

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENDÜSTRİYEL ATIKLARIN GAZLAŞTIRILMASI VE GAZLAŞTIRMA
PROSESİ KATI ÇIKTILARININ (CHAR, SİKLON TOZU VE KLİNKER)
KARAKTERİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elif GÜZEL**

Anabilim Dalı : Kimya Mühendisliği

Programı : Kimya Mühendisliği

HAZİRAN 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENDÜSTRİYEL ATIKLARIN GAZLAŞTIRILMASI VE GAZLAŞTIRMA
PROSESİ KATI ÇIKTILARININ (CHAR, SİKLON TOZU VE KLİNKER)
KARAKTERİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elif GÜZEL
(506091035)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 07 Haziran 2011

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hasancan OKUTAN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. A. Nusret BULUTÇU (İTÜ)
Doç. Dr. Nilgün KARATEPE YAVUZ (İTÜ)**

HAZİRAN 2011

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bana bilgi, deneyim ve destekleri ile yol gösteren, danışman hocam Sn. Prof. Dr. Hasancan OKUTAN'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Deneysel çalışmalarımı gerçekleştirmem için her türlü imkandan yararlanmama olanak tanıyan Ekolojik Enerji A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı Sn. Ömer SALMAN'a teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım boyunca daima yanımda olan, tecrübeleriyle bana yardımcı olan Kim. Müh. Hatice ÇALIŞKAN'a teşekkür ederim.

ICP-OES ve XRD çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan Kim. Yük. Müh. Esra ENGİN' e anlayışı ve desteğinden dolayı çok teşekkür ederim. SEM analizlerinde bana yardımcı olan Kim. Yük. Müh. Işık YAVUZ' a ve XRF analizlerinde yardımcı olan Araş. Gör. Murat ALKAN'a çok teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca her zaman desteklerini hissettiğim, bana yol gösteren, sabırlı ve anlayışlı olan sevgili aileme çok teşekkür ederim.

Mayıs 2011

Elif Güzel

(Kimya Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
ÖZET	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. ATIKLARIN TANIMI VE SINIFLANDIRILMASI	5
2.1 Etkileri Bakımından Atıklar.....	5
2.1.1 Zararlı atıklar.....	5
2.1.2 Zararsız atıklar.....	5
2.1 Yapıları Bakımından Atıklar.....	6
2.2.1 Katı atıklar.....	6
2.2.2 Sıvı atıklar.....	7
2.2.3 Gaz atıklar.....	8
2.3 Kaynakları Bakımından Atıklar.....	8
2.3.1 Evsel katı atıklar.....	8
2.3.2 Endüstriyel atıklar.....	11
2.3.3 Ticari ve kurumsal atıklar.....	13
2.3.4 Tarımsal atıklar.....	13
2.3.5 Özel atıklar.....	13
2.3.5.1 Atık yağlar.....	13
2.3.5.2 Atık pil ve akümülatörler.....	15
2.3.5.3 Tıbbi atıklar.....	16
2.4 Tehlikeli Atıklar.....	18
3. ATIK YÖNETİMİ	21
3.1 Atık Oluşumunu Önleme/Minimizasyonu.....	24
3.2 Atık Azaltma ve Geri Kazanım Uygulamaları.....	24
3.3 Atıkların Toplanması ve Taşınması.....	26
3.4 Atıkların Geçici ve Ara Depolanması.....	26
3.5 Tehlikeli Atık Arıtımı.....	27
3.5.1 Fiziksel arıtma.....	27
3.5.2 Kimyasal arıtma.....	27
3.5.3 Biyolojik arıtma.....	28
3.6 Nihai Atık Bertarafı.....	28
3.6.1 Uzaklaştırma.....	30
3.6.1.1 Derine enjeksiyon.....	30
3.6.1.2 Deniz diplerine boşaltma.....	31
3.6.1.3 Yer altı katmanlarına depolama.....	31
3.6.2 Termal işlemler.....	31
3.6.2.1 Yakma.....	31

3.6.2.2 Piroliz.....	32
3.6.2.3 Gazlaştırma	33
3.6.3 Düzenli depolama	33
3.6.3.1 Depolama alanı seçme	34
3.6.3.2 Alan özellikleri.....	34
3.6.3.3 Atık özellikleri	35
3.6.3.4 Atıkların yerleştirilmesi	35
3.7 Uluslararası ve Ulusal Yönetmelikler	36
3.7.1 US EPA RCRA yönetmeliği.....	37
3.7.2 Avrupa Birliği (EU/AB).....	37
3.7.3 Türkiye’de atıklara ilişkin mevzuat ve belgeler	39
3.7.3.1 Katı atıkların kontrolü yönetmeliği	39
3.7.3.2 Tehlikeli atıkların kontrolü yönetmeliği.....	40
4. GAZLAŞTIRMA TEKNOLOJİSİ	45
4.1 Gazlaştırma Prosesi.....	45
4.2 Gazlaştırma Prosesinde Meydana Gelen Reaksiyonlar.....	46
4.3 Gazlaştırıcı Tipleri	46
4.3.1 Sabit yataklı (Fixed bed) gazlaştırıcı.....	46
4.3.1.1 Yukarı akışlı (updraft) gazlaştırıcı	47
4.3.1.2 Aşağı akışlı (downdraft) gazlaştırıcı	47
4.3.1.3 Çapraz akışlı (crossdraft) gazlaştırıcı	49
4.3.2 Akışkan yataklı (Fluidized bed) gazlaştırıcı.....	49
4.3.2.1 Kabarcıklı akışkan yatak gazlaştırıcılar.....	50
4.3.2.2 Sirkülasyonlu akışkan yatak gazlaştırıcılar.....	50
4.3.3 Sürüklemeli yatak (Entrained bed)	51
4.3.4 Plazma gazlaştırıcılar	52
4.4 Sentez Gazının Temizlenmesi ve Değerlendirilmesi	53
4.5 Termal İşlemler Sonucu Oluşan Katı Atıklar	54
4.6 Gazlaştırma Teknolojisinin Diğer Termal Yöntemlerle Karşılaştırılması	57
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	59
5.1 Amaç ve Deneysel Çalışma Kapsamı	59
5.2 Gazlaştırma Tesisi ve Deneylerde Kullanılan Endüstriyel Atıklar	59
5.2.1 Numunelerin hazırlanması.....	61
5.3 Kullanılan Cihazlar ve Yöntemler	62
5.3.1 Nem analizi.....	62
5.3.2 Numunelerin öğütülmesi ve numune alma.....	62
5.3.3 Kül analizi.....	62
5.3.4 Isıl değer tayini	63
5.3.5 Çözme yöntemleri.....	63
5.3.5.1 EPA 3050B yöntemi.....	63
5.3.5.2 Soda eritme yöntemi.....	64
5.3.5.3 Yaş metod ile SiO ₂ tayini	64
5.3.6 Su ile özütleme (leach) testi.....	65
5.3.7 XRD ve XRF analizi	65
5.3.8 SEM analizi	65
6. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	67
6.1 Reaktörlere Beslenen Atıkların, Gazlaştırma Prosesi Sonucu Oluşan Char ve Siklon Tozlarının Nem, Kül ve Isıl Değer Sonuçları.....	67
6.1.1 Reaktöre beslenen atıkların nem, kül ve ısıl değer sonuçları	67

6.1.2 Char örneklerinin kül ve ısııl değer sonuçları	70
6.1.3 Siklon tozu örneklerinin kül ve ısııl değer sonuçları.....	73
6.1.4 Gazlaştırıcı verimi	74
6.2 Reaktörlere Beslenen Atıkların, Char, Siklon Tozu ve Klinkerlerin Metal Analizleri	78
6.2.1 Reaktöre beslenen atıkların, char, siklon tozu ve klinkerlerin çeşitli yöntemler ile metal analizlerinin sonuçları.....	78
6.2.1.1 Gazlaştırıcılara beslenen atık örneklerinin metal analiz sonuçları	78
6.2.1.2 Char örneklerinin metal analiz sonuçları	81
6.2.1.3 Siklon tozu örneklerinin metal analiz sonuçları	83
6.2.1.4 Klinker örneklerinin metal analiz sonuçları.....	85
6.2.2 Char ve siklon tozlarının su ile özütleme (leach) analizi sonuçları.....	86
6.2.2.1 Char numunelerinin analiz sonuçları	86
6.2.2.2 Siklon tozu numunelerinin analiz sonuçları.....	89
6.3 Char, Siklon Tozu ve Klinker Örneklerinin XRD Analiz Sonuçları.....	92
6.3.1 Char numunelerinin analiz sonuçları.....	92
6.3.2 Siklon tozu numunelerinin analiz sonuçları.....	95
6.3.3 Klinker örneklerinin analiz sonuçları	98
6.4 Char, Siklon Tozu ve Klinker Örneklerinin XRF Analiz Sonuçları	100
6.4.1 Char örneklerinin XRF analiz sonuçları	100
6.4.2 Siklon tozu örneklerinin XRF analiz sonuçları.....	101
6.4.3 Klinker örneklerinin XRF analiz sonuçları.....	103
6.5 EPA 3050B Yöntemi, Soda Eritiş Yöntemi, Yaş Metod, Su Özütleme (Leach) Testi, XRD ve XRF Analizleri Sonuçlarının Karşılaştırılması	104
6.5.1 Char numunelerine ait sonuçların karşılaştırılması.....	104
6.5.2 Siklon tozu numunelerine ait sonuçların karşılaştırılması.....	105
6.5.3 Klinker numunelerine ait sonuçların karşılaştırılması.....	107
6.6 Char Örneklerinin SEM Analiz Sonuçları	108
6.7 Deneysel Sonuçların Diğer Literatür Çalışmalarıyla Karşılaştırılması.....	109
7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	115
KAYNAKLAR.....	117
EKLER.....	123

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ASTM	: The American Society for Testing and Materials
DIN	: Deutsches Institut für Normung
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
EC	: European Council
EEC	: European Energy Community
EN	: Europeane Norm
EPA	: Environmental Protection Agency
HSWA	: Hazardous and Solid Waste Amendements
ICP-OES	: Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry
ISO	: International Organization for Standardization
LDR	: The Land Disposal Restrictions
PCB	: Poli Klorürlü Bifenil
PCT	: Poli Klorürlü Terfenil
RCRA	: Resource Conservation and Recovery Act
SEM	: Scanning Electron Microscope
SSMS	: Spark-Source Mass Spectrometry
SWDA	: Solid Waste Disposal Act
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TAKY	: Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği
TS	: Turkish Standards
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
XRD	: X-Ray Diffraction
XRF	: X-Ray Fluorescence

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : İstanbul ve Antalya Büyükşehir Belediyeleri atık bileşenlerinin dağılımı.	7
Çizelge 2.2 : Evsel katı atıkların kaynakları ve türleri	10
Çizelge 2.3 : Endüstriyel katı atık türleri ve kaynakları.	12
Çizelge 2.4 : 2007 yılında yataklı ve ayakta tedavi hizmeti veren sağlık kuruluşlarında oluşan tıbbi atık miktarı	17
Çizelge 3.1 : Depolama ile bertaraf etme yöntemleri ve bertaraf edilen atık miktarları.....	29
Çizelge 3.2 : Termal işlemler ve bertaraf edilen atık miktarları	29
Çizelge 3.3 : Geri kazanım metodları ve atık bertaraf miktarları	29
Çizelge 3.4 : Diğer bertaraf yöntemleri ve atık miktarları.....	30
Çizelge 3.5 : Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, başlıklar ve ekler	41
Çizelge 3.6 : Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Ek-11A.	42
Çizelge 3.7 : Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Ek-11B.....	43
Çizelge 4.1 : Gazlaştırma ve yakma arasındaki belirgin farklılıklar.....	58
Çizelge 5.1 : Numune toplama sürecinde reaktörlere beslenen karışımlarında bulunan, çeşitli firmalardan gelen atık türleri ve özellikleri	60
Çizelge 6.1 : 16.10.2010 tarihinde gazlaştırıcılara beslenen atıkların analiz sonuçlarının ortalama değerleri.	67
Çizelge 6.2 : 18.10.2010 tarihinde gazlaştırıcılara beslenen atıkların analiz sonuçlarının ortalama değerleri.	68
Çizelge 6.3 : 01.11.2010 tarihinde gazlaştırıcılara beslenen atıkların analiz sonuçlarının ortalama değerleri.	68
Çizelge 6.4 : 03.11.2010 tarihinde gazlaştırıcılara beslenen atıkların analiz sonuçlarının ortalama değerleri.	69
Çizelge 6.5 : 13.11.2010 tarihinde gazlaştırıcılara beslenen atıkların analiz sonuçlarının ortalama değerleri.	69
Çizelge 6.6 : 25.12.2010 tarihinde gazlaştırıcılara beslenen atıkların analiz sonuçlarının ortalama değerleri.	69
Çizelge 6.7 : 16.10.2010 tarihli G-1 gazlaştırıcısından alınan char örneklerinin analiz sonuçlarının ortalama değerleri.	70
Çizelge 6.8 : 18.10.2010 tarihinde, G-1 gazlaştırıcısından alınan char örneklerinin analiz sonuçlarının ortalama değerleri	71
Çizelge 6.9 : 01.11.2010 tarihinde, G-1 gazlaştırıcısından alınan char örneklerinin analiz sonuçlarının ortalama değerleri	71
Çizelge 6.10 : 03.11.2010 tarihinde, G-1 gazlaştırıcısından alınan char örneklerinin analiz sonuçlarının ortalama değerleri	72
Çizelge 6.11 : 13.11.2010 tarihinde, G-1 ve G-3 gazlaştırıcılarından alınan char örneklerinin analiz sonuçlarının ortalama değerleri.	72
Çizelge 6.12 : 25.12.2010 tarihinde, G-2 gazlaştırıcısından alınan char örneklerinin analiz sonuçlarının ortalama değerleri.	73

Çizelge 6.13 : G-1 gazlaştırıcısına ait siklondan alınan toz örneklerinin analiz sonuçlarının ortalama değerleri.....	73
Çizelge 6.14 : G-2 gazlaştırıcısına ait siklondan alınan toz örneklerinin analiz sonuçlarının ortalama değerleri.....	74
Çizelge 6.15 : Örneklerin toplandığı tarihlerde gazlaştırıcılara beslenen günlük toplam kontamine ve çekilen kül miktarları.....	74
Çizelge 6.16 : Beslenen atık ve char örneklerine ait ortalama ısı değerleri.....	75
Çizelge 6.17 : Siklon tozu örneklerine ait ortalama ısı değerleri.....	75
Çizelge 6.18 : Gazlaştırma verimi sonuçları.....	77
Çizelge 6.19 : EPA 3050B yöntemine göre gazlaştırıcılara beslenen atıkların metal analiz sonuçları.....	80
Çizelge 6.20 : EPA 3050B yöntemine göre, char örneklerinin metal analiz sonuçları.....	82
Çizelge 6.21 : EPA 3050B yöntemine göre, G-1 gazlaştırıcısından alınan siklon tozu örneklerinin metal analiz sonuçları.....	84
Çizelge 6.22 : EPA 3050B yöntemine göre, G-2 gazlaştırıcısından alınan siklon tozu örneklerinin metal analiz sonuçları.....	84
Çizelge 6.23 : Soda eritiş yöntemi ile klinker örneklerinde silisyum ve alüminyum	85
Çizelge 6.24 : Yaş metod ile klinker örneklerinde SiO ₂ ve Al ₂ O ₃ tayini.....	86
Çizelge 6.25 : Char numunelerinin su özütlemesi analizi ile belirlenen metal bileşenlerinin ortalama konsantrasyon değerleri.....	88
Çizelge 6.26 : G-1 ve G-2 reaktör siklonlarından alınan numunelerin su özütlemesi analizi ile belirlenen metal bileşenlerinin ortalama değerleri.....	91
Çizelge A.1 : 16.10.2010 tarihinde alınan atık ve char numunelerinin analiz sonuçları.....	125
Çizelge A.2 : 18.10.2010 tarihinde alınan atık ve char numunelerinin analiz sonuçları.....	126
Çizelge A.3 : 01.11.2010 tarihinde alınan atık ve char numunelerinin analiz sonuçları.....	127
Çizelge A.4 : 03.11.2010 tarihinde alınan atık ve char numunelerinin analiz sonuçları.....	128
Çizelge A.5 : 13.11.2010 tarihinde alınan atık ve char numunelerinin analiz sonuçları.....	128
Çizelge A.6 : 25.12.2010 tarihinde alınan atık ve char numunelerinin analiz sonuçları.....	129
Çizelge A.7 : Gazlaştırıcı siklonlarından toplanan tozların kül ve ısı değerleri.....	129
Çizelge B.1 : G-1 gazlaştırıcısına ait sıcaklık değerleri.....	130
Çizelge B.2 : 03.11.2010 G-1 sıcaklık değerleri.....	131
Çizelge B.3 : 13.11.2010 G-1 ve G-3 sıcaklık değerleri.....	131
Çizelge B.4 : 25.12.2010 G-2 sıcaklık değerleri.....	132
Çizelge B.5 : Siklon tozu örneklerinin alındığı tarihlerdeki sıcaklık değerleri.....	132
Çizelge C.1 : Char numunelerinin su ile özütlemesi testi analiz sonuçları.....	134
Çizelge C.2 : Su ile özütlemesi testi sonrası char çözeltilerinin pH ve iletkenlik değerleri.....	135
Çizelge C.3 : Su ile özütlemesi testi sonrası siklon tozu çözeltilerinin pH ve iletkenlik değerleri.....	136

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : TÜİK'in 2004 yılı verilerine göre atık bertaraf yöntemleri	7
Şekil 2.2 : Mevzuata göre bertaraf edilen atık kapasitesi	9
Şekil 2.3 : Yıllara göre madeni yağ miktarları ile atık yağ geri kazanım ve bertaraf miktarları	14
Şekil 2.4 : Yıllara göre akü miktarları ile atık akü geri kazanım ve bertaraf miktarları	15
Şekil 2.5 : Türkiye'de üretilen tehlikeli atık miktarı ve bertaraf yüzdeleri	19
Şekil 2.6 : Türkiye genelinde tehlikeli atık dağılımı	19
Şekil 2.7 : Türkiye'de il bazında tehlikeli atık dağılımı	20
Şekil 3.1 : Tehlikeli atık yönetimi	23
Şekil 4.1 : Yukarı akışlı gazlaştırıcı örneği	47
Şekil 4.2 : Aşağı akışlı gazlaştırıcı örneği	48
Şekil 4.3 : Çapraz akışlı gazlaştırıcı örneği	49
Şekil 4.4 : Kabarcıklı akışkan yatak gazlaştırıcı örneği	50
Şekil 4.5 : Lurgi sirkülasyonlu akışkan yatak gazlaştırıcı örneği	51
Şekil 4.6 : Üstten ateşlemeli sürüklemeli yatak gazlaştırıcı örneği	52
Şekil 4.7 : Plazma gazlaştırıcı örneği.	53
Şekil 6.1 : Verim hesaplaması için varsayılan gazlaştırıcı ve siklon sistemi.	76
Şekil 6.2 : 18.10.2010 tarihinde G-1 gazlaştırıcısından alınan char numunesine ait XRD sonuçları.	92
Şekil 6.3 : 01.11.2010 tarihinde G-1 gazlaştırıcısından alınan char numunesine ait XRD sonuçları.	93
Şekil 6.4 : 13.11.2010 tarihinde G-1 ve G-3 gazlaştırıcılarından alınan char numunesine ait XRD sonuçları.	93
Şekil 6.5 : 25.12.2010 tarihinde G-2 gazlaştırıcısından alınan char numunesine ait XRD sonuçları.	94
Şekil 6.6 : 19.01.2011 tarihinde G-2 siklonundan alınan toz numunesine ait XRD sonuçları.	95
Şekil 6.7 : 20.01.2011 tarihinde G-2 siklonundan alınan toz numunesine ait XRD sonuçları.	96
Şekil 6.8 : 22.01.2011 tarihinde G-1 siklonundan alınan toz numunesine ait XRD sonuçları.	96
Şekil 6.9 : 24.01.2011 tarihinde G-1 siklonundan alınan toz numunesine ait XRD sonuçları.	97
Şekil 6.10 : 29-30.10.2010 tarihinde G-2 gazlaştırıcısından alınan klinker numunesine ait XRD sonuçları	98
Şekil 6.11 : 06.12.2010 tarihinde G-2 gazlaştırıcısından alınan klinker numunesine ait XRD sonuçları	98
Şekil 6.12 : 19.12.2010 tarihinde G-1 gazlaştırıcısından alınan klinker numunesine ait XRD sonuçları	99

Şekil 6.13 : 25.01.2011 tarihinde G-1 gazlaştırıcısından alınan klinker numunesine ait XRD sonuçları.	99
Şekil 6.14 : Char numunelerine ait SEM görüntüleri; (a)16.10.2010 G-1 Char, (b) 01.11.2010 G-1 Char, (c) 13.11.2010 G-1 + G-3 Char, (d) 25.12.2010 G-2 Char.....	109
Şekil 6.15 : Evsel atık yakma reaktöründen alınan örneklerin SEM görüntüleri; (a)Uçucu kül, (b) Uçucu kül cürufu	110
Şekil D.1 : 18.10.2010 tarihinde G-1 gazlaştırıcısından alınan char numunesinin XRF sonucu.	137
Şekil D.2 : 01.11.2010 tarihinde G-1 gazlaştırıcısından alınan char numunesinin XRF sonucu.	138
Şekil D.3 : 13.11.2010 tarihinde alınan char numunesinin XRF sonucu.	139
Şekil D.4 : 25.12.2010 tarihinde alınan char numunesinin XRF sonucu.	140
Şekil D.5 : 19.01.2010 tarihinde alınan G-2 siklon tozu numunesinin XRF sonucu.	141
Şekil D.6 : 20.01.2010 tarihinde alınan G-2 siklon tozu numunesinin XRF sonucu.	142
Şekil D.7 : 22.01.2010 tarihinde alınan G-1 siklon tozu numunesinin XRF sonucu.	143
Şekil D.8 : 24.01.2010 tarihinde alınan G-1 siklon tozu numunesinin XRF sonucu.	144
Şekil D.9 : 29-30.10.2010 tarihinde G-2 gazlaştırıcısından alınan klinker numunesinin XRF sonucu.....	145
Şekil D.10 : 06.12.2010 tarihinde G-2 gazlaştırıcısından alınan klinker numunesinin XRF sonucu.....	146
Şekil D.11 : 19.12.2010 tarihinde G-1 gazlaştırıcısından alınan klinker numunesinin XRF sonucu.....	147
Şekil D.12 : 25.01.2011 tarihinde G-1 gazlaştırıcısından alınan klinker numunesinin XRF sonucu.....	148

ENDÜSTRİYEL ATIKLARIN GAZLAŞTIRILMASI VE GAZLAŞTIRMA PROSESİ KATI ÇIKTILARININ (CHAR, SİKLON TOZU VE KLİNKER) KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Dünyada hızla artan nüfus, gelişmekte olan teknoloji ve endüstriyel faaliyetlere paralel olarak ciddi bir atık üretimi söz konusudur. Bu atıkların çevre ve insan sağlığı açısından tehlike oluşturma riski yüksektir. Gelişmekte olan ülkelerde, sürdürülebilir kalkınmanın sağlanabilmesi amacıyla bir atık yönetim bilincinin oluşturulması gerekmektedir. Atık yönetimi; azalmakta olan enerji, hammadde gibi tabii kaynakların maksimum verimi sağlayacak şekilde kullanılmasını, az atıklı üretimin desteklenmesini, atıkların geri kazanımını ve yeniden kullanımını, hava, su, toprak ve canlılara zarar vermeden bertarafının gerçekleştirilmesini amaçlayan toplama, taşıma, geri kazanım ve bertaraf işlemlerinin tümüdür.

Tehlikeli atıkların, uygun bir şekilde kontrol altına alınması ve diğer atıklardan ayrı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Atıklar düzenli depolamaya gönderilmeden önce hacimsel olarak indirgenmelerini sağlamak ve yapılarındaki organik bileşenleri enerji üretimi için değerlendirmek amacıyla termal yöntemler kullanılmaktadır. Klasik yakma yönteminde, atıkların yakılması ile enerji eldesi ve hacimsel olarak azalmaları söz konusu olduğu halde proses sonucunda zararlı emisyonlar ve sızıntı problemi oluşturan katı atıklar meydana gelmektedir. Bu nedenle, günümüzde gazlaştırma teknolojisi ile atık bertaraf etme ve enerji eldesi önemli bir konu haline gelmiştir. Gazlaştırma prosesi, atıklardaki organik bileşenlerin az miktarda oksijenle reaksiyonu ile bozularak, çoğunlukla CO ve H₂'den oluşan sentetik gaz ve kül (char) oluşturur. Sentetik gaz ısıl değere sahiptir. Enerji, kimyasal madde ya da yakıt üretiminde kullanılabilir. Oluşan char ise ısıl değere sahiptir ve içeriğinde inorganik bileşenlerde bulunmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında, endüstriyel atıkların gazlaştırılması ve gazlaştırma prosesi sonucu oluşan char, siklon tozu ve klinker numunelerinin karakterizasyon çalışması yapılmıştır. Numunelerin karakterizasyon çalışmaları için nem, kül ve ısıl değer analizleri yapılmıştır. Ayrıca, EPA 3050B asitte çözme yöntemi ile çözeltileri hazırlanarak ICP-OES cihazında metal bileşenleri tayin edilmiştir. Klinker örneklerinin, yapılarındaki SiO₂ miktarının tayini için Soda Eritiş ve Yaş Metod yöntemleri kullanılmıştır. Char ve siklon tozlarının, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği Ek-11A'da belirtilen kriterlere göre değerlendirilebilmeleri amacıyla su ile özütleme (leach) testleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, numunelerin tamamının tehlikeli atık olarak değerlendirilmesini gerektirmektedir. Char, siklon tozu ve klinker örneklerinin XRD analizleri yapılarak, çok sayıda faz görülmesi ile kristal yapıda oldukları anlaşılmıştır. Numunelerin, XRF analizleri ile kimyasal bileşenleri tespit edilmiştir. Buna göre Ca, Fe, Al, ve Si elementleri yüksek oranda bulunan elementlerdir. Char örneklerinin SEM analizleri yapılarak gözenekli yüzey yapısına sahip oldukları gözlenmiştir.

INDUSTRIAL WASTE GASIFICATION AND THE CHARACTERIZATION OF SOLID EFFLUENTS (CHAR, CYCLONE DUST AND CLINKER) OF GASIFICATION PROCESS

SUMMARY

In recent years, a significant amount of waste is produced in parallel with the increase of population in the world and developments in technology and industry. These materials have the potential to be a risk as being dangerous for human health and the environment. It is necessary to generalize a waste management knowledge in developing countries in order to provide a sustainable development. Waste management includes the procedures of collection, transportation, recovery and disposal of waste materials which aims decreasing usage of natural sources like energy, raw material with maximum efficiency, the supporting of minimum waste production, the recovery and reuse of waste materials, the disposal of the waste materials without any damage to air, water, earth and living organisms.

Hazardous wastes are required to be controlled in proper conditions and assessed individually from other waste materials. These materials are required to be reduced by volume before landfilling. Also, these materials have the potential to be used in energy production because of their organic contents. Therefore, thermal disposal methods of waste materials are commonly used. Incineration of waste materials is used for degradation and also production of energy in the form heat. However, harmful emissions and solid effluents with leaching problems of this process leads to the development of alternative thermal processes like gasification. Gasification is the thermal degradation of organic contents in waste materials with starved oxygen to produce synthetic gas and char. The synthetic gas mainly composed of CO and H₂ which is combustible and can be used for power generation, liquid fuel or chemical raw material production. The resulting char has a heating value and includes organic and inorganic portions in the structure.

In the scope of this study, the gasification of industrial wastes and the characterization of char, cyclone dust and clinker resulting from gasification process are investigated. Firstly the moisture content, ash content and heating values of waste, char and cyclone dust samples are determined. Then, the metal constituents of these materials are determined by preparing solutions according to EPA 3050B acid digestion method and analysis of these solutions by ICP-OES. The SiO₂ content in clinker is determined by both Alkali Roasting method and Gravimetric method. The leaching tests of char and cyclone dust are performed in order to evaluate these materials in accordance with criteria of Turkish Hazardous Waste Control Regulation, Appendix-11A. The results demonstrate that all samples should be evaluated as being hazardous depending upon the criteria. The XRD analyses of char, cyclone dust and clinker materials are performed in order to determine the mineral phases in the materials. The results show that all samples are in crystalline structure. The XRF analyses of the samples are also performed for the investigation

of chemical composition. The basic constituents of samples are found to be Ca, Fe, Al and Si. Finally, the SEM analyses are performed for the investigation of the char surface. The results show that char materials are significantly porous materials.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Hızla artan dünya nüfusu, teknoloji ve endüstriyel alanda meydana gelen gelişmelerin bir sonucu olarak oluşan atıkların miktar, çeşitlilik ve özellik açısından önemli bir artış göstermesi, atık yönetimini geliştirmiş ve geliştirmekte olan ülkelerde bir zorunluluk haline getirmiştir. Atıklar, tekniğine uygun bir şekilde bertaraf edilmezler ise; toprağın, yüzey ve yeraltı sularının kirlenmesine; depolama sahalarında oluşan gaz ise içindeki yüksek metan oranı sebebiyle hava kirliliğine yol açmaktadır. Bu nedenle, ortaya çıkan atıkların toplum ve çevre açısından bir tehlike olmaktan çıkıp, ekonomik bir girdiye dönüşmesini sağlamak Türkiye ve dünyanın öncelikli bir politikasıdır ve sürdürülebilir kalkınmanın temellerinden birinin bu husus olduğu bilinmektedir. Atık yönetimi; azalmakta olan enerji, hammadde gibi tabii kaynakların maksimum verimi sağlayacak şekilde kullanılmasını, az atıklı üretimin desteklenmesini, atıkların geri kazanımını ve yeniden kullanımını, hava, su, toprak ve canlılara zarar vermeden bertarafının gerçekleştirilmesini amaçlayan toplama, taşıma, geri kazanım ve bertaraf işlemlerinin tümüdür.

Atıklara ilişkin sağlıklı bir envanter bulunmamakla birlikte, Türkiye İstatistik Kurumunun (TÜİK) 2004 verilerine göre ülkemizde yıllık 34 milyon ton belediye atığı ve 20 milyon tonun üzerinde imalat sanayi atığı üretilmektedir. Buna göre ülkemizde kişi başına üretilen atık miktarı günde 2 kilogramı bulmakta, her insan yılda ortalama ağırlığının 10 katı kadar atık üretmektedir. İmalat sanayi tarafından üretilen atığın 1,12 milyon tonu tehlikeli atıktır. Bu miktarın % 8'i geri kazanılmakta, % 47'si bertaraf edilmekte ve % 45'lik kısım ise yeniden kullanılmaktadır. Çevre ve Orman Bakanlığı 2008-2012 Atık Yönetimi Eylem Planı'na göre 2009 yılında yaklaşık 27.098.164 ton atık olduğu tahmin edilmektedir. Bu miktarın 15 milyonluk kısmını biyobozunur atık, 4 milyon tonunu ambalaj atığının oluşturduğu öngörülmektedir [1].

Atıkların oluşturulmaması, azaltılması, geri kazanımı ve yeniden kullanılması esastır. Bu mümkün olamıyor ise çevreye ve canlı sağlığını gözeterek bertarafı yoluna gidilmelidir. Uygun bertaraf yöntemlerinin seçiminde tehlikeli atıkların sahip olduğu doğal karakteristikler belirleyici olabilmektedir. Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Ek-2’de öngörülen bertaraf yöntemleri şunlardır [2]:

- Derine enjeksiyon (Örneğin: pompalanabilir atıkların kuyulara, tuz kayalarına veya doğal olarak bulunan boşluklara enjeksiyonu ve benzeri),
- Yüzeyle doldurma (Örneğin: Sıvı yada çamur atıkların kovuklara, havuzlara ve lagünlere doldurulması ve benzeri),
- Özel mühendislik gerektiren toprağın altında veya üstünde düzenli depolama (Çevreden ve her biri ayrı olarak izole edilmiş ve örtülmüş hücreli depolama ve benzeri),
- Biyolojik işlemler,
- Fiziksel-kimyasal işlemler (Örneğin: buharlaştırma, kurutma, kalsinasyon ve benzeri),
- Yakma,
- Sürekli depolama (bir madende konteynırların yerleştirilmesi ve benzeri),
- Atığın üretildiği alan içinde geçici depolama (ara depolama tesisleri ve toplama işlemi hariç).

Atıklar, enerji üretimi için yüksek bir potansiyele sahiptir ve bunun için biyolojik ya da termokimyasal yöntemler uygulanabilir. Fakat, atıkların kütle ve hacimlerinin azaltılması hedef alındığı için yakılmaları verimli enerji üretim yöntemlerinden biri olarak kabul görmüştür. Bununla birlikte, atıkların doğrudan yakılması yapısında özütlenebilir ağır metaller, dioksin, furanlar ve uçucu organik bileşenler içeren kül ve uçucu-kül oluşumuna da sebep olmaktadır [3].

Son yıllarda, gazlaştırma ya da gazlaştırma, piroliz ve yakma proseslerinin kombinasyonlarından oluşan yeni teknolojiler, atıkların termal işlemlerinin verimli, çevre dostu ve ekonomik metodları olarak uygulama bulmaktadır [3]. Gazlaştırma, atığın oksijenle fakir ortamda ısıtılması sonucu fiziksel ve kimyasal değişime uğraması prosesidir. Gazlaştırma ürünleri katılar, char (kül ve cüruf), sıvılar ve sentetik gazdan oluşmaktadır. Oluşan gazın ısı değeri olmakla birlikte, hava

kullanılarak oluşmuş ise doğal gazın %25'i; oksijence zengin hava kullanılmış ise doğal gazın %40'ı oranında bir ısı değere sahiptir [4]. Proses sonucu oluşan yan ürünlerin etkili yönetimi için kül kullanımı, piyasası ve bertarafının değişen çevre koşullarında kısa ve uzun dönemli etkilerinin değerlendirilmesi gibi konuların ve kül yapısının kapsamlı olarak anlaşılması gereklidir [5].

Bu tez çalışmasında, endüstriyel atıkların gazlaştırılması ve gazlaştırma prosesi katı çıktıları olan char, siklon tozu ve klinker maddelerinin karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır.

Gazlaştırma reaktörlerine beslenen atıklar ve gazlaştırma prosesi sonucu oluşan char ve siklon tozu numuneleri için ASTM standartlarına göre nem, kül ve ısı değeri analizleri yapılmıştır. Daha sonra bu numuneler, EPA 3050B yöntemi ile kuvvetli asitte çözdürülmüş ve ICP-OES cihazında metal içeriğine bakılmak üzere çözeltileri hazırlanmıştır. Klinker numuneleri için Soda Eritiş ve Yaş Metod yöntemlerinden yararlanılarak, yapılarında çoğunlukla SiO_2 ve Al_2O_3 bulunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, atıkların TAKY Ek-11 A'da belirtilen kriterlere göre değerlendirilmeleri amacıyla, TS EN 12457-4 metoduna göre char ve siklon tozu numunelerinin su özütleme (leach) testleri yapılmıştır. Char, siklon tozu ve klinker numunelerindeki mineral fazların belirlenmesi amacıyla XRD analizi yapılmıştır. Bu numunelerin XRF çekimleri de yapılarak kimyasal bileşenleri tayin edilmiştir. Char numunelerinin SEM analizleri gerçekleştirilerek, char yüzey yapısı incelenmiştir.

2. ATIKLARIN TANIMI VE SINIFLANDIRILMASI

Günümüzde atık tanımı Şu Şekilde yapılabilir: “İlkesel olarak öncelikle önlenmeleri, önlenemiyorsa yeniden kullanım veya geri dönüşüm olanaklarının araştırılması, bunların da mümkün olmadığı durumlarda çevreye ve insan sağlığını riske atmayacak Şekilde bertaraf edilmesi gereken maddelerdir”. Atıkların sınıflandırılmasında üç ölçüt göz önünde bulundurulmuştur. Bu ölçütlerin alt türleri tehlikeli atık kapsamına girdiği için tehlikeli atıklar ayrı bir başlık altında açıklanacaktır.

- Etkileri
- Yapıları
- Kaynakları

2.1 Etkileri Bakımından Atıklar

2.1.1 Zararlı atıklar

Çevre ve insan sağlığına yönelik olası olumsuz etkilerinin önlenmesi amacıyla uzaklaştırılmaları sürecinde, özel işlemler gerektiren biyolojik, kimyasal ve fiziksel özellikte yanıcı-yakıcı-zehirleyici, yok edici veya diğer bir madde ile etkileşimi sonucu zararlı ve tehlikeli olabilen asit, kurşun, cıva, arsenik bileşikleri, kendiliğinden tepkimeye girebilen reaktif atıklar ile tarım ilaçları, kadmiyum bileşikleri ve radyoaktif maddelerdir [6]. Tehlikeli atıklar, radyoaktif atıklar ve tıbbi atıkların bir kısmı genel olarak zararlı atıklar kapsamında değerlendirilmektedir.

2.1.2 Zararsız atıklar

Zararlı ve tehlikeli atık kapsamına girmeyen organik ve inorganik atıklardır. Mutfak ve yemek atıkları, karton, kağıt, kül, metal, cam, plastik, inşaat ve hafriyat atıkları ile diğer sentetik atıklar bu grup içinde değerlendirilmektedir [6].

Bir diğer tanıma göre zararsız atık, yasal olarak tehlikeli atık sayılmayıp, normal belediye hizmeti ile ayırma yolu ile geri kazanılabilen, toplanıp, taşınıp evsel p depolama sahalarında bertaraf edilebilen, kompost yapılabilen veya yakılabilen evsel veya endüstriyel kökenli atıklardır [6].

2.2 Yapıları Bakımından Atıklar

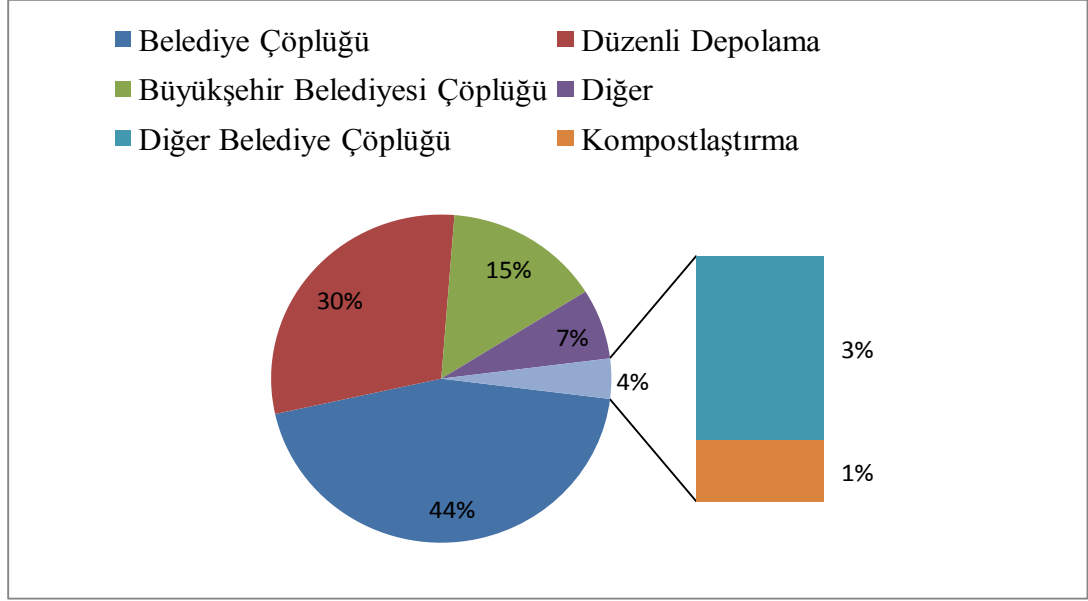
2.2.1 Katı atıklar

Hızlı nüfus artışı, endüstriyel gelişme ve kentleşme gibi olgular, Türkiye'nin de içinde yer aldığı gelişmekte olan ülke kentlerinde katı atık sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Bu sorunlar ise günümüze kadar kentlerde atık yönetiminde yaygın bir şekilde uygulanan toplama, taşıma ve depolamadan oluşan sistemin yetersiz kalmasına sebep olmuştur.

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nde "katı atık", "reticisi tarafından atılmak istenen ve toplumun huzuru ile özellikle çevrenin korunması bakımından, düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddeler ve arıtma çamuru" olarak tanımlanmaktadır. Katı atıklar kaynaklarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [6];

- Evsel atıklar
- Endüstriyel atıklar
- Açık alanlardan kaynaklanan atıklar
- Zirai atıklar
- Hastane atıkları
- Arıtma tesislerinden kaynaklanan atıklar
- Radyoaktif atıklar

TK, 1994'ten 2004 yılına kadar belediye teşkilatı kurmuş olan tüm belediyelerdeki katı atık hizmeti ve katı atık bertaraf tesislerinin mevcut durumu ile ilgili verileri derlemiştir. 2005 yılından itibaren ise yalnızca katı atık bertaraf tesisleri olan belediyelerin verileri ele alınmaktadır. Elde edilen verilere göre 2004 yılında katı atık hizmeti veren belediyelerce 24,2 milyon ton katı atık toplanmıştır [1].



Şekil 2.1 : TÜİK'in 2004 yılı verilerine göre atık bertaraf yöntemleri [1].

2004 yılı toplanan atıkların bertaraf yöntemleri Şekil 2.1'de görülmektedir.

Çizelge 2.1 : İstanbul ve Antalya Büyükşehir Belediyeleri atık bileşenlerinin dağılımı [1].

Katı atık bileşenleri (%)	İstanbul	Antalya	Ortalama
Biyobozunur atık	69,1	67,9	68,5
Geri kazanılabilir atık	24,7	15,4	20,05
Ambalaj atığı	15,3	9,4	12,35
Diğer	20,0	24,3	22,15

Ülkemizde bir yılda oluşan atıkların yaklaşık olarak 12.419.195 tonu düzenli depolama sahalarında depolanmakta, 299.250 ton ise kompost tesislerinde işlenmektedir [1].

2.2.2 Sıvı atıklar

Kimyasal yapısı gereği, akışkan özellikler gösteren, içerdiği yabancı maddeler nedeniyle zararlı ve zararsız çevresel etkilere sahip olan atıklardır. Sıvı atıklar genellikle kentsel kullanımlar ve endüstriyel üretim süreçleri sonucu ortaya çıkmaktadırlar. Özellikle su kaynaklarının yapıları üzerinde olumsuz etkiler yaratan bu atıklar, yeraltı sularına karışarak toprak kirlenmesine de yol açabilmektedir. Doğal çevrim içinde ise insan ve diğer canlı varlıkların sağlıkları ve gelişimleri üzerinde bozucu etkiler yaratabilmektedir.

Kentsel kullanım orijininde, sıvı atıklara ilişkin en önemli iki sorun insan dışkı (gaita) ve deterjan atıkları olmaktadır [6].

2.2.3 Gaz atıklar

Genellikle endüstriyel üretim süreci sırasında ve sonucunda katı, sıvı ve gaz yakıtların yakılması ile ortaya çıkan, ayrıca atık yakma tesislerinde gerçekleştirilen faaliyetler sonucu alıcı ortama bırakılan gaz halindeki atıkları ifade etmektedir.

Katı, sıvı ve gaz yakıtların yakılması sonucu ortaya çıkan ve solunum yolları rahatsızlıkları, sindirim sistemi bozuklukları, korozyon, kanserojen etki, asit yağmurları gibi olumsuz etkilere yol açabilen nitelikteki gaz atıklar şunlardır [6]:

- Partikül şeklindeki kirletici emisyonlar,
- Kükürt oksitleri ve hidrojen sülfür
- Azot oksitler
- Karbon monoksit
- Hidrokarbonlar
- Klor gazı ve halojenli bileşenler
- Organik hidrokarbonlar

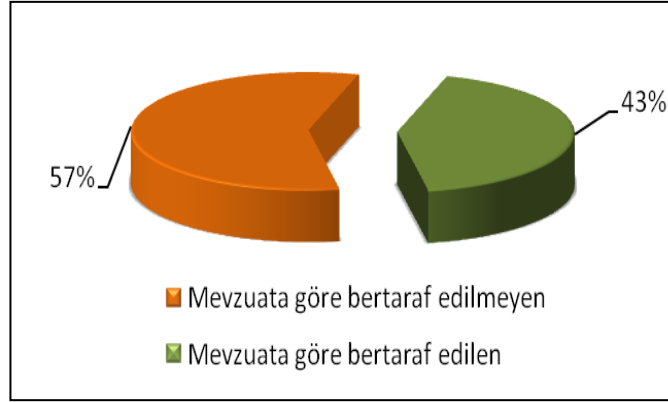
Tehlikeli atıkların yakılması konusundaki endişelerden birisi de bu atıkların yakılması sırasında ve sonrasında, yeni ve bazen son derece toksik kimyasalların tam yanmamının oluşturduğu ürünler- oluşmasıdır. Tespit edilebilen bu yan ürünler içinde, dioksinler ve furanlar çevreye ve insan sağlığına en büyük tehditi oluşturmaktadır. Dioksinler, PCB'ler ve heksaklorobenzen gibi diğer bir çok kalıcı organik kirletici, klorlu maddelerin yakılması sonucunda yaratılmaktadır. İnsan yapımı klorlu atıkların yakılması sonucunda etrafa yayılan gaz emisyonlarının, dioksinler ve furanların birincil kaynağı olduğu tespit edilmiştir [6].

2.3 Kaynakları Bakımından Atıklar

2.3.1 Eysel katı atıklar

Eysel atıklar, genellikle evde kullanımdan düşmüş, eskimiş, yıpranmış veya çöp durumuna gelmiş maddeler ve yine genellikle belediyeler tarafından toplanan atıklardır. Eysel atıkların bileşimi oldukça değişken olmakla birlikte, atık üreticilerinin gelir ve yaşam standartlarına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Eysel katı atıklar genel olarak, ev çöpleri, kurumsal atıklar, sokak atıkları, ticari atıklar ile yapım, inşaat ve yıkım enkazlarını da içerir. Ayrıca, kağıt ve ambalaj malzemeleri,

gıda maddeleri, bahçe kalıntıları gibi bitkisel maddeler, metal, kauçuk, tekstil ve ilaç, ağartıcı, boya, pil ve elektronik bileşenler, küçük endüstrilerden değişik miktarlardaki endüstriyel atıklar ile mezbaha ve gübre de evsel atık sınıfına girebilir [7].



Şekil 2.2 : Mevzuata göre bertaraf edilen atık kapasitesi [1].

2007 yılı TÜİK verilerine göre evsel katı atıkların yüzde 45'i ilgili mevzuata göre düzenli depolama ve kompostlaştırma gibi yöntemlerle bertaraf edilmektedir. 2008 yılı itibarı ile, düzenli depolama tesislerinden faydalanan nüfusun hizmet alan nüfusa oranı % 43'e ulaşmıştır [6]. Çizelge 2.2'de evsel katı atıkların oluşumuna sebep olan kaynak ve üreticiler yer almaktadır.

Çizelge 2.2 : Evsel katı atıkların kaynakları ve türleri (Dünya Bankası, 2005) [7].

Kaynak	Atık Üreticileri	Katı Atık Türleri
Yerleşim Bölgesi	Tek kişilik ya da kalabalık haneleri	Gıda, kağıt, karton, plastik, tekstil, deri, bahçe, ahşap, cam, metal, kül, özel atıklar (Ör. Yığın malzemeler, tüketici elektroniği, beyaz eşya, piller, yağ ve evsel tehlikeli atıklar.
Endüstriyel	Hafif ve ağır imalat, inşaat alanları, elektrik ve kimyasal santraller.	Temizlik atığı, ambalaj, gıda atığı, inşaat ve yıkım malzemeleri, tehlikeli atıklar, kül ve özel atıklar.
Ticari	Dükkanlar, oteller, restaurantlar, marketler, ofis binaları.	Kağıt, karton, ahşap, gıda, cam, metal atıkları, özel ve tehlikeli atıklar.
Kurumsal	Okullar, hastaneler, hapishaneler, hükümet binaları.	Kağıt, karton, ahşap, gıda, cam, metal atıkları, özel ve tehlikeli atıklar.
İnşaat ve Yıkım	Yeni inşaat alanları, yol yapımı, bakım ve onarım alanları, bina enkazları	Ahşap, çelik, beton, toprak.
Belediye Hizmetleri	Cadde temizliği, peyzaj, parklar, plajlar, diğer dinlenme alanları, su ve atık su arıtma tesisleri.	Sokak atıkları, peyzaj ve ağaç budanmaları, park, plaj ve dinlenme yerlerine ait genel atıklar, su ve atık su tesislerinden kalan çamur.
Proses	Ağır ve hafif imalat, rafineriler, kimyasal tesisler, enerji santralleri, mineral özütleme ve işleme.	Endüstriyel proses atığı, hurda malzemeler,

2.3.2 Endüstriyel atıklar

Endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan atıklardır. Endüstriyel katı atık yönetimi konusunda doğal kaynakların ve çevrenin korunması anlamında geri kazanım ve arıtma tesisi uygulamaları önem taşımaktadır [8]. Her türlü hafif veya ağır endüstri tesisleri ile çeşitli imalathanelerden açığa çıkan istenmeyen nitelikteki katı madde ve çamurlar endüstriyel katı atık kapsamına girmektedir.

Bu tür atıklar oluşum faktörlerine göre üçe ayrılırlar:

- Endüstriyel birim işlemler ve süreçlerden kaynaklanan katı atıklar.
- Endüstriyel atık su arıtma tesisleri çamurları.
- Hava kirliliği kontrol ekipmanlarından kaynaklanan katı atıklar.

Endüstriyel birim işlem ve süreçler sonucunda oluşan ve daha çok yoğun bir çamur niteliğinde olan katı atıklar ise tehlikeli atıklar olarak tanımlanırlar. Gerek atıldıkları yerde gerekse zaman içerisinde insan ve diğer canlılar için tehlike oluşturabilecek özellik taşıyan her türlü biyolojik, kimyasal, toksik, yanıcı, patlayıcı ve radyoaktif katı atıklar, mezbahalar, et kombineleleri diğer yiyecek endüstrisinde üretilen kokuşabilir nitelikteki atıklar ile tehlikeli kirletici ihtiva eden küller bu sınıfa girmektedir [8].

Endüstriyel atık su arıtma tesisleri çamurları, ikincil faktörlere girmektedir. Bu çamurlar genellikle toksik olduklarından taşınmalarında ve bertaraf edilmelerinde özel koşullara gereksinim duyulur. Endüstri hava kirliliği kontrol araçları önemli katı atık kaynaklarındandır. İki çeşit hava kirliliği kontrol düzeneği vardır [8]:

- Kuru tutucular: Bunlar kuru siklonlar, elektrostatik tutucular vs. gibi ekipmanlar olup çıkan katı atık kuru formdadır.
- Islak tutucular: Yıkama kolonları (Scrubber), sprey kuleleri gibi cihazlarda genellikle sıvı atıklar meydana gelir.

Endüstriyel katı atıkların kaynakları, ilgili oluşum prosesleri ve atık içeriği Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3 : Endüstriyel katı atık türleri ve kaynakları [8].

Endüstriler	Oluşum Prosesleri	Atık Türleri
Gıda ve benzeri üretim endüstrileri	İşleme, paketlenme ve nakliye	Etler, yağ, kemik, sakatat, sebze, meyve, kabuklu yemiş, kabuk ve tahıl
Tekstil	Dokuma, işleme, boyama ve taşıma	Bez ve elyaf parçaları
Hazır giyim ve konfeksiyon	Kesim, dikiş, haşıl ve basma	Kumaş, iplik, metal ve plastik kauçuk
Kereste ve ağaç ürünleri	Hızır, ağaç taşıyıcılar, ağaç ürünleri	Kırıntı ağaçlar, talaş, hızır tozları, metal, plastik
Ağaç mobilyalar	Ofis ve ev mobilyaları üretimi	Kırıntı ağaçlar, talaş, hızır tozları, metal, plastik
Metal mobilya	Ofis ve ev mobilyaları, anahtarlar	Metal, plastik, reçineler, cam, ağaç, plastik, kağıt
Kağıt ve bağlı birim ürünleri	Kağıt üretimi, karton kutular	Kağıt ve elyaf atıkları, kimyasallar, kağıt kalıpları
Matbaa ve yazım	Gazete ve kitap basım birimleri, yazma	Kağıt, karton, metal, kimyasallar, kumaş
Kimyasal ve ilgili endüstriler	Vernik, patlayıcılar, ilaç gibi inorganik maddelerin üretim birimleri	Organik ve inorganik kimyasallar, metal, plastik, kauçuk, cam, yağlar, boyalar, çözücüler, pigment
Petrol rafinerileri	Asfalt ve çatı malzemeleri üretim birimi	Asfalt ve katran, keçe, asbest, kağıt, kumaş ipler
Kauçuk ve çeşitli plastik	Plastik ve kauçuk üretim birimleri	Parça lastik ve kauçuklar, iyileştirme bileşikleri
Deri ve deri ürünleri	Deri işleme, deri ürünleri birimi	Parça deriler, tel iplikler, boyalar, yağlar
Taş, çakıl ocakları ve cam	Cam üretimi, beton şekillendirme	Cam, çimento, kil, seramik, asbest, taş, kağıt
Birincil metal endüstrileri	Eritme, döküm, demir ve püskürtme	Demirli ve demirsiz metal parçaları, cüruf, kum
Metal ürünleri endüstrileri	Metal kap üretimi, boru tesisatları, soba	Metaller, seramik, kum, cüruf, tortu, çözücüler
Makine endüstrisi (Elektrikler hariç)	Makine üretim birimleri, elevatör, taşıma ekipmanları	Cüruf, zımpara tozları, metal parçaları, ağaçlar, plastik, reçine, kauçuk, kumaş, boya çözücüler
Elektrikli araçlar	Elektrik araçları, aletler, haberleşme takımlarının üretimi	Metal parçaları, cam, metaller, kauçuk, plastik, reçine, kumaş ve iplik parçaları
Taşıma ekipmanları	Motorlu araçlar, kamyon, minibüs parçaları, hava yastıkları ve parçaları	Metal parçaları, cam, ipler, tahta, plastik, kauçuk, boya, kumaş ve iplik parçaları
Profesyonel lab aletleri	Mühendislik gereçleri, laboratuvar	Metal, plastik, reçine, cam, ağaç ve elyaf parçaları

2.3.3 Ticari ve kurumsal atıklar

Ticari işletmelerin ve kurumların faaliyetleri sonucu ortaya çıkan atıklardır. Bu atıklar organik madde taşınması açısından evsel atıklar kadar zengin değildirler. Bu nedenle evsel atıklardan daha yavaş bozulur ve parçalanırlar [6]. Resmi daire, lokanta, dükkan, büfe, mağaza, okul, askeri yerleşim, liman, ofis, stadyum vb. ortak kullanım alanlarından toplanan atıklar bu kapsamda değerlendirilmektedir.

2.3.4 Tarımsal atıklar

Bitkisel ve hayvansal ürünlerin elde edilmesi ve işlenmesi sonucunda ortaya çıkan atık ve artıklardır. Bu tip atıklar çiftliklerden, tarlalardan, bağlardan ve benzeri zirai alanlardan kaynaklanır. Genelde bitkisel atıklar ile sulama atıklarını içerir. Tavuk, koyun ve inek çiftliklerinin atıkları, hayvan dışkısı ve atık saman bakımından oldukça zengindir. Bu tür atıklar, besi çiftliklerinden kaynaklanan hayvan leşlerini de içermektedir [6]. Sulama ve gübrelemeden dolayı çeşitli kimyasalları da içerebilen bu atıkların bir kısmı zararlı etkilere sahip olabilmektedir.

2.3.5 Özel atıklar

Özellikleri ve miktarları bakımından evsel atıklarla birlikte bertaraf edilemeyen atıklara özel atıklar denilmektedir. Yasal olarak evsel katı atık sınıfı dışında kalan, ancak evsel atıklara göre farklı yöntemlerle toplanması, taşınması, işlenmesi ve bertarafı gereken atıklardır [6]. Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nde yapılan 2001 yılı değişikliği ile EK 6'da "Özel İşleme Tabi Atıklar" başlığı altında yer verilmiş bu atıklar, tıbbi atıklar, atık yağlar, kullanılmış pil ve aküler, mezbaha atıkları, kullanılmış lastikler, maden atıkları, cips atıkları ve yakma fırını külleri olarak belirtilmektedir [9]. Bu türlerin başlıcaları, bu başlık altında açıklanmıştır.

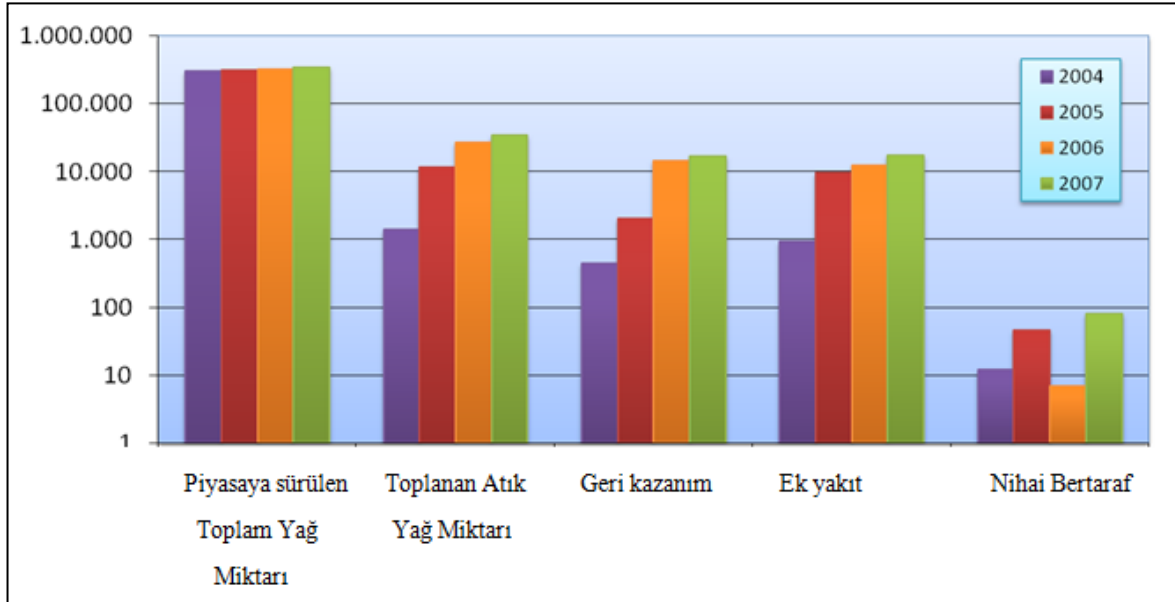
2.3.5.1 Atık yağlar

Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre atık yağlar, kullanılmış benzinli motor, dizel motor, şanzıman ve diferansiyel, transmisyon, gres ve diğer özel taşıt yağları ile hidrolik sistem, türbin ve kompresör, kızak, açık-kapalı dişli, sirkülasyon, metal kesme ve işleme, metal çekme, tekstil, ısı işlem, ısı transfer, izolasyon ve koruyucu, izolasyon, trafo, kalıp, buhar silindir, pnömatik sistem koruyucu, gıda ve ilaç endüstrisi, kağıt makinesi, yatak ve diğer özel endüstriyel yağlar ve endüstriyel gresler gibi çok çeşitli yağ ürünleri olarak tanımlanmaktadır [6].

Atık yağlar, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nde Ek-7 Tehlikeli Atık Listesi'nde "12-Metallerin ve Plastiklerin Biçimlendirilmesi ve fiziki ve Mekanik Yüze İşlemlerinden Kaynaklanan Atıklar" ve "13-Yağ ve Sıvı Yakıt Atıkları" kapsamında tehlikeli atık olarak tanımlanmakta ve Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği ve Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre işlem görmelidir. Bertaraf yöntemi, kategoriye göre belirlenmelidir [9]:

- I.Kategori: Rafinasyon veya rejenerasyon yolu ile geri kazanıma veya ilave yakıt olarak kullanıma uygun.
- II.Kategori: İlave yakıt olarak kullanıma uygun.
- III.Kategori: Tehlikeli atık olarak yakılarak bertarafa uygun

Türkiye'de piyasaya arz edilen madeni yağ miktarı yılda yaklaşık 350.000 ton, oluşan atık yağ miktarı ise 150.000 ton civarında tahmin edilmektedir. Yönetmelik yayımlandıktan sonra Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından gerçekleştirilen envanter çalışmaları neticesinde 2007 yılında kayıt altına alınan toplam yıllık atık yağ miktarı 34.280 ton olarak tespit edilmiştir. Bu miktar yönetmelik yayımlandıktan sonra tespit edilen en yüksek toplama miktarıdır. 2007 yılında yönetmeliğe uygun olarak toplanan atık yağ Türkiye genelinde oluşan atık yağ miktarının yaklaşık %20'sine karşılık gelmektedir [1].

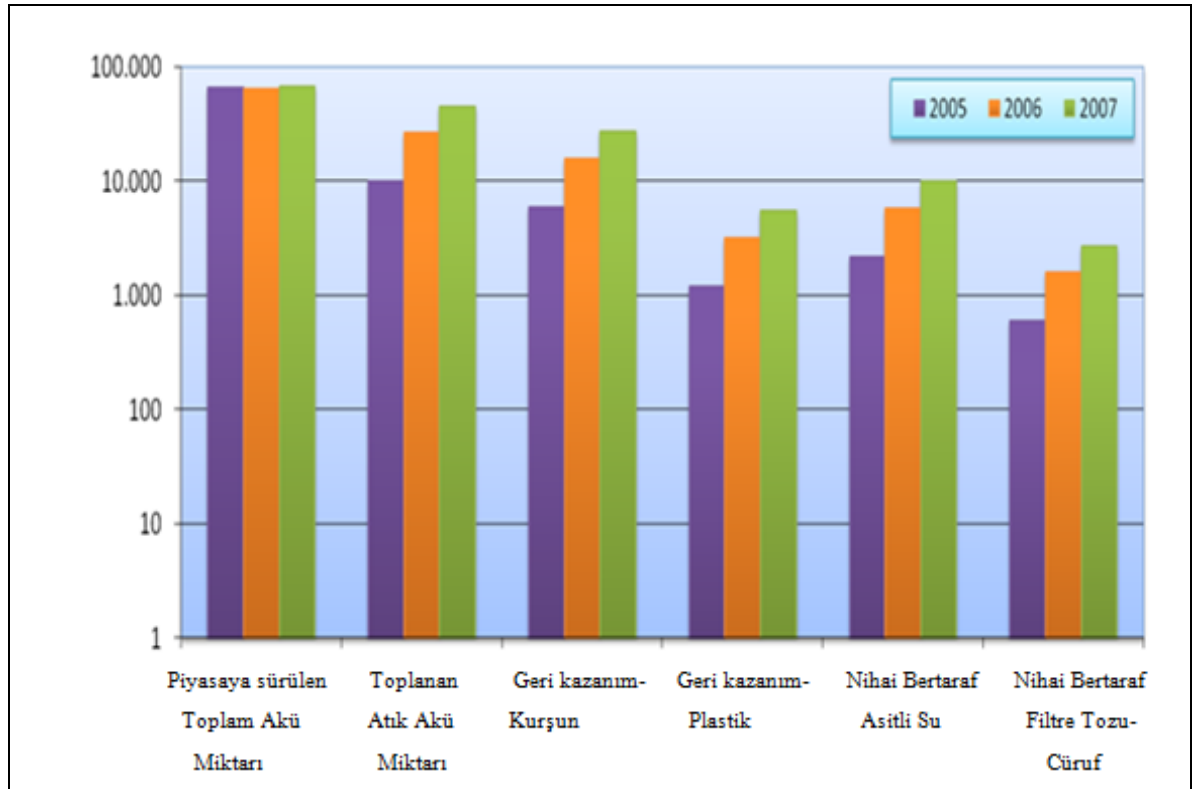


Şekil 2.3 : Yıllara göre madeni yağ miktarları ile atık yağ geri kazanım ve bertaraf miktarları (ton) [1].

Şekil 2.3'te yer alan veriler dikkate alındığında her yıl toplama miktarında %5'lik bir artış beklenmektedir. Buna göre 2012 yılında oluşacak atık yağ miktarının tahminen %40'ı yönetmeliğe uygun olarak toplanacak ve geri kazanılacaktır [1].

2.3.5.2 Atık pil ve akümülatörler

Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği'nde, atık pil ve akümülatör yeniden kullanılabilir durumda olmayan, evsel atıklardan ayrı olarak toplanması, taşınması, bertaraf edilmesi gereken kullanılmış pil ve akümülatörler olarak tanımlanmıştır [10]. Türkiye'de piyasaya arz edilen yıllık pil miktarı yaklaşık 10.000 ton, akümülatör miktarı ise 74.000 tondur. 2007 yılında kayıt altına alınan toplam yıllık atık pil miktarı 200 ton, atık akümülatör miktarı ise 45.476 ton olarak tespit edilmiştir. 2007 yılında yönetmeliğe uygun olarak toplanan atık akü Türkiye genelinde piyasaya sürülen akü miktarının yaklaşık %67'sine, toplanan atık pil ise piyasaya sürülen pil miktarının yaklaşık %2'sine karşılık gelmektedir [1].



Şekil 2.4 : Yıllara göre akü miktarları ile atık akü geri kazanım ve bertaraf miktarları (ton) [1].

Şekil 2.4'te yer alan veriler dikkate alındığında akümülatörler için her yıl toplama miktarında %5'lik bir artış beklenmektedir. Buna göre 2012 yılına kadar atık akümülatörlerin yaklaşık % 90'nın yönetmeliğe uygun olarak toplanması ve geri kazanımının sağlanması beklenmektedir [1].

2.3.5.3 Tıbbi atıklar

Canlılara yönelik aşılama, tedavi, araştırma ve teşhis yöntemlerinde kullanılan tüm katı, sıvı, yarı sıvı veya gaz halindeki maddeleri içerir. Bu atıkların bulaşıcı hastalık oluşturma potansiyeli yüksektir [6] Tıbbi atıklar, ünitelerden kaynaklanan patolojik, enfeksiyöz atıklar ile kesici, delici atıklardır. Bu atıkların çevre sağlığına zarar vermeden kaynağında toplanması, taşınması, depolanması ve bertaraf edilmesi toplum sağlığının korunması açısından büyük öneme sahiptir. "Dünya Sağlık Örgütü Atık Yönetimi Komitesi" tıbbi atıkları sekiz grupta toplamaktadır:

Genel atıklar, evsel atıklardan içerik ve özellik itibarıyla farkı olmayan atıklardır. Hasta odasının infekte olmayan atıkları, sağlık personeli çalışma odaları atıkları bu gruba girmektedir [11].

Patolojik atıklar; doku, organ, insan fetusu ve hayvan cesetleri, kan ve vücut artıklarıdır. Ülkemizde tüm insan vücut parçaları gömülmektedir. Bu grup atıklar enfeksiyöz atıkların bir alt grubu olarak kabul edilirler [11].

Radyoaktif atıklar, vücut doku ve sıvılarının vücut içi analizleri, vücut ve organ görüntülemesi, tümör lokalizasyonu veya tedavi amacıyla, çeşitli araştırmalarda kullanılan katı, sıvı ve gaz atıklardır. Türkiye'de her türlü radyoaktif maddenin ithalat ve kullanımını Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) denetimindedir [11].

Kesici ve delici aletler, kesici neden olan veya yara açan kesici veya delici cisimlerden oluşur. İğneler, diğer kesici delici özellikteki atıklar, bıçaklar, infüzyon setleri, testerelemlerden oluşan bu tür atıklar, infekte olsun veya olmasın, yüksek derecede tehlikeli atık olarak kabul edilir [17].

Kimyasal atıklar, tanısallık ya da deneysel amaçlı olarak kullanılan (radyoloji, eczacılık) ya da temizlik ve ev idaresi hizmetlerinde dezenfeksiyon amacıyla yararlanılan maddeler kullanıldıktan sonra artan katı, sıvı ve gaz kimyasal atıklardan oluşur. Hastanelerdeki kimyasal atıklar zararlı veya zararsız olabilir [17].

İnfeksiyöz veya potansiyel olarak infeksiyöz atıklar, hastalığa yol açabilecek miktarda patojen içeren atıklar “infeksiyöz atıklar” olarak tanımlanmaktadır. Başlıcaları; laboratuvar kültür materyalleri, infeksiyonlu hastaların cerrahi ve otopsi uygulamalarından çıkan materyaller, izolasyon odalarındaki hastaların atıkları, hemodiyaliz olan hastalarda kullanılan malzeme, infeksiyöz etkenlerin uygulandığı veya bunlarla temas etmiş olan hayvanlarla ilgili atıklardır [17].

Farmasötik atıklar, hastanede kullanılan, artmış veya günü geçmiş her türlü ilaç vb. maddeler bu grupta yer alır. Basıçlı kaplar, flakonlar, anestezi gazlarının depolandığı basınçlı tüplerden oluşur. Yakma sırasında ya da kazayla delinme nedeniyle patlayabileceği için bu tür kaplarla çalışırken dikkatli olunmalıdır [11].

Türkiye’de tıbbi atıkların güvenli yönetimiyle ilgili esaslar, Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanan ve 22 Temmuz 2005 tarih ve 25883 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren “Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği” ile belirlenmiştir. Yönetmeliğe göre genel olarak atıkların kaynağında ayrı toplanması ve geçici depolanması sorumluluğu sağlık kuruluşlarının, atıkların geçici atık depolarından alınarak taşınması, sterilizasyon işlemine tabi tutulması ve bertaraf edilmesi konularındaki sorumluluklar ise belediyelere aittir [1].

Sağlık Bakanlığı’nın 2005 yılı verilerine (Sağlık Bakanlığı, Yataklı Tedavi Kurumları İstatistik Yıllığı, 2005) göre ülkemizdeki toplam hastane sayısı 1198, bu hastanelerdeki toplam fiili yatak sayısı ise 167.519’dur. Çizelge 2.4’te, illere göre yatak doluluk oranları dikkate alınarak yapılan hesaplamalar sonucu yataklı tedavi kurumları ile ayakta tedavi hizmeti veren sağlık kuruluşlarından günde 238.26 ton yılda ise 86968,3 ton tıbbi atık oluştuğuna dair veriler yer almaktadır [1].

Çizelge 2.4 : 2007 yılında yataklı ve ayakta tedavi hizmeti veren sağlık kuruluşlarında oluşan tıbbi atık miktarı [1].

	Tıbbi Atık Miktarı (ton/gün)	Tıbbi Atık Miktarı (ton/yıl)
Yataklı Tedavi Kurumları	212,58	77593,21
Ayakta Tedavi Hizmetleri	25,68	9375,09
Toplam	238,26	86968,3

Sağlık kuruluşlarında oluşan atıklar, tıbbi atıklar, tehlikeli atıklar, evsel nitelikli atıklar ve ambalaj atıkları olarak sınıflandırılmakta ve birbirleri ile karışmadan kaynağında ayrı olarak özel torba ve kutular ile toplanmaktadır. Yönetmeliğe göre; tıbbi atıklar kaynağında kırmızı renkli, üzerlerinde “Uluslararası Biyotehlike”

amblemi ile “DİKKAT TIBBİ ATIK” ibaresi bulunan özel plastik torbalarda ayrı biriktirilirler. Tıbbi atıkların bir alt grubu olan kesici ve delici atıklar ise diğer tıbbi atıklardan ayrı olarak özel plastik veya lamine kartondan yapılmış, üzerlerinde aynı uyarı işaretleri bulunan özel kutular içinde toplanmaktadır [1].

2.4 Tehlikeli Atıklar

Tehlikeli atıklar; patlayıcı, parlayıcı, kendiliğinden yanmaya müsait, suyla temas halinde parlayıcı gazlar çıkaran, oksitleyici, organik peroksit içerikli, zehirli, korozif, hava ve suyla temasında toksik gaz çıkaran, toksik ve eko-toksik özellikler taşıyan atıklardır. Kaynaklarının büyük bir bölümünü ise kimyasal madde üretimlerinin ve bunlarla ilişkili endüstrilerin oluşturduğu görülmektedir. Ayrıca özel atıklar kapsamında yer alan tıbbi atıklar, piller, aküler, atık yağlar, PCB, PCT’li atıklar gibi atıklar da bu gruba girmektedir (TAKY, 2005). Tehlikeli atıkların kaynağına bakıldığında, %16’sı organik kimyasal proseslerinden kalan atıklar, %13’ü termal proseslerden kalan inorganik atıklar, %13’ü metal arıtma ve kaplamadan “Demir Dışı Hidrometalurji” (Non-ferrous Hydrometallurgy) kalan metal içerikli inorganik atıklar, %10’u inorganik kimyasal proseslerden, %10’u atık yağlar ve diğer sıvılar, % 8’i atık arıtma tesislerinden kalan atıklardan oluşmaktadır [12].

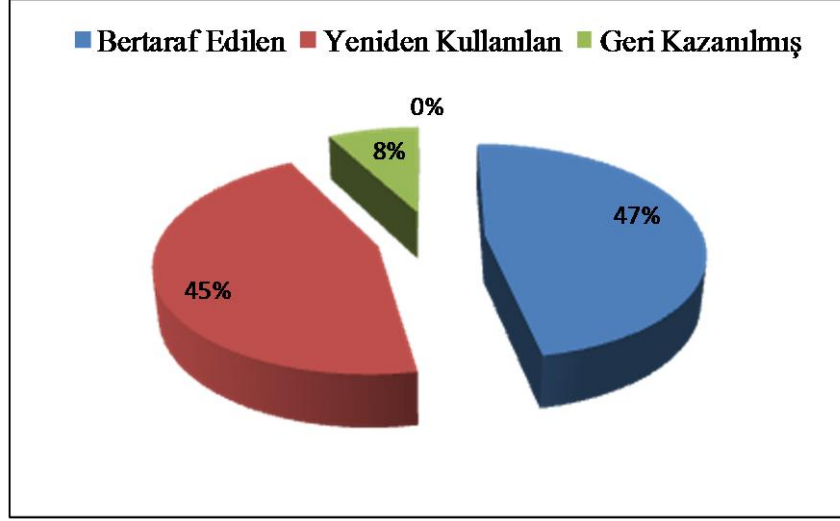
Bir atığın tehlikeli olup olmadığına karar vermede esas alınan kriterler, atığın bileşimi, atık içindeki bileşenlerin miktarları, atık içindeki bileşenlerin kimyasal reaktifleri, atığın fiziksel durumu, atığın çevredeki etkileri ve kalıcılığı şeklinde özetlenebilir.

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA) da bir atığın tehlikeli atık olarak değerlendirilebilmesi için dört özellik belirlemiştir. Bunlar:

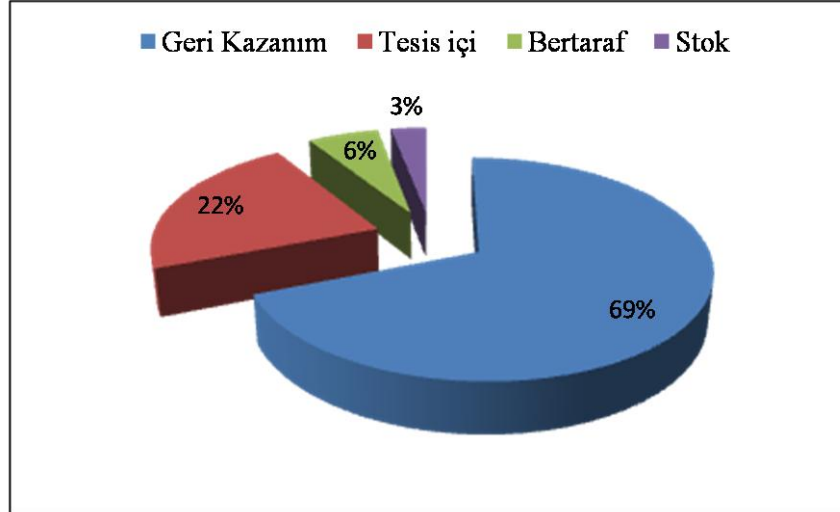
- Yanabilir olma,
- Çürütücü ve paslandırıcı olma,
- Tepkimeye girme,
- Zehirli olma.

Türkiye’de TÜİK tarafından 2004 yılı için yapılan imalat sanayii atık envanterine göre, sektörel atık türü ve bu atıkları üreten sektörlere göre, atık üretim ve bertaraf edilen miktarlara ilişkin verilerin bulunduğu Şekil 2.5 değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlara varılmaktadır [1]:

- Türkiye’de imalat sanayi tarafından yılda 20 milyon tonun üzerinde atık üretilmektedir.
- Bu miktarın yaklaşık 1,12 milyon tonu tehlikeli atıktır.
- Bu miktarın % 8’i geri kazanılmakta, % 47’si bertaraf edilmekte ve % 45’lik kısım ise yeniden kullanılmaktadır.

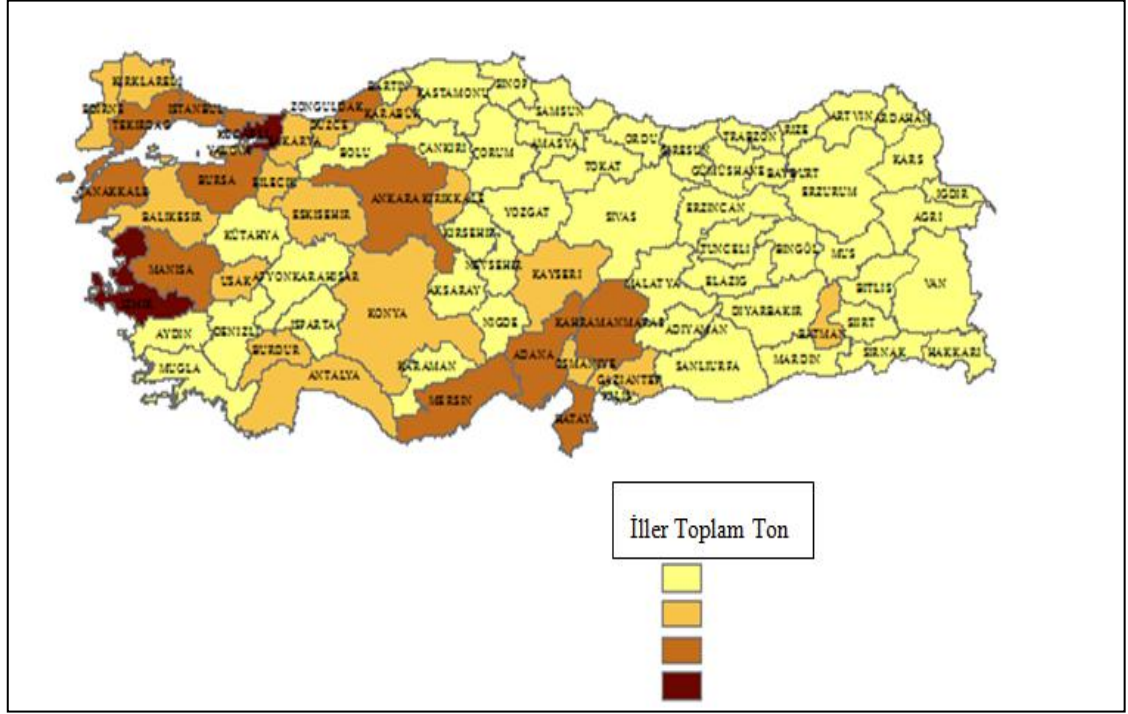


Şekil 2.5 : Türkiye’de üretilen tehlikeli atık miktarı ve bertaraf yüzdeleri [1].



Şekil 2.6 : Türkiye genelinde tehlikeli atık dağılımı [13].

Şekil 2.6’da görüldüğü gibi, İl Çevre ve Orman Müdürlükleri tarafından doğrulanmış sonuçlara göre 2009 yılı Türkiye geneli işlem gören tehlikeli atık miktarı 629.030 ton olup bu miktara maden sektörü atık miktarları dahil edilmemiştir. Şekil 2.5 ve Şekil 2.6 kıyaslandığında tehlikeli atıkların nihai bertarafa gitmeden geri kazanımında önemli bir artış olduğu görülmektedir [13].



Şekil 2.7 : Türkiye’de il bazında tehlikeli atık dağılımı [13].

Şekil 2.7’de görüldüğü gibi, 2009 yılı en yüksek tehlikeli atık üretimi İstanbul ve İzmir’de gerçekleşmiştir. Sonrasında, Marmara, Ege ve İç Anadolu bölgelerindeki belirli şehirler gelmektedir. Tehlikeli atık üretimi çoğunlukla endüstriyel faaliyetlerden kaynaklandığı için İstanbul ve İzmir’in bu alanda en çok faaliyete sahip iller olduğu tekrar görülmüştür.

3. ATIK YÖNETİMİ

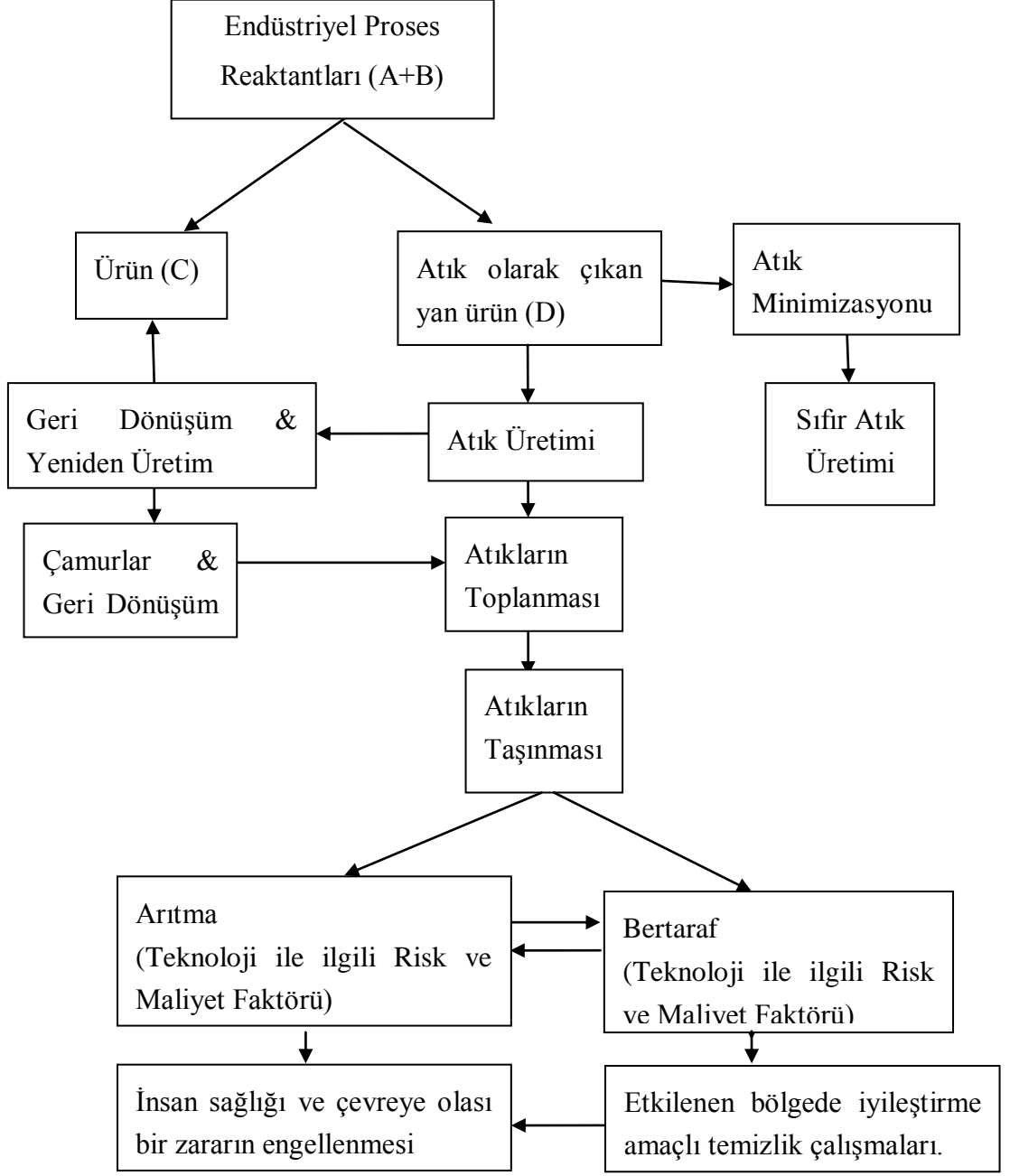
Atık Yönetimi, evsel, tıbbi, tehlikeli ve tehlikesiz atıkların minimizasyonu, kaynağında ayrı toplanması, ara depolanması, gerekli olduğu durumda atıklar için aktarma merkezleri oluşturulması, atıkların taşınması, geri kazanılması, bertarafı ve bertaraf tesislerinin işletilmesi ile kapatma, kapatma sonrası bakım, izleme-kontrol süreçlerini içeren bir yönetim biçimidir [1].

Gelişmekte olan ülkelerin tabii kaynaklarından uzun vadede ve maksimum bir şekilde faydalanabilmeleri için atık israfına son vermeleri, ekonomik değeri olan maddeleri geri kazanma ve tekrar kullanma yöntemlerini uygulamaları gerekmektedir [14]. Toplanması, taşınması ve bertaraf edilmesi ekonomik anlamda büyük yük olan ve toplum sağlığı açısından önemli olduğu kadar, aynı zamanda, uygun şekilde değerlendirilemediği takdirde kaybolan ekonomik bir değer de olan atıkların yönetiminde, toplanmasından bertarafına kadarki süreçte gerçekleştirilecek tüm hizmetlerin maliyet ve sorumluluğu yerel yönetimlere düşmektedir. Her geçen gün artan katı atık miktarı karşısında zorlaşan katı atık yönetimi konusunda çözüm üretmek zorunda kalan yerel yönetimler çareyi özel sektör ile işbirliğinde bulmaktadırlar.

Tehlikeli atıkların yönetimi de acil dikkat gerektiren hususlardan biridir. Tehlikeli atık yönetim planı, atıkların güvenli, verimli ve ekonomik bir şekilde toplanmasını, taşınmasını, arıtılmasını ve bertaraf edilmesini kapsamaktadır. Atığın kontrol ve arıtımından önce, tehlikeli niteliği taşıyan bileşenlerinin de bilinmesi gerekmektedir [15].

Atık sorununun ortadan kalkmasında tek bir yöntem yeterli değildir. Alternatif yöntemlerin kombinasyonu ile başarılı bir atık yönetiminin sağlanacağı artık kabul edilmiştir. Bu nedenle uluslararası düzeyde kabul gören “Entegre Atık Yönetimi” anlayışı benimsenmiştir. Verimli bir entegre atık yönetimi, aşağıdaki niteliklere sahip olmalıdır [1]:

- Bütüncül bir sistem olmalıdır: Entegre atık yönetimi bir yerleşim merkezinde oluşan atığın bileşimini oluşturan bütün maddeleri ve üretim kaynaklarını ihtiva edecek şekilde planlanmalıdır.
- Ekonomik değer oluşturabilmelidir: Katı atık sisteminden sağlanabilecek ekonomik değerler, geri kazanılabilir malzeme, kompost ve elde edilebilecek biyogaz (düzenli depolama ve anaerobik kompost) ve benzeri kaynaklı girdilerdir. Bunlardan temin edilecek gelir, piyasa şartları ve yapılacak yatırımın maliyeti ile yakından ilgilidir. Bu sebeple planlama aşamasında ekonomik analizin çok iyi yapılması gereklidir.
- Esnek olmalıdır: Entegre atık yönetim sistemi, çevresel, mekansal ve atık özelliklerinde zamana bağlı olarak meydana gelebilecek çeşitli değişikliklere uyum sağlayabilecek esneklikte olmalıdır.
- Bölgesel planlama yapılmalıdır: Planlamanın verimli olması, toplanacak atık miktarına bağlıdır. Atık oluşum miktarı ise öncelikle nüfusa bağlıdır. Bu sebeple Büyükşehirler dışındaki yerleşim alanlarında bölgesel planlamalar yapılmalıdır. Bazı araştırmacılar entegre bir yönetime bağlı nüfusun 500.000 kişiden az olmamasını tavsiye etmektedir.
- Ulusal çevre sektörü oluşmalıdır: Yukarıda açıklana süreç ile eş zamanlı olarak, mahalli idareler, kamu ve özel sektörün tüm birikimlerinin sinerjisiyle, geometrik büyüyen dinamik bir çevre sektörü oluşturulmalıdır. Çevre koruma konusunda her türlü makine ekipman, mühendislik-müşavirlik ve taahhüt hizmetlerinin kurumsallaşması önem arz etmektedir.



Şekil 3.1 : Tehlikeli atık yönetimi [15].

Şekil 3.1’de, arıtma ve bertaraf yöntemleri, atıkların oluşumlarından taşınmalarına kadar ki aşamaları içeren tehlikeli atık yönetimi yer almaktadır.

3.1 Atık Oluşumunu Önleme/Minimizasyonu

Atık minimizasyonu daha az atık veya tehlikeli atık oluşmasını sağlayacak metotların ve ürünlerin kullanılmasının sağlanması ile atıkların oluştuğu yerde ayrılmasını içeren işlemlerdir [16].

Atık önleme ya da oluşumunu en aza indirme, kaynak ve teknolojilerin en uygun şekilde kullanılması ve maksimum kontrolün uygulanması ile sağlanabilir. Bu çerçevede miktar olarak veya toksisite açısından tehlikeli düzeyde atık üreten ürünler yerine daha az atık üreten ikame maddelerin üretimine geçilmesi özendirilmeli ve teşvik edilmelidir. Bu amaçla harçlar ve vergiler, depozit sistemi gibi mekanizmalar uygulanmalıdır.

3.2 Atık Azaltma ve Geri Kazanım Uygulamaları

Atık yönetimindeki en etkili yöntemlerden biri de prosesler de atık olarak ortaya çıkan tehlikeli atıkların yan ürün olarak farklı ya da aynı tesislerde değerlendirilmesi üzere geri kazanımıdır. Çoğu tehlikeli ve zararlı madde problemi erken dönemlerde atık indirme ve atık azaltımı ile önlenir. Atık azaltımı arıtma işlemlerini de içerir. Kaynaklar atıkla mücadeleyi 4R ile tanımlar [17]:

- Atıkların Azaltımı (Reduction)
- Atıkların Tekrar Kullanımı (Reuse)
- Atıkların Geri Kazanımı (Recovery)
- Atıkların Geri Dönüşümü (Recycle)

Tekrar Kullanım (Reuse): Atıkların toplama ve temizleme dışında hiçbir işleme tabi tutulmadan aynı şekli ile ekonomik ömrü dolana kadar defalarca kullanılmasıdır. Örneğin; cam şişelerin içerisindeki maddelerin tüketilmesinden sonra temizlenip aynı veya farklı amaçlar için tekrar kullanılmasıdır [18].

Geri Dönüşüm (Recycling): Atıkların fiziksel ve/veya kimyasal işlemlerden geçirildikten sonra ikincil hammadde olarak üretim sürecine sokulmasıdır. Örneğin; kırık cam şişelerinin eritilerek hammadde haline getirilmesi, zımpara kağıdı üretiminde kullanılması, atık plastiklerden tekrar plastik mamuller elde edilmesidir [18].

Geri Kazanım (Recovery): Geri dönüşüm ve tekrar kullanımı kapsayan üst kavramdır. Atıkların özelliklerinden yararlanılarak içindeki bileşimlerin fiziksel, kimyasal veya biyokimyasal yöntemlerle başka ürünlere veya enerjiye çevrilmesidir. Örneğin; yakma, piroliz, kompostlaştırma gibi işlemler geri dönüşüm ve tekrar kullanım kapsamına girmemekle beraber, geri kazanım kapsamında anılırlar. Geri kazanım çok yönlü ekonomik, yönetsel ve teknolojik faaliyetleri kapsar. Geri kazanımın hedefleri şu şekilde özetlenebilir [18]:

- Kaynak Koruma: Atıkların ikincil hammadde olarak devreye sokulup, birincil hammaddelerin tüketim hızını azaltmak.
- Çevre Koruma: Özellikle yoğun nüfusa sahip metropol bölgelerinde giderek azalan düzenli depolama alanlarının ve düzensiz olarak çevreye saçılan atıkların doğa üzerinde yarattığı baskıyı en aza indirmek.
- Enerji Kazanımı: Atık maddelerin enerji içeriğinin kullanılması ile yenilenemez enerji kaynaklarının tüketim hızını azaltmak.

Düzenli bir geri kazanma aşağıdaki ortamlarda yapılabilir;

- Kaynakta
- Transfer istasyonunda
- İmha sahasında

Avrupa Atık Mevzuatında kabul edilen geri kazanım işlemleri de şunlardır [6]:

- Enerji üretimi amacıyla başlıca yakıt olarak veya başka şekillerde kullanma,
- Solvent (çözücü) ıslahı/yeniden üretimi,
- Solvent olarak kullanılmayan organik maddelerin ıslahı/ geri dönüşümü (Kompost ve diğer biyolojik dönüşüm süreçleri dahil),
- Metallerin ve metal bileşiklerinin ıslahı/geri dönüşümü,
- Diğer anorganik maddelerin ıslahı/geri dönüşümü,
- Asitlerin veya bazların yeniden üretimi,
- Kirliliğin azaltılması için kullanılan parçaların (bileşenlerin) geri kazanımı,
- Katalizör parçalarının (bileşenlerinin) geri kazanımı,
- Kullanılmış yağların yeniden rafine edilmesi veya diğer tekrar kullanımları,
- Ekolojik iyileştirme veya tarımcılık yararına sonuç verecek arazi ıslahı,
- Atıkların stoklanması (atığın üretildiği alan içinde geçici depolama, toplama hariç).

3.3 Atıkların Toplanması ve Taşınması

Tehlikeli atıklar, özellikleri itibarı ile diğer atıklardan ayrı taşınmalıdır. Eğer diğer atıklarla karışmış olmaları söz konusu ise, atıkların tamamı Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre muamele görmelidir. Ancak, atıkları başlangıçta mümkün olduğunca ayırtırmak işletilmesi açısından daha ekonomiktir.

Tehlikeli atıkların taşınması, uygun ekipman ve konuyla ilgili eğitimli kişiler tarafından yapılmalıdır. Tehlikeli atıkların toplanması ile ilgili detaylı bilgiler aşağıda yer almaktadır [7]:

- Atıkların ambalajlanması, etiketlenmesi ve taşınması süreci, yönetmeliklere uygun ve uluslararası düzeyde kabul gören standartlara dayalı gerçekleşmelidir.
- Taşınması gereken atığın özelliklerine uygun olarak tasarlanmış ve imal edilmiş tank ve konteynerler kullanılmalıdır,
- Eğer farklı bir çeşit konteyner kullanılıyorsa, atıkla uyumlu ve yeterli güvenilirliğe sahip koşullarda olmalıdır,
- Tehlikeli atıkları içeren tank ve konteynerler için, içerdikleri atıkların bileşim ya da tehlike unsuru içerip içermediğini belirten etiketler kullanılmalıdır.

Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre, Çevre ve Orman Bakanlığı'ndan lisans almış kişi ve kuruluşlarca tehlikeli atıkların taşınması mümkündür. İlgili araçlarda, atık taşıma formlarının bulunması zorunludur.

3.4 Atıkların Geçici ve Ara Depolanması

Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nde, atıkların üreticisi tarafından tesis içinde, ancak tesis içinde uygun yer bulunmaması durumunda üreticiye ait uygun bir alanda ara depolama, geri kazanım ve nihai bertaraf tesislerine ulaştırılmadan ya da tesiste tekrar kullanmadan önce güvenli bir şekilde depolanması "Geçici Depolama"; bu yönetmeliğin beşinci bölümünde tanımlanan, atıkların geri kazanım ve nihai bertaraf tesislerine ulaştırılmadan önce atık miktarı yeterli kapasiteye ulaşmaya kadar güvenli bir şekilde depolanması "Ara Depolama" olarak tanımlanmıştır. Ara depolarda atık bekleme süresi bir yılı aşmaz. Ancak, bu süreç Bakanlık izni ile uzatılabilir. Ara depolama ve işleme tesislerinde [19]:

- Giriş, depolama ve çalışma kısımları,
- Yangın söndürme sistemleri,
- Boruların, hazne ve kapların temizlenmesi için temizleme sistemleri,
- Taşan ve dökülen atıkların toplanması için yeterli absorban, nötralizan bulunur.

Atıkların tesis içinde taşınması sürecinde, atıkların katı ya da sıvı formda olmasına göre yapılarına uygun konteynır ve taşıma şekilleri işletmeler tarafından belirlenir. Ayrıca, bu kapların üzerinde içerdiği atığın çeşidi, kaynağı, miktarı ve depolama tarihi ile ilgili bilgiler mutlaka yazılır [19].

3.5 Tehlikeli Atık Arıtımı

3.5.1 Fiziksel arıtma

Atıklara faz ayırımı ve solidifikasyon işlemleri uygulanarak atıkların inert bir forma getirilmesi amaçlanır. Genellikle, atık hacminin azaltılması için tercih edilir. Başlıca faz arıtım yöntemleri [19]:

- Lagünleme,
- Çamur kurutma yatakları,
- Uzun ömürlü depolama tanklarıdır.

Arıtım uygulanacak tehlikeli atık için madde hali (katı, sıvı), yoğunluk, çözünürlük, kararsızlık, erime ve kaynama noktası gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerin bilinmesi gerekmektedir.

3.5.2 Kimyasal arıtma

Kimyasal yöntemler ile atığın daha zararsız hale gelmesi amaçlanır. Başlıca uygulanan yöntemler [19]:

- Asit - baz nötralizasyonu,
- Kimyasal çöktürme,
- Kimyasal flokülasyon,
- Kimyasal yükseltgenme – indirgenme,
- Kimyasal ayırma ve süzme,
- İyon değişimi,
- Stabilizasyon.

3.5.3 Biyolojik arıtma

Gıda ve toprak (çimen, bahçe artıkları vs.) artıkları gibi organik maddelerin biyolojik bozulmasını kapsayan bir yöntemdir. Bu yöntemin; topraga 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 problemlerine çözüm getirmesi ve doğal kaynakları koruması gibi birçok yararı söz konusudur [20].

3.6 Nihai Atık Bertarafı

Tehlikeli atık oluşumunun önlenmesi, minimizasyonu, geri kazanımı ve yeniden kullanımı mümkün olmadığı takdirde, atıkların karakteristikleri göz önünde bulundurularak uygun bir yöntem ile bertaraf edilmesi gerekir. Örneğin pestisid artıkları ve PCB'ler (Poliklorlu bifeniller) gibi tehlikeli atıklar en uygun olarak yüksek ısılarla yakılarak bertaraf edilirken, daha az tehlikeli atıklar için depolama yöntemi kullanılabilir [6]. TAKY Ek-2'de, tehlikeli atıkların nihai bertarafı için uygun olan yöntemler belirtilmiştir. Bu yöntemler aşağıda açıklanmıştır [2]:

- (D3), Derine enjeksiyon (Örneğin: Pompalanabilir atıkların kuyulara, tuz kayalarına veya doğal olarak bulunan boşluklara enjeksiyonu ve benzeri),
- (D4), Yüzey doldurma (Örneğin: Sıvı ya da çamur atıkların kovuklara, havuzlara ve lagünlere doldurulması ve benzeri),
- (D5), Özel mühendislik gerektiren toprağın altında veya üstünde düzenli depolama (Çevreden ve her biri ayrı olarak izole edilmiş ve örtülmüş hücresel depolama ve benzeri),
- (D8), (D3) ile (D12) arasına verilen işlemlerden herhangi biri ile bertaraf edilen nihai bileşiklere veya karışımlara uygulanan ve bu ekin başka bir yerinde ifade edilmeyen Biyolojik işlemler,
- (D9), (D3) ile (D12) arasına verilen işlemlerden herhangi biri ile bertaraf edilen nihai bileşiklere veya karışımlara uygulanan ve bu ekin başka bir yerinde ifade edilmeyen Fiziksel-kimyasal işlemler (Örneğin: buharlaştırma, kurutma, kalsinasyon ve benzeri),
- (D10), Yakma,

- (D12), Sürekli depolama (Bir madende konteynerlerin yerleştirilmesi ve benzeri),
- (D15), (D3) ile (D12) arasında belirtilen işlemlerden herhangi birine tabi tutuluncaya kadar atığı üretildiği alan içinde geçici depolama (Ara depolama tesisleri ve toplama işlemi hariç).

EPA'nın 2001'de yayınladığı verilere göre, Tehlikeli Atık Yönetimi'nin % 69'unu depolama ile bertaraf etme işlemi oluşturmaktadır. Depolama ile bertaraf kapsamında uygulanan yöntemler Çizelge 3.1'de yer almaktadır.

Çizelge 3.1 : Depolama ile bertaraf etme yöntemleri ve bertaraf edilen atık miktarları [21].

Yöntem	Miktar (Ton)
Derin kuyulara ya da yer altına enjeksiyon	16 milyon
Düzenli Depolama	1,4 milyon
Yüzeye Doldurma	705 bin
Toprak Arıtımı, Uygulama ve Tarım	30 bin

Termal İşlemler, atık bertarafı'nın %11'ini oluşturmaktadır. Bu yöntemlerin sınıflandırılması ve atık miktarları Çizelge 3.2 'de yer almaktadır [21].

Çizelge 3.2 : Termal işlemler ve bertaraf edilen atık miktarları [21].

Yöntem	Miktar (Ton)
Enerji Geri Kazanımı	1,5 milyon
Yakma	1,5 milyon

Geri Kazanım Uygulamaları, atık yönetiminin %10'unu oluşturmaktadır. En yaygın kullanılan yöntemler ve atık miktarları Çizelge 3.3'te yer almaktadır [21].

Çizelge 3.3 : Geri kazanım metodları ve atık bertaraf miktarları [21].

Yöntem	Miktar (Ton)
Yakıt Harmanlama	1,1 milyon
Metallerin Geri Kazanımı (Tekrar kullanım için)	720 bin
Solvent Geri Kazanımı	368 bin
Diğer Geri Kazanımlar	152 bin

Geriye kalan %11'lik kısmı da diğer arıtma ve bertaraf etme yöntemleri oluşturmaktadır. Bu yöntemler ve atık miktarları Çizelge 3.4'te yer almaktadır [21].

Çizelge 3.4 : Diğer bertaraf yöntemleri ve atık miktarları [21]

Yöntem	Miktar (Ton)
Diğer Bertaraf Yöntemleri	1,4 milyon
Stabilizasyon	1,3 milyon
Çamur Arıtma	48 bin

3.6.1 Uzaklaştırma

Tehlikeli atıklar, herhangi bir fiziksel ya da kimyasal arıtma işlemine tutulamayacak durumda olduğunda ya da arıtmadan geçtikten sonra da yine buldukları ortamdaki güvenle uzaklaştırılabilmeleri için kullanılan yöntemler bu başlık altında açıklanmıştır.

3.6.1.1 Derine enjeksiyon

Derine enjeksiyon yöntemi genellikle sıvı formdaki tehlikeli atıklar için uygulanan bir yöntemdir. Ancak, kontrol ve takip zorluğundan dolayı pahalı bir yöntemdir ve her ülkede bu uygulamaya izin verilmemektedir. Bu atıklar genellikle doğal salamura-tuzlu su atıkları olup petrol çıkarım işlemlerinden, tuz yatağı çözeltilerinden ve madenlerden kaynaklanırlar. Tükenmiş-eskimiş atıklar da derin katmanlardaki kireçli kayaçlarda (karstik) çevresel riski olmadan kolaylıkla nötralize edilirler [19].

Nükleer enerji santrallerinden kaynaklanan "Tiritium" içeren atıksular da yarı ömrünün çok kısa olması nedeniyle bu yöntem için uygun görülmektedir. Kimya endüstrilerinden gelen organik kimyasallar içeren çok büyük miktarlarındaki atıksuların derin kuyu enjeksiyonu ile uzaklaştırılmasında çok büyük bir alanın (yüzlerce km²) ve yüzlerce metre dikey olarak katmanların jeolojik yapısı incelenmektedir. Bu atıklar, bu katmanlarda ezme ve boyuna dağılım ile geçirgen ve yarı geçirgen yapılarda binlerce yıllık bir bekleme süresi öngörülerek enjekte edilirler; çünkü bu konsantre organik maddelerin su çevrimine ulaşmadan önce bozunmaları (degradasyon) için bu bekleme süresine gerek vardır. Bu yöntemde görülen en büyük sakınca yüksek basınçlı enjeksiyonda deprem oluşması riskidir ve ABD'de Denver ve Colorada'da örnekleri görülmüştür [19].

3.6.1.2 Deniz diplerine boşaltma

Bu yöntemle uzaklaştırmada amaç tehlikeli atığın su ile seyrelmesini sağlamaktır. Bu yöntemde, atığın boşaltıldığı yerin karaya olan uzaklığı önemli bir faktördür. Ayrıca, atığın döküleceği denizin ulusal ve uluslar arası düzeyde anlaşmalara bağlı olup olmadığı da göz önünde bulundurulmalıdır. Çünkü, tehlikeli atıkların yapılarında barındırdıkları mikrokirleticiler için yetki belgesi gerektiren düzenlemeler söz konusudur [19].

3.6.1.3 Yer altı katmanlarına depolama

Bazı tehlikeli atık çeşitlerinin doğrudan düzenli depolamaya gönderilmesi ekonomik ve çevresel açıdan sorunlara sebep olabilir. Bu nedenle atıkların, daha önceden incelenmiş ve artık işlem görmeyen, terk edilmiş kömür ve tuz madenlerinde depolanması uzaklaştırma yöntemleri adı altında açıklanmıştır. Kömür ocaklarında metan gazı sıkışma riski vardır. Ancak tuz madenlerinde böyle bir risk söz konusu değildir. Tuz madenleri nem çekme ve absorplama özellikleri açısından sıvı ve gaz atıkların kristalleşmelerine yardımcı olurlar [19].

3.6.2 Termal işlemler

Tehlikeli atıkların termal yöntemlerle bertaraf edilmesi, yüksek sıcaklıkta atıkların enerjiye ve yan ürünlere dönüştürülmesi işlemidir. Termal yöntemlerle bertaraf işleminde amaç, hem atıkların hacimsel olarak ciddi anlamda indirgenmesi hem de yapılarında var olan enerji potansiyelinin değerlendirilmesini sağlamaktır. Bu amaçla yakma, piroliz ya da gazlaştırma yöntemleri kullanılmaktadır [22].

3.6.2.1 Yakma

Yakma, genel olarak tehlikeli atıkların yapısında bulunan organik bileşenlerin yüksek sıcaklıklarda ve oksijen zengin ortamdaki termal bozunmasıdır. Atıkların heterojen yapılarından dolayı yakma işlemi daha karmaşıktır. Yakma sonucunda oluşan gaz ve kül artık yanmayacak niteliktedir; oluşan gazlar, enerji geri kazanımlı ya da hava kirlilik limitleri göz önünde bulundurularak etkin bir şekilde temizlendikten sonra doğrudan atmosfere verilebilir, kalan kül ve cüruf ise düzenli depolamaya gönderilir [19]. Yakma prosesinde, giren atığın %15-20'sini taban külü oluştururken %5'ini de uçucu kül oluşturmaktadır [22].

Günümüzde, döner fırınlar, akışkan yataklar ve ızgara yakıcılar yakma işlemi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu ekipmanlardan ızgara fırınlar en az esnekliğe sahip olmaktadır. Bununla birlikte, diğerlerine kıyasla daha düşük maliyetli olup partikül boyutu ve yüksek verim dikkate alındığında genellikle küçük ve orta ölçekli atık bertaraf tesisleri için daha uygundur [23].

Atıkların klasik yakma ile bertarafı sonucunda, tehlikeli emisyonlar ile kirletici zehirli ağır metaller, dioksinler, furanlar ve uçucu organik bileşikler gibi zararlı proses kalıntıları da oluşmaktadır. Bu nedenle, bu uygulama için ciddi yasal kısıtlama ve denetlemeler söz konusudur.

Yakma yönteminin avantajları aşağıda yer almaktadır [11]:

- Yüksek sıcaklık sonucu patolojik atıkların imha edilmesi,
- İnfektif atıkların tamamen yok edilmesi sağlanır,
- İşlenmiş atık tanınmaz kül haline gelir,
- Organik atıklar inorganik hale getirilir,
- Geride çok az atık kalır,
- Devamlı beslemeli ve yüksek sirkülasyonlu ünitelerde büyük miktarlar işlenebilir.

Yakma yönteminin dezavantajları aşağıda yer almaktadır [11]:

- Sulu atıklar ile klorlanmış ve yüksek oranda metal içeren atıklar için uygun değildir,
- HCl ve dioksin gibi gaz emisyonları sebebi ile hava için kirletici unsurlar oluşturmaktadır.
- Yüksek ısı ile çalışılması gerektiğinden pahalı bir yöntemdir.

Son yıllarda, gazlaştırma ve gazlaştırma, piroliz ve klasik yakma kombinasyonundan oluşan yeni uygulamalarla daha verimli ve çevre dostu termal atık bertaraf yöntemleri uygulanmaya başlanmıştır [3].

3.6.2.2 Piroliz

Piroliz, klasik yakma yerine alternatif bir yöntem olup oksijen yerine inert bir gaz atmosferinde atıkların daha küçük moleküllere ve yanıcı gazlara dönüşmesini içeren termokimyasal bir bozunma prosesidir [24]. Proses sonucunda metan, kompleks hidrokarbonlar, hidrojen ve karbonmonoksit gibi yanıcı gazlar, sıvılar ve katı

maddeler oluşur [4]. Piroliz ile bozulan atıktan oluşan sıvı ve gazlar, yakıt olarak veya kimyasal madde üretimi için değerlendirilebilmektedir. Atıkların yapısındaki inorganiklerin bir kısmı değişmeden kalır ve organik kısımdan bağımsız hale gelir. Böylece, bu inorganik maddelerin diğer plastikler için dolgu maddesi gibi amaçlarla tekrar kullanımı mümkün olabilir ya da minimum atık miktarı haline geldikleri için düzenli depolamaya gönderilebilirler. Araştırmalarda, daha hafif ve değerli yağların elde edilebilmesi için termal proses yerine katalitik pirolizin tercih edilmesinin daha avantajlı olduğu görülmüştür; katalitik piroliz, reaksiyon sıcaklığını düşürüp, parçalanma reaksiyonlarını hızlandırmaktadır. Bu da daha kısa proses süreçlerinin ve reaksiyon seçiciliğinin değerli ürünler yönünde olmasını sağlamaktadır [25].

3.6.2.3 Gazlaştırma

Gazlaştırma, organik bileşenlerin oksijence fakir bir ortamda ısı etkisiyle fiziksel ve kimyasal olarak bozunmasıdır. Oluşan ürünler katı madde char, kül, cüruf ve sentetik gazdır. Sentez gazının başlıca bileşenleri, karbonmonoksit (CO), hidrojen (H₂), metan (CH₄), karbondioksit (CO₂), etan (C₂H₆), su (H₂O) ve azottur [26]. Sentetik gaz ısı değere sahiptir ve tekrar yakılarak enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Proseste normal hava kullanıldığında oluşan sentetik gaz, doğal gazın ısı değerinin % 25'ine; oksijence zengin hava kullanıldığında ise % 40'ına denk bir ısı değere sahiptir. Üretilen gaz öncelikle kirleticilerinden temizlendikten sonra buhar kazanlarında, gaz motorlarında ve gaz türbinlerinde elektrik, ısı ve güç üretmek için kullanılabilir gibi çeşitli kimyasalların ve sıvı yakıt üretiminde kullanılabilir [4]. Bu tez çalışmasında, atıkların gazlaştırılması ile oluşan katı çıktılar incelendiği için gazlaştırma teknolojisi daha sonra detaylı olarak anlatılacaktır.

3.6.3 Düzenli depolama

Tehlikeli atıklar, geri kazanım, arıtma ya da bertaraf etme işlemlerine uygun olmadıklarında; zararsız hale getirilmeleri, oluşturabilecekleri riskleri kontrol edebilmek amacıyla çevreden izole edilmeleri amacıyla kullanılan en yaygın yöntem düzenli depolamadır. Düzenli depolama, termal işlem ile bertaraf edilen atıklardan kalan atıkların depolanması için de kullanılmaktadır [6]. Düzenli depolama, sızdırmazlığın sağlandığı ve gaz kontrolünün yapıldığı alanlara atıkların kademeli olarak gömülmesi işlemidir. Depolama işlemleri sırasında alınan önlemlerin yeterli olduğu ve atığın özelliği sebebi ile depolama işleminde çevrenin olumsuz yönde

etkilenmeyeceğinin ispat edilmesi hallerinde atıklar depolanabilir veya bu amaçla depo tesisi kurulmasına izin verilebilir. Depo tesisine gidecek olan atıkların %65'inden fazla su içermesi yasaktır. Tehlikeli atıklar ve evsel atıklar ayrı işleme tabi tutularak depolanır [27]. Endüstriyel atıkları için yönetmeliklerde üç tip atık depolama alanı tanımlanmıştır [28]:

- Inert atık depolama alanları: Inert atık depolama alanlarında sadece inert atıklar depolanabilir.
- Tehlikesiz atık depolama alanları: Evsel atıklar, tehlikesiz atık depolama alanlarında depolanabilir.
- Tehlikeli atık depolama alanları.

AB Düzenli Depolama Direktifi, 2010 yılı için 1995 yılında oluşan biyolojik olarak ayrışabilir atıkların % 75'inin, 2013 yılı için % 50'sinin ve 2020 için % 35'inin düzenli depolamaya kabul edilmesini öngörmektedir. Türkiye'nin 2015 yılında % 75'lik hedefe ulaşması beklenirken, %50'lik hedefe en erken 2020 yılında ulaşılabileceği tahmin edilmektedir [29].

3.6.3.1 Depolama alanı seçme

Düzenli depolama tesisleri için yer seçiminde dikkat edilecek hususlar, yerin jeolojik, hidrolojik, jeoteknik özellikleri, yeraltı su seviyesi ve yeraltı suyu akış yönleri, mevcut ve planlanan meskun mahal ile diğer yapılaşmalar, akaryakıt, gaz ve içme-kullanma suyu naklinde kullanılan boru hatları, deprem kuşakları ve tektonik koruma bölgeleri ile diğer zemin hareketleri, toprak özellikleri ve kullanım durumu, hakim rüzgar yönü, trafik durumudur [27].

Düzenli depolama tesislerinin, karstik bölgelerde, içme, kullanma ve sulama suyu temin edilen veya edilecek olan yeraltı suları koruma bölgelerinde, taşkın riskinin yüksek olduğu bölgelerde, birinci sınıf tarım arazileri, özel çevre koruma alanları ve milli parklarda kurulmasına ve işletilmesine izin verilmemektedir [27].

3.6.3.2 Alan özellikleri

Depolama tesisinin oturacağı zemin doğal olarak sıkışmış ve kalınlığı en az üç metre ve kompresibilitesi %95'ten büyük olmak zorundadır. Maksimum yer altı su mesafesi beş metreden daha az olmamalıdır [27].

Atıkların Düzenli Depolanmasına İlişkin Yönetmeliğe göre, düzenli depolama tesisinin tabanı ve yan yüzeylerinde, sızıntı suyunun yeraltı suyuna karışmasını önleyecek şekilde bir geçirimsizlik tabakası yapılmalıdır. Bunun için kil veya eşdeğeri malzemeden oluşturulmuş geçirimsizlik tabakası serilir. Geçirimsizlik tabakasının fiziksel, kimyasal, mekanik ve hidrolik özellikleri depolama tesisinin toprak ve yeraltı suları için oluşturacağı potansiyel riskleri önleyecek nitelikte olması gerekmektedir. Geçirimsizlik malzemeleri teknik özellik bakımından da Türk Standartları Enstitüsü standartlarına uygun olmalıdır. Sızıntı sularının toprak ve yeraltı suları için oluşturacağı potansiyel risklerin engellenmesi için de doğal geçirimsizlik tabakasına ilave olarak yönetmelikte verilen teknik özelliklerde sızıntı suyu toplama ve drenaj sistemi inşa edilmelidir [28].

3.6.3.3 Atık özellikleri

Atıklar düzenli depolamaya gönderilmeden önce miktarına, fiziksel formuna, yanıcılık, zehirlilik gibi zararlı etkileri göz önünde bulundurulmalıdır. Yüksek su içeriğine sahip atıklar, depolanmadan önce ön arıtmadan geçmelidir. Yüksek parlayıcılığa sahip atıklar yangın riski oluşturduğu için depolamaya uygun değildir. Asit ve alkali gibi korozyif atıklar, tek başlarına problem yarattıkları için evsel atıklar üzerine verilerek depolanırlar. Zehirli ve yüksek çözünürlükteki atıklar, sızıntı suyu toplama imkanları tam olan tesisler tarafından kabul edilebilir. Ayrıca, birbirleri ile kimyasal tepkime verme ihtimali olan atıkların da birlikte işlem görmeleri uygun değildir [19].

3.6.3.4 Atıkların yerleştirilmesi

Atık alındıktan sonra saha sorumlusu gözetiminde operatör, atığı gevşek katmanlar halinde (derinlik olarak 50 cm'i geçmeyecek şekilde) pratik olarak mümkün olan en azami yoğunlukta sıkıştırarak şekilde dağıtılmalıdır. Depolama sahalarında atıklar genellikle hendek metodu, alan metodu ve hücre metodu kullanılarak doldurulmaktadır. Hendek metodu, yer altı suyu seviyesinin yüksek olduğu alanlarda az miktarda atık depolanması için doldurulacak atık hacmi kadar kazı yapılmasını şeklindedir. Ancak, ekonomik bir yöntem değildir. Alan metodu, daha çok doğal çukurlara uygulanır. Ancak, aşırı miktarda sızıntı suyu oluşumu söz konusudur. Sızıntı suyu kontrolü de ciddi problemler oluşturduğu için yaygın bir yöntem değildir. Son yıllarda, ekonomik ve emniyetli olması sebebiyle, hücre metodu

uygulanmaktadır. Hücreleme yöntemiyle atık doldurulmasında, atıklar dolgu eğiminin yukarısına doğru (rampa yöntemi) itilerek serilir. Böylece, atıkların mümkün olan en iyi biçimde sıkıştırılması sağlanır. Ancak ülkemizin atık muhtevası, yüksek organik bileşen ve su içeriği oranından dolayı dolgu eğiminin yukarısına doğru itilerek serilmesine uygun değildir. Bu nedenle, dolgu eğiminin aşağısına doğru serme yöntemi uygulanmaktadır. Hücrelerin alt kısmına sızıntı sularının toplanması amacıyla sedde yapılmaktadır. Operatör sıkıştırma talimatında belirlenen ekipmanı kullanmalı ve ekipmanı en az dört kere atık yüzeyinin üstünden geçirmelidir [30].

Sahada periyodik gaz ölçümleri yapılarak gaz ölçüm raporları oluşturulmalıdır. Depo kütlelerinde havasız kalan organik maddenin, mikrobiyolojik olarak ayrışması sonucu çevreye yayılarak, patlamalara, zehirlenmelere neden olabilecek, metan gazı ağırlıklı olmak üzere karbondioksit, hidrojen sülfür, amonyak ve azot bileşikleri yatay ve düşey gaz toplama sistemi ile toplanır. Gaz bacalarının yapım amacı ileriye dönük enerji dönüşümü ve depolamadan kaynaklanan gazların kontrol altına alınması, yangın v.b risklerin minimize edilerek pasif kontrolü sağlamaktır [30].

Geçirimsiz alt tabaka üzerine hücreleme metoduyla sıkıştırılarak serilen katı atıklar yaklaşık 1 metre yüksekliğe eriştiğinde üzerine 30 cm yüksekliğinde bir kumlu toprak tabakası serilir. Kumlu toprak hava almayı ve katı atıklar arasındaki sıvı akışına engel olmadığı için tercih edilmelidir. İstenilen depolama yüksekliğine kadar işlem devam ettirilir. Atık yüksekliği işletme planında belirtilen maksimum yüksekliğe ulaştığında atığın üzerine projesinde belirtilen nihai kapama tabakası inşa edilir. Bu tabakanın üst eğimleri %5 ile %15 arasında olacak şekilde yapılmalıdır. Bu tabaka yeşil alanların oluşturulmasına imkân sağlayacak kalitede ve yeterli kalınlıkta bitkisel toprak içermelidir [30].

3.7 Uluslararası ve Ulusal Yönetmelikler

Katı atıkların bertaraf yöntemlerinin geliştirilmesi amacıyla Katı Atık Bertaraf Hareketi (SWDA, Solid Waste Disposal Act) 1965 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde yürürlüğe girmiştir [31].

3.7.1 US EPA RCRA yönetmeliği

SWDA'nın hedefleri , 1976'da Kaynak Koruma ve Geri Kazanım Hareketi (RCRA, Resource Conservation and Recovery Act) ve 1984'te Tehlikeli ve Katı Atık İyileştirme Hareketi, (HSWA, Hazardous and Solid Waste Amendments) tarafından genişletilmiştir ve tüm bu etkinliklerin tamamı RCRA olarak ifade edilmiştir. RCRA, tehlikeli atıklar ile ilgili oluşturulan ilk resmi düzenlemedir ve tehlikeli atıkların üretimi, taşınması, arıtımı, depolanması ve bertaraf edilmesi konusunda insan sağlığı ve çevrenin korunmasını sağlamak amacıyla oluşturulmuştur. EPA, RCRA'yı geliştirmek amacıyla yasal bir program oluşturmuştur. Böylece, binlerce üretici, taşıyıcı, arıtma, depolama ve bertaraf etme tesisi ile ilgili düzenleme oluşması sağlandı. EPA, pek çok eyalete yasal RCRA programına tam uyumlu olmak şartıyla, kendi RCRA programlarını uygulamaları konusunda garanti vermiştir. RCRA programı, atıkların uygun şekilde tanımlanabilmesi için analiz edilmesi üzerinde durmuştur. Atık analizi, atıkların fiziksel ve kimyasal özelliklerini, atığa ait bir örneğin fiziksel ve kimyasal analizinin yapılması ya da atığın oluşum prosesi ile ilgili bilgilerin değerlendirilmesini kapsar [31].

RCRA, Karada Bertaraf Kısıtlamaları (The Land Disposal Restrictions, LDR) ile ilgili bir düzenleme oluşturmuştur. Buna göre, arıtım ya da bertarafı için EPA tarafından oluşturulan standartların bulunduğu atıklara kısıtlanmış atık (restricted waste) denilmektedir. Yasaklı atıkları (Prohibited waste) ise, kısıtlanmış atıklardan karada bertaraf edilmesi uygun olmayan atıklardır [31].

3.7.2Avrupa Birliği (EU/AB)

Avrupa Birliği'nin çevre politikası hedefleri [32]:

- Çevrenin korunması, kollanması ve çevre kalitesinin yükseltilmesi,
- Doğanın ve doğal kaynakların, ekolojik dengeye zarar verecek şekilde işletilmelerinden sakınılması ve bunların akılcı bir şekilde yönetilmelerinin temin edilmesi,
- İnsan sağlığının korunması,
- Kalkınmaya, kalite gereksinimleriyle uyum içinde, özellikle de çalışma şartlarının ve yaşam çevresinin geliştirilmesine yön verilmesi,

- Kent planlaması ve toprak kullanımında çevresel etkilerin daha fazla dikkate alınmasının sağlanması,
- Topluluğun dışındaki devletler, özellikle de uluslararası örgütlerle küresel çevre problemlerine ortak çözümler aranması.

Avrupa Birliği çevre politikası ilkeleri [32]:

- Bütünleyicilik ilkesi: Çevrenin korunmasının birliğin diğer politikalarının içine entegre edilmesi ilkesi, topluluk tarafından yürütülecek faaliyetlerin temellerinden birini oluşturmaktadır. Avrupa Topluluğu Antlaşması'nın 6.maddesine, çevre korunmasının gereklerinin sürdürülebilir gelişmenin teşvik edilebilmesi için diğer Topluluk politika ve faaliyetlerine eklenmesi gerekmektedir.
- Yüksek seviyede koruma ilkesi: Bu ilke, yaşama yetkileri dahilinde başta Avrupa Komisyonu, Avrupa Parlamentosu ve Avrupa Konseyi olmak üzere Topluluğun tüm kurumlarını bağlamaktadır. Bütün kurumlar, Topluluğun farklı bölgelerindeki çevre koşullarını da hesaba katarak yüksek seviyede çevre korumasını amaç edinmelidir.
- İhtiyat ilkesi: Belli bir hareketin çevre açısından olumsuz ve zararlı sonuçlar doğuracağı hakkında ciddi bir şüphe mevcutsa, bilimsel kanıtın ortaya çıkmasına kadar beklemeden ve çok geç olmadan önlem alınması anlamına gelmektedir.
- Önleme ilkesi: Bu ilke, zararın tam olarak ortaya çıkmasından önce gerekli önlemlerin alınması gereğinin altını çizmektedir.
- Kaynakta önleme ilkesi: Topluluk çevre politikası, çevresel zararın, öncelikle kaynağında önlenmesi ilkesine dayanmaktadır. Topluluk mevzuatı bu ilkeyi, özellikle emisyon standartlarının çevre kalite ölçütlerini aştığı su ve atık sektörüne uygulamaktadır. Atık sektöründe, örneğin, atık nakillerinin sınırlandırılması amacıyla, atığın mümkün olduğunca üretim yerine yakın bir yerde yok edilmesi gerekmektedir.
- Kirleten öder ilkesi: Bu ilke, Topluluk çevre politikasının temel taşıdır. Kirletenlere, sebep oldukları kirlilik ile mücadelenin bedelinin ödettirilmesi, onları kirliliği azaltmaya ve daha az kirleten ürün ve teknolojiler bulmaya teşvik etmektedir. Bu ilke, kirleticilerin uyması gereken çevre standartları koyularak da uygulanabilmektedir.

Tehlikeli atıklar ile ilgili başlıca AB direktifleri şunlardır [6]:

- Atık Çerçeve Direktifi (75/442 EEC)
- Tehlikeli Atık Direktifi (91/689 EEC)
- Atıkların Yakılması Direktifi (2000/76 EC)
- Düzenli Depolama Direktifi (99/31 EC)
- Avrupa Atık Kataloğu (EWC 2002)

3.7.3 Türkiye’de atıklara ilişkin mevzuat ve belgeler

1974 yılında Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) Müsteşarlığı altında bir danışma kurulu şeklinde örgütlenen çevre korumacı yaklaşım, 1978 yılında Başbakanlığa bağlı bir çevre örgütüne dönüştürülmüştür. 1991 yılında Çevre Bakanlığı’nın kurulması ile bakanlık düzeyinde bir örgütlenme sağlamıştır.

3.7.3.1 Katı atıkların kontrolü yönetmeliği

14.03.1991 tarihli, 20814 sayılı Resmi Gazetede yayınlanmış; en son 05.04.2005 tarihli ve 25777 sayılı Resmi Gazetede hakkında değişik yapılmıştır. Tehlikeli atıkların, katı atıklardan ayrı bertaraf edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Amacı; her türlü atık ve artığın çevreye zarar verecek şekilde, doğrudan veya dolaylı bir biçimde alıcı ortama verilmesi, depolanması, taşınması, uzaklaştırılması ve benzeri faaliyetlerin yasaklanması, çevreyi olumsuz yönde etkileyebilecek olan tüketim maddelerinin idaresini belli bir disiplin altına alarak, havada, suda ve toprakta kalıcı etki gösteren kirleticilerin hayvan ve bitki nesillerini, doğal zenginlikleri ve ekolojik dengeyi bozmasının önlenmesi ile buna yönelik prensip, politika ve programların belirlenmesi, uygulanması ve geliştirilmesidir [33].

Bu Yönetmelik, meskun bölgelerde evlerden atılan evsel katı atıkların, park, bahçe ve yeşil alanlardan atılan bitki atıklarının, iri katı atıkların, zararlı atık olmamakla birlikte evsel katı atık özelliklerine sahip sanayi ve ticarethane atıklarının, evsel su arıtma tesislerinden elde edilen (atılan) arıtma çamurlarının ve zararlı atık sınıfına girmeyen sanayi arıtma tesisi çamurlarının toplanması, taşınması, geri kazanılması, değerlendirilmesi, bertaraf edilmesi ve zararsız hale getirilmesine ilişkin esasları kapsar.

Özel ve/veya resmi kuruluşlarca ve gerçek kişilerce üretilip çeşidi, özelliği ve miktarı itibarı ile insan sağlığına zarar veren, su, hava ve toprağı kirleten, yanıcı ve patlayıcı madde ihtiva eden, hastalık mikrobu taşıyabilen zararlı ve tehlikeli atıklar hakkında bu yönetmelik hükümleri uygulanmaz [33].

3.7.3.2 Tehlikeli atıkların kontrolü yönetmeliğı

14.03.2005 tarihli ve 25755 sayılı Resmi Gazetede yayımlanmış olup, en son değışiklik 30.10.2010 tarihli ve 27339 sayılı Resmi Gazete yayımlanan değışiklikler ile uygulanmaktadır. Bu Yönetmeliğın amacı, tehlikeli atıkların, üretiminden nihai bertarafına kadar [2];

- İnsan sağlığına ve çevreye zarar verecek şekilde doğrudan veya dolaylı biçimde alıcı ortama verilmesinin önlenmesine,
- Üretimini ve taşınmasının kontrolünün sağlanmasına, İthalinin yasaklanmasına ve ihracatının kontrolüne,
- Yönetiminde gerekli teknik ve idari standartların sağlanmasına, Üretimini kaynağında en aza indirilmesine,
- Üretimini kaçınılmaz olduğı durumlarda, üretildiğı yere en yakın mesafede bertaraf edilmesine,
- Yeterli bertaraf tesisi kurulması ve bu tesislerin çevresel bakımdan sağlıklı bir şekilde kontrolüne,
- Çevreyle uyumlu yönetiminin sağlanmasına, yönelik prensip, politika ve programların belirlenmesi için hukuki ve teknik esasları kapsar.

Yerli ve yabancı bayraklı gemilerin ve diğeri deniz araçlarının normal faaliyetlerinden kaynaklanan atıkların liman kabul tesislerine veya atık toplayıcı gemilere boşaltılması bu Yönetmelik kapsamı dışındadır [2].

Bu Yönetmelik 9/8/1983 tarihli ve 2872 sayılı Çevre Kanununun 8, 11 ve 12. maddesi ile 15/5/1994 tarihli ve 21935 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Tehlikeli Atıkların Sınırlar Ötesi Taşınımının ve Bertarafının Kontrolüne İlişkin Basel Sözleşmesinin üçüncü maddesine dayanılarak hazırlanmıştır. Yönetmelikte yer alan başlıklar ve ekler Çizelge 3.5'te verilmiştir [2].

Çizelge 3.5 : Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, başlıklar ve ekler [2].

Birinci Bölüm	Amaç, Kapsam, Dayanak, Tanımlar, İlkeler
İkinci Bölüm	Görev, Yetki ve Sorumluluklar
Üçüncü Bölüm	Taşıma İle İlgili Hükümler
Dördüncü Bölüm	Atıkların Geri Kazanımı ve Bertarafına İlişkin
Hükümler	
Beşinci Bölüm	Ara Depolama ve Arıtım Tesisleri İle İlgili
Hükümler	
Altıncı Bölüm	Geri Kazanım ve Bertaraf Tesislerine Çevre Lisansı
Alınması ile İlgili Hükümler	
Yedinci Bölüm	Düzenli Depolama Tesisleri İnşaatı ve İşletilmesi
Sekizinci Bölüm	Atıkların Sınırlar Ötesi Taşımını
Dokuzuncu Bölüm	Diğer Hükümler
Ek- 1	Atığı Üründen Ayıran Kriterler
Ek- 2	Bertaraf Yöntemleri ve Geri Kazanım İşlemleri
Ek 3	Doğal Karakterlerine ya da Onları Oluşturan
Aktivite'ye Göre Tehlikeli Atık Kategorileri (Atık SIVI, çamur ya da katı halde olabilir)	
Ek- 4	(Ek- 5)'te Açıklanan Özelliklere Sahip Olduğunda
Tehlikeli Olan Ek 3-B'deki Atıkların İçerikleri	
Ek- 5	Tehlikeli Kabul Edilen Atıkların Özellikleri
Ek- 6	(Ek 7)'de (M)1 İle İşaretlenmiş Atıklar İçin Tehlikeli
Atık Eşik Konsantrasyonları	
Ek- 7	Tehlikeli Atık Listesi
Ek-8	T. C. Çevre Bakanlığı Atık Beyan Formu
Ek-9/A/B/C/D/E	T. C. Çevre Bakanlığı Atık Taşıma Formu
Ek-10	Atık Bildirim Formu
Ek-11/A/B	Atıkların Düzenli Depo Tesislerine Depolanabilme
Kriterleri	
Ek-12/A	Örnek Depo Tabanı Sızdırmazlık Sistemi
Ek-12/B	Örnek Depo Üst Örtüsü Sızdırmazlık Sistemi
Ek-13	Tehlikeli Atık Ara Depolama, Geri Kazanım ve Bertaraf
Tesislerine Ön Lisans Alınması için Yapılacak	
Başvuruda Bulunması Gereken Bilgi ve Dökümanlar	
Ek-14	Tehlikeli Atık Ara Depolama Geri Kazanım ve Bertaraf
Tesislerine Lisans Verilmesinde İstenecek Belgeler	
Ek-15	Ölçüm Teknikleri
Ek-16	Dioksinler ve Dibenzofuranlar için Toksikite Eşdeğerlik
Faktörleri	
Ek-17	Yakma Tesisi Atık Gazının Arıtımından Gelen Atık su
Deşarj Limit Değerleri	
Ek-18	Tehlikeli Atık Taşınması Amacıyla Valiliklere Yapılacak
Lisans Başvurularında İstenecek Bilgi ve Belgeler.	
Ek-19	Teknik Uygunluk Raporu

Yönetmelikte yer alan Ek-1,2,5,6 ve 7 , 9 Eylül 2009 tarihli ve 27339 sayılı Resmi Gazete ile iptal edilmiştir. 30 Mart 2010 tarihli ve 27537 sayılı Resmi Gazete ile Ek 8,13,14 yürürlükten kaldırılmıştır. Ek 16 ve 17, 30 Ekim 2010 tarihli ve 27744 sayılı Resmi Gazete ile yürürlükten kaldırılmıştır. Yönetmelik incelendiğinde, Ek-11A ve Ek-11B önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu ekler, tehlikeli atıkların ilgili bertaraf tesislerinde değerlendirilirken göz önünde bulundurulacak kriterleri kapsamaktadır.

Çizelge 3.6 : Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Ek-11A [2].

		İnert Atık olarak muamele görececek atıklar (mg/lt)	Tehlikesiz Atık olarak muamele görececek atıklar (mg/lt)	Tehlikeli Atık olarak muamele görececek atıklar (mg/lt)
1	Eluat Kriterleri L/S = 10 lt/kg			
1.01	As (Arsenik)	≤ 0,05	0,05–0,2	< 0,2–2,5
1.02	Ba (Baryum)	≤ 2	2–10	< 10–30
1.03	Cd (Kadmiyum)	≤ 0,004	0,004 – 0,1	< 0,1–0,5
1.04	Cr toplam (Krom Toplam)	≤ 0,05	0,05–1	< 1 – 7
1.05	Cu (Bakır)	≤ 0,2	0,2 – 5	< 5 – 10
1.06	Hg (Cıva)	≤ 0,001	0,001– 0,02	< 0,02– 0,2
1.07	Mo (molibden)	≤ 0,05	0,05 - 1	< 1 – 3
1.08	Ni (Nikel)	≤ 0,04	0,04 – 1	< 1 – 4
1.09	Pb(Kurşun)	≤ 0,05	0,05 – 1	< 1 – 5
1.10	Sb (Antimon)	≤ 0,006	0,006 -0,07	< 0,07 -0,5
1.11	Se(Selenyum)	≤ 0,01	0,01 – 0,05	< 0,05 – 0,7
1.12	Zn (Çinko)	≤ 0,4	0,4 -5	< 5 -20
1.13	Klorür	≤ 80	80 - 1500	< 1500 – 2500
1.14	Florür	≤ 1	1 -15	< 15 -50
1.15	Sülfat	≤ 100	100 – 2000	< 2000- 5000
1.16	DOC (Çözünmüş Organik karbon) ⁽¹⁾	≤ 50	50-80	<80-100
1.17	TDS (Toplam çözünen katı)	≤400	400-6000	<6000-10000
1.18	Fenol İndeksi	≤ 0,1		
2	Orijinal atıkta bakılacak kriterler	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
2.1	TOC(toplam organik karbon)	≤30000 (%3)	50000 (% 5)- pH ≥ 6 ⁽²⁾	60000 (%6)
2.2	BTEX(benzen, toluen, etilbenzen ve xylenes)	6		
2.3	PCBs	1		
2.4	Mineral yağ	500		
2.5	LOI (Kızdırma Kaybı)			10000 (%10)

Çizelge 3.6'da, Tehlikeli Atıkların Kontrol Yönetmeliği, Ek-11A'da belirtilen Atıkların Düzenli Depo Tesislerine Depolanabilme Kriterleri yer almaktadır. TS EN 12457-4 yöntemi, katı özütleme analizidir: Sıvı katı oranı 10 lt/ kg olan ve partikül boyutu 10 mm. den küçük, yüksek katı madde muhtevalı malzemeler için tek aşamalı parti deneyidir. Tehlikeli atık için belirlenen üst sınırdan daha yüksek eluat

konsantrasyonu olan atıklar tehlikeli depolama sahasında depolanmadan önce ön işleme tabi tutulmalı ve üst sınır altına çekilmelidir. Bunun mümkün olmadığı takdirde, bu atıklar tehlikeli depolama alanında ayrı olarak (tek tür) depolanır. Eluat konsantrasyonları inert atıklar için belirlenen değerin altında kalan atıklar, inert olarak sınıflandırılırlar. Bu atıklar evsel atık düzenli depo tesislerinde veya permeabilitenin $k \leq 10^{-7}$ ve en az 1 metre kil'e eşdeğer geçirimsizliğin sağlandığının ve yer altı su seviyesine maksimum 1 metre olduğunun Bakanlığa belgelendiği alanlarda Bakanlığın uygun görüşü alınarak depolanır [2].

Çizelge 3.7 : Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Ek-11B [2].

1.01	As (Arsenik)	ISO 6595-1982 ; DIN 38405-E6-81 veya ENV 12506
1.02	Ba (Baryum)	ENV 12506
1.03	Cd (Kadmiyum)	ISO 8288-1985; DIN 38041-C5-84 veya ENV 12506
1.04	Cr toplam (Krom Toplam)	ENV 12506
1.05	Cu (Bakır)	ISO 8288-1985 ; DIN 38406-E21-80 veya ENV 12506
1.06	Hg (Civa)	ISO 566-1/3-88; DIN 38406-E21-80 veya TS EN 13370
1.07	Mo (molibden)	ENV 12506
1.08	Ni (Nikel)	ISO 8288-1985, DIN 38406-E21-80 veya ENV 12506
1.09	Pb(Kurşun)	ISO 8288-1985; DIN 38406-E6-81 veya ENV 12506
1.10	Sb (Antimon)	ENV 12506
1.11	Se(Selenyum)	ENV 12506
1.12	Zn (Çinko)	ISO 8288-1985; DIN 3840-E8-85 veya ENV 12506
1.13	Klorür	ISO-DİS 9297; DIN 38405-D1-85 veya ENV 12506
1.14	Florür	ISO DP 10 359-1; DIN 38406-D4-85 veya TS EN 13370
1.15	Sülfat	ISO-DIS 9280-1; DIN 38405-D5-85 veya ENV 12506
1.16	DOC (Çözünmüş Organik karbon) ⁽¹⁾	TS EN 13370
1.17	TDS (Toplam çözünen katı)	TS EN 13657
1.18	Fenol İndeksi	ISO 6439-1990; DIN 38409-H16-84 veya TS EN 13370
2	Orijinal atıkta bakılacak kriterler	
2.1	TOC(toplam organik karbon)	DIN 38409-113-85 veya TS 12089 EN 13137
2.2	BTEX(benzen, toluen, etilbenzen ve xlenes)	ISO-DIS 9562 veya DIN 38409-H14-85
2.3	PCBs	Gaz kromatografi (kapiler, sütunlar)
2.4	Mineral yağ	pr EN 14039 (gaz kromatografi)
2.5	LOI (Kızdırma Kaybı)	

Çizelge 3.7'de, Tehlikeli Atıkların Kontrol Yönetmeliği, Ek-11B'de eluat hazırlamak için İSO; DIN; EN ve TS standartları önerilmektedir. Ancak denenmiş referans malzemeleri bazında çalışan ve aynı özelliklere sahip olan yöntemler onaylandıktan sonra kullanılabilir [2].

Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nde kaldırılan eklerin bir kısmı Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik'te yer almaktadır. Ayrıca, Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik de termal işlemler ile atık bertarafında göz önünde bulundurulması gereken bir yönetmeliktir.

4. GAZLAŞTIRMA TEKNOLOJİSİ

Gazlaştırma, organik bileşenlerin oksijence fakir bir ortamda ısı etkisiyle fiziksel ve kimyasal olarak bozunmasıdır. Oluşan ürünler katı madde char, kül, cüruf ve sentetik gazdır. Sentez gazının başlıca bileşenleri, karbonmonoksit (CO), hidrojen (H₂), metan (CH₄), karbondioksit (CO₂), etan (C₂H₆), su (H₂O) ve azottur [26]. Sentetik gaz ısıl değere sahiptir ve tekrar yakılarak enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Proseste normal hava kullanıldığında oluşan sentetik gaz, doğal gazın ısıl değerinin % 25'ine; oksijence zengin hava kullanıldığında ise % 40'ına denk bir ısıl değere sahiptir. Üretilen gaz öncelikle kirleticilerinden temizlendikten sonra buhar kazanlarında, gaz motorlarında ve gaz türbinlerinde elektrik, ısı ve güç üretmek için kullanılabilen gibi çeşitli kimyasalların ve sıvı yakıt üretiminde kullanılabilir [4].

4.1 Gazlaştırma Prosesi

Gazlaştırma 800 ile 1800°C arasında gerçekleşir. Ancak asıl gazlaştırma sıcaklığı, yakıt türü (kömür, biyokütle, atık) ile oluşan külün yumuşama ve ergime sıcaklıklarına bağlıdır. Gazlaştırıcı sistemler genel olarak, yakıt hazırlama, gazlaştırma, gaz temizleme ve değerlendirme birimlerinden oluşur. Gazlaştırma işleminin başlangıcı, atığın yapısındaki organiklerin bir kısmının yakılarak enerji açığa çıkması, gazlaştırıcıdaki suyun buhar fazına geçmesi, uçucu bileşenlerin açığa çıkması ve sıcaklıkların gazlaştırma için yükselmesi sağlanır. Daha sonra yakıt, gazlaştırıcı içinde yüksek sıcaklığın sağlanmasıyla oksidasyon için hazır hale gelmiş olur. Kurutma bölgesinde karbonlaşmış halde olan yakıt oksidasyon bölgesinde karbonun tamamen yanması ve sadece külün kalması amaçlanır [26].

4.2 Gazlaştırma Prosesinde Meydana Gelen Reaksiyonlar

Gazlaştırma sürecinde, atık yapısındaki organik bileşenlerin reaksiyonları aşağıdaki gibidir [26]:

Yanma reaksiyonları:



Boudouard reaksiyonu:



Su-Gaz reaksiyonu:



Metanlaştırma reaksiyonu:



4.3 Gazlaştırıcı Tipleri

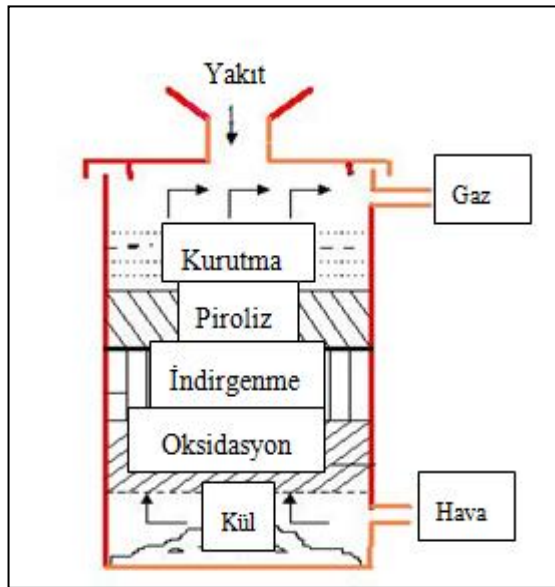
Gazlaştırıcıların tasarımında en önemli kısım gazlaştırıcıya verilecek havanın gönderiliş biçimi ve yeridir. Gazlaştırıcıların sınıflandırılması da bu tasarıma dayalıdır. Başlıca gazlaştırıcı türleri aşağıdaki alt bölümlerde tanıtılmıştır [35].

4.3.1 Sabit yataklı (fixed bed) gazlaştırıcı

Genellikle, yakıtın yer çekimi etkisiyle reaktöre beslendiği ve oksitleyici ajanın ters yönde aktığı reaktör tipidir. Bu reaktörde gerçekleşen gazlaştırma prosesinin oksijen gereksinimi azdır ancak, piroliz ürünleri sentez gazında da bulunmaktadır. Oksidasyon sıcaklıkları çok yüksek olmasına rağmen, sentez gazı düşük sıcaklıkta çıkmaktadır. Bu reaktörde büyük ebatlardaki besleme işlenebilir [36]. Yukarı Akışlı (Updraft) ve Aşağı Akışlı (Downdraft) olmak üzere iki çeşittir.

4.3.1.1 Yukarı akışlı (updraft) gazlaştırıcı

Yukarı akışlı gazlaştırıcıda gazlaştırıcıda hava akışı, yakıt akışına ters olarak ve gaz üreticinin mümkün olduğu kadar alt kısmından sağlanmıştır. Üretilen gaz ise gazlaştırıcının üst kısmından alınmaktadır. Şekil 4.1’de yukarı akışlı gazlaştırıcı görülmektedir. Yukarı akışlı gazlaştırıcılar, sıcak gazların yakıt kolonundan geçerek oldukça düşük sıcaklıkta gazlaştırıcıyı terk ettiklerinden yüksek verime sahiptirler. Gaz tarafından verilen duyulur ısı yakıtı kurutmak ve ön ısıtmak için kullanılmaktadır. Piroliz ve kurutma bölgesinde meydana gelen ürünler ise; su, katran ve yağ buharları olup bunlar oksitlenme bölgesine geçmezler. Bu nedenle bu gazlaştırıcılarda yüksek uçucu maddeye sahip yakıtların gazlaştırılması yapılıyorsa, üretilen gaz yüksek oranda katran içerecektir. Gaz kalitesini artırmak ve sıcaklığı külün ergime noktasının altında tutmak için bir çok üretici nemli hava kullanmaktadır. En önemli tasarım parametreleri ise şunlardır: Hava yüklemesinin yöntemi, gaz çıkışının pozisyonu, ızgaranın tipi ve boyutu, nemli hava girişi için ortalama buharlaşan su miktarı, ateş kutusu içi, beklenen özgül gazlaştırma oranı, yakıt yatağının yüksekliğidir [34].



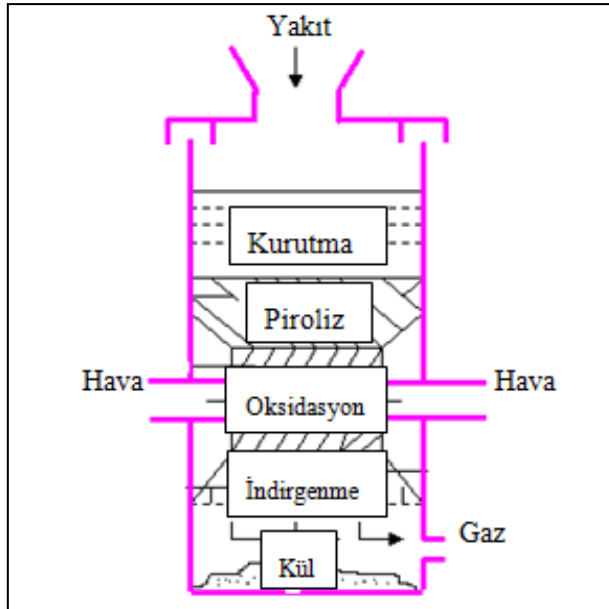
Şekil 4.1 : Yukarı akışlı gazlaştırıcı örneği [37].

4.3.1.2 Aşağı akışlı (downdraft) gazlaştırıcı

Yukarı akışlı gazlaştırıcılarda, üretilen gaz yüksek oranda katran içerdiğinden içten yanmalı motorlarda kullanılması zordur. Bu problemi ortadan kaldırmak için Aşağı akışlı gazlaştırıcılar geliştirilmiştir. Bu tipte gönderilen hava, yakıtla aynı yönde yani

aşağıya doğrudur ve gaz da gazlaştırıcının alt kısmından dışarı alınmaktadır. Şekil 4.2’de bu tip bir gazlaştırıcı görülmektedir. Bu tasarımının temel düşüncesi şu şekildedir: Piroliz bölgesinde açığa çıkan katran, yağlar ve buharlar yüksek sıcaklığa sahip değildir. Bunlar, gaz çıkışından geçmek için kısmi yanma bölgesinden de geçmek zorundadırlar. Burada yüksek sıcaklıktan geçerken parçalanarak gaza dönüşürler. Böylece gaz karışımının içerisinde çok düşük oranda katran kalır. En önemli tasarım parametreleri ise; yanma bölgesinin tasarımı, hava gönderilmesi, ızgara tasarımı, boğaz tasarımıdır. Aşağı akışlı tipteki bir gazlaştırıcının hava giriş kısmının üzerinde daraltılmış dikdörtgen bir kesit vardır. Buna boğaz adı verilir ve bu boğaz sıcak karbona homojen bir kalınlık sağlayarak piroliz gazlarının geçişine izin verir. Bu nedenle tasarımda önemli bir parametre olmaktadır. Bu gazlaştırıcılar; yüksek kül oranına, yüksek nem oranına veya yüksek cürufa sahip yakıtların gazlaştırılmasına uygun değildir [34].

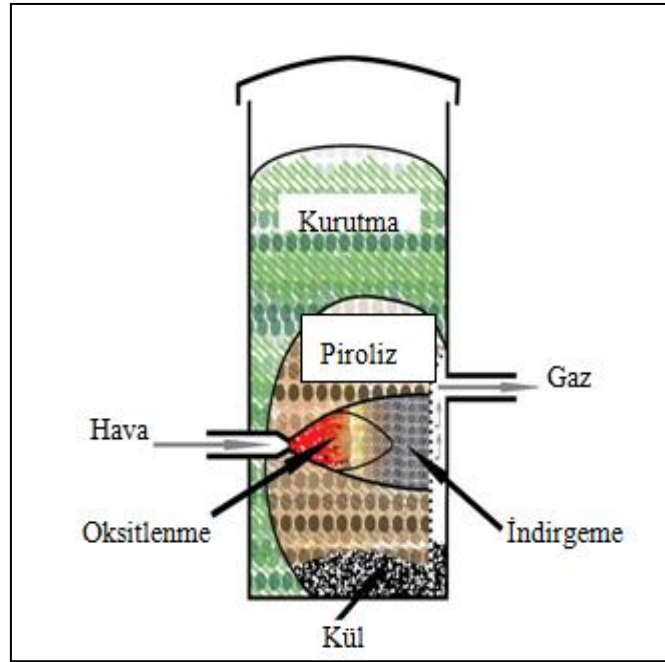
Nem oranının %20 'yi geçmesi durumunda bu sistem için bu yakıtın kullanılması uygun olmayacaktır. Eğer yakıtın kül oranı yüksekse bu durumda ızgaranın döner olması gerekecektir. Bu gazlaştırıcı için önerilen en yüksek kül oranı %5 civarındadır. İlave buhar veya suyun sisteme verilmesi aşağı akışlı gazlaştırıcılarda çok kullanılmaz. Hidrojen üretimi için yakıt ve havadaki nem yeterli olmaktadır.



Şekil 4.2 : Aşağı akışlı gazlaştırıcı örneği [37].

4.3.1.3 Çapraz akışlı (crossdraft) gazlaştırıcı

Çapraz akışlı gazlaştırıcı, en basit ve hafif gazlaştırıcı tipidir. Bu gazlaştırıcılarda, hava yüksek hızla gazlaştırıcıya girer, gerekli sirkülasyonu sağladıktan sonra yakıtı doğru hareket eder. Bu da küçük hacimlerde yüksek sıcaklıklara ulaşılmasını, düşük katran içerikli gazın oluşmasını sağlar. Ancak, yüksek sıcaklıklarda külün ergimesi sonucu yapışma ve tıkanmaların olması söz konusu olduğu için bu reaktörlerde düşük kül içeriği olan yakıtlar tercih edilmelidir [38]. Yukarı ve Aşağı akışlı gazlaştırıcılara karşı fazla tercih edilmezler. Şekil 4.3'te örnek bir çapraz akışlı gazlaştırıcı görülmektedir. Bu tip gazlaştırıcıların en büyük dezavantajları ise; gaz çıkış sıcaklığının yüksek olması, yüksek gaz hızı, CO₂ indirgemesinin zayıf olmasıdır. Crossdraft gazlaştırıcılarda gaz çıkışı da diğer tiplerden farklıdır [34].



Şekil 4.3 : Çapraz akışlı gazlaştırıcı örneği [37].

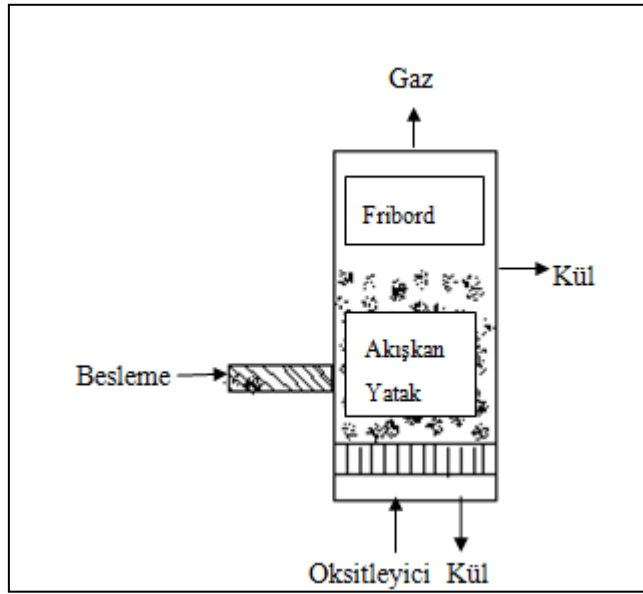
4.3.2 Akışkan yataklı (Fluidized bed) gazlaştırıcı

Akışkan yatak gazlaştırma proseslerinde, oksitleyicinin hem reaktant olma hem de yatağın akışkanlaştırılmasını sağlamak üzere iki fonksiyonu vardır. Modern gazlaştırma sistemlerinde oksitleyici olarak oksijen/su buharı karışımları kullanılmaktadır. Ancak, enerji üretimi söz konusu ise hava da kullanılabilir. Bu tip gazlaştırıcılarda, partikül boyutu akışı sağlayan gazın kaldırabileceği durumda olmalıdır. Bu partiküllerin çoğunluğunu kül ve inert maddeler oluşturmaktadır. Bu nedenle kül ergime sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda çalışılmamalıdır. Tipik

akışkan yatak gazlaştırıcıları işletme sıcaklıkları kömür için 950-1100°C ve biyokütle için 800-950°C'dir [36]. Akışkan yataklı gazlaştırıcılar uzun dayanma süresi kadar daha iyi bir karışım sağlanabilmesi, optimum kinetik, partikül/gaz etkileşimi ve ısı transferi bakımından avantajlara sahiptir. Akışkan yataklı gazlaştırıcılar kabarcıklı ve sirkülasyonlu gazlaştırıcılar olmak üzere ikiye ayrılabilirler.

4.3.2.1 Kabarcıklı akışkan yatak gazlaştırıcılar

Kabarcıklı akışkan yatak gazlaştırıcılar, iyi bir sıcaklık kontrolü, yüksek dönüşüm oranı, iyi bir ayrışma potansiyeli, katalitik işlemlerin mümkün olması, hammadde miktarı ve nem içeriğine ve partikül boyutlandırılmasına toleranslı gazlaştırıcılardır [37]. Bu gazlaştırıcılarda oluşan gazın katran içeriği yukarı ve aşağı akışlı gazlaştırıcılar arasındadır. Şekil 4.4'te tipik bir kabarcıklı akışkan yatak gazlaştırıcısı yer almaktadır [26].

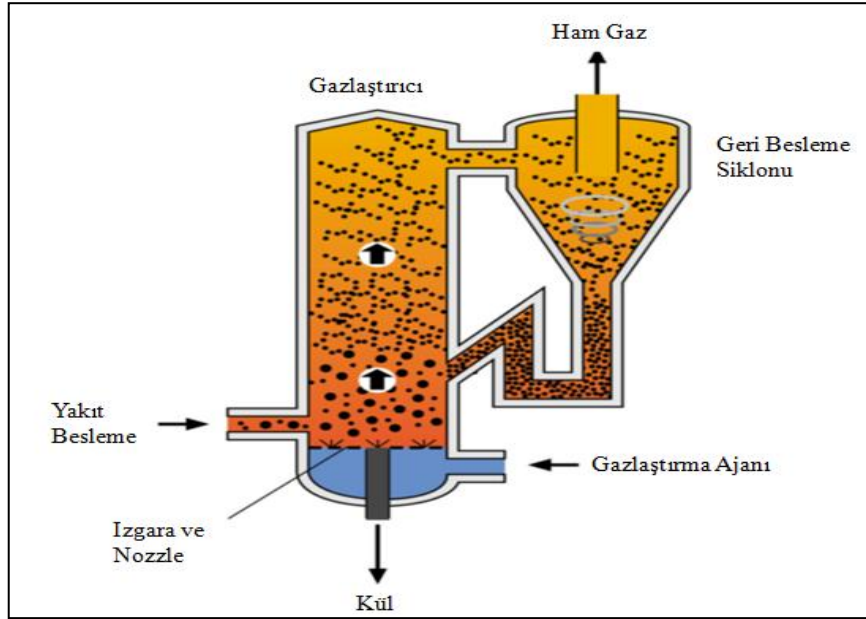


Şekil 4.4 : Kabarcıklı akışkan yatak gazlaştırıcı örneği [26].

4.3.2.2 Sirkülasyonlu akışkan yatak gazlaştırıcılar

Sirkülasyonlu akışkan yatak gazlaştırıcılar, özellikleri bakımından pek çok avantaj sağlamaktadır. Isıl gücü 10 MW'dan yüksek yakıt üretimi için daha uygundur. Bu gazlaştırıcılar daha fazla sirkülasyon hızı sağladıkları için klasik akışkan yataklara göre daha verimlidir. Bu tipte, biyokütle ya da atık gibi karakterizasyonu kompleks olan yakıtların kullanılmasında bir kısıtlama yoktur. Çünkü, beslemenin boyutu ve şekli bu tipte çok etkili değildir.

Sirkülasyonlu akışkan yatak gazlaştırma sistemi ile ilgili alternatif sunan iki firma Envirotherm and Foster Wheeler'dır [36]. Lurgi tarafından tasarlanan Envirotherm'e ait gazlaştırıcı modeli Şekil 4.6'da verilmiştir.



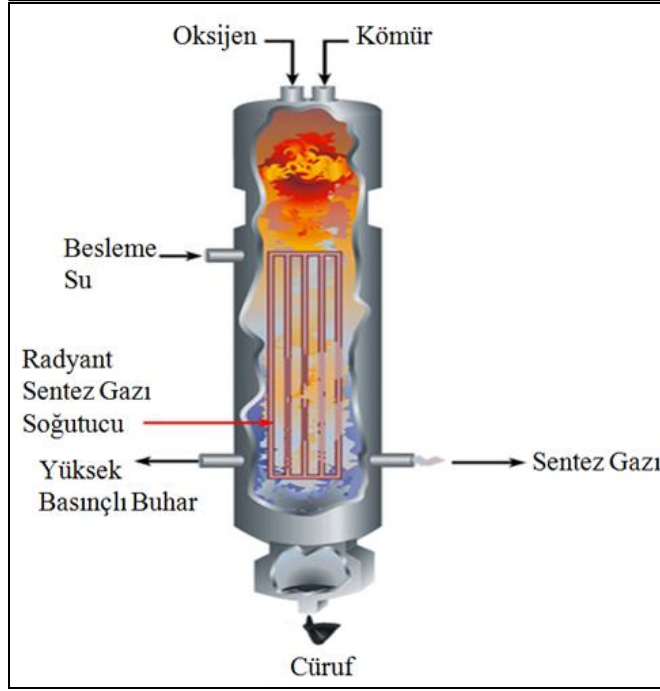
Şekil 4.5 : Lurgi sirkülasyonlu akışkan yatak gazlaştırıcı örneği [39].

Şekil 4.5'de görüldüğü gibi Lurgi Sirkülasyonlu Akışkan Yatak sistemi, reaktör, entegre geri besleme siklonu ve iletili boru hattından oluşmaktadır. Sistemde yüksek gaz akış hızı (5-8 m/sn) ile büyük partiküllerin çoğunluğunun reaktörün üst kısmından sürüklenmeleri sağlanır. Gazdan ayrılan partiküller siklondan reaktöre tekrar beslenir. Genellikle gazlaştırma ajanı olarak kullanılan hava, birincil olarak ızgara üzerindeki püskürtücülerden (nozzle), ikincil olarak yakıtın beslendiği noktanın üzerindeki bir noktadan reaktöre verilir [36].

4.3.3 Sürüklemeli yatak (Entrained bed)

Bu reaktörlerde genellikle yakıt ile oksitleyici akım aynı yönde beslenir. Yakıt olarak genellikle kömürün uygun olduğu bir gazlaştırıcıdır. Yakıtın reaktör içinde bulunma süresi oldukça kısadır. Kütle aktarımı ve gaz taşınım veriminin artırılması için besleme 100 µm'den daha küçük boyuta öğütülür. Kısa temas süresi ve yüksek sıcaklıklar reaksiyon veriminin de yüksek olmasını sağlamaktadır. Yüksek sıcaklık ile aynı zamanda yağ ve katranlarda parçalanması ve oluşan sentetik gazın metan bileşeni düşük olduğu için, en kaliteli sentetik gaz bu gazlaştırıcılardan elde edilmektedir. Bu nedenle, bu tip gazlaştırıcılar kül ergime sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda işletilmektedir.

Prosesin yüksek sıcaklıkta gerçekleşmesi yüksek oksijen ihtiyacını da oluşturmaktadır. Bu tip gazlaştırıcılar besleme ile ilgili teknik bir kısıtlama getirmez ancak beslemenin nem ve kül özelliklerinin yüksek olması diğer proseslerin o besleme için daha ekonomik olma ihtimalini de ortaya çıkarır [36]. Şekil 4.6'da tipik bir sürüklemeli yatak gazlaştırıcı örneği verilmiştir.

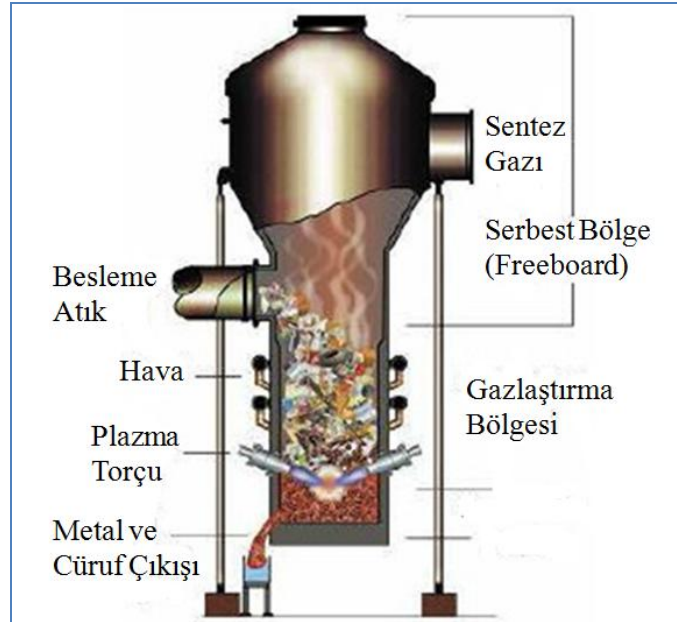


Şekil 4.6 : Üstten ateşlemeli sürüklemeli yatak gazlaştırıcı örneği [40].

4.3.4 Plazma gazlaştırıcılar

Plazma gazlaştırma, çevre dostu ve ileri teknoloji ile gerçekleşmektedir. Bu gazlaştırıcılarda atıklar oksijence fakir ortamda, yakma olmaksızın çok yüksek sıcaklıklarda bozunarak küçük moleküllere dönüşürler. Klasik yakma ile karşılaştırıldığında oluşturduğu cüruf ve hava emisyon değerleri çok düşüktür. Klasik gazlaştırıcıların da çalışma sıcaklığı 400-850 °C arasındadır. Bu gazlaştırıcılara kısmi yakıcılar da denebilir ve bu sistemlerde yakıtın bir kısmı proses başlangıcı için gerekli ısı ihtiyacını karşılamak için yakılır [41]. Plazma gazlaştırıcıda, proses için gerekli enerji dış bir kaynaktan sağlanır, yakıtın çok az kısmı yanar. Böylece, karbon bileşenlerinin büyük bir çoğunluğu sentetik gaza dönüşür. Yüksek sıcaklıktan dolayı, tüm yağ, katran ve charlar da parçalanır. Elde edilen sentetik gaz daha temizdir ve gazlaştırıcıda taban külü kalmaz [42]. Şekil 4.7'de örnek bir plazma gazlaştırıcı verilmiştir.

Atık ya da diğer yakıtlar 2000°C plazma sıcaklığına sahip gazlaştırıcıya beslenirler. Plazmaya temas eden atıkların sıcaklığı 2000°C'nin üstüne çıkar; atıklar hidrojen, karbon monoksit, karbon dioksit, su buharı ve metan gibi küçük moleküllere dönüşürler. Bu gazlar sürekli olarak reaktörden gaz soğutma ve temizleme ekipmanlarına beslenirler. Oluşan kül ve diğer inorganik maddeler eriyerek sıvı kompleks bir silikat formunda reaktörün altına akarlar. Oluşan sıvı silikat eritilmiş form, daha sonra su ile soğutma haznesine alınarak toksik olmayan, sızıntı problemi oluşturmayan katı bir silikata dönüşür. Erimeyen metallerin çoğunluğu buharlaşmıştır, gaz soğutma ünitesinde yoğunlaşarak tekrar küçük taneli metal formları oluştururlar. Oluşan sentetik gaz orta dereceli ısı değere sahiptir ve enerji üretim santrallerinde kullanılabilirler [42].



Şekil 4.7 : Plazma gazlaştırıcı örneği [43].

4.4 Sentez Gazının Temizlenmesi ve Değerlendirilmesi

Gaz üreticiden çıkan gaz bir karışım olarak N_2 , H_2 , CO_2 , CO , CH_4 ve az miktarda C_2H_2 , C_2H_6 , katran buharı, mineral buharı, su buharı, toz (karbon ve kül), kükürt ve azot bileşiklerinden oluşur. Bunların içinde yanabilir olanlar ise şunlardır: H_2 , CO , CH_4 , C_2H_2 , C_2H_6 ve katran buharıdır. Diğerleri katran dahil korozif ürünlerdir ve sentez gazından temizlenmeleri gerekir.

Sentetik gaz, yakma sisteminde ısı üretmek amacıyla kullanılıyorsa yukarı akışlı gazlaştırıcı kullanılır, bu durumda da gazın temizlenmesine gerek yoktur. Ancak, gaz motor uygulamasında kullanılacaksa, motorun zarar görmemesi için gazın temizlenmesi gerekir [34].

Temiz gaz üretimi için birinci adım, minimum katran çıkışına izin veren bir gazlaştırıcı tasarlamaktır, ikinci adım ise; parça, katran, su gibi elemanların gazdan uzaklaştırılması için kullanılacak sistemlerin basit ve ucuz olarak sağlanmasıdır. Gazlaştırıcıdan gelen gaz derhal ve ani bir işlemde soğutulursa katran ve suyun tamamı birden ve katranımsı kıvamda uzaklaştırılır. Şayet 300 °C sıcaklığın üzerinde bir temizleme yapılırsa, katran 100 °C sıcaklığın üzerinde uzaklaştırılırken suyun uzaklaştırılması için gaz sıcaklığının 30-40 °C'a düşürülmesi gerekir. Böylece katran ve su gazdan ayrı ayrı alınır. Verimli bir gaz temizlemede üçüncü adım ise toplanan materyalin çökeltilip saklanacağı uygun bir yer seçimi yapmaktır. Siklon ayırıcılar, basit ve ucuz toz ve damla tutuculardır. Gazlaştırıcılarda yaygın olarak kullanılırlar. Sıcak gaz içerisindeki 10 mikrondan daha büyük parçaları siklon ayırıcılarla tutmak mümkündür [34].

Sentetik gazın içerdiği HCl ve HF gibi bileşenleri asit yıkama biriminde uzaklaştırılır. Asitlerin uzaklaştırılmasıyla, uçucu ağır metaller de yıkama suyunda metal iyonları olarak çözünürler. Ancak, SO₂ ve CO₂ gibi zayıf asitlerin de çözünebilmesi için sentetik gaz asidik yıkamadan sonra bu sefer de alkali yıkama havuzuna gönderilir. Daha sonra sentetik gaza, H₂S uzaklaştırılması için desülfürizasyon yıkaması yapılarak elementel kükürt eldesi sağlanır [3].

4.5 Termal İşlemler Sonucu Oluşan Katı Atıklar

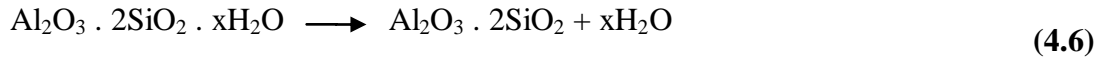
Termal proste işlenen yakıtlar (kömür, biyokütle ya da atıklar), yapılarındaki inorganik bileşime bağlı olarak, değişen oranlarda katı atık oluşturmaktadır. Ancak, char gibi gazlaştırma sonucu oluşan atıklarda organik bileşikler de bulunmaktadır. Gazlaştırma prosesi sonucu oluşan katı atıklar, gazlaştırıcıdan % 2-9, partikül kontrol ekipmanından % 5-10, kazandan %3-6 oranından elde edilen char ve külden oluşmaktadır [44].

Kömürün yanması sonucunda yapısındaki inorganik maddeler klinker oluşumu, uçucu kül, cüruflaşma ve kazan tüpü korozyonu gibi problemlere sebep olmaktadır. Bu nedenle bir yakma ünitesinin verimi, oluşan kül miktarına da bağlıdır. Atıkların da yakma ya da gazlaştırma prosesleri sonucu oluşturdukları kül benzer problemler oluşturmaktadır. Çünkü, atıklarda da kömür gibi bir heterojenlik söz konusudur [45].

Külün yapısında bulunan inorganik maddeler genellikle beş gruba ayrılır: Alüminosilikatlar (Kil mineralleri), Sülfid ve Sülfat mineralleri, Karbonat mineralleri, Silikat mineralleri (çoğunlukla Kuartz) ve yakıtın yapısına göre içerebileceği karakteristik ya da çok az miktardaki diğer minerallerdir [45].

Uçucu kül oluşumu sırasında meydana gelen fiziksel dönüşümler: 1) Herbir mineral taneciğinin char oluşturmak üzere birleşmesi, 2) Kül partiküllerinin char yüzeyinden dökülmesi, 3) Char bütünlüğünün bozulmasından dolayı eksik birleşme, 4) Uçucu maddelerin ayrılması (devolatilization) süresince, kül char yüzeyinden konvektif taşınımı, 5) İnorganik mineral partiküllerin parçalanması, 6) Hafif, inert küresel taneciklerin (cenosphere) oluşması, 7) Buharlaşma ve sonrasında sentetik gazın temizlenmesi sırasında inorganik bileşenlerin yoğunlaşmasıdır [46].

Kil minerallerinin oksitlenme sonucu, iç yapılarında bulunan su uzaklaşır [45]:



Yüksek sıcaklık kül oluşumu sırasında, pirit ve markazit (FeS_2), ferrik sülfata [$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$] ve sülfür dioksit (SO_2) dönüşür. Kükürt dioksitin bir kısmı külde kalsiyumla kombine olarak kalsa da çoğunluğu kaybolmaktadır. [45]:



Yüksek sıcaklık kül oluşum sırasında, kalsiyum karbonat (Kalsit, CaCO_3) kirece (CaO) kalsitlenir. Aynı zamanda CO_2 'te açığa çıkmaktadır [45]:



Diğer metal karbonatları da benzer davranışlar göstermektedir (Yani, kül oluşumu boyunca oksitler oluşur). Yüksek sıcaklık kül oluşumu sırasında stabil davranan tek belirgin mineralin silika (Silisyum dioksit, Silika, SiO_2) olduğu gözlenmiştir [45].

Küldeki sülfatlar iki kaynaktan oluşmaktadır: 1) Hammaddede bulunan kalsiyum ya da magnezyum sülfatlar, 2) Yanma sırasında oluşan külün temel bileşikleri tarafından absorplanan kükürt oksitlerin oluşturduğu sülfatlar. Ancak, birinci kaynaktan oluşan sülfatların miktarı oldukça azdır ve absorplanan miktarla kıyaslandığında ihmal edilebilir [45].

Yanma sırasında, organik klorürler bozduklarında atomik klorün hidroklorik asite dönüşmesi meydana gelirken, inorganik klorürler hidroklorik asitin serbest kalmasıyla bozunurlar ve metal oksitleri kalır [45].

Oksijen ve kükürt dışında kül yapısında bulunan elementler, konsantrasyonlarına göre sınıflandırılabilir [45]:

- Ana (Major) elementler: Konsantrasyonu ağırlıkça % 0.5'ten büyük olan elementlerdir. Ör: Al, Ca, Fe, Si.
- İkinci derece (Minor) elementler: Konsantrasyon aralığı ağırlıkça % 0.02 ile % 0.5 arasında değişen elementlerdir, P, Ba, Sr, B ve diğerleri.
- İz (Trace) elementler: Konsantrasyonu ağırlıkça % 0.02'den daha az olan tüm inorganik elementlerdir. Ametallerin çoğu, metallere göre daha uçucu olmalarına rağmen külde daha çok miktarda bulunmaktadır.

Külün yapısının aydınlatılması, metal bileşenlerinin tayin edilmesi için pek çok araştırma yapılmıştır. Bu araştırma, sadece önemli metallere değil aynı zamanda iz elementlerin de yapı ve miktarları ile ilgili araştırmaları içermektedir [45].

Kül analizi için genellikle ASTM standartlarından yararlanılmaktadır: ASTM D-1757 ile sülfat kükürdünün tayini yapılmaktadır. ASTM D-3682 metodu ile silisyum, alüminyum, demir, kalsiyum, magnezyum, sodyum, potasyum ve titanyum elementleri atomik absorpsiyon ya da emisyon spektroskopisinden yararlanılarak tayin edilmektedir. Külde çok yaygın bulunmayan berilyum, krom, bakır, mangan, nikel, kurşun, vanadyum, çinko ve kadmiyum da ASTM D-3683 metoduna göre atomik absorpsiyon ile tayin edilebilir. ASTM D-4326 metoduna göre, karbon, hidrojen, oksijen ve azot elementleri dışındaki pek çok element XRF cihazı ile analiz edilebilir. Uygun standartlar olduğu sürece, küldeki önemli ve iz elementlerin derişimleri tayin edilebilir. Kömür külündeki minerallerin kalitatif ve kantitatif analizleri için 650 ile 200 cm^{-1} 'deki infrared absorpsiyon bantları kullanılabilir. Bu prensipteki ASTM D-5016 yöntemi ile küldeki kükürt tayini yapılabilir. ASTM D-

6349 yöntemine göre, İndüktif Olarak Çiftleşmiş Plazma / Atomik Emisyon Spektrometre (Inductively Coupled Plasma, ICP-Atomic Emission Spectrometry) cihazı kullanılarak da külün elementleri tayin edilebilir. Tüm çalışmalarda çözelti hazırlama prosedürü önemlidir, çözeltiler hazırlandıktan sonra metodlar tarafından önerilen cihazlarda analizler yapılır. Külün mineral maddesinde bulunan iz elementlerin tayini için kullanılan diğer yöntemler: Kıvılcım Kaynaklı Kütle Spektroskopisi (Spark-Source Mass Spectrometry, SSMS), Nötron aktivasyon analizi (Neutron activation analysis), X-ray difraksiyon analizi (X-ray diffraction analysis), Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscopy, SEM), Optik Emisyon Spektroskopisi ve Atomik Absorpsiyon Spektroskopisidir [45].

4.6 Gazlaştırma Teknolojisinin Diğer Termal Yöntemlerle Karşılaştırılması

Gazlaştırma ile klasik yakma teknolojisi arasındaki en temel fark gazlaştırmada oksijenin gerekli stokiometrik değerinden az olması iken yakma da fazla olmasıdır. Yakma prosesinde organik bileşenler oksidasyon yoluyla parçalanır; gazlaştırma ve piroliz de maddeler ısı parçalanma yoluyla parçalanırlar. Bu nedenle, yakma sonucunda yakma gazları oluşurken, gazlaştırmada yanabilen gazlar oluşmaktadır [26].

Yakma ve gazlaştırma teknolojilerini karşılaştırmak amacıyla, bu teknolojilerde kullanılan alt sistemler dört grupta incelenebilir: 1) Yakıt hazırlama ve besleme, 2) Yakma ve gazlaştırma, 3) Yakma gazı temizleme ve sentez gazını temizleme, 4) Kalıntı ve kül/cüruf depolama. Çizelge 4.1'de prosesler arasındaki en belirgin farklılıklar özetlenmiştir [47].

Çizelge 4.1 : Gazlaştırma ve yakma arasındaki belirgin farklılıklar [47].

Termal İşlemler	Klasik Yakma	Gazlaştırma
Proses Özellikleri	Yakıtın CO ₂ ve H ₂ O'ya maksimum dönüşümünü sağlamak üzere tasarlanmıştır.	Yakıtın CO ve H ₂ 'ye maksimum dönüşümünü sağlamak üzere tasarlanmıştır.
	Yüksek miktarda hava/oksijen kullanımı	Kısıtlı miktarda hava/oksijen kullanımı
	Oldukça yükseltgeyici ortam	İndirgeyici ortam
	Kül ergime sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda çalıştırılır. Yakıttaki mineral madde, taban ve uçucu küle dönüşür.	Kül ergime sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda çalışılır. Mineral maddeler camsı cürufa ve ince toz maddeye dönüşür (Char).
Gaz Temizleme	Atmosferik basınçta temizleme	Yüksek basınçta temizleme
	Temizlenen gaz atmosfere verilir.	Sentetik gaz kimyasal madde ya da enerji üretimi için arıtılır, atık gaz (yakma gazı) da arıtmadan sonra atmosfere verilir.
	Atık beslemedeki kükürt, SO _x 'e dönüşür ve atık gazla ayrılır.	Atık beslemedeki kükürt H ₂ S'e dönüşür, katı formda elementel kükürt ya da sülfirik asit yan ürünü olarak geri kazanılır
Atık ve Kül/Cüruf Takibi	Taban ve uçucu kül, tehlikeli atık olarak toplanır, arıtılır ve bertaraf edilir.	Reaktör modeline bağlı olarak char ve kül oluşur. Char, belli bir ısıl değere sahip inorganik maddelerce zengin bir katı olup tekrar termal işlem görebilir. Oluşan cüruf sızıntı problemi oluşturmayan tehlikesiz bir maddedir ve yapı malzemesinde kullanılmaya uygundur.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Amaç ve Deneysel Çalışma Kapsamı

Bu çalışmada, çoğunlukla tehlikeli atıklardan oluşan endüstriyel atıkların gazlaştırılması, gazlaştırma prosesi sonucu oluşan katı atık char, reaktör siklonlarından alınan tozlar ve dönemsel olarak reaktörlerde oluşan klinker maddelerinin karakterizasyonu çalışmaları yapılmıştır. Karakterizasyon çalışmaları kapsamında numunelerin ASTM standartlarına göre ısı değeri, nem ve kül tayinleri yapılmıştır. Daha sonra, numunelerin asitte çözme, soda eritme ve yaş metod gibi yöntemlerden yararlanılarak hazırlanan çözeltileri ICP-OES cihazında analiz edilerek metal içeriği belirlenmiştir. TAKY-Ek/11A kapsamında char ve siklon tozlarının düzenli depolamaya gitmeden önce bir ön arıtma gereksinimi olup olmadığının belirlenmesi amacıyla TS EN 12457-4 yöntemi ile su ile özütleme (leach) testi yapılmıştır. Char, siklon tozları ve klinker numunelerinin XRF ve XRD analizleri de gerçekleştirilerek fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Char numunelerinin SEM analizleri de gerçekleştirilerek madde yüzey yapısının incelenmesi amaçlanmıştır.

5.2 Gazlaştırma Tesisi ve Deneysel Kullanılan Endüstriyel Atıklar

Bu tez çalışmasında incelenen numuneler, gazlaştırma teknolojisi ile endüstriyel atık bertarafı gerçekleştiren Ekolojik Enerji A.Ş.'den alınmıştır. Ekolojik Enerji A.Ş.'nin geliştirmiş olduğu Entegre Atık Yönetimi ve Temiz Enerji Üretim Tesisi; laboratuvar, atık kabul, atık ön hazırlık, kimyasal ve biyolojik çamur kurutma, katı atık kurutma, kırma, briketleme, evaporasyon ve susuzlaştırma, gazlaştırma reaktörleri, gelişmiş gaz temizleme, enerji geri kazanım ve elektrik üretim ünitelerinden oluşmaktadır.

Tesis; evsel atık, biyokütle, endüstriyel ve tehlikeli atıkların bertarafında, atıkları bertaraf edip enerji geri kazanmak suretiyle katkıda bulunmaktadır. Kemerburgaz-İstanbul tesisinde Mayıs 2007 - Ağustos 2009 tarihleri arasında 170 farklı gruptan, 22,000 ton evsel ve endüstriyel (tehlikeli - tehlikesiz) enerji geri kazanım amaçlı atık kabulü gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmalarda, 1 ton/saat kapasiteli aşağı akışlı gazlaştırıcılara beslenen atıklar, gazlaştırma prosesi sonucu oluşan katı atıklar (char, siklon tozu ve klinker) alınış tarihi ve saatlerine göre kodlanarak analiz edilmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir. Gazlaştırma tesisi, çeşitli firmalardan çok sayıda tehlikeli ve tehlikesiz endüstriyel atıktan oluşan bir atık envanterine sahiptir. Numuneler, bu atık envanterinden hazırlanan formülasyonların oluşturulduğu dönemlerde toplanmıştır. Atıkların içeriği ile ilgili genel bir liste Çizelge 5.1’de yer almaktadır.

Çizelge 5.1 : Numune toplama sürecinde reaktörlere beslenen karışımlarında bulunan, çeşitli firmalardan gelen atık türleri ve özellikleri [48].

Malzeme	Nem (%)	Kül (%)	Üst Isıl Değer (kcal/kg)
Kağıt, Naylon, Tekstil ağırlıklı Kontamine	11,5	33,3	4222
Asetonlu Tutkal Atığı	33	5,5	7100
Fitil Tozu	-	0	7223
2. Kalite Polimer	-	0	5267
Atık Reçine	-	0,9	6685
Donuk Gres	-	3,3	9808

Numuneler, Çizelge 5.1’de belirtilen atık türleri dışında pek çok çeşit endüstriyel atık içermektedir. İlaç, kozmetik, petrokimya, tekstil, boya, kaplama, kimya, turizm, gıda, tütün, tersane, imalathane gibi pek çok sektör ve alandan atık çeşitlerinin gelmesi söz konusudur. Örnek verilen atık türleri dışında boya çamurları, atık yağlar, fuel-oil, tank dibi çamurları, solvent içerikli sıvılar, gıda aromaları, esanslar, aktif karbon, polimer tozları gibi çeşitler de atık içeriğini oluşturmaktadır. Bu atıklar, gazlaştırıcılar için optimum nem, kül ve ısıl değeri sağlayacak şekilde bir formülasyon sonucu harmanlanır ve reaktöre beslenir.

Deneysel çalışmalar boyunca kullanılan numuneler: “Kontamine” reaktöre beslenen harmanlanmış atık karışımı, “Char” gazlaştırma prosesi sonucu düşük ısıl değere sahip ve inorganik bileşenler içeren, kül olarak da kabul edilebilecek katı atıkları, “Siklon Tozu” sentez gazının yapısındaki taneciklerden temizlenmesi amacıyla kullanılan siklondan alınan tozları ifade etmektedir. “Klinker” reaktörde malzeme içeriğine, yüksek sıcaklığa ve işletme koşullarına bağlı olarak zamanla reaktör boğazında yapışmaların meydana gelmesi ile oluşan çok sert katılaşmış maddelerdir.

5.2.1 Numunelerin hazırlanması

Numuneler, gazlaştırma tesisi reaktörlerine beslenen atıklar, gazlaştırma sonucu kalan char, siklon tozları ve klinkerlerden oluşmaktadır. Toplanan numuneler, nemleri uzaklaştırıldıktan sonra öğütülerek homojen hale getirilmiştir. Numuneler, Çizelge 5.1’de belirtilen atık türleri dışında pek çok çeşit endüstriyel atık içermektedir. İlaç, kozmetik, petrokimya, tekstil, boya, kaplama, kimya, turizm, gıda, tütün, tersane, imalathane gibi pek çok sektör ve alandan atık çeşitlerinin gelmesi söz konusudur. Çizelge 5.1’de kısaca örnek verilen atık türleri dışında boya çamurları, atık yağlar, fuel-oil, tank dibi çamurları, solvent içerikli sıvılar, gıda aromaları, esanslar, aktif karbon, polimer tozları gibi çeşitler de atık içeriğini oluşturmaktadır. Bu atıklar, gazlaştırıcılar için optimum nem, kül ve ısı değerini sağlayacak şekilde bir formülasyon sonucu harmanlanır ve reaktöre beslenir.

Klinker oluşumu, proseste ortaya çıkan bir işletme problemidir. Bu nedenle klinker örneklerinin de analizleri yapılmıştır. Kontamine ve Char numuneleri, 16.10.2010, 18.10.2010, 01.11.2010, 03.11.2010, 13.11.2010 ve 25.12.2010 tarihlerinde alınmış olup; ilk üç tarihte, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00 ve 17:30 saatlerinde, diğer günlerde farklı saat periyotlarında örnekler alınmıştır. Saat 17:30’da sadece char örnekleri alınmıştır. 16.10.2010, 18.10.2010, 01.11.2010, 03.11.2010 tarihli char numuneleri Gazlaştırıcı-1’den (G-1); 13.11.2010 tarihinde hem G-1 hem G-3’ten olmak üzere iki ayrı char numunesi; 25.12.2010 tarihinde ise Gazlaştırıcı-2’den (G-2) char numuneleri alınmıştır. 19.01.2011, 20.01.2011 tarihlerinde hem G-1 ve G-2 gazlaştırıcılarına ait siklonlarından; 22.01 ve 24.01.2011’de sadece G-1’den siklon tozu numuneleri alınmıştır. 29-30.10.2010, 06.12.2010, 09.12.2010’da G-2’den; 19.12.2010 ve 25.01.2011 tarihlerinde G-1’den klinker örnekleri alınmıştır.

5.3 Kullanılan Cihazlar ve Yöntemler

5.3.1 Nem analizi

ASTM D-3173 standardına göre, seçilen günlerde, periyodik olarak toplanan numuneler $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de 1 saat tutulur [49]. THERMO 3608-6CE marka etüv kullanılarak gerçekleştirilen deneyde, M_1 ve M_2 numunelerin ilk ve son ağırlıkları olmak üzere, nem miktarı aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$\% \text{ Nem} = [(M_1 - M_2) / M_1] * 100 \quad (5.1)$$

5.3.2 Numunelerin öğütülmesi ve numune alma

Numunelerin nem tayini yapıldıktan sonra, çeşitli atıkların bulunduğu örneğin homojen hale getirilmesi amacıyla, Fritsch Pulverisette P19/P25 marka kırıcı ile kontamine örnekleri için 2 mm trapez perforasyonu; char ve klinker örnekleri için 1 mm trapez perforasyonu türü elekler kullanılarak öğütülmüştür. Siklon tozları, 1 mm'den küçük boyuttadır. Öğütülen numunelerden, homojen bir dağılım sağlanması amacıyla TS EN 932-1 yönteminde yer alan çeyrekleme yöntemi ile analiz numuneleri hazırlanmıştır [50].

5.3.3 Kül analizi

Bu analiz, Protherm PLF 12017 marka kül fırınında yapılmıştır. ASTM D3174 - 04(2010) yöntemine göre, nemi uzaklaştırılmış olan numune, porselen krozede tartılır. İki saat 750°C 'de bekletilir ve sonrasında desikatörde soğutulur. Tekrar tartım yapıldıktan sonra kül miktarı hesaplanır [51].

$$\% \text{ Kül} = [(A - B) / C] * 100 \quad (5.2)$$

A: Kroze ve içinde kalan kül kalıntı (gr) ağırlığı,

B : Boş kroze ağırlığı (gr),

C : Başlangıç numune ağırlığı (gr).

5.3.4 Isıl değer tayini

Reaktöre beslenen atıkların ısıl değerlerinin tayinleri karakterizasyonları açısından önemli bir analizdir. ASTM D 5468-95 yöntemine göre atıkların ısıl değer tayinleri yapılmıştır. Bu amaçla, LECO AC 500 markalı adiyabatik bomba kalorimetre cihazı ile atıkların kuru baz üst ısıl değerleri kcal/kg olarak tayin edilmiştir. Buna göre, maksimum 0,95 gr numune tartılarak kalorimetre krozesine yerleştirilir. Yaklaşık 8 dakika süren analiz sonucunda atığın kuru bazda üst ısıl değeri ölçölmüş olur [52].

5.3.5 Çözme yöntemleri

EPA 3050B Asitte Çözme yöntemi ile kontamine, char ve siklon tozlarından; Soda Eriş Yöntemi ve Yaş Metod ile klinker örneklerinden elde edilen çözeltiler Perkin Elmer, Optima 2100 DV marka ICP-OES cihazında metal analizleri için kullanılmıştır.

5.3.5.1 EPA 3050B yöntemi

Balon jojeye 2 gr numune tartılır ve üzerine 1:1 oranında 10 ml'lik HNO₃ eklenir. Çözelti riflaks altında 95°C'ye ısıtılır ve bu sıcaklıkta kaynama olmaksızın 95°C ± 5°C'de 5 dakika ısıtılır. Sonra numune soğtülür, ve tekrar 5 ml HNO₃ eklenir. Asit eklendikçe, numunede oksidasyon ile parçalanmanın göstergesi olarak kahverengi duman oluşmaktadır. Asit ekleme, ısıtma ve soğutma işlemleri kahverengi buharları oluşmayana kadar devam ettirilir. Son olarak çözelti 95°C ± 5°C'de 10 dakika kaynatılmadan ısıtılır.

Çözelti soğutulduktan sonra, 10 ml H₂O₂ azar azar eklenir ve 15 dakika 95°C ± 5°C'de ısıtılır. Çözelti tekrar soğuduktan sonra, 5 ml HCl ve 10 ml saf su eklenerek 95°C'ye ısıtılır ve 95°C ± 5°C'de riflaks altında kaynama olmaksızın 5 dakika ısıtılır. Son olarak soğutulan çözelti, filtre kağıdından süzölür. Elde edilen çözelti ICP-OES cihazında metal analizi yapılmak üzere 100 ml'ye saf su ile tamamlanır [53].

5.3.5.2 Soda eritiş yöntemi

Bu yöntem klinker numuneleri için kullanılmıştır. Platin kroze içerisine 2 gr numune tartılır ve üzerine 8 gr Na₂CO₃ ve 2 gr K₂CO₃ eklenip karıştırılır. Kroze 1000°C'de 1 saat bekletildikten sonra soğutulmaya alınır. 250 ml'lik beher içerisine 100 ml saf su ve 10 ml HCl eklenir. Beher, ısıtıcının üzerine konur. İçinde eriyik madde bulunan kroze beher içine konur ve yana yatırılarak içindeki katının çözeltide çözünmesi sağlanacak şekilde çözdürme gerçekleştirilir. Krozeye yapışmış eriyik tamamen ayrılıp, çözelti içinde çözünmesi sağlanana kadar ısıtma işlemine devam edilir. Gerekirse, çözdürme işlemine artırmak amacıyla HCl ilavesi yapılabilir. Çözünme tamamlandıktan sonra kalan sıvı mavi bant filtre kağıdından süzülür ve istenen hacme saf su ile tamamlanır. Aluminyum elementinin tayini için 4 gr boraks (Na₂B₄O₇.10H₂O) da platin krozeye eklenir ve aynı prosedür uygulanır. Çözelti metal analizi yapılmak üzere ICP-OES cihazında kullanılır [54].

5.3.5.3 Yaş metod ile SiO₂ tayini

Bu yöntem klinker numunelerindeki yüksek SiO₂ ve Al₂O₃ muhtevasını belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Bu yöntemde 3:1 oranında HCl:HNO₃ karıştırılarak (30 ml HCl + 10 ml HNO₃) kral suyu hazırlanır. 0,5 gr numune ve hazırlanan kral suyu 250 ml'lik behere eklenir. Hazırlanan çözelti ısıtıcıda ısıtılarak kuruluğa getirilir (Yani, sıvı tamamen buharlaştırılır). Daha sonra behere 1:1 oranında HCl ve saf su eklenir ve çözelti tekrar kuruluğa getirilir. Behere tekrar 1:1 oranında HCl ve saf su eklenir. Bu sefer, çözelti ısıtılmaz; hiç katı kaybı olmayacak şekilde mavi bant filtre kağıdından geçirilir. Beher içinde kalması ihtimal olan küçük tanecikler de filtre kağıdı ile silinerek alınır [54, 55].

Süzüntü katılarını içeren fitre kağıtları platin krozeye konur ve 1100°C'de 1 saat bekletilir. Kroze fırından çıkarıldıktan sonra desikatörde soğutulur. Daha sonra kroze tartılır (M₁). Tartımdan sonra, kroze içine bir damla H₂SO₄, 1-2 damla saf su ve krozenin ağzına kadar HF eklenir. Daha sonra, kroze içerdiği sıvı tamamen buharlaşana kadar ısıtıcıda ısıtılır. Kuruluğa gelen kroze 1100°C'de 10 dakika bekletilir ve sonrasında desikatörde soğutulur. Soğuyan kroze tekrar tartılır (M₂). Bu değerlerden SiO₂ ağırlıkça yüzde hesabı aşağıdaki gibi yapılmaktadır [54, 55]:

$$\% \text{SiO}_2 = [(M_1 - M_2) / (\text{Tartılan Numune Miktarı})] * 100 \quad (5.3)$$

Kalan süzüntüden Al₂O₃ tayini yapılabilmesi için, kuruluğa gelen platin krozede bulunan katı soda eritiş yöntemi ile tekrar çözündürülür. Elde edilen çözelti süzülür ve yaş metoddan elde edilen süzüntünün üzerine eklenir. Çözelti daha sonra istenen hacme saf su ile tamamlanır ve metallerinin analizi için ICP-OES cihazında kullanılır.

5.3.6 Su ile özütleme (leach) testi

Endüstriyel atıkların gazlaştırılması sonucu oluşan char, kül ve siklon tozlarının düzenli depolamaya gönderilmeden önce bir ön işleme gereksiniminin olup olmadığını belirlemek amacıyla, TAKY/11A'da yer alan kriterlere göre değerlendirilmeleri yapılmıştır. Atıkların yapılarında bulunan metallerin suya mobilitelelerini tespit etmek depolama kriterlerinde önemlidir. Çünkü böylece yer altı sularının olası bir depolamada kirlenme riskleri ön görülebilir. Yönetmelikte uygulanması belirtilen, TS EN 12457-4 standardı ile char ve siklon tozu numunelerinin su ile özütleme deneyi yapılmıştır. 100 ml saf su için 10 gr kuru numune eklenerek Sıvı/Katı oranı 10 sağlanmıştır. Hazırlanan numuneler 10 rpm hızla çalkalanan Edmund Bühler, Tubingen markalı, çalkalayıcıda 24 saat boyunca çalkalanır. Çözümler mavi bant filtre kağıdından süzülükten sonra pH ve iletkenlikleri ölçülür. Daha sonra, ICP-OES cihazında metal analizleri gerçekleştirilir ve 11A'da verilen değerler ile karşılaştırma yapılarak, atıkların tehlikeli olup olmadığı ile ilgili ön görüde bulunulabilir [56].

5.3.7 XRD ve XRF analizi

XRD analizi, PANALYTICAL marka X'PERT PRO model cihaz ile char, siklon tozu ve klinker numunelerinin, kristal yapıda bileşenler içerip içermediği tayin etmek amacıyla kullanılmıştır. Niton marka XRF cihazı ile char, siklon tozu ve klinker numunelerinin kimyasal bileşenlerinin tayin edilmiştir.

5.3.8 SEM analizi

Bu analiz JEOL, JSM-639OLV Scanning Electron Microscope (SEM) markalı cihaz ile seçilen dört char numunesine yapılmıştır. Char yüzey yapısının incelenmesi amacıyla yapılmış bir çalışmadır.

6. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1 Reaktörlere Beslenen Atıkların, Gazlaştırma Prosesi Sonucu Oluşan Char ve Siklon Tozlarının Nem, Kül ve Isıl Değer Sonuçları

Deneysel çalışmaların bu aşamasında, belirli gün ve gün içinde periyodik saat aralıkları ile reaktöre beslenen atıklar, char ve siklon tozu numuneleri toplanmıştır. Nem analizi yapıldıktan sonra kuru haldeki numunelerin kül ve ısıl değer tayinleri tekrarlanabilirliği gözlemek amacıyla en az üç defa yapılmıştır. Ancak, numunelerin heterojen özellikleri tekrarlanan analizlerde farklı değerler elde edilmesine sebep olmuştur.

6.1.1 Reaktöre beslenen atıkların nem, kül ve ısıl değer sonuçları

Atıkların tekrarlanarak yapılan analiz sonuçları Ek A'da yer alan Çizelge A.1, Çizelge A.2, Çizelge A.3, Çizelge A.4, Çizelge A.5 ve Çizelge A.6'da verilmiştir. Bu başlık altında, alınış tarih ve saatlerine göre kodlanan numunelerin gün içinde ve günlük ortalama değerleri hesaplanmıştır ve sonuçları Çizelge 6.1, Çizelge 6.2, Çizelge 6.3, Çizelge 6.4, Çizelge 6.5 ve Çizelge 6.6'da verilmiştir:

Çizelge 6.1 : 16.10.2010 tarihinde gazlaştırıcılara beslenen atıkların analiz sonuçlarının ortalama değerleri.

Numune Adı	Nem (%)	Kül (%)	Üst Isıl Değer (kcal/kg)
10:00	15,91	34,38	3743,0
12:00	19,05	19,26	4987,3
14:00	21,04	23,84	4931,3
16:00	20,39	23,54	5167,3
Günlük Ortalama Değer	19,10	25,25	4707,3

Çizelge 6.1'de, 16.10.2010'da 2 saatte bir alınan "Kontamine" olarak adlandırılan atık örneklerinin analiz sonuçları yer almaktadır. Kül içeriği, malzemenin yanmamış inorganik bileşenlerinden oluşan kısımdır. Değerler incelendiğinde, saat 10:00'da alınan numune en yüksek kül içeriğine sahip olup, beklendiği üzere en düşük ısıl değere sahip olmaktadır. Gün içinde reaktöre beslenen harmanın içeriği önceden belirlenmiş bir formülasyon olup, analiz sonuçlarının birbirine yakın olması beklenmektedir. Atıkların tam olarak karıştırılmamasından dolayı tam homojen hale

getirilememesi, hazırlanan formulasyondan alınan her numunede farklı kısımlarından örnek alınması, sonuçlarda da sapmalar olmasına sebep olmuştur. İlk numune dışındaki diğer örneklerin değerleri birbiri ile daha tutarlı olup, nem, kül ve ısı değer açısından gazlaştırma için uygundur.

Çizelge 6.2 : 18.10.2010 tarihinde gazlaştırıcılara beslenen atıkların analiz sonuçlarının ortalama değerleri.

Numune Adı	Nem (%)	Kül (%)	Üst Isıl Değer (kcal/kg)
10:00	23,85	24,97	4645,7
12:00	17,86	17,86	5596,7
14:00	17,23	17,23	5357,3
16:00	20,29	22,58	4648,7
Günlük Ortalama Değer	19,81	20,63	5062,1

Çizelge 6.2’de, 10:00 ve 16:00 ile 12:00 ve 14:00 numunelerine ait ısı değerler tutarlılık göstermektedirler. Bu numunelerde de yüksek ısı değere karşılık düşük kül oranı gözlenmektedir. Malzemenin yanabilirliğinin yüksek olması içerdiği inorganik bileşen oranının az olması ile ilişkilendirilmektedir. Gazlaştırma için önemli olan yüksek ısı değer, bu numunelerden sağlanabilir.

Çizelge 6.3 : 01.11.2010 tarihinde gazlaştırıcılara beslenen atıkların analiz sonuçlarının ortalama değerleri.

Numune Adı	Nem (%)	Kül (%)	Üst Isıl Değer (kcal/kg)
10:00	20,19	36,41	3369,3
12:00	19,54	27,04	4556,7
14:00	19,42	28,59	4435,0
16:00	17,8	22,57	5129,0
Günlük Ortalama Değer	19,24	28,66	4706,9

Çizelge 6.3’te, saat 10:00’da alınan atık numunesinin kül değerinin en yüksek; ısı değerinin de diğer değerlere göre en düşük olduğu görülmektedir. Bu nedenle 01.11.2010 tarihli numunelerin günlük ortalama değerlerine dahil edilmemişlerdir. Bu numunelerin hepsi aynı formulasyondan alındığı halde heterojenlik, gün içinde formulasyona yapılan eklemeler ile değerlerin tutarlılığını olumsuz etkilemiştir.

Çizelge 6.4 : 03.11.2010 tarihinde gazlaştırıcılara beslenen atıkların analizsonuçlarının ortalama değerleri.

Numune Adı	Nem (%)	Kül (%)	Üst Isıl Değer (kcal/kg)
12:00	23,45	26,35	4917,0
16:00	21,55	25,99	4658,3
Günlük Ortalama Değer	22,50	26,17	4787,7

Çizelge 6.4'te 03.11.2010 tarihinde alınan örneklerin ortalama sonuçları yer almaktadır. Saat 12:00'da alınan numunenin ısıl değeri, 16:00'da alınana göre daha yüksek olduğu için kül içeriğinin de daha düşük olması beklenmektedir. Ancak, her iki numunenin değerleri karşılaştırıldığında birbirlerine çok yakın oldukları görülmektedir ve gazlaştırma için uygun olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.5 : 13.11.2010 tarihinde gazlaştırıcılara beslenen atıkların analiz sonuçlarının ortalama değerleri.

Numune Adı	Nem (%)	Kül (%)	Üst Isıl Değer (kcal/kg)
15:00	23,68	28,07	4617,3
Günlük Ortalama Değer	23,68	28,07	4617,3

Çizelge 6.5'te, 13.11.2010 tarihinde saat 15:00'da alınan numunenin analiz sonuçları görülmektedir. Bu tarihte, reaktöre beslenen atıkla birlikte G-1 ve G-3 reaktörlerinden char numuneleri alınarak, her iki reaktörden alınan char numunelerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Beslemenin, nem, kül ve ısıl değer gibi parametreler açısından gazlaştırılmaya uygun olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.6 : 25.12.2010 tarihinde gazlaştırıcılara beslenen atıkların analizsonuçlarının ortalama değerleri.

Numune Adı	Nem (%)	Kül (%)	Üst Isıl Değer (kcal/kg)
09:00	19,43	34,72	3701,8
11:00	22,94	34,32	4402,0
15:30	18,06	27,93	4623,3
Günlük Ortalama Değer	20,14	32,32	4242,3

Çizelge 6.6'da, 25.12.2010'da alınan atık numunelerinin sonuçları yer almaktadır. Saat 09:00'da alınan numunenin ısıl değeri diğerlerine kıyasla daha düşüktür. Kül içeriği ise yüksetir. Ancak saat 11:00'da alınan numunenin ısıl değeri saat 09:00'a kıyasla yüksek olmasına rağmen kül içeriği neredeyse aynıdır. Bu durum, örneklerin

içerdiği atık bileşenlerinin tür ya da miktar farklılığından kaynaklanabilir. Atıklar, ısı değerleri açısından gazlaştırmaya uygun olmakla birlikte kül oranı biraz yüksektir. Bunun sebebi, atık bileşiminde kozmetik, temizlik, ilaç ya da demir-çelik endüstrilerinden alınmış yanıcı özelliği olmayan katılar, tozlar olabilmektedir.

6.1.2 Char örneklerinin kül ve ısı değer sonuçları

Gazlaştırmacılar tarafından alınan char numunelerinin tekrarlanarak yapılan analiz sonuçları Ek A'da yer alan Çizelge A.1, Çizelge A.2, Çizelge A.3, Çizelge A.4, Çizelge A.5 ve Çizelge A.6'da verilmiştir. Alınış tarih ve saatlerine göre kodlanan numunelerin gün içinde ve günlük ortalama değerleri hesaplanmıştır ve sonuçları Çizelge 6.7, Çizelge 6.8, Çizelge 6.9, Çizelge 6.10, Çizelge 6.11 ve Çizelge 6.12'de verilmiştir.

Çizelge 6.7 : 16.10.2010 tarihli G-1 gazlaştırmacısından alınan char örneklerinin analiz sonuçlarının ortalama değerleri.

Numune Adı	Kül (%)	Üst Isıl Değer (kcal/kg)
10:00	67,86	2508,8
12:00	79,03	2833,8
14:00	76,40	2485,5
16:00	70,42	3873,0
Günlük Ortalama Değer	73,42	2609,3

Çizelge 6.7'de, 16.10.2010 tarihinde G-1 gazlaştırmacısından alınan char örnekleri görülmektedir. Kül içeriği ve ısı değer gazlaştırmacısının verimini gösteren parametreler arasında yer alır. Gazlaştırmacıya beslenen atık, organik bileşenler açısından zengin ve inorganik bileşenleri az oranda içeriyorsa reaksiyon sonunda oluşan kalıntı yani kül miktarı da az olacaktır. Beslenen atığın çoğunlukla sentez gazına dönüşüp az kül bırakması hedeflenir. Bu nedenle besleme içeriği de çok önemlidir. 16.10.2010 tarihli numunelerde ilk üç ısı değer birbiri ile tutarlılık gösterirken; saat 16:00 örneğine ait ısı değer çok yüksektir. Kül değerleri de, yüksek ısı değere karşılık düşük kül oranı yaklaşımına uyum göstermemektedir. Bunun temel sebebi, alınan kül numunelerinin o anda beslenen atıkların çıktıkları olmamalarından kaynaklanmaktadır.

Bu char örnekleri, reaktör içinde o saatten önce beslenmiş olan atığın gazlaştırma sürecini tamamlaması ile oluşmuştur. Ayrıca, beslemedeki heterojenlik ve gazlaştırmacı içindeki reaksiyonlar ve ürünler de oluşan char özelliklerini etkilemektedir. Bu değerler arasında saat 12:00 numunesinde en yüksek kül değeri

görülmektedir. Buna göre, o gün için çalışma koşullarının 12:00'da ideal olduğu söylenebilir. Ancak, Ek B'de verilen gazlaştırıcı sıcaklıklarına bakıldığında oksidasyon bölgesinin yüksek sıcaklıklarda olmaması, char ısı değerinin yüksek, kül içeriğinin ise düşük olmasına neden olmuştur.

Çizelge 6.8 : 18.10.2010 tarihinde, G-1 gazlaştırıcısından alınan char örneklerinin analiz sonuçlarının ortalama değerleri.

Numune Adı	Kül (%)	Üst Isıl Değer (kcal/kg)
10:00	56,56	1906
12:00	65,66	2133
14:00	77,40	2128
16:00	77,97	2391
17:30	68,04	2582
Günlük Ortalama Değer	72,26	2227,8

Çizelge 6.8'de, 18.10.2010 tarihinde alınan G-1 char örneklerinin analiz sonuçları yer almaktadır. Saat 10:00 numunesinin kül içeriğinin diğerlerine kıyasla daha düşük olmasından dolayı bu değer ortalamaya alınmamıştır. Bu numuneler 16.10.2010 numunelerine göre daha düşük ısı değerlere sahiptir. Bunun sebeplerinden biri, 18.10.2010 tarihinde numune alınırken reaktör sıcaklıklarının daha yüksek olmasıdır. Ancak, yüksek ısı değeri olan malzemenin düşük kül içeriği olması yaklaşımları gözlenememiştir. Saat 10:00 numunesi, en düşük ısı değere sahip iken aynı zamanda en düşük kül içeriğine de sahiptir, diğer değerlerle bir tutarlılık göstermemektedir. Bunun sebebi, bu numunenin daha önceden hazırlanmış; örneğin gece vardiyasından beslenmiş atıkların çıktısı olması olabilir. Saat 14:00 ve 16:00 ile 12:00 ve 17:30'da alınan numunelerinin kendi aralarında daha tutarlı değerlere sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 6.9 : 01.11.2010 tarihinde, G-1 gazlaştırıcısından alınan char örneklerinin analiz sonuçlarının ortalama değerleri.

Numune Adı	Kül (%)	Üst Isıl Değer (kcal/kg)
10:00	76,57	1934,5
12:00	75,17	1928,0
14:00	85,67	1415,5
16:00	71,31	1362,3
17:00	79,80	1656,8
Günlük Ortalama Değer	77,18	1659,4

Çizelge 6.9’da, 01.11.2010 tarihinde G-1 gazlaştırıcısından alınan char numunelerinin analiz sonuçları görülmektedir. Diğer iki günün numunelerine kıyasla, daha düşük ısıl değer ve daha yüksek kül oranı değerlerine sahiptir. Bu da, bu tarihteki numunelerin daha iyi gazlaştığını göstermektedir. Reaktöre giren atıkların bileşimindeki organik maddelerin çoğunluğu gazlaşarak charda yüksek oranda inorganik kısmın kalmasını sağlamıştır. Bu durumda gazlaştırıcı sıcaklıklarının yüksek olmasının da etkisi vardır. Gün içinde belirli aralıklarla alınan numunelerin sonuçlarında ciddi sapmalar görülmemektedir. Değerlerde varolan sapmalar beslemenin heterojenliği düşünüldüğünde kabul edilebilir niteliktedir.

Çizelge 6.10 : 03.11.2010 tarihinde, G-1 gazlaştırıcısından alınan char örneklerinin analiz sonuçlarının ortalama değerleri.

Numune Adı	Kül (%)	Üst Isıl Değer (kcal/kg)
12:00	62,96	2202,5
16:00	82,67	1236,0
Günlük Ortalama Değer	72,82	1719,3

Çizelge 6.10’da 03.11.2010’da G-1 gazlaştırıcısından alınan char numunelerinin analiz değerleri yer almaktadır. Bu numuneler, reaktörün sıcaklık değerlerinin iyi olduğu zamanlar dikkat edilerek alınmıştır. Ancak, saat 12:00’da alınan numunenin ısıl değeri beklenilenden yüksektir. Yüksek ısıl değere sahip olan maddenin düşük kül oranına sahip olması yaklaşımı burada görülmektedir. Bu nedenle, saat 16:00 numunesinin düşük ısıl değerine karşılık yüksek kül değerine sahip olması, içeriğinde yanıcı olmayan inorganik bileşenlerin varlığının göstergesidir.

Çizelge 6.11 : 13.11.2010 tarihinde, G-1 ve G-3 gazlaştırıcılarından alınan char örneklerinin analiz sonuçlarının ortalama değerleri.

Numune Adı	Kül (%)	Üst Isıl Değer (kcal/kg)
G-1	75,96	2029,0
G-3	74,26	2690,3

Çizelge 6.11’de, 13.11.2010 tarihinde G-1 ve G-3 gazlaştırıcılarından alınan char örneklerinin analiz değerleri yer almaktadır. Her ne kadar farklı reaktörlerden alınmış olsalar da aynı beslemenin her iki reaktörde gazlaştırılması sonucu benzer nitelikli char oluştuğu görülmektedir. Isıl değerler arasındaki farklılıklar da sistemde varolan heterojenlik göz önünde bulundurulduğunda ihmal edilebilir.

Çizelge 6.12 : 25.12.2010 tarihinde, G-2 gazlaştırıcısından alınan char örneklerinin analiz sonuçlarının ortalama değerleri.

Numune Adı	Kül (%)	Üst Isıl Değer (kcal/kg)
09:00	73,45	2118,3
11:00	73,17	2388,8
15:30	85,31	1212,0
Günlük Ortalama Değer	77,31	1906,3

Çizelge 6.12’de, 25.12.2010 tarihinde G-2 gazlaştırıcısından alınan char numunelerinin analiz değerleri yer almaktadır. Saat 09:00 ve 11:00 numunelerinin değerleri birbirleri ile tutarlılık göstermektedir. Ancak, saat 15:30 numunesinin değerlerinde düşük ısıl değere karşılık yüksek kül miktarı görülmektedir. Bu numunenin diğer ikisinden farklı olmasının sebepleri, günün o saatlerinde gazlaştırma sıcaklıklarının yükselmesi ve verimin artması, son numunenin oluşumuna kaynaklık eden atık beslemenin bileşiminin değişmesi olabilmektedir.

6.1.3 Siklon tozu örneklerinin kül ve ısıl değer sonuçları

Gazlaştırıcıların siklonlarından alınan toz numunelerinin tekrarlanarak yapılan analiz sonuçları Ek A’da yer alan Çizelge A.7’de verilmiştir. Bu başlık altında, alınış tarihlerine göre kodlanan numunelerin gün içinde ve günlük ortalama analiz değerleri hesaplanmıştır ve sonuçları Çizelge 6.13 ve Çizelge 6.14’te verilmiştir:

Çizelge 6.13 : G-1 gazlaştırıcısına ait siklondan alınan toz örneklerinin analiz sonuçlarının ortalama değerleri.

Numune Adı	Kül (%)	Üst Isıl Değer (kcal/kg)
19.01.2011/16:30	75,42	1107,0
20.01.2011/17:30	73,20	1017,0
22.01.2011/16:00	87,67	610,0
24.01.2011/17:00	81,94	883,7
G-1 Siklonu için Ortalama Değer	78,77	904,4

Çizelge 6.13’te, G-1 gazlaştırıcısına ait siklondan alınan toz numunelerinin analiz sonuçları yer almaktadır. Siklon tozları, ham gaz ile sürüklenerek reaktörden çıkan tozlardır. Yanıcılığı olmayan, minimum düzeyde ısıl değere sahip olmaları beklenmektedir. Ancak, bununla birlikte hiç termal bozunmaya uğramamış beslemeye ait toz formda atıkların sürüklenmesi de mümkün olmaktadır. Analiz

değerlerinden ilk ikisi kendi arasında; son ikisi de kendi arasında tutarlı olup büyük farklar gözlenmemektedir. Isıl değerlerde, her oluşan hamgaz ve dolayısıyla partikül niteliğine göre farklılık göstermektedir, ancak olması gerektiği gibi yüksek değildir.

Çizelge 6.14 : G-2 gazlaştırıcısına ait siklondan alınan toz örneklerinin analiz sonuçlarının ortalama değerleri.

Numune Adı	Kül (%)	Üst Isıl Değer (kcal/kg)
19.01.2011/16:30	81,97	626,0
20.01.2011/17:30	77,63	1004,3
G-2 Siklonu için Ortalama Değer	79,80	815,2

Çizelge 6.14'te, G-2 gazlaştırıcısına ait siklondan alınan toz numunelerin analiz sonuçları yer almaktadır. G-1 siklonuna benzer şekilde tozların ısıl değeri düşük ve kül miktarı yüksektir.

6.1.4 Gazlaştırıcı Verimi

Gazlaştırıcı verimi, gazlaştırıcıya atıkların beslenmesi ile verilen enerji girdisinin ne kadarının sentez gazı olarak geri kazanıldığını ifade etmektedir. Proses çıktıları char ve siklon tozlarının ısıl değerleri de göz önünde bulundurularak yapılacak bir enerji denkliği ile teorik olarak gazlaştırma verimi hesaplanmıştır. Bu hesaplamada, char ve siklon tozu dışındaki tüm enerji çıktısının sentez gazında bulunduğu kabul edilmiştir.

Çizelge 6.15 : Örneklerin toplandığı tarihlerde gazlaştırıcılara beslenen günlük toplam kontamine ve çekilen kül miktarları.

Numune	Kontamine (Kg)	Char (Kg)	Reaktör Adı
16.10.2010	8000	500	G-1
18.10.2010	6790	500	G-1
01.11.2010	5212	430	G-1
03.11.2010	5954	485	G-1
13.11.2010	4800	315	G-1
13.11.2010	5445	175	G-3
25.12.2010	3770	210	G-2

Reaktörlere beslenen kontamine ve char günlük miktarları Çizelge 6.15'de yer almaktadır. Her reaktöre ait siklondan günde ortalama 25 kg siklon tozu alınmaktadır.

Çizelge 6.16 : Beslenen atık ve char örneklerine ait ortalama ısıl değerler.

Reaktör Adı	Numune Adı	Besleme			Char	
		Nem (%)	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	Kül (%)	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	Kül (%)
G-1	16.10.2010	19,10	4707,3	25,25	2609,3	73,42
G-1	18.10.2010	19,81	5062,1	20,63	2227,8	72,26
G-1	01.11.2010	19,24	4372,5	28,66	1659,4	77,28
G-1	03.11.2010	22,50	4787,7	26,17	1719,3	72,82
G-1	13.11.2010	23,68	4617,3	28,07	2029,0	75,96
G-3	13.11.2010	23,68	4617,3	28,07	2690,3	74,26
G-2	25.12.2010	20,14	4242,3	32,32	1906,3	77,31

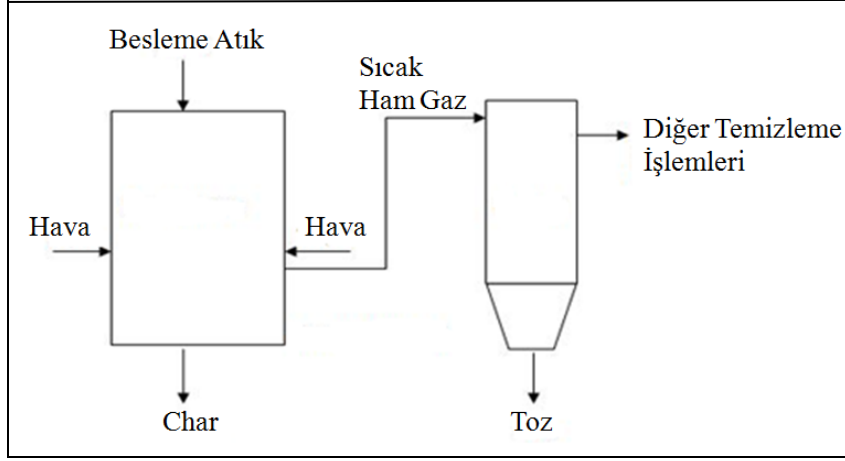
Çizelge 6.16'da daha önceden belirlenmiş olan besleme ve char numunlerinin analiz sonuçları özetlenmiştir. Beslenen atıkların nem değerleri birbirine yakın ve gazlaştırma için uygundur. Numunelerin farklı günlerde alınmış olması, farklı formülasyonların hazırlanmasından ötürü herbirine özgü kül ve ısıl değerlerin belirlenmesine neden olmuştur. Char numunlerinin analiz sonuçları da, girdilere bağlı olarak farklılık göstermektedir.

Çizelge 6.17 : Siklon tozu örneklerine ait ortalama ısıl değerler.

Reaktör Adı	Siklon tozu	
	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	Kül (%)
G-1	904,41	78,77
G-2	81,2	79,80

Çizelge 6.17'de, tekrarlanabilirliği gözlenen siklon tozu numunelerinin ortalama ısıl değer ve kül oranı değerleri verilmiştir. Numunelerin ısıl değerleri düşük ve kül içeriklerinin yüksek olduğu görülmektedir.

Besleme, char ve siklon tozlarının önceden tayin edilmiş ısıl değerlerinden yararlanılarak, gazlaştırıcılar ile ilgili enerji denkliği ve yaklaşık olarak veriminin hesaplanması aşağıdaki gibidir. Örnek olarak Gazlaştırıcı-1 için 16.10.2010 tarihinde toplanan besleme ve char değerleri ile G-1 siklonuna ait ortalama değerlerin kullanıldığı hesaplama yapılmıştır.



Şekil 6.1 : Verim hesaplaması için varsayılan gazlaştırıcı ve siklon sistemi.

Şekil 6.1’de, atıklar gazlaştırıcının üst kısmından beslenmektedir. Böylece, sisteme atıklar ile bir enerji girdisi olmaktadır. Gazlaştırıcıdan çıkan ham gaz ve char enerji çıktılarının toplamı teorik olarak sistemdeki kayıplar ihmal edildiğinde, bu girdiye eşittir. Ancak, ham gazın siklonda partiküllerden temizlenmesi sırasında bir miktar toz yine gazdan ayrılarak ısıl değerini etkilediği için gazlaştırıcı ve siklon bütün bir proses olarak düşünülmüştür. Buna göre, prosesin girdisi atıklar; çıktıları ise char, siklon tozları ve ham gazdır. Atık, char ve siklon tozlarının ısıl değerleri deneysel çalışmalar kapsamında belirlenmiştir.

$$W_{Atık} * H_{Atık} = W_{Char} * H_{Char} + W_{SiklonTozu} * H_{SiklonTozu} + H_{HamGaz} \quad (6.1)$$

Bu denkleme göre,

$W_{Atık}$ = Saatte beslenen atık miktarı (kg),

$H_{Atık}$ = Beslenen atığın ısıl değeri (Kcal/Kg)

W_{Char} = Saatte çekilen char miktarı (kg),

H_{Char} = Char ısıl değeri (kcal/kg)

$W_{SiklonTozu}$ = Saatte toplanan siklon toz miktarı (kg),

$H_{SiklonTozu}$ = Siklon tozu ısıl değeri (kcal/kg)

H_{HamGaz} = Ham gaz ısıl değeri (kcal)

Çizelge 6.15’te verilen günlük toplam kontamine ve char miktarları 24 saate bölünerek 1 saatlik miktarları ile hesaplamalar yapılmıştır. Saatte ortalama 1000 m^3 ham gaz üretildiği kabul edilerek, 16.10.2010 tarihli numunelerin ortalama değerleri

kullanılarak oluşan gazın ısıl değerinin hesaplaması aşağıdaki gibidir:

$$(8000 \text{ kg/24 Saat}) * (4707,3 \text{ kcal/kg}) = (500 \text{ kg/24 Saat}) * (2609,3 \text{ kcal/kg}) + (25 \text{ kg/24 Saat}) * (904,4 \text{ kcal/kg}) + H_{\text{HamGaz}}$$

1 saatte oluşan ham gazın ısıl değeri;

$$H_{\text{HamGaz}} = 1513797,5 \text{ kcal}$$

1 saatte oluşan 1000 m³ gaz için ısıl değer yaklaşık olarak;

$$H_{\text{HamGaz}} = 1513,8 \text{ kcal/m}^3$$

Oluşan ham gazın ısıl değeri ne kadar yüksek ise, gazlaştırma verimi o kadar yüksektir. Bu değer aşağıda hesaplanmıştır:

$$\text{Verim (\%)} = (\text{Oluşan Ham Gaz Isıl Değer (kcal)}) / (\text{Gazlaştırıcı Enerji Girdisi (kcal)}) * 100 \quad (6.2)$$

$$\text{Verim (\%)} = (1513797) / [(8000 \text{ kg/24 Saat}) * (4707,3 \text{ kcal/kg})] * 100$$

$$\text{Verim (\%)} = \% 96,5$$

Buna göre tüm numuneler için aynı hesaplama tekrar edildiğinde elde edilen sonuçlar Çizelge 6.18'de verilmiştir.

Çizelge 6.18 : Gazlaştırma verimi sonuçları.

Numune	Reaktör Adı	Giren Enerji (kcal)	Çıkan Char (kcal)	Çıkan Siklon (kcal)	Çıkan Ham gaz (kcal)	Çıkan Ham gaz (kcal/m ³)	Verim (%)
16.10.2010	G-1	1569100,0	54360,4	942,1	1513797	1513,8	96,5
18.10.2010	G-1	1432152,5	46412,5	942,1	1384798	1384,8	96,7
01.11.2010	G-1	949561,3	29730,9	942,1	918888,2	918,9	96,8
03.11.2010	G-1	11877486	34744,2	942,1	1152062	1152,1	97,0
13.11.2010	G-1	923460,0	26630,6	942,1	895887,3	895,9	97,0
13.11.2010	G-3	1047549,9	19616,8	849,2	1027084	1027,1	98,0
25.12.2010	G-2	666394,6	16680,1	849,2	648865,3	648,9	97,4

Çizelge 6.18'de, numunelerin toplandıkları günlere özgü gazlaştırıcı verimi ve sentetik gaz ısıl değeri sonuçları yer almaktadır. Buna göre, en yüksek verimin 13.11.2010 tarihinde G-3 reaktörü olduğu belirlenmiştir. En düşük verim ise 16.10.2010 tarihinde G-1 reaktöründe olduğu tespit edilmiştir. Gazlaştırmada,

sisteme giren atık içeriğindeki organik bileşenlerin minimum kayıp ile ham gazla sistemden ayrılıp değerlendirilmesi amaçlanır. Ancak, oluşan gazın niteliği doğal gaza eşit olmasa da belirli bir ısı değerine sahip olması avantaj yaratacaktır. Normal şartlarda sentez gazın ısı değerinin 1000-2600 kcal/m³ arasında olması beklenir [56]. Bu nedenle genel olarak hem 1000 kcal/m³'ün üstünde ısı değeri olan hem de char ve siklon tozları açısından enerji kayıplarının az olduğu koşullarda reaktörlerin daha verimli olduğu kabul edilmektedir.

6.2 Reaktörlere Beslenen Atıkların, Char, Siklon Tozu ve Klinkerlerin Metal Analizleri

6.2.1 Reaktöre beslenen atıkların, char, siklon tozu ve klinkerlerin çeşitli yöntemler ile metal analizlerinin sonuçları

Gazlaştırıcılara beslenen atıkların, çekilen char, siklon tozu örneklerinin metal analizleri, EPA 3050B yöntemi, Soda eritiş yöntemi ve yaş metod ile çözeltileri hazırlandıktan sonra ICP-OES cihazında yapılmıştır. 16.10.2010, 18.10.2010 ve 01.11.2010 tarihlerinde alınan numunelerin çözeltileri için saat 10:00 ve 12:00 numunelerinin karıştırılması ile “Sabah”; 14:00 ve 16:00 numunelerinin karıştırılması ile “Akşam” olarak adlandırılan numuneler hazırlanmıştır. Böylece, numuneler sabah ve akşam olarak ikişer örneğe indirgenmiştir. 03.11.2010, 13.11.2010 ve 25.12.2010 tarihli numunelerden birer örnek hazırlanmıştır. Gazlaştırıcılardan gün içinde üç veya daha az besleme alındığı için o numunelerin eşit miktarda harmanlandığı bir karışım oluşturularak o günün tarihi ile kodlanmıştır.

6.2.1.1 Gazlaştırıcılara beslenen atık örneklerinin metal analizler sonuçları

EPA 3050B yöntemi ile hazırlanan çözeltilerin ICP-OES cihazı ile analiz edilmesi sonucu belirlenen element konsantrasyonları Çizelge 6.19'da verilmiştir. Beslenen atıkların genel olarak sabah ve akşam numuneleri değerlendirildiğinde, arsenik elementi 18.10.2010 ve 03.11.2010 tarihli numuneler dışındaki numunelerde tespit edilmiştir. Baryum ve krom elementlerinin de tüm numunelerde bulunduğu görülmüştür. Kadmiyum elementi, sabah ve akşam numunelerinden birinde bulunmazken diğerinde tespit edilmiştir. Ancak, asitle çözme yüksek oranda çözmeye sağladığı için okunan değerlerin üst limit değeri olduğu düşünülebilir. Bakır elementi ise hem sabah hem akşam numunelerinde saptanmış olup derişim olarak ciddi farklılıklar göstermiştir. Silisyum ve çinko elementleri de sabah ve akşam

numunelerinde konsantrasyon olarak çok farklı sonuçlar vermiştir. Beslenen atık numunelerinde, yüksek derişimde bulunan elementler ise kurşun, magnezyum, kalsiyum, sodium, potasyum, demir ve aluminyumdur. Bu elementlerin beslemede fazla olması, harmanın ısıl değerinin düşük olmasına dolayısıyla düşük ısıl değerli gaz oluşumuna sebep olmaktadır.

Çizelge 6.19 : EPA 3050B yöntemine göre gazlaştırmacılara beslenen atıkların metal analiz sonuçları.

Metal Konsantrasyonu (mg/kg)	As	Ba	Cd	Cr (+3)	Cu	Ni	Pb	Si	Zn	Ca	Mg	Na	K	Al	Fe (Top.)
Numune Adı															
16.10.2010/Sabah	52,50	2110,0	29,0	261,50	694,0	199,20	1399,8	1638,0	<0,05	17470	1900,0	13960	9715	6805	21287,5
16.10.2010/Akşam	21,50	1545,5	<0,05	340,60	2138,5	163,20	859,0	262,85	1935,25	15595	1925,0	7385	3660	6045	34607,5
18.10.2010/Sabah	66,00	3057,0	39,2	76,30	4126,5	39,60	699,3	47,85	3055,0	18715	2345,0	9075	8775	6980	24180,0
18.10.2010/Akşam	<0,05	1916,5	19,3	233,50	16390,0	11,05	528,0	<0,05	3600,25	20820	2847,5	9860	8415	7520	24357,5
01.11.2010/Sabah	53,65	847,0	<0,05	227,75	242,0	<0,05	7120,0	292,4	3365,25	25325	7555,0	17675	3120	9825	23032,5
01.11.2010/Akşam	130,95	1079,5	4,0	230,40	77,5	<0,05	5230,0	532,0	7815,0	34480	15910,0	24150	9255	8370	29472,5
03.11.2010	<0,05	1205,5	<0,05	268,10	181,0	<0,05	2872,5	83,40	<0,05	33600	18797,5	11685	9730	9515	51302,5
13.11.2010	32,95	1298,5	<0,05	214,60	21280,0	<0,05	6585,0	2445,5	<0,05	41830	22087,5	19365	3900	9560	42357,5
25.12.2010	34,45	5370,0	70,1	250,35	3018,5	<0,05	3763,8	465,9	<0,05	48265	50710,0	38050	7765	12275	52135,0

6.2.1.2 Char örneklerinin metal analiz sonuçları

EPA 3050B yöntemi ile char numunelerinden hazırlanan çözeltilerin ICP-OES cihazı ile analiz edilmesi sonucu belirlenen element konsantrasyonları Çizelge 6.20’de verilmiştir.

Çizelge 6.20’ye göre char numunelerinde yoğunlukta olan elementler Ba, Cu, Pb, Ca, Mg, Na, K, Al ve Fe’dir. Na ve K gibi elementlerin yüksek oranda olmasının sebebi alkali metalleri ile SiO₂ arasında olması muhtemel bir kimyasal reaksiyon sonucunda alkali silikat ya da karbonat gibi uçucu olmayan bileşiklerin oluşmasıdır. Aynı zamanda, sıcaklığın bu metallerin uçuculuğunu arttırmayacak düzeyde olması da bir neden olabilir [58]. Zn elementi genellikle çözeltilerde yüksek derişimde olup bazı bazı örneklerin aynı güne ait iki numunesinden birinde hiç tespit edilmemesi ve diğerinde yüksek oranda bulunması gibi durumlar gözlenmiştir. Char numunelerinde genel olarak As, Cd ve Si elementleri düşük derişimdedir. As elementleri bazı numunelerde bulunmazken; Cd’nin 18.10.2010 sabah ve akşam numuneleri ile 25.12.2010, G-2 char numunesinde bulunduğu gözlenmektedir. Cr, Ni ve Si elementlerinin ise bu iki elemente göre daha yüksek oranlarda bulunduğu tespit edilmiştir. Si elementinin ise çözdürülmesi HF asidi ile sağlanabildiğinden, elementin bu metodla belirlenmiş konsantrasyonu olduğundan çok düşüktür.

Char numunelerinin yüksek ağır metal derişimlerinden dolayı, depolama için uygunluğunun ve çevreye etkisinin inert ya da toksik olması şeklinde belirlenebilmesi için su ile özütleme (leach) testlerinin yapılması gereksinimi de ortaya çıkmıştır.

Çizelge 6.20 : EPA 3050B yöntemine göre, char örneklerinin metal analiz sonuçları.

Reaktör Adı	Metal Konsantrasyonu (mg/kg)	As	Ba	Cd	Cr (+3)	Cu	Ni	Pb	Si	Zn	Ca	Mg	Na	K	Al	Fe (Top.)
	Numune Adı															
G-1	16.10.2010/Sabah	4,30	2298,5	<0,05	163,40	4511,5	185,35	633,3	21,00	1861,75	41370	5862,5	23700	15425	16175	55600,0
G-1	16.10.2010/ Akşam	<0,05	3932,5	<0,05	421,80	2406,0	267,60	1069,5	29,30	3159,25	57800	9997,5	24010	16625	19870	67075,0
G-1	18.10.2010/ Sabah	2,15	5170,0	29,0	308,75	3858,0	89,05	3720,0	66,40	3907,5	55150	6435,0	14900	11465	13305	53697,5
G-1	18.10.2010/ Akşam	<0,05	3862,5	4,8	280,00	3256,5	264,05	4155,0	443,8	2685,5	67600	12362,5	19795	9480	21305	52980,0
G-1	01.11.2010/ Sabah	48,55	3210,0	<0,05	2228,00	1268,5	647,50	4957,5	<0,05	<0,05	62850	14730,0	26920	10965	24315	149150,0
G-1	01.11.2010/Akşam	71,15	2319,0	<0,05	285,20	3986,0	<0,05	4642,5	7,85	8012,5	47485	14335,0	22815	4015	17915	120475,0
G-1	03.11.2010	1,85	5890,0	<0,05	868,00	7325,0	158,10	3620,5	<0,05	<0,05	91750	58675,0	20420	6750	30755	131575,0
G-1	13.11.2010	30,60	3246,0	<0,05	206,95	2642,5	<0,05	5457,5	1226,5	8060,0	124100	82600,0	37885	5870	21020	102650,0
G-3	13.11.2010	39,65	4567,5	<0,05	200,65	2163,5	124,30	6437,5	97,70	10607,5	106850	119275,0	31755	5500	24020	96475,0
G-2	25.12.2010	170	8840,0	104,6	267,35	1004,0	43,00	46072,5	8,35	<0,05	114050	195235,0	43630	2245	32225	97850,0

6.2.1.3 Siklon tozu örneklerinin metal analiz sonuçları

EPA 3050B yöntemi ile siklon tozu numunelerinden hazırlanan çözeltilerin ICP-OES cihazı ile analiz edilmesi sonucu tayin edilen element konsantrasyonları Çizelge 6.21 ve Çizelge 6.22’de verilmiştir.

Siklon tozu numunelerinin, atık ve char numunelerine göre daha yüksek derişimde ağır metal içeriğine sahip olduğu görülmüştür. G-1 siklonunda As elementinin düşük derişimde olduğu tespit edilmiştir. Cd, Ni ve Si elementleri ise As elementine göre daha yüksek konsantrasyona sahiptirler. G-2 siklonunda ise As elementi G-1’e göre daha yüksek derişime sahiptir. Cr ve Si elementleri ise daha düşüktür. Her iki siklondan alınmış toz örneklerinde yüksek derişimde olan elementler: Cu, Pb, Zn, Ca, Mg, Na, K, Al ve Fe’dir. Bu elementler char ve atık numunelerinde de ön planda olduğu gibi siklon tozunda da inorganik yapının en temel bileşenleridir. Siklon tozlarının çok küçük tanecikli, geniş yüzey alanına sahip olma özellikleri bazı uçucu elementlerin yüzeyinde yoğuşması ve sonrasında absorplanmalarına sebep olmaktadır [58]. Bu durum yapılarındaki ağır metal yoğunluğunun sebeplerinden biri olarak kabul edilmektedir.

Çizelge 6.21 : EPA 3050B yöntemine göre, G-1 gazlaştırıcısından alınan siklon tozu örneklerinin metal analiz sonuçları.

Metal Konsantrasyonu (mg/kg)	As	Ba	Cd	Cr (+3)	Cu	Ni	Pb	Si	Zn	Ca	Mg	Na	K	Al	Fe (Top.)
Numune Adı															
19.01.2011- G1 Siklon Tozu	3,66	2978,0	147,95	860,00	10760,0	113,50	44825,0	34,95	32542,5	169050	204482,5	41390	8825	45040	106575,0
20.01.2011- G1 Siklon Tozu	<0,05	3232,0	312,90	819,50	19405,0	132,67	17610,0	72,45	32680,0	140200	147082,5	46630	12750	44870	90675,0
22.01.2011- G1 Siklon Tozu	8,75	2005,5	694,00	529,50	17560,0	192,83	27482,5	231,85	49045,0	166150	278975,0	72650	22230	34705	109275,0
24.01.2011- G1 Siklon Tozu	<0,05	1467,5	432,15	313,70	14065,0	132,50	19115,0	143,4	37772,5	169850	334900,0	62450	14660	29105	101875,0

Çizelge 6.22 : EPA 3050B yöntemine göre, G-2 gazlaştırıcısından alınan siklon tozu örneklerinin metal analiz sonuçları.

Metal Konsantrasyonu (mg/kg)	As	Ba	Cd	Cr (+3)	Cu	Ni	Pb	Si	Zn	Ca	Mg	Na	K	Al	Fe (Top.)
Numune Adı															
19.01.2011- G2 Siklon Tozu	86,45	2232,5	214,75	340,10	9495,0	124,83	11570,0	25,0	34910,0	101800	170052,5	67500	7060	44220	100225,0
20.01.2011- G2 Siklon Tozu	84,25	1730,0	156,80	317,15	15670,0	133,33	115200	24,1	30045,0	143600	302350,0	62450	8350	40305	84250,0

6.2.1.4 Klinker örneklerinin metal analiz sonuçları

Yakıtın gazlaştırılması sonucunda oksitlenmiş formda kalan mineraller küllü oluşturmaktadır. Ancak, kül gazlaştırma prosesini iki şekilde olumsuz etkileyebilir: 1) Eriyip birleşerek cüruf oluşturur ve bu cüruf reaktöre yapışıp sertleşerek klinker oluşturabilir. Klinker oluşumu ise atığın reaktör içinde akışını engelleyebilir. 2) Kül tam olarak erimese de yakıtın tam olarak yanmaya başladığı noktaları kapatarak yakıtın reaksiyon tepkisini azaltır [60]. Reaktörlerde meydana gelen yapışmalar sistemin durdurulmasına ve reaktörlerin bakıma alınmasına sebep olacak kadar fazla hale gelebilmektedir. Bu başlık altında, bu nedenlerden dolayı belirli aralıklarda reaktörlerde oluşmuş klinker örneklerinin “Soda Eritiş Yöntemi” ve “Yaş Metod” ile hazırlanan çözeltilerinin metal analiz sonuçları verilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda kül ve cüruf yapısında yüksek oranda SiO_2 ve Al_2O_3 oksitlerinin bulunduğu ve camsı bir yüzeye sahip olduğu tespit edilmiştir [3,61]. Bu nedenle örneklerde sadece bu bileşiklerin analizi yapılmıştır.

Çizelge 6.23 : Soda eritiş yöntemi ile klinker örneklerinde silisyum ve alüminyum analizi

Gazlaştırıcı	Numune Adı	Si (%)	SiO_2 (%)	Al (%)	Al_2O_3 (%)
G-2	29-30.2011	5,49	11,73	9,61	18,15
G-2	06.12.2011	2,07	4,43	412	7,77
G-2	09.12.2011	1,17	2,49	9,43	17,80
G-1	19.12.2011	1,75	3,73	3,65	6,89
G-1	25.01.2011	2,76	5,91	10,22	19,30

Çizelge 6.23'te, 5 klinker örneğine ait analiz sonuçları yer almaktadır. G-2 gazlaştırıcısından alınan numunelerden en yüksek SiO_2 ve Al_2O_3 içeriğine 29-30.10.2010 tarihli numune sahiptir. G-1 gazlaştırıcısından alınan örneklerde ise en yüksek SiO_2 ve Al_2O_3 içeriğine 25.01.2011 tarihinde alınan numune sahiptir. Klinker numuneleri, ısı değeri çok düşük; külün ergimesi ile oluşmuş sert yapılar oldukları için yapılarında çoğunlukla metal oksitler bulunmaktadır. Ancak, SiO_2 değerleri beklenen değerlerden daha düşüktür. Bunun sebebi Si elementinin sadece HF asidi ile reaksiyon vermesi olarak açıklanabilir. Soda eritiş yönteminde HF asidi kullanılmadığı için silisyumun tam çözdürülmesi sağlanamamaktadır. Bu nedenle, gravimetrik yöntem kullanılarak da SiO_2 ve Al_2O_3 içeriği tayin edilmiştir.

Çizelge 6.24 : Yaş metod ile klinker örneklerinde SiO₂ ve Al₂O₃ tayini.

Gazlaştırıcı	Numune Adı	SiO ₂ (%)	Al (%)	Al ₂ O ₃ (%)
G-2	29-30.10.201	36,80	3,80	7,18
G-2	06.12.2010	25,12	5,39	10,18
G-2	09.12.2010	22,44	12,08	22,82
G-1	19.12.2010	33,06	7,82	14,76
G-1	25.01.2011	32,62	10,75	20,31

Çizelge 6.24'te, klinker numunelerinin gravimetrik yöntem ile SiO₂ ve Al₂O₃ bileşikleri tayin edilmiştir. Bu değerler, soda eritiş yöntemi ile alınan sonuçlardan daha yüksektir. En yüksek SiO₂ içeriği 29-30.10.2010 tarihinde G-2 gazlaştırıcısından alınan numunede görülmektedir. G-1 gazlaştırıcısında ise en yüksek SiO₂ içeriği, 19.12.2010 tarihinde alınan numunede görülmektedir. Al₂O₃ ise, gravimetrik tayinden sonra katı kalıntının asitte çözündürülmesi ile elde edilen çözeltinin ICP-OES'te analiz edilmesi ile belirlenmiştir. 25.01.2011 tarihinde alınan numunenin her iki yöntem ile belirlenen Al₂O₃ değeri neredeyse aynıdır.

6.2.2 Char ve siklon tozlarının su ile özütleme (leach) analizi sonuçları

Gazlaştırma sonucu oluşan, char ve siklon tozu numunelerinin TAKY-EK 11A kapsamında, çevreye olası sızıntı potansiyellerini değerlendirmek amacıyla TS EN 12457-4 yöntemine göre çözeltileri hazırlanmıştır ve ICP-OES cihazında analiz edilerek metal bileşenleri belirlenmiştir. Tüm çözeltiler "Sıvı/Katı = 10" olacak şekilde, 100 ml saf suya 10 gr numune eklenmesi ile hazırlanmıştır. Bu sonuçlara göre bu maddelerin sınıflandırılması ile ilgili öngörülerin yapılması mümkün hale gelmektedir.

6.2.2.1 Char numunelerinin analiz sonuçları

Günlük char numuneleri, gün içinde belirli saatlerde toplanmış olan örneklerin eşit miktarda karıştırılıp homojen hale getirilmesiyle elde edilmiştir. Bu numunelere ait su ile özütleme (leach) testi ortalama sonuçları Çizelge 6.25'te verilmiştir. Numunelerin tekrarlanabilir sonuçları Ek C'de bulunan Çizelge C.1'de yer almaktadır. Bu değerler, TAKY-EK 11A'daki kriterleri ile karşılaştırılarak değerlendirilecektir.

Çizelge 6.25'te, 16.10.2010, 03.11.2010 tarihlerinde G-1 ve 25.12.2010 tarihinde G-2 gazlaştırıcısından alınan char numunelerinin As elementi konsantrasyonu 0,2 mg/l'ten büyük olduğu görülmektedir. Bu nedenle, Ek-11A'ya göre tehlikeli atık olarak değerlendirileceklerdir. Diğer char numunelerinin ise As derişimi 0,05'ten küçük oldukları için inert atık olarak kabul edilebilirler. Ba elementinin derişimi, tüm char numunelerinde 2 mg/l'ten küçük olduğu için numuneler bu element açısından da inert atık muamelesi görecektirler. Char numunelerinin hiçbirinde Cd elementi bulunmadığı için inert atık kriterini sağlamaktadırlar. 25.12.2010 tarihinde G-2 gazlaştırıcısından alınan char numunesinde tespit edilen Cr konsantrasyonu ise 1 mg/l'ten büyük olduğu için tehlikeli atık muamelesi görecektir. Cu elementi ise sadece 03.11.2010 tarihinde G-1 reaktöründen alınan char numunesinde 0,2-5 mg/l aralığında olduğu için tehlikesiz atık; diğer char numunelerinde ise düşük miktarda bulunduğu için inert atık olarak değerlendirilecektir. Numunelerde Hg elementi tespit edilmediği için inert atık olarak değerlendirilirler. Ni elementi tüm char numunelerinde yakın derişimdedir ve atıklar tehlikesiz atık olarak değerlendirilebilirler. 16.10.2010 tarihinde G-1 gazlaştırıcısından alınan char numunesinde Pb elementi derişimi 0,05 mg/l'ten yüksek olduğu için tehlikesiz atık grubundadır. Diğer numuneler, ise bu elementi içermedikleri yine inert atık olarak değerlendirileceklerdir. Numunelerin hiçbirinde Zn elementi tespit edilmediği için inert atık kriteri sağlanmaktadır. Numunelerin genel olarak kendi aralarında da metal derişimleri benzer değerlerdedir. Char numunelerinin çoğunlukla inert atık kriterlerine sağladığı görülmektedir. Ancak numunelerde bazı metallerin tehlikeli atık olma kriterini sağlayan derişimlerde bulunmaları, bu atıkların Ek 11A'ya göre, tehlikeli atık olarak muamele görmesini gerektirmektedir. Char numunelerinin 1500-3000 kcal/kg arasında değişen ısı değer potansiyellerinden dolayı, önce tekrar termal bir proste değerlendirildikten sonra kalan külün düzenli depolamaya gönderilmesi gerekmektedir. Char numunelerinin su özütleme testinde, metal derişim değerlerinin çeşitli yöntemlerle yapılan çözdürme metodlarına göre daha düşük olması beklenir. Asitle çözdürme yöntemi ve su ile özütleme yönteminden elde edilen sonuçlar bu farkı göstermektedirler.

Çizelge 6.25 : Char numunelerinin su özütlemeye analizi ile belirlenen metal bileşenlerinin ortalama konsantrasyon değerleri.

Reaktör	Metal Konsantrasyonu (mg/lt)	As	Ba	Cd	Cr (+3)	Cu	Hg	Ni	Pb	Si	Zn	Ca	Mg	Na	K	Al	Fe (Top.)
	Numune Adı																
G-1	16.10.2010	0,2557	0,138	<0,001	<0,001	0,105	<0,001	0,488	0,337	1,554	<0,001	177,3	6,86	1208	421,2	1,882	0,265
G-1	18.10.2010	0,026	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,462	<0,001	2,209	<0,001	800	7,85	701,3	289	1,119	0,215
G-1	01.11.2010	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,459	<0,001	2,743	<0,001	339	8,18	1251	193,7	2,718	0,239
G-1	03.11.2010	0,678	<0,001	<0,001	<0,001	4,016	<0,001	0,99	<0,001	2,505	<0,001	628,8	18,39	1229	201,4	2,677	0,421
G-1 + G-3	13.11.2010	<0,001	0,552	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,466	<0,001	<0,001	<0,001	131,1	0,16	1332	173,3	43,27	0,509
G-2	25.12.2010	0,44	1,867	<0,001	2,338	<0,001	<0,001	0,499	<0,001	<0,001	<0,001	294,5	3,29	2208	282,5	13,35	0,465

TS EN 12457-4 yöntemine göre, çözeltilerin analizi yapıldıktan sonra pH ve iletkenliklerinin ölçülmesi, atıkların suya mobilite davranımlarının kontrol edilmesi için gereklidir. Ek C'de bulunan Çizelge C.2'de char numunelerine ait çözeltilerin ortalama pH ve iletkenlik değerleri verilmiştir. Bu değerlerde pH 7 ile 10 arasında değişmektedir. İletkenlik değerleri de birbirine yakın durumdadır. İletkenliğin yüksek olması çözelti bileşimindeki metal derişimlerinin de yüksek olduğunu göstermektedir.

6.2.2.2 Siklon tozu numunelerinin analiz sonuçları

Siklon tozu numunelerinin, TAKY-EK 11A kriterlerine göre değerlendirilmesi amacıyla su ile özütleme (leach) testleri yapılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 6.26'da verilmiştir.

Çizelge 6.26'ya göre, siklon tozu numunelerinden 19.01.2011 tarihinde G-1 ve G-2 siklonundan alınan numunelerde As elementinin derişimi 0,2-2,5 mg/l aralığında olduğu için bu numuneler tehlikeli atık olarak muamele göreceklendir. Diğer numunelerde ise, As elementi 0.05 mg/l'ten daha düşük derişimde olduğu için inert olarak kabul edilebilir. Toz numunelerin Ba elementi derişimi birbirine çok yakındır. Ayrıca, hepsinde Ba derişimi 2 mg/l'ten düşük olduğu için numuneler inert atık kriterine uymaktadırlar. Cd elementi, G-1 siklonundan alınan toz numunelerde 0,5 mg/l'ten daha yüksek derişimde olduğu için bu atıklar tehlikeli atık muamelesi görmelidir. Ayrıca, bu derişim değerleri üst sınırdan daha yüksek olduğu için Ek 11-A'ya göre tehlikeli atık düzenli depolama sahasına gönderilmeden önce bir ön işleme tabi tutularak, üst sınırın altına çekilmelidir. Bu koşul da sağlanamıyor ise, bu atıklar ayrı olarak (tek tür) depolanmalıdır. Numuneler, Cr elementi derişimi 0,05-1 mg/l aralığında olduğu için bu element açısından tehlikesiz atık olarak muamele görebilirler. Cu elementi 19.01.2011 tarihinde G-1 ve G-2 siklonlarından alınan numunelerde tespit edilmediği için bu örnekler inert kabul edilebilir. Ancak diğer siklon tozu numunelerinde Cu derişimi 0,2-5 mg/l aralığında oldukları için tehlikesiz atık olarak muamele görmeleri uygundur.

Hg elementinin derişimi, 19.01.2011 G-1 siklon tozu numunesinde tehlikeli atık üst sınır değerinde üzerinde tespit edilmiştir. Bu nedenle bu atığında ön işleme tutulması gerekmektedir. Diğer örneklerde ise, Hg elementi tespit edilmemiştir. Bu tip farklılıkların ortaya çıkmasının sebebi, reaktöre beslenen atıkların içeriği olabilir.

Buna bağlı olarak sentez gazı ile siklona gelen toz partiküllerde yapısal farklılıklar göstermektedir. Ni elementinin derişimi, toz numunelerinden ilk dört tanesinde 0,04-1 mg/lt aralığında olup birbirlerine yakın değerdedirler ve tehlikesiz atık kriterlerine uymaktadırlar. 22.01.2011 ve 24.01.2011 tarihinde alınan numunelerde ise bu değerler 1-4 mg/lt arasında oldukları için tehlikeli atık olarak muamele görecektirler. Siklon tozu numunelerinde Pb elementi bulunmadığı için bu açıdan inert atıklardır. Çinko elementi de 20.01.2011 tarihinde alınan numunede 0,4 mg/lt'den küçük derişimde olup diğer numunelerde tespit edilmediği için bu açıdan da inert atık kabul edilebilirler. Siklon tozu numuneleri, tehlikeli atık kriterlerinden en az birini sağlamalarından dolayı tehlikeli atık olarak değerlendirilmektedirler.

Siklon tozu numunelerine ait çözeltilerin pH ve iletkenlik değerleri Ek C'de bulunan Çizelge C.3'te yer almaktadır. Bu çözeltilerin pH değerleri 7 ile 8 arasında değişmektedir. İletkenlik değerleri ise char numunelerine oranla çok daha yüksektir. Bu da içerdikleri metal derişimlerinin char örneklerine göre daha fazla olması ile açıklanmaktadır.

Çizelge 6.26 : G-1 ve G-2 reaktör siklonlarından alınan numunelerin su özütleme analizi ile belirlenen metal bileşenlerinin ortalama değerleri.

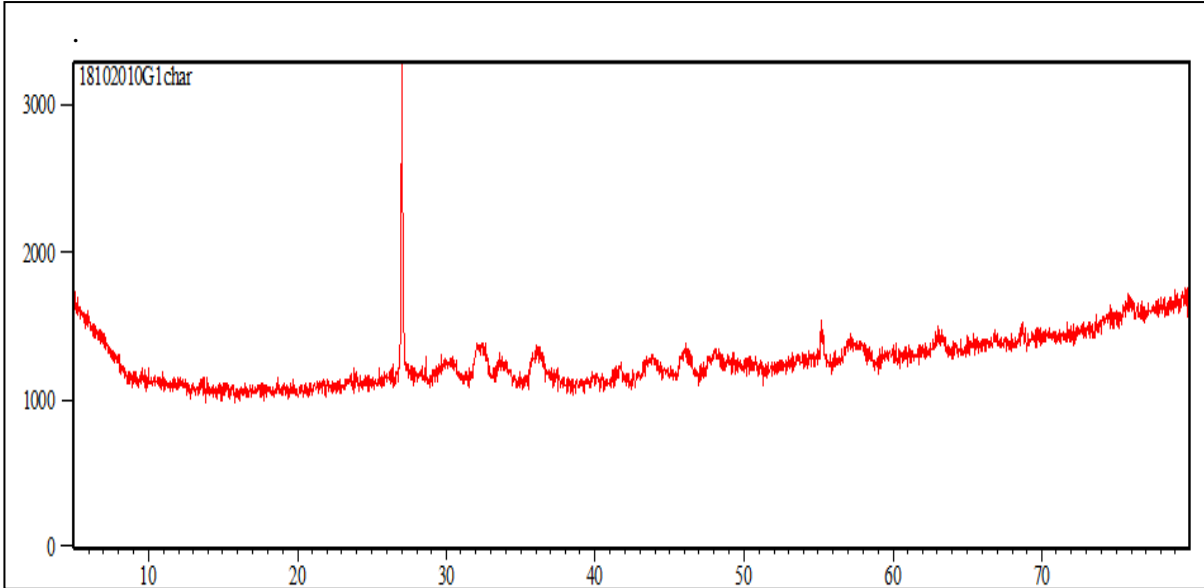
Metal Konsantrasyonu (mg/lt)	As	Ba	Cd	Cr (+3)	Cu	Hg	Ni	Pb	Si	Zn	Ca	Mg	Na	K	Al	Fe (Top.)
Numune Adı																
19.01.2011/G-1 Siklon Tozu	0,233	0,822	<0,001	0,159	<0,001	0,965	0,563	<0,001	3,278	<0,001	1713,0	3,543	1806	763,6	23,39	2,283
19.01.2011/G-2 Siklon Tozu	0,597	0,713	1,720	0,178	<0,001	<0,001	0,547	<0,001	4,233	<0,001	1144,0	30,05	4410	1222	<0,001	2,359
20.01.2011/G-1 Siklon Tozu	<0,001	0,803	4,213	0,406	1,320	<0,001	0,631	<0,001	4,884	0,01	1394,0	59,04	2478	848,9	<0,001	2,2
20.01.2011/G-2 Siklon Tozu	<0,001	0,791	<0,001	0,496	0,265	<0,001	0,624	<0,001	6,256	<0,001	1007,0	19,78	1807	763,2	<0,001	2,377
22.01.2011/G-1 Siklon Tozu	<0,001	0,806	12,58	0,248	0,389	<0,001	1,253	<0,001	12,71	1,631	968,0	56,28	4567	1962	<0,001	2,056
24.01.2011/G-1 Siklon Tozu	0,031	0,873	3,580	0,327	0,758	<0,001	1,020	<0,001	13,18	0,242	1504,0	45,94	4134	1724	<0,001	1,935

6.3 Char, Siklon Tozu ve Klinker Örneklerinin XRD Analiz Sonuçları

Char, siklon tozu ve klinker örneklerinin her birinden dört adet numune seçilerek XRD analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları bu başlık altında değerlendirilecektir.

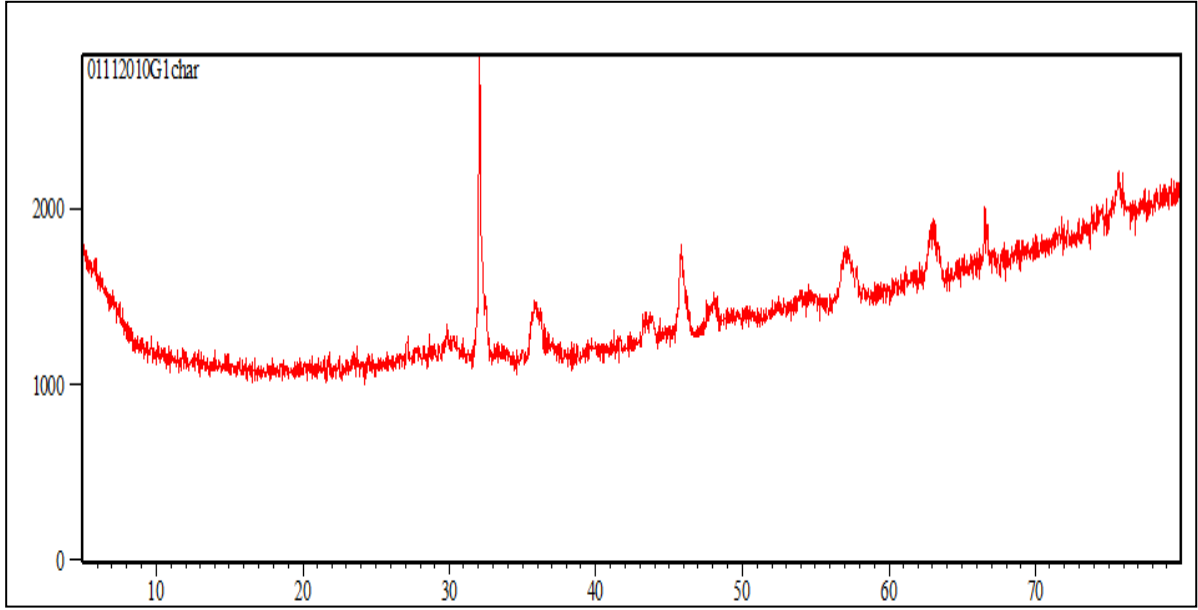
6.3.1 Char numunelerinin analiz sonuçları

Char numunelerinden yüksek kül oranı ve düşük ısı değer parametrelerine dikkat edilerek 18.10.2010 G-1, 01.11.2010 G-1, 13.11.2010 G-1 ve G-3, 25.12.2010 G-2 numunesi olmak üzere 4 adet örnek seçilerek XRD analizi yapılmış ve sonuçları aşağıda verilmiştir. 13.11.2010 tarihinde her iki reaktörden alınan char örnekleri eşit oranlarda karıştırılarak, o günün numunesi hazırlanmıştır



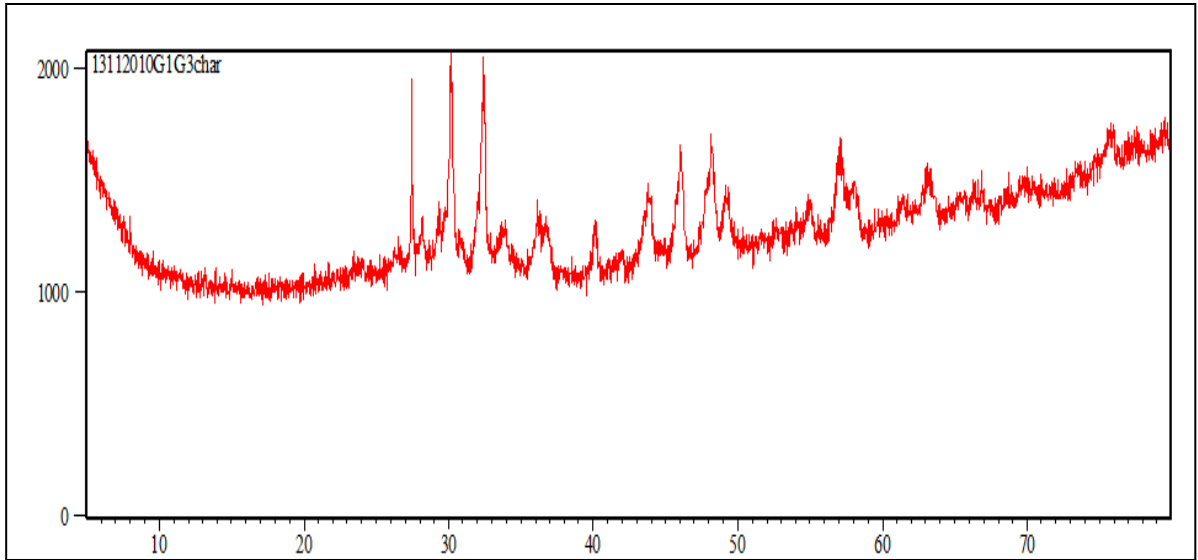
Şekil 6.2 : 18.10.2010 tarihinde G-1 gazlaştırıcısından alınan char numunesine ait XRD sonuçları.

Şekil 6.2’de 18.10.2010 tarihinde G-1 gazlaştırıcısından alınan char numunesinin XRD difraktogramı yer almaktadır. Bu numunenin faz analizi incelendiğinde; Potasyum Demir Sülfat ($K_3Fe(SO_4)_3$), Pirotin (FeS), Tausonite ($SrTiO_3$), Magnezyum Alüminyum Demir Oksit ($MgAl_8Fe_{1.2}O_4$) ve Vaterit ($CaCO_3$) bulunduğu tespit edilmiştir. Bu numunede Fe elementinin bileşikleri ön plana çıkmaktadır.



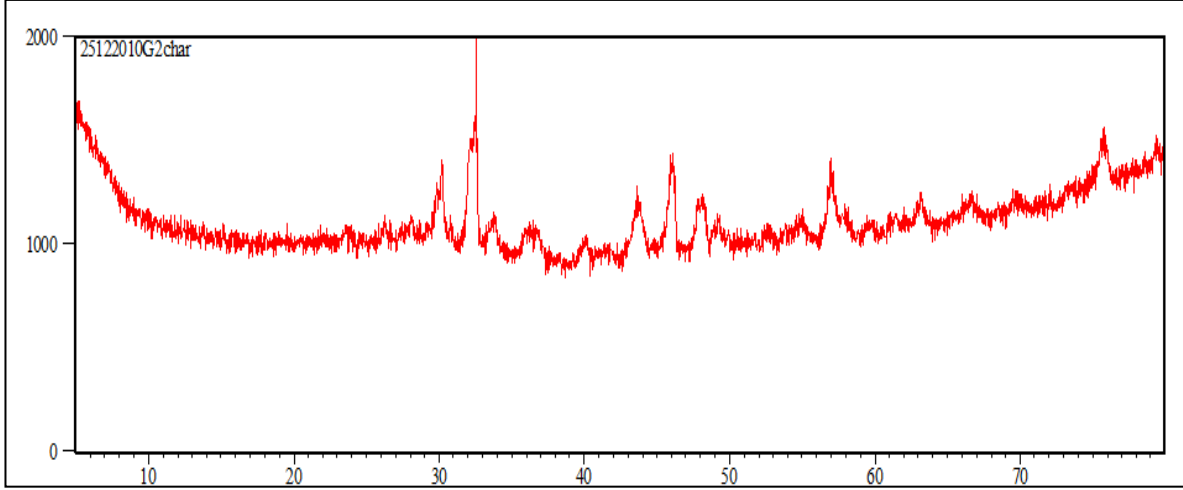
Şekil 6.3 : 01.11.2010 tarihinde G-1 gazlaştırıcısından alınan char numunesine ait XRD sonuçları.

Şekil 6.3'te 01.11.2010 tarihinde G-1 gazlaştırıcısından alınan char numunesinin XRD difraktogramı yer almaktadır. Numunenin faz değerlendirmesi sonucu yapısında; Magnetit (Fe_3O_4), Potasyum Demir Silikat ($\text{K}_2\text{Fe}_2\text{SiO}_2.29\text{O}_4$), Kalsiyum Silikat (Ca_2SiO_4), Magnezyum Ferrit (MgFe_2O_4) ve Sodyum Oksit (Na_2O) bulunduğu belirlenmiştir.



Şekil 6.4 : 13.11.2010 tarihinde G-1 ve G-3 gazlaştırıcılarından alınan char numunesine ait XRD sonuçları.

Şekil 6.4'te, 13.11.2010 tarihinde G-1 ve G-3 gazlaştırıcılarından alınan char numunesine ait XRD difraktogramı yer almaktadır. Buna göre numunenin faz analizi kapsamında yapısında, Kurşun hidroksiapatit ($Pb_{10}(PO_4)_6(OH)_2$), Cattierite (CoS), Magnezyum Çinko (MgZn), Trona ($Na_3H(CO_3)_2 \cdot 2H_2O$), Kalsiyum Silikat ($CaSiO_3$) ve Magnezyum Kalsit ($MgCa(CO_3)$) bulunduğu görülmüştür.



Şekil 6.5 : 25.12.2010 tarihinde G-2 gazlaştırıcısından alınan char numunesine ait XRD sonuçları.

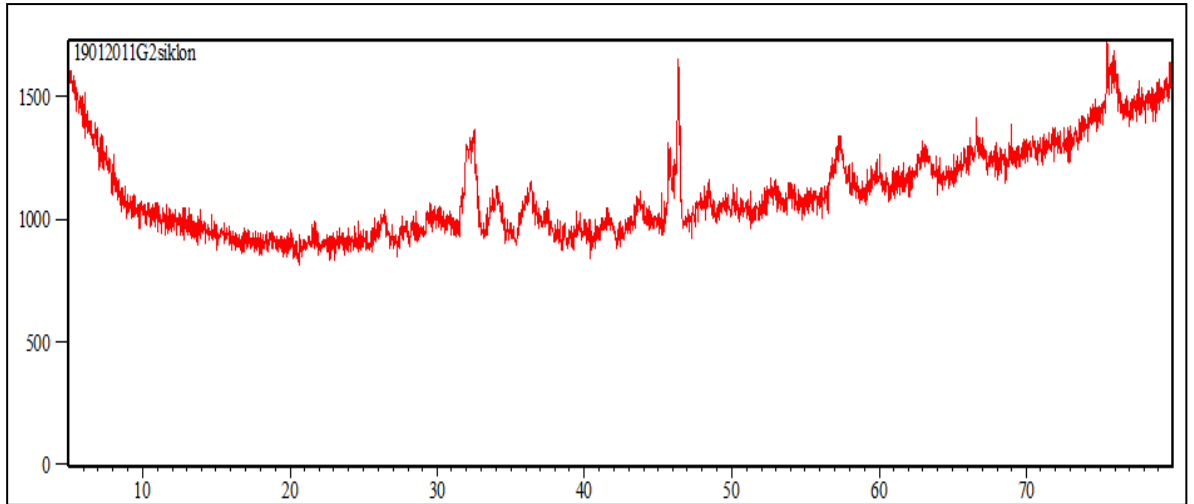
Şekil 6.5'te 25.12.2010 tarihinde G-2 gazlaştırıcısından alınan char numunesinin XRD difraktogramı yer almaktadır. Numunenin faz değerlendirmesi sonucu yapısında; Pirotit (FeS), Kalsiyum Silikat (Ca_2SiO_4), Sodyum Oksit (Na_2O), Kalsiyum Demir Titanyum Oksit ($CaFeTi_2O_6$), Baryum Stronsiyum Titanyum Oksit ($(BaSr).(TiO_3)$), Kalsit Magnezyum ($MgCa.(CO_3)$) ve Demir Silisyum Oksit (Fe_3SiO_4) bileşiklerinin çoğunlukta olduğu belirlenmiştir.

Şekil 6.2 ve 6.3'ün pikleri incelendiğinde birbirine çok benzer olduğu görülmektedir. Her iki numunede de demir bazlı kompleks bileşikler bulunmaktadır. Bunun nedeni bu iki numunenin yakın tarihte aynı reaktörden alınmalarından olabilir. 13.11.2010 tarihinde alınan numunede ise kalsiyum ve magnezyum ağırlık bileşiklerin olduğu görülmektedir. 25.12.2010 tarihinde G-2 gazlaştırıcısından alınan char numunesinde ise titanyum ve kalsiyum oksit içeren bileşikler ön plandadır. Char, mineral içeriği dışında hala 1500-3000 kcal/kg arasında değişen bir ısıl değere sahip olduğu için tekrar termal işleme uğraması sonucu kalan külün incelenmesi daha ayrıntılı ve gerçeğe daha yakın bir değerlendirme yapılmasını sağlayabilir.

Şekil 6.2-6.5'te verilen difraktogramlarda görüldüğü üzere numunelerin analizinde çok fazla pik oluşmuştur. Normal koşullarda gerçekleşen bir gazlaştırma prosesi sonucunda oluşan char numunelerinin amorf yapıda olması beklenmektedir. Ancak, deneysel bulgular ise kristal yapıda olduklarını göstermiştir. Benzer şekilde klinker ve siklon tozu numunelerinde de daha sonra belirtileceği üzere, kristal yapı gözlenmiştir. Char numunelerinin kristal yapıda olmalarının nedeni, ergimenin tam olarak gerçekleşmemesi ve zayıf cüruflaşma meydana gelmesi ile açıklanabilir. Bu durum aynı zamanda gazlaştırmanın tam olarak gerçekleşmemesi sonucunu da ortaya koymaktadır [59].

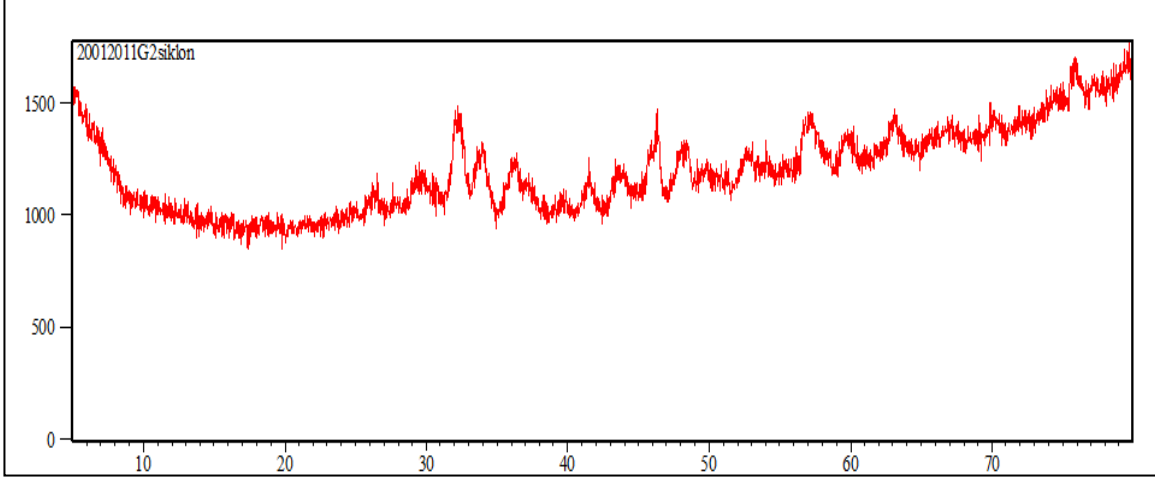
6.3.2 Siklon tozu numunelerinin analiz sonuçları

Yüksek kül oranı ve düşük ısı değer parametrelerine dikkat edilerek seçilen 19.01.2011 G-2, 20.01.2011 G-2, 22.01.2011 G-1 ve 24.01.2011 G-1 numunelerine ait XRD analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.



Şekil 6.6 : 19.01.2011 tarihinde G-2 siklonundan alınan toz numunesine ait XRD sonuçları.

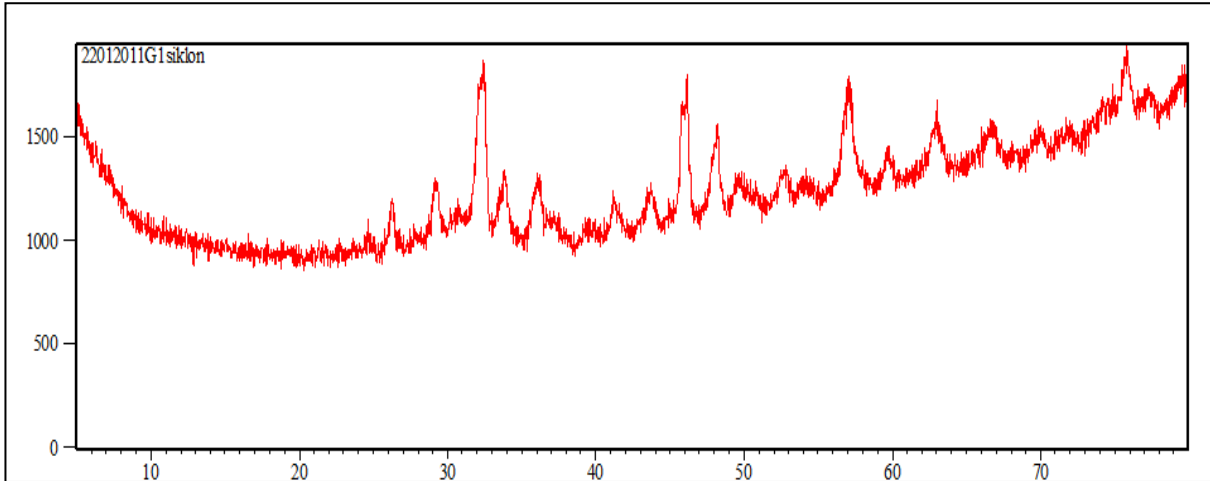
Şekil 6.6'da 19.01.2011 tarihimde G-2 siklonundan alınan toz numunesine ait XRD difraktogramı verilmiştir. Buna göre numune bileşiminde olan bileşikler çoğunlukla; Kurşun Demir Oksit ($Pb_2Fe_2O_5$), Zincite (ZnO), Pirotit (FeS), Aragonit ($CaCO_3$) ve Kurşun Kalsiyum Titanyum Oksittir ($PbCa(TiO_3)$).



Şekil 6.7 : 20.01.2011 tarihinde G-2 siklonundan alınan toz numunesine ait XRD sonuçları.

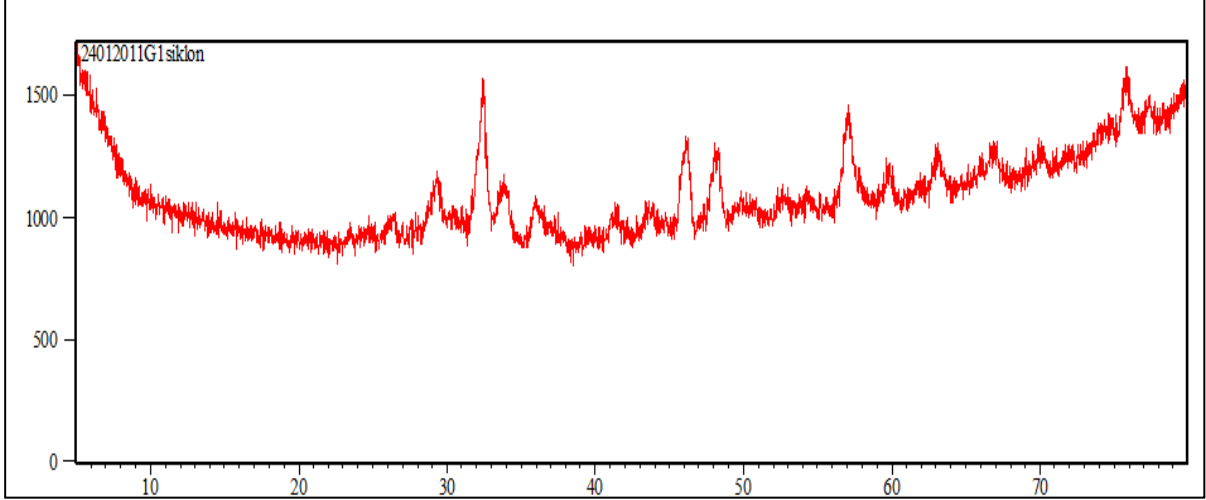
Şekil 6.7’de 20.01.2011 tarihimde G-2 siklonundan alınan toz numunesine ait XRD difraktogramı verilmiştir. Buna göre numune bileşiminde olan bileşikler Kalsiyum Silikat (Ca_2SiO_4), Digenite (Cu_9S_5), Pirotit (FeS), Kalsiyum Demir Oksit (CaFeO_3), Zincite (ZnO) ve Kurşun Kalsiyum Titanyum Oksittir ($\text{PbCa}(\text{TiO}_3)$).

Şekil 6.6 ve 6.7 kıyaslandığında benzer özellikte difraktogramlar elde edildiği görülmektedir. Numunelerin, aynı reaktörden alınması bu duruma etkendir. Ayrıca alınış tarihleri sürecinde beslenen atığın içeriğinde ciddi bir değişiklik meydana gelmemesi de oluşan toz ve gazın da değişmemesine neden olmuştur. Bu nedenle 19 ve 20.01.2011 G-2 siklon tozu numuneleri çoğunlukla aynı oksitleri içermektedir.



Şekil 6.8 : 22.01.2011 tarihinde G-1 siklonundan alınan toz numunesine ait XRD sonuçları.

Şekil 6.8’de 22.01.2011 tarihimde G-1 siklonundan alınan toz numunesine ait XRD difraktogramı yer almaktadır. Buna göre numune bileşiminde çoğunlukla; Potasyum Kalsiyum Silikat ($\text{Ca}_{1.917}\text{K}_{0.166}\text{SiO}_4$), Kalsiyum Kurşun Oksit (CaPbO_3), Halite (NaCl), Kuartz (SiO_2), Pirotit (FeS) ve Aragonit (CaCO_3) bulunmaktadır.



Şekil 6.9 : 24.01.2011 tarihinde G-1 siklonundan alınan toz numunesine ait XRD sonuçları.

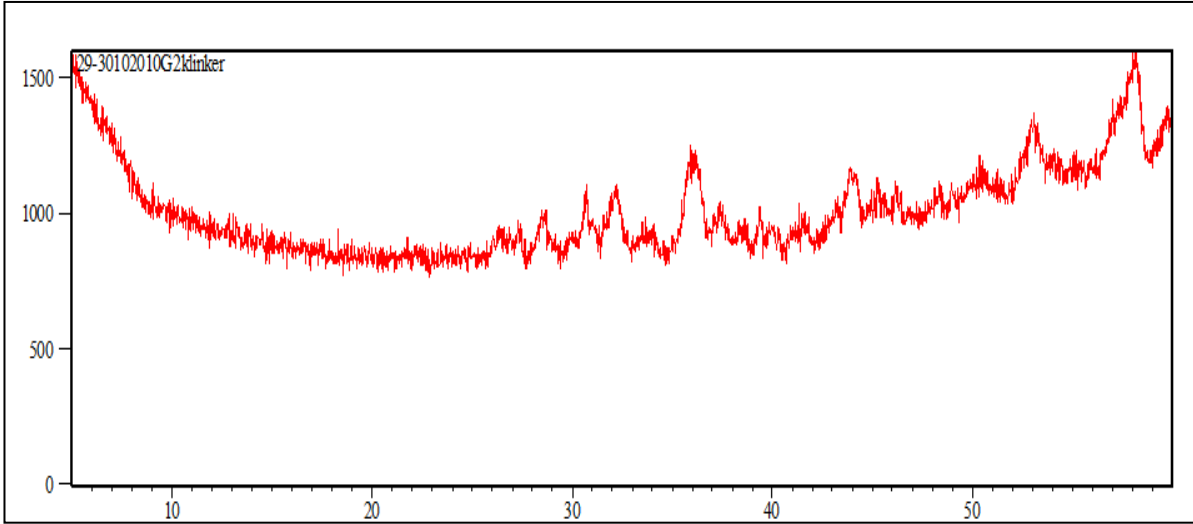
Şekil 6.9’da 24.01.2011 tarihimde G-1 siklonundan alınan toz numunesine ait XRD difraktogramı verilmiştir. Buna göre numune bileşiminde çoğunlukla; Kurşun Oksit (PbO_2), Aluminyum Oksit (Al_2O_3), Potasyum Titanyum Oksit (K_2TiO_3), Sodyum Titanyum Oksit Hidrat ($\text{Na}_2\text{TiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), Kalsiyum Demir Silikat Klorür ($\text{Ca}_{18}\text{Fe}_{15}\text{Si}_4\text{O}_{47}\text{Cl}_{16}$) ve Kalsiyum Silikat (CaSiO_3) bulunmaktadır.

Şekil 6.8 ve 6.9 incelendiğinde, G-1 reaktöründen 22 ve 24.01.2011 tarihlerinde alınan toz örneklerin difraktogramlarının benzerlik gösterdiği görülmektedir. Bununla birlikte, iki numunede oluşan oksit çeşitleri farklılık göstermektedir. Bunun sebebi, beslenen atık içeriğinin farklı olması ya da gazlaşma koşullarının cüruflaşmayı etkilemesi olabilir.

Siklon tozu numunelerine ait difraktogramlar Şekil 6.6, Şekil 6.7, Şekil 6.8 ve Şekil 6.9’da görülmektedir. Küçük farklılıklar olmakla birlikte aynı reaktör siklonundan alınan numunelerin pikleri benzerlik göstermektedir. Numunelerde çoğunlukla kalsiyum, silisyum ve aluminyum bazlı oksitler tespit edilmiştir. Numunelerin amorf yapıda olmadığı sonucu elde edilmiştir.

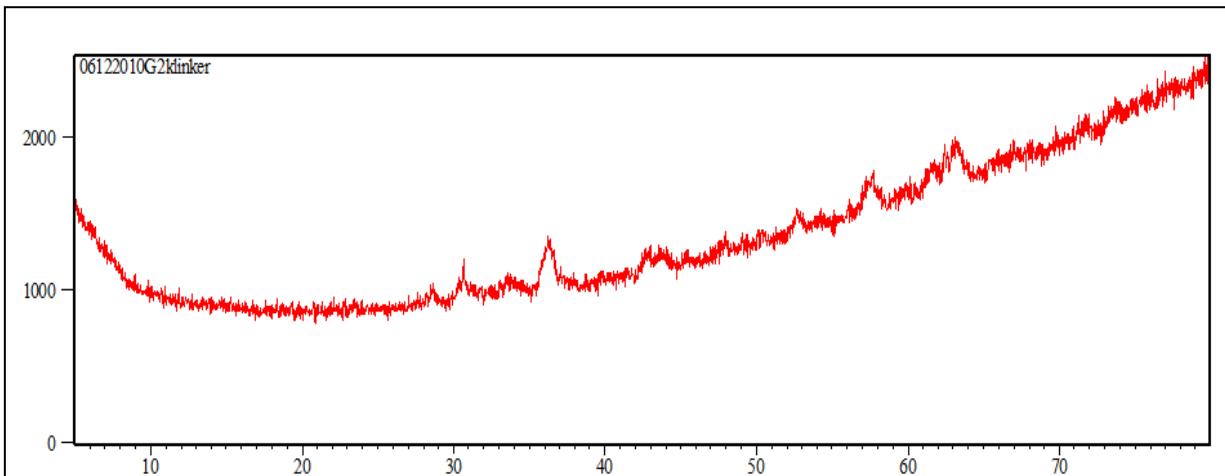
6.3.3 Klinker örneklerinin analiz sonuçları

G-1 ve G-2 reaktörlerinin herbirinden iki adet numunenin analiz edilmesi amacıyla, 29-30.10.2010 ve 06.12.2010 tarihlerinde G-2 reaktöründen; 19.12.2010 ve 25.01.2011 tarihlerinde G-1 reaktörlerinden alınan örnekler seçilmiştir. Analiz sonuçları aşağıda verilmiştir:



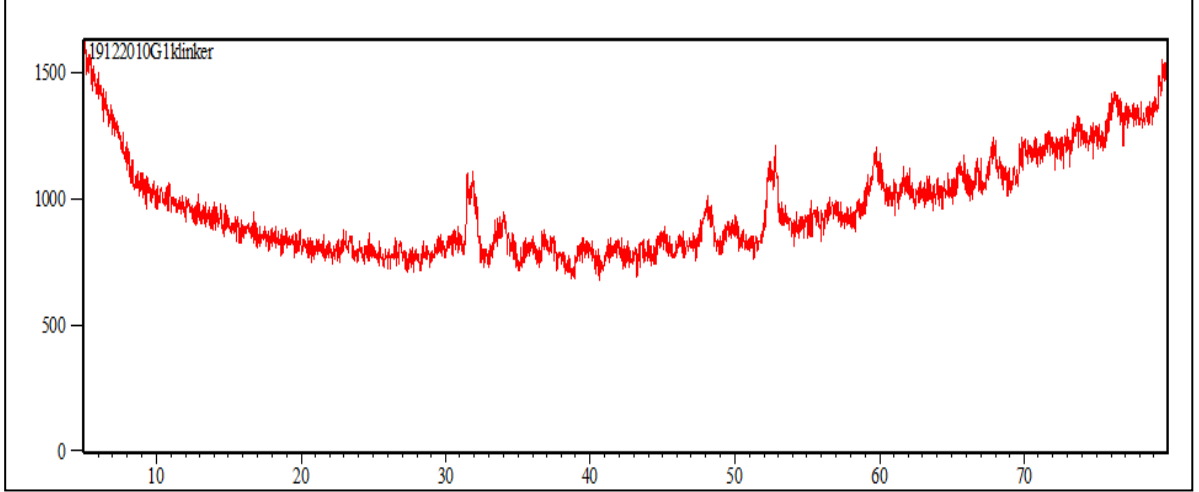
Şekil 6.10 : 29-30.10.2010 tarihinde G-2 gazlaştırıcısından alınan klinker numunesine ait XRD sonuçları.

Şekil 6.10'da 29-30.10.2010 tarihlerinde G-2 gazlaştırıcısından alınan klinker numunesine ait XRD difraktogramı görülmektedir. Buna göre klinker bileşiminde çoğunlukla; Magnezyum Demir Aluminyum Oksit ($MgFe_9AlO_4$), Kireç (CaO), Hematit (Fe_2O_3), Aluminyum Oksit (Al_2O_3), Langbeinite ($K_2Mg_2(SiO_4)_3$) ve Fassaite ($Ca_{0.968}Mg_{0.578}Fe_{0.230}Ti_{0.059}Al_{0.433}Si_{1.728}O_6$) bulunmaktadır.



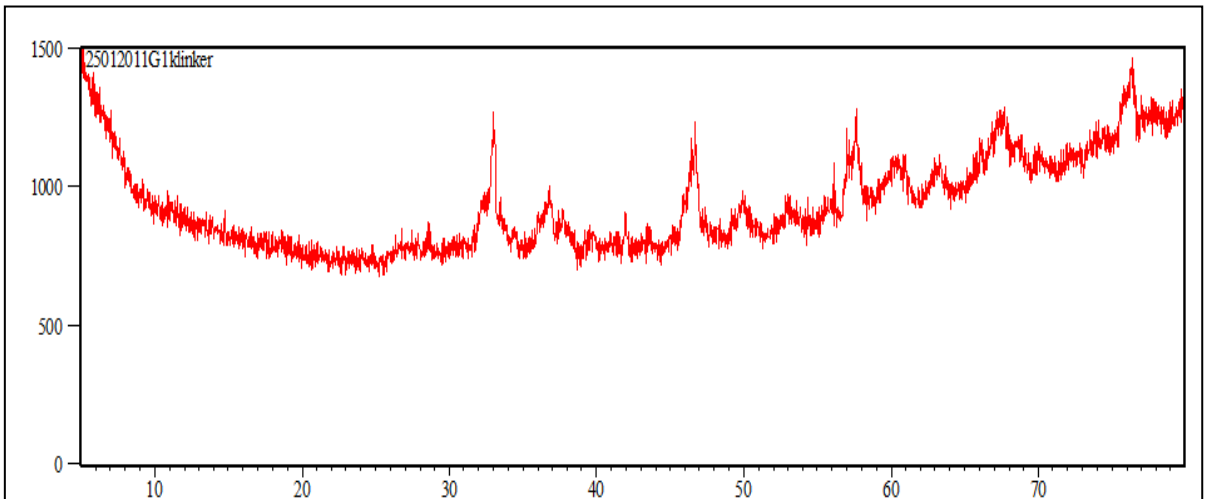
Şekil 6.11 : 06.12.2010 tarihinde G-2 gazlaştırıcısından alınan klinker numunesine ait XRD sonuçları.

Şekil 6.11’de 06.12.2010 tarihinde G-2 gazlaştırıcısından alınan klinker numunesine ait XRD difraktogramı görülmektedir. Buna göre klinker bileşiminde çoğunlukla; Magnezyum Demir Aluminyum Oksit ($MgFe_9AlO_4$), Periclase (MgO), Magnetit (Fe_3O_4), Baritkalsit ($BaCa(CO_3)_2$) ve Stronsiyum Aluminyum Silikat ($Sr_2Al_2SiO_7$) bulunmaktadır.



Şekil 6.12 : 19.12.2010 tarihinde G-1 gazlaştırıcısından alınan klinker numunesine ait XRD sonuçları.

Şekil 6.12’de 19.12.2010 tarihinde G-1 gazlaştırıcısından alınan klinker numunesine ait XRD difraktogramı görülmektedir. Buna göre klinker bileşiminde çoğunlukla; Siderite ($FeCO_3$), Kalsiyum Stronsiyum Vanadyum Oksit ($Ca_{0.73}Sr_{0.27}VO_3$), Demir Vanadyum Oksit ($Fe_{0.75}V_{0.75}(V_{0.5}O_4)$) ve Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) bulunmaktadır.



Şekil 6.13 : 25.01.2011 tarihinde G-1 gazlaştırıcısından alınan klinker numunesine ait XRD sonuçları.

Şekil 6.13'te 25.01.2011 tarihinde G-1 gazlaştırıcısından alınan klinker numunesine ait XRD difraktogramı görülmektedir. Buna göre klinker bileşiminde çoğunlukla; Alumina (Al_2O_3), Sodyum Kalsiyum Hidroksit ($Na_4Ca(OH)_6$), Demir Oksit (Fe_2O_3), Bornit (Cu_5FeS_4), Andradite ($Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$), Wüstite (FeO) ve Sodyum Peroksit (NaO_2) bulunmaktadır.

Klinker numunelerinin faz analizlerini gösteren sonuçlar Şekil 6.10-13'te yer almaktadır. Numuneler, alınış tarihleri arasında fark olması, dolayısıyla içeriğin değişmesine de sebep olduğu için metallerin çok çeşitli ve kompleks formlarda oksit bileşiklerini içermektedir. 29-30.10.2010 tarihli klinker numunesinde Mg, Fe ve Al elementlerinin oksitleri çoğunluktadır. 06.12.2010 numunesinde magnezyum oksitler ağırlıklı olup, Sr elementinin oksiti de tespit edilmiştir. 19.12.2010 numunesinde ise V elementinin oksitleri dikkat çekmektedir. 25.01.2011 tarihli numunede ise Fe ve Na elementlerinin oksitleri ile Cu elementinin de bulunduğu oksitlerin olduğu görülmektedir. XRD analizleri ile klinker numunelerinin de kristal yapıda olduğu tespit edilmiştir.

6.4 Char, Siklon Tozu ve Klinker Örneklerinin XRF Analiz Sonuçları

6.4.1 Char örneklerinin XRF analiz sonuçları

Yüksek kül oranı ve düşük ısıl değer parametrelerine dikkat edilerek seçilen 18.10.2010 G-1, 01.11.2010 G-1, 13.11.2010 G-1 ve G-3, 25.12.2010 G-2 char numunelerine ait XRF analiz sonuçları değerlendirilmiştir. 13.11.2010 tarihinde her iki reaktörde alınan char örnekleri eşit oranlarda karıştırılarak, o günün numunesi hazırlanmıştır.

18.10.2010 tarihinde G-1 gazlaştırıcısından alınan char numunesine ait XRF spektrumu Ek D, Şekil D.1'de verilmiştir. Bu numunede %1'in üzerinde olan elementler ve konsantrasyonları: %15,6 Ca, %11 Cl, %9,9 Fe, %8,2 Si, %7,8 Al, %3,7 S, %2 Ti ve %1,5 Zn şeklindedir. Pd, Ag, Se, W ve K elementleri ise bulunmamaktadır. Ba, Sb, Sn, Cd, Mo, Nb, Zr, Sr, Rb, Bi, As, Pb, Cu, Ni, Co, Mn, Cr, V ve P elementleri %1-0,006 arasında değişmektedir.

01.11.2010 tarihinde G-1 gazlaştırıcısından alınan char numunesine ait XRF spektrumu Ek D, Şekil D.2'de verilmiştir. Buna göre %1 ve üzerinde derişimi olan elementler %23 Fe, % 13,6 Si, %13,5 Ca, %9 Cl, %7,1 Al, %2,9 S, %2,9 Zn ve %1,5

Ti şeklindedir. Numunede Cd, Pd, Ag, W, Bi, As, Se, Co, K, Mg elementleri ise tespit edilmemiştir. EPA 3050B yöntemine göre yapılan metal analizlerinde ise bu numunede As, K, Mg gibi elementlerin bulunduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi numunenin heterojen olması ile açıklanabilir. Ba, Sb, Sn, Mo, Nb, Zr, Sr, Rb, Pb, Cu, Ni, Mn, Cr, V ve P elementlerinin ise %0,005-0,9 arasında olduğu görülmektedir.

13.11.2010 tarihinde alınan char numunesine ait XRF spektrumu Ek D, Şekil D.3'de verilmiştir. Bu numunede dikkat çeken elementler ve ağırlıkça yüzdeleri: %20,9 Ca, % 9,9 Si, %9,9 Fe, %8,7 Al, %8,6 Cl, %4,3 S, %3 Zn ve %2,5 Ti şeklinde tespit edilmiştir. Pd, Ag, Bi, Se, W, Co, K ve Mg elementleri numunede tespit edilmemiştir. Ba, Sb, Sn, Cd, Mo, Nb, Zr, Sr, Rb, As, Pb, Cu, Ni, Mn, Cr, V ve P elementlerinin ise %0,006-1 arasında olduğu görülmektedir.

25.12.2010 tarihinde alınan G-2 gazlaştırıcısından alınan char numunesine ait XRF spektrumu Ek D, Şekil D.4'de verilmiştir. Bu numunede dikkat çeken elementler ve ağırlıkça yüzdeleri: %17 Ca, % 12,2 Si, %8 Fe, %3,7 Al, %10,7 Cl, %3,4 S, %2,2 Zn, %2,8 Ti, %1,2 Ba ve %1,1 Pb şeklinde tespit edilmiştir. Pd, Ag, As, Se, W, Co, K ve Mg elementleri numunede tespit edilmemiştir. Sb, Sn, Cd, Mo, Nb, Zr, Sr, Rb, Bi, Cu, Ni, Mn, Cr, V ve P elementlerinin ise %0,007-0,8 arasında olduğu görülmektedir.

Numunelerin sonuçları değerlendirildiğinde yapılarını oluşturan temel elementlerin Ca, Si, Fe, Al ve Cl olduğu görülmektedir. 01.11.2010 tarihli numunede Fe içeriği en yüksek değerdedir. Diğer numunelerde ise Ca miktarı en yüksek orandadır. Ayrıca, numuneler yüksek oranda Cl elementini de içermektedirler. Kül oluşumunda önemli etkiye sahip olan bu elementler klinkerleşme ve korozyona sebep olabilmektedirler [60,61]. Yüksek klor bileşeni, 500°C'nin üzerine çıktığında alkali emisyonunu arttırmaktadır [62].

6.4.2 Siklon tozu örneklerinin XRF analiz sonuçları

Yüksek kül oranı ve düşük ısı değer parametrelerine dikkat edilerek 19.01.2011 G-2, 20.01.2011 G-2, 22.01.2011 G-1 ve 24.01.2011 G-1 siklonlarından alınan toz numunelerine ait XRF analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

19.01.2011 tarihinde G-2 siklonundan alınan toz numunesinin XRF spektrumu Ek D, Şekil D.5'te verilmiştir. Buna göre, %14,4 Ca, %9,8 Cl, %9,3 Si, %7,9 Fe, %6 Al, %5,3 Zn, %5,1 S, %2 Ti, %1,2 Pb ve %1,1 Ba elementleri numunede

bulunmaktadırlar. Pd, Ag, As, Se, W, K ve Mg elementleri tespit edilmemiştir. Sb, Sn, Cd, Mo, Nb, Zr, Sr, Rb, Bi, Cu, Ni, Mn, Cr, V ve P elementlerinin ise 0,004-0,8 arasında olduğu görülmektedir.

20.01.2011 tarihinde G-2 siklonundan alınan toz numunesinin XRF spektrumu Ek D, Şekil D.6'de verilmiştir. Buna göre, %23,4 Ca, %14,4 Mg, %13,2 Cl, %9,1 Si, %9,8 Fe, %8,2 Al, %7,5 Zn, %2,8 Ti ve %2 Pb elementleri bulunmaktadır. Pd, Se, W, K, P ve S elementleri tespit edilmemiştir. Sb, Sn, Cd, Ag, Mo, Nb, Zr, Sr, Rb, Bi, As, Cu, Ni, Co, Mn, Cr ve V elementlerinin ise %0,007- 0,8 arasında olduğu görülmektedir.

22.01.2011 tarihinde G-1 siklonundan alınan toz numunesinin XRF spektrumu Ek D, Şekil D.7'de verilmiştir. Buna göre, %13 Ca, %11,3 Cl, %7,4 Al, %6,8 Si, %6,3 Fe, %6,2 Zn, %4,6 S, %2,8 Pb ve %1,7 Ti elementleri bulunmaktadır. Pd, Nb, Bi, As, Se, W, K, ve Mg elementleri tespit edilmemiştir. Sb, Sn, Cd, Ag, Mo, Zr, Sr, Rb, Cu, Ni, Co, Mn, Cr ve V elementlerinin ise %0,009-0,7 arasında olduğu görülmektedir.

24.01.2011 tarihinde G-1 siklonundan alınan toz numunesinin XRF spektrumu Ek D, Şekil D.8'de verilmiştir. Buna göre, %16 Ca, %12,7 Cl, %6,3 Si, %5,7 Fe, %4,7 Al, %4,5 Zn, %4,5 S, %2,1 Pb ve %1,7 Ti elementleri bulunmaktadır. Pd, Bi, As, Se, W, Ni, K, ve Mg elementleri tespit edilmemiştir. Ba, Sb, Sn, Cd, Ag, Mo, Nb, Zr, Sr, Rb, Cu, Co, Mn, Cr, V ve P elementlerinin ise %0,003-0,7 arasında olduğu görülmektedir.

Siklon tozu numunelerinin yapısında, char numunelerinde görüldüğü gibi çoğunlukla Ca, Si, Al, Fe ve Cl olduğu tespit edilmiştir. Sadece 20.01.2011 tarihinde G-2'den alınan toz örneğinde Mg elementi yüksek oranda tespit edilmiştir. Ayrıca, Zn ve S elementleri de char numuneleri karşılaştırıldığında siklon tozlarında daha yüksek orandadır. Bunun sebebi siklon tozlarının daha geniş yüzey alanına ve yüksek absorpsiyon kapasiteleri sahip olmalarıdır. Ayrıca Zn gibi uçucu metaller yüksek sıcaklıktaki gazlaştırıcıda oluşan char yapısında kalmayıp buharlaşabilir ve daha sonrasında ham gaz ile siklona sürüklendikten sonra partikül yüzeyinde yoğunlaşmaları da neden olabilmektedir.

6.4.3 Klinker örneklerinin XRF analiz sonuçları

G-1 ve G-2 reaktörlerinin herbirinden iki adet numune analiz edilmesi amacıyla, 29-30.10.2010 ve 06.12.2010 tarihlerinde G-2 reaktöründen; 19.12.2010 ve 25.01.2011 tarihlerinde G-1 reaktörlerinden alınan örneklerin XRF analizleri yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.

29-30.10.2010 tarihinde G-2 siklonundan alınan klinker numunesinin XRF spektrumu Ek D, Şekil D.9'da verilmiştir. Buna göre, %18 Al, %16,5 Si, %8,6 Ca, %8,5 Fe, %1,9 Zn, %1,2 Cl ve %1,2 Ti elementleri numunede tespit edilmişlerdir. Cd, Pd, Ag, Bi, As, Se, W, Co, P, K ve Mg elementleri tespit edilmemiştir. Ba, Sb, Sn, Mo, Nb, Zr, Sr, Rb, Cu, Ni, Mn, Cr, V ve S elementlerinin ise derişimleri char ve siklon tozlarına göre daha düşük değerde olup, %0,005-0,6 arasında değışen ağırlıkça yüzde bileşimine sahiptir.

06.12.2010 tarihinde G-2 siklonundan alınan klinker numunesinin XRF spektrumu Ek D, Şekil D.10'da verilmiştir. Buna göre, %20 Si, %19 Fe, %13,3 Ca, %8,9 Al, %2 S ve %1,2 Ti elementleri tespit edilmiştir. Sb, Sn, Cd, Pd, Ag, Rb, Bi, As, Se, W, Co, P, K ve Mg elementleri tespit edilmemiştir.

19.12.2010 tarihinde G-1 siklonundan alınan klinker numunesinin XRF spektrumu Ek D, Şekil D.11'de verilmiştir. Buna göre, %14,5 Ca, %14 Si, %8 Al, %6,7 Fe, %4 Ti, %1,3 Cl ve %1,1 V elementleri numunede bulunmaktadır. Sb, Sn, Cd, Pd, Ag, Rb, Bi, As, Se, W, Co, K ve Mg elementleri tespit edilmemiştir. Mo, Nb, Zr, Sr, Pb, Zn, Cu, Ni, Mn, Cr, P ve S elementlerinin ise derişimleri char ve siklon tozlarına göre daha düşük değerde olup, 0,004 ile 0,8 arasında değışen ağırlıkça yüzde bileşimine sahiptir.

25.01.2011 tarihinde G-1 siklonundan alınan klinker numunesinin XRF spektrumu Ek D, Şekil D.12'de verilmiştir. Buna göre, %20,5 Al, %13,8 Si, %9 Ca, %6,5 Fe, %6,2 Cl, %3,5 Ti, %1,9 S, %1,8 Zn ve %1 Cu elementleri numunede bulunmaktadır. Sb, Cd, Pd, Ag, Bi, As, Se, W, K ve Mg elementleri tespit edilmemiştir. Ba, Sn, Rb, Mo, Nb, Zr, Sr, Pb, Ni, Co, Mn, Cr, V ve P elementlerinin ise derişimleri char ve siklon tozlarına göre daha düşük değerde olup, 0,003 ile 0,2 arasında değışen ağırlıkça yüzde bileşimine sahiptir.

Klinker numunelerinin analiz sonuçları, temel bileşenlerinin Al, Si, Fe ve Ca elementleri olduğunu göstermektedir. Elementlerin yüzde oranlarının değişmesinin sebebi o tarihlerde reaktöre beslenen malzeme içeriğinin farklı olması ile açıklanabilir. Gazlaştırma prosesinde, alkali ve toprak alkaliler buharlaşırlar ve reaktör içinde akarken diğer elementlerle reaksiyona girerek ekipmanlara yapışarak klinker oluştururlar [58]. Bu nedenle, analizi yapılan numunelerde bulunan bu metaller, reaktörlerde meydana gelen tıkanmaların ve sistemin durdurulması problemlerinin temel nedeni olarak gösterilmektedir.

6.5 EPA 3050B Yöntemi, Soda Eritiş Yöntemi, Yaş Metod, Su Özütleme (Leach) Testi, XRD ve XRF Analizleri Sonuçlarının Karşılaştırılması

EPA 3050B yöntemi (asitte çözme yöntemi), yaş metod, su özütleme (leach) testi, XRD ve XRF analizleri ile elde edilen bulgular bu başlık altında değerlendirilecektir.

6.5.1 Char numunelerine ait sonuçların karşılaştırılması

Değerlendirmeleri yapılacak olan numuneler 18.10.2010 ve 01.11.2010 tarihlerinde G-1, 13.11.2010 tarihinde G-1 ve G-3, 25.12.2010 tarihinde G-2 gazlaştırıcılarından alınan char örnekleridir.

18.10.2010 tarihinde G-1 gazlaştırıcısından alınan char numunesinin EPA 3050B yöntemi ile elde edilen metal derişimleri, su özütleme testi sonuçlarına göre oldukça yüksektir. EPA 3050B yöntemi ile maksimum metal derişimi tayin edilirken su özütleme testi ile numunedeki metallerin suya olası mobiliteleri incelenmiştir. Numunenin yüksek oranda Fe, Ca ve Al içerdiği hem EPA 3050B yöntemi hem de XRF analizi ile gözlenmiştir. XRD sonuçlarında da bu elementlerin bileşikleri bulunmaktadır. Numunenin XRF analiz sonucuna göre potasyum içermediği tespit edilirken, asitte çözme yöntemi ile yüksek oranda içerdiği belirlenmiştir. Ayrıca, numunenin XRD sonucuna göre $K_3Fe(SO_4)_3$ gibi bir faz da bulunmaktadır. XRF sonucunda yine Cl elementinin yüksek oranda bulunduğu tespit edilirken, bu element ile ilgili bir faz bulunamamıştır. XRF sonucuna göre örneğin temel bileşenlerinden biri silisyumdur. Ancak, XRD sonuçlarında bu elementi içeren bir bileşik tespit edilememiştir. Ayrıca, EPA 3050B yöntemi ve su özütleme test sonuçlarına göre de silisyum yüksek oranda ya da hiç tayin edilememiştir. Bunun sebebi bu iki yöntemde silisyumu çözebilen HF asitinin kullanılamamasıdır. Ancak XRF ve XRD analiz

sonuçları arasında gözlenen tutarsızlığın sebebi numunelerin heterojen olmaları ile açıklanabilir.

01.11.2010 tarihinde G-1 gazlaştırıcısından alınan char numunesinin EPA 3050B yöntemi ile elde edilen metal bileşen değerleri, su özütleme testi sonuçlarına göre oldukça yüksektir. EPA 3050B yöntemi ile numunede yüksek oranda Fe, Al, Ca, Mg, Na ve K elementleri bulunmaktadır. XRF analiz sonucunda ise K ve Mg tespit edilememiştir. Fakat, XRD analiz sonuçlarına göre de numune bu metalleri de içermektedir. Silisyum elementi de XRD ve XRF analiz sonuçlarına göre tespit edilmiştir.

13.11.2010 tarihinde G-1 ve G-3 gazlaştırıcılarından alınan char numunelerinin karıştırılmasıyla elde edilen örneğin EPA 3050B yöntemi ile elde edilen metal bileşen değerleri, su özütleme testi sonuçlarına göre oldukça yüksektir. Bu örnekte EPA 3050B yöntemi ve XRF yöntemine göre Ca ve Al tespit edilmiştir. Mg ve K elementleri hem asit çözme yöntemi ile tespit edilmiş hem de XRD sonuçlarında bileşikleri tespit edilmiştir. Ayrıca Pb elementi de hem EPA 3050B hem de XRD sonuçlarında tespit edilirken XRF sonuçlarına göre tespit edilmemiştir.

25.12.2010 tarihinde G-2 gazlaştırıcısında alınan char örneğinin karıştırılmasıyla elde edilen örneğin su özütleme testi sonuçları, asitte çözme ile edilen sonuçlara göre beklendiği üzere oldukça düşüktür. Bu numunenin EPA 3050B yöntemi, XRD ve XRF analiz sonuçlarında ortak tespit edilen temel bileşenleri Fe ve Ca elementleridir. Al elementine ait bir faz tespit edilememiştir. Mg, K ve Na elementleri XRF sonuçlarına göre tespit edilememiş olmakla birlikte XRD sonuçlarından fazları tayin edilmiştir. Si elementi de EPA 3050B yönteminde HF asidi kullanılmadığı için oldukça düşük derişimde olup XRF ve XRD analizleri varlığı ile tespit edilmiştir.

6.5.2 Siklon tozu numunelerine ait sonuçların karşılaştırılması

Değerlendirmeleri yapılacak olan numuneler 19.01.2011 ve 20.01.2011 tarihlerinde G-2, 22.01.2011 ve 24.01.2011 tarihlerinde G-1 siklonundan alınan siklon tozu örnekleridir.

19.01.2011 tarihinde G-2 siklonundan alınan siklon tozu numunesine ait EPA 3050B yöntemine göre elde edilen sonuçlar, su özütleme testi sonuçlarına göre beklendiği üzere daha yüksektir. Fakat bu değerlerin, char numunelerine ait sonuçlar ile karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu görülmektedir. EPA 3050B yöntemi, XRD

ve XRF analiz sonuçlarında ortak tespit edilen elementler Ca, Fe, Pb ve Zn'dir. Ayrıca, EPA 3050B yöntemi sonuçlarına göre Cu, Na, K ve Al elementleri de yüksek oranda bulunmaktadır. XRF analizi sonuçlarına göre Al elementi de yüksek oranda bulunurken, EPA 3050B yönteminde yüksek oranda tespit edilen Mg elementi bulunmamaktadır. Ancak, numune yapısının heterojen olması sebebiyle kullanılan analiz yöntemleri ile tutarlılık göstermeyen değerler tespit edilmektedir.

20.01.2011 tarihinde G-2 siklonundan alınan siklon tozu numunesine ait EPA 3050B yöntemine göre elde edilen sonuçlar, su özütleme testi sonuçlarına göre beklendiği üzere daha yüksektir. Bu değerlerin, char numunelerine ait sonuçlar ile karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu görülmektedir. Ca, Fe, Zn ve Pb asitte çözme, XRD ve XRF analizlerinde ortak olarak tespit edilmiş elementlerdir. EPA 3050B yöntemi ve XRF analizinde tespit edilen Al elementinin XRD analizi ile herhangi bir bileşiği tespit edilmemiştir. K, Mg ve Na gibi elementlerinin ise EPA 3050B yöntemi ile yüksek oranda buldukları belirlenmesine rağmen XRD ve XRF analizi ile tespit edilememişlerdir.

22.01.2011 tarihinde G-1 siklonundan alınan siklon tozu numunesine ait EPA 3050B yöntemine göre elde edilen sonuçlar, su özütleme testi sonuçlarına göre beklendiği üzere daha yüksektir. Bu değerlerin, char numunelerine ait sonuçlar ile karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu görülmektedir. EPA 3050B yöntemi ile yüksek oranda buldukları tespit edilen Mg, Fe, Ca, Na, K, Al, Zn ve Pb elementlerinden, Al ve Mg dışındaki elementlerin tümü XRF analizi; Zn ve Mg dışındaki elementlerin tümü XRD analizi sonuçlarında tespit edilmiştir. NaCl bileşiği ilk kez bu numunede tayin edilmiştir. Yine silisyum da asitte EPA 3050B yönteminde beklendiği üzere oldukça az miktarda tespit edilirken, XRF ve XRD analizi sonuçlarında tespit edilmiştir.

24.01.2011 tarihinde G-1 siklonundan alınan siklon tozu numunesine ait EPA 3050B yöntemine göre elde edilen sonuçlar, su özütleme testi sonuçlarına göre beklendiği üzere daha yüksektir. Bu değerlerin, char numunelerine ait sonuçlar ile karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu görülmektedir. Ca, Si, Fe, Al ve Pb elementleri EPA 3050B yöntemi, XRD ve XRF analizleri ile elde edilen sonuçlarda ortak olarak tespit edilen elementlerdir. Numunenin EPA 3050B yöntemine göre Mg muhtevası yüksek olmasına rağmen XRF ve XRD analizlerinde sonuç elde edilmemiştir. HF asidi kullanılmadığı için EPA 3050B yönteminde yüksek silisyum

içeriği belirlenmemiş olmakla birlikte XRD ve XRF analizleri sonucu silisyum elementinin temel bileşenlerden biri olduğunu göstermektedir. Numunede Cu derişimi asitte çözme yöntemi sonuçlarına göre ortalama bir değerdir. Ancak, XRD analizi sonucunda tespit edilmemiştir ve XRF sonucuna göre oldukça düşük miktardadır.

6.5.3 Klinker numunelerine ait sonuçların karşılaştırılması

Değerlendirmeleri yapılacak olan numuneler 29-30.10.2010 ve 06.12.2010 tarihlerinde G-2, 19.12.2010 ve 25.01.2011 tarihlerinde G-1 reaktöründen alınan klinker örnekleridir. Klinker örneklerinin su özütleme (leach) testleri yapılmamıştır. Soda eritiş, yaş metod, XRD ve XRF analizleri sonuçları karşılaştırılacaktır.

29-30.10.2010 tarihinde G-2 gazlaştırıcısından alınan klinker örneğinin soda eritiş yöntemi ile silisyum ve alüminyum elementleri belirlenmiştir. Daha sonra da bu sonuçlardan SiO₂ ve Al₂O₃ muhtevası tespit edilmiştir. Yaş metod ile de SiO₂ ve Al₂O₃ içeriği belirlenmiştir. Yaş metod ile elde edilen sonuçların daha yüksek ve literatürde verilen değerlere yakın olduğu gözlenmiştir. Bunun temel sebebi, yaş metodda HF asidinin kullanılması ve silisyumun maksimum oranda çözdürülmesinin sağlanmasıdır. Ancak alüminyum elementi derişimi soda eritiş yönteminde daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Numunenin XRD sonuçlarında Fe, Al, Mg, Ca, K ve Si elementlerini içeren fazlar tespit edilmiştir. Fakat XRF sonuçlarında, Mg ve K gibi elementlerin tespit edilmediği görülmektedir. Yaş metod sonuçlarına göre numunenin büyük çoğunluğunu Si ve Al elementlerinin oluşturmaktadır. Ancak, XRD sonuçlarında Si içerikli sadece bir bileşik tespit edilmiştir. XRD sonuçlarına göre numunede çoğunlukla Fe ve Al içerikli bileşikler bulunmaktadır.

06.12.2010 tarihinde G-2 gazlaştırıcısından alınan klinker örneğinin soda eritiş yöntemi ile silisyum ve alüminyum derişimleri belirlenmiştir. Daha sonra da bu sonuçlardan SiO₂ ve Al₂O₃ muhtevası tespit edilmiştir. Yaş metod ile de SiO₂ ve Al₂O₃ içeriği belirlenmiştir. Yaş metod ile elde edilen sonuçların daha yüksek ve literatürde verilen değerlere yakın olduğu gözlenmiştir. Bunun temel sebebi, yaş metodda HF asidinin kullanılması ve silisyumun maksimum oranda çözdürülmesinin sağlanmasıdır. XRD sonuçlarında Mg, Fe, Al, Ba, Sr ve Si elementlerini içeren fazlar tespit edilmiştir. XRF analizi sonuçlarında ise, XRD ile iki bileşigi tespit edilmiş olmasına rağmen Mg elementi bulunmamaktadır.

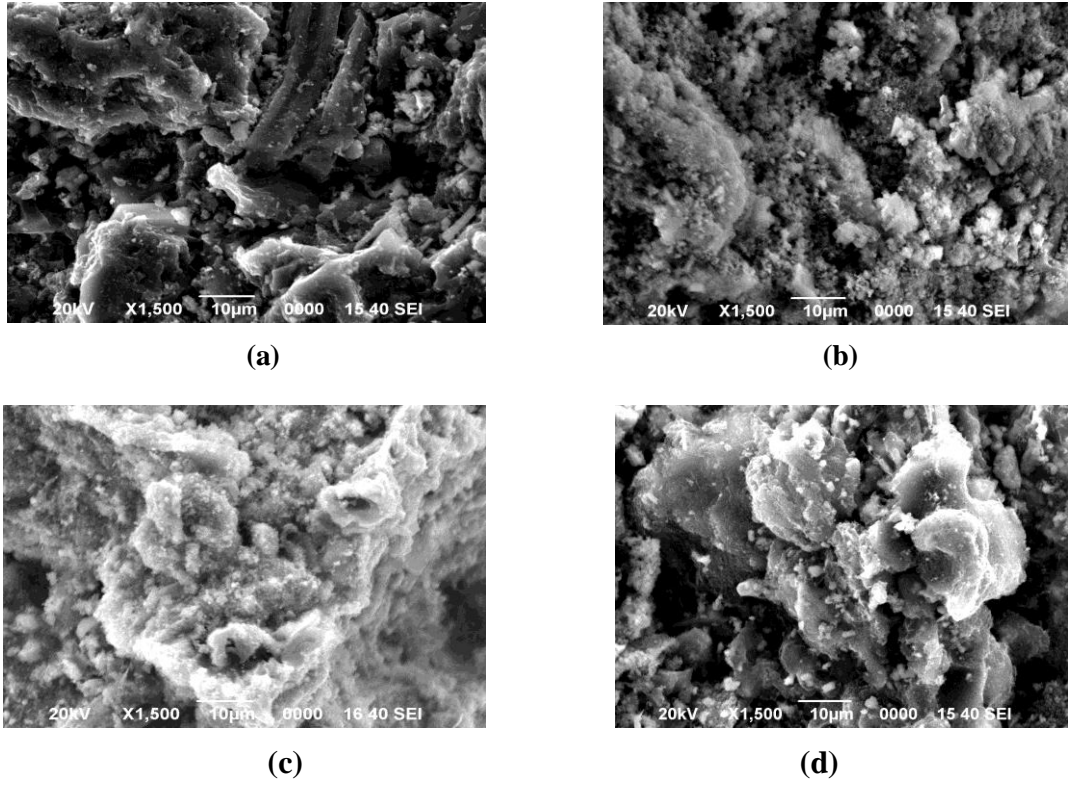
19.12.2010 tarihinde G-1 gazlaştırıcısından alınan klinker örneğinin soda eritiş yöntemi ile silisyum ve alüminyum derişimleri belirlenmiştir. Daha sonra da bu sonuçlardan SiO₂ ve Al₂O₃ muhtevası tespit edilmiştir. Yaş metod ile de SiO₂ ve Al₂O₃ içeriğı belirlenmiştir. Yaş metod ile elde edilen sonuçların daha yüksek ve literatürde verilen değerlere yakın olduğı gözlenmiştir. Bunun temel sebebi, yaş metodda HF asidinin kullanılması ve silisyumun maksimum oranda çözdürülmesinin sağlanmasıdır. XRD sonuçlarında, Fe, Ca, Sr, V, ve Na elementlerinin fazları tespit edilmiştir. Fakat numunenin temel bileşenleri olan Si ve Al elementlerini içeren bir bileşik tespit edilmemiştir. XRF analizleri sonucunda ise Ca, Si ve Al elementleri temel bileşenler olarak bulunmaktadır. Na elementi, bileşigi tespit edilmiş olmasına rağmen XRF sonuçlarında bulunmamaktadır.

25.01.2010 tarihinde G-1 gazlaştırıcısından alınan klinker örneğinin soda eritiş yöntemi ile silisyum ve alüminyum derişimleri belirlenmiştir. Daha sonra da bu sonuçlardan SiO₂ ve Al₂O₃ muhtevası tespit edilmiştir. Yaş metod ile de SiO₂ ve Al₂O₃ içeriğı belirlenmiştir. Yaş metod ile elde edilen sonuçların daha yüksek ve literatürde verilen değerlere yakın olduğı gözlenmiştir. Bunun temel sebebi, yaş metodda HF asidinin kullanılması ve silisyumun maksimum oranda çözdürülmesinin sağlanmasıdır. XRF analiz sonuçları, numune yapısında yüksek oranda Si ve Al elementlerinin bulunduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar yaş metod sonuçları ile tutarlılık göstermektedir. Ancak, XRD analiz sonuçlarında Ca ve Fe elementlerinin birden fazla bileşiminin bulunduğı görülmektedir. Bu nedenle, diğ er analiz sonuçlarına göre farklılık göstermektedir. XRD analiz sonuçlarında farklı olarak, Na ve Cu elementlerinin de bileşikleri görülmektedir.

Numunelerin genel heterojen yapıları dolayısıyla, yüksek oranda silisyum ve alüminyum elementleri dışında farklı elementlerin de tespit edildiğı görülmektedir.

6.6 Char Örneklerinin SEM Analiz Sonuçları

Char numunelerinden, 16.10.2010, 01.11.2010, 13.11.2010 ve 25.12.2010 tarihlerinde alınan örneklerin SEM ile elde edilen mikrografileri Şekil 6.14'de verilmiştir.



Şekil 6.14 : Char numunelerine ait SEM görüntüleri; (a)16.10.2010 G-1 Char, (b) 01.11.2010 G-1 Char, (c) 13.11.2010 G-1 + G-3 Char, (d) 25.12.2010 G-2 Char.

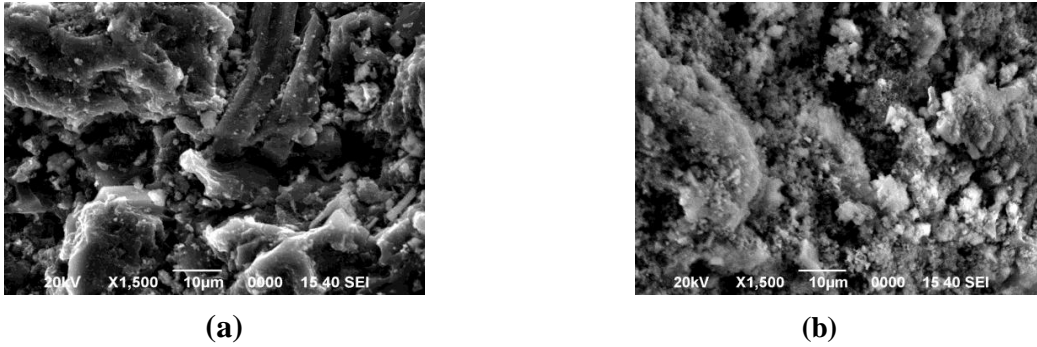
Şekil 6.14’te, dört char numunesine ait SEM görüntüleri yer almaktadır. Şekil 6.14 (a) görüntüsünde görüldüğü üzere 16.10.2010 tarihli char oldukça gözenekli bir yapıya sahiptir. Bu gözeneklerin geniş olduğu hatta char yüzeyinde süngerimsi bir yapı olduğu görülmektedir. Bu gözenekler, charın sıvı ya da yarı katı formdaki maddeleri absorplama potansiyelini göstermektedir. Gözenek büyüklüğü ve sayısının fazlalığı charın yoğunluğunda düşüğe sebep olmaktadır. Şekil 6.14 (b) ise, (a)’ya göre daha az oranda olmakla birlikte o da gözenekli bir yapı görülmektedir. Şekil 5.14 (c) ve (d) numunelerinin SEM görüntülerinde ise numunelerin (a) ve (b) ile karşılaştırıldığında daha pürüzsüz yüzeylere sahip oldukları ve gözenekler yerine büyük delikler içerdikleri görülmektedir.

6.7 Deneysel Sonuçların Diğer Literatür Çalışmalarıyla Karşılaştırılması

Bu tez çalışması kapsamında yapılan deneysel çalışmalar, evsel atık, biyokütle ve kömürün gazlaştırılması sonucu oluşan katı atıkların karakterizasyonu ile ilgili literatürde yer alan veriler ile karşılaştırılmıştır.

Kwak ve diğeri [3], pilot ölçekli bir tesiste evsel atıkların gazlaştırılmasının çevresel etkilerini incelemiştir. Atıkların kısa ve elementel analizleri yapılmış ve %58 nem, %3.9 kül ve net ısıl değer 1743.6 kcal/kg bulguları elde edilmiştir. Deneyde kullanılan atık numunelerinin ise nem değeri %25'i aşmamaktadır. Numunelerin ortalama kül değeri ise %20-30 arasında değişmektedir. Isıl değerleri ise kuru bazda 4000-5000 kcal/kg arasında değişmektedir. Çalışmalarında gazlaştırma prosesi sonucunda oluşan cürufun mineral içeriğinde %37 SiO₂, %17 Al₂O₃, %9.6 Ca ve %14 Fe tespit etmişlerdir. Cüruf ve uçucu külde çoğunlukla Cr, Mn, Cu ve Zn bulunmuştur. Ağır metallerin su ile özütme (leach) analizlerini de yapmışlardır. Kül ve cürufa ait sızıntı sonuçları, bölgedeki yasal düzenlemelerle belirtilen sınırların altında olduğu için bu maddeler inert ve zararsız kabul edilmiştir.

Park ve diğeri [63], gazlaştırma/ergime prosesinden elde edilen cürufun yüksek silika içeriğinden dolayı koyu kahverengi ve camsı bir yüzeye sahip olduğunu belirtmektedirler. Cürufun camsı ve amorf yapısını XRD ve SEM çalışmaları yaparak doğruladıklarını ve cürufun çevreyle dost, yeniden kullanılabilir bir madde olabileceğini belirtmektedirler.



Şekil 6.15 : Evsel atık yakma reaktöründen alınan örneklerin SEM görüntüleri;

(a) Uçucu kül, (b) Uçucu kül cürufu [70].

Şekil 6.15, (b) görüntüsü deneysel çalışmalar kapsamında SEM analizleri yapılan char numuneleri ile benzerlik göstermektedir. Ecke ve diğeri [64], evsel atıkların yakılması sonucu oluşan uçucu külün yüksek sıcaklıkta ergimesi sonucu, Cr, Cu, Zn ve Pb elementlerinin suya mobilite özelliklerinin azalmakta olduğunu belirtmişlerdir. Bu durumu camsı madde oluşumunun yüzey alanını azaltması ve metalleri Si, O, Al, ve Ca elementlerinden oluşan camsı amorf matrikste hapsedmesi ile açıklamaktadırlar.

Nishida ve diğeri [65], homojen hale getirilmiş ergimiş haldeki mineral maddenin doğal kaya gibi olduğunu ve çakıl yerine geçerek kireç ve çimento sanayide hammadde olarak kullanılabilme potansiyelinin bulunduğunu belirtmektedirler.

Washington ve diğeri [66], endüstriyel atıklar ile atıkların gazlaştırılması öncesi ve sonrasında oluşan char, çamur ve bu maddelerin karışımlarının infrared, nükleer manyetik rezonans, gaz kromatografisi, gaz kromatografisi/kütle spektroskopisi, tarayıcı elektron mikroskopisi (SEM) gibi enstrümental analizler ile kısa ve elementel analizlerini incelemişlerdir. Atık yapısının %38 su, %27 inorganik ve %35 organik olduğu belirtilmiştir. Gazlaştırma prosesi sonucu oluşan char örneğinin SEM görüntüsü incelendiğinde, 10 µm'den daha büyük boyutta beklenmedik büyüklüklerde gözenekler içeren süngerimsi bir yüzeye sahip olduğu belirtilmiştir. Bu geniş gözenekler normalde makrogözenek adını almaktadır. Ancak, bu örnekteki gözenekler daha büyük oldukları için süpermakrogözenek olarak da adlandırılabilirler. Gazlaştırma sonrası oluşan char yüzeyinin gözenekli olması charın absorpsiyon kapasitesini arttırmaktadır. Karşılaştırma amacıyla, havasız ortamda kömürün ısıtılmasıyla nem ve uçucu bileşenleri ayrılan kömür charı incelenmiştir. Bu örnekte süngerimsi yüzey gözlenmemektedir. Fakat, daha sonra gazlaştırılan piroliz charında da gözenekli yüzey oluşumu gözlenmiştir. Piroliz charlarının düşük yoğunluklu olma sebebi yapılarındaki büyük delikler; gazlaştırma charlarının ise yapılarındaki makrogözeneklerdir. Buna göre, deneysel çalışmalar sonucunda bulunan ve Şekil 6.14'te sunulan char numunelerine ait SEM sonuçlarına göre, (a) ve (b) şekillerinde gözeneklilik çok olduğu için gazlaştırmanın iyi olduğunu; (c) ve (d) şekillerinde ise daha pürüzsüz ve az gözenekli sonuçların alınmasının bu iki numunenin tekrar gazlaştırılabilir olduğunu göstermektedir.

Kirubakaran ve diğeri [67], biyokütlenin biyo-oksijen ve kül katalizör ile otogazifikasyonunu incelemiştir. Çeşitli biyokütle türlerinin, kısa ve elementel analizleri ile karakterizasyonu yapılmıştır. Daha sonra, boyut, şekil, yapı, çevre, ortam, ısıtma hızı, sıcaklık ve kül gibi değişkenler irdelenmiştir. Kül yapısında bulunan metal oksitlerin gözenekli bir silika üzerinde bulunduğu ve gazlaştırmayı katalizlediği belirtilmiştir. Biyokütleden mineral maddelerin uzaklaştırılması, daha çok char ve sıvı yakıt oluşumunu sağlamaktadır.

Liao ve diğeri [58], 1 MW sirkülasyonlu akışkan yatak biyokütle gazlaştırma enerji santralinden alınmış gazlaştırıcı, ayırıcı ve scrubber kül örneklerinin inorganik karakterizasyonunu çalışmışlardır. Biyokütlenin öncelikle kısa ve elementel analizini yapmışlardır. Buna göre, kuru bazda biyokütlenin nem oranı %6-8, kül oranı %1 ve üst ısıl değeri ise ortalama 4700 kcal/kg olarak tespit edilmiştir. Kullanılan kül örnekleri tanecik boyuna göre de incelenmiştir. Gazlaştırıcı külü ve ayırıcı külleri, scrubber kül örneklerine göre daha büyük boyuttadır. Kül örneklerinin XRD analizi yapılarak, küllerin amorf yapıda oldukları belirtilmektedir. Gazlaştırıcıya, cürüflaşma ve yığılmayı engellemek ve mekanik yük ve sistem maliyetini azaltmak amacıyla kum ya da dolomit gibi yatak materyallerinin eklenmemesi oluşan kül de kristal fazların gözlenmemesine sebep olabilmektedir. Kül örneklerinin XRF analizlerini de yapmışlardır. Buna göre CaO, K₂O, P₂O₅, SO₃, Na₂O, MgO, MnO ve Fe₂O₃ bileşiklerinin önemli oranlarda bulunduğu belirtilmektedir. Bu bileşiklerden CaO ve K₂O, temel bileşenleri oluşturmaktadır. Alkali, toprak alkali ve CaO, Na₂O, MgO, Cl⁻, P₂O₅, SrO, As₂O₃, ZnO ve Al₂O₃ gibi diğeri uçucu bileşikler scrubber külünde, gazlaştırıcı ve ayırıcı küllerine göre daha çok bulunmaktadır. NiO, Cr₂O₃, PbO, CuO, MnO gibi ağır metal oksitleri ayırıcı külünde scrubber külüne oranla daha fazla bulunmaktadır. SO₃, K₂O ise gazlaştırıcı külünde daha yüksek oranda bulunmaktadır. Kaynama sıcaklığı yüksek, uçuculuğu az olan elementlerin gazlaştırıcı külünde; düşük kaynama sıcaklığı olan, yüksek uçuculuğu sahip elementlerin ise scrubber küllerinde yoğunlaştığı sonucuna varılmaktadır. Uçucu elementler, soğumanın etkisiyle genellikle ham gaz içindeki küçük partiküllerin yüzeyinde yoğunlaşmaktadırlar. Bu partiküllerin yüzey/hacim oranının çok büyük olduğu belirtilmektedir. Buharlaşma ve yoğunlaşma mekanizmaları çoğunlukla yakıt özelliklerine, inorganik maddenin yakıt içinde oluşum şekline ve sistem çalışma koşullarına bağlıdır.

French ve diğeri [59], akışkan yatakta yakma prosesi sonucu oluşan uçucu kül ve taban külünü; hava ve oksijen kullanılarak kömürün yakılması sonucu oluşan küllerini; entegre gazifikasyon kombine çevrim santrallerinden alınan cüruf örneklerini kimyasal ve mineralojik bileşenlerini tayin etmek için XRF, XRD analizlerini ve çevreye salınma potansiyellerini incelemek için özütleme (leach) testlerini yapmışlardır. Akışkan yatak gazlaştırıcıda yakma sonucu oluşan kül yüksek oranda kalsiyumca zengin fazlar içermektedir. Mo ve Ni gibi iz elementler ise daha

düşüktür. Ca, Sr ve Ba gibi elementlerin yüksek olmasının nedeni bu sistemlere kireç taşı eklenmesidir. Kireç taşı eklenmesi, akışkan yataklı yakma sistemlerinde büyük miktarda atık külün oluşmasına sebep olmaktadır. Oksijenli yakma sisteminden alınan kül örneğinin özütleme (leach) analiz sonuçlarına göre K, S, As, Co, Cu, Mn, Mo, Ni, Sb, Se, V ve Zn konsantrasyonları diğer örneklerle göre daha yüksektir. Gazlaştırıcıdan alınan kül örnekleri ise klinkerden ince tanecik yapısına kadar boyut ve morfolojik açıdan ciddi bir değişim göstermektedir. Bu durum kül kömür külünün ergimesi, mineral maddenin bileşenleri ve gazlaştırma sıcaklığı ile ilişkilendirilebilir. Gazlaştırma sonucu oluşan cüruf amorf yapıda olma özelliği ile diğer küllerden ayrılır. Ancak, örneklerde kristal mineral fazların olduğu gözlenmiştir. Bu durum tamamlanamamış ergime ve sonrasında meydana gelen zayıf gazlaştırma koşullarından kaynaklanabilir. Genellikle, cüruf bileşiminde klasik yakma sonucu oluşan küllerde olduğu gibi metal oksitler bulunmaktadır. Fakat, cüruf örneklerinde Bi, Cd, F ve Pb gibi uçucu elementler daha düşük oranda bulunur. Cr, Mo, Ni ve Th bileşenleri daha yüksek olabilir. Gazlaştırma cürufuna ait özütleme (leach) analiz sonuçlarında önemli değerler, ph 7-8, Ca 5-40 mg/lt, Fe 0,01-0,1 mg/lt, Al 0,1-4 mg/lt, Na 1,3-3,5 mg/lt, K 0,5-1 mg/lt ve Pb 0,2-0,7 mg/lt olarak tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalar kapsamında yapılan su özütleme (leach) sonuçları bu değerlere göre oldukça yüksektir.

7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Endüstriyel atıkların gazlaştırılması ve gazlaştırma prosesi katı atıklarını oluşturan char, siklon tozu ve klinker maddelerinin karakterizasyon çalışmalarının sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

- Reaktöre beslenen atıkların, char ve siklon tozu örneklerinin karakterizasyon çalışmaları amacıyla nem, kül ve ısı değer tayinleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda ısı değeri yüksek olan maddelerde düşük kül oranı gözlenmiştir. Ancak, heterojen maddelerle çalışıldığı için bazı numunelerin analizinde yüksek ısı değeri, yüksek kül oranı ya da düşük ısı değeri, düşük kül oranı gibi sonuçlarla da karşılaşmıştır. Atıkların ısı değerleri 3500-5500 kcal/kg, char örneklerinin ısı değerleri 1500-2500 kcal/kg ve siklon tozlarının ise 600-1200 kcal/kg arasında değiştiği görülmüştür. Char numuneleri ısı değeri sahip oldukları için düzenli depolamaya gönderilmeden önce tekrar termal bir proseste işlenmesi mümkündür.
- Beslenen atıkların ve gazlaştırma prosesi sonucu oluşan char ve siklon tozlarının miktarları ve ısı değerleri bilgilerinden yararlanılarak teorik reaktör verimleri hesaplanmıştır. Reaktör verimi, reaktöre enerji girdisinin minimum kayıpla ham gaza dönüşmesi doğrultusunda hesaplanmıştır.
- Gazlaştırıcılara beslenen atıkların ve proses katı ürünleri char ve siklon tozu numunelerinin EPA 3050B yöntemi ile hazırlanan çözeltilerinin ICP-OES cihazında metal analizi yapılmıştır. Bu maddelerin genellikle yüksek derişimde Fe, Ca, Na, K, Al, Mg, Pb, Cu ve Ba elementlerini içerdiği tespit edilmiştir. Metal bileşenlerin char numunelerinde beslemeye göre daha yüksek; siklon tozlarında ise char numunelerine göre daha fazla oranda bulunduğu edilmiştir.

- Gazlaştırıcılarda, metallerin yüksek sıcaklıkta girdiği reaksiyonlar sonucu oluşan yapışmalar klinker olarak adlandırılmaktadır bu maddelerin yüksek oranda SiO₂ ve Al₂O₃ içerdiği bilinmektedir. Soda eritiş ve yaş yöntem kullanılarak SiO₂ tayini yapılmıştır. Soda eritiş yönteminde en yüksek oran % 11.7 olup 29-30.10.2010 G-2 klinkerinde tespit edilmiştir. Yaş metotta en yüksek oran %36.8 ile 29-30.10.2010 G-2 klinker numunesinde tespit edilmiştir. Kömür gazlaştırma literatür bilgilerine paralel olarak, endüstriyel atıkların gazlaştırılması işleminde de reaktöre beslenen malzemelerde Si ve Al varlığı, reaktörde sinterleşme problemi ve klinker oluşumuna neden olan en önemli iki etken olarak tespit edilmiştir. Sinterleşme probleminin minimize edilmesi açısından, gazlaştırıcıya yapılacak atık beslemelerde Al ve Si oranlarının kontrolü önemli bir rol oynayacaktır.
- Char ve siklon tozu numunelerinin TAKY-EK 11A'da verilen kriterlere göre değerlendirilmesi amacıyla su özütleme (leach) testleri yapılmıştır. Buna göre, bu maddelerin tehlikeli atık olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.
- Char, siklon tozu ve klinker örneklerinin XRD analizleri ile kristal yapıda oldukları tespit edilmiştir.
- Char, siklon tozu ve klinker örneklerinin XRF analizleri ile metal bileşenleri tespit edilmiştir. Char ve siklon tozu numuneleri çoğunlukla Ca, Si, Cl, Al, Fe, S, Ti ve Zn elementlerinden oluşmaktadır. Klinker örneklerinin temel bileşenlerini ise Si, Al, Fe ve Ca oluşturmaktadır.
- Char örneklerinin SEM analizleri ile yüzey yapıları incelenmiştir. Char yapısının gözenekli olduğu tespit edilmiştir.
- Endüstriyel atıkların inorganik bileşenlerinin karakterizasyon çalışmalarını içeren bu tez çalışması ile birlikte, bu atıkların organik bileşenleri ile ilgili çalışmaların yapılması da yapılarının aydınlatılması ve geniş bir kapsamda değerlendirilebilmeleri açısından önemlidir.
- Literatür çalışmalarının genellikle kömür, biyokütle ve evsel atıkların ve bu atıkların termal işlemleri sonucu oluşan kül yapısının karakterizasyonu ile ilgili olduğu bilinmektedir. Ancak, endüstriyel atıklar ile ilgili karakterizasyon çalışmaları çok yaygın olmamakla birlikte, Türkiye'de atıkların gazlaştırılması konusunun gelecekte daha da önem kazanacağı göz önüne alındığında karakterizasyon çalışmalarının kapsamının genişletilmesi yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı**, 2008. *Atık Yönetimi Eylem Planı*, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Ankara, Türkiye.
- [2] **Resmi Gazete**, 14 Mart 2005 Tarih ve 25755 Sayılı, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği.
- [3] **Kwak, T., Maken, S., Lee, S., Park, J., Min, B., Yoo, Y. D.**, 2006, Environmental aspects of gasification of Korean municipal solid waste in a pilot plant. *Fuel*, **85**, 2012–2017.
- [4] **The Blue Environmental Defense League**, 2009. *Waste Gasification. Impacts on the Environment and Public Health*, Amerika Birleşik Devletleri.
- [5] **Ward, C.R., French, D.**, 2006. Determination of glass content and estimation of glass composition in fly ash using quantitative X-ray diffractometry. *Fuel*, **85**, 2268–2277.
- [6] **Tenikler, G.** 2007. Türkiye’de tehlikeli atık yönetimi ve Avrupa Birliği ülkeleri ile karşılaştırmalı bir analiz, *Doktora Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- [7] **International Finance Corporation**, 2011. Environmental, Health and Safety Guidelines for Waste Management Facilities, Amerika Birleşik Devletleri.
<[http://www.ifc.org/ifcext/enviro.nsf/AttachmentsByTitle/gui_EHSGuidelines2007_WasteManagement/\\$FILE/Final+-+Waste+Management+Facilities.pdf](http://www.ifc.org/ifcext/enviro.nsf/AttachmentsByTitle/gui_EHSGuidelines2007_WasteManagement/$FILE/Final+-+Waste+Management+Facilities.pdf)>, alındığı tarih 05.04.2011.
- [8] **Kayranlı, B., Tankut, İ., Pampal, S.**, 2011. Endüstriyel Katı Atıklar ve Geri Dönüşüm Borsasının İşletilmesi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
<http://e-kutuphane.cmo.org.tr/pdf/702.pdf>, alındığı tarih 05.04.2011.
- [9] **Resmi Gazete**, 30 Temmuz 2008 Tarih ve 26952 Sayılı, Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği.
- [10] **Resmi Gazete**, 31 Ağustos 2004 Tarih ve Sayılı, Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği.
- [11] **Candar, G.** 2011. Atık Yönetimi Uygulamasında Adım Adım. 3. *Sterilizasyon ve Dezenfeksiyon Kongresi*, Samsun.
<http://www.das.org.tr/kitap2003/11.htm>, alındığı tarih 10.04.2011.
- [12] **Yılmaz, Ö.** 2006. Hazardous Waste Inventory of Turkey, *Yüksek Lisans Tezi*, Orta doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

- [13] **T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı**, 2011. *Tehlikeli atık istatistikleri-Tehlikeli Atık Bülteni*, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü-Atık Yönetimi Dairesi-Tehlikeli Atıklar Şube Müdürlüğü, Ankara.
- [14] **Kırhoğlu, H., Erol Fidan M.**, 2010. İşletmelerde atık yönetimi ve Sakarya ilinde bir araştırma. *Yaşar Üniversitesi Dergisi*, **20(5)**, 3453-3470.
- [15] **Misra V, Pandey S.D.** 2005. Hazardous waste, impact on health and environment for development of better waste management strategies in future in India, *Environment International*, **31**, 417– 431.
- [16] **Bağdatlı, Y.**, 2011. Tıbbi ve tehlikeli madde yönetimi, İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, İstanbul.
<<http://www.ctf.edu.tr/ctfhemhzmd/Sempozyum%201.%20G%C3%BCn/3.%20OTURUM/Ya%C5%9Far%20Ba%C4%9Fdatl%C4%B1%20-%2011-YEN%C4%B0%20ATIK%20Y%C3%96NET%C4%B0M%C4%B0.pdf>>, alındığı tarih 12.04.2011.
- [17] **Küçükgül, E. Y.** 2008. Tehlikeli Atık Yönetimi, Tehlikeli Atıkların Niteliği, Bertaraf Teknikleri ve Yakma, *DEÜ İZİSYÖM Farkındalık Toplantısı-7*, İzmir, 12 Mart.
<http://www.deu.edu.tr/UploadedFiles/Birimler/14153/Enver_Yaser_Kucukgul.ppt>, alındığı tarih 13.04.2011.
- [18] **Url-1** <<http://web.deu.edu.tr/erdin/pubs/doc119.htm>>, alındığı tarih 12.04.2011.
- [19] **Erbay, M.**, 2009. Kayseri şehri tehlikeli atık potansiyelinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- [20] **Yılmaz, A., Bozkurt, Y.**, 2010. Türkiye’de kentsel katı atık yönetimi ve uygulamaları ve Kütahya Katı Atık Birliği (KÜKAB) örneği, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, **15**, 1-4.
- [21] **Pichtel, J.**, 2005. *Waste management practices, municipal, hazardous and industrial*, CRC Press, Amerika Birleşik Devletleri.
- [22] **Saltabaş, F., Soysal, Y.**, 2010. Evsel atık termal bertaraf yöntemleri ve İstanbul’a uygulanabilirliği, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, **3**, 109-116.
- [23]: **Tao, L., Zhao, G.**, 2010. Combustion characteristics of particles of hazardous solid waste mixtures in a fixed bed, *Journal of Hazardous Materials*, **181**, 305–314.
- [24] **Tao, L, Zhao, G.**, 2010. TG–FTIR characterization of pyrolysis of waste mixtures of paint and tar slag, *Journal of Hazardous Materials*, **175**, 754–761.
- [25] **Marco, I., Caballero, B.M.**, 2009. Pyrolysis of the rejects of a waste packaging separation and classification plant, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **85**, 384–391.

- [26] **İritaş, Ö.**, 2010. Atık gazlaştırma yöntemi ile enerji eldesi ve atık gazlaştırmanın çevresel değerlendirilmesi, *Uzmanlık Tezi*, Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [27] **Babacan, A. K.**, 2011. Türkiye’de sanayiden kaynaklanan tehlikeli atıkların yönetimin iyileştirilmesi, Çevre ve Orman Bakanlığı <<http://www.atikyonetimi.cevreorman.gov.tr/life/taske/04.pdf>>, alındığı tarih 24.04.2011.
- [28] **Resmi Gazete**, 26 Mart 2010 Tarih ve 27533 Sayılı, Atıkların Düzenli Depolanmasına İlişkin Yönetmelik.
- [29] **Öztürk, İ.**, 2010. *Atık sektörü mevcut durum değerlendirmesi raporu 2.taslak Türkiye'nin iklim değişikliği ulusal eylem planı'nın geliştirilmesi projesi*, T. C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- [30] **T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı**, 2010. *Düzenli depolama ve tıbbi atık bertaraf tesisleri işletme ve kontrol kılavuzları*, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [31] **United States Environmental Protection Agency**, 1994. Waste Analysis At Facilities That Generate, Treat, Store and Dispose of Hazardous Wastes, A Guidance Manual, Solid Waste and Emergency Response, United States of America.
- [32] **Url-2** <<http://www.ikv.org.tr/pdfs/4f3a608d.pdf>>, alındığı tarih 24.04.2011.
- [33] 14 Mart 1991 Tarih ve 20814 Sayılı Resmi Gazete’de yayınlanmış, 5 Nisan 2005 ve 25777 sayılı Resmi Gazete’de değişikliğe uğramış, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği.
- [34] **Olgun, H., Doğru, M., Howarth, C. R.**, 1999. *IV. Ulusal tesisat mühendisliği kongresi ve sergisi bildiriler kitabı*, II.Cilt, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, İzmir.
- [35] **Okutan, H., Akkaş, B., Bayar, K.**, 2010. Orman biyokütlelerinin gazlaştırılması 0.5 MW’lık elektrik üretimi, *Orman Biyokütlesi ve Biyoenerji Çalıştayı*, Kastamonu, 25-26 Şubat.
<<http://web.ogm.gov.tr/diger/iklim/Dokumanlar/Biyoenerji%20%C3%87al%20%C4%B1%C5%9Ftay%C4%B1/CalistaySunumlari/Hasancan%20Okutan-2010.pdf>>, alındığı tarih 20.04.2011.
- [36] **Higman, C., Burgt, M.**, 2007. *Gasification*, Gulf Professional Publishing, United States of America.
- [37] **Turare, C.**, 2011. Biomass gasification technology and utilization, University of Flensburg, Germany.
<<http://cturare.tripod.com/gas.htm>>, alındığı tarih 24.04.2011.
- [38] **Url-3** <http://taylor.ifas.ufl.edu/documents/Handbook_of_Biomass_Downdraft_Gasifier_Engine_Systems.pdf>, alındığı tarih 20.04.2011.
- [39] **Url-4** <http://www.alentecinc.com/papers/IGCC/ADV_GASIFICATION-White_Paper.htm>, alındığı tarih 02.07.2011.

- [40] **Url-5** <<http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/pubs/imag/Tr6-8-1.jpg>>, alındığı tarih 03.07.2011.
- [41] **Mountouris, A., Voutsas, E., Tassios, D.**, 2008. Plasma gasification of sewage sludge: Process development and energy optimization. *Energy Conversion and Management*, **49**, 2264–2271.
- [42] **Url-6** <http://www.safewasteandpower.com/process_plasma-gasification.html>, alındığı tarih 22.04.2011.
- [43] **Url-7** <http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/gasifipedia/4-gasifiers/4-1-4-1a_westinghouse.html>, alındığı tarih 03.07.2011.
- [44] **Belgiorno, V., Feo, G., Rocca, C. D., Napoli, R. M. A.**, 2002. Energy from gasification of solid wastes, *Waste Management*, **23**, 1–15.
- [45] **Speight, J. G.**, 2005. *Handbook of Coal Analysis*, Wiley & Sons Inc Publication, p: 94-107, United States of America.
- [46] **Smoot, L. D.**, 1993. *Fundamentals of coal combustion for clean and efficient use*, Elsevier Science Publishers B. V. United States of America.
- [47]: **Orr, D., Maxwell, D.**, 2000. *A comparison of gasification and incineration of hazardous wastes, final report*, Radian International LLC, United States of America.
- [48] **Ekolojik Enerji A.Ş.**, 2010. *Atık Envanteri Raporları*, İstanbul.
- [49] **ASTM D3173 – 03**, 2008. Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke, *The American Society for Testing and Materials*, the United States of America.
- [50] **TS EN 932-1** 1997. Agregaların Genel Özellikleri için Deneyler-Kısım 1 Numune Alma Metodları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [51] **ASTM D 3174-04**, 2010. Standard test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal, *The American Society for Testing and Materials*, the United States of America.
- [52] **ASTM D 5468-02**, 2007. Standard Test Method for Gross Calorific and Ash Value of Waste Materials, *The American Society for Testing and Materials*, the United States of America.
- [53] **Method 3050B**, 1996. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils, *U.S. Environmental Protection Administration*, the United States of America.
- [54] **Furman, N. H.**, 1962. *Standard methods of chemical analysis*, Princeton, United States of America.
- [55] **TS 602 EN ISO 439**, 2003. Çelik ve demir-toplam silisyum içeriğinin tayini-gravimetrik yöntem, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

- [56] **TS EN 12457-4**, 2004. Atıkların nitelendirilmesi-katıdan özütleme analizi-granül katı atıkların ve çamurların katı özütlemesi için uygunluk deneyi–Bölüm 3: Sıvı katı oranı 10 L/Kg olan ve parçacık boyutu 4 mm’den küçük, yüksek katı madde muhtevalı malzemeler için tek aşamalı parti deneyi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [57] **Url-8** <http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/biyoenerji/04-gazlastirma/gz_gelec_ek.html>, alındığı tarih 01.05.2011.
- [58] **Liao, C., Wu, C., Yan, Y.**, 2005. The characteristics of inorganic elements in ashes from a 1 MW CFB biomass gasification power generation plant, *Fuel Processing Technology*, **88**, 149-156.
- [59] **French, D., Riley, K., Ward, C. R., Stephenson, L., Gurba, L.**, 2010. Leaching characteristics of waste from PF utilities and transitional technologies using Australian coal, *Pittsburgh Coal Conference*, Istanbul, October 11-14.
- [60] **Bjoerkman, E., Stroemberg, B.**, 1997. Release of chlorine from biomass at pyrolysis and gasification conditions, *Energy & Fuels*, **11**, 1026-1032.
- [61] **Olsson, J. G., Jaglid, U., Pettersson J. B. C.**, 1997. Alkali metal emission during pyrolysis of biomass, *Energy & Fuels*, **11**, 779-784.
- [62] **Jensen, P. A., Frandsen F. J., Dam-Johansen, K., Sander, B.**, 2000. Experimental investigation of the transformation and release to gas phase of potassium and chlorine during straw pyrolysis. *Energy & Fuels*, **14**, 1280-1285.
- [63] **Park, K., Hyun, J., Maken, S., Jang, S., Park, J.**, 2005. Vitrification of municipal solid waste incinerator fly ash using Brown’s Gas, *Energy & Fuels*, **19**, 258-262.
- [64] **Ecke, H., Sakanakura, H., Matsuto, T., Tanaka, N., Lagerkvist, A.**, 2001. Effect of electric arc vitrification of bottom ash on the mobility and fate of metals, *Environ. Sci. Technol.*, **35**, 1531- 1536.
- [65] **Nishida, K., Nagayoshi, Y., Ota, H., Nagasawa, H.**, 2001. Melting and stone production using MSW incinerated ash, *Waste Management*, **21**, 443-449.
- [66] **Washington, M. D., Larsen, D. W., Manahan, S. E.**, 1999. Analytical characterization of an Industrial Waste Treated by Gasification. *Environ. Sci. Technol.*, **33**, 1263-1268.
- [67] **Kirubakaran, V., Sivaramakrishnan, V. Nalini, R., Sekar, T., Premalatha, M., Subramanian, P.**, 2009. A review on gasification biomass, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **13**, 179-186.

EKLER

EK A : Reaktöre Beslenen Atıkların, Gazlaştırma Prosesi Katı Çıktılarının (Char, Siklon Tozu) Nem, Kül ve Isıl Değer Analiz Sonuçları

EK B : Deneysel alışmalarda Kullanılan rneklerin Alındığı Reaktörlerin alışma Koşulları

EK C : Char Numuneleri-Su zütleme (Leach) Testi Sonuçları

EK D : Char, Siklon Tozu ve Klinker rneklerine Ait XRF Spektrumları

Çizelge A.1 : 16.10.2010 tarihinde alınan atık ve char numunelerinin analiz sonuçları.

Numune Tanımı			Kontamine			Char			
Çalışma No			1	2	3	1	2	3	4
10:00	Nem Analizi (105°C, 1 h)	Nem (%)	15,91	15,91	15,91				
	Kül Analizi (750°C, 2 h)	Kül (%)	35,59	32,89	34,65	70,31	68,46	68,61	64,05
	Isıl Değer	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	3703	3853	3673	2301	2335	2708	2691
12:00	Nem Analizi (105°C, 1 h)	Nem (%)	19,05	19,05	19,05				
	Kül Analizi (750°C, 2 h)	Kül (%)	19,36	19,39	19,04	78,76	79,08	78,96	79,32
	Isıl Değer	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	5086	5038	4838	3119	2591	3009	2616
14:00	Nem Analizi (105°C, 1 h)	Nem (%)	21,04	21,04	21,04				
	Kül Analizi (750°C, 2 h)	Kül (%)	23,02	23,93	24,57	76,74	76,64	74,4	77,68
	Isıl Değer	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	4978	4978	4838	2690	2719	2229	2304
16:00	Nem Analizi (105°C, 1 h)	Nem (%)	20,39	20,39	20,39				
	Kül Analizi (750°C, 2 h)	Kül (%)	24,84	23,14	22,63	71,65	68,78	67,72	73,53
	Isıl Değer	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	5569	5006	4927	3869	4005	3854	3764

Çizelge A.2 : 18.10.2010 tarihinde alınan atık ve char numunelerinin analiz sonuçları.

Numune Tanımı		Kontamine			Char				
Çalışma No		1	2	3	1	2	3	4	
10:00	Nem Analizi (105°C, 1 h)	Nem (%)	23,85	23,85	23,85				
	Kül Analizi (750°C, 2 h)	Kül (%)	27,21	24,92	22,79	55,85	59,38	52,14	58,85
	Isıl Değer	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	4681	4853	4403	2105	1591	2051	1877
12:00	Nem Analizi (105°C, 1 h)	Nem (%)	17,86	17,86	17,86				
	Kül Analizi (750°C, 2 h)	Kül (%)	18,9	19,62	19,28	67,85	64,64	64,48	70,15
	Isıl Değer	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	5742	5412	5636	4226	2393	1872	2133
14:00	Nem Analizi (105°C, 1 h)	Nem (%)	17,23	17,23	17,23				
	Kül Analizi (750°C, 2 h)	Kül (%)	19,73	19,49	18,26	77,27	78,03	76,89	72,6
	Isıl Değer	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	5775	4913	5384	2228	1965	2190	2471
16:00	Nem Analizi (105°C, 1 h)	Nem (%)	20,29	20,29	20,29				
	Kül Analizi (750°C, 2 h)	Kül (%)	22,83	22,32	5,92	77,17	78,2	78,16	78,33
	Isıl Değer	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	4516	4713	4717	2519	2375	1967	2701
17:30	Nem Analizi (105°C, 1 h)	Nem (%)							
	Kül Analizi (750°C, 2 h)	Kül (%)				68,04	68,01	67,73	68,36
	Isıl Değer	Üst Isıl Değer (kcal/kg)				2627	2529	2686	2486

Çizelge A.3 : 01.11.2010 tarihinde alınan atık ve char numunelerinin analiz sonuçları.

Numune Tanımı		Kontamine			Char				
Çalışma No		1	2	3	1	2	3	4	
10:00	Nem Analizi (105°C, 1 h)	Nem (%)	20,19	20,19	20,19				
	Kül Analizi (750°C, 2 h)	Kül (%)	36,69	37,76	34,79	76,44	74,89	74,82	80,14
	Isıl Değer	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	3396	3116	3596	1879	2005	2201	1653
12:00	Nem Analizi (105°C, 1 h)	Nem (%)	19,54	19,54	19,54				
	Kül Analizi (750°C, 2 h)	Kül (%)	26,81	26,71	27,61	77,58	73,91	76,09	73,09
	Isıl Değer	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	4701	4440	4529	2043	1865	1892	1912
14:00	Nem Analizi (105°C, 1 h)	Nem (%)	19,42	19,42	19,42				
	Kül Analizi (750°C, 2 h)	Kül (%)	28,72	28,35	28,71	83,59	85,02	86,06	88,0
	Isıl Değer	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	4375	4542	4388	1277	1659	1391	1335
16:00	Nem Analizi (105°C, 1 h)	Nem (%)	17,8	17,8	17,8				
	Kül Analizi (750°C, 2 h)	Kül (%)	21,95	23,22	22,54	73,27	69,72	69,07	73,19
	Isıl Değer	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	4876	5321	5190	1469	1361	1253	1366
17:30	Nem Analizi (105°C, 1 h)	Nem (%)							
	Kül Analizi (750°C, 2 h)	Kül (%)				79,57	80,49	77,72	81,41
	Isıl Değer	Üst Isıl Değer (kcal/kg)				1720	1559	1560	1788

Çizelge A.4 : 03.11.2010 tarihinde alınan atık ve char numunelerinin analiz sonuçları.

Numune Tanımı		Kontamine			Char				
Çalışma No		1	2	3	1	2	3	4	
12:00	Nem Analizi (105°C, 1 h)	Nem (%)	23,45	23,45	23,45				
	Kül Analizi (750°C, 2 h)	Kül (%)	25,34	26,89	26,81	63,22	62,88	64,51	61,24
	Isıl Değer	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	4623	4908	5220	2402	2532	1364	2512
16:00	Nem Analizi (105°C, 1 h)	Nem (%)	21,55	21,55	21,55				
	Kül Analizi (750°C, 2 h)	Kül (%)	25,11	26,99	25,87	81,15	82,43	83,66	83,44
	Isıl Değer	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	4596	4639	4740	1114	1040	1392	1398

Çizelge A.5 : 13.11.2010 tarihinde alınan atık ve char numunelerinin analiz sonuçları.

Numune Tanımı		16:00			
Çalışma No		1	2	3	4
Kontamine	Nem (%)	23,68	23,68	23,68	
	Kül (%)	27,76	29,61	26,84	
	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	4553	4749	4550	
G-1 Char	Kül (%)	73,08	68,46	86,43	75,86
	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	2251	1915	1900	2050
G-3 Char	Kül (%)	74,41	73,78	74,46	74,4
	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	2705	2994	1558	2372

Çizelge A.6 : 25.12.2010 tarihinde alınan atık ve char numunelerinin analiz sonuçları.

Numune Tanımı			Kontamine				Char			
<u>Çalışma No</u>			1	2	3	4	1	2	3	4
09:00	Nem Analizi (105°C, 1 h)	Nem (%)	19,43	19,43	19,43	19,43				
	Kül Analizi (750°C, 2 h)	Kül (%)	34,48	35,43	32,71	36,27	74,21	73,75	72,31	73,52
	Isıl Değer	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	3807	3768	3582	3650	2113	2012	2215	2133
11:00	Nem Analizi (105°C, 1 h)	Nem (%)	22,94	22,94	22,94	22,94				
	Kül Analizi (750°C, 2 h)	Kül (%)	34,18	34,04	34,6	34,44	73,93	74,62	72,23	71,9
	Isıl Değer	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	4440	4490	4276	3842	2357	2387	2615	2196
15:30	Nem Analizi (105°C, 1 h)	Nem (%)	18,06	18,06	18,06	18,06				
	Kül Analizi (750°C, 2 h)	Kül (%)	27,51	29,07	27,33	27,79	84,77	85,32	85,36	85,77
	Isıl Değer	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	4681	4459	4835	4518	1165	1182	1154	1347

Çizelge A.7 : Gazlaştırıcı siklonlarından toplanan tozların kül ve ısıl değerleri.

Numune Tanımı			G-1 Siklon			G-2 Siklon		
<u>Çalışma No</u>			1	2	3	1	2	3
19.02.2011/16:30	Kül Analizi (750°C, 2 h)	Kül (%)	75,67	75,92	74,68	82,97	81,60	81,34
	Isıl Değer	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	1102	1146	1073	601	746	531
20.01.2011/17:30	Kül Analizi (750°C, 2 h)	Kül (%)	72,22	74,17	73,21	79,09	77,58	76,21
	Isıl Değer	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	1064	856	1131	1092	965	956
22.01.2011/16:00	Kül Analizi (750°C, 2 h)	Kül (%)	86,96	89,08	86,97			
	Isıl Değer	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	571,4	684,5	574			
24.01.2011/17:00	Kül Analizi (750°C, 2 h)	Kül (%)	79,98	83,44	82,39			
	Isıl Değer	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	913	892	846			

Çizelge B.1 : G-1 gazlaştırıcısına ait sıcaklık değerleri

		Reaktör Sıcaklıkları				
		10:00	12:00	14:00	16:00	17:30
16.10.2010	Kurutma	154,5-195,7	223,1-255,7	161,1-181	194,6-224,3	
	Piroliz	463,9-263,7	484,5-396,6	470,9-380,7	445,2-402,5	
	Oksidasyon	494,4-664,9	473,1-657,4	475,4-886,4	478,4-1085,2	
	Gaz Çıkışı	573,8-584,3	497,9-514,4	494,1-542,5	495,3-531,2	
	Kül	674,6-787,8	686,8-737,8	702,8-701,3	706,8-721,8	
18.10.2010	Kurutma	119,7-129,7	158,1-180,8	178,7-206,3	142,1-179,9	159,1-199,1
	Piroliz	453,4-237,9	510,9-398,3	533,3-466,2	571,6-395,6	562,6-403,7
	Oksidasyon	446,1-760	425,8-1199	441,9-983	454,6-993,6	477,9-1120
	Gaz Çıkışı	485,1-648,5	654,1-646,0	676,2-695,8	504,1-523,1	669,0-745,0
	Kül	593,6-752,5	599,4-744,3	595,9-735,2	608,7-771,7	604,9-761,6
01.11.2010	Kurutma	150,9-164,6	104,2-115,3	73,1-74,6	65,1-65,3	64,8-59,8
	Piroliz	292,9-227,6	291,7-230,8	251,2-178,6	212,7-132,9	215,3-132,3
	Oksidasyon	442,7-918,8	434,1-780,9	429,3-964,6	426,1-1035,2	416,6-1119,3
	Gaz Çıkışı	630,9-684,7	605,6-684,7	661,8-709,4	641,3-661,6	697,2-731,9
	Kül	677,5-737,4	653,1-731,2	675,6-718,4	646,8-760,9	695,5-797,7

Çizelge B.2 : 03.11.2010 G-1 sıcaklık değerleri

	12:00	16:00
Reaktör Sıcaklıkları (°C)	G-1	G-1
Kurutma	66,8-73,3	121,7-134
Piroliz	453,3-323,9	560,9-308,2
Oksidasyon	492,6-688,1	503,7-706,9
Gaz Çıkışı	578,4-616,6	697,9-605,1
Kül	647,2-644,8	706,8-687,4

Çizelge B.3 : 13.11.2010 G-1 ve G-3 sıcaklık değerleri.

Reaktör Sıcaklıkları (°C)	G-1	G-3
Kurutma	118,1-147,3	393,8-385,1-392,2
Piroliz	232,3-310,5	713,7-518,7
Oksidasyon	200-653	726,5-481,9
Gaz Çıkışı	485,5-521,3	384,4-543,2
Kül	652,9-570,5	776,1-879,8

Çizelge B.4 : 25.12.2010 G-2 sıcaklık değerleri.

Reaktör Sıcaklığı (°C)	09:00	11:00	15:30
Kurutma	441,3-453,9-445,6- 165,2	460-464,1-462- 163,2	528,3-555,5-521,1- 175,5
Piroliz	463,7-517	729,2-655,8	525,3-652,6
Oksidasyon	891-467,3	887,7-399,3	980,5-488,2
Gaz Çıkışı	340-645,8	337,7-656,4	615,4-335,8
Kül	857,5-515	997,6-510,6	1138,7-488,2

Çizelge B.5 : Siklon tozu örneklerinin alındığı tarihlerdeki sıcaklık değerleri.

Reaktör Sıcaklığı (°C)		G1	G2
19.01.2011	Kurutma	185,9-180,8-147	464,5-445,6-0-160,9
	Piroliz	295,6-286,7	786,8-509,5
	Oksidasyon	291,8-288,8	1172,4-406,1
	Gaz Çıkışı	534,8-655,1	751,2-482,6
	Kül	562,8-802,4	329,8-569,4
20.01.2011	Kurutma	141,1-166,8-163,6	472,5-462,1-157,8
	Piroliz	332,8-262,9	835,2-686
	Oksidasyon	278,6-247,8	438,1-632
	Gaz Çıkışı	601,6-671,7	319,8-590,1
	Kül	590,4-728,3	728,4-514,7
22.01.2011	Kurutma	249,6-212,7-181,9	
	Piroliz	348,5-363,3	
	Oksidasyon	365,4-345,1	
	Gaz Çıkışı	682,9-720,8	
	Kül	675,4-921,6	
24.01.2011	Kurutma	150-160	
	Piroliz	430-371	
	Oksidasyon	318-270	
	Gaz Çıkışı	544-603	
	Kül	777-848	

Çizelge C.1 : Char numunelerine ait su ile özütleme testi sonuçları

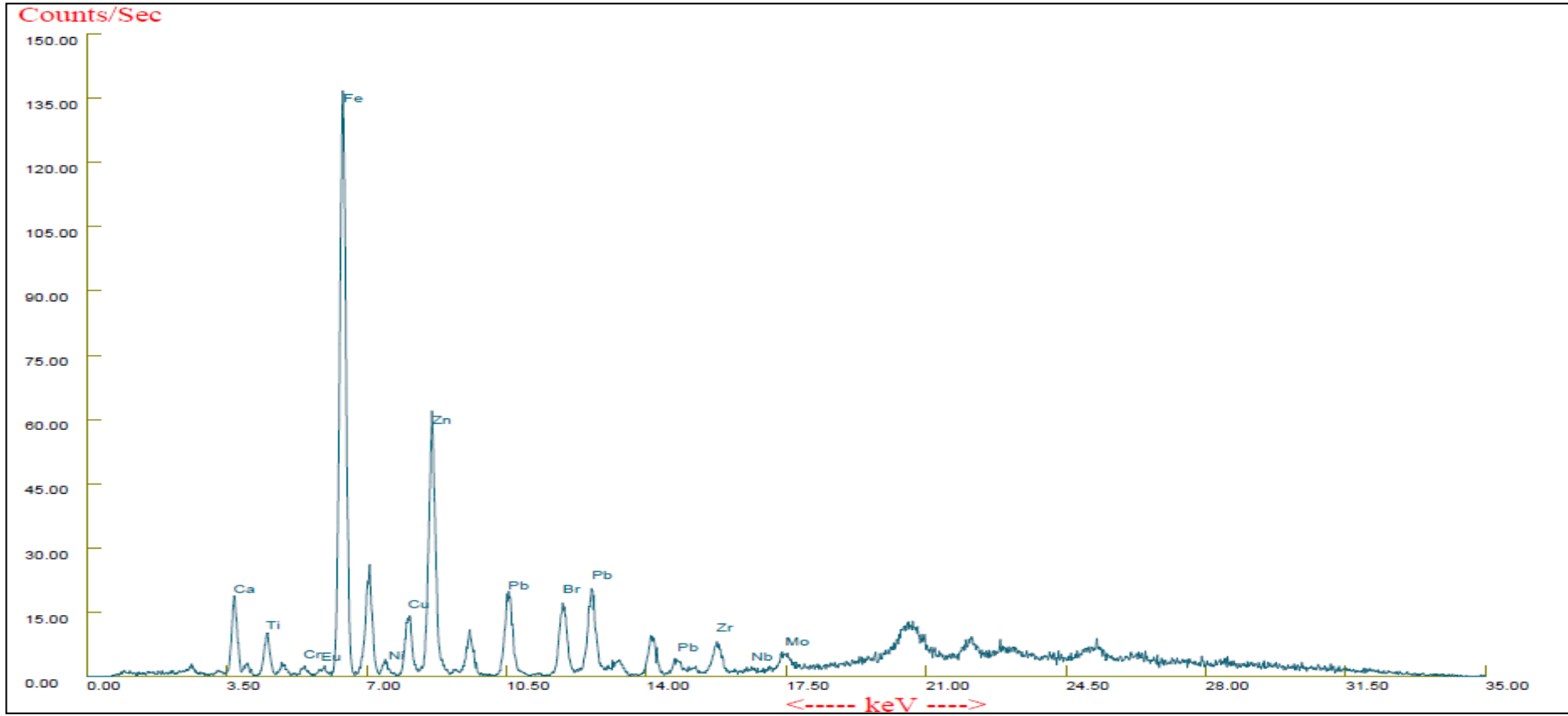
Metal Konsantrasyonu (mg/l)	As	Ba	Cd	Cr (+3)	Cu	Hg	Ni	Pb	Si	Zn	Ca	Mg	Na	K	Al	Fe (Top.)
Numune Adı																
16.10.2010/G-1 Char Örnek-1	0,147	<0,001	<0,001	<0,001	0,165	<0,001	0,503	0,531	3,131	<0,001	176,7	7,013	1194	429,7	1836	0,271
16.10.2010/G-1 Char Örnek-2	0,006	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,496	0,409	1,069	<0,001	161,6	7,462	1174	414,8	1,756	0,275
16.10.2010/G-1 Char Örnek-3	0,614	0,138	<0,001	<0,001	0,045	<0,001	0,466	0,071	0,462	<0,001	193,6	6,103	1256	419,2	2,053	0,25
18.10.2010/G-1 Char Örnek-1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,431	<0,001	2,721	<0,001	754,7	7,233	684,5	272,1	1,187	0,211
18.10.2010/G-1 Char Örnek-2	0,026	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,477	<0,001	3,062	<0,001	813,4	8,72	715,2	306,2	1,055	0,222
18.10.2010/G-1 Char Örnek-3	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,478	<0,001	0,844	<0,001	831,9	7,596	704,3	288,8	1,114	0,212
01.11.2010/G-1 Char Örnek-1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,445	<0,001	2,838	<0,001	328,3	7,893	1179	200,2	2,462	0,243
01.11.2010/G-1 Char Örnek-2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,47	<0,001	2,8	<0,001	339,1	7,988	1249	175,3	2,916	0,242
01.11.2010/G-1 Char Örnek-3	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,461	<0,001	2,59	<0,001	349,6	8,667	1326	205,5	2,776	0,231
03.11.2010/G-1 Char Örnek-1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,841	<0,001	0,882	<0,001	2,821	<0,001	546,3	15,22	1250	179,5	2,579	0,409
03.11.2010/G-1 Char Örnek-2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,462	<0,001	1,053	<0,001	2,613	<0,001	628,7	18,65	1197	206,5	2,559	0,427
03.11.2010/G-1 Char Örnek-3	0,678	<0,001	<0,001	<0,001	5,745	<0,001	1,036	<0,001	2,08	<0,001	711,4	21,3	1239	218,1	2,892	0,428
13.11.2010/ Char (G1+G3) Örnek-1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,457	<0,001	<0,001	<0,001	88,6	0,058	1350	166,2	49,42	0,221
13.11.2010/ Char (G1+G3) Örnek-2	<0,001	0,668	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,465	<0,001	<0,001	<0,001	136,7	0,212	1158	181,1	42,16	0,636
13.11.2010/ Char (G1+G3) Örnek-3	<0,001	0,436	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,477	<0,001	<0,001	<0,001	168,0	0,214	1488	172,5	38,23	0,67
25.12.2010/G-1 Char Örnek-1	<0,001	1,534	<0,001	1,873	<0,001	<0,001	0,497	<0,001	<0,001	<0,001	312,6	3,443	2275	290,9	10,81	0,502
25.12.2010/G-1 Char Örnek-2	0,562	2,28	<0,001	2,475	<0,001	<0,001	0,492	<0,001	<0,001	<0,001	277,4	3,243	1971	248,9	12,87	0,474
25.12.2010/G-1 Char Örnek-3	0,318	1,786	<0,001	2,666	<0,001	<0,001	0,509	<0,001	<0,001	<0,001	293,5	3,186	2377	307,7	16,38	0,42

Çizelge C.2 : Su ile özütlenme testi sonrası char çözeltilerinin pH ve iletkenlik değerleri.

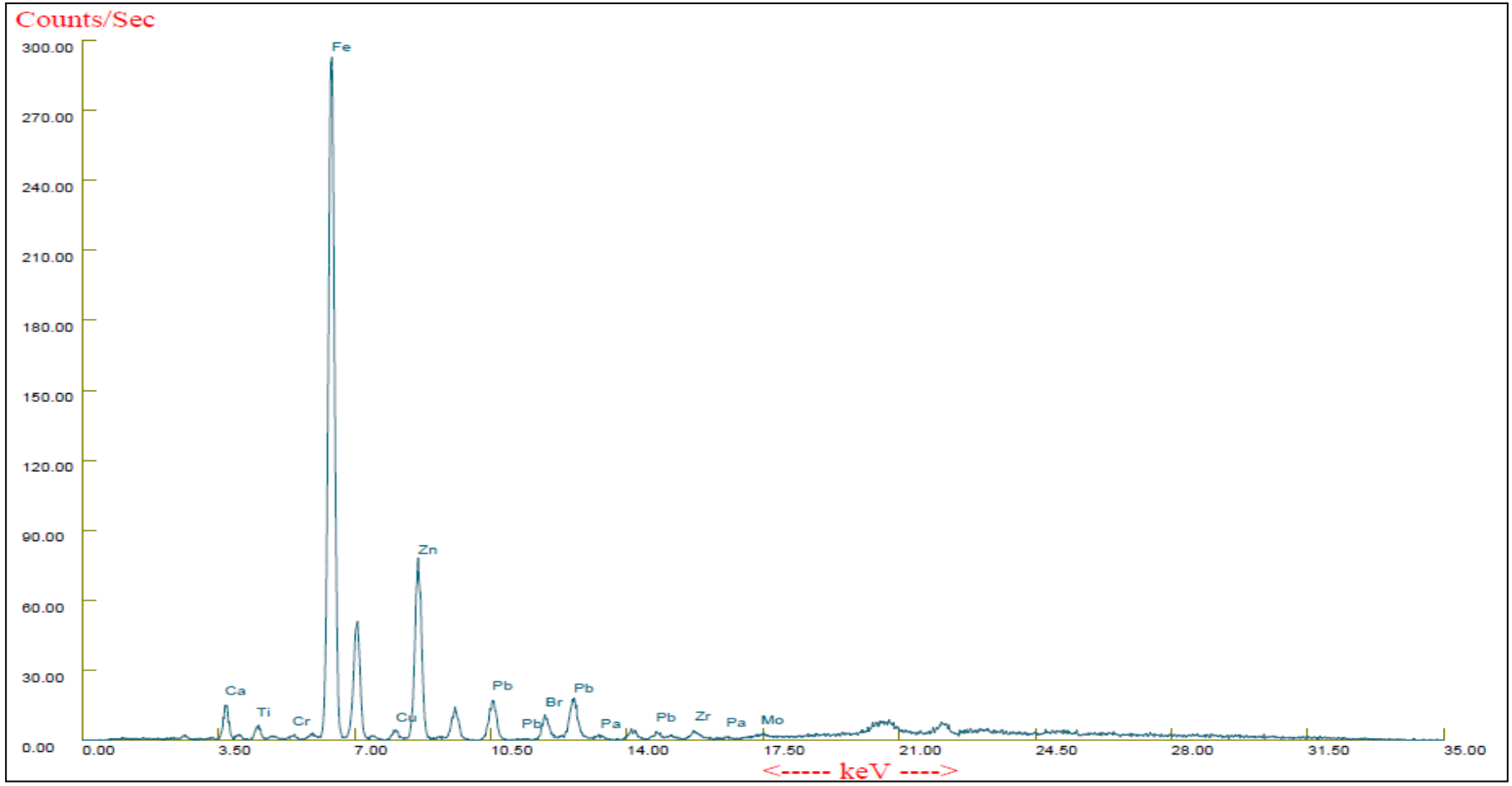
Numune Adı	pH	Ortalama pH	İletkenlik (μ s)	Ortalama İletkenlik
16.10.2010/G-1 Char Örnek-1	6,86	7,51	10940	10843,3
16.10.2010/G-1 Char Örnek-2	7,63		10520	
16.10.2010/G-1 Char Örnek-3	8,03		11070	
18.10.2010/G-1 Char Örnek-1	8,19	7,84	10010	9993,3
18.10.2010/G-1 Char Örnek-2	7,44		10080	
18.10.2010/G-1 Char Örnek-3	7,89		9890	
01.11.2010/G-1 Char Örnek-1	8,45	8,71	10020	9916,7
01.11.2010/G-1 Char Örnek-2	8,64		10080	
01.11.2010/G-1 Char Örnek-3	9,05		9650	
03.11.2010/G-1 Char Örnek-1	9,09	8,99	11980	12310,0
03.11.2010/G-1 Char Örnek-2	9,17		13490	
03.11.2010/G-1 Char Örnek-3	8,71		11460	
13.11.2010/ Char (G1+G3) Örnek-1	9,22	9,66	9220	8723,3
13.11.2010/ Char (G1+G3) Örnek-2	10,13		7580	
13.11.2010/ Char (G1+G3) Örnek-3	9,63		9370	
25.12.2010/G-1 Char Örnek-1	9,23	9,22	14240	13846,7
25.12.2010/G-1 Char Örnek-2	9,14		13400	
25.12.2010/G-1 Char Örnek-3	9,28		13900	

Çizelge C.3 : Su ile özütleme testi sonrası siklon tozu çözeltilerinin pH ve İletkenlik değerleri.

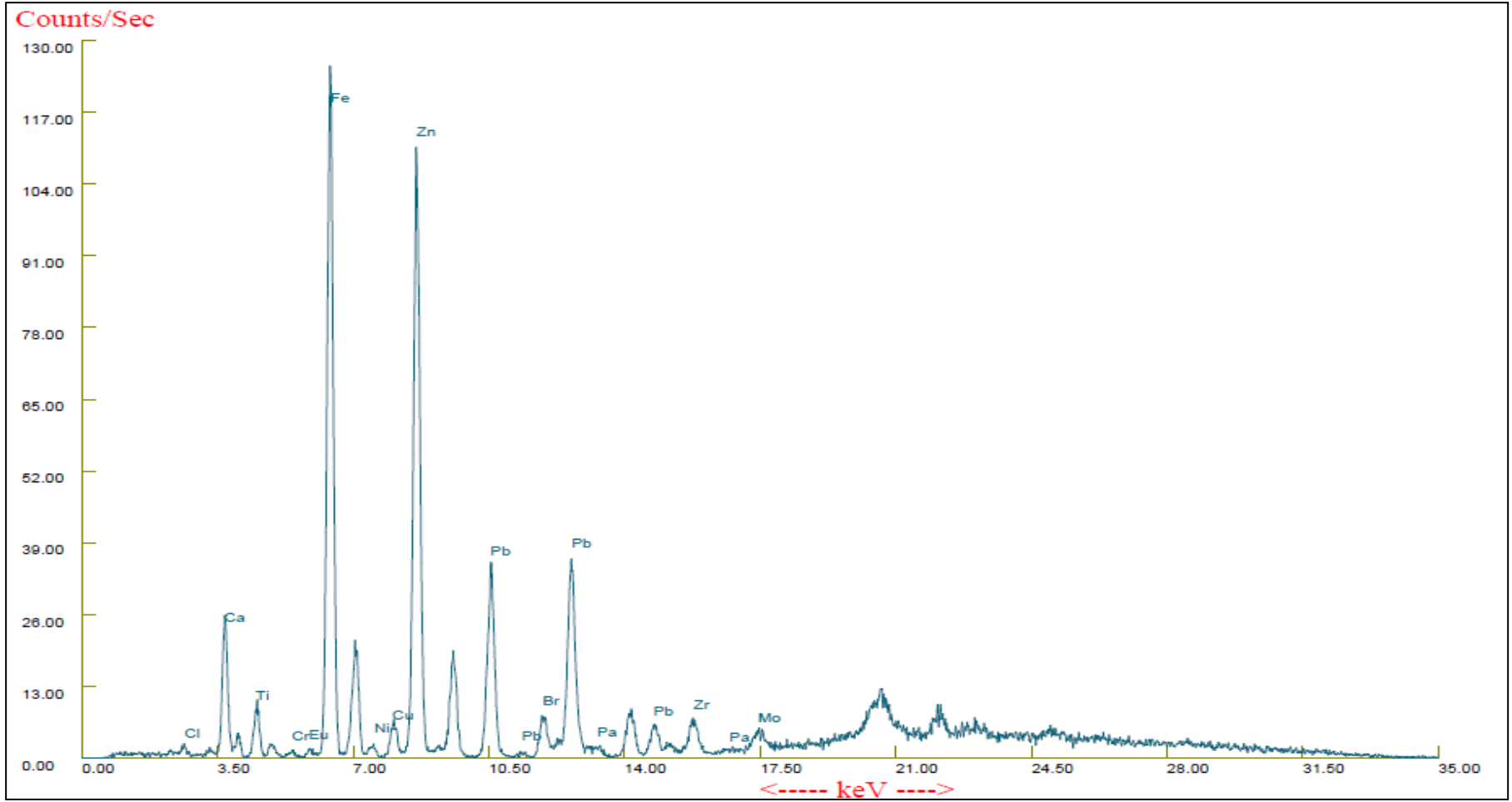
Numune Adı	pH	Ortalama pH	İletkenlik (µs)	Ortalama İletkenlik
19.01.2011/G-1 Siklon Tozu	8,87	8,87	28800	28800
19.01.2011/G-2 Siklon Tozu	8,27	8,27	39900	39900
20.01.2011/G-1 Siklon Tozu	7,97	7,97	30000	30000
20.01.2011/G-2 Siklon Tozu	8,32	8,32	24900	24900
22.01.2011/G-1 Siklon Tozu	7,69	7,69	43900	43900
24.01.2011/G-1 Siklon Tozu	8,51	8,51	41100	41100



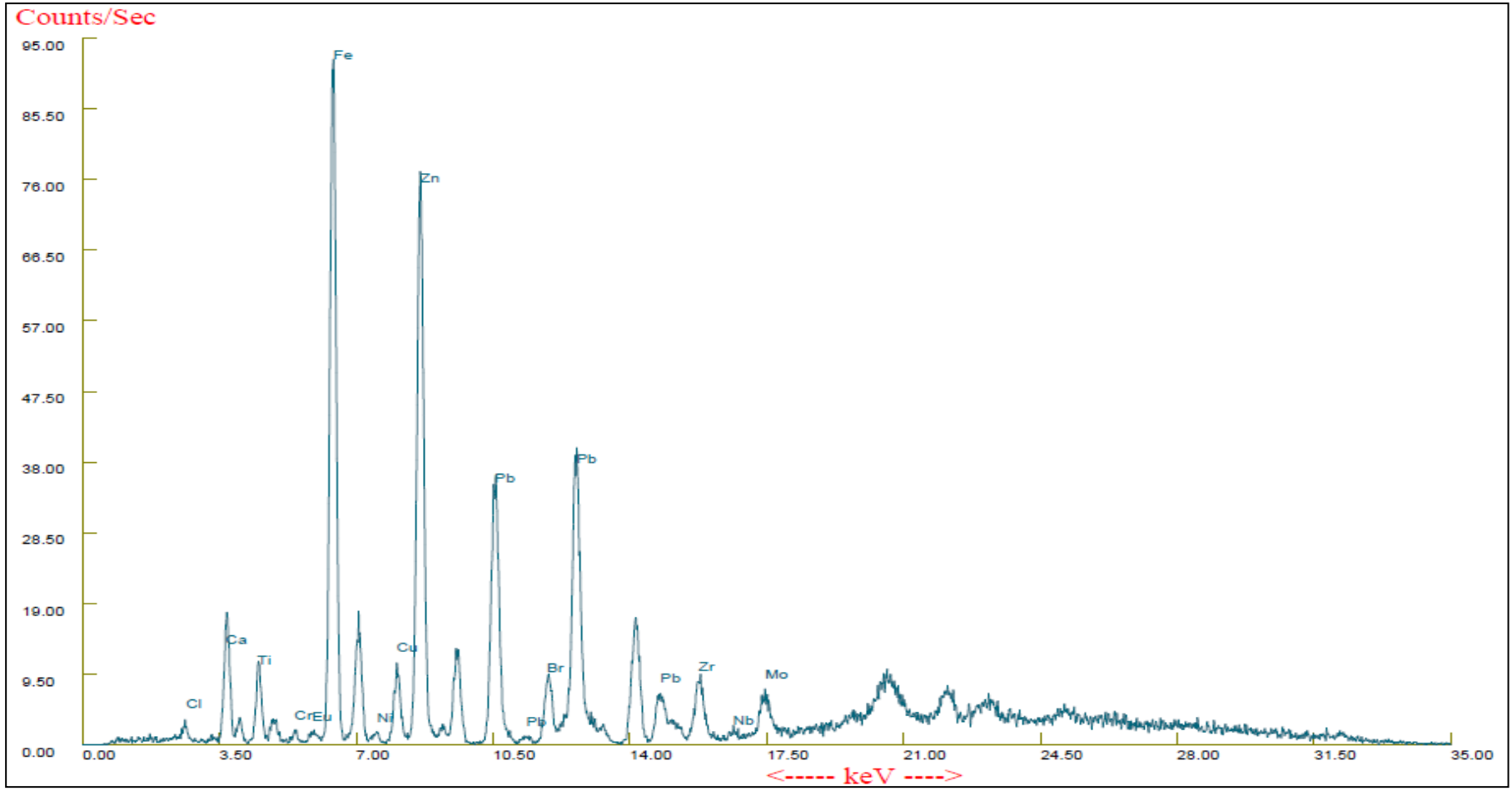
Şekil D.1 : 18.10.2010 tarihinde G-1 gazlaştırmısından alınan char numunesinin XRF sonucu.



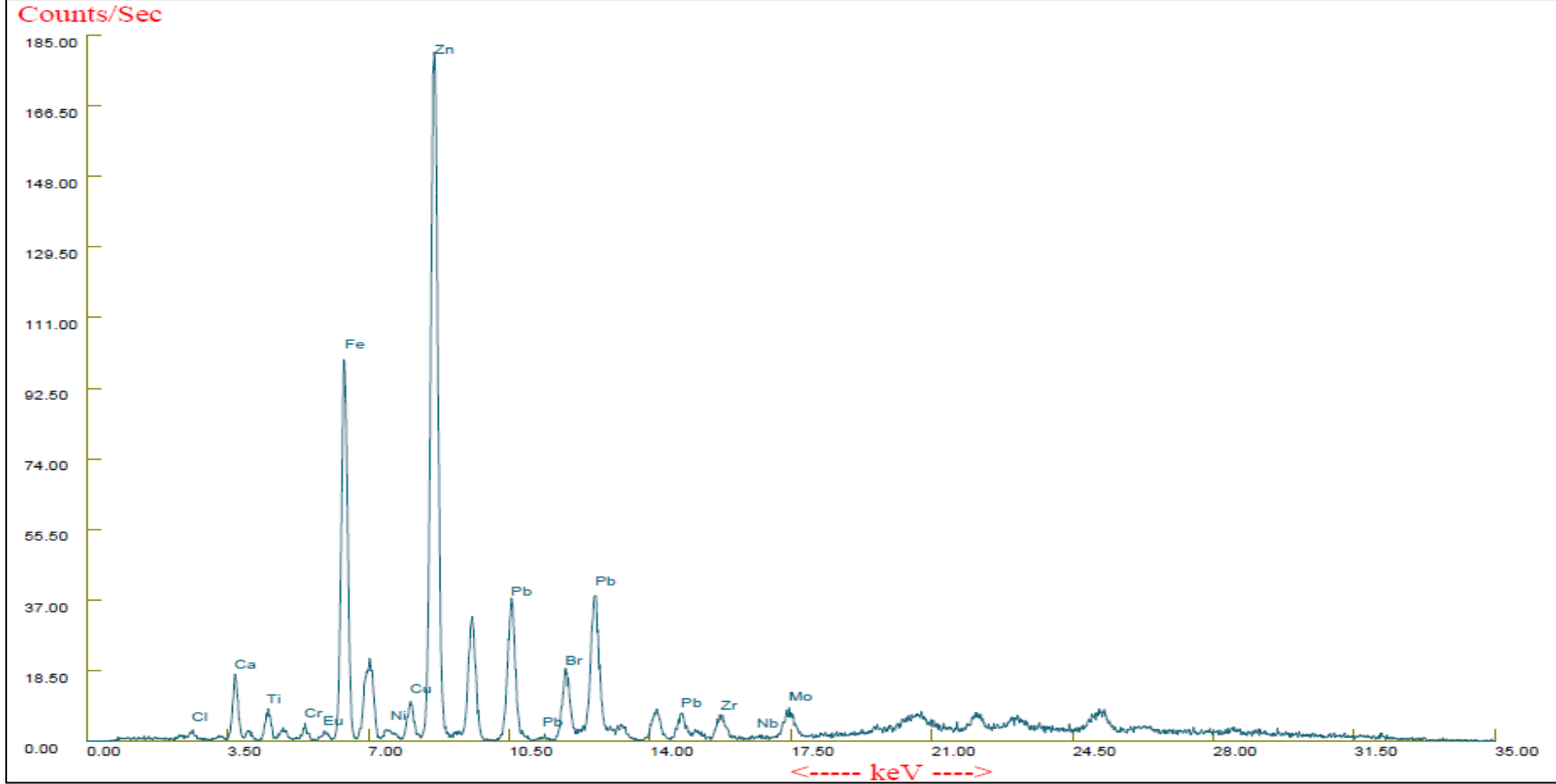
Şekil D.2 : 01.11.2010 tarihinde G-1 gazlaştırıcısından alınan char numunesinin XRF sonucu.



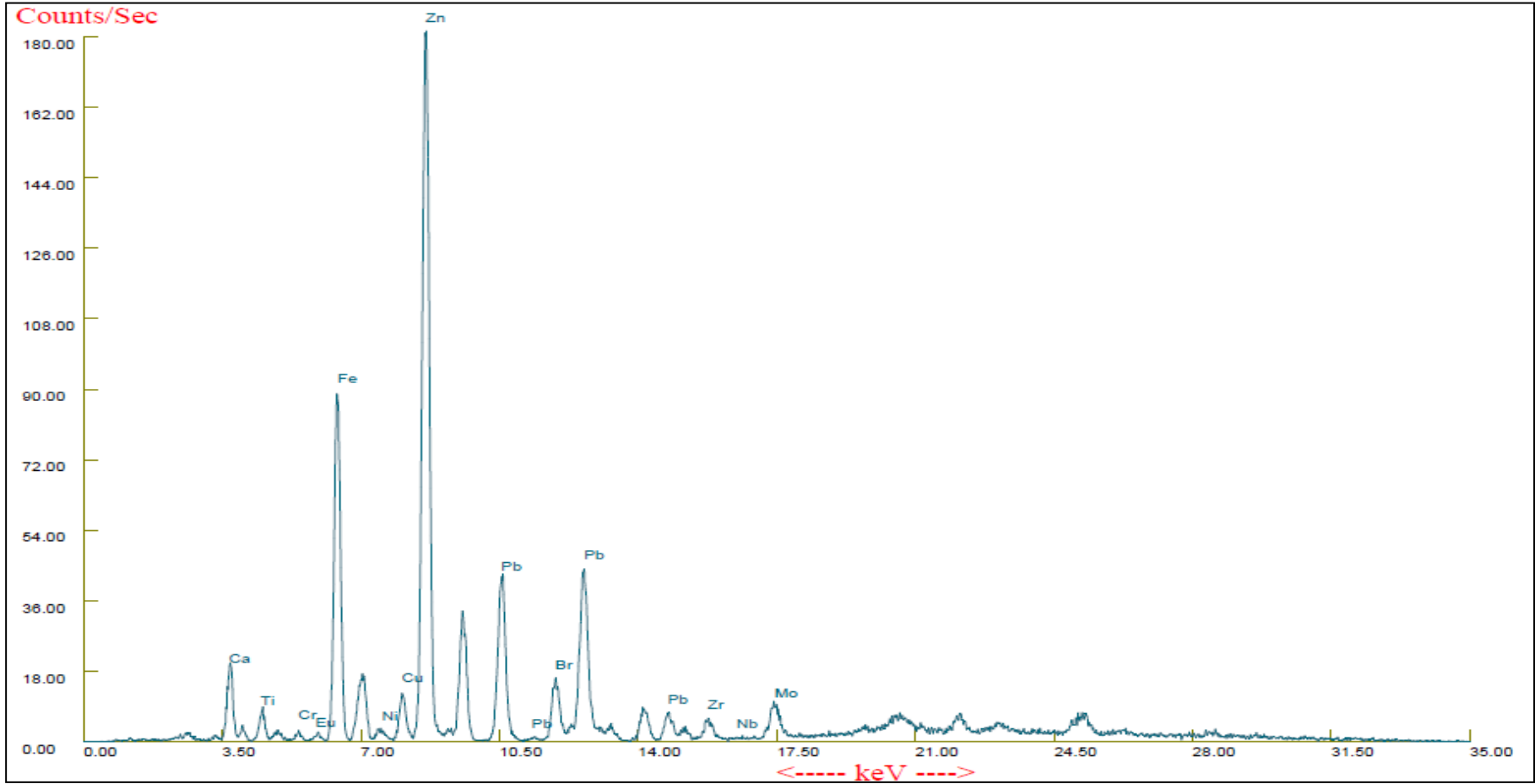
Şekil D.3 : 13.11.2010 tarihinde alınan char numunesinin XRF sonucu.



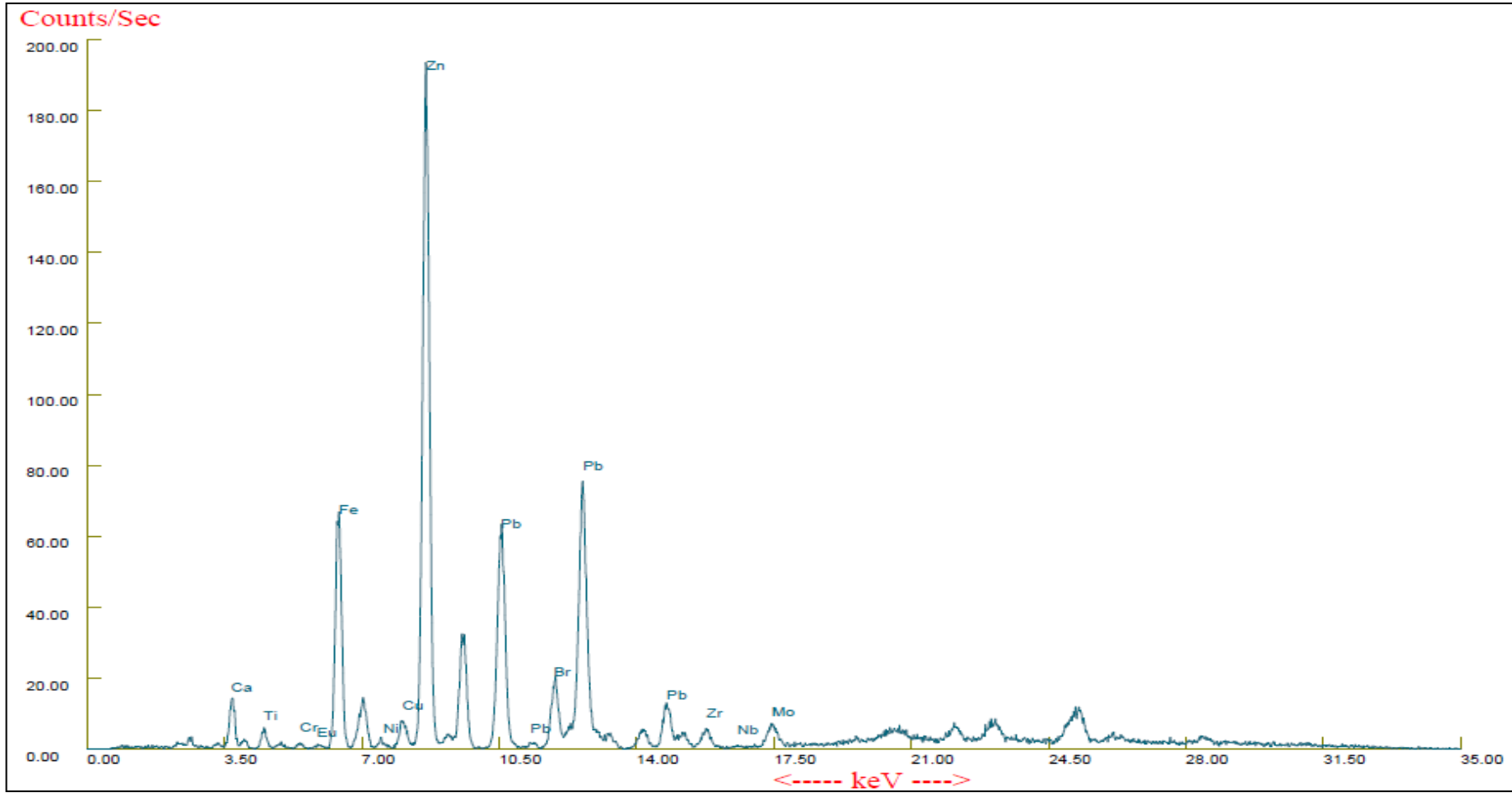
Şekil D.4 : 25.12.2010 tarihinde alınan char numunesinin XRF sonucu.



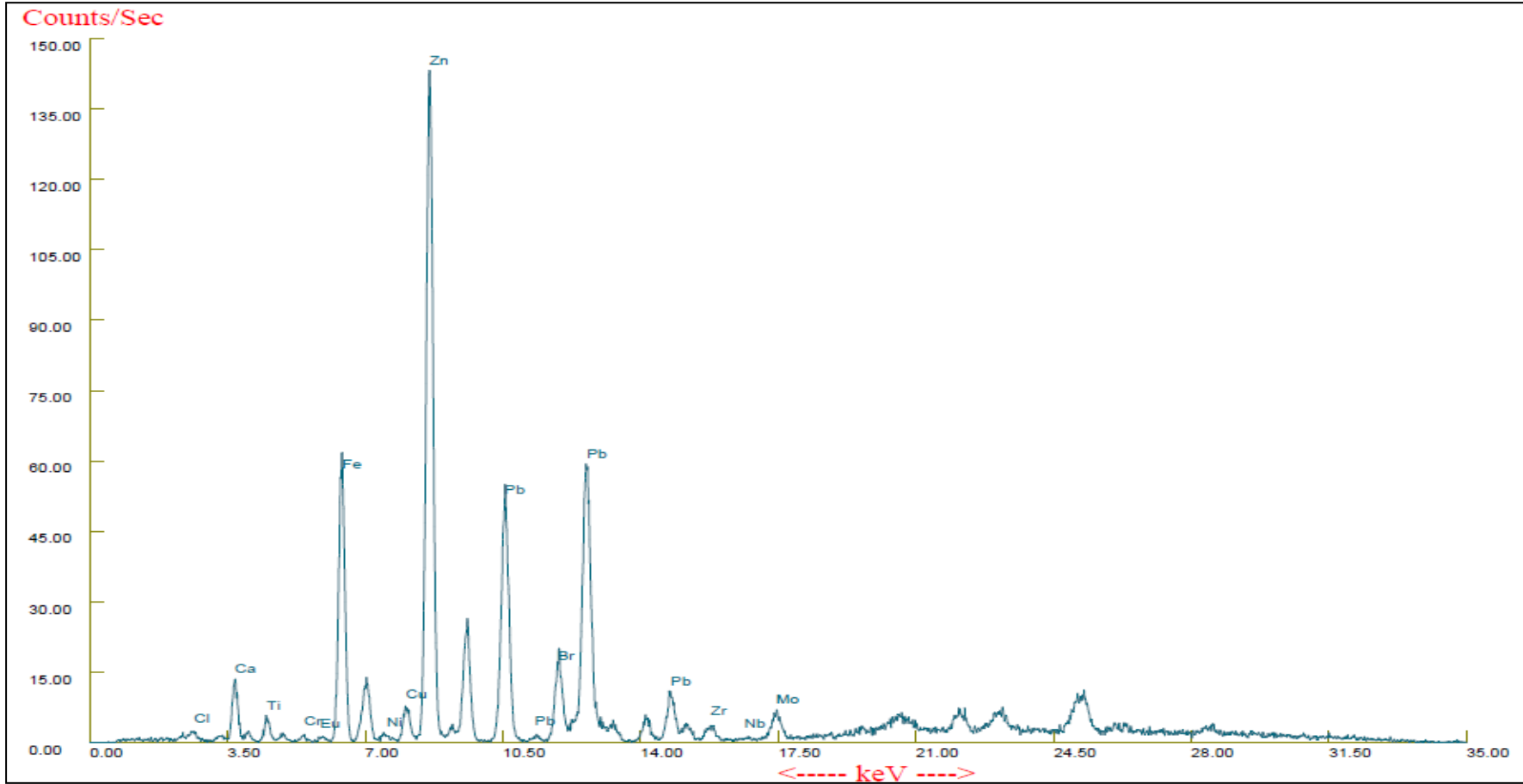
Şekil D.5 : 19.01.2010 tarihinde alınan G-2 siklon tozu numunesinin XRF sonucu.



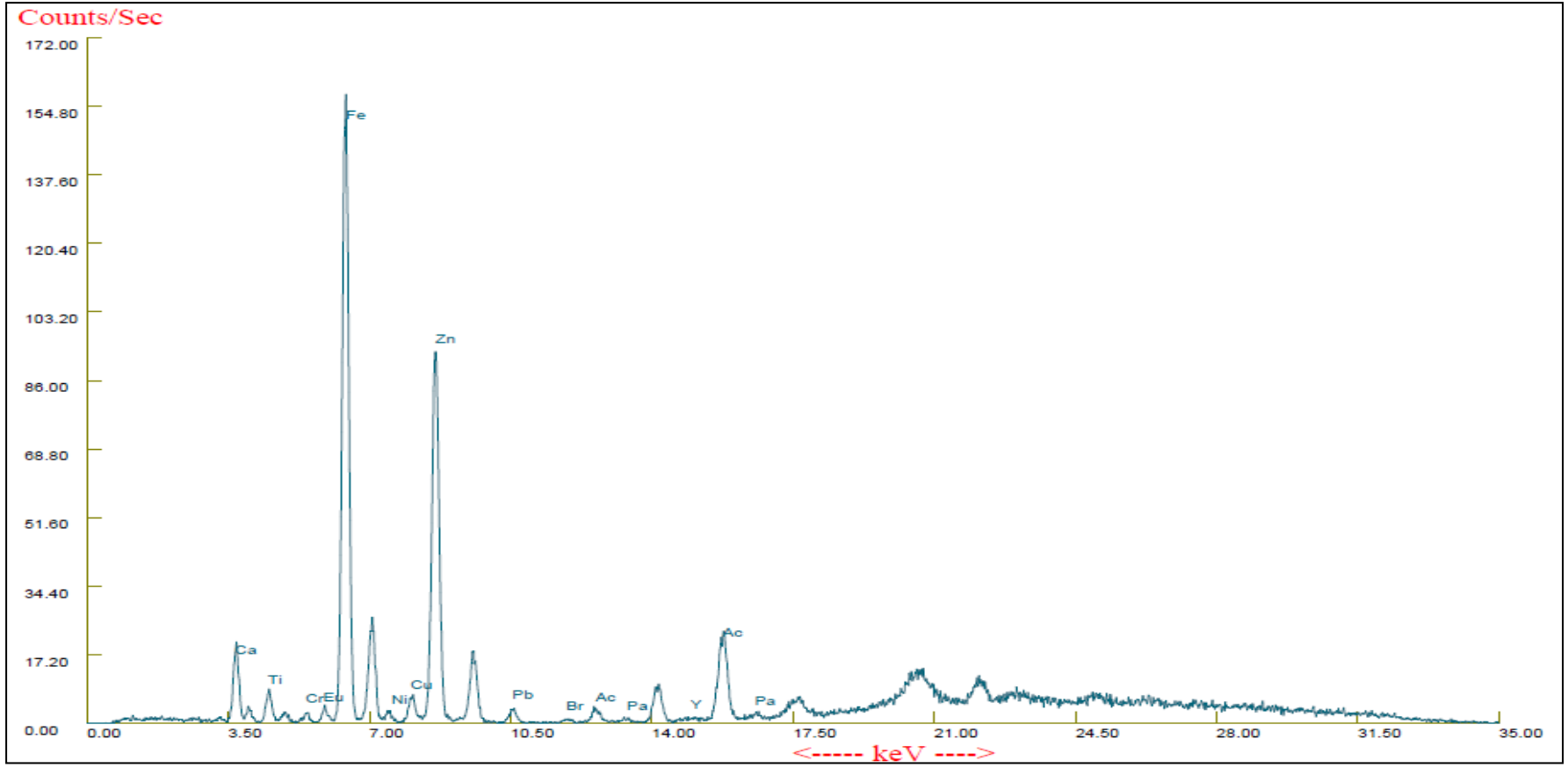
Şekil D.6 : 20.01.2010 tarihinde alınan G-2 siklon tozu numunesinin XRF sonucu.



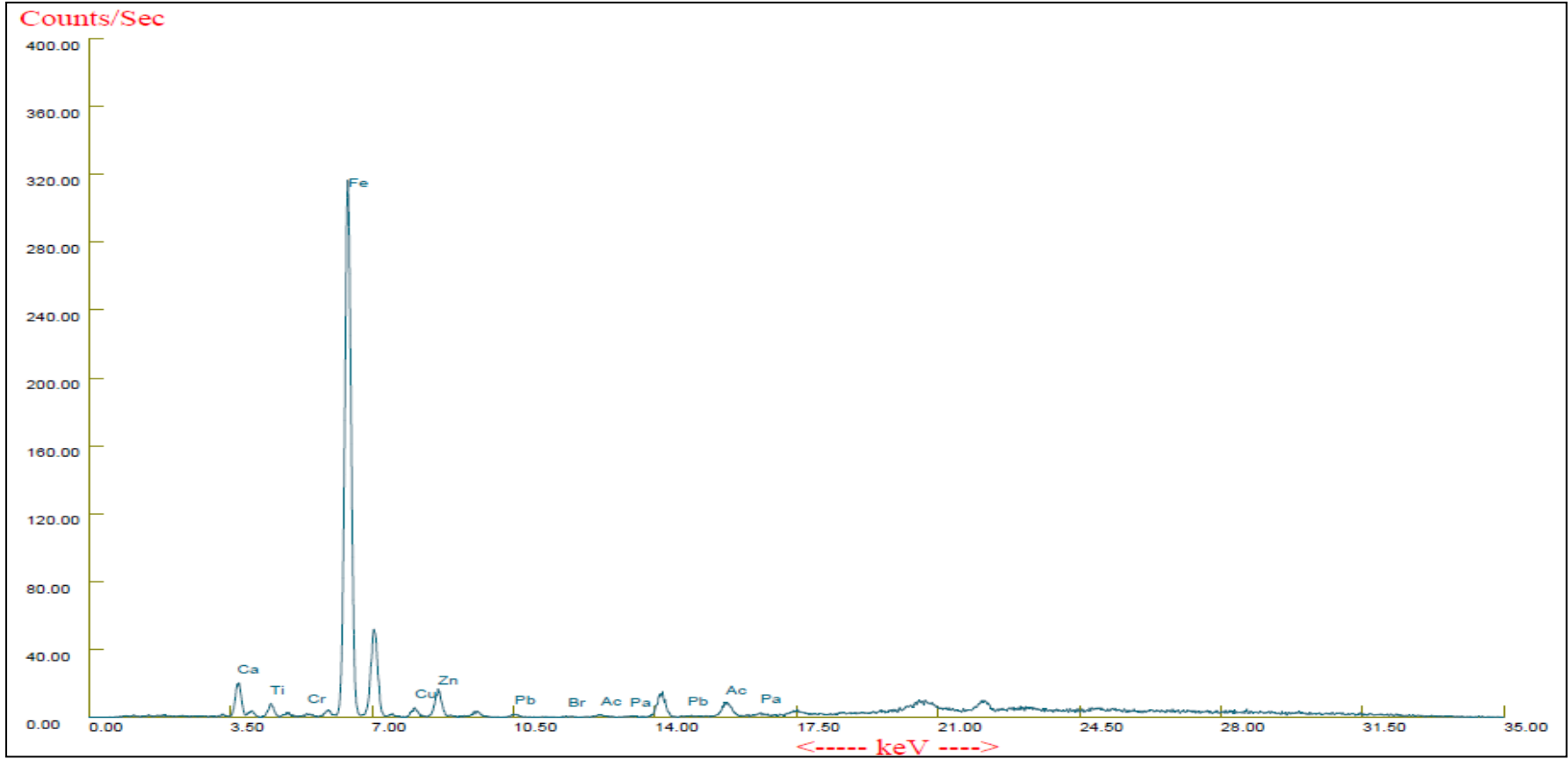
Şekil D.7 : 22.01.2010 tarihinde alınan G-1 siklon tozu numunesinin XRF sonucu.



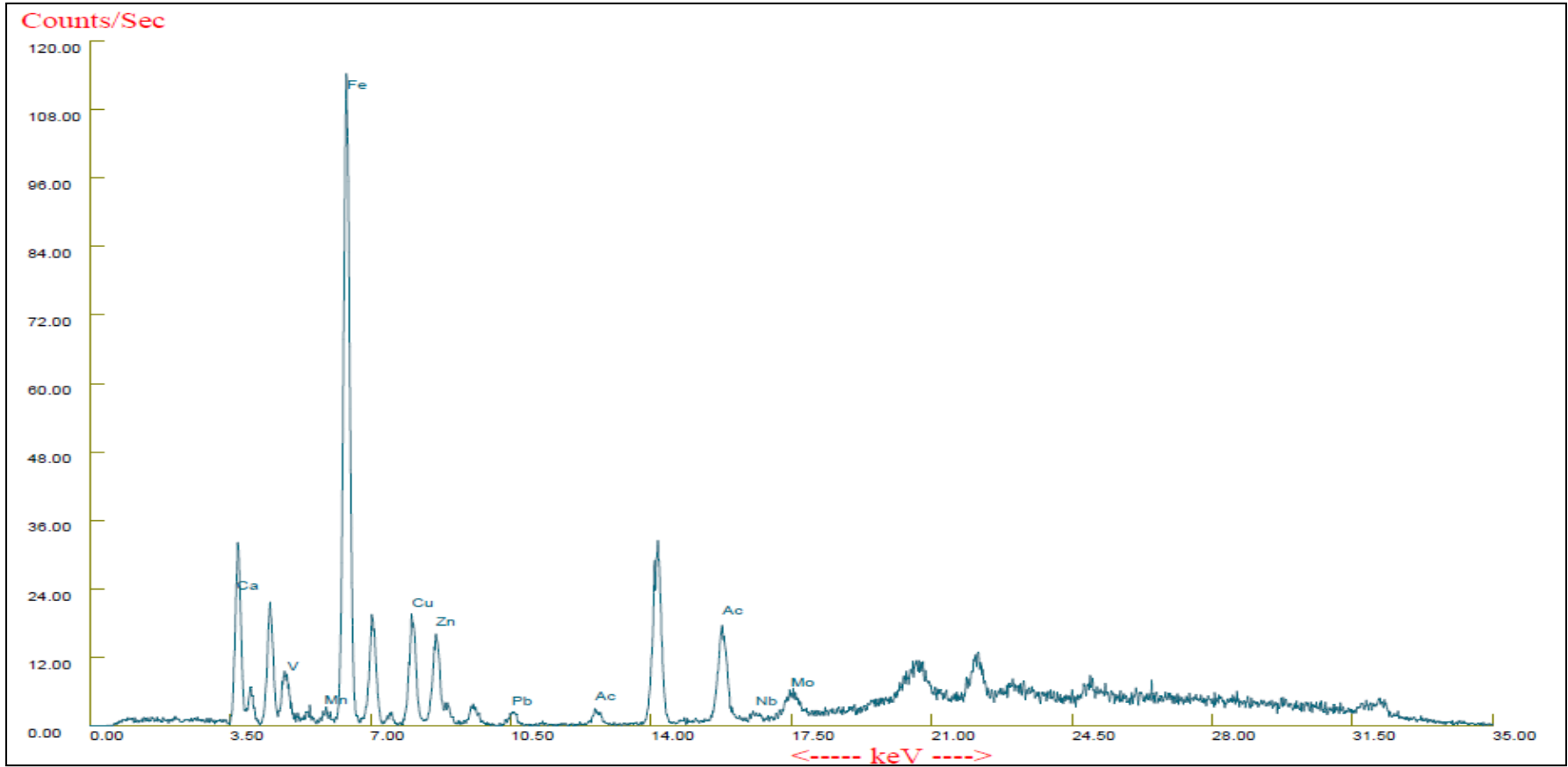
Şekil D.8 : 24.01.2010 tarihinde alınan G-1 siklon tozu numunesinin XRF sonucu.



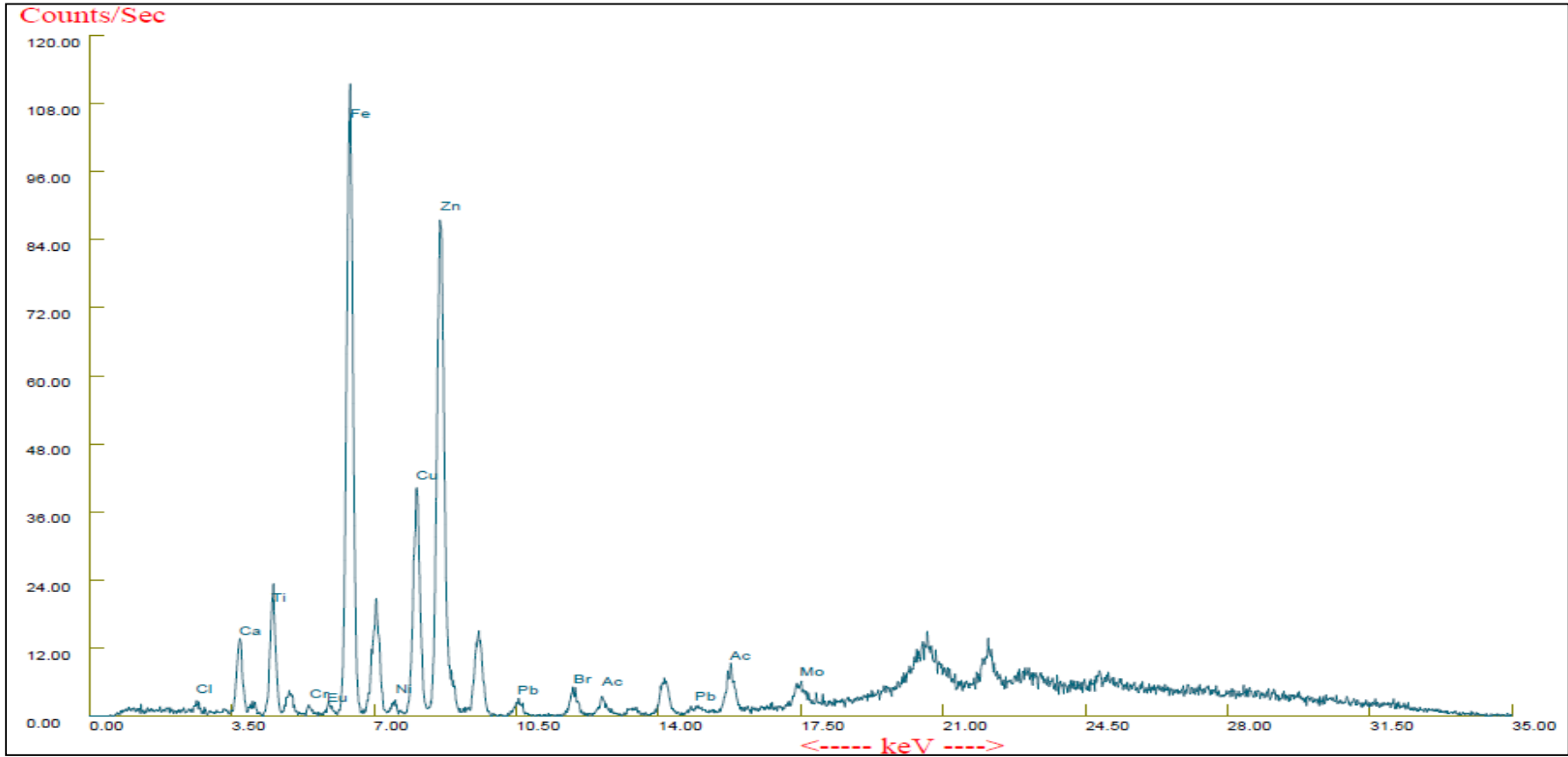
Şekil D.9 : 29-30.10.2010 tarihinde G-2 gazlaştıracısından alınan klinker numunesinin XRF sonucu.



Şekil D.10 : 06.12.2010 tarihinde G-2 gazlaştıracısından alınan klinker numunesinin XRF sonucu.



Şekil D.11 : 19.12.2010 tarihinde G-1 gazlaştıracısından alınan klinker numunesinin XRF sonucu.



Şekil D.12 : 25.01.2011 tarihinde G-1 gazlaştıracısından alınan klinker numunesinin XRF sonucu.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Elif Güzel

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 07.03.1987

Adres: Murat Mh. Kamil Cd. Sokullu Sk. No.10/6 Bayrampaşa/İstanbul

Lisans Üniversite: Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü.

Yayın Listesi: -

