halinde reaktöre beslenmektedir. Organik maddeler, en düşük 280 °C sıcaklıkta ve yaklaşık 10 MPa basınçta dağıtılmaktadır. Bu proseste % 70’lik bir kütle azalma elde

edilmektedir. Çamurdaki mevcut S, Cl ve P çözünen ve prosesi sıvı formda terk eden sülfat, klorit ve fosfat bileşiklerine dönüşmekte ve proses boyunca oluşan kül ayrılarak susuzlaştırılmakta ve ayrışan su biyolojik arıtmaya tabi tutulmaktadır [25].

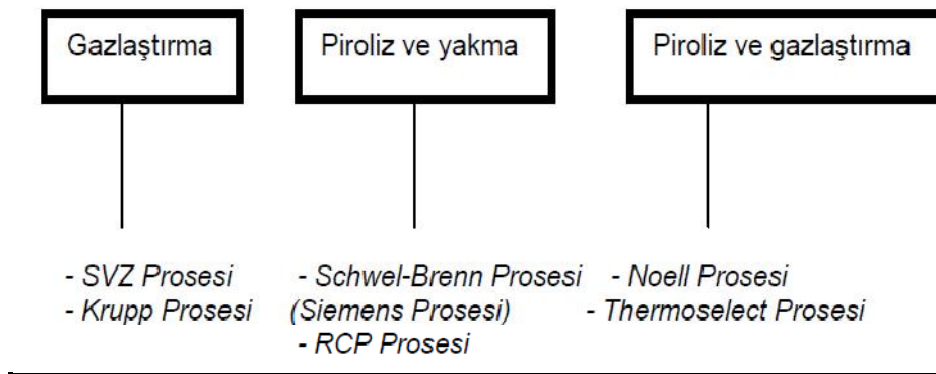
Piroliz

Piroliz sözcüğü Yunanca'da ortamda gaz (inert, indirgen veya yükseltgen gaz) olmaksın gerçekleştirilen ısı bozundurma anlamına gelmektedir. Modern tanımı ile piroliz, organik maddelerin oksijensiz ortamda ısıtılarak gaz, katı veya sıvı ürünlere ayrılması (bozundurulması) işlemidir. Pirolizde teorik olarak gerekli ısı miktarı, organik maddenin kimyasal yapısını bozacak ve yeni kimyasal maddelerin oluşumunu sağlayacak düzeyde olmalıdır. Isıl bozundurma işlemi katı yakıt açısından değerlendirildiğinde “karbonizasyon”, gaz ve sıvı yakıt açısından değerlendirildiğinde ise “piroliz” olarak bilinir [26].

Piroliz ve gazlaştırma termik süreçlerdir: karbon yapılarının ayrıştırılmasında yüksek sıcaklıklar kullanılmaktadır. Her iki teknolojiye de atık yakma teknolojisine kıyasla) daha az oksijen tüketilmektedir. Piroliz sürecinde atıklar kömüre (veya küle), piroliz yağı ve sentetik gaza (“sentez gazı”) indirgenmektedir. Bunun ardından gazlaştırma sürecinde sentez gazının içindeki hidrokarbonlar (kontrollü miktarda oksijen verilerek) ayrıştırılmaktadır. Piroliz ve gazlaştırmada karbon içeren atıklar örneğin kağıt, petrol esaslı atıklar (plastik ve tekerlekler) ve organik madde içeren atıklar örneğin gıda atıkları değerlendirilir. Gazlaştırmada küçük bir miktar oksijen kullanılmakta, pirolizde ise oksijen kullanılmamaktadır Her iki teknolojiye de sentetik (“sentez gazı”) gaz üretilmekte ve bu gaz % 85 oranında karbon monoksit ve hidrojen ve de daha küçük oranlarda olmak üzere karbondioksit ve metan gazlarından oluşmaktadır. Sentez gazın kalorifik bir değeri olduğundan bu gaz yakma tesislerinde elektrik ve/veya üretiminde kullanılabilen veya buhar kullanılabilen, kimya, petrokimya ve rafineri tesislerinde hammadde olarak değerlendirile-bilmektedir. Sürecin yan ürünleri olarak sıvılar (ör. gaz yıkamadan kaynaklanan) ve katılar (kömür ve kül) açığa çıkar [26].

Gazlaştırma ve Kombine Prosesler

Katı atıkların ve arıtma çamurlarının bertaraf edilmesinde pek çok yeni teknoloji gazlaştırma ve piroliz ile gazlaştırmayı beraber içermektedir. Genellikle Alman firmaları tarafından geliştirilen ve kendi adları ile anılan en son teknolojiler Şekil 3.4'te belirtilmektedir [25].

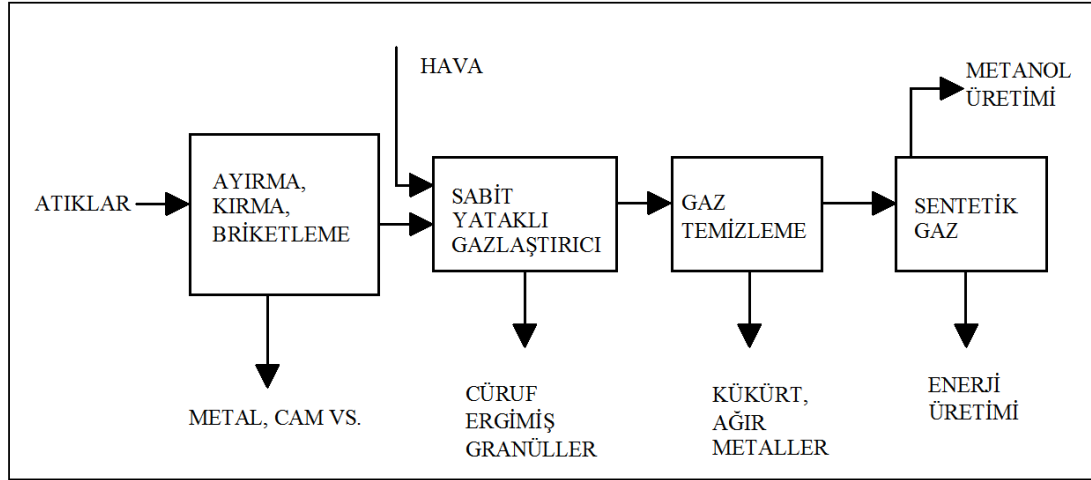


Şekil 3.4. Gazlaştırma ve kombine prosesler şeması

İkincil madde geri kazanım prosesi (SVZ Prosesi)

Atıklardan ikincil hammadde kazanımı sağlayan bir prosestir. Ön kurutma çamuru, plastikler, biyokütle atıklar, elektronik sanayi atıkları ve tehlikeli atıklar gibi çok çeşitli atık türleri kömürle birlikte gazlaştırılmaktadır. Metalik bileşimler ayrıldıktan sonra, katı atıklar kırma öğütme ve briketleme/peletleme işlemine tabi tutulmakta ve daha sonra 1360 °C'de oksijen ve buharla gazlaştırılmaktadır. Gazlaştırma prosesinden çıkan gaz, hafif yağ ve katran ile CO, H₂, CH₄ ve CO₂ gazlarından oluşmaktadır. Yağ ve katran uzaklaştırılarak temizlenen gaz diğer sıvı atıklarla birlikte 1600-2000 °C'de pulverize gazlaştırıcıda gazlaştırılmaktadır. Sentetik gazlar metanol üretimi ve enerji eldesi için kullanılabilir. Proses akım şeması Şekil 3-5'te verilmiştir. Almanya'da biri katı atıklar için 400 000 ton/yıl kapasiteli yüksek basınçlı sabit yatak gazlaştırıcı, diğeri sıvı ve çamur benzeri atıklar için 50 000 ton/yıl kapasiteli pulverize yakıt gazlaştırıcı olmak üzere 2 tesis bulunmaktadır. Bu proseste 1999 yılında 100 000 ton metanol üretilmiştir. 1992-1995 yılları arasında

28 000 ton çamur birlikte gazlaştırılmış ve gelecekte de 80 000 ton/yıl çamurun gazlaştırılması planlanmaktadır [25].



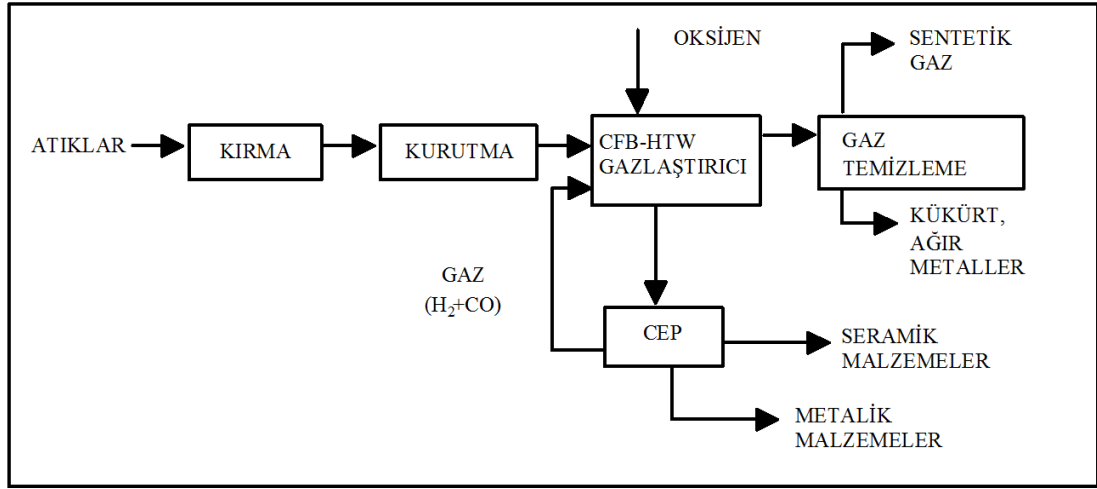
Şekil 3.5. SVZ prosesi

KRUPP Prosesi (Krupp Uhde PreCon proses)

Bazı metalik ve inorganik maddeler ayrıldıktan sonra ufalanan atık % 10 nem içeriğine kurutulmakta ve sonra 700-1000 °C'deki HTW-CFB gazlaştırıcıya gönderilmektedir (Bkz. Şekil 3.6.). Tabandaki katı partiküller 1300-1800 °C'de çalışan CEP (katalitik ekstraksiyon prosesi) ünitesinde işlenmektedir. Ergitme fırını indüksiyon yoluyla ısıtılmakta ve katkı maddesi ve oksijenle desteklenmektedir. Reaksiyonlar ergimenin aşağıda kısaca açıklanan fazlara dönüşümünü sağlamaktadır.

- CaO, SiO₂ ve Al₂O₃'den oluşan seramik faz,
- Daha sonra geri kazanılan Fe, Ni ve Cu gibi kalıntı metallerden oluşan metalik faz,
- Ergitmedeki karbonun eserlerinin gazlaştırılmasıyla H₂ ve CO'den oluşan gaz fazı.

HTW teknolojisi 1970'li yıllardan itibaren 700-1000°C'de ve yüksek basınçta çalıştırılmaktadır. Tecrübeler 38.000 çalışma saatinde pilot tesiste ve 30,5 ton/saat ve 27 ton/saat kapasitede 2 büyük ölçekli tesiste sırasıyla 1978, 1985 ve 1988 yılından beri çalışmakta olduğunu göstermektedir [25].



Şekil 3.6. Krupp prosesi akım şeması

NOELL Prosesi (Noell conversion process)

Noell dönüşüm prosesi, gazlaştırma sonrası piroliz işlemini içerir. Teknolojinin esası, 3,5 MPa'a kadar basınç ve 2000 °C'ye ulaşan sıcaklıkta çalışan yüksek basınçlı bir gazlaştırıcıdır. Atıklar kırılmakta ve 550 °C'de piroliz edilmektedir. Daha sonra iri boyutlardaki metal, taş ve inorganik maddeler ayrılmakta, kalan ince malzemeler ise pulverize yapıda öğütülerek gazlaştırma ünitesine beslenmektedir. Piroliz gazı ilk önce soğutulmakta daha sonra sıkıştırılarak gaz yakıcıya beslenmektedir. Gazlaştırma için saf oksijen kullanılmaktadır. Birlikte gazlaştırma (Co-gasification) için çamur ön kurutmaya tabi tutulmakta, pulverize hale öğütülmekte ve yakma ünitesine pnömatik olarak beslenmektedir.

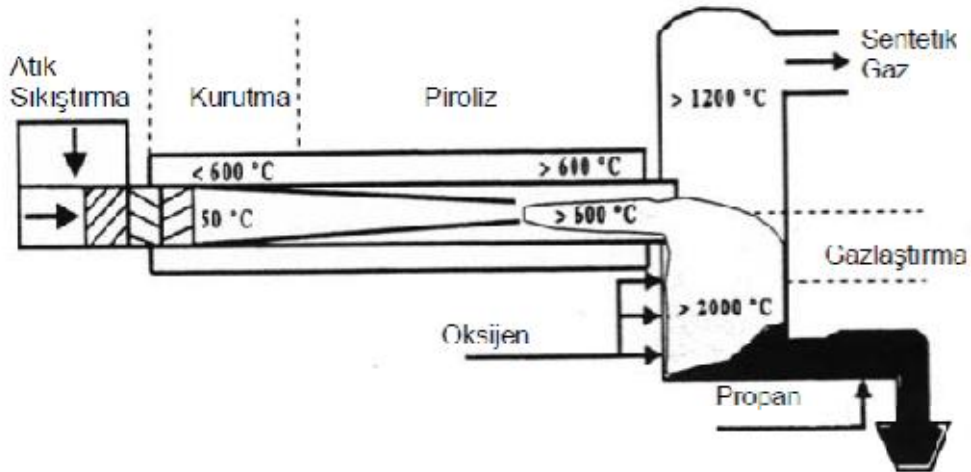
Uygulamada Almanya'da 1988 yılından beri 130 MW'lık büyük ölçekli bir tesis çalışmaktadır. Prosesin temel ürünü, enerji üretimi için gaz türbinlerinde kullanılan ve çoğunlukla CO ve H₂ içeren yüksek kalitede sentetik bir gazdır [25].

THERMOSELECT Prosesi

Piroliz ve gazlaştırmanın tek bir ünite de gerçekleştirildiği bir teknolojidir. Atık sınıflama ve ayırma kademesi ortadan kalkmakta, arıtma çamurları dahil atıklar,

dışarıdan ısıtılan ve 600 °C'den daha yüksek sıcaklıkta tutulan uzun bir kanalda hidrolik baskı kullanılarak sıkıştırılmaktadır. Atıklar kanala doğru hareket ederken ısıtılmakta, kurutulmakta ve tamamına yakını kanalın sonuna ulaşınca kadar pirolize dönüşmektedir. Piroliz ürünleri daha sonra malzemelerin 2000 °C sıcaklıkta oksijenle gazlaştırıldığı gazlaştırma bölgesine girmektedir. Yüksek kalitede sentetik bir gaz ve ergimiş yapıda bir yan ürün elde edilmektedir. Gaz, dioksin ve furan oluşumunu engellemek için 1200 °C'den 90 °C'ye hızla soğutulmakta ve daha sonra da temizlenerek enerji üretiminde veya kimya prosesleri için hammadde olarak kullanılmaktadır. Ergimiş yan ürün oksijen ve propan yardımıyla yanma bölgesine doğru akar ve yanma tüm klorlu karbon ve empürütelerin termal bozunmaya uğradığı 1600°C'yi aşan sıcaklıkta gerçekleşir [25].

Uygulamada İtalya'da 100 ton/gün kapasiteli bir pilot tesiste çeşitli tecrübeler elde edilmiştir. Almanya'da ise 1999 yılında 225 000 ton/yıl kapasiteli büyük ölçekli bir tesis kurulmuş ve işletilmektedir [25].



Şekil 3.7. Thermoselect prosesi akış şeması

3.5. Plazma İle Bertaraf

Plazma kimyasal proseslerde önemli bir role sahiptir. Toz metalurjisi, kesme ve kaynak teknolojilerinde de kullanılan plazma teknolojisi yenilikçi bir bakışla atık bertarafında da önemli bir noktaya ulaşmaktadır [7].

3.5.1. Tarihçe

Plazma; elektronlar, iyonlar ve nötr partiküllerden oluşan, elektriksel olarak nötr olan, maddenin 4. hali olarak tanımlanmaktadır. Bir plazmanın iyonlaşma derecesi, elektron kaybeden veya kazanan atom miktarıdır; bu çalışmayı ilgilendiren termal plazmaların durumunda iyonlaşma derecesi çoğunlukla ısı ile kontrol edilir. Plazma teknolojisi, elektriksel bozunma olarak kabul edilen bir işlem olan, bir proseste elektrik akımını bir gaz içerisinden geçirerek aralıksız bir elektrik arkı oluşturmayı kapsar. Sistemdeki elektriksel öz dirençten dolayı, gaz moleküllerinden elektronları ayıran, iyonlaşmış bir gaz akışına veya plazmaya sebep olur ve kayda değer bir ısı meydana çıkar. 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 sahiptir ve serbest elektrik yükleri gaza nispeten yüksek, metallerinkine yakın bir elektriksel iletkenlik verir [27].

Termal plazma bazlı işlem teknolojileri aşağıdaki uygulamalar için kullanılır:

- Plazma püskürtme, kaplama teknikleri,
- Nanometre boyutlarında saf toz sentezi,
- Büyük ocaklarda tekrar eritme ve temiz eritme uygulamalarını içeren metalürji,
- Eritme/dökme/arıtma işlemlerini içeren çıkarılabilir (doğal maddeleri işleyen) metalürji,
- Tehlikeli atık materyallerin imhası ve arıtılması.

Teknik vade ve yükleme sayısı bakımından, yüzey modifikasyonu ve kaplama termal plazmanın en etkili uygulamalarıdır. Termal plazmalar, yüksek enerji yoğunluğu ile arıtılacak materyali ısıtma, eritme ve bazı durumlarda buharlaştırma kabiliyetinden dolayı materyal işlemlerinde kullanılmaktadır.

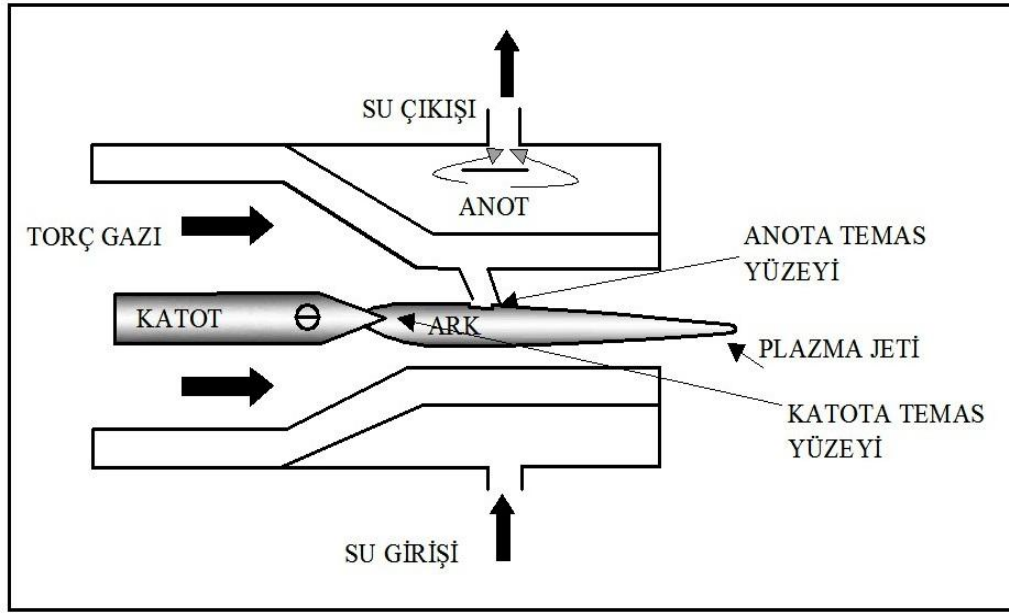
3.5.2. Plazma üretimi

Tehlikeli atıkların bertarafı için kullanılan plazma üretim metotları; DC plazma torçları (transferli ve transfersiz konfigürasyonlar) ve indüktif olarak eşleştirilmiş (RF) plazma aygıtlarını kapsamaktadır. Bunlardan ayrı olarak, bu teknolojilerde, yüksek enerjili ve sıcaklıklı bir plazma akımı iki elektrot arasında üretilir ve plazma elektrotların birinin ötesinde yüksek entalpili plazma jet olarak yayılır. Transfersiz ark cihazlarında karşı elektrot, torça dahil edilir ve plazma jet onun arkasından yansıtılırken, transferli ark cihazlarında karşı elektrot işin bir parçasıdır [27].

DC Transfersiz Ark Plazma Torçları

DC Transfersiz plazma torçları, materyal işlemede en yaygın kullanılan plazma üretim cihazlarından biridir. Torcun içerisinde geçirilen gaz elektrik arkı ile karşılaşarak yüksek sıcaklıklı bir jet oluşturur ve işlenecek materyale uygulanır. DC transfersiz ark plazma torcunun şematik gösterimi Şekil 3.8.'de gösterilmiştir [27].

Burada; bir eksenel, çubuk katot ile dairesel bir anot arasında bir ark kurulur. Anot, jetin eksenine paralel ve ortak merkezlidir. Gaz, ark sütunu ile anodun iç yüzeyi arasındaki sınır katmandan geçer ve gaz akışının baskısıyla akım yönünde itilir. Katodun profili plazma arkının ek noktasına sabitlenmişken, anodun ark ek noktası, anodun elektrot materyalinin azalmasına bağlı olarak sürekli değişir. Elektrotlar, kendinden beklenen elektriksiz arkı oluştururken kademeli olarak tükenmektedirler ve genellikle su ile soğutulmaktadırlar. Bununla birlikte, bu tip torcun dezavantajları, ürünü bozmaları ve çok düşük enerji verimlilikleridir. Örneğin verdikleri güç, aldıkları gücün % 50'sinden daha az olabilmektedir [27].



Şekil 3.8. DC ark plazma torcu şematik gösterimi

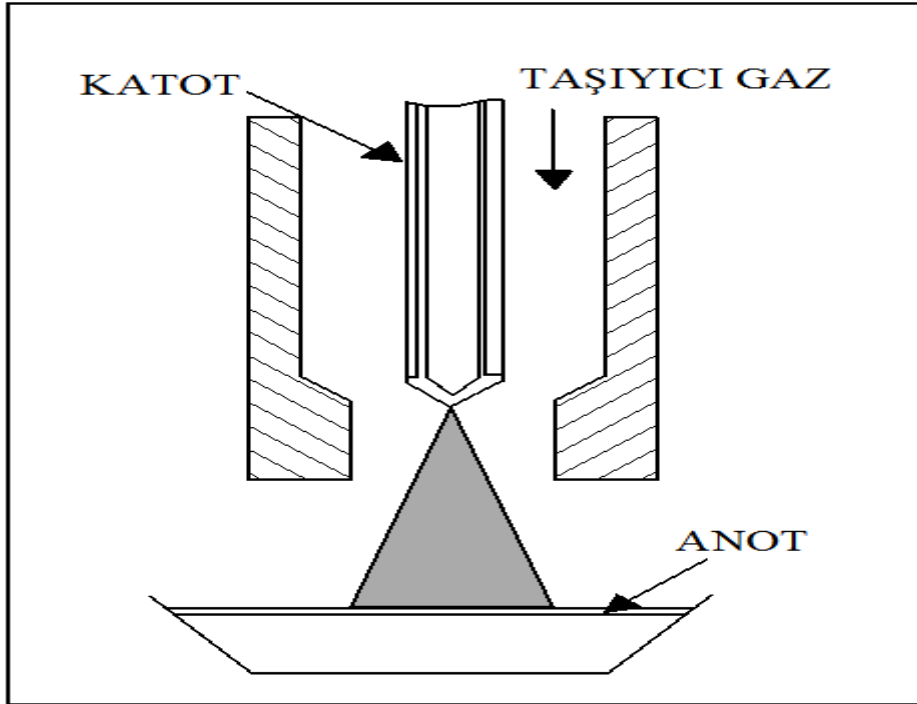
Transfersiz DC plazma torçları iki ana elektrot konfigürasyonu ile kullanılırlar:

Sıcak elektrotlu dengelenmiş veya sıkıştırılmış/daraltılmış duvarlı arklar: tungsten katot ve dairesel bakır bir anotlu torçlar tipik olarak 100kW altındaki güç seviyelerinde kullanılır. En çok kullanılan gazlar Ar, He, N₂, H₂ veya karışımlarıdır. Oksitlenmiş gazlar, tungsten katodu oksitlendirdiği için bu torçta kullanılamazlar. Gaz akış oranı, genellikle 100 l/dakika'nın altındadır ve sıcak gazın enerji yoğunluğu 145 MJ/m³ e ulaşabilir. Plazma sıcaklığı 6000-15 000 °K'dir.

Soğuk elektrotlu Dengelenmiş veya sıkıştırılmış/daraltılmış duvarlı arklar: çok yüksek termal öz iletkenlikli (385 Wm⁻¹K⁻¹) soğuk, bakır elektrotlu torçlar oksitlenmiş gazları içeren plazmalar için kullanılabilir. Eşmerkezli, boru şeklinde, plazmanın güçlü bir girdap hareketi ile içinde üretildiği küçük bir boşlukla birbirinden ayrılan iki elektrotu sahiptir. Bu boşluk, manyetik bir alanla veya gaz akışındaki girdapla indüklenir. Bu torçların endüstriyel tipleri 1MW torçta 100kW-6MW arası bir güç seviyesinde, 300m³/s(5000 l/dak) kadar yüksek bir gaz akış oranı ile çalışır. Plazma sıcaklığı, atmosfer basıncında 8000 °K' nin altındadır. Bu torçlar, başlıca ultra saf toz üretiminde veya metalürjide kullanılırlar [27].

DC Transferli Ark Plazma Torçları

Transferli ark torçlarında, tek bir torç gövdesinde anot ve katottan oluşan iki adet elektrot bulunmakta ve bu elektrotlar elektriksel arka yön vermektedirler. Elektrotlar arasında plazmaya yön veren bir fiziksel mesafe bulunmaktadır. Bu fiziksel mesafe, birkaç santimetrenden neredeyse bir metreye kadar olabilir. Torçlar, anodik veya katodik olabilir; elektrot, jetin eksenini eş merkezlidir ve ark, dış elektrota transfer edilir. Şekil 3'te şematik olarak gösterilen tek bir torç düzenlemesindeki iş parçası, elektriksel açıdan iletken bir materyaldir [27].

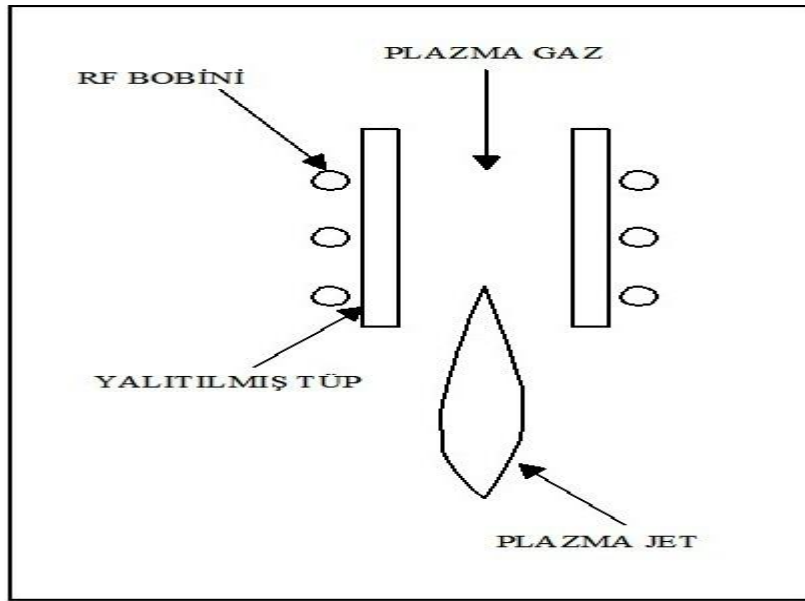


Şekil 3.9. DC transferli torç şematik gösterimi [27]

Transferli ark torçları, aşırı derecede yüksek termal akımlar üretebilir çünkü plazma arkı, torçun su soğutmalı gövdesinin dışında şekillenir. Bu, transferli ark torçlarının, transfersiz olanlardan daha etkili olduğu anlamına gelmektedir çünkü soğuk torç gövdesinde radiant ısı transfer kayıpları minimize edilir [27].

İndüktif Olarak Eşleştirilmiş RF Akımları

RF akımları, metalik buharla plazmanın kirlenmesinin kaçınıldığı, elektrotların olmadığı bir sistemle karakterize edilir. İndüktif olarak eşleştirilmiş RF akımlarının çalışmasına yönelik şematik diyagram Şekil 3.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. RF plazma torçu şematik gösterimi [27]

RF tesirli plazma torçlarında, plazmaya enerji sağlama elektriksel indüksiyon bobini tarafından üretilen elektromanyetik bir alanla sağlanır. Plazma gazı elektrotlarla temas etmez. Böylece olası atık kaynağı ve atıl kalma, azalma, oksitlenme durumlarının ve diğer aşındırıcı ortamların oluşması ortadan kaldırılmış olur. Genel güç yoğunluğu DC plazmalarınınkinden daha düşüktür [27].

3.5.3. Atıkların termal plazma bertarafı

Plazma reaktörleri eritmede veya cam oluşturunucuların eklenmesiyle atığı tehlikeli maddeyi camsı yapı içinde tutulduğu, kararlı, süzülemeyen, camsı cüruf bir ürüne dönüştürmek için camlaştırma işleminde kullanılabilir. Camlaştırılmış ürün tekrar kullanım imkanının yanında güvenle tekrar kazanılabilir hurda metaller gibi yüksek

değerli diğer ürünlerini de elde etme imkanı sunar. Bunlara ek olarak, plazmalar tehlikeli organik bileşimleri termal yolla sade ve yararlı materyallere ayrıştırabilir. Alternatif olarak, gazifikasyon veya piroliz kullanılarak organik atıklar fosil yakıt yerine kullanılabilecek sentez gazına dönüştürülebilir.

Plazma işleminin en büyük dezavantajı pahalı bir enerji kaynağı olan elektriği kullanmasıdır. Bununla birlikte sürdürülebilir bir atık yönetimi sağlamak için uzun dönemli bir yatırım olarak düşünüldüğünde ekonomik açıdan uygun olduğu anlaşılabacaktır. Elektrik pahalı olmasına rağmen, transferli ark cihazlarının kullanımı ile güç verimli kullanılacak ve yakmayı desteklemek için yüksek azot içerikli havayı ısıtmak gibi yükte olmayacaktır [27]. Yüksek sıcaklıklarda, uçucu metallerin gazlaşacak ve off-gas ile birlikte halojenler ve diğer asit gazlarla birlikte tertibatın dışına taşınacaktır. Bununla birlikte asitli gaz çıkışının yüksek halojen iyon kapasiteli basit bir cürufta hapsedilerek azaltılabilmektedir. Bununla birlikte sistemde gazın arıtımı için çok sayıda ekipman kullanılmaktadır. (scrubber vb)

Atık arıtmasında, plazma arkı üretmek için normalde delikli grafit elektrotlar kullanılır. Elektrotlar ve atık teknesinin veya bölmesinin astarı tüketim oranının genellikle 5 kg/MWh ten küçük yani büyüklük sıralamasında konvensiyonel ark fırınlarından daha aşağıda olan atık işleme süreci sırasında yavaşça azalır ve/veya aşınır [27].

Termal plazma yöntemiyle atık arıtımı ile ilgili mevcut gelişmeler şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Organik tehlikeli atıkların transfersiz plazma torçlu veya bir indüktif olarak eşleşen RF akımlı reaktörler kullanarak pirolizi veya gazifikasyonu,
- Katı materyallerin veya çamurların, istenilen emisyonların tutturulması amacıyla plazma ve pirolizin kombinasyonu bertarafı,
- Hem transferli ve hem transfersiz ark reaktörlerinin kullanıldığı elektrikli ark fırınlarından kalan Filtre tozu gibi üretim süreçlerinden kalan atık ürünlerin değerlendirilmesi.

Plazma arıtım üniteleri termal plazma kaynağının yanında birkaç alt sistemden oluşur. Bu bileşenler; bir atık besleme sistemi, bir proses bölmesi, bir katı tortu uzaklaştırma ve boşaltma sistemi, bir gaz yönetim sistemi, operasyon kontrolleri ve veri elde etme üniteleridir [27].

Atık fırın külünü arıtmak için kullanılan modern bir plazma sistemi başka bir araştırmaya konu olmuştur. Kısaca, bir fırının tepesine yerleştirilmiş ve manipülatör dikey bir kolon tarafından desteklenmiş delikli bir DC grafit katottan oluşmaktadır. Azot, eritme fırınına transfer edilecek kararlı bir plazma üretmek için katodun içinden aşağı doğru enjekte edilir; anot fırın ocağının bir parçası olarak yapılmış iletken elementlerden oluşur. Bu proseste çeşitli büyüklükteki ve bileşimdeki küller işlenebilir. Fırın indirgenmiş şartların kontrolü altında ve yaklaşık 1600°C sıcaklıkta çalışır. Elektriksel güç ihtiyacı çıktıya bağlıdır ama genellikle birkaç MW civarındadır ve diğer süreç değişkenlerinden bağımsız olarak kontrol edilir. Uzaktan su soğutucu elementler, etkili dayanıklılık performansı sağlayan koruyucu bir donmuş cüruf katmanı elde etmek için eritme hattına yerleştirilirler. Hazırlanan kül materyali beslemesi üniteye kontrollü bir aralıkta ölçülür ve plazma gücü eritme sıcaklığını 1500 °C civarında tutmak için kontrol edilir. Kül hızla erir ve erimiş cüruf fazı devamlı olarak sonrasında öğütüleceği veya atılacağı elekten taşar. Üniteden çıkan egzoz gazı daha sonra arıtılmak üzere üniteden alınır. Kuru veya yağ sucrubber da off-gas içerdiği tehlikeli partiküllerden ve asitten arındırılarak firtresine gönderilir. Temizlenmiş gaz, tahliye şartlarına uygun olarak atmosfere salınır [27].

3.5.4. Plazmanın diğer bertaraf yöntemlerine göre üstünlükleri

Termal plazma reaktörleri tehlikeli atıkların imhası ile ilgili olarak aşağıdaki rakipsiz avantajları sunmaktadır:

-Termal plazmaların yüksek enerji yoğunluğu ve sıcaklığı, buna uygun olarak da küçük bir reaktörle yüksek çıktı imkanı sunan yüksek reaksiyon hızları, reaktördeki kararsız yada yarı kararlı parçacıkların hızla soğutulması için gerekli olan

parçacıkların reaktörden alınabilme olanağını sağlar. Böylece tehlikeli organik kirleticilerin oluşması minimize edilebilir(Dioksin ve Furanlar).

-Plazmalar katı, sıvı ve gazları içeren geniş bir aralıktaki atıkların arıtılması için kullanılabilir.

-Reaktör limitlerindeki yüksek ısı akışı yoğunluğunda kararlı çevresel şartlara hızlı bir şekilde erişilmesini sağlar. Bu durum, yakma gibi diğer termal arıtmalara kıyasla performanstan ödün vermeden hızlı başlama ve kapatma zamanlarının elde edilmesine olanak verir.

-Yakıt yakılmadığından dolayı ısısının elde edilmesi için oksidan gerekli değildir. Böylece üretilen gaz akım hacmi, konvansiyonel yakma işlemi ile üretileninkinden çok daha küçüktür, işletmesi daha kolay ve daha ucuzdur.

-Yukarıdaki özelliklerin birleşimi, plazma arıtım işlemi ile tehlikeli atık üretme işleminin entegre edilmesine izin verir. Böylece atığın kaynakta arıtılması sağlanır ve probleme, en iyi çözümü verir [27].

-Konvansiyonel ısı jeneratörlerinin ulaşabileceği sıcaklıktan çok daha yüksek ısı oranlarına,

-Son derece tepkisel ve ergiyen ortama,

-Daha kısa yerleşim süreleri ve büyük işlem hacimlerine olanak sağlayan yüksek ısı yoğunluğu ve ısı transfer verimliliğine,

-Düşük ısıl atalet ve kolay geri bildirim kontrolüne,

-Isıtma gücü birimi başına, klasik bir brülörün gaz akışından daha düşük plazma gaz girişi ve buna bağlı olarak gazın tepkime sıcaklığı düzeyinde ısıtılması işleminin gerçekleştirilmesi için gerekli olan enerji düzeyine karşılık gelen enerji düzeyinde yaşanan kayıpların azalması ve aynı zamanda, işlenecek off-gaz'ların sayısının azalmasına,

-Konvansiyonel yakma fırınları tarafından üretilen yanıcı gazların yokluğuna,

-Yüksek enerji yoğunluğu, düşük gaz akışı ve hacmin düşürülmesine bağlı olarak daha küçük yakma fırınlarına,

-Isı kaynağının, yanmaktan kurtarılmış enerjiden ziyade elektrik olması ve böylelikle; esneklik, hızlı işlem kontrolü ve değerli yan ürünlerin üretimi olanağı da dahil olmak üzere işlem yapısında birçok farklı seçeneğe,

-Tepkime gazlarının bileşiminde en uygun kontrolün sağlanmasına olanak verir [29].

Çizelge 3.2. Plazmanın diğer bertaraf yöntemlerine göre üstünlükleri [28]

Plazma Gazlaştırma	Yakma
Sentetik gaz üretimi sırasında hava yayımı olmaz.	Hava emisyonları; yüksek düzeyde sera gazı, diğer hava kirletici maddeler, dioksin ve furan içerir.
Duman yığını oluşmaz.	Yüksek dozda duman yığını açığa çıkarır
Ticari değeri olan cürufları tesirsiz kılmak için katılar 1/150 düzeyine indirgenmiştir.	Katıların %30'u katı bir atık ve potansiyel zararlı katı atık olan kül olarak kalır.
Oksijeni alınmış bir değiştirici kanalda cereyan eder.	Fazla hava, yakma fırınına eklenir.
Plazma jeneratörü işlem için gerekli tüm enerjiyi sağlamaktadır.	İşlemi sürdürmek için ek yakıt gerekir.
Atıklar zengin enerjili yakıt olarak ayrıştırılır.	Tüm enerji ısıya dönüştürülür.

3.5.5. Plazmanın dünyadaki uygulamaları

Plazma ile atık bertarafı her ne kadar ülkemiz için yeni bir teknoloji olsa da dünyada bu teknolojinin uygulamaları bulunmakta ve gün geçtikçe artmaktadır. Bu uygulamalar varolan ve planlanan uygulamalar olarak iki kısma ayrılmaktadır.

Var olan Tesisler

Bu yenilikçi teknoloji özellikle son on yılda dünyanın çeşitli bölgelerinde kendisine uygulama alanları bulabilmektedir. Mevcut olan bazı bertaraf tesislerinden modeller aşağıda verilmiştir.

Uygulama 1: National Cheng Kung Üniversitesi - Tainan City, Taiwan (PEAT International) tesisi

Taiwan'da Tainan şehri'nde bulunan National Cheng Kung Üniversitesi' atık bertarafı amacıyla kurulmuş bir plazma geri dönüşüm tesisi bulunmaktadır. Tesiste günde 3-5 ton uçucu külleri, ilaç atıklarını organik endüstriyel proses atıklarının ve ağır metal içeren inorganik çamurları içeren geniş bir yelpazede atık bertarafı yapılmaktadır. Tesis, Taiwan hükümeti tarafından plazma teknolojisinin kullanımı amacıyla yapımına büyük bir kaynak sağlanmıştır. Kasım 2004 yılında çalışma izinleri alınmış ve PEAT şirketi tarafından NCKU' daki tesisin yapımı üstlenilmiştir [30].

Uygulama 2: Yoshii, Utashinai, and Mihama-Mikata, Japan (Hitachi Metals Ltd.)

Üç küçük benzer tesis Japonya'da işleme girmiştir. Bunlardan ilki 1999-2000 yıllarında Yoshii şehrindeki günlük 151 ton kapasiteli Hitachi Metals Ltd ve Westinghouse Plasma şirketlerinin ortak geliştirdikleri bir pilot tesistir. İkincisi Utashinai Şehrinde bulunan, günlük 150 ton kapasiteli ve 2002 yılında işleme alınan fabrikadır. Son olarak 2002 yılında işleme giren, kardeş iki şehir olan Mihama ve Mikata şehirlerinde bulunan günde 25 ton kapasiteye sahip tesislerdir [31]. Bu iki tesisin, biri Avusturya ve diğeri Almanya menşeli iki farklı şirket tarafından yapımları üstlenilmiştir [32].

Uygulama 3: Ottawa, Ontario, Canada (Plasco Energy Group Inc.)

Yeni ve farklı bir enerji dönüşüm sistemi olan plazmadan sentez gazı eldesi prosesi henüz ticari olarak istenilen skalayı yakalamış sayılmaz. Plasco Energy Group Kanada'nın Ottawa şehrinde günde 94 ton belediye atığının bertarafını yapabilen tesisini inşaa etmiştir [33].

Uygulama 3: Swindon, Wiltshire APP

Sözü geçen teknolojinin kalbi bu tesis ile atmaya başlamıştır. Gazplazma prosesini kullanan dünyadaki ilk tesis APP Swindon Tesisi'dir. Tesiste gazlaştırma, plazma gaz bertaraf ünitesi, sentez gazı temizleme ve elde etme ünitesi ve gazdan enerji üretme ünitesi bulunmaktadır. Tesis yıllık 91 000 ton belediye atığı işleme kapasitesine sahiptir. Buda:

- Yaklaşık olarak 10 000 evin elektriğine,
- 700 evin ısıtılmasına,
- Geri dönüşümün yüzde 20 daha fazla artmasına,
- Yüksek performanslı ve yüksek oranlı agrega camı oluşumuna,
- Karbon oluşumunda önemli bir negatif etkiye sebebiyet vermektedir.

Bina 150 metre uzunluğunda, 50 metre genişliğinde 11 metre yüksekliğindedir. Tesisin çatısı yaklaşık 14 metre, bacası toplamda 34 metre yüksekliktedir. Bu bakımdan incelendiğinde tesis bir süpermarket kadar alana ihtiyaç duymaktadır. Tüm işlemler tesisin içinde olabilmektedir.

Planlanan Tesisler

Var olan tesisler kadar planlanan ve yapım aşamasındaki tesislerde mevcuttur. Bunlara verilebilecek modeller şunlardır;

Planlama 1: Energy Park Peterborough (Tetronics)

Energy Park Peterborough – İngiltere'nin ilk yeşil enerji parkıdır ve DECC Enerji ve iklim değişikliği devlet departmanı tarafından 2009 Kasım ayından beri desteklenmektedir. Tesis karışık şekilde atıkları kabul edebilecek ve tekrar atık oluşumuna neden olmadan onları bertaraf edecektir. Tesis enerji geri kazanımının yanı sıra yılda yaklaşık 600 000 ton CO₂ tasarruf etmiş olacaktı. Tesis 100 yeşil yakalı çalışan ile hizmet verip 60 000 evin enerjisi için güç üretecek ve Hava kirliliği

kanunlarına uygun baca gazı salacak ve inşaat sektöründe kullanılmak üzere camısı tuğlalar üretecektir. Böylelikle tesis sıfır atık projesini gerçekleştirecektir.

Planlama 2: St. Lucie County, Florida (GeoPlasma)

Amerika Birleşik Devletleri'nin ilk plazma bazlı atık bertaraf tesisi 2006 yılında St Lucie County, Florida eyaletinde inşasına başlanacağı ilan edildi. Şehirde 1978 senesinden beri 4 300 000 ton belediye atığı vahşi depolama şeklinde biriktirilmektedir. 2009 yılında işleme alınacağı açıklanan tesis mevcut atık problemine bir çözüm olacaktır. Tesisin planlayıcıları tesisin bir günde 540 ton inşaat molozunu ve 2700 ton atığı 5500 ° C de işleyeceğini açıklamışlardır.[38]

Planlama 3: Vancouver, British Columbia, Canada (Plasco Energy Group Inc.)

Bir plazma teknolojiside Metro Vacouver alanı için planlanmıştır. Vancouver halkı şehirde oluşan atık sorunu nedeniyle yönetimi protesto etmiştir. Belediye atıkları depolama alanının kapasitesinin dolması nedeniyle bu konu ile ilgili yeni yatırımlar yapılması gerekmektedir. En uygun teknolojinin plazma teknolojisi olduğu öngörülmektedir.

Planlama 4: Port Hope, Ontario, Canada (Sunbay Energy Corporation)

Europlasma şirketinin lisanslı teknolojisi kullanılarak Ontario, Port Hope ta bulunan Wesleyville bölgesine (Toronto' nun yaklaşık 45 dakika batısında) günde 360 ton belediye atıkları ve lastik atıklarını bertaraf etmek amacıyla bir tesis planlanmaktadır. Sunbay Energy şirketi gerekli çevre izinlerinin alınmasından sonra 2009 yılının 4. çeyreğinde tesis inşaatı başlama niyetindedir.

Planlama 5: Tallahassee, Florida (Green Power Systems)

Florida eyaletinde bulunan Tallahassee şehri çok büyük bir plazma ile enerji üretme anlaşması imzalandı. Anlaşmaya göre günde 910 ton şehrin ve komşu şehirlerin

atıklarını bertaraf edip 35 MW enerji üretmeyi amaçlamaktadır. Projeye 2010 yılının Ekim ayında başlanması planlanmaktadır.

Planlama 6: Hirwaun, Wales (EnviroParks Limited)

EnviroParks Limited şirketi Güney Galler’de bulunan Hirwaun şehrini nin Tower Colliery bölgesinde depolanmış belediye atıklarını çürütme ve plazma sistemi kombinasyonu ile ayrıştıran bir tesis için planlamalarda bulunmaktadır. Enviroparks şirketi bu teisi için Bordaeux’ta bulunan Eurolasma şirketi ile ortaklık anlaşması imzalamıştır [34].

EnviroParks Ltd. Şirketi ve ortakları bu proje için yaklaşık 60 Milyon Sterlin harcayacak olup bu proje neticesinde bir yılda yaklaşık 280 000 ton tehlikesiz atığı plazma ile 55 000 ton organik atığı ise çürütme yöntemi ile bertaraf etmeyi amaçlamaktadırlar.

Planlama 7: Jackson, Georgia (PR Power Company)

PR Power Co şirketi Atlanta’nın güneyinde bulunan Jackson, Georgia şehrinde plazma torçu kullanarak otomobil lastiklerini geri dönüştürecek bir tesis planlamaktadır. Tesiste lastikleri temel malzemelerine dönüştürecek olup hem elektrik üretecek hem de geri kazanılan metal çeliği tonunu 50 Dolar’dan satacaktır [35].

Planlama 8: Red Deer, Alberta (Plasco Energy Group Inc.)

Plasco Şirketi 2009 yazında Alberta, Red Deer şehrinde inşaatına başladığı ilk Ticari tesisini 2010’un sonunda bitirmeyi amaçlamaktadır [33].

Planlama 9: Maharastra Enviro Power Limited, SMSIL Pune, Maharastra India

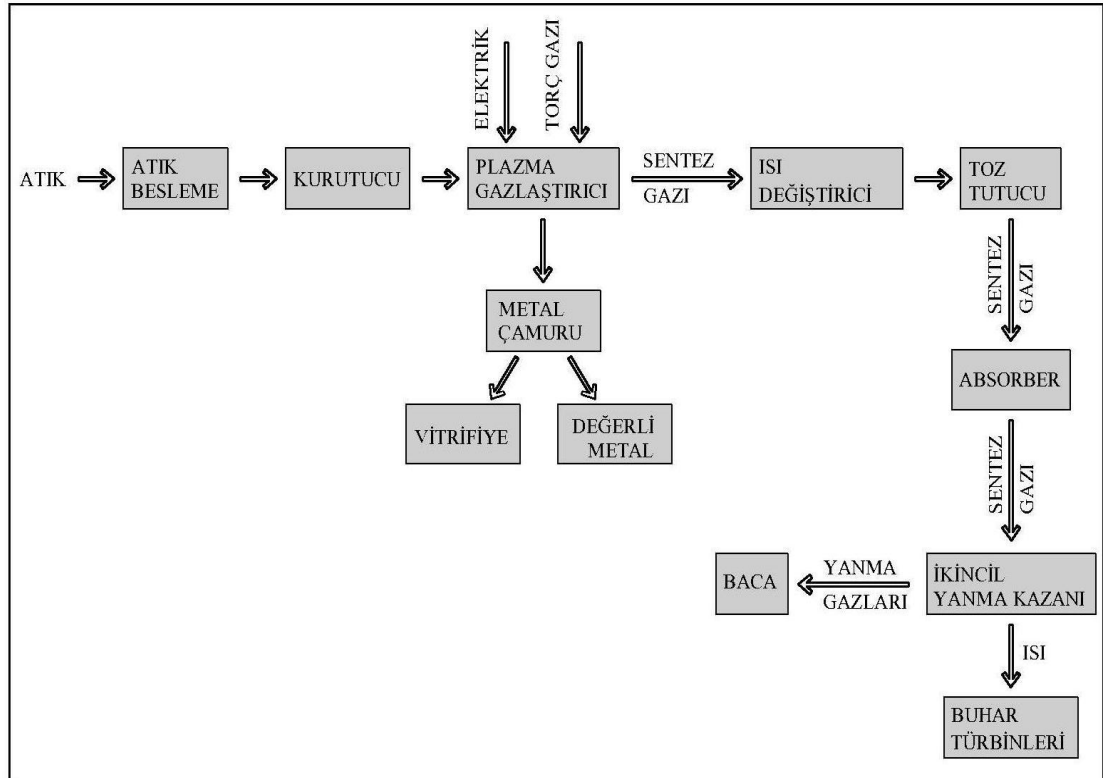
Hindistan'ın en büyük inşaat şirketi olan SMS Infrastructures Limited (SMSIL), Westinghouse Plasma Corporation şirketinin plazma teknolojisini kullanarak günde 68 ton tehlikeli atığın bertarafının yapıldığı ve 1.6 MW net elektriğin üretildiği bir tesis inşaa edecektir. Bu tesis tehlikeli atık alanındaki en büyük plazma geri dönüşüm tesisi olacaktır.[36]

Planlama 10: Beijing, China (Plasco Energy Group Inc.)

Plasco şirketi Pekin Environmental Sanitation Engineering Group Co. şirketi ile birlikte Pekinde günde 200 ton atık geri dönüştüren pilot bir tesisin Nisan 2010 tarihinde yapımına başlanacağını duyurmuştur. Eğer bu tesis başarılı olursa günde 1000 ton geri dönüşüm kapasiteli daha büyük bir tesis için hazırlıklara başlanacaktır. Buda gün 18 000 ton belediye atığı olan Pekin'in atık sorununa önemli bir çözüm olacaktır [37].

3.5.6. Plazma ünitesi

Bir Plazma katı atık bertaraf tesisinde tesise gelen atığın bertaraf için izlediği yol ve süreç Şekil 3.11.'de gösterilmiştir. Beslenen atık kurutucuda fazla nemi alındıktan sonra plazma torçu yardımıyla gazlaştırma reaktöründe sentez gazına dönüştürülür. Sentez gazı da içerisinde bulunan toz, ağır metal gibi partiküllerinden arındırılmak üzere toz tutuculara ve absorber/scrubber gibi temizleme birimlerine gönderilerek temizlenir ve ısı enerjisine dönüştürülmek üzere ikincil yanma kazanına gönderilir. Burada yakılan sentez gazından arta kalan yanma gazları da temizlenerek bacaya verilir. Aşağıda adı geçen birimler detaylı olarak anlatılmıştır.



Şekil 3.11. Plazma gazlaştırma tesis akım şeması

Atık Besleme Sistemi

Birincil atık besleme ünitesinde bulunan katı atıklar yüzde belirli bir nem oranı ve parçacık boyutuna sahiptir. Besleme kapasitesi belirlidir ve atık yığın yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Besleme hızı helezonu hızını değiştirerek ayarlanabilir. Atık el vidalı konveyör bağlı haznesine yüklenir. İlerleme hızı bir hidrolik besleyici kıyasla çok istikrarlı devam eder.

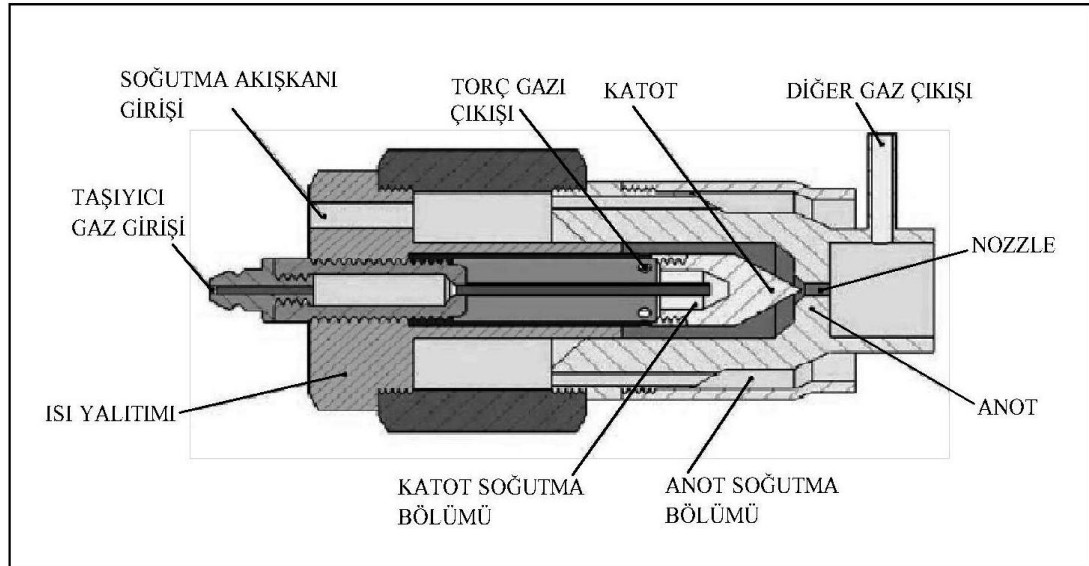
Nem Kurutucu(Dryer)

Besleme sisteminden gelen atık kompozisyonunun içerisinde bulunan nem, gazlaşma neticesinde açığa çıkacak olan ısıнын azalmasına sebebiyet verecektir. Bu yüzden sisteme seçmeli olarak bir kurutucu ilavesi yapılabilir. Atık içerisinde bulunan nem her ne kadar açığa çıkan ısı enerjisini düşürse de sentez gazı içerisinde

buluna hidrojen miktarını arttıracğından nemin ortamda olması da istenebilmektedir.

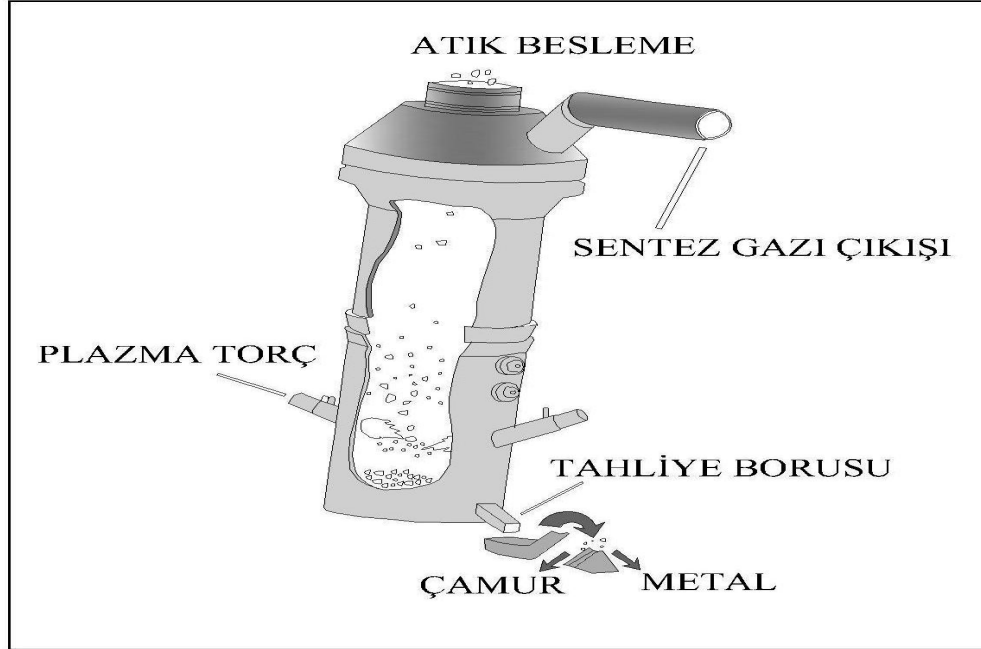
Plazma Torçu

Gazlaştırma işlemini gerçekleştirmek için ısı enerjisini veren plazma torçu Bölüm 3.5.2.'de bahsedildiğı üzere DC ve ya RF çeşitlerinden birisi olabilir. Torçun çeşidini tesisin tasarım kriterleri belirlememektedir. Plazma torçunun genel bir şeması Şekil 3.12.'de verilmiştir.



Şekil 3.12. Plazma torcu şematik gösterimi

Gazlaştırma Reaktörü



Şekil 3.13. Plazma gazlaştırma reaktörü şematik gösterimi

Bu ünite iç hacmi, iç yarıçapı, uzunluğunun ölçüleri tasarım aşamasında belirlenmiştir. Dış kabuk çelikten yapılmış olup et kalınlığı belirlidir. Ünite de ön ısıtma ve gazlaştırma hava enjeksiyonu, grafit elektrotlar için su soğutma mekanizması, dış kabuğun soğutulması için duvarlar içerisinde geçen bir su soğutma mekanizması ve eriyik çamurun alınması amacıyla çıkış bölümü bulunmaktadır. Plazma ünitesinde operasyon sırasında kazan alt kısmında eriyik çamur, üst kısımda ise proses gazları bulunmaktadır. Gerekli gazlaştırma havası sıkıştırılmış hava pompalama sistemi tarafından sağlanmaktadır. Hava akış hızının kontrolü hava hattındaki vanaların ayarlanması ile sağlanabilmektedir [39].

Sıcak Siklon

Sıcak siklon sentez gazından tozları ayırmak için dizayn edilmiştir. Sıcak siklon refrakter astarlı ve darbeli azot jet kullanarak kendi kendini temizleme sistemi ile donatılmış ve merkezi kontrol odasından işletilmektedir. Tozlar siklonun tabanında

tutulur ve her test sonrasında ya da sırasında temizlenebilir. Üretilen gazlar siklona girdiği sırada dairesel ve santrifüj kuvveti yardımıyla tozlarından arındırılırlar [39].

İkincil Yanma Kazanı

Operasyon sonucu fırın gazların bileşenlerinin oksidasyonudur. İkinci yanma odası sentez gazı içerisinde bulunan hidrojen (H_2) ve karbon monoksit (CO) yakılması için tasarlanmıştır. CO_2 ve H_2O içine CO ve H_2 yanma için ikincil yanma odasına eklenir. Propan brülörleri $1100\text{ }^{\circ}C$ sıcaklığında çalışmaktadır. Operatör gerekli düzenlemeleri yapabilmek için sıcaklığı kontrol etmektedir. Bu sıcaklık tehlikeli yan ürünlerin oluşmaması için CO ve H' nin tam yanması için gerekli olan sıcaklıktır [39].

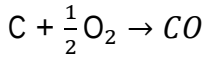
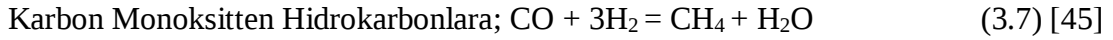
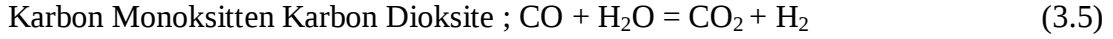
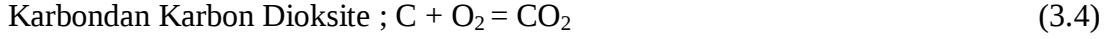
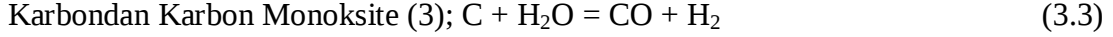
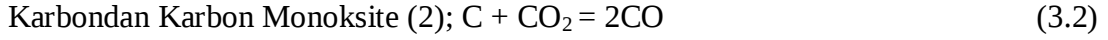
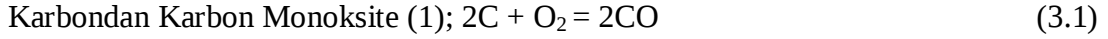
Yanma odası, normal çalışmada, ikincil yanma odasında gaz ikamet süresi yaklaşık 2 saniyedir. İkinci yanma odası refrakter malzeme ile döşenmiş belirli bir yükseklikte ve çapı belirlenir. İç boyutları, yüksekliği ve iç çapı tasarım aşamasında belirlenir [39].

Scrubber ve Absorber

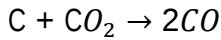
Sucrubber, hidroklorik asit ve kükürt ve oksitleri gibi suda çözünebilir bileşiklerin off-gaz'dan ayıklanması amacıyla kullanılmaktadır. Sentez gazı HCl veya SO_2 gibi asitli bileşikler içermektedir. Bu bileşiklerin nötralize edilebilmesi amacıyla kostik soda kullanılan bir ıslak scrubber kullanılır. Sucrubberda PH yaklaşık olarak 9.0'da kontrol edilir. Sucrubber sıvısı tutmuş olduğu parçacıklarından arınması amacıyla periyodik olarak temizlenir [39].

3.5.7. Kinetik parametreler

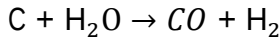
Gazlaştırma işlemi gazlaştırma kazanı içerisinde oluşan karbon bazlı kinetik reaksiyonlar sayesinde oluşur. Reaksiyon dengesi A, E, Alpha (a) ve Beta (b) parametreleri ile ilişkilidir. Kazan içerisinde oluşan temel reaksiyonlar şunlardır;



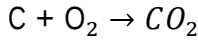
$$r_{CO_1} = A_{CO_1} P_C P_{O_2}^{0.5} \left(1 - \frac{1}{K_{CO_1}} \frac{P_{CO}}{P_C P_{O_2}^{0.5}} \right) \exp \left(\frac{-E_{CO_1}}{T} \right) \log_{10} K_{CO_1} = \frac{\alpha}{T} + \beta \quad (3.8)$$



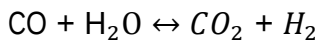
$$r_{CO_2} = A_{CO_2} P_C P_{CO_2} \left(1 - \frac{1}{K_{CO_2}} \frac{P_{CO}}{P_C P_{CO_2}} \right) \exp \left(\frac{-E_{CO_2}}{T} \right) \log_{10} K_{CO_2} = \frac{\alpha}{T} + \beta \quad (3.9)$$



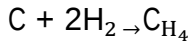
$$r_{CO_3} = A_{CO_3} P_C P_{H_2O} \left(1 - \frac{1}{K_{CO_3}} \frac{P_{CO} P_{H_2}}{P_C P_{H_2O}} \right) \exp \left(\frac{-E_{CO_3}}{T} \right) \log_{10} K_{CO_3} = \frac{\alpha}{T} + \beta \quad (3.10)$$



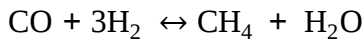
$$r_{CO_21} = A_{CO_21} P_C P_{O_2} \left(1 - \frac{1}{K_{CO_21}} \frac{P_{CO_2}}{P_C P_{O_2}} \right) \exp \left(\frac{-E_{CO_21}}{T} \right) \log_{10} K_{CO_21} = \frac{\alpha}{T} + \beta \quad (3.11)$$



$$r_{CO_22} = A_{CO_22} P_{CO} P_{H_2O} \left(1 - \frac{1}{K_{CO_22}} \frac{P_{CO_2} P_{H_2}}{P_{CO} P_{H_2O}} \right) \exp \left(\frac{-E_{CO_22}}{T} \right) \log_{10} K_{CO_22} = \frac{\alpha}{T} + \beta \quad (3.12)$$

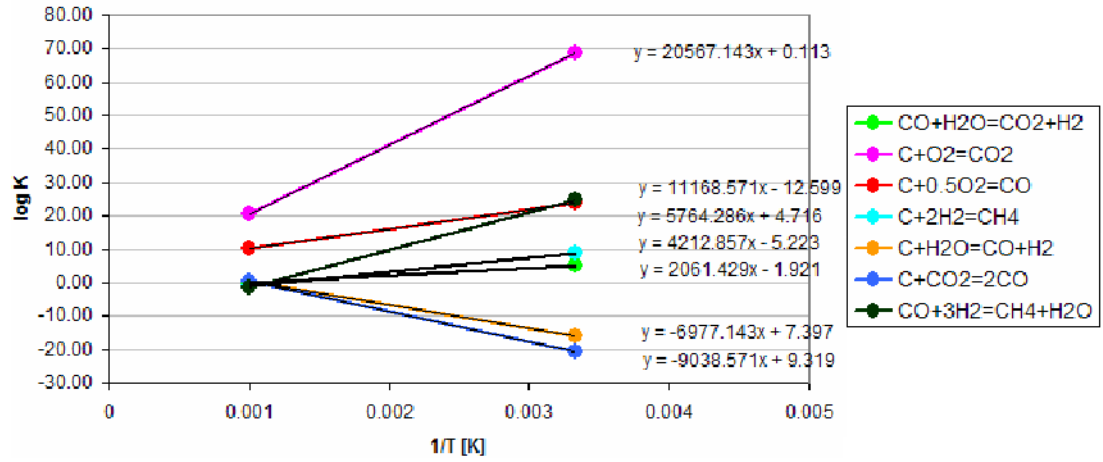


$$r_{CH_41} = A_{CH_41} P_C P_{H_2}^2 \left(1 - \frac{1}{K_{CH_41}} \frac{P_{CH_4}}{P_C (P_{H_2})^2} \right) \exp \left(\frac{-E_{CH_41}}{T} \right) \log_{10} K_{CH_41} = \frac{\alpha}{T} + \beta \quad (3.13)$$



$$r_{CH_4(2)} = A_{CH_4(2)} P_{CO} P_{H_2}^3 \left(1 - \frac{1}{K_{CH_4(2)}} \frac{P_{CH_4} P_{H_2O}}{P_{CO} P_{H_2}^3} \right) \exp \left(\frac{-E_{CH_42}}{T} \right) \log_{10} K_{CH_4(2)} = \frac{\alpha}{T} + \beta$$

(3.14) [45]



Şekil 3.14. log K- 1/T Grafiği

Kazan içerisinde oluşan reaksiyonlar için çizilmiş logK – 1/T grafiği yukarıda verilmiştir. Reaksiyon kinetiğinde görüldüğü üzere sıcaklık güçlü bir parametredir [45].

3.5.8. Açığa çıkan ürünlerin çevresel açıdan incelenmesi

Bir plazma tesisinde çevresel kontroller, sentez gazı, atık su, katı atıklar, hava kalitesi başlıklarında incelenmektedir.

Sentez Gazı

Plazma gazlaştırma operasyonu neticesinde karbon monoksit ve hidrojen içerikli orta düzeyli kalorifik değere sahip bir sentez gazı açığa çıkmaktadır. Bu gaz kimyasal olarak temizlendikten sonra (filtre, absorber ve sucrubberdan geçtikten sonra) elektrik elde etme amacıyla yakılarak ısı ve buhar gücü eldesinde kullanılabilir [40].

Orta-düşük ısı içerikli sentez gazları çok çeşitli besleme tipleri ile denenmiş ve biyokütlelerin gazlaştırılmasında da kullanılmıştır. Bunun dışında içerisinde bulunan hidrojenin ayrıştırılması ile yakıt hücrelerinde ve etanol gibi sıvı yakıtların üretilmesinde hammadde olarak kullanılabilir [40].

Yapılan çalışmalar plazmadan açığa çıkan sentez gazının doğal gaza oranla daha düşük ısı kapasiteli olduğunu ortaya koymuştur. Bunun neticesinde aynı ısı miktarını sağlayabilmek için daha fazla sentez gazına ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte sentez gazının doğal gaza oranla daha temiz bir gaz olduğu(daha temiz yanıp temiz ürünler açığa çıkarmaktadır.) gözlemlenmiştir. Ayrıca sentez gazının maliyet /enerji verimi incelendiğinde sentez gazının avantajlı olduğu açıkça görülmektedir. Dalgalanan yakıt fiyatlarının(doğal gaz, petrol) önümüzdeki yıllarda artacağı göz önüne alındığında sentez gazının ekonomik olduğu anlaşılmaktadır [41].

Atık Su

Tüm güç santrallerinde soğutma ve buhar üretimi için su kullanılmaktadır. Her ne kadar açığa çıkan suyu bertaraf etmek gerekmesse de içerisinde bulunan zararlı bileşiklerinden arındırılıp geri dönüştürülmesi esastır. Plazma rektörle bir istisna durum dışında fazla su kullanmamaktadır. Bu istisnai durum kazanda yakılan sentez gazının temizlenmesi için gerekli olan sudur. Yukarıda söylendiği gibi gaz içerisinde bulunan klor, kükürt ve diğer problem yaratan bileşiklerinden scrubberda su ile temizlenmektedir. Bertaraf sisteminin tasarımı sistemin büyüklüğü ve teknoloji türüne bağlıdır. Ekipmanlar, scrubberlar filtreler ve emicilerden oluşmaktadır. Sistemde dolaşan su bu ekipmanlarda problem yaratan maddeleri temizlemektedir. Su maliyeti tesisin büyüklüğüne ve temizleme sisteminin tipine göre değişmektedir [42]. Bazı plazma sistemleri plazma reaktöründe su ile gaz temizlese de aynı zamanda kuru sistem kullanıyor da olabilir. Yakma sisteminin (Kazan ve yanma türbini) seçimi su tüketiminde belirleyici özelliştir [42].

Katı Atıklar

Bir plazma tesisinde açığa çıkan katı atık, inorganik bileşenlerin eritilmesiyle oluşan camsı çamurdur. Tesislerden açığa çıkan tüm kül ve çamurların uluslararası yönetmeliklere uygun bir şekilde olması ve bunun içinde analiz edilmesi gerekmektedir [42].

Bir başka deyişle plazma tesisinde inorganik atıklar çevreye bir daha zararlı bir şekilde geriye dönmek üzere camsı cürufun içine erirler. Hem klasik bir yakma tesisinde hem de plazma tesisinde yaklaşık olarak yüzde 25 uçucu ve diğer kül açığa çıkmaktadır(Bu bilgi çeşitli kaynaklara göre değişiklik göstermektedir)[42].

Günde yaklaşık 200 ton belediye atığı beslenen klasik bir tesis ya da bir plazma tesisinde günde ortalama 50 ton katı atık açığa çıkmaktadır. İki tesisin çıkan katı atıkları incelendiğinde klasik yakma tesisinin atığı gömülürken plazma tesisininkini ekonomik olarak doğaya zararsız bir şekilde kullanılabilmektedir. Bir plazma tesisinde bulunan scrubber, filtre ve kirlilik kontrol ünitelerinde katı partiküller bulunabilmektedir [42].

Katı atıklar plazma gazlaştırma prosesinden açığa çıkan camsı cüruf, inert çamur ve kimyasal partiküllerin filtre ve suçrubberlarca temizlenmesi neticesinde açığa çıkan küçük partiküllerin toplamından oluşmaktadır. İşlem sonunda açığa çıkan katı maddelerin hacimsel olarak beslemeye oranı 125 ila 250 de 1'i olarak gerçekleşmektedir(Tamamen metal geri dönüşümü yapılan prosesler hariçtir) [40].

Camsı cüruf ve sentez gazının içeriği beslenen atığın içerisinde bulunan bileşiklere bağlı olarak değişmektedir. Bunların içerisinde geri dönüşümü yapılabilen maddeler de bulunabilmektedir. Prosese giren metaller eriticilerde eriyerek camsı çamurla birlikte dışarı atılmaktadır. Tesisin tasarımı aşamasında değerli metallerin ayrılması düşünülür ise metaller separatörler vasıtasıyla dışarı alınabilmektedir. Bununla birlikte çok dikkate değmeyecek bir kısmı klorlu ve kükütlü bileşikler yaparak camsı çamur içerisinde kalabilmektedir [40].

Yoğunluğundaki farklılıklar nedeniyle, sıvılaştırılmış olan inorganik atıklar, kolaylıkla iki katmandan oluşan çamurdan ayrılabilir. Metal ve camsı silikat tabakası demir, bakır ve alüminyum nispeten saf tutarlar içerebilir. Camsı ürün dekoratif fayans, beton agregası, yalıtım, demiryolu hattı inşası da dahil olmak üzere çeşitli ticari uygulamalarda kullanılabilir [41].

Açığa çıkan son ürünlerin içeriği başlangıçta giren beslemeyle bire bir bağlantılıdır. Örneğin tıbbi atık içeren atık beslemesinde büyük çoğunlukla kağıt ve plastik içeren organik atıklar çoğunlukta olacaktır. Bununla birlikte piller gibi metaller içeren endüstriyel atıkların son ürünleri de geri dönüştürülebilir metaller olacaktır. Elbette bu içerikler oluşan sentez gazının içeriğine de yansımaktır [41].



Resim 3.1. Katılaşmış vitrifiye çamuru

Hava Kalitesi

Havaya bırakılan kirletici maddeler uluslar arası kurallara ve USEPA standartlarına uygun olmalıdır. Bu emisyon kuralları; yakma tesisleri, gömme ve şehir çöplükleri ve plazma tesislerinin hepsinde geçerlidir. USEPA'ya göre bu emisyonu yol açan partiküller; kükürt dioksit(SO_2), hidrojen klorür(HCl), karbon monoksit(CO), nitrik oksitler(NO_x), partikül maddeler, uçucu organik bileşikler(VOC), tehlikeli hava parçacıklarından (dioksin ve furanları içermektedir) oluşmaktadır [42].

Plazma tesislerin çoğunluğu hava kirliliği performans bilgilerini yayınlamamakla birlikte, 2009 yılında California Üniversitesi tıbbi atıklar ve belediye atıklar için plazma tesislerin hava kirliliği bilgilerinin bir özetini yayınlamıştır. Gazlaştırma ürünleri partikül maddeleri, NO_x , SO_x , hidroklorik asit, civa ve dioksin/furanları içermektedir.

4. TEZ KAPSAMINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR

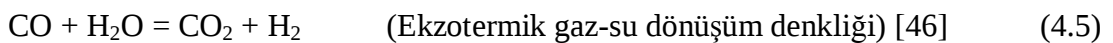
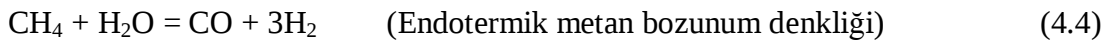
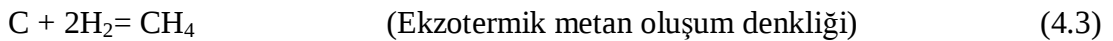
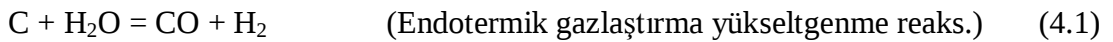
Çalışmanın ilk kısmında, kütleli konsantrasyonu bilinen bir arıtma çamuru numunesinin gazlaştırılmasında kullanılmak üzere bir plazma gazlaştırma sistemi tasarımı yapılmış ve gazlaştırma neticesinde açığa çıkan sentez gazının kütleli konsantrasyonları, gazlaştırma için gerekli elektrik miktarı, torç gücü ve açığa çıkan enerji miktarı hesaplanmıştır.

Çalışmanın ikinci kısmında, ilk bölümde yapılan matematiksel hesaplamalar paket program yardımıyla yapılmış olup paket program ve matematiksel hesaplamaların tutarlılıkları karşılaştırılmıştır.

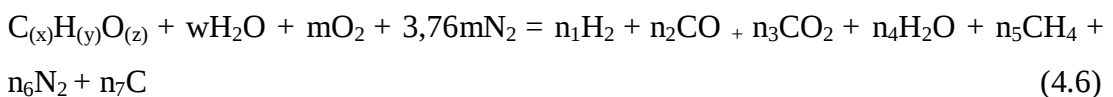
Çalışmanın son kısmında ise, plazma gazlaştırma için hazırlanmış olan bir paket program yardımıyla ve analitik çözüm ile, bir şehir çöpünün atık bileşimi ve bir ithal kömür çeşidinin farklı oranlarda karıştırılması ile oluşturulan yakıtların gazlaştırılması işleminin simülasyonu yapılmıştır.

4.1. Analitik Modelleme

Yapılan literatür taraması neticesinde kazan içerisinde birçok reaksiyon gerçekleşmesine rağmen temel olarak beş reaksiyon olarak incelenmiştir.



Yukarıda yazılmış olan reaksiyonları A. Mountouris ve arkadaşları aşağıdaki genel denklikle ifade etmişlerdir [46].



Yukarıda yazılan genel denklemde;

W: Atık içerisinde bulunan su miktarının yüzdesidir.

m: Plazmayı oluşturan havanın miktarıdır.

Tez kapsamında yapılan kabullenme ve hesaplamalar şu şekildedir:

-Tez çalışmasında arıtma çamuru atığı baz alınmış olup çamurun kütleli içeriği şu şekildedir: (C: 54.8, H: 8,O: 33.4, N: 3.8)

-Atık içerisinde bulunan nem yüzdesi(w) kütlece % 30'dur bu da yaklaşık olarak 2,38 kmol'a tekabül etmektedir. (Arıtma çamurunun %30 seviyesine kadar susuzlaştırıldığı varsayılmıştır)

-Sisteme giren hava miktarı (m) 1kmol atığa karşılık 0,661 kmol olarak kabul edilmiştir.

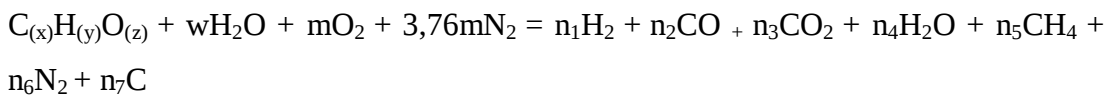
-Atığın ve havanın sisteme besleme sıcaklığı 298,15 K'dir.

-Oluşan sentez gazının ortalama sıcaklığı 1273 K'dir

-Kazan içerisinde iyi bir dönüşüm olduğu varsayıldığında n7 kurum(katı karbon) oluşumu 0 kabul edilmiştir.

-Sentez gazının içerisindeki CH₄ miktarı çok küçük olacağı varsayıp, hesaplamaların kolaylaşması amacıyla 0 kabul edilmiştir.

Bu veriler ve kabullenmeler eşliğinde kütle denklemleri kurulduğunda;



Karbon Denkliği

54,8 g C / 12 g/mol= 4,57 mol Karbon = n₂+n₃+ n₅ + n₇ (kabuller gereği n₅ ve n₇ sıfırdır)

$$n_2 + n_3 = 4,57 \quad (4.7)$$

Oksijen Denkliği

$$\begin{aligned}
 & (33,4 \text{ g O} / 16 \text{ g/mol O}) + (2,38 \text{ mol H}_2\text{O} \times 16 \text{ g/mol O}) + (0,661 \text{ mol} \times 32 \text{ g/mol O}_2) \\
 & = (16 n_2) + (32 n_3) + (16 n_4) \\
 & n_2 + 2 n_3 + n_4 = 5,79
 \end{aligned} \tag{4.8}$$

Hidrojen Denkliği

$$\begin{aligned}
 & (8 \text{ g H} / 1 \text{ g/mol H}) + (2,38 \text{ mol H}_2\text{O} \times 2 \text{ mol H}) = (2 n_1) + (2 n_4) \\
 & n_1 + n_4 = 6,38
 \end{aligned} \tag{4.9}$$

Azot Denkliği

$$\begin{aligned}
 & (3,8 \text{ g N}_2 / 28 \text{ g/mol N}_2) + (3,76 \times 0,661 \text{ N}_2) = n_6 \text{N}_2 \\
 & n_6 = 2,621
 \end{aligned} \tag{4.10}$$

Toplam Madde Denkliği

Not: Bu denklikte giren ve çıkan azot miktarı bilindiği için azot denklikten çıkartılıp işlemler yapılmıştır.

$$\begin{aligned}
 & (54,8 \text{ g C} + 8 \text{ g H} + 33,4 \text{ O}) + (42,85 \text{ H}_2) + (0,661 \text{ mol} \times 32 \text{ g O}_2) = (2 n_1) + (28 n_2) \\
 & + (44 n_3) + (18 n_4) \\
 & n_1 + 14 n_2 + 22 n_3 + 9 n_4 = 80,101
 \end{aligned} \tag{4.11}$$

Yukarıda yazılan madde denkliklerinden gelen denklemler çözüldüğünde bilinmeyenler aşağıdaki Çizelge 4.1.'de sıralanmıştır.

Çizelge 4.1. Bilinmeyen bileşenler

Bilinmeyen	kmol
m	0,661
w	2,38
n1	6,20
n2	3,518
n3	1,049
n4	0,18
n5	0
n6	2,621
n7	0

Gazın içeriği toplandığında toplam 13,568 mol olduğu görülmektedir. Her bir gazın molü toplam mole bölündüğünde sentez gazı içerisindeki molar yüzdeleri bulunmaktadır. İlgili veri aşağıda Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Bilinmeyen değerlerin molar kesirleri

Bilinmeyen	Kmol	Mol kesri X_i
m	0,661	-
w	2,38	-
n1	6,20	0,4569
n2	3,518	0,2599
n3	1,049	0,0773
n4	0,18	0,0132
n5	0	0
n6	2,621	0,193
n7	0	0

Yukarıda elde edilen veriler ışığında fırın içerisinde oluşan sentez gazının molar yüzdelerini bilinmektedir. Kabullenmeler kısmında da söz edildiği gibi kazan içerisine giren atık ve havanın sıcaklığını ve aynı zamanda ortalama sentez gazı sıcaklığı bilindiğine göre yukarıda içeriği verilen sentez gazının oluşması için gerekli

olan plazma torçunun elektrik enerjisi hesaplanabilmektedir. Bu işlem için sisteme uygun bir enerji denkliği yazılması gerekmektedir.

$$\begin{aligned}
 & H^0_{f,atık} + wH^0_{f,H_2O(s)} + mH^0_{f,o_2} + 3.76mH^0_{f,N_2} + E_{Elektrik} \\
 & = n_1H^0_{f,H_2} + n_2H^0_{f,CO} + n_3H^0_{f,CO_2} + n_4H^0_{f,H_2O(g)} + n_5H^0_{f,CH_4} + n_6H^0_{f,N_2} + \\
 & n_7H^0_{f,C} + \int_{T_1}^{T_2} (n_1C_{p,H_2} + n_2C_{p,CO} + n_3C_{p,CO_2} + n_4C_{p,H_2O} + n_5C_{p,CH_4} + \\
 & n_6C_{p,N_2} + n_7C_{p,C})dT \quad [46]
 \end{aligned} \tag{4.12}$$

Sentez gazı içerisindeki her bir gazın Cp'sinin hesaplanması için A,B ve C katsayıları termodinamik tablolardan alınmış olup aşağıda tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 4.3. Bileşenlerin A,B,C değerleri

Cp=A+B*T+C*T ²			
Bileşen	A	B	C
H ₂	29,11	-0,001916	0,000004003
CO	28,16	0,001675	0,000005372
CO ₂	22,26	0,05981	-0,00003501
H ₂ O	32,24	0,001923	0,00001055
CH ₄	19,89	0,05024	0,00001269
N ₂	28,9	-0,001571	0,000008081
C	0	0	0

T1 = 298,15

T2: 1273 K

Literatürden alınan oluşum entalpileri çizelge halinde verilmiştir.

Çizelge 4.4. Bileşenlerin standart entalpi değerleri

Bileşen	Standart Entalpi H(kj/kmol°K)
H ₂	0
CO	-110525
CO ₂	-393509
H ₂ O	-241818
CH ₄	-74810
N ₂	0
C	716682
Atık	0
O ₂	0

$$\begin{aligned}
& H^0_{f,atık} + wH^0_{f,H_2O(s)} + mH^0_{f,o_2} + 3.76mH^0_{f,N_2} + E_{Elektrik} \\
& = n_1H^0_{f,H_2} + n_2H^0_{f,CO} + n_3H^0_{f,CO_2} + n_4H^0_{f,H_2O(g)} + n_5H^0_{f,CH_4} + n_6H^0_{f,N_2} + \\
& n_7H^0_{f,C} + \int_{T_1}^{T_2} (n_1C_{p,H_2} + n_2C_{p,CO} + n_3C_{p,CO_2} + n_4C_{p,H_2O} + n_5C_{p,CH_4} + \\
& n_6C_{p,N_2} + n_7C_{p,C})dT \quad [46]
\end{aligned} \tag{4.12}$$

$$E_{Elektrik} = 166465,5 \text{ kJ}$$

Elektrik enerjisi 100 kg atığın 1 saniyede beslenmesi durumunda gerekli olan elektrik enerjisidir. Eğer atık 1 saatte beslenirse;

$$166465,5/3600 = 46,24 \text{ kW}$$

100 kg atığın 1 saat içerisinde beslenmesi ile bertarafını yapacak olan torçun gücü 46,24 kW olmalıdır.

$$E = Q(1-(T_0/T)) \tag{4.13}$$

$$dE = dQ(1-(T_0/T)) \tag{4.14}$$

$$dE = C_p(1-(T_0/T))dT \tag{4.15}$$

$$E = \int_T^{T_0} C_p dT - T_0 \int_T^{T_0} (C_p/T) dT \tag{4.16}$$

$$E = \int_T^{T_0} (\sum X_i C_{p,i}) dT - T_0 \int_T^{T_0} \frac{\sum X_i C_{p,i}}{T} dT \tag{4.17}$$

Yukarıdaki denklere $T=1273\text{ K}$ ve $T_0=298,15$ konulduğunda;

$$\underline{E=18565\text{ kJ/kmol}}$$

$$E= Q(1-(T_0/T))$$

$$\underline{Q= 24243\text{ kJ/kmol}}$$

Yapılan hesaplamalar sentez gazının oluşmasını sağlayan beş reaksiyonun tersinir olmadığı varsayılarak yapılmıştır. Bu durumun kontrolü amacıyla reaksiyonların çeşitli sıcaklıklardaki oluşum entalpileri incelenerek bu kabullenmenin doğruluğunun sağlanması yapılmıştır. Aşağıda her bir denklem için Sıcaklık-Oluşum Entalpisi grafikleri çizilmiştir.

İstenilen bir sıcaklıktaki oluşum entalpisini bulmak için aşağıdaki denklem kullanabilmektedir. Örnek vermek gerekirse 1000 K 'de oluşum entalpisi;

$$\Delta H_{R,1000K} = \sum \text{ürünler } N(h_{1000K} - h_{ref} + \Delta h_{f,ref}) - \sum \text{girenler } N(h_{1000K} - h_{ref} + \Delta h_{f,ref}) \quad (4.18)$$

$298,14\text{ K}$ derece ve 3200 K derece arasındaki istenilen veriler termodinamik tablolardan okunarak EK-1, EK-2, EK-3, EK-4'te verilmiştir. Bu veriler ışığında çizilen grafikler EK-5, EK-6, EK-7, EK-8, EK-9'da verilmiştir.

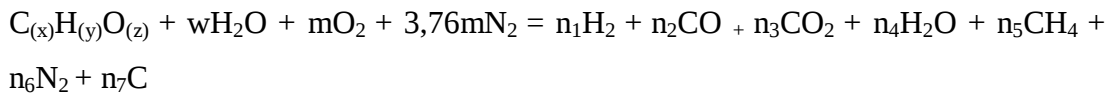
Beş denklem içinde hazırlanan tablolarda görülebileceği üzere ürünlerin oluşum entalpilerinin sıcaklığa göre gösterdiği tepkiler incelendiğinde entalpilerin işaretlerine bakılarak endotermik ve ya ekzotermik olup olmadıklarının sağlanması alınmıştır.

İlk dört reaksiyon içinde $298,15\text{ K}$ ve 3200 K arasındaki sıcaklık değişimlerinde oluşum entalpi değerlerinin işaretleri sabit kalmış fakat beşinci reaksiyonun oluşum entalpisi 3000 K derecede işaret değiştirerek tersinir reaksiyon özelliği göstermiştir. 3000 K derecede diğer dört reaksiyon işareti sabit kalmakla birlikte oluşum entalpisinin doğrusallığında sapmalar gözlenmiştir.

4.2. Analitik Modellemenin Bir Paket Program İle Karşılaştırılması

Çalışmanın ikinci kısmında, birinci aşamada analitik model yardımı ile gazlaştırma hesapları yapılan arıtma çamurunun paket program yardımıyla gazlaştırma simülasyonu yapılmış ve sonuçları analitik modelle yapılan hesaplar ile karşılaştırılmıştır.

Genel bir gazlaşma reaksiyonu şöyle ifade edilebilir;



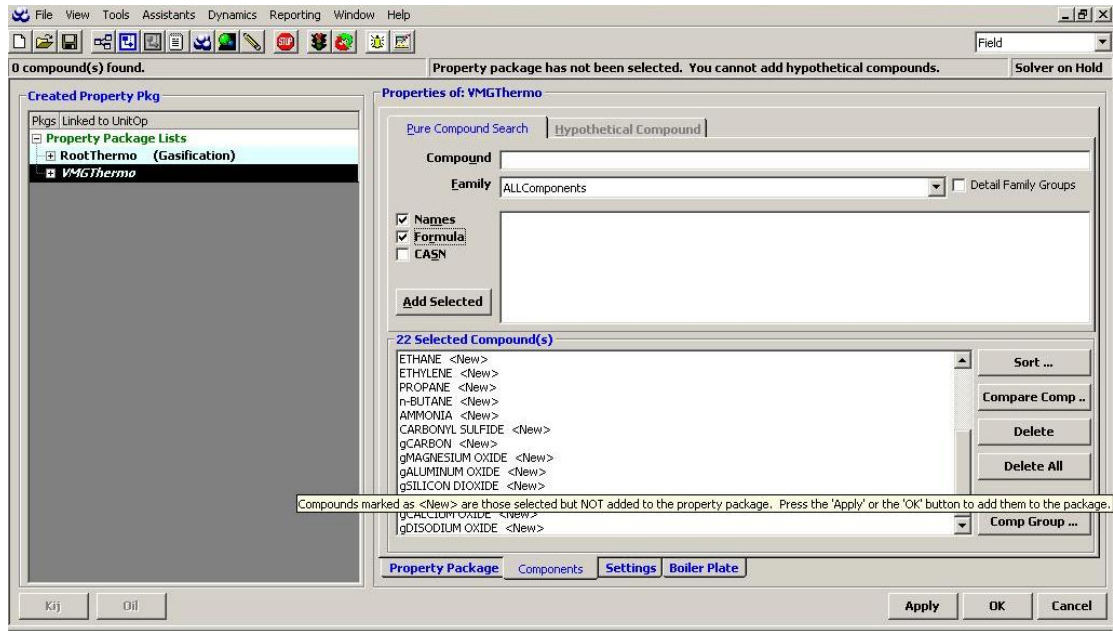
Birinci Bölümde analitik modellemesi yapılan arıtma çamurunun kompozisyon özellikleri Çizelge 4.5.'de ki gibidir;

Çizelge 4.5. Arıtma çamurunun kütleli içeriği

Bileşen	% içerik
C	54,80
O	33,40
H	8,00
N	3,8
Nem oranı	%30
Kalorifik değer	18 000Kj/Kmol

Gazlaştırma kazanının üst sıcaklığını 1000 °C, alt sıcaklığını 1200 °C ve plazma torç gücü 45 kW olarak paket programa girilmiş ve gazlaştırma işlemi simülasyonu yapılmıştır.

Öncelikle Çizelge 4.5.'de bulunan atık kompozisyonu, atığın alt ısı değeri ve içerdiği nem oranı programa girilerek atık programa tanıtılmıştır.



Resim 4.1. Atık kompozisyonunun paket programa tanıtılması

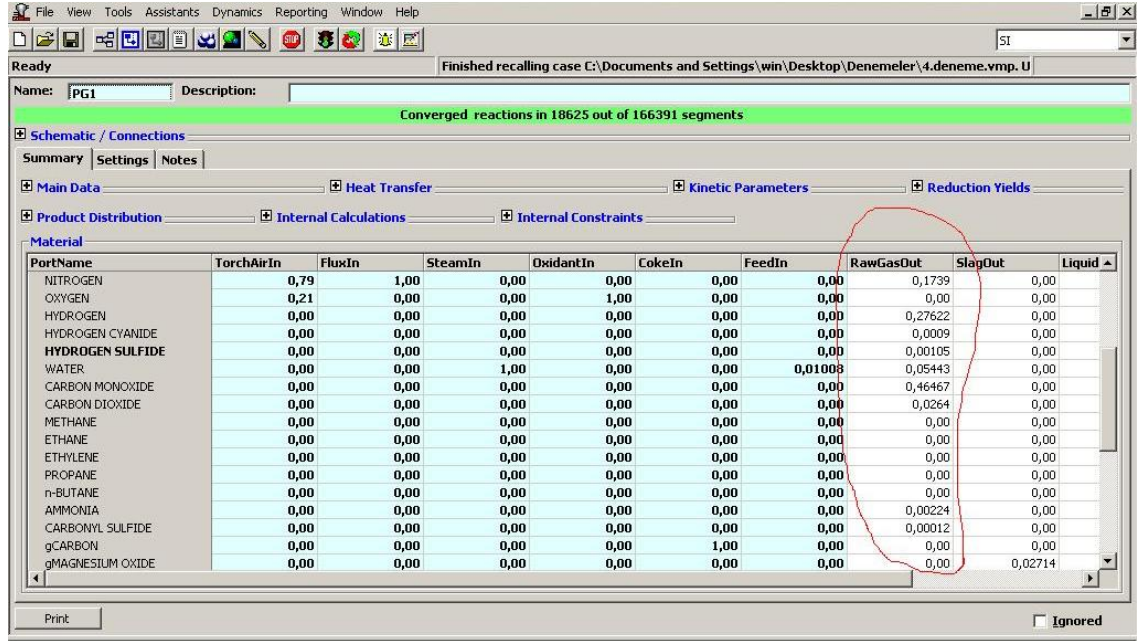
Programa atık ile ilgili özellikler tanıtıldıktan sonra tasarlanan reaktörün alan ve hacim bilgileri, sistemde bulunan plasma torçu sayısı, reaktörün altı ve üstünün sıcaklık değerleri programa girilmiştir. Gazlaştırma Reaktörünün ve plazma torçunun teknik özellikleri girildikten sonra reaktöre girenlerin ve çıkanların öncelikle sıcaklık basınç değerleri tasarlanan sisteme göre girilmiştir. Daha sonra sisteme giren bileşimlerin yüzdesel değerleri ve kütleli akış hızları girilerek açığa çıkan sentez gazının (RawGasOut), metal çamurunun (LiquidMetalOut) çamurun (SloagOut) ve eğer gazlaşmamış bileşim var ise (ParticulatesOut) kompozisyonlarının hesaplanması sağlanmıştır.

Sistemimizin tasarım koşulları Çizelge 4.6.'da gösterildiği gibi olup, Çizelge 4.6.'da bulunan değerlerin ve atık ile ilgili kısımların programa girilmesinden sonra program RawGasOut sekmesinde gazlaştırma neticesinde açığa çıkan sentez gazının içeriğini çözüm olarak vermiştir.

Çizelge 4.6. Modellemelerde kullanılan kriterler

Kriter	Torc Havası giriş	Flaks giriş	Buhar giriş	Oksidant giriş	Kömür giriş	Besleme giriş	Sentez Gazı çıkış	Slag Çıkış	Sıvı Metal Çıkış	Partikül Madde Çıkış
Sıcaklık T	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	1245	1500	1500	1245
Basınç kPa	101,33	101,33	101,33	101,33	101,33	101,33	101,33	101,33	101,33	101,33
Kütle akış hızı kg/h	90,75	0	0	0	0	143,00	233,75 ¹	0 ¹	0	0
Reaktörün Yüzey Alanı	1,57 m ²			Reaktör iç Hacmi			0,098 m ³			
Reaktör Alt Sıcaklığı	1500			Reaktör üst Sıcaklığı			1245			
Torc Gücü	45000 W									

¹ Besleme karakteri ve kinetiğe göre değişiklik göstermektedir.



Resim 4.2. Paket programın çözüm arayüzü

Çizelge 4.7. Arıtma çamurunun analitik model ve paket programı sentez gazı çıktılarının karşılaştırılması

Sentez Gazı içeriği	Analitik Model	Paket Program	% Fark
H ₂	45,69	38,82	+15,03
CO	25,92	32,02	-19,05
CO ₂	7,73	1,74	+77,49
H ₂ O	1,32	7,57	-80,85
N ₂	19,31	19,14	+0,88
CH ₄	0	0	-
C	0	0	-
NH ₃	0	0,50	-
HCN	0	0,20	-

Çizelge 4.7.'de görüleceği üzere analitik model ile hesaplanan sentez gazı içeriklerinde CH₄, NH₃, HCN miktarları bilinmeyen sayısının azaltılması ve hesaplama kolaylığı açısından ihmal edilmiş olup, paket program ile adı geçen bileşiklerin miktarları hesaplanmıştır. Matematiksel hesaplamalar ile paket

programın sonuçları incelendiğinde tutarlı olduğu saptanmıştır. Analitik yöntem ile paket program arasında bulunan farkların temel nedeni; analitik yöntem uygulanırken beş temel denklem üzerinden gidilmesi ve bazı bileşenlerin açığa çıkmayacağının varsayılmasıdır. Analitik hesaplamalarda gazlaşma olayı beş temel denklem üzerinden yürütülmektedir. Her ne kadar bu beş denklem gazlaşma olayının çok büyük bir kısmını kapsasa da yinede gazlaşma olayında onlarca reaksiyon olmaktadır. Bu nedenle, analitik yöntem ile paket programın sonuçlarının farklı çıkması diğer reaksiyonların göz ardı edilmesi ile yakından ilişkilidir.

4.3. Farklı Atık-Kömür Karışımlarının Analitik Yöntem Ve Bir Paket Program İle Modellenmesi

Tez çalışmasının bu bölümünde içeriği bilinen yerli belediye atığının ve ithal kömürün gazlaştırılması işlemleri bir paket program yardımıyla simülasyonu yapılmış ve gazlaştırma işlemi neticesinde açığa çıkan sentez gazının her bir modelleme için kompozisyonları hesaplanmıştır. Ortalama bir şehir çöpünün atık kompozisyonları Çizelge 4.8.'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Şehir çöpünün kütleli atık kompozisyonu [47]

Bileşen	Yüzde içerik	Bileşen	Yüzde içerik
Kağıt	50	C	47,9
Talaş	3	H	6
Odun	11	N	1,2
Sebze atıkları	3,7	Cl	0,1
Kumaş	5,5	S	0,3
Plastik	10	O	32,9
Kauçuk	3,5	SiO ₂	11,7
Reçineler	1	Alt ısı Değeri: 12400 kJ/kg Nem Oranı: % 30	
Elektronik atıkları	3		
İnşaat atıkları	4,5		
Cam	4		
Diğer	0,8		

Atığa benzer şekilde çalışmada kullanılan ithal kömürün kütle içeriği Çizelge 4.9.'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Kömürün kütle içeriği [45]

Bileşen	Yüzde içerik
C	61,700
O	13,200
H	4,100
N	1,200
S	0,39
SiO ₂	11,17
Al ₂ O ₃	4,420
Fe ₂ O ₃	1,97
CaO	1,18
MgO	0,37
Na ₂ O	0,3

Yapılan çalışmada, yakıtlar ile atıkların birlikte kullanıldığında açığa çıkan sentez gazının kütleli içeriği ve dolayısıyla kalorifik değerinin değişimini incelemek amacıyla şehir çöpü ve bir ithal kömür ayrı ayrı ve Çizelge 4.10.'da gösterilen oranlarda karıştırıldığı düşünülerek hem analitik model ile hem de paket program ile çözülerek sonuçlar incelenmiştir.

Şehir çöpü ve Kömür tek başlarına modellenmesinin yanı sıra %25-%75, %50-%50 ve %75-%25 oranlarında karıştırılarak modellenmiştir. Karışımların atomik kompozisyonları Çizelge 4.11.' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. Modellemelerde kullanılan atık ve kömür yüzdeleri

1.Modelleme	% 100 Atık	% 0 Kömür
2.Modelleme	% 75 Atık	% 25 Kömür
3.Modelleme	% 50 Atık	% 50 Kömür
4.Modelleme	% 25 Atık	% 75 Kömür
5.Modelleme	% 0 Atık	% 100 Kömür

Çizelge 4.11.1. Modellemelerde kullanılan besleme kompozisyonları

Bileşen	1. Modelleme (%100 MSW)	2. Modelleme (%75MSW%25 Kömür)	3. Modelleme (%50MSW%50 Kömür)	4. Modelleme (%25MSW%75 Kömür)	5. Modelleme (%100 Kömür)
C	47,9	51,35	54,8	58,25	61,7
O	32,9	27,935	23,05	18,125	13,2
H	6	5,525	5,05	4,575	4,1
N	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
S	0,3	0,3225	0,345	0,3675	0,39
SiO ₂	11,6	11,4925	11,385	11,2775	11,17
Al ₂ O ₃	-	1,105	2,21	3,315	4,42
Fe ₂ O ₃	-	0,4925	0,985	1,4775	1,97
CaO	-	0,295	0,59	0,885	1,18
MgO	-	0,0925	0,185	0,2775	0,37
Na ₂ O	-	0,075	0,15	0,225	0,3
Nem	20	18,75	17	15,5	14
Isıl Değer (kj/kg)	12400	15058	17715	20373	23030

Çizelge 4.12. Modellemeler neticesinde açığa çıkan sentez gazı kompozisyonları

Sentez Gazı Bileşenleri	% 100 MSW (Program)	% 100 MSW Analitik (Çözüm)	% Fark	% 75 MSW-% 25 MSW (Program)	% 75 MSW-% 25 MSW (Analistik Çözüm)	% Fark	% 50 MSW-% 50 MSW (Program)	% 50 MSW-% 50 MSW (Analistik Çözüm)	% Fark	% 25 MSW-% 75 MSW (Program)	% 25 MSW-% 75 MSW (Analistik Çözüm)	% Fark	% 100 MSW (Program)	% 100 MSW (Analistik Çözüm)	% Fark
Azot	14,339	16,03	-10,5	27,042	27,78	-2,65	36,028	35,56	1,3	42,87	43,47	-1,38	48,585	49,101	-1,12
Hidrojen	43,078	42,178	2,07	32,626	33,32	-2,08	25,834	27,95	-7,57	20,27	21,3	-4,84	15,856	16,95	-6,45
Hidrojen Siyanat	0,088	-	-	0,075	-	-	0,068	-	-	0,06	-	-	0,055	-	-
Hidrojen Sülfid	0,086	-	-	0,08	-	-	0,076	-	-	0,073	-	-	0,07	-	-
Su	1,255	1,8	-30,27	2,36	0,44	81,35	1,89	1,02	46,03	2,515	0,71	+71,77	2,577	0,95	63,13
Karbon Monoksit	40,29	38,88	3,5	36,72	37,67	-2,52	35,023	35,18	-0,44	32,81	33,01	-0,6	31,224	30,68	1,74
Karbon Dioksit	0,635	1,1	-42,27	0,89	0,77	13,48	0,906	0,27	70,2	1,24	1,52	-18,42	1,479	2,31	-35,97
Amonyak	0,22	-	-	0,19	-	-	0,169	-	-	0,151	-	-	0,137	-	-
Karbonil Sülfid	0,01	-	-	0,009	-	-	0,008	-	-	0,008	-	-	0,008	-	-

+

□

Çizelge 4.12.'de görüldüğü üzere Şehir Çöpü, İthal Kömür ve bu iki atığın yarı yarıya oranda karıştırılmış hali, hem analitik yöntem ile hem de bilgisayar programı ile modellenmiştir.

Burada dikkat çeken husus, % 100 şehir çöpü'nün modellenmesi neticesinde hesaplanan hidrojen miktarı % 100 kömür ve şehir çöpü-kömür karşımına oranla çok daha yüksektir. Bunun temel nedeni, şehir çöpü'nün içerisinde bulunan nem miktarının çok daha fazla olmasıdır.

Önceki bölümlerde yer alan Kinetik Parametreler başlığı incelenirse, denklem 3.3.'de de görüleceği üzere ortamda yeterli miktarda nem bulunursa açığa çıkan CO miktarı okadar çok olacaktır. Çizelge 4.12.'de görüldüğü üzere % 100 şehir çöpü, karışım ve kömüre oranla daha fazla nem ihtiva ettiği için gazlaşma ürünlerinde CO miktarı diğerlerine oranla daha fazla olmuştur.

Ayrıca şehir çöpü modellemesi neticesinde hesaplanan azot miktarı % 100 kömür ve şehir çöpü-kömür karşımına oranla çok daha azdır. Bunun nedeni şu şekilde açıklanabilmektedir; Şehir Çöpü, gazlaşma sırasında CO ve CO₂ oluşabilmesi için gerekli O₂'nin daha fazla ihtiva etmekte(kütlesel olarak % 32,9) ve bu nedenle daha az oksitleyici havaya ihtiyaç duymaktadır. Kömür ve kömür-çöp karşımı ise içeriğinde bulunan O₂'nin azlığından(kütlesel olarak sırasıyla % 13,2 ve % 23,05), gazlaşma neticesinde CO ve CO₂ oluşabilmesi için daha fazla oksitleyici havaya ihtiyaç duymaktadır. Bu sebepten dolayı hava/atık karışımları, şehir çöpü için 0,416 mol hava/mol çöp, kömür için 1,207 mol hava/mol kömür, çöp-kömür karşımı için ise 2,023 mol hava/mol karışım olarak alınmıştır. Burada, en fazla oksitleyici hava kömürün gazlaştırılmasında kullanıldığı için, havanın içerisindeki azot miktarından dolayı gazlaşma ürünü sentez gazının içerisinde en çok azotu kömürün gazlaşma ürünü ihtiva edecektir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan tez çalışmasında, atıkların bertarafı konusunda ülkemiz ve dünyadaki durum araştırılmıştır. Yapılan araştırmalar neticesinde ülkemizde atık bertarafı konusunda Avrupa Birliği ülkelerine nazaran yasal düzenlemeler ve bilinçlenme açısından geride olduğumuz, bununla birlikte Avrupa Birliği Uyum yasaları ile aradaki farkın kapatılmaya çalışıldığı gözlenmiştir. Yasal düzenlemelerin yanında kamuoyunun oluşturulması, halkın bilinçlendirilmesi hususunda da alınması gereken bir hayli yol bulunmaktadır.

Atık bertarafı konusunda bir çok yöntem bulunmakla birlikte bu yöntemler arasında en yenisi konumundaki Plazma Teknolojisi ile atık bertarafı tez çalışmasının konusunu oluşturmaktadır. Çalışmanın ilk aşamasında geliştirilmiş olunan analitik model ile içeriği bilinen bir arıtma çamuru örneğinin gazlaştırılması neticesinde açığa çıkan sentez gazının içerikleri hesaplanmıştır. Bununla birlikte plazma torçunun gücü 46,24 kW, açığa çıkan ısı enerjisi 24 243 kJ/kmol olarak hesaplanmıştır.

Hesaplamalar yapılırken kazan içerisinde oluşan reaksiyonların tersinmez oldukları kabulü yapılmıştır. Daha sonra bu kabulün doğruluğunu kanıtlamak amacıyla, kazan içerisinde oluşan beş gazlaşma reaksiyonunun oluşma entalpileri hesaplanıp çalışılması gereken sıcaklık aralıkları grafikler halinde sunulmuştur. (EK-5, EK-6, EK-7, EK-8, EK-9) Beş denklem içinde hazırlanan tablolarda görülebileceği üzere ürünlerin oluşum entalpilerinin sıcaklığa göre gösterdiği tepkiler incelendiğinde entalpilerin işaretlerine bakılarak endotermik ve ya ekzotermik olup olmadıklarının sağlanması alınmıştır. İlk dört reaksiyon içinde 298,15 K ve 3200 K arasındaki sıcaklık değişimlerinde oluşum entalpi değerlerinin işaretleri sabit kalmış fakat beşinci reaksiyonun oluşum entalpisi 3000 K’de işaret değiştirerek tersinir reaksiyon özelliği göstermiştir. 3000 K’de diğer dört reaksiyon işareti sabit kalmakla birlikte oluşum entalpisinin doğrusallığında sapmalar gözlenmiştir

Tez çalışmasının ikinci kısmında ise; birinci kısımda analitik model ile çözülen arıtma çamurunun gazlaşma modellemesi paket program yardımıyla yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.12.'de görüleceği üzere analitik model ile hesaplanan sentez gazı içeriklerinde CH_4 , NH_3 , HCN gibi bileşenlerin miktarları, bilinmeyen sayısının azaltılması ve hesaplama kolaylığı açısından ihmal edilmiş olup, paket program ile adı geçen bileşiklerin miktarları hesaplanmıştır. Matematiksel hesaplamalar ile paket programın sonuçları incelendiğinde tutarlı olduğu saptanmıştır.

Analitik yöntem ile paket program arasında bulunan farkların temel nedeni; analitik yöntem uygulanırken beş temel denklem üzerinden gidilmesi ve bazı bileşenlerin açığa çıkmayacağını varsayılmasıdır. Her ne kadar bu beş denklem gazlaşma olayının çok büyük bir kısmını kapsasa da yine de gazlaşma olayında onlarca reaksiyon olmaktadır. Bu nedenle, analitik yöntem ile paket programın sonuçlarının farklı çıkması diğer reaksiyonların göz ardı edilmesi ile yakından ilişkilidir.

Çalışmanın son kısmında ise paket program yardımıyla kütleli içerikleri ve ısı kapasiteleri bilinen şehir çöpü atığı ve ithal kömür karışımları ile beş modelleme yapılmıştır. Bu modellemelerin amacı çeşitli karışım miktarları ile oluşturulan beslemelerin gazlaştırılması ile açığa çıkan sentez gazlarının içeriklerinin incelenmesidir. Sentez gazının içeriği beslemenin kütleli içeriklerine bağlı olduğu gözlenmiştir. Gazlaşma reaksiyonları oluşurken ortamda yeterli nem olması durumunda sentez gazı içerisinde bulunan hidrojen ve karbon monoksit miktarının arttığı gözlenmektedir. Bu nedenle beslemenin içeriğinde yeteri kadar nemin bulunması tercih edilmelidir. Benzer şekilde gazlaşma reaksiyonları olurken, oluşan sentez gazının içeriğinde bulunan karbon dioksit ve karbon monoksit miktarının artması için ortama beslenecek olan oksijen miktarının artması gerekmektedir.

Atık bertaraf tesislerinde her ne kadar açığa çıkan ısı ve dolayısıyla elektrik enerjisi önemli olsa da bu tesislerin ana amacı tehlikeli atıkların yasa ve yönetmeliklere uygun bir şekilde bertaraf edilmesidir. Konuya bu şekilde bakıldığında plazma teknolojisi diğer yakma teknolojilerine göre çok daha temiz ve çevreci bir

teknolojidir. Gazlaştırma sırasında çok yüksek sıcaklıklara çıkıldığından yakma tesislerinin en çok sıkıntı çektiği husus olan dioksinler ve furanlar oluşmamaktadır. Ayrıca bacadan atılan ağır metaller, gazlaştırma sırasında kazanın dibinde vitrifiye çamuru olarak birikmekte, zararsız bir şekilde dışarı alınmakta ve dolgu malzemesi olarak yeniden kullanılabilir. Bu nedenle plazma teknolojisi ile bertaraf, diğer yakma teknolojilerine göre daha az atık açığa çıkarıp daha çevreci bir rol üstlenmektedir.

Yapılan çalışmanın neticesinde; çok yeni bir teknoloji olan Plazma Gazlaştırma Teknolojisi ile gazlaştırmanın analitik ve bilgisayar modellemeleri yapılmış olup elde edilen ürünlerin miktarları karşılaştırılıp ülkemizde bu teknolojiyi kullanacak sanayicimize matematiksel veriler verilip, yol gösterilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmadan sonra, yapılacak diğer çalışmalarda milli imkânlar ile plazma torcu ve kazan sistemi tasarımı ve imalatı yapılabilir. Yapılmış olan çalışma, gelecekte yapılacak tasarım ve imalatlara ışık tutacaktır.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Ankara Sanayi Odası “Atık Nedir?”
http://www.aso.org.tr/kurumsal/index.php?sayfa_no=55 (2011)
2. İnternet Çevre Online “Atıklar”
<http://www.cevreonline.com/atik.htm> (2011)
3. İnternet: T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı “Genel Bilgiler”
<http://www.cevreorman.gov.tr> (2008)
4. Köse, Ö. Ve Ayaz, S. “Türkiye’de Atık Yönetimi Ulusal Düzenlemeler ve Uygulama Sonuçlarının Değerlendirilmesi Performans Denetimi Raporu” *Sayıştay*, 1-9 (2007)
5. Tzeng, C., Kuo, Y., “Treatment of radioactive wastes by plasma incineration and vitrification for final disposal” *Journal of Hazardous Materials*, 58 (1-3): 207-220 (1998)
6. Vaidyanathan, A., Mulholland, J., “Characterization of fuel gas products from the treatment of solid waste streams with a plasma arc torch” *Journal of Environmental Management*, 82 (1): 77-82 (2007)
7. Moustakas, K., Fatta, D., “Demonstration plasma gasification/vitrification system for effective hazardous waste treatment” *Journal of Hazardous Materials*, B123, 120-126 (2005)
8. Galeno, G., Minutillo, M., “From waste to electricity through integrated plasma gasification/fuel cell (IPGFC) system” *International Journal of Hydrogen Energy*, 36 (2): 1692-1701 (2011)
9. Huang, H., Tang, L., “Treatment of organic waste using thermal plasma pyrolysis technology” *Energy Conversion and Management*, 48 (4): 1331-1337 (2007)
10. Kataou, K., Asou, T., “Melting municipal solid waste incineration residue by plasma melting furnace with a graphite electrode” *Thin Solid Films*, 386 (2001): 183-188 (2000)
11. Minutillo, M., Perna, A., “Modelling and performance analysis of an integrated plasma gasification combined cycle (IPGCC) power plant” *Energy Conversion and Management*, 50: 2837-2842 (2009)
12. Lemmens, B., Elslander, H., “Assessment of plasma gasification of high caloric waste streams” *Waste Management*, 27 (11): 1562-1569 (2007)

13. Oost, V., Hrabovsky, M., “Pyrolysis of waste using a hybrid argon–water stabilized torch” **Vacuum**, 80 (11-12): 1132-1137 (2006)
14. Mountouris, A., Voutsas, E., “Plasma gasification of sewage sludge: Process development and energy optimization”, **Energy Conversion and Management**, 49 (8): 2264-2271 (2008)
15. Moustakas, K., Xydis, G., “Analysis of results from the operation of a pilot plasma gasification/vitrification unit for optimizing its performance” **Journal of Hazardous Materials**, 151: 473-480 (2008)
16. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Atık Yönetimi Daire Başkanlığı, “Katı Atık Ana Planı Nihai Rapor Cilt 1”, **MİMKO Tic. A.Ş.** (2006)
17. İnternet: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
<http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/nukleer-enerji-ve-reaktorler/193-gunumuzde-nukleer-enerji-rapor/807-bolum-04-radyoaktif-atik-yonetimi.html> (2009)
18. Evin, H., “Hazardous waste management in the world and Turkey: A comparative Analsys, **Fırat Ü. Sosyal Bilimler Dergisi** 19 (2): 197-203 (2009)
19. İnternet: Vital Graphics(UNEP, Birleşmiş Milletler Çevre Programı)
http://vitalgraphics.net/waste/html_file/34-35_hazardous_caution.html
20. İnternet: Ege Bölgesi Sanayi Odası
<http://www.ebso.org.tr/tr/yonkom/cevre/tehlikeliatiklar.ppt>
21. İnternet: (UNEP, Birleşmiş Milletler Çevre Programı)
http://vitalgraphics.net/waste/html_file/08-09_waste_generation.html.
22. Alparslan, N., “Katı Atıkların Yönetimi eğitimi”, **TMMOB ÇMO**, İZMİR (2005)
23. Yılmaz, A., Bozkurt, Y., “Türkiye’de Kentsel Katı Atık Yönetimi Uygulamaları ve Kütahya Katı Atık Birliği Örneği” **Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, 15 (1): 1-28 (2010)
24. R&R Bilimsel ve Teknik Hizmetler Ltd. Şti, “**Katı Atık Yakma Tesisleri İçin Teknolojiler ve Yer Seçimi**” (2006)
25. Topal, H., Toraman, Y., Katı Atık ve Arıtma Çamurlarının Değerlendirmesinde Alternatif Termal Teknolojiler ve Uygulamaları, **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.** 18 (1): 19-33 (2003)
26. Tuna, Tamer., Atıkların Gazlaştırılmasına Dayanan Elektrik Üretim Teknolojisi **TES Mühendislik** (2010)

27. Gomeza, E., Amutha Rania, D., “Thermal plasma technology for the treatment of wastes: A critical review” *Journal of Hazardous Materials* (2008)
28. The Northspan Group Inc., Does it make sense to move forward with a full feasibility analysis, *Aitkin County Plasma Gasification Study, Duluth*, 3 (2008).
29. Van Oosta, G., Hrabovskyb, M., “Pyrolysis of waste using a hybrid argon–water stabilized torch”. *Verstraetenc aDepartment of Applied Physics, Ghent University*, 80 (11-12): 1132-1137 (2006)
30. İnternet: PEAT International INC
<http://www.peat.com/wastenew.html> (2012)
31. Osada, S., Willis, Ken P., Plasma Gasification Lessons learned at ecovalley Wte Facility, *Proceedings of the 18th Annual North American Waste-to-Energy Conference, NAWTEC18 Orlando(A.B.D)*, 1-8 (2010)
32. İnternet: Westinghouse Plasma Cooperation
<http://www.westinghouse-plasma.com/projects/japan> (2012)
33. İnternet: Plasco Energy Group Inc.
<http://www.zerowasteottawa.com/en/> (2012)
34. İnternet: Enviroparks Ltd.
<http://www.enviroparks.co.uk/planning> (2012)
35. Jarayama, P., Municipal Solid Waste Management, *CRC Pres*, Hollanda, 140 (2011)
36. İnternet: CHWMEG INC.
<http://www.chwmeg.org/asp/search/detail.asp?ID=8733> (2012)
37. İnternet: PR Newswire Association LLC
<http://www.prnewswire.com/news-releases/plasco-announces-agreement-with-beijing-90672449.html> (2010)
38. İnternet: Florida Department of Environmental Protection
<http://www.dep.state.fl.us/air/emission/construction/geoplasma.htm> (2008)
39. Hauhstena, K., Gustavsonb, B., “Zararlı ve Yerel Atık Yakımı Sonucu Ortaya Çıkan Külün Çevresel Özellikleri” *ScanArc A/B* (1999)
40. Moustakas, K., Fatta, D., “Demonstration plasma gasification/vitrification system for effective hazardous waste treatment” *Journal of Hazardous Materials*, B123: 120-126 (2005)

41. Bowyer, J., Fernholz, K., “Plasma Gasification: an examination of the health, safety, and environmental records of established facilities”, **Dovetail Partners Inc.DOVETAIL** (2010)
42. Internet: Peat Internatioanal
http://www.peat.com/useful_endproducts.html (2012)
43. R. W. BECK INC “**City of Honolulu Review of Plasma Arc Gasification and Vitrification Technology for waste disposal final report**” (2003)
44. Gallimore, S., “Operation of a High-Pressure Uncooled PlasmaTorch with Hydrocarbon Feedstocks” Dr. Walter F. O’Brien **Mechanical Engineering Department** (1998)
45. Schuster G, Loffler G, Weigl K, Hofbauer H., “Biomass steam gasification—an extensive parametric modeling study” **Bioresour Technol** 77: 71–9 (2001)
46. Virtual Material Group Inc., VMGSIM ver 6.0 Program Tutorial, 1715-1736 (2010)
47. Mountouris, A., Voutsas, E., “Solid waste plasma gasification: Equilibrium model development and exergy analysis”, **Energy Conversion and Management**, 47: 1723-1737 (2006)
48. Zhang, G., Dor, L., “Gasification of municipal solid waste in the Plasma Gasification Melting process”, **Applies Energy**, 90: 106-112 (2011)

EKLER

EK-1. Bileşenlerin sıcaklığa karşı h_T verileriÇizelge 1.1. Bileşenlerin sıcaklığa karşı h_T verileri

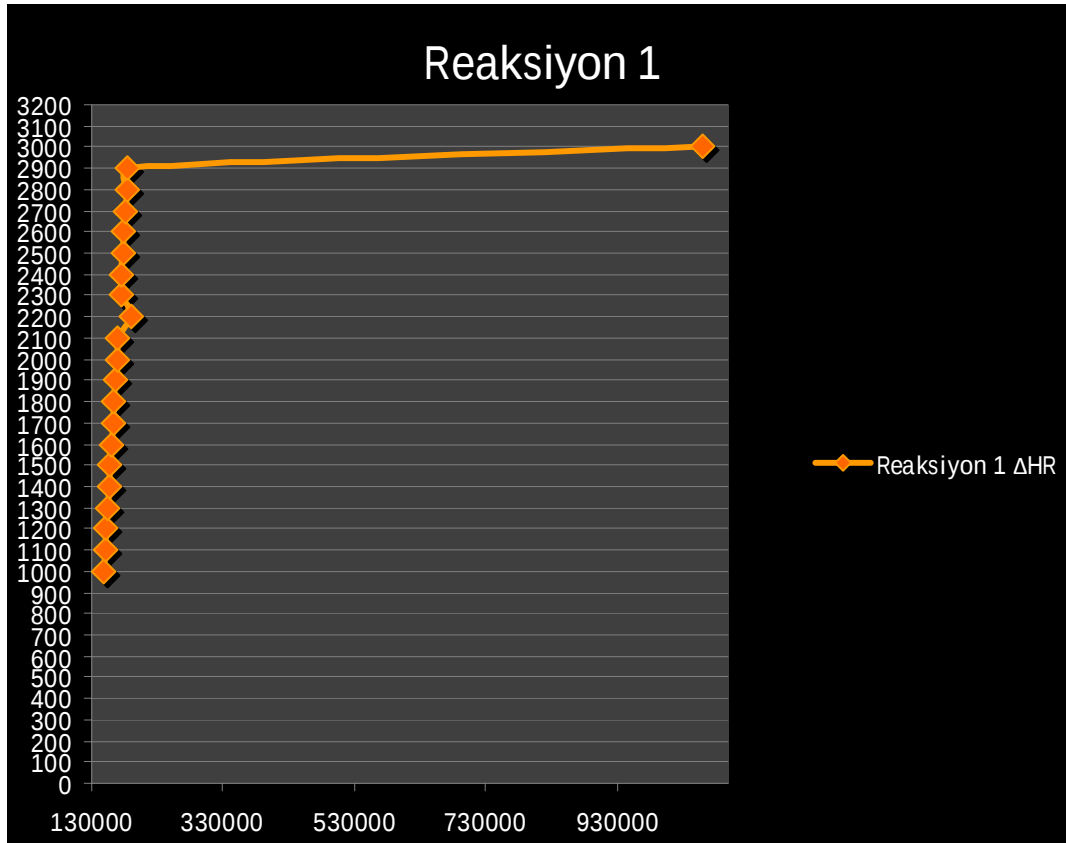
	CO ₂	CO	H ₂	CH ₄	C	H ₂ O
T (K)	h_T	h_T	h_T	h_T	h_T	h_T
298,15	9364	8671	8467	10018,7	0	9904
1000	42763,1	30359,8	29247,3	30106,8	0	35904,6
1100	48248,2	33705,1	32187,4	33197	0	40094,1
1200	53836,2	37099,6	35266,4	36333,7	0	44412,4
1300	59512,8	40537,1	38386,7	39516,3	0	48851,4
1400	62262,1	44012	41549,8	42743,3	0	53403,6
1500	71076,3	47519,3	44756,1	88183,9	0	58061,6
1600	76943	51054,8	48005,7	96943,5	0	62818,1
1700	82855,4	54614,9	51297,9	105887,7	0	67666,1
1800	88807,3	58196,5	54631,5	114994,3	0	72599,1
1900	94793,9	61796,9	58004,8	124244,4	0	77610,7
2000	100911,2	65413,9	61416,1	133621,7	0	82694,7
2100	106856,4	69045,8	64863,3	66415,3	0	87845,6
2200	112927,3	72691	86844,2	69924,5	0	93057,9
2300	119022,2	76348,3	71856,8	73458,6	0	98326,7
2400	125139,6	80016,7	75399	77015,6	0	103647,3
2500	131278,2	83695,4	78969,1	80593,6	0	109015,5
2600	137436,6	87383,4	82565,7	84191	0	114427,7
2700	143613	91080,2	86187,7	87806,6	0	119880,3
2800	149805,2	94785	89834,8	91439,5	0	125370,6
2900	156010,3	98497	93507	95089,2	0	130896,2
3000	162224,3	102215,2	972054	98755,9	0	136455,2

EK-4. Reaksiyonların sıcaklığa karşı entalpi değerleri

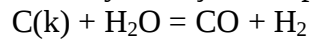
Çizelge 4.1. Reaksiyonların sıcaklığa karşı entalpi değerleri

T (K)	Rxn1	Rxn2	Rxn3	Rxn4	Rxn5
1000	147758,5	182440,5	-96345,5	244104	-34682
1100	149854,4	183646	-99135,5	248989,9	-33791,6
1200	152009,6	184847	-102157	254166,4	-32837,4
1300	154128,4	186045,4	-105215	259343,2	-31917
1400	156214,2	190245,9	-108314	264528,2	-34031,7
1500	158269,8	188446,3	-69286	227555,8	-30176,5
1600	160298,4	189650,6	-67025,6	227324	-29352,2
1700	162302,7	190858,4	-64665,8	226968,5	-28555,7
1800	164284,9	192069,7	-62226,4	226511,3	-27784,8
1900	166247	193283,9	-59722,9	225969,9	-27036,9
2000	168191,3	194400,6	-57168,2	225359,5	-26209,3
2100	170119,5	195719,2	-131269	301388,5	-25599,7
2200	190533,3	196938,7	-171722	362254,9	-6405,4
2300	173934,4	198158,4	-138213	312147,1	-24224
2400	175824,4	199377,8	-141740	317564,5	-23553,4
2500	177705	200596,6	-145302	323007,3	-22891,6
2600	179577,4	201814,2	-148898	328475,5	-22236,8
2700	181443,6	203031,4	-152527	333970,1	-21587,8
2800	183305,2	204248,8	-156188	339493	-20943,6
2900	185163,8	205467,7	-159883	345046,3	-20303,9
3000	1061870	206690,1	-1913310	2975180	855179,9

EK-5. Reaksiyon 1 için entalpi değişimleri

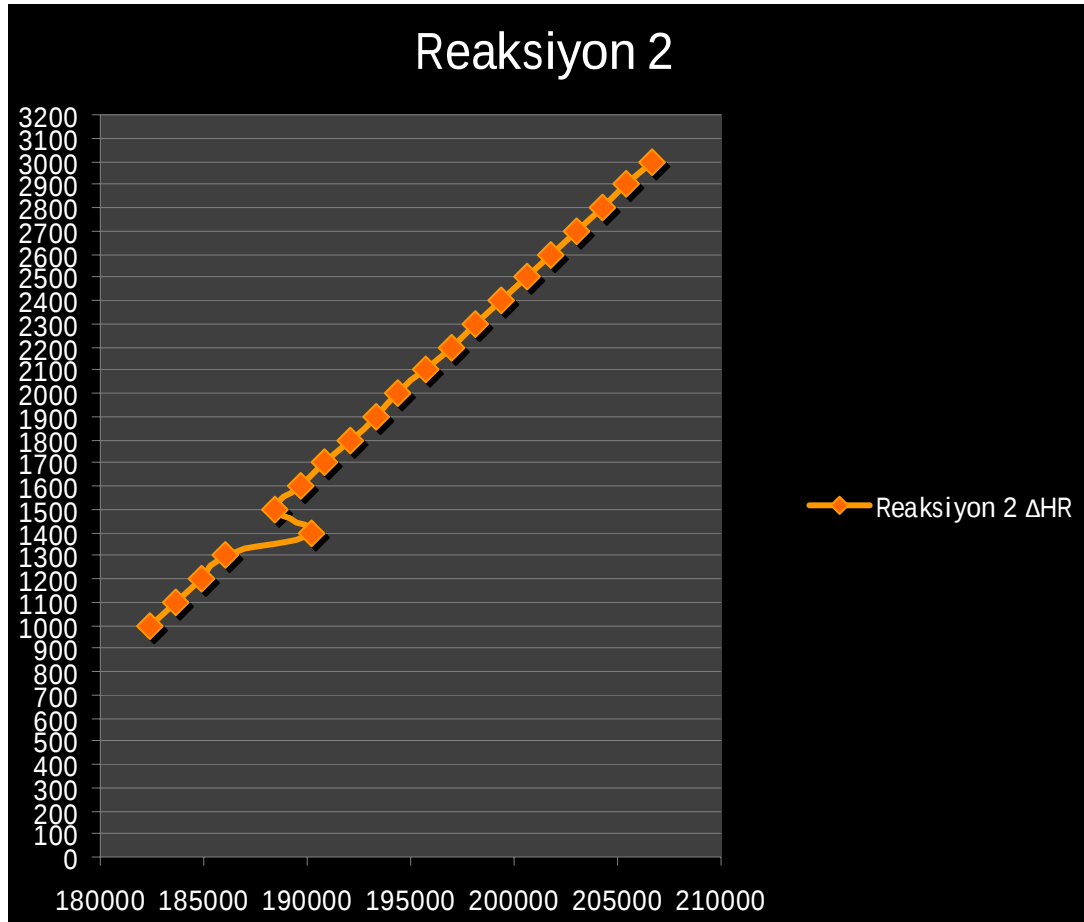


Şekil 5.1. Reaksiyon 1 için entalpi değişimleri

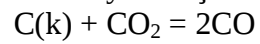


(Endotermik gazlaştırma yükseltgenme reaksiyonu)

EK-6. Reaksiyon 2 için entalpi değişimleri

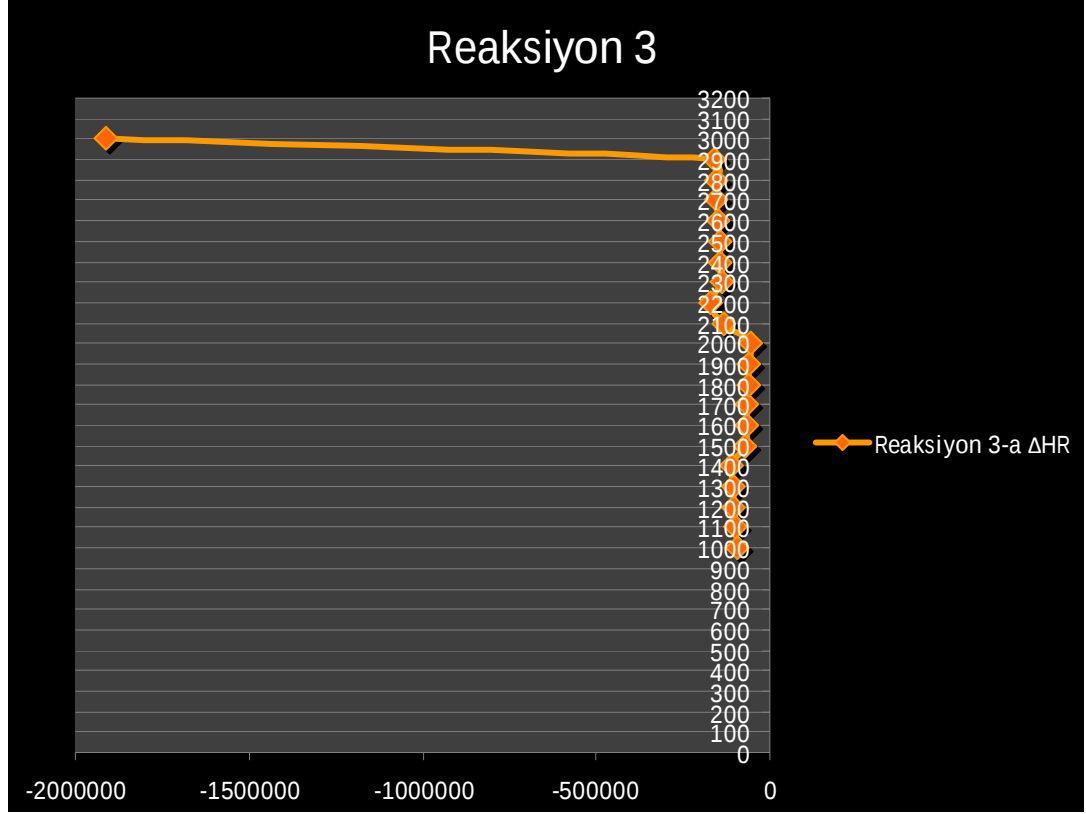


Şekil 6.1. Reaksiyon 2 için entalpi değişimleri

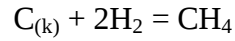


(Endotermik Boudouard denkliği)

EK-7. Reaksiyon 3 için entalpi değişimleri

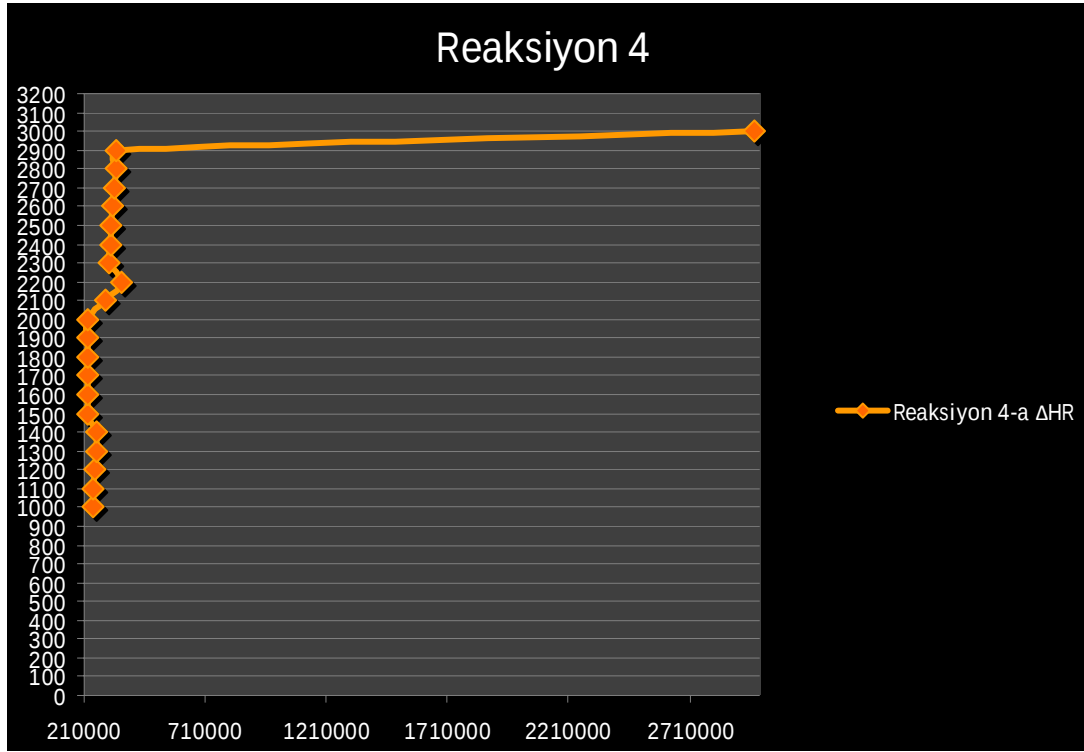


Şekil 7.1. Reaksiyon 3 için entalpi değişimleri



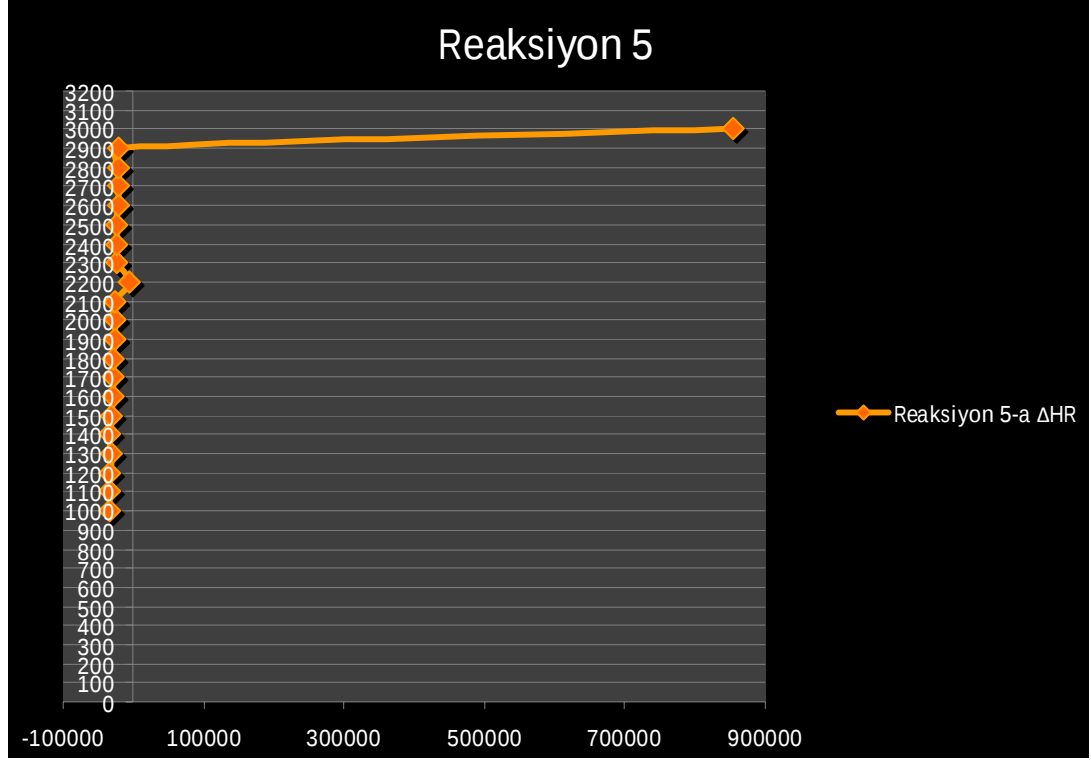
(Ekzotermik metan oluşum denkliği)

EK-8. Reaksiyon 4 için entalpi değişimleri



Şekil 8.1. Reaksiyon 4 için entalpi değişimleri
 $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + 3\text{H}_2$
 (Endotermik metan bozunum denkliği)

EK-9. Reaksiyon 5 için entalpi değişimleri



Şekil 9.1. Reaksiyon 5 için entalpi değişimleri
 $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$
 (Ekzotermik gaz-su dönüşüm denkliği)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DERELİ, Caner
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 14.10.1983, İstanbul
Medeni hali : Evli
Telefon : 05056583613
E-mail : caner_dereli@yahoo.com

Eğitim/Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi / Kimya Mühendisliği	2007
Lise	Yusuf Çapraz Lisesi	2001

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2007-2009	Saha Çevre Yönetimi A.Ş.	Kalite Mühendisi
2010-	İl Afet ve Acil Durum Md.	Kimya Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Robot Teknolojileri, Kimya Mühendisliği Tasarımı, İş Sağlığı ve Güvenliği, Spor