

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI BÖLGELERDEN ALINAN UÇUCU KÜLLERİN AĞIR METAL
İYONLARINI ADSORBLAMA ÖZELLİKLERİNİN FARKLI BAĞLAYICILAR
KULLANILARAK GELİŞTİRİLMESİ**

EKİN ÇINAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. NURCAN TUĞRUL**

İSTANBUL, 2014

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI BÖLGELERDEN ALINAN UÇUCU KÜLLERİN AĞIR METAL
İYONLARINI ADSORBLAMA ÖZELLİKLERİNİN FARKLI BAĞLAYICILAR
KULLANILARAK GELİŞTİRİLMESİ**

Ekin Çınar tarafından hazırlanan tez çalışması 03.07.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Nurcan Tuğrul
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Sabriye PİŞKİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Nurcan Tuğrul
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet KARAASLAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün YTU-2011-07-01-KAP01 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans bitirme tezi kapsamında gerçekleştirmiş olduğum bu çalışmada yer almamı sağlayan, tecrübesini en iyi şekilde sunan, engin bilgisi ile bana yol gösteren saygıdeğer Hocam Prof. Dr. Sabriye PİŞKİN'e,

Çalışmam süresince bilgilerini ve desteklerini hiçbir zaman benden esirgemeyen sevgili hocam Yrd. Doç. Dr. Nurcan TUĞRUL'a,

Sonuçlarımın ICP analizlerinin gerçekleştirilmesinde bana yardımcı olan Arş. Gör. Özgül DERE ÖZDEMİR'e ve tez yazım aşamasında bana yardımcı olan Arş. Gör. Dr. Nil ACARALI'ya,

Ayrıca numune analizleriyle bana yardımcı olan, manevi destekleriyle yanımda olan sevgili arkadaşım Kimya Müh. Nevin KARAMAHMUT'a ve Yüksek Kim. Müh. Fatma Tuğçe Şenberber'e,

Maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan aileme ve dostlarım Serra BAŞAR ve Taner ÖCALIR'a,

Tez süresince anlayışı ve varlığıyla bana destek olan nişanlım Volkan TOPTAŞ'a,

Sonsuz teşekkür ederim.

Mayıs, 2014

Ekin ÇINAR

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	ix
KISALTMA LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
ÇİZELGE LİSTESİ	xiv
ÖZET	xvi
ABSTRACT.....	xviii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	3
1.3 Hipotez.....	4
BÖLÜM 2	
ÇEVRE ve SU KİRLİLİĞİ	5
2.1 Çevre Tanımı ve Çevre Kirliliği	5
2.2 Su Kirliliği	8
2.2.1 Su kirliliği türleri.....	9
2.2.2 Türkiye'de su kirliliği ve sebepleri	10
2.2.3 Dünya Sağlık Örgütü'ne göre su kirliliği sebepleri.....	11
2.3 Atık Sular ve Sınıflandırılması	12
2.4 Atık Suları Arıtma Prosesleri	13
2.4.1 Fiziksel arıtma yöntemleri	13
2.4.2 Kimyasal arıtma yöntemleri	14
2.4.3 Biyolojik arıtma yöntemleri	15
2.4.4 İleri atık su arıtma yöntemleri	16
BÖLÜM 3	
AĞIR METALLER	19
3.1 Ağır Metal Tanımı	19
3.1.1 Çinko	19
3.1.2 Kadmiyum.....	22

3.2	Ağır Metal Kirliliği	23
3.3	Ağır Metal Etkileri	25
BÖLÜM 4		
ADSORPSİYON		27
4.1	Adsorpsiyon Tanımı ve Tarihçesi	27
4.2	Adsorpsiyon Türleri	28
4.2.1	Fiziksel adsorpsiyon	28
4.2.2	Kimyasal Adsorpsiyon	28
4.2.3	İyonik Adsorpsiyon	28
4.3	Adsorpsiyona Etki Eden Faktörler	29
4.4	Adsorpsiyon İzotermi ve Denklemleri	31
4.4.1	Adsorpsiyon İzotermi	31
4.4.1.1	Langmuir modeli	32
4.4.1.2	Freundlich modeli	33
4.4.1.3	Brunauer-Emmet-Teller (BET) modeli	34
4.4.1.4	Temkin izotermi	35
4.4.2	Adsorpsiyon izoterm tipleri	35
4.5	Adsorpsiyon Kinetiği	36
4.6	Adsorpsiyon Uygulamaları	36
4.7	Adsorbantlar	37
4.7.1	Doğal adsorbant çeşitleri	37
4.7.2	Yapay adsorbant çeşitleri	38
BÖLÜM 5		
UÇUCU KÜL		39
5.1	Termik Santraller	39
5.2	Uçucu Külün Tanımı ve Tarihçesi	40
5.3	Uçucu Külün Oluşumu ve Sınıflandırılması	43
5.3.1	Uçucu külün oluşumu	43
5.3.2	Uçucu külün sınıflandırılması	45
5.4	Uçucu Küllerin Özellikleri	47
5.4.1	Uçucu külün fiziksel özellikleri	48
5.4.1.1	Görünüş	48
5.4.1.2	Parçacık boyutu	48
5.4.1.3	Yoğunluk	49
5.4.1.4	Karbon miktarı	49
5.4.1.5	Manyetik özellik	49
5.4.1.6	Mekanik dayanım	50
5.4.1.7	Suda çözünürlük	50
5.4.1.8	Elektrik iletkenliği	50
5.4.1.9	Dayanım aktivite indisi	50
5.4.1.10	Homojen Dağılımlılık	50
5.4.2	Uçucu küllerin mineralojik özellikleri	51
5.4.3	Uçucu küllerin kimyasal özellikleri	52
5.4.4	Uçucu küllerin pozolanik özelliği	54

5.5	Uçucu Küllerin Kullanım Alanları	55
BÖLÜM 6		
PELETLEME		58
6.1	Peletleme	58
6.2	Peletleme Hammaddeleri	58
6.2.1	Cevher	58
6.2.2	Bağlayıcılar	59
6.2.2.1	Diatomit	59
6.2.2.2	Pirinç Kabuğu	61
6.2.2.3	Melas	62
BÖLÜM 7		
DENEYSEL ÇALIŞMA		64
7.1	Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Enstrümental Analiz Cihazları	64
7.1.1	X-Işını difraktometre cihazı (XRD)	64
7.1.2	X-Işınları floresans spektroskopi cihazı (XRF)	65
7.1.3	İndüktif eşleşmiş plazma-optik emisyon spektrometresi (ICP-OES) ..	66
7.1.4	Taramalı elektron mikroskobu (SEM)	66
7.1.5	Termogravimetrik ve diferansiyel termal analiz (TG/DTA)	67
7.2	Deneysel sistem	68
7.2.1	Etüv	68
7.2.2	Yüksek sıcaklık fırını	68
7.2.3	Hassas terazi	69
7.2.4	Peletleme cihazı	69
7.3	Kullanılan Hammaddeler	70
7.3.1	Uçucu kül	70
7.3.2	Diatomit	71
7.3.3	Melas	71
7.3.4	Pirinç kabuğu	72
7.4	Deneyin yapılışı	72
7.4.1	Peletleme işlemi	74
7.4.2	Adsorpsiyon deneyleri	75
BÖLÜM 8		
DENEYSEL SONUÇLAR		76
8.1	Ön Deneysel Çalışmalar ve Sonuçları	76
8.1.1	Pirinç kabuğu külü karakterizasyonu ve sonuçları	76
8.1.2	Sıcaklık uygulamaları ve sonuçları	76
8.2	Kullanılan Uçucu Küllerin Karakterizasyonu	77
8.2.1	Seyitömer uçucu külünün XRD sonuçları	77
8.2.2	Seyitömer uçucu külünün XRF sonuçları	78
8.2.3	Seyitömer uçucu külünün SEM analizi sonuçları	79
8.3	Kullanılan Bağlayıcıların Karakterizasyonu	80
8.3.1	Diatomitin karakterizasyonu	80
8.3.1.1	Diatomitin XRD sonucu	80

8.3.1.2	Diatomitin XRF sonucu	81
8.3.1.3	Diatomitin SEM sonucu	82
8.4	Peletleme Sonuçları	82
8.4.1	Çatalağzı uçucu külleri peletleme sonuçları	82
8.4.2	Tunçbilek uçucu külleri peletleme sonuçları	83
8.4.3	Orhaneli uçucu külleri peletleme sonuçları	84
8.4.4	Seyitömer uçucu külleri peletleme sonuçları	85
8.5	Seyitömer termik santraline ait uçucu kül numunelerinin yapay atık sulardan Zn ve Cd metalini adsorplama sonuçları	86
8.5.1	Seyitömer termik santraline ait uçucu kül numunelerinin yapay atık sudan Zn metalini adsorpsiyon sonuçları	87
8.5.2	Seyitömer termik santraline ait uçucu kül numunelerinin yapay atık su Cd metalini adsorplama sonuçları	94
BÖLÜM 9		
SONUÇ VE ÖNERİLER		103
KAYNAKLAR		107
ÖZGEÇMİŞ		114

SİMGE LİSTESİ

$^{\circ}\text{C}$	Santigrat
a_L	Adsorpsiyon enerjisine bağı olan sabit
$b_{(aL)}$	Langmuir sabiti
C_0	Maddenin çözeltideki başlangıç derişimi
C_e	Adsorpsiyon sonrası çözeltide kalan maddenin konsantrasyonu
E	Aktivasyon enerjisi
K_F	Freundlich izoterminin adsorpsiyon kapasitesi
K_L	Langmuir izoterminin adsorpsiyon kapasitesi
n	Adsorpsiyon yoğunluğu
pH	Hidrojen gücü
ppm	Milyonda bir
q_e	Birim adsorban üzerine adsorplanan madde miktarı
Q_{max}	Adsorbanın maksimum adsorplama kapasitesi
R_L	Dağılma sabiti
rpm	Dakikadaki devir sayısı

KISALTMA LİSTESİ

µg	Mikrogram
ASTM	Amerikan Malzeme Tecrübeleri Kurumu
BOİ	Biyolojik oksijen istemi
cm	santimetre
DSİ	Devlet su işleri
g	Gram
GAC	Granül aktif karbon
ICP-OES	İndüktif eşleşmiş plazma emisyon spektrometresi
kcal	Kilokalori
kg	Kilogram
KOI	Kimyasal oksijen istemi
L	Litre
m	Metre
mm	Mikrometre
mA	Mikroamper
MAK	Müsaade edilen azami konsantrasyon
mg	Miligram
mL	Mililitre
MÖ	Milattan önce
mPa	Megapaskal
MW	Megawatt
PAC	Parçacık aktif karbon
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TEK	Türkiye Elektrik Anonim Şirketi
TG-DTA	Termogravimetrik analiz-Diferansiyel termal analiz
TS	Türk standartları
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
US	United Kingdom
UV	Ultraviyole
vb	ve benzeri
vd	ve diğerleri

vs	ve saire
WHO	Dünya sağlık örgütü
XRD	X ışınları difraktometresi
XRF	X ışınları floresans spektrometresi
yy	Yüzyıl

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Su kirliliği nedenleri	12
Şekil 3.1 Çinko metali	20
Şekil 3.2 65 kg bir insan için öngörülen doğal kaynaklardan alınması gereken çinkonun dağılımı	21
Şekil 3.3 Saf kadmiyum.....	22
Şekil 3.4 Şematik olarak ağır metallerin doğaya yayılımları	25
Şekil 4.1 BET izotermi	34
Şekil 5.1 Baca gazı arıtma ünitesi bulunan bir termik santrale ait akım şeması	44
Şekil 5.2 Uçucu külün oluşum safhaları	44
Şekil 5.3 Uçucu küllerin görünüşü	48
Şekil 7.1 XRD cihazı.....	65
Şekil 7.2 XRF cihazı	65
Şekil 7.3 ICP-OES cihazı.....	66
Şekil 7.4 SEM cihazı	67
Şekil 7.5 TG/DTA cihazı.....	67
Şekil 7.6 Etüv	68
Şekil 7.7 Yüksek sıcaklık fırını	68
Şekil 7.8 Hassas terazi	69
Şekil 7.9 Peletleme cihazı	70
Şekil 7.10 Termik santrallerinden alınan uçucu kül örnekleri	71
Şekil 7.11 Diatomit	71
Şekil 7.12 Melas çözeltisi.....	72
Şekil 7.13 Pirinç kabuğu.....	72
Şekil 7.14 XRF analizi için basılan peletler	73
Şekil 7.15 Pişmiş peletler	74
Şekil 7.16 Adsorpsiyon deneyleri	75
Şekil 8.1 Seyitömer termik santrali uçucu küle ait XRD paterni.....	77
Şekil 8.2 Seyitömer Termik Santrali'nden alınan uçucu kül numunelerinin XRF analizi sonucunda elde edilen majör ve minör komponentlerinin yüzdeleri	79
Şekil 8.3 Seyitömer termik santrali uçucu külü SEM görüntüsü	79
Şekil 8.4 Diatomitin XRD paterni	81
Şekil 8.5 Diatomitin SEM görüntüsü.....	82
Şekil 8.6 Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn konsantrasyonu	87

Şekil 8.7	Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn konsantrasyonu	88
Şekil 8.8	Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn konsantrasyonu	89
Şekil 8.9	Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn konsantrasyonu	91
Şekil 8.10	Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn konsantrasyonu	92
Şekil 8.11	Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn konsantrasyonu	93
Şekil 8.12	Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn konsantrasyonu	94
Şekil 8.13	Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Cd konsantrasyonu	95
Şekil 8.14	Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Cd konsantrasyonu	96
Şekil 8.15	Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn konsantrasyonu	97

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 4.1	Kimyasal ve fiziksel adsorpsiyonun karşılaştırılması.....29
Çizelge 4.2	RL (dağılma) değerleri ve izoterm tipleri33
Çizelge 5.1	Türkiye’de kömürle çalışan termik santralleri40
Çizelge 5.2	Düşük kireçli F sınıfı uçucu küllerile yüksek kireçli C sınıfı uçucu küllerinin içerdikleri camı ve kristal yapılar.....52
Çizelge 5.3	Uçucu küllerin ASTM C-618 ve TS 639 standartlarına göre sınır değerleri53
Çizelge 5.4	Türkiye’deki bazı uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları.....54
Çizelge 6.1	Melâsın kimyasal kompozisyonu63
Çizelge 8.1	Seyitömer termik santraline ait kristal faz yapıları.....77
Çizelge 8.2	Seyitömer termik santrali uçucu külü numunelerinin majör ve minör komponent yüzdeleri.....78
Çizelge 8.3	Diatomitin kristal yapısı.....80
Çizelge 8.4	Diatomit XRF sonuçları.....81
Çizelge 8.5	Çatalağzı uçucu küller peletleme sonuçları.....83
Çizelge 8.6	Tunçbilek uçucu küller peletleme sonuçları.....84
Çizelge 8.7	Orhaneli uçucu küller peletleme sonuçları.....85
Çizelge 8.8	Seyitömer uçucu küller peletleme sonuçları.....86
Çizelge 8.9	Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn konsantrasyonunun süreye bağlı değişimi.....87
Çizelge 8.10	Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn konsantrasyonu.....88
Çizelge 8.11	Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn konsantrasyonu.....89
Çizelge 8.12	Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn konsantrasyonu.....90
Çizelge 8.13	Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn konsantrasyonu.....91
Çizelge 8.14	Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn konsantrasyonu.....92
Çizelge 8.15	Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn konsantrasyonu.....93

Çizelge 8.16	Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Cd konsantrasyonunun süreye bağlı değişimi	95
Çizelge 8.17	Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Cd konsantrasyonunun süreye bağlı değişimi	96
Çizelge 8.18	Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Cd konsantrasyonu	97
Çizelge 8.19	Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn ve Cd konsantrasyonu	99
Çizelge 8.20	Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn ve Cd konsantrasyonu (0,5 g diatomit)	100
Çizelge 8.21	Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn ve Cd konsantrasyonu (1 g diatomit)	101

FARKLI BÖLGELERDEN ALINAN UÇUCU KÜLLERİN AĞIR METAL İYONLARINI ADSORBLAMA ÖZELLİKLERİNİN FARKLI BAĞLAYICILAR KULLANILARAK GELİŞTİRİLMESİ

Ekin ÇINAR

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Nurcan TUĞRUL

Su, yaşamının ve doğanın vazgeçilmez bir parçasıdır. Suyu olan ihtiyacımız, endüstrileşme ve hızlı nüfus artışıyla daha da artmaktadır. Yeryüzünün $\frac{3}{4}$ 'ü suyla kaplı olmasına rağmen, kullanılabilir veya içilebilir su belirli özellikte ve kalitede olmalıdır. Suda ve çevresinde ağır metallerin bulunması canlı hayatını önemli ölçüde tehdit eder. Ağır metallerin sulardan giderilmesi ekolojik sistemin korunması açısından önem taşımaktadır.

Bu amaçla, adsorpsiyon atıksuların arıtımı için etkili bir yöntemdir. Adsorpsiyon sürecinin ekonomisi adsorban maliyetine bağlıdır. Gerek adsorbanın üretimi gerekse işletme maliyetinin yüksek oluşu alternatif adsorban arayışını gündeme getirmiştir.

Bu çalışmada; aynı anda iki atığın değerlendirilmesi amacıyla başka bir endüstriyel atığın atık suda değerlendirilmesi fikriyle hareket edilmiş ve endüstriyel atıklar adsorplama özellikleri açısından inceleme altına alınmıştır.

Bu çalışmanın amacı; atık sularda bulunabilecek ağır metal iyonlarının çinko (Zn) ve kadmiyum (Cd) adsorpsiyonu için düşük maliyetli adsorban malzemesi olarak Türkiye'nin farklı termik santrallerinden (Çatalağzı, Orhaneli, Seyitömer, Tunçbilek) alınan uçucu küllerin, daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak, bağlayıcı (diatomit

ve/veya pirinç kabuğu) katkısıyla peletlendikten sonra, kullanım imkânının araştırılmasıdır.

Termik santrallerden alınan uçucu küllerden en iyi sonucu veren Seyitömer uçucu külünün karakterizasyonu yapılmıştır. Bu bölgelerden alınmış olan uçucu küllerin karakterizasyon deneyleri tamamlandıktan sonra adsorban malzemenin, yani uçucu küllerin yüzey alanını ve gözenekliliğini, dolayısıyla adsorbansını arttırmak amacıyla, uçucu küller bağlayıcı (diatomit, melas ve/veya pirinç kabuğu) ilave edilerek peletlenmiştir. Daha sonra hazırlanan bu peletler, dayanımlarının arttırılması amacıyla pişirilmiştir. Son aşamada adsorbans kapasitesini arttırmak amacıyla çeşitli katkı maddeleri (endüstriyel atıklar) ilave edilerek peletlenmiş uçucu küllerin adsorpsiyon kapasiteleri belirlenerek ve bugüne kadar kullanılmış diğer adsorban malzemelerle adsorpsiyon kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Peletler adsorpsiyon deneylerinde kullanılarak deney boyunca belirli sürelerde atık sulardan alınan numunelerin elementel analizleri ICP-OES cihazında gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak, pirinç kabuğu katkısıyla oluşturulan peletler olumlu sonuçlanmamış, pirinç kabukları yüksek sıcaklığa dayanamamış, erimişlerdir. Pelet pişirme sırasında uygulanan sıcaklık denemelerinde 950°C ve 1100°C sıcaklıkları pelet oluşumu açısından olumlu sonuçlanmamıştır. Yapılan sıcaklık denemeleri sonucunda optimum sıcaklık 1200°C bulunmuştur. Bundan sonraki çalışmalar peletlerin tutması açısından olumlu sonuçlanmıştır.

Diatomit ve melas oranı değiştirilerek farklı bölgelerden alınan uçucu küllerin kullanımı ile atık sulardan Zn ve Cd metalinin adsorplanabildiği gözlemlenmiştir. En optimum sonucu Seyitömer uçucu külü vermiştir. Yapılan 1. çalışmada Seyitömer numunelerinden 10 gr kadar alınıp, 0, 0,1 0,5 ve 1 g diatomit ve 0,25, 0,50, 0,75 ml oranlarında melastan oluşan karışımdan üretilen peletlerin, Zn adsorpsiyon oranının oldukça düşük (maksimum %28) olduğu görülmüştür. 2. çalışmada ise Seyitömer termik santrali uçucu külünden 10 g alınarak, 0, 0,1 0,5 ve 1 g diatomit ve farklı oranlarda (0,25; 0,50 ve 0,75 ml) melas kullanılarak üretilen peletlerin Cd metalini adsorpladığı oran %52 olduğu görülmüş ve ICP analiz sonuçlarına göre adsorplama işleminin, 1. çalışmaya göre daha başarılı olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Su ve çevre kirliliği, adsorpsiyon, ağır metaller, uçucu kül peletleme, diatomit, melas.

ABSTRACT

FLY ASH FROM DIFFERENT AREAS OF THE ADSORBİNG HEAVY METAL İONS BINDING PROPERTIES USING DIFFERENT DEVELOPMENT

Ekin ÇINAR

Department of Chemical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assisit. Prof. Dr. Nurcan TUĞRUL

Water is an important part of life and nature. Water requirement increases with population growth and industrialization. Earth has $\frac{3}{4}$ covered with water, but water must have a quality to use from people. Heavy metals threat the water and around of natural life. Removal of heavy metals from water is important for protection of ecological systems.

For this purpose, adsorption is an effective method for wastewater treatment. The economy of the adsorption, its depends on adsorbent costs. High cost of production and the operation, we must search for alternative adsorbents.

In this study; evaluate two other waste in the waste water of industrial waste and respect to the adsorptive properties have been studied.

The purpose of this study; For heavy metals in waste water, adsorption like as zinc and cadmium we study for the low cost adsorbent. Diffrent from the other studies, fly ash (Çatalağzı, Orhaneli, Seyitömer, Tunçbilek) binding (diatomite and / or rice husk) with contributions after pelletizing, to investigate the possibility of use.

The fly ash from thermal power plants providing the best results from the characterization of fly ash is made Seyitömer. From these regions received fly ash. After completion adsorbent material , i.e., fly ash, the surface area and porosity , so absorbance to increase , the fly ash and binder (diatomite , molasses and / or rice

hulls) was added and was pelletized . Then, the pellets prepared, were baked in order to increase strength. The final stage of absorbance capacity we added various additives and pelleted. After that we compared another adsorbant and adsorption capacity. Pellets which use in adsorption experiments, we take samples from waste water and its send to ICP-OES insturment.

As a result, rice husk pellets have a negative result, rice husks could not stand high temperatures, are melted. The temperature applied during baking trials pellets 950°C and 1100°C experiments show negative result. But, 1200°C high temperature optimum was found. Further studies have been favorable in terms of keeping the pellets.

Changes ratio of diatomite and molassesand and uses fly ashes from different regions, we see that Zn and Cd adsorption from waste water. The optimum result of fly ashes we take Seyitömer. The first study, Seyitömer study of samples taken up 10 g, 0, 0.1, 0.5 and 1 g of diatomite and 0.25, 0.50, 0.75 mL rates of the pellets of molasses and minor amounts of Zn adsorbed showed. The second study fly ash Seyitömer use 10 g and 0, 0.1, 0.5 and 1 g diatomite and different ratios (0.25, 0.50 and 0.75 mL) using molasses in the study of Cd solution for fly ash Seyitömer adsorption and ICP analysis it was found that up to 52% according to the results of the adsorption process. Finally; the second study more succesful than the first study.

Keywords: Water and environmental pollution, adsorption, heavy metals, fly ash pelletizing, diatomite, molasses

1.1 Literatür Özeti

Su canlıların yaşaması için çok önemli bir yere sahiptir. En küçük canlı organizmadan en büyük canlı varlığa kadar, bütün biyolojik yaşamı ayakta tutan ve bütün canlı faaliyetlerinin devamını sağlayan sudur. Dünyamızın %70'ini kaplayan su, bedenimizin de 2/3'lük bir kısmını oluşturmaktadır. Su canlıların yaşamını sürdürebilmesi için ihtiyaç duydukları temel öğelerden biridir. Yaşam için olmazsa olmazdır. Bu nedenle suyun, canlıların yaşam ortamında temiz ve kaliteli olması son derece önem taşımaktadır. Günümüzde teknolojinin gelişmesi, nüfus artışı, sanayi gibi etkenlerden dolayı su kaynakları ve yeraltı suları aşırı kirlenme tehditiyle karşı karşıyadır. Havada, suda ve toprakta sürekli bir çevrim halinde bulunan ve canlılara toksik etkileri olan metaller, su kirleticileri arasında önemli bir yer tutmaktadırlar. Yeryüzündeki su kaynaklarının yaklaşık sadece %0,3'ü kullanılabilir ve içilebilir özelliktedir. Geri kalan kısmı ise su kirliliği sebebiyle kullanılmaz durumdadır. Evsel ve endüstriyel atıkların doğal ortama arıtmaksızın çevreye salınması sonucu oluşan kirliliği önlemek, tarımda verimliliği arttırmak ve su kirliliğini azaltmak amacıyla doğal ve yapay maddeler arıtma ürünleri olarak kullanılmaktadır (Doğan [1]). Ağır metal içeren endüstriyel atık suların yüksek zehirliliği nedeniyle boşaltım sınır değerleri oldukça düşüktür ve çevreye verilmeden önce arıtılması gerekmektedir. Ağır metal salınımı yapan kuruluşlar arasında tekstil endüstrisi, boya ve baskı endüstrisi, maden endüstrisi, elektro kaplama ve nükleer santraller bulunmaktadır (Akan [2]). Bu sanayi tesislerinin atık sularını kontrol etmede çok titiz davranmaları ve zaman zaman mevcut arıtma yöntemleri dışında alternatif arıtma yöntemleri kullanmaları gerekmektedir.

Bu sanayi kuruluşlarından elektrik üretimi amacıyla kurulan termik santraller enerji ihtiyacını karşılarken bir yandan da enerji üretmek amacıyla kullanılan yakıtların yanması sonucu bir takım ciddi atıklar oluşmakta ve bu atıklar da çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Ülkemizin yer altı kaynaklarından linyit kömürü açısından zengin olması termik santralleri enerji üretimi için düşük kaliteli linyit kömürüne yöneltmekte, bu kömürün yakılması sonucu baca gazları ile sürüklenerek elektro filtreler yardımı ile tutulup atmosfere çıkışı önlenen mikron boyutlu kül taneleri oluşmaktadır. Termik santral atığı olan, uçabilen çok ince parçacıklı silis ve alüminyum silisli kül tanelerine uçucu kül adı verilmiştir. Dolayısıyla termik santrallerde en büyük çevresel sorun santral ve çevresinde oluşan yapay uçucu küldür. Dünya’da ortaya çıkan uçucu kül miktarı yılda 600 milyon ton civarındadır. Dünyada üretilen toplam uçucu külün %25’den daha azı değerlendirilmektedir. Ülkemizde son yıllarda artan enerji ihtiyacı termik santrallerin yaygınlaşmasını kaçınılmaz hale getirmiştir. Türkiye’de faaliyet gösteren termik santrallerde yaklaşık olarak yılda 13 milyon ton uçucu kül elde edilmektedir. Bu miktarın önümüzdeki yıllarda enerji tüketimine bağlı olarak daha da artacağı düşünülmektedir. Ülkemizde 2020 yılına kadar yılda 50 milyon ton atık külün ortaya çıkması beklenmektedir. Türkiye’deki yakıt olarak linyit ve taş kömürü kullanan termik santraller: Afşin Elbistan, Çan 18 Mart, Çatalağzı, Kangal, Orhaneli, Seyitömer, Tunçbilek, Soma, Yatağan ve Çayırhan Termik Santralidir. Termik santrallerinden çıkan atıkların inşaat sektöründe, özellikle beton ve çimento üretiminde değerlendirilmesi çevresel, teknik ve ekonomik yönden büyük faydalar sağlamaktadır. Ancak ortaya çıkacak uçucu kül hacmi çok büyük olduğundan, ilave kullanım alanlarının uygulamaya geçirilmesi son derece önemlidir. Uçucu küllerin adsorpsiyon özellikleri iyileştirilerek farklı bölgelerden çıkan uçucu küllerin ağır metallerin adsorbansı üzerindeki etkileri belirlenebilir. Uçucu küllerin birikmesi ile oluşan çevre sorunlarının çözümünün ancak bu küllerin değişik kullanım alanlarında değerlendirilip ülke ekonomisine geri döndürülmesi ile mümkün olacağı öngörülmektedir.

Uçucu küllerin tane boyutu, kullanılan kömürün cinsine ve öğütme derecesine bağlı olarak değişmektedir. Taşkömürü uçucu küllerinin tane boyutu, linyit kömürü uçucu küllerinin tane boyutundan daha küçüktür. Tane boyutuna etki eden ikinci faktör ise, toz toplama sistemi tipidir. Elektro filtreler çok ince uçucu külleri tutabildiği için,

burada tutulan küllerin tane boyutu, siklonlarda tutulanlardan daha küçüktür (Koç [3]; Türker vd. [4]).

Sulardan ağır metal iyonlarının giderilmesindeki en etkin ve düşük maliyetli yöntem adsorpsiyondur (Özdemir vd. [5]). Adsorpsiyon uygulama kolaylığı ve ekonomikliğı açısından dikkat çekmektedir (Baran vd. [6]; Aksu vd. [7]). Genellikle atık suda bulunan ağır metallerin adsorplanmasında kullanılan adsorbanlar killer, aktif karbon, jeller, alümina, silika, zeolitler ve reçinelerdir. Bunlar arasında en iyi adsorplama özelliğine sahip olan aktif karbondur. Yüksek bir maliyeti olduğundan sıkça tercih edilmemektedir.

Son yıllarda atık sulardan ağır metallerin uzaklaştırılması için araştırılan adsorbanlar arasında uçucu kül ilk sıradadır. Uçucu kül birim hacim başına büyük bir özgül yüzey alanına ve çok geniş bir tane dağılımına sahiptir. Uçucu kül gerek içerdiği karbon yüzdesi gerekse içinde barındırdığı tanecikler arası boşluk hacmi bakımından kaliteli bir adsorban olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle de ekonomik olması açısından adsorpsiyon işlemleri ile ağır metallerin gideriminde ticari kullanımı yaygın ve pahalı olan aktif karbon gibi adsorban maddeler yerine tercih edilebilirler.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada; aynı anda iki atığın değerlendirilmesi amacıyla başka bir endüstriyel atığın atık suda değerlendirilmesi fikriyle hareket edilmiş ve endüstriyel atıklar adsorplama özellikleri açısından incelenmiştir.

Bu çalışmanın amacı; atık sularda bulunabilecek ağır metal iyonlarının; çinko (Zn) ve kadmiyum (Cd); adsorpsiyonu için düşük maliyetli adsorban malzemesi olarak Türkiye'nin farklı termik santrallerinden (Çatalağzı, Orhaneli, Seyitömer, Tunçbilek) alınan uçucu küllerin, daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak, bağlayıcı (diatomit, melas ve/veya pirinç kabuğu) katkısıyla peletlendikten sonra, kullanım imkanının araştırılmasıdır. Termik santrallerden alınan uçucu küllerden en iyi sonucu veren Seyitömer uçucu külünün karakterizasyonu yapılmıştır. Farklı bölgelerden alınmış olan tüm bu uçucu küllerin karakterizasyon deneyleri tamamlandıktan sonra adsorban malzemenin, yani uçucu küllerin yüzey alanını ve gözenekliliğini, dolayısıyla

adsorbansını arttırmak amacıyla, uçucu küller bağlayıcı (diatomit, melas ve/veya piring kabuğu) ilave edilerek peletlenmiştir. Daha sonra hazırlanan bu peletler, dayanımlarının arttırılması amacıyla pişirilmiştir. Son aşamada adsorbans kapasitesini arttırmak amacıyla çeşitli katkı maddeleri (endüstriyel atıklar) ilave edilerek peletlenmiş uçucu küllerin adsorpsiyon kapasiteleri belirlenerek ve bugüne kadar kullanılmış diğer adsorban malzemelerle adsorpsiyon kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Atık sulardan Zn ve Cd metalinin adsorplanmasında kullanılabilirliğinin incelenmiştir. Peletler adsorpsiyon deneylerinde kullanılarak deney boyunca belirli sürelerde atık sulardan alınan numunelerin elementel analizleri ICP-OES cihazında gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, diatomit ve melas oranı değiştirilerek farklı bölgelerden alınan uçucu küllerin kullanımı ile atık sulardan Zn ve Cd metallerinin adsorplanabildiği gözlemlenmiştir.

1.3 Hipotez

Geliştirilen adsorpsiyon yöntemiyle, uçucu kül değerlendirilerek hem çevre kirliliği, hem de sanayi kirliliği önlenmiş olacaktır. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda bu küllerin direk olarak adsorpsiyon özellikleri ölçülmüştür. Ancak bunların, bir bağlayıcı ile peletleyerek ve kalsinasyon sonucu yüzey alanlarını büyüterek çok farklı sonuçlar ortaya çıkmıştır. Bu tez çalışmasında bir tek uçucu kül değil, çok farklı yapıda, tane boyutunda ve yüzey alanında oluşan uçucu küller ve bağlayıcılar kullanılarak yeni bir adsorban malzeme elde edilmiştir. Bu çalışmada atık, atıkla değerlendirilmiş ve atık suların arıtımında kullanılmıştır.

BÖLÜM 2

ÇEVRE ve SU KİRLİLİĞİ

2.1 Çevre Tanımı ve Çevre Kirliliği

Çevre, en genel anlamıyla, bir canlının yaşam alanı olarak tanımlanmaktadır. Ekolojik anlamda, bireyle ilişkili canlı-cansız herşeyi kapsayan bir terimdir (Berkes ve Kışlalıoğlu [8]). Bu tanım doğal ve yapay çevreyi içermektedir. Doğal çevre, içinde doğa etkinliklerinin olduğu, insan etkisinin görülmediği veya önemli ölçüde değiştirilemeyen çevredir. İnsanlar toplumsal yaşamlarında doğal çevredeki kaynakları kullanarak, teknolojiyi geliştirerek, ekonomik etkinliklerde bulunarak doğal çevreden farklı olan yapay çevreyi oluştururlar. Yapay çevre içindeki yaşam koşullarını geliştirmeye çalışırken doğa ile sürekli bir etkileşim halindedirler (Torunoğlu [9]).

İnsan ve diğer canlıların bir arada, doğa ile uyum ve denge içerisinde varlık ve gelişmelerini sürdürebilmeleri için var olan şartların tamamı “ekosistem” olarak tanımlanabilir (Görmez [10]). Ekosistem içindeki doğal denge bozulduğunda, ekosistem dengesi de bozulur ve çevre sorunları ortaya çıkar. Son yıllarda gelişen teknolojinin ve sanayinin tabiata ve çevreye verdiği kirliliğin boyutu her geçen gün hızla artmasıyla ekosistem değişmektedir (Özey [11]).

2872 sayılı Çevre Kanunu’nun 2/c maddesine göre; “Çevre kirliliği terimi; insanların her türlü faaliyetleri sonucu, havada, suda toprakta meydana gelen olumsuz gelişmelerle ekolojik dengenin bozulması ve aynı faaliyetler sonucu ortaya çıkan koku, gürültü ve atıkların çevrede meydana getirdiği arzu edilmeyen sonuçları ifade eder”.

Türkiye ve dünya ülkeleri hızlanan bir endüstrileşme süreci içindedir. Bu süreçte endüstrileşmeye paralel olarak kirliliğin ortaya çıkması kaçınılmazdır. Endüstriyel kirlenme ise gerek kirlenme sorunlarının çok ve çeşitli olması, gerekse doğanın korunması ve bu amaçla alınacak önlemlerin zorluğu yönünden en karmaşık kirlenme şeklini oluşturmaktadır (Ülküseven [12]).

Bulunduğumuz teknoloji çağında, nüfusun hızla artması, tüketim alışkanlıklarının değişmesi sonucu çevre kirliliğinin yaşandığı bir dönemdir. Özellikle nüfus ve endüstri tesislerinin yoğun olduğu bölgelerde hava kirlenmesi, su kirlenmesi ve toprak kirlenmesi olarak adlandırılan ve genelde çevre kirlenmesi denilen bir durum ile karşı karşıya kalınmaktadır (Çokadar vd. [13]). Bu duruma sebep faktörler, endüstrileşme, kentleşme, taşıtlar, organik kimyasallar, deterjanlar, pestisitler, radyoaktif maddeler ve ağır metaller şeklinde sıralanabilmektedir (Kılıç [14]; Kahvecioğlu vd. [15]).

Yaşadığımız çevrenin ağır metallerle kirlenmesine sebep en önemli faktörlerden birisi fosil yakıtlardır. Bunlar, çevreye kurşun, asbest, çinko, kadmiyum ve diğer bazı ağır metallerin salınımına neden olmaktadır (Haktanır vd. [16]; Akman vd. [17]; Dülgeroğlu [18]).

Günümüzde çevre sorunları son yıllarda giderek artış göstermiş ve ülkeler bu konunun ciddiyetini giderek daha fazla anlamıştır. Bunun nedeni, çevre sorunlarının sınır tanımaksızın insan hayatını, her yerde tehdit eder olmasıdır. Son yıllarda dünyada yaşanan değişimler uluslararası alanda birçok ülkenin beraber hareket etmesini sağlamış, çevreyi tehdit eden durumlar uluslararası sorun olarak sayılmaktan çok, küresel sorunlar olarak kabul edilmiştir. Böylece küresel boyutta önlemler alınmaya başlanmış ve dünyamızı tehdit eden bu çevre sorunlarının çözülmesi için uluslararası işbirliği sağlanması bir gereklilik olmuştur (Ehrlich [19]). Küreselleşme süreci çevre sorunlarının artmasına etki etse de (Khor [20]), bu konuda devletler bir araya gelerek çözüm önerileri oluşturmuş, uluslararası kuralların koyulmasını sağlamış ve bu sürecin hızlanmasını desteklemiştir (Lerner ve Lerner [21]). Bu antlaşmaların bazıları ozon tabakasının korunması, okyanusların korunması, hava kirliliği ve iklim değişikliği gibi sorunları içermektedir (Sonnenfeld ve Mol [22]).

Çevresel kirliliklerini belirli başlıklar altında toplamak mümkündür:

- Nükleer kazalar
- Stratosferik ozon parçalanması, UV radyasyonunun artışı
- Genetik kaynaklar ve biyolojik çeşitlilikteki kayıplar
- Kaynaklar ve yeraltı suyunun kalitesi
- Tehlikeli atıkların taşınımı ve depolanması
- İklim değişikliği
- Orman tahribatı
- Atıkların imhası
- Nükleer atıklar
- Kentsel hava kalitesi
- Doğal kaynakların korunması ve hassas eko sistemler
- Havada bulunan dayanıklı toksik maddeler
- Sanayi kazaları
- Denizlerin doğrudan akıtma veya boşaltma ile kirlenmeleri
- Atıkların bertarafında toprak kontaminasyonu
- Tehdit altındaki türlerin korunması
- Troposferik ozon konsantrasyonundaki artış ve buna bağlı olaylar
- Toprak ve kaynak kontaminasyonu
- Atıklar
- Habitatların yaşam zincirlerindeki kopmalar ve yıkılmalar
- Nehirler vasıtasıyla denizlere kirlilik taşınımı
- Yeryüzü ve atmosfer arasındaki su alışverişindeki değişiklikler
- Büyük nehir ve göllerin yönetimi

- Çölleşme
- İçme suyu temini ve güçlükleri
- Turizmden kaynaklanan baskılar ve değer kayıpları
- Gıdalarda temizlik ve kalite güvenliği
- Kentsel atıklar
- Kompleks sistemlerin kirliliklere karşı dayanıklılıklarının gittikçe zayıflaması, hassasiyetinin artması
- Dayanıklı organik bileşiklerin canlılarda birikimi
- Enerji ihtiyacının giderilmesi ve üretim sırasında ortaya çıkması muhtemel riskler ve kirliliklere karşı güvenliğin sağlanması
- Toprak erozyonu
- Biyoteknoloji riskleri

2.2 Su Kirliliği

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde "Su kaynağının kimyasal, fiziksel, bakteriyolojik, radyoaktif ve ekolojik yönlerinin olumsuz yönde değişmesi şeklinde gözlenen ve doğrudan veya dolaylı yoldan biyolojik kaynaklarda, insan sağlığında, su kalitesinde ve suyun diğer amaçlarla kullanılmasında engelleyici bozulmalar yaratacak madde veya enerji atıklarının suya boşaltılması" şeklinde tanımlanmıştır [23].

Çevre kirliliği türlerinden birisi olan su kirliliği, akarsu ve nehirlerin çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkilerle, doğal niteliğinin ve görünümünün istenmeyen ölçüde bozulması olarak ifade edilmektedir. Bu kirlenme, evsel atıklar ile çeşitli endüstri işlemleri sonucu ortaya çıkan atıksulardan kaynaklanmaktadır. Ayrıca tekstil endüstrisinde kullanılan ağartma, boyama ve yıkama işlemleri sonrasında da büyük miktarlarda atıksu oluşmaktadır (Erdem [24]).

- a) Endüstrilerden atılan atıksular; deniz kenarında kurulan endüstriler doğrudan doğruya, içlerinde bulunanlar ise akarsular vasıtası ile atıksuları denize boşalttıkları zaman kirlenme sorunları yaratmaktadırlar. Bunun sonucunda

denizlerde veya diğer ortamlarda oksijen azalması, sudaki askıdaki katı parçacıkların artması, yağ, ağır metal toksik kimyasal maddelerin derişiminin artması, ortam sıcaklığının değışmesi gibi sorunlar meydana gelmektedir.

- b) Yerleşim merkezlerinden atılan evsel atıksular; evsel atıksuların arıtılmadan çevreye atılması mikrobik kirlenmeye, oksijen azalmasına, azot ve fosfor derişiminin artmasına ve fazla miktarda katı madde, ağır metal ve toksik madde eklenmesine neden olmaktadır.

Yaygın kirletici kaynaklar; tarım alanlarından, ormanlık alanlardan vb. yerlerden, yağmurlardan sonra akan sular genellikle bir kanalizasyona toplamadan, serbestçe yüzeyden veya yeraltından akarak kalıcı ortama erişmektedirler. Bu atıksuların toplanması ve kontrol edilmesi çok zordur. Bu tip sular iskân sahalarından, zirai alanlardan ve çiftliklerden, maden ocaklarından, ormanlık arazilerden vb. kaynaklanabilmektedir (Yavuz [25]).

2.2.1 Su kirliliğı türleri

Oluştuğı bileşenlere göre su kirliliğini genel olarak aşağıdaki gibi gruplandırabiliriz:

a) Mikrobiyolojik kirlenme; halk sağlığı açısından en önemli kirlenme olan bu sınıf ortama atılan ve atıkların içinde patojenik mikroorganizmaların bulunmasından kaynaklanmaktadır. Bu tip mikroorganizmalar, yok oluncaya kadar, ortam sağlığı tehlikeli sayılmaktadır. Patojenik mikroorganizmaların oluşturduğu mikrobiyolojik kirlenmenin belirlenmesi indikatör olarak adlandırılan belli mikroorganizmaların yardımıyla yapılmakta, bu iş için ise genel olarak koliform bakteri grubu kullanılmaktadır.

b) Organik kirlenme; bu tür kirlenme ortamdaki organik madde derişiminin artmasından kaynaklanmaktadır. Su içerisindeki organik bileşikler; bitki ve hayvan artıklarının doğal bozunmasından, endüstriyel, kentsel ve zirai kirlenmeden ve atık su arıtımı sırasındaki doğal organik maddelerle halojenürlerin tepkimelerinden ileri gelir. Bu kirleticilerin etkileri, Biyolojik Oksijen İstemi (BOİ), Kimyasal Oksijen İstemi (KOİ) gibi bazı parametreler ile tespit edilmektedir.

Atıksular ortama boşaltıldıkları zaman çökebilenler çöker; yüzebilenler su yüzeyine çıkar; askıda kalabilenler difüzyon ve dispersiyon etkisi ile seyrelir ve su içerisindeki bakterilerin faaliyeti ile biokimyasal ayrıma uğrarlar. Bu işlem sırasında bakteriler, suyun içinde bulunan çözünmüş oksijeni tüketirler. Suyu eklenen organik madde az olduğu zaman, oksijen kullanımı da az olur ve havalandırma yoluyla oksijen atmosferden kolaylıkla geri kazanılır. Ancak, ortama atılan organik kirleticilerin çok fazla olduğu durumlarda aerobik bakteriler ayrışma sırasında suyun içindeki tüm oksijeni tüketebilir ve alıcı ortamda anaerobik koşullar hâkim olur, bu şartlar altında biyolojik ayrışma anaerobik bakteriler tarafından sürdürülür. Anaerobik ayrışma sonucunda organik maddeden karbondioksit, metan, hidrojen sülfür gibi bileşikler oluşur. Böylece alıcı ortama atılan organik kirleticilerin fazla olması, sadece ortamın ekolojik dengesini bozmakla kalmayıp, hoş olmayan kokulara (Haliç örneği), ayrıca, oksijen değerinin 4 mg/L'nin altına düşmesi de birçok balık türünün yok olmasına neden olur.

c) İnorganik kirlenme; suya eklenen birçok madde, inorganik kirlenmeye neden olmaktadır. Bunların arasında demir, mangan, klorür, ağır metaller, azot, fosfor ve diğer birçok maddenin çevreye etkisi farklı olup, doğanın bu kirleticileri zararsız hale getirme yolu ise, çökelme ve seyrelmedir.

d) Isıl kirlenme; alıcı ortamlardaki doğal sıcaklığı değiştirerek doğal dengeyi bozan kirlenmedir. Alıcı ortamın sıcaklığını değiştirebilecek ısı kaynaklarının var oluşu ekolojik dengeyi ve su kalitesini önemli ölçüde etkiler (Yavuz [25]).

2.2.2 Türkiye'de su kirliliği ve sebepleri

Türkiye'de su kirliliğinin en önemli sebebi, evsel atıkların yer altı suyuna taşınmasıdır. Büyük kentlerde bile yetersiz kalan altyapı tesisleri, küçük yerleşim yerlerinde hemen hiç bulunmamakta, fosseptik çukurlardan sızan yer altı sularına ulaşabilmektedir. Bunun sonucu olarak su ile geçen bulaşıcı hastalıklara (bağırsak parazitleri) Türkiye'de sık rastlanmaktadır. Ayrıca, yer altı sularında deterjan bulunması da evsel atıkların yer altı sularına ulaştığının bir göstergesidir. Evsel katı atıkların (çöpler gibi) zeminde depolanması ya da arazi doldurulmasında kullanılması da bir diğer kirlilik sebebidir. Çöplerin uygun bertaraf yöntemleriyle arıtılarak uzaklaştırılmaması halinde, sızıntı

suları çok miktarda mikroorganizmanın yanı sıra organik madde, çeşitli tuzlar ve ağır metaller gibi kirleticileri içermekte, yer altı suyu kalitesinde önemli bozulmalara yol açmaktadır.

Su kirlenmesinin diğer nedenlerinden biri de endüstrilerdir. Endüstri kuruluşları, ulaşım imkânlarının iyi ve su kaynaklarının bol bulunduğu ovaları tercih etmekte, bazı durumlarda su kaynağının üzerine yerleşmektedirler. Bu durum, endüstriyel kirliliğe yol açmaktadır. Örneğin, yer altı suyunda siyanür çıkması, yer altı suyuna tuz karışması endüstriden kaynaklanan kirliliklerdir.

Türkiye, endüstrileşme yolunda, mesafeler kat etmekteyse de halen tarım ülkesi olma özelliğini de devam ettirmektedir. Özellikle son 20–25 yıldır ürün verimini artırma amacıyla tarım ilaçları (pestisit) ile doğal ve yapay gübre kullanımındaki artış, önemli bir kirlenme kaynağı oluşturmaktadır.

Deniz kıyısına yakın yerlerde karşılaşılan bir problem de deniz suyu girişimidir. Yer altı suyunun kullanılması sonucu meydana gelmektedir. Deniz kıyılarında, deniz suyu ile akarsu ve yer altı suları arasında bir tatlı su-tuzlu su karışma bölgesi bulunmaktadır. Denize yakın yerlerde su çekildiğinde, tatlı su basıncı düşmekte ve deniz suyu kara içinde ilerlemektedir. 167 sayılı kanun ile Devlet Su İşleri (DSİ)'nin izni olmadan yer altı suyu çekiminin yasaklanmış olmasına rağmen, yapılan hesaplar Türkiye'de büyük miktarlarda kaçak çekim olduğunu ortaya koymaktadır. Bu da yer altı suyu seviyesinin yıldan yıla düşmesi sonucunu doğurmaktadır.

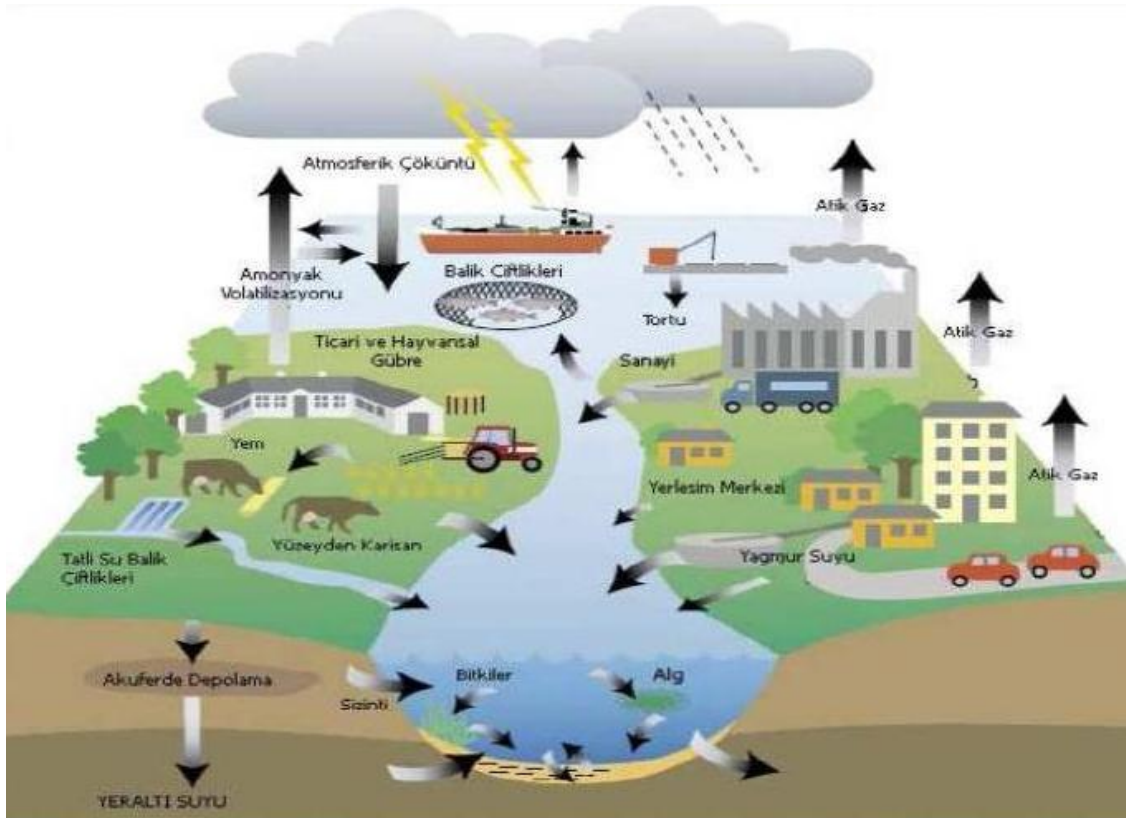
2.2.3 Dünya Sağlık Örgütü'ne göre su kirliliği sebepleri

Sularda kirletici etki gösterebilecek unsurlar Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) sınıflandırmaları göz önünde tutularak 9 kategoride incelenebilir:

- Organik kirleticiler
- Salgın hastalıklara neden olan kirleticiler (mikroorganizmalar)
- Bitkilerin anormal büyümesine neden olan kirleticiler
- Zirai mücadele ilaçları
- Yapay organik kirleticiler

- İnorganik kirleticiler
- Sediment kökenli kirleticiler
- Radyoaktif kirleticiler
- Fazla ısının meydana getirdiği kirlenmeler (Tan [26]).

Su kirliliği nedenleri Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Su kirliliği nedenleri [27]

2.3 Atık Sular ve Sınıflandırılması

Endüstride ve kentlerde kullanıldıktan sonra atılan suya atık su denir. Su kirliliği, su kaynağının kimyasal, fiziksel, bakteriyolojik, radyoaktif ve ekolojik özelliklerinin olumsuz yönde değişmesi şeklinde gözlenen ve doğrudan veya dolaylı yoldan biyolojik kaynaklarda, insan sağlığında, balıkçılıkta, su kalitesinde ve suyun diğer amaçlarla kullanılmasında engelleyici bozulmalar yaratacak madde veya enerji atıklarının boşaltılmasını ifade etmektedir (Ülküseven [12]).

Sular, fiziksel, kimyasal ve/veya biyolojik kirlilik gösterebilir. Suyun fiziksel özelliklerinin değişmesi (renk, koku, tat, saflık vs.) fiziksel kirliliğe neden olurken, ağır metaller ve inorganik atıklar atık sularda kimyasal kirlilik yapar. Kimyasal kirleticiler özelliklerine göre üç sınıfta toplanabilir: (Ülküseven [12])

- Bozulmadan kalanlar: klorür gibi inorganik bileşiklerde zamanla parçalanma görülmez. Derişimleri alıcı suda zamanla artarken yağmur suyu ile azalır.
- Değişebilenler: biyolojik olarak parçalanabilen organik kirleticilerdir. Mikroorganizmalar tarafından parçalanarak inorganik kararlı maddelere dönüşürler.
- Kalıcılar: zamanla biyolojik birikime yol açan cıva, arsenik, kadmiyum, krom, kurşun, bakır gibi metaller, tarım ilaçları gibi organik maddeler ve uzun yarı ömürlü radyoaktif maddelerdir.

2.4 Atık Suları Arıtma Prosesleri

Atık su bünyesinde kirliliğe neden olan yabancı maddelerin, çeşitli yöntemlerle atık sulardan giderimi mümkündür. Tane boyutuna bağlı olarak çöktürülebilir, kolloidal yapısından dolayı askıda tutulabilir ya da çözündürülerek uzaklaştırılabilir.

Atık su arıtımında maliyeti azaltmak, maksimum verimi elde etmek amacıyla kimyasal ve biyolojik işlemlerden önce atık su, fiziksel (mekanik) işlemlere tabi tutulur. Mekanik arıtma olarak isimlendirilen ve genellikle ızgara, kum tutucu ve ön çökeltme ünitelerinden meydana gelen ön işlemlerden sonra, biyolojik ve/veya kimyasal arıtma uygulanabilir. Biyolojik ya da kimyasal arıtmada oluşan yumaklar daha sonrasında mekanik işlemlerle uzaklaştırılır (Avcı [28]).

2.4.1 Fiziksel arıtma yöntemleri

Atık su içerisindeki kirletici maddelerin fiziksel işlemlerle atık sudan alınması amacı ile kullanılan proseslerdir. Uygulamaları; ızgaralar, elekler, kum tutucular, yüzdürme sistemleri, çöktürme havuzları, dengeleme havuzlarıdır (Filiz [29]).

Izgaralar; büyük hacimli maddelerin atık sudan ayrılması ve diğer arıtma ünitelerine gelecek yükü hafifletmek amacı ile kullanılan arıtım üniteleridir. Izgara yapıları çubuk

aralıklarına göre ince ve kaba ızgaralar; temizleme şekillerine göre ise, elle veya mekanik yolla temizlenen ızgaralar olarak sınıflandırılır. Iızgaralarda tutulan maddeler arıtma tesisi sahasında depolanmazlar. Evsel katı artıklar ile birlikte yakma, depolama, kompostlaştırma ve benzeri yöntemlerle bertaraf edilir (Gönüllü [30]).

Elekler; atık su içerisindeki katı maddelerin tutulması ve arıtma sistemine giriş kirlilik yüklerinin azaltılması amacı ile kullanılırlar. Eleklerden toplanan atıklar da ızgara atıkları için uygulanan metotlarla bertaraf edilirler. Bu üniteler tutulan maddelerin boyutlarına göre kaba ve ince elekler olarak sınıflandırılır.

Kum tutucular; atık su içerisinde bulunan kum, çakıl vb. ayrışmayan maddeleri sudan ayırarak makine ve teçhizatın aşınmasını önlemek, çöktürme havuzlarında kum ve çakıl birikiminin önüne geçmek amacı ile kullanılırlar. Kum tutucularda toplanan kum ve çakıl, büyük tesislerde basınçlı hava ile çalışan pompalar veya bantlı, kovalı ve helezonlu mekanizmalarla sürekli olarak, küçük tesislerde ise elek ile zaman zaman temizlenir.

Yüzdürme sistemleri; çökeltme işleminin tersidir ve sudan daha düşük özgül ağırlığa sahip taneciklerin yükselmesi esasına dayanır. Yüzdürme sistemleri, atık su içerisinde bulunan yağ, sabun, gres, ahşap parçaları gibi sudan hafif maddeleri tutmak için kullanılırlar.

Çöktürme havuzları; sudan daha fazla yoğunluğa sahip katı maddelerin durağan koşullarda yerçekimi etkisi ile çöktürülerek uzaklaştırılması amacı ile kullanılırlar. Çöktürme havuzları, ön çöktürme veya biyolojik ve kimyasal arıtım işlemi ardından son çöktürme amacı ile kullanılabilirler (Gönüllü [30]).

Dengeleme havuzları; atık suyun debi ve kirlilik yüklerinin dengelenmesi amacı ile kullanılırlar.

2.4.2 Kimyasal arıtma yöntemleri

Kimyasal arıtma sistemleri, kirliliğe neden olan suda çözünmüş veya askıda veya kolloidal halde bulunan maddelerin fiziksel durumunu değiştirerek çökelmelerini sağlamak üzere uygulanan arıtma prosesleridir. Kimyasal arıtma işleminde, uygun pH değerinde atık suya kimyasal maddeler (koagülant, polielektrolit vb.) ilave edilmesi

sonucu, çöktürölmek istenen maddeler çökeltilerek çamur halinde sudan ayrılır. Su arıtımında kimyasal çöktürme, sertlik gideriminde kullanılan bir işlemdir. Genelde hidroksit ve karbonat bileşiklerinin sudaki çözünürlüğü oldukça düşüktür. Dolayısıyla giderilmek istenen metal, hidroksit veya karbonat bileşiğı haline dönüştürölerek su ortamından uzaklaştırılabilir. Yumuşatma işleminde ise, sertliğe yol açan kalsiyum ve magnezyum gibi iki değerkli katyonlar da kimyasal çöktürme işleminde karbonat ve hidroksit bileşiklerine dönüştürölerek su ortamından uzaklaştırılırlar. Sertlik giderimi ve ağır metal gideriminde kireç kullanılır. Sertlik gideriminde kirecin yanı sıra soda veya kostik soda kullanılabilir. Uygulamaları; nötralizasyon, flokülasyon ve koagölasyon işlemleridir.

Nötralizasyon; suyun pH değerkinin ayarlanması işlemdir. Atık suların uygun pH değerkinin ayarlanması amacıyla asit veya baz ilavesi yapılır.

Koagölasyon; koagölant maddelerin uygun pH'da atık suya ilave edilmesi ile atık sudaki koloidal ve askıda katı maddelerle birleşerek flok oluşturmaya hazır hale gelmesi işlemdir. Genellikle hızlı karıştırma ünitelerinde yapılır. Koagölasyon işleminde sonrasında oluşan koloidal parçacıklar ve kimyasal reaksiyon sonucu oluşan tanecikler çok küçük yumaklar halinde birleşirler (Gönüllü [30]).

Flokölasyon (yumaklaştırma); atık suyun uygun hızda karıştırılması sonucunda koagölasyon işleminde oluşturulmuş küçük taneciklerin, birbiriyle birleşmesi ve kolay çökebilecek flokların oluşturulması işlemdir. Arıtma verimini arttırmak amacıyla yumaklaştırmaya yardımcı maddeler ilave edilir. Kil, kalsit, polielektrolit, aktif silika, çeşitli alkali ve asitler koagölant maddeler olarak kullanılır. Kimyasal yumaklaştırma sonucunda oluşan yumakların çöktürölmesi için çökeltme havuzları kullanılır.

2.4.3 Biyolojik arıtma yöntemleri

Biyolojik arıtma atık suyun içinde bulunan askıda veya çözönmüş organik maddelerin bakterilerce parçalanması ve çökebilen biyolojik floklarla sıvının içinde kalan veya gaz olarak atmosfere kaçan sabit inorganik bileşiklere dönüşmesidir. Biyolojik arıtmanın esası organik kirleticilerin doğada yok edilmeleri için yer alan biyoflokölasyon ve mineralizasyon proseslerinin kontrolü ile çevrede ve optimum şartlarda

tekrarlanmasıdır. Böylece doğadaki reaksiyonların hızlandırılarak daha kısa bir sürede, emniyetli ortamda gerçekleştirilmeleri sağlanmaktadır. Biyolojik arıtma yöntemleri aerobik ve anaerobik olmak üzere ikiye ayrılır. Arıtmanın oksijenli ortamda gerçekleştiği prosesler aerobik proseslerdir. Burada aktif çamur sistemleri, damlatmalı filtreler ve aerobik stabilizasyon havuzları gibi yöntemlerle arıtma sağlanır. Anaerobik prosesler ise havasız ortamda gerçekleştirilen arıtma prosesleridir.

2.4.4 İleri atık su arıtma yöntemleri

Klasik arıtma sistemleri çıkışında arıtılmış atık suda askıda kalan maddeler, çözünmüş maddeler ve organik maddeler vb. gibi kirleticilerin de arıtımı ilave arıtma sistemlerini gerektirmekte olup bu sistemlere ileri atık su arıtma sistemleri denmektedir.

Bu kirleticiler organik maddeler, askıda katı maddeler, inorganik maddeler (Ca, K, sülfat, fosfat, nitrat vb.) veya kompleks yapay organik bileşikler olabilmektedir. Söz konusu bileşiklerin çoğunun çevre üzerine etkileri bilinmektedir. Son yıllarda özellikle zehirli bileşiklerin çevreye etkileri ile klasik ve ileri arıtma sistemlerindeki arıtım mekanizmaları araştırılmaktadır.

Bu arıtmada; azot ve fosfor giderme, filtrasyon, dezenfeksiyon, iyon değiştirme, ultrafiltrasyon, ters osmoz, kimyasal çöktürme ve adsorpsiyon yöntemleri uygulanır.

Azot ve fosfor giderme; Azot ve fosfor mikrobiyolojik büyümede besin olarak çok önemli bir işleve sahiptir. Bu nedenle azot ve fosfor bileşiklerinin alıcı ortama verilmeden önce giderimi büyük önem taşır. Toplam azot, organik, amonyak, nitrit ve nitrat azotundan oluşur. Azot gidermede, atıksuyun içerdiği amonyum iyonları azot bakterileri yardımıyla önce nitrite, sonra nitrata dönüştürülür (nitrifikasyon), daha sonra azot gazı halinde sudan uzaklaştırılır (denitrifikasyon).

Fosfor gidermede ise, kimyasal ve biyolojik yöntemler beraber ya da ayrı ayrı kullanılır. Fosfor bileşiklerinin kimyasal olarak arıtımında alüminyum tuzları, demir tuzları ya da kireç kullanılabilir. Bu işlemlerde fosfor, yüksek pH değerlerinde fosfat tuzları halinde çöktürülür. Fosfor bileşiklerinin biyolojik olarak arıtılmasında ise mikroorganizmalar kullanılır.

Filtrasyon; su kaynağından gelen veya arıtma işlemleri sırasında oluşan taneleri, mikroorganizmalar, kolloid ve çöken maddeler, bitki çürümesiyle oluşan parçacıklar, suyun yumuşatılmasında kullanılan kalsiyum karbonat ve magnezyum hidroksit çökeltileri gibi askıda katı parçacıkların gideriminde yaygın olarak kullanılan temel işlemlerden birisidir. Yaygın olarak kullanılan granül filtre malzemeleri; kum, silis ve antrasit kömürüdür.

Dezenfeksiyon; dezenfeksiyonun su arıtımındaki tanımı, “suda bulunan organizmaların, bu suyun kullanımı sonrasında herhangi bir hastalığa neden olmayacakları düzeye kadar azaltılması”dır. Su arıtımında kullanılan başlıca dezenfektanlar; klor (gaz, sodyum ve kalsiyum hipoklorit), kloraminler, klordioksit ve ozondur. Dezenfeksiyon işlemi ile sudan giderilmesi istenen organizmalar; bakteri, spor, virüs, sist ve protozoa (larvalar, kurtçuklar, vb.) içerir.

İyon değiştirme; iyonların çözültiden katı bir yüzeye ya da katı bir yüzeyden çözeltiye transfer edildiği fiziksel ve kimyasal bir işlemdir. Bu işlem, temelde çözelti içerisindeki iyonların katı bir yüzeyde elektrostatik güçlerle tutulan benzer yüklü iyonlarla değiştirilmesi esasına dayanır. Su arıtımında yaygın olarak sertlik giderimi amacıyla kullanılır. İyon değiştirme yumuşatmanın yanı sıra, baryum, arsenik, krom, flor, nitrat, radyum ve uranyum gibi zehirli veya radyoaktif metallerin giderilmesinde de sıkça kullanılır.

Ters osmoz; suyun içindeki istenmeyen tüm mineralleri sudan ayıran ve saf su ve içme suyu teminine yönelik olarak kullanılan membran filtrasyon prosesin adıdır. Bu sistemler çapraz akışlı olarak çalışırlar.

Ultrafiltrasyon; metodu, çözülmüş ve kolloidal maddelerin uzaklaştırılmasında yarı geçirgen membranların kullanıldığı basınç sürüklemeli membran prosesleridir. Bu yöntemi ters osmoz sistemlerinden ayıran özellik daha düşük basınç sürüklemeli olmalarıdır.

Adsorpsiyon; Atık sularda bulunan, diğer arıtma yöntemleri ile arıtımı güç olan kimyasal maddelerin gözenekli katı madde yüzeyine kimyasal ve fiziksel bağlarla tutunma işlemine adsorpsiyon denir. İstenilen özellikte su elde etmek amacıyla adsorpsiyon işlemi ara kademelerde uygulanabildiği gibi, biyolojik ve kimyasal

arıtmadan sonra da uygulanabilir. Su ve atık su işlemlerinde kullanılan adsorpsiyon tipi sıvı–katı adsorpsiyonudur (Filiz [29]).

BÖLÜM 3

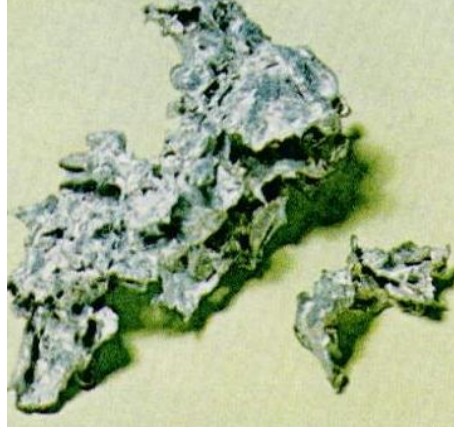
AĞIR METALLER

3.1 Ağır Metal Tanımı

Atom numarası 20'den yüksek olan metallere ağır metal denilmektedir. Bu grup 70 kadar elementi içermekte, fakat ekolojik öneme sahip 20 kadar ağır metal bulunmaktadır. Bunlar; arsenik (As), kadmiyum (Cd), gümüş (Ag), civa (Hg), mangan (Mn), demir (Fe), bakır (Cu), kobalt (Co), krom (Cr), kalay (Sn), kurşun (Pb), nikel (Ni), molibden (Mo), platin (Pt), toryum (Th), talyum (Tl), zirkonyum (Zr), volfram (W), vanadyum (V), uranyum (U) ve çinko (Zn)'dur. Bunlardan Cd, Ni, Cu, Pb, Zn, Hg, Co, As ve Cr doğal çevrede birikme eğilimi gösteren daha çok toksik eğilimli elementlerdir (Pala [31]).

3.1.1 Çinko

Çinko, sık altıgen düzende kristal yapıya sahip, mavimsi beyaz renkli bir metaldir. Yoğunluğu demirinkine yakındır. 420°C'da erir ve nispeten düşük bir sıcaklık olan 907°C'da kaynar. Oda sıcaklığında kırılmandır. 100-150°C sıcaklıklarda biçimlendirmeye elverişli hale gelir. Daha yüksek sıcaklıklarda kristal yapısındaki değişimler sebebiyle tekrar kırılmanlaşır. Şekil 3.1'de çinko metali gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Çinko metali [32]

Çinko kolaylıkla asitlerdeki hidrojenin yerini alır. Bu özelliğinden dolayı hidrojen gazı üretiminde yaygın biçimde kullanılır. Havadaki oksijenden etkilenecek şekilde yüzeyde ince bir oksit katı meydana getirir. Ancak bu katman gözeneksiz olduğundan derinlere işlemez ve metali korur [33].

Kompleks cevherlerden yapılan bakır bazlı alaşımların üretiminde ortaya çıkmasına rağmen, metalik çinkonun üretimi hakkında kesin bir bilgi mevcut değildir. M.Ö. 1000 yıllarında Çinlilerin ve 14. yüzyılda Hindistanlıların metalik çinko ürettikleri ileri sürülmektedir. İlk çinko üretimi destilasyonla yapılmış ve işletme 1743’ de Bristol’ de açılmıştır.

Miktar olarak en çok üretilen 3. renkli metal olan çinkonun yeryüzündeki ortalama konsantrasyonu 70 ppm’dir. Toplam rezerv 180×10^6 ton olarak tahmin edilmektedir [34, 36, 37].

Çinko kaplamalar, çelik yapılar için çok iyi korozyondan korunma sağlarlar ve bu özellik en önemli kullanım alanını oluşturur. Diğer taraftan düşük ergime sıcaklığına sahip olduğundan kompleks bileşenlerin basınçlı kalıp dökümünde ve pirinçte alaşım elementi olarak kullanılmaktadır [36,37]. Çinko beyazı veya Çin beyazı olarak bilinen çinko oksit, boya pigmenti olarak kullanılır. Çinko metali ve birçok bileşiği diğer ağır metallerle karşılaştırıldığında düşük zehirlilik etkisi gösterirler. Besin kaplarından çinkonun çözünmesiyle kirlenen besinin tüketilmesi veya mesleki koşullar altında çinko ya da çinko oksit tozunun solunumuyla zehirlenme ortaya çıkabilmektedir [36]. Uzun süre çinko oksit buharı soluyanlarda (Müsaade edilen azami konsantrasyon sınırı $5\text{mg}/\text{m}^3$) “Çinko-Ateşi” olarak adlandırılan rahatsızlıklar ortaya çıkar ve belirtileri

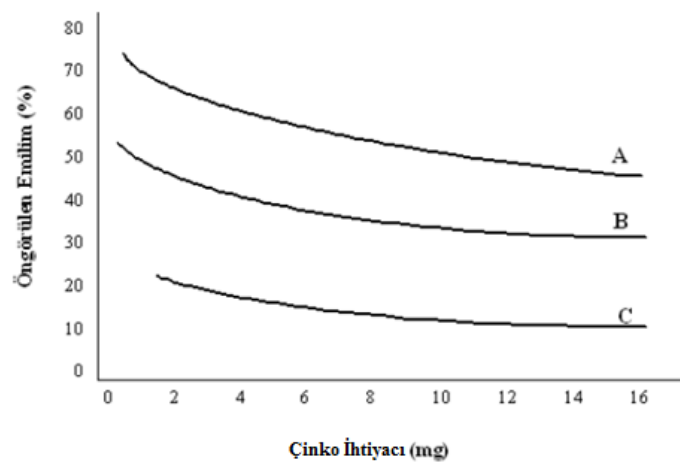
herhangi bir yan etki bırakmadan birkaç gün içinde kendiliğinden kaybolur. Akut zehirlenme belirtileri sindirimde sıkıntı, ishal, mide bulantısı ve karın ağrısı şeklinde ortaya çıkar. Aşırı dozda elementel çinko alındığında, uyuşukluk, kas fonksiyonlarında zayıflık ve yazmada zorluk çekme gibi belirtiler gözlenir [36].

Diğer taraftan, çinko insanlar ve tüm bitki formları ile hayvan yaşamları için önemli ve yaşamsal elementlerden biridir (günlük doz 10 – 20 mg). Gelişme, deri bütünlüğü ve fonksiyonu, yumurta olgunlaşması, bağışıklık gücü, yara iyileşmesi ve karbonhidrat, yağ, protein, nükleik asit sentezi gibi çeşitli metabolik prosesler için gereklidir [35,36].

Fizyolojik miktarlardaki Zn Cd, Hg, Pb ve Sn gibi diğer ağır metal iyonlarının zehirleyici etkilerini azaltmaktadır [36]. Çinko yetersizliği, gelişim bozuklukları, cinsiyet ve iskeletin gelişmemesi, kol ve bacak gibi uzuvlarda ve açık yerlerde deri iltihabı, ishal, kellik, iştah azalması ve davranışlarda değişikliklere yol açmaktadır [35].

Çinko kan harici dokularda ve vücut sıvılarında rastlanan en yaygın metal iyonudur. 70 kg ağırlığında bir insanın kanında 2,3 g çinko bulunmaktadır. Bu miktarın %64'ü kaslarda ve %28'i de kemiklerde bulunmaktadır. En yüksek çinko konsantrasyonları üretken organlarda, özellikle prostat bezlerinde (87 µg/g yaş ağırlık) görülmekteyken tüm vücuttaki ortalaması 33 µg/g yaş ağırlıktır [35, 36, 37].

Şekil 3.2'de 65 kg bir insan için öngörülen doğal kaynaklardan alınması gereken çinkonun dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 3.2 65 kg bir insan için öngörülen doğal kaynaklardan alınması gereken çinkonun dağılımı (%) A: yüksek oranda çinko içeren (et, balık vb. % 50-55), B: orta seviyede çinko içeren (süt, sebze vb. % 30-35), C: az oranda çinko içeren (pirinç, buğday, baklagiller vb. %15) [36]

3.1.2 Kadmiyum

Saf kadmiyum, atom numarası 48, atom ağırlığı 112,41 olan kimyasal elementtir. 1817’de, Hannover’li eczacı Stromeyer tarafından bulunmuş ve Hermann tarafından incelenmiştir. Saf kadmiyum, kalay görünüşünde çok parlak bir madendir, özgül ağırlığı 8,6’dır; 320°C ta ergir; 778°C ta portakal rengi buharlar yayarak kaynar. Şekil 3.3’te saf kadmiyum gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Saf kadmiyum [38]

Soğutulduğu zaman düzgün sekiz yüzlü billurlar halinde yoğunlaşır. Kolay işlenir, tel haline gelebilir; bir kâğıdın üzerine sürüldüğü zaman gri bir iz bırakır. Havadan az etkilenir, yüksek sıcaklıkta yanar ve belli başlı asitlerde çözünür. Tuz çözeltilerine çinko etki ettirilince çöker. Tabiatta sülfür halinde bulunur [39].

Saf kadmiyum, çinko üretimine eşlik eden metal olarak üretilmiştir. Günümüzde kadmiyum çevre kirliliğine sebep olan ağır metaller arasında yerini almıştır. İnsan yaşamını etkileyen önemli kadmiyum kaynakları; sigara dumanı, rafine edilmiş yiyecek maddeleri, su boruları, kahve, çay, kömür yakılması, kabuklu deniz ürünleri, tohum aşamasında kullanılan gübreler ve endüstriyel üretim aşamalarında oluşan baca gazlarıdır. Endüstriyel olarak kadmiyum zehirlenmesi kaynak yapımı esnasında kullanılan alaşım bileşimleri, elektrokimyasal kaplamalar, kadmiyum içeren boyalar ve kadmiyumlu piller nedeniyledir. Kadmiyum önemli miktarda gümüş kaynaklarda ve spreylere boyalarda da kullanılmaktadır [40].

Kadmiyum teratojenik ve karserojenik etkileri olan toksik bir metal olarak kabul edilir. Endüstriyel kirlenme sonucu açığa çıkan ve ortama karışan kadmiyum kalp hastalıkları ve kanser gibi toplum sağlığı açısından önemli rahatsızlıklara da sebep olur (Bebianno ve Machado [41]).

Saf kadmiyum ağır metaller içinde suda çözünme özelliği en yüksek olan elementtir. Bu nedenle doğada yayılım hızı yüksektir ve insan yaşamı için gerekli elementlerden değildir. Suda çözünabilir özelliğinden dolayı Cd^{+2} halinde bitki ve deniz canlıları tarafından biyolojik sistemlere alınır ve birikme özelliğine sahiptir. İnsan vücudundaki Cd seviyesi ilerleyen yaşla beraber artış gösterir ve genellikle 50' li yaşlarda maksimum seviyesine ulaştıktan sonra azalmaya başlar. Yeni doğmuş bebeklerde hiç kadmiyum bulunmaz ve kadmiyum, kurşun ve cıvanın aksine plasenta ya da kan yoluyla anne karnındaki bebeğe geçmemektedir. Normal olarak vücudumuzda 40 mg' a kadar kadmiyum bulunabilmektedir ve günlük olarak da 40 µg'a kadar kadmiyum vücuttan atılabilir. Bu seviyeler, kadmiyumun çoğunu topraktan yani yiyecekler yoluyla alması nedeniyle bölgelere göre değişiklik gösterebilmektedir. Kadmiyum içeriği 0,01 mg/m³ havanın 14 günden daha fazla solunması durumunda kronik akciğer rahatsızlıkları ve böbrek yetmezliği ortaya çıkar. Kısa süreli olarak 0,05 mg/kg kadmiyum alınımı mide rahatsızlıklarına neden olurken, uzun süreli (>14 gün) 0,005 mg/kg/gün dozu böbrek ve kemiklerde önemli problemlere neden olmaktadır [42].

Kadmiyumdan kaynaklanan akut zehirlenmede öncelikle halsizlik, baş ağrısı, ateş, terleme, kaslarda gerilme ve ağrıya beraber kusmayla 24 saat içinde ortaya çıkar ve 3. gün en şiddetli belirtileri göstererek 1 hafta içinde kaybolmaya başlar. Kronik kadmiyum zehirlenmesinde ortaya çıkan en önemli etki özellikle akciğer ve prostat kanseridir. Kadmiyum zehirlenmesine bağlı olarak kemik erimesi görülür. Diğer taraftan kansızlık, dişlerin dökülmesi ve koku duyumunun yitilmesi de önemli etkilerdir [42, 43]

3.2 Ağır Metal Kirliliği

Ağır metaller, su kaynaklarına, endüstriyel atıklar veya asit yağmurlarının toprağı ve bileşimde bulunan ağır metalleri çözmesi ve çözünen ağır metallerin ırmak, göl ve yeraltı sularına ulaşmasıyla geçerler. Sulara taşınan ağır metaller aşırı derecede

seyrelirler ve kısmen karbonat, sülfat, sülfür olarak katı bileşik oluşturarak su tabanına çöker ve bu bölgede zenginleşirler. Sediment tabakasının adsorpsiyon kapasitesi sınırlı olduğundan dolayı suların ağır metal konsantrasyonu sürekli olarak yükselir. Ülkemizde başta tuz ihtiyacımızı karşıladığımız tuz gölü olmak üzere kapalı göllerimizde yeterli çevresel önlem almadığımız ve su havzalarında kontrolsüz sanayileşmeye izin verdiğimizden dolayı ağır metal konsantrasyonu sürekli artmaktadır (Kahvecioğlu vd. [15])

Sanayi atık suları içerdikleri ağır metal iyonları ile günümüzde en önemli çevre sorunlarından birini oluşturmaktadır. Ağır metal kirliliği içeren atık sular, genellikle BOI değeri düşük ve asidik sulardır. Atık sularda ağır metal bulunması evsel nitelikli atık suların arıtma verimini etkilemekte ve oluşacak çamurun özellikle tarımsal amaçlı kullanımını imkânsız hale getirmektedir. Bu nedenle ağır metal içeren sanayi atık sularının kanalizasyon sistemine deşarjı büyük önem arz etmektedir (Muslu [44]).

Metaller alıcı ortamlarda çökelme, indirgenme, yükseltgenme veya kompleks oluşturma gibi kimyasal olaylarla değişikliğe uğrayabilirler. Farklı organik maddelerle etkileşen metal iyonları kompleks bileşikler meydana getirirler. Bu metal kompleksler de suda tortulaşarak çökerler (Benli [45]). Şekil 3.4’de ağır metallerin doğaya yayılımları gösterilmiştir.

katıldıklarından dolayı düzenli olarak besinler yoluyla alınmaları zorunludur. Örneğin bakır hayvanlarda ve insanlarda kırmızı kan hücrelerinin ve birçok oksidasyon ve redüksiyon prosesinin vazgeçilmez parçasıdır. Buna karşın yaşamsal olmayan ağır metaller çok düşük konsantrasyonda dahi psikolojik yapıyı etkileyerek sağlık problemlerine yol açabilmektedirler. Bu gruba en iyi örnek kükürtlü enzimlere bağlanan cıvadır (John vd. [46]).

Bir ağır metalin yaşamsal olup olmadığı dikkate alınan organizmaya da bağlıdır. Örneğin nikel bitkiler açısından toksik etki gösterirken, hayvanlarda iz elementi olarak bulunması gerekir. Bazı sistemlerde ağır metallerin etki mekanizması konsantrasyona bağlı olarak değişir. Ağır metaller konsantrasyon sınırını aştıkları zaman toksik olarak etki gösterirler. Ağır metaller canlı bünyelerde sadece konsantrasyonlarına bağlı olarak etki göstermezler, etki canlı türüne ve metal iyonunun yapısına bağlıdır (çözünürlük değeri, kimyasal yapısı, redoks ve kompleks oluşturma yeteneği, vücuda alınış şekli, çevrede bulunma sıklığı, pH değeri vb.). Bu nedenle özellikle düzenli olarak tüketildiğinden dolayı içme sularının ve yiyeceklerin içerebileceği maksimum konsantrasyon sınır değerleri sınırlandırılmıştır ve yasal kuruluşlar tarafından düzenli olarak kontrol edilmesi zorunludur.

Ağır metallerin insan metabolizmasında oluşturdukları etkileri şu şekilde sıralamak mümkündür (John vd. [46]):

- Kimyasal reaksiyonlara etki edenler
- Fizyolojik ve Taşınım sistemlerine etki edenler
- Kanserojen ve mutojen olarak yapı taşlarına etki edenler
- Alerjik etki gösterenler
- Spesifik etki edenler

4.1 Adsorpsiyon Tanımı ve Tarihçesi

Adsorpsiyon, çözelti ortamındaki atom, iyon veya moleküllerin bir adsorbanın yüzeyine aktarımına dayanan ve genellikle faz yüzeylerinde oluşan, bir ayırma işlemidir. Atom, iyon ya da moleküllerin bir katı yüzeyinde tutulmasına adsorpsiyon, tutunan taneciklerin yüzeyden ayrılmasına desorpsiyon, katıya adsorban, katı yüzeyinde tutunan maddeye ise adsorplanan adı verilir (Çiçek [47]).

Adsorpsiyon, atık arıtımında maliyet düşüklüğü ve çevre dostu olması nedeni ile tercih edilen ileri bir arıtım yöntemidir. Ama halen adsorpsiyonun, yeni bilgiler doğrultusunda, kullanım alanı ve şekli değişebilmektedir [48].

Çözeltilerde adsorpsiyon, ilk olarak Lowitz tarafından 1785'te incelenmiş ve kısa süre sonra, rafinerizasyon işleminde şekerden renk giderimi için uygulanmıştır. 19.yy'ın ikinci yarısından sonra, Amerika'da su arıtım tesislerinde aktifleştirilmemiş odun kömürü filtreler kullanılmıştır. I. Dünya savaşında, gaz maskelerinde kullanılmak üzere küçük miktarlarda granüler aktif karbon üretilmiştir. 1920'lerde toz aktif karbon (PAC) klorofenolle kirlenen su kaynaklarında tat ve koku kontrolü için kullanılmıştır. Su kaynaklarının arıtımında kullanılan ilk granül aktif karbon (GAC) birimleri 1929'da Almanya Hamm'da ve 1930'da Michigan Bay City'de inşa edilmiştir. PAC ilk kez evsel atıksu arıtımında; 1930 yılında New Milford da kullanılmış, sonraki birkaç yıl içerisinde öncelikle tat ve koku kontrolünde kullanımı yaygınlaşmıştır (Hawari ve Mulligan [49]).

4.2 Adsorpsiyon Türleri

Adsorpsiyonda, adsorbe eden faz adsorbant ya da adsorban ve adsorbe edilen madde de adsorbat olarak isimlendirilir. Çözünmüş parçacıklar ile adsorpsiyon yüzeyi arasındaki çekim kuvvetleri türüne bağlı olarak üç tür adsorpsiyon tanımlanmaktadır.

4.2.1 Fiziksel adsorpsiyon

Katı yüzey ile adsorplanan madde molekülleri arasındaki Van der Waals çekim kuvvetlerinin sonucunda oluşan bir adsorpsiyon tipidir. Adsorpsiyon çok tabakalı ve rejenerasyonu kolaydır. Bu tip adsorpsiyon genellikle düşük sıcaklıkta gözlenir ve düşük enerjili bir adsorpsiyonla karakterize edilir. Fiziksel adsorpsiyon işleminde verilen ısı, gaz yoğunlaşması işleminde verilen ısıнын miktarı kadardır. Fiziksel adsorpsiyonu, gaz katı sisteminde gaz basıncını, benzer şekilde sıvı-katı sisteminde de çözünenin derişimini değiştirerek etkilemek mümkündür (Tatlı [50]).

4.2.2 Kimyasal Adsorpsiyon

Adsorplanan madde ile katı yüzey arasındaki fonksiyonel grupların kimyasal etkileşimi ile oluşan adsorpsiyondur. Adsorpsiyon tersinmezdir ve tek tabakalıdır. Kimyasal adsorpsiyon işlemleri, yüksek enerjili adsorpsiyon işlemleridir. Çünkü çözünen, adsorban üzerindeki aktif merkezlerle kuvvetli bağlar oluşturmaktadır. Adsorban ve adsorplanan arasındaki bağ kimyasal tepkimelerde olduğu gibi sıcaklık artışıyla daha da kuvvetlenir. Bu tip adsorpsiyon, reaksiyon ısısına eşdeğer bir adsorpsion ısısına sahiptir. Bu değer 20 -100 kcal/mol civarında olup, sıcaklık arttıkça adsorpsiyon hızının da arttığı tespit edilmiştir. Kimyasal adsorpsiyon tek tabakalı olmaktadır (Filiz [29]).

4.2.3 İyonik Adsorpsiyon

Elektrostatik çekim kuvvetlerinin etkisi ile seçimli olarak belli iyonlar yüzeydeki yüklü bölgelere tutunmaktadır. İyonlar eş yüklü ise daha küçük olan tercihi olarak yüzeye tutulur (Tatlı [50]). Genellikle sıcaklığa bağlı olarak değişebilen adsorpsiyon olayında, yüksek sıcaklıklarda gerçekleşen adsorpsiyon düşük sıcaklıklardakinden farklı olmaktadır. Yüksek sıcaklık adsorpsiyonu aktive edilmiş kimyasal adsorpsiyondur. Düşük sıcaklık adsorpsiyonu ise fiziksel olan Van der Waals adsorpsiyonu bütün

hallerde meydana gelir (Babel [51]; Al-Ghouti [52]). Çizelge 4.1’de kimyasal ve fiziksel adsorpsiyon karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.1 Kimyasal ve fiziksel adsorpsiyonun karşılaştırılması (Etcı [53])

Parametre	Fiziksel Adsorpsiyon	Kimyasal Adsorpsiyon
Adsorbant	Bütün katılar	Bazı katılar
Adsorbat	Çözünmüş maddeler Kritik sıcaklık altında bütün gazlar	Çözünmüş maddeler Bazı kimyasal reaktif gazlar
Sıcaklık sınırı	Düşük sıcaklık	Yüksek sıcaklık
Adsorpsiyon ısısı	Düşük	Yüksek reaksiyon ısısına uygun
Hız (aktivasyon enerjisi)	Çok hızlı (düşük E)	Aktif olmayan, Düşük E Aktif olan, Yüksek E
Geri dönüşüm hızı (desorbsiyon)	Yüksekçe geri dönüşüm	Geri dönüşümsüz
Önem	Yüzey alanı ve gözenek boyutunun tayini için	Yüzey-reaksiyon kinetiklerinin ifadesi aktif merkez alanının tayini için

4.3 Adsorpsiyona Etki Eden Faktörler

Adsorpsiyona etki eden faktörlerin başlıcaları; yüzey alanı, adsorblayıcı maddenin yapısı ve parçacık boyutu, karıştırma hızı, adsorbanın çözünürlüğü ve molekül büyüklüğü, ortamın pH değeri ve sıcaklıktır.

Adsorplayıcı maddenin yüzey alanı: adsorpsiyon bir yüzey olayıdır. Bu nedenle maksimum adsorpsiyon miktarı özel yüzey alanı ile doğru orantılıdır. Spesifik yüzey alanı, toplam yüzey alanının adsorpsiyonda kullanılabilir kısmı olarak tanımlanır. Bu nedenle belirli ağırlıktaki katı adsorblayıcı madde sağlayacağı adsorpsiyon miktarı, katının daha küçük parçalara ayrılmış ve gözenek hali için daha büyük olmaktadır. Dolayısı ile adsorpsiyon miktarı, katı adsorblayıcı madde birim yüzey ağırlığı ve çok

gözenekli olması ile artış gösterir. Adsorblayıcı madde yüzey alanı genişledikçe adsorplanan miktarı da artmaktadır.

Adsorplayıcı madde parçacık boyutu: bir adsorban parçacığının büyüklüğü, adsorpsiyon hızını etkiler. Yani adsorpsiyon hızı, parçacık boyutu azaldıkça artmaktadır. Atık su arıtımında kullanılan toz aktif karbonların adsorpsiyon hızı granül aktif karbonların adsorpsiyon hızından daha büyüktür.

Adsorban molekülünün büyüklüğü: aktif karbon gibi gözenekli yapıdaki malzemeler için büyük parçacıkların küçük parçacıklara dönüştürülmesi, karbonda adsorpsiyon için uygun olan ince porları meydana getirir. Böylece karbon adsorpsiyona elverişli hale gelir. Mikro porların hacminde adsorban içerisinde fazla yer tutması, yüzey alanının büyük olmasını sağlamaktadır. Geniş boyutlu olarak nitelendirilen orta büyüklükteki gözenek boyutunun adsorbanın küçük gözeneklere hızlı geçişini sağladığı kabul edilmektedir.

Adsorbanın çözünürlüğü: adsorpsiyon olayında en önemli faktörlerden biri adsorpsiyon dengesini kontrol eden adsorbanın çözünürlüğüdür. Genel olarak bir maddenin adsorpsiyon miktarıyla bu maddenin adsorpsiyonunun gerçekleştiği ortamdaki çözünürlüğü arasında ters bir ilişki vardır. Çözünürlük ne kadar büyük olursa adsorban çözelti arasındaki bağ o kadar kuvvetli ve adsorpsiyon miktarı da o kadar düşüktür. Su ve atık sulardaki bileşiklerin çoğu iyonik türde ortamda bulunmaktadır. İyonlaşmanın adsorpsiyon üzerine etkileri incelendiğinde, yüklü türler için adsorpsiyonun minimum ve nötr türler için ise maksimum değere ulaştığı görülmektedir. Kompleks bileşikler için iyonlaşma etkisi daha az önem taşımaktadır. Polar olan bir madde polar bir adsorban tarafından polar olmayan bir çözelti içerisinde daha kuvvetli bir şekilde, adsorbe edilir. Çözünür bileşikler, çözücüler için kuvvetli bir çekiciliğe sahiptirler. Bu yüzden çözünmeyen bileşiklerden daha zor adsorbe olurlar. Çok kolay çözünen bileşikler kolaylıkla adsorbe olabilirler.

pH: adsorpsiyonu etkileyen en önemli faktör pH'dır. Hidrojen ve hidroksil iyonlarının kuvvetli bir şekilde adsorbe olmalarından dolayı diğer iyonların adsorpsiyonu çözeltinin pH'ından etkilenmektedir. Adsorpsiyon işleminde farklı iyonların farklı pH değerlerinde adsorblanması ancak spesifik pH değerlerinde önemli iken, anyonik iyonların

adsorpsiyonu ise düşük pH değerlerinde gerçekleşerek hemen hemen %100 iyon giderme verimine sahip olmaktadır. Genel olarak tipik organik kirleticilerin sudan adsorpsiyonu azalan pH ile artmaktadır.

Adsorpsiyon sıcaklığı: adsorpsiyon reaksiyonları sıcaklığa bağlı olarak endotermik veya ekzotermik oluşuna göre değişir. Birçok reaksiyonda genellikle sıcaklık arttığında reaksiyon hızının arttığı ifade edilmektedir. Adsorpsiyon işleminde ise sıcaklık önemli bir özellik olup, adsorpsiyon hızını etkilemektedir.

Karıştırma hızı: adsorpsiyon hızı, ortamın karıştırma hızına bağlı olarak ya film difüzyonu ya da por difüzyonu ile kontrol edilmektedir. Düşük karıştırma hızlarında parçacık etrafındaki sıvı film kalınlığı fazla olacak ve film difüzyonu hızı adsorpsiyonu sınırlayan etmen olacaktır. Eğer sistemde yeterli bir karışım sağlanır ise, film difüzyon hızı, hızı sınırlandıran etmen olan por difüzyon noktasına doğru artar. Genelde por difüzyonu yüksek hızda karıştırılan kesikli sistemlerde adsorpsiyon hızını sınırlayıcı en önemli etmendir (Nas [54]).

4.4 Adsorpsiyon İzotermi ve Denklemleri

Adsorpsiyon bir denge olayıdır. Adsorpsiyon, adsorban yüzeyinde biriken madde konsantrasyonu ve çözeltide kalan madde konsantrasyonu arasında bir denge oluşuncaya kadar devam eder. Gazlar için konsantrasyon genellikle mol yüzdesi veya kısmi basınç olarak verilir. Çözeltiler için konsantrasyon kütle birimleri olarak verilir.

4.4.1 Adsorpsiyon İzotermi

Adsorpsiyon işlemini daha etkin ve az maliyetli bir hale getirmek için birçok araştırmacı ucuz ve yenilenebilir adsorbanlar bulmaya çalışmaktadırlar. Maliyet azalımı ve etkinlik için öngörülen yollardan biri adsorpsiyonun doğasının anlaşılmasıdır (Ho vd. [55]).

En genel kullanım gören izotermi Freundlich ve Langmuir denklemleridir (Ng vd. [56]; Aksu vd. [57]).

4.4.1.1 Langmuir modeli

Langmuir modeline göre, adsorplanan moleküller adsorban yüzeyinde doymuş tek bir tabaka oluşturur. Adsorban yüzeyinde sabit sayıda aktif adsorpsiyon bölgesi vardır ve bölgelerin hepsi aynı enerji düzeyindedir. Ayrıca bu modele göre adsorpsiyon dengesi dinamik bir dengedir ve yüzeye tutunmuş moleküller birbirleriyle etkileşim göstermezler.

Langmuir modelinde adsorpsiyon, adsorplanacak maddenin başlangıç derişimi ile birlikte doğrusal olarak artar. Maksimum doyma noktasında, yüzey tek tabaka ile kaplanmakta ve yüzeye adsorplanmış madde miktarı sabit kalmaktadır. Ayrıca, bu izotermde adsorpsiyon enerjisi düzenlidir. Adsorpsiyon hızı adsorplanacak maddenin derişimi ve yüzey üzerinde bulunan aktif yerler ile doğru orantılıdır. Desorpsiyon hızı ise yüzeyde adsorplanmış madde miktarı ile doğru orantılıdır (Aksu vd. [57]).

Langmuir eşitliği şu şekilde gösterilmektedir:

$$q_e = Q_{\max} a_L C_e / (1 + a_L C_e) \quad (4.1)$$

Langmuir eşitliğini lineer formda yazacak olursak:

$$C_e / q_e = 1 / K_L + (a_L / K_L) C_e \quad (4.2)$$

C_e : Adsorpsiyon sonrası çözeltide kalan maddenin konsantrasyonu (mg/L)

q_e : Birim adsorban üzerinde adsorplanan madde miktarı (mg/g)

K_L : Adsorbatın adsorplanma kapasitesine bağlı olan sabit (L/g)

a_L : Adsorpsiyon enerjisine bağlı olan sabit (L/mg)

$Q_{\max}$: Adsorbanın maksimum adsorplama kapasitesi (mg/g)

Burada C_e/q_e değerinin, C_e değerine göre değişiminin grafiğe dökülmesiyle elde edilen doğrunun eğimi ve kesim noktası sırasıyla a_L/K_L ve $1/K_L$ sabitlerinin değerini verecektir. $Q_{\max} (K_L/a_L)$ tek tabanlı adsorban kapasitesini göstermekle birlikte adsorbanın maksimum adsorplama kapasitesini temsil eder. Özellikle tek tabakalı adsorpsiyonun meydana geldiği heterojen adsorpsiyon sistemlerinde bu izoterm denge durumunu net olarak açıklayamaz. Langmuir izotermi homojen bir adsorpsiyon olduğu için her molekülün aktivasyon enerjisi aynıdır. Düşük konsantrasyonlarda Henry yasayı geçerli olduğu durumda C_e çok küçüktür. O zaman aşağıdaki (Denklem 4.3) gibi olur:

$$q_e = K_L C_e \quad (4.3)$$

Adsorpsiyonun elverişliliğini bulmak için boyutsuz R_L (dağılma) sabiti hesaplanır (Eşitlik 4.4) ve bu sabitin 0 ile 1 arasında değerler alması (Çizelge 4.2) elverişlilik durumunun sağlandığına işaret eder (Aksu vd. 57; Ho vd 55; Bayat [58]).

$$R_L = 1 / (1 + b C_0) \quad (4.4)$$

$b(a_L)$: Langmuir sabiti (L/mg)

C_0 : Maddenin çözeltideki başlangıç derişimi (mg/L)

Çizelge 4.2 R_L (dağılma) değerleri ve izoterm tipleri

R_L Değerleri	izoterm tipleri
$R_L > 1$	Elverişli olmayan
$R_L = 1$	Lineer
$0 < R_L < 1$	Elverişli
$R_L = 0$	Tersinmez

4.4.1.2 Freundlich modeli

Freundlich 1926 yılında adsorpsiyon sürecini ifade eden bir ampirik denklem geliştirmiştir. Freundlich izotermi de ana fikir olarak Langmuir izoterminden yola çıkılarak, bazı varsayımlar ve gelişimler yapılarak matematiksel olarak ifade edilmiştir.

Freundlich'e göre bir adsorbanın yüzeyinde bulunan adsorpsiyon alanları heterojendir yani farklı türdeki adsorpsiyon alanlarından teşkil edilmiştir (Wong ve Yu [59]).

Freundlich izoterminin matematiksel ifadesi;

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (4.5)$$

Şeklinde ifade edilmektedir.

C_e : Adsorpsiyon sonrası çözeltide kalan maddenin konsantrasyonu (mg/L)

q_e : Birim adsorban üzerinde adsorplanan madde miktarı (mg/g)

K_F : Deneysel olarak hesaplanır. Adsorpsiyon kapasitesi (L/g)

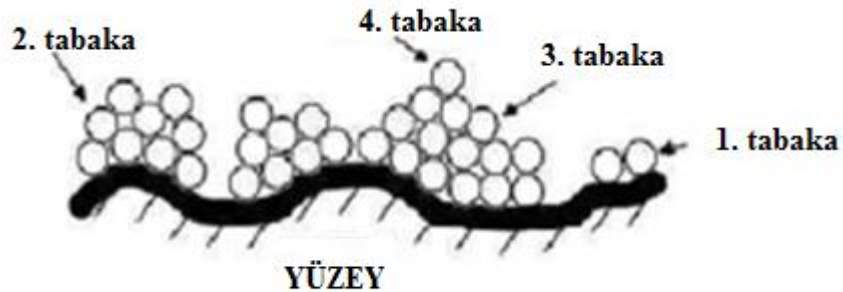
n : Adsorpsiyon yoğunluğu (birimsiz) Genellikle n değerlerinin 1-10 arasında olması iyi bir adsorpsiyon olduğunun bir göstergesidir. $1/n$ değeri, heterojenite faktörüdür ve 0-1 aralığında değerler alır. Yüzey ne kadar heterojense, değeri o kadar sıfıra yakın olur. Bu izotermin doğruluğu, heterojen adsorpsiyon sistemlerinde Langmuir izotermine göre daha iyidir. Freundlich izoterm denkleminde eşitliğin her iki yanının da logaritmasını alarak hale getirirsek:

$$\log q_e = \log K_F + 1/n \log C_e \quad (4.6)$$

$\log q_e$ 'nin $\log C_e$ 'ye karşı değişiminin grafiğe dökülmesiyle K_F ve n sabitleri bulunur. Grafikten elde edilen doğrunun y eksenini kesim noktası $\log K_F$ 'yi ve eğimi de $1/n$ 'i vermektedir. Bulunan bu değerler de Freundlich izoterm sabitleri olarak adsorpsiyonun doğasını daha iyi anlayabilme konusunda bize yardımcı olurlar (Wong ve Yu [59]).

4.4.1.3 Brunauer-Emmet-Teller (BET) modeli

1938 yılında geliştirilen bu adsorpsiyon izotermine göre moleküller adsorbanın yüzeyine birden fazla tabaka halinde adsorbe olur. BET denklemi Langmuir denkleminde olduğu gibi adsorplanan yüzeyinin düzenli olduğunu kabul eder. Bir adsorpsiyon alanındaki adsorpsiyon, komşu alandaki adsorpsiyona etki etmez. Buna ilaveten adsorpsiyon enerjisinin birinci tabakayı tuttuğu kabul edilmiştir. Fakat adsorplananın yoğunlaşma enerjisi birinci tabakaya ilave yeni tabakaların oluşmasına olanak tanımaktadır. Şekil 4.1'de bu izoterme ait temsili bir gösterim mevcuttur (Wong ve Yu [59]).



Şekil 4.1 BET izotermi [48]

4.4.1.4 Temkin izotermi

Adsorpsiyon izotermlerinden bir diğeri; adsorbe olan maddeler arasındaki etkileşimleri göz önüne alan bir izotermdir. Tabaka içindeki tüm moleküllerin adsorpsiyon ısısı dikkate alınarak geliştirilmiş olup, adsorplananların etkileşimlerinin etkilediği alandan dolayı lineer olarak azalacaktır.

Yukarıda anlatılmış olan izotermier genel kullanım gören izotermiere örneklere. Özel durumlarda kullanılan bazı izotermiere örne olarak aşağıdaki izotermier verilebilir [Hö vd. [55]:

- Dubinin-Radushkevich: Karakteristik sorpsiyon eğrisinin adsorbanın gözenekli yüzeyine bağlı olduğu sistemler için.
- Toth: Örneğin karbon üzerindeki fenolik bileşikler gibi heterojen sistemler için.

4.4.2 Adsorpsiyon izoterm tipleri

Tip I izotermi: tek tabakalı fiziksel veya kimyasal adsorpsiyonu göstermektedir. Yoğunlaşma ısısı sıfırdır. Adsorplanan miktar, basınçla orantılı olarak hızla artmakta ve doymunluk basıncında sabit bir değere ulaşmaktadır. Bu izoterm Langmuir denkleminde uymaktadır.

Tip II izotermi: çok tabakalı fiziksel adsorpsiyonu temsil etmekte ve sık rastlanılan bir izotermdir.

Tip III izotermi: birinci tabakanın adsorpsiyon ısısı yoğunlaşma ısısından azdır. Buhar moleküllerinin birbirlerini, adsorplayan maddeden daha kuvvetli çektikleri takdirde elde edilir. Çok az rastlanan bir izotermdir.

Tip IV izotermi: gözenekli katılarda kılcal yoğunlaşmayı gösterir. En büyük adsorpsiyon sınırına toplam gözenekler dolduğunda ulaşılır.

Tip V izotermi: birinci tabakada adsorpsiyon ısısı çok küçüktür. Düşük basınçlarda adsorplanan miktar çok azdır.

4.5 Adsorbsiyon Kinetiği

Adsorpsiyon kinetiğinin anlaşılması ile etkin adsorplanacak madde–adsorban temas süresi yani alıkoyma süresi bulunur. Kinetik, adsorpsiyon işleminin hızına etki eden adsorpsiyon basamaklarının anlaşılması için önemli bir adımdır. Bir çözeltide bulunan maddenin adsorban tarafından adsorplanması işleminde 4 ana basamak vardır:

- 1) Gaz veya sıvı fazda bulunan madde, adsorbanı kaplayan bir film tabakası sınırına doğru difüze olur. Bu basamak, adsorpsiyon düzeneğinde belirli bir hareketlilik olduğu için çoğunlukla ihmal edilir.
- 2) Film tabakasına gelen madde buradaki durgun kısımdan geçerek adsorbanın gözeneklerine doğru ilerler.
- 3) Sonra adsorbanın gözenek boşluklarında hareket ederek adsorpsiyonun meydana geleceği yüzeye doğru ilerler.
- 4) En son olarak adsorplananın adsorbanın gözenek yüzeyine tutunmasıyla oluşur.

Eğer adsorbanın bulunduğu faz hareketsiz ise, 1. basamak en yavaş ve adsorpsiyon hızını belirleyen basamak olabilmektedir. Eğer akışkan hareket ettirilirse, yüzey tabakasının kalınlığı azalacağı için adsorpsiyon hızı artar. Son basamağın ölçülemeyecek kadar hızlı olduğu ve ilk basamakta da iyi bir karıştırma olduğu düşünülerek adsorpsiyon hızına aksi bir etki yapmayacakları için 2. ve 3. Basamaklar süreçte hız belirleyicidir. 2. basamak adsorpsiyon işleminin ilk dakikalarında, 3. basamak ise adsorpsiyon işleminin geri kalan daha uzun bir süresinde meydana geldiği için, adsorpsiyon hızını tam olarak etkileyen basamağın 3. basamak olduğunu söylenebilir (Wong ve Yu [59]).

4.6 Adsorpsiyon Uygulamaları

Gaz ve sıvı fazdan adsorpsiyonunu belli başlı kullanım alanları sırasıyla aşağıda verilmektedir (Wong ve Yu [59]):

- Gazların kurutulması

- Toksik gazların, kokuların ve aerosollerin uzaklaştırılması için baca veya egzoz temizlenmesi
- Bir buharlaştırıcıdan terk eden gazlardan çözücünün geri kazanımı
- Gazların fraksiyonu
- Yakıt ve yağlama yağlarının, organik çözücülerin, bitkisel ve hayvansal yağların renklerinin giderimi ve kurutulması,
- Fermantasyon ürünleri ve bitki özetlerinden biyolojik kimyasalların (antibiyotikler, vitaminler, tatlandırıcılar) geri kazanılması
- İlaç ürünleri ve besinlerin arıtılması
- Ham şeker şuruplarının renginin giderimi
- Kirlilik kontrolü için süreç atıklarının saflaştırılması
- Koku, lezzet ve renk iyileştirme için su sağlama ön işlemi
- Aromatik veya alifatik hidrokarbonların ayrılması

4.7 Adsorbantler

Endüstride farklı kullanım amaçlarına hizmet eden çok sayıda adsorbant çeşidi bulunmaktadır. Genel olarak adsorbantler iki gruba ayrılabilir:

- **Doğal adsorbantler** (kömür, kitosan, zeolit, kil, selüloz vb.)
- **Yapay adsorbantler** (aktif karbon, aktif alümina, silika jel, katalizörler vb.)

4.7.1 Doğal adsorbant çeşitleri

Doğal adsorbantler, kolay elde edilebilen, maliyeti düşük maddelerdir. Doğal adsorbantlerden bazıları şunlardır:

Kömür: yeraltındaki bitki artıklarının, çok uzun bir süre içinde, sıcaklık ve basıncın etkisiyle çeşitli fiziksel ve kimyasal değişimlere uğraması sonucunda oluşan kompleks ve heterojen bir katıdır. Yapısındaki fonksiyonel grupların çeşitliliği sebebiyle çeşitli adsorpsiyon işlemlerinde kullanımı söz konusudur.

Kitosan: kitosanın hammaddesi olan kitin, biyosorbentler arasında, selülozdan sonra en bol bulunan ikinci doğal polimerdir. Ağır metaller için etkin bir tutucudur.

Zeolit: doğal kristal aminosilikatlardır. Stronsiyum (Sr) ve sezyum (Cs) gibi ağır metallerin uzaklaştırılmasında iyon değiştirme özellikleri ile dikkat çekmişlerdir.

Selüloz: yenilenebilir doğal polimerler arasında en bol olanıdır.

Kil: Doğada bol miktarda bulunan minerallerdir. Kili meydana getiren maddeler sulu alüminyum silikatlarıdır. Ağır metal gideriminde etkindirler.

4.7.2 Yapay adsorbant çeşitleri

Yapay adsorbantler, maliyeti doğal adsorbantlere göre daha yüksek olan, ihtiyaca ve kullanım alanına göre istenilen özelliklerde (yüzey özellikleri) üretilebilen maddelerdir. Bazı endüstriyel ve tarımsal atıklar (kül, atık çamur, talaş vb.) dışında belli başlı birkaç yapay adsorbant şunlardır:

Aktif karbon: yaygın olarak kullanılan endüstriyel adsorbantler arasında en önemlisidir.

Silika jel: endüstride genelde kurutma proseslerinde kullanılır. Uzun kullanım ömrü, ucuz oluşu, düşük rejenerasyon enerjisi ihtiyacı en önemli avantajlarıdır.

Aktif alümina: bir cins alüminyum oksit olup, hemen hemen tüm endüstriyel kurutma işlemlerinde kullanılmaktadır.

Reçine: içme suyu arıtma, su yumuşatma, demineralizasyon proseslerinde kullanılabilecek olan kuvvetli asidik katyon değiştirici reçinelerdir.

5.1 Termik Santraller

Gelişmekte olan ülkelerde artan sanayileşme ve kentleşme enerji gereksinimlerini beraberinde getirmiştir. Gerekli olan enerji gereksinimlerini karşılamak amacıyla hidroelektrik ve termik santraller kurulmuştur (Kara [60]). Türkiye’de kurulu ve halen faaliyette olan termik santrallere ait bilgiler Çizelge 5.1’de verilmiştir (Görhan vd. [61]).

Birçok termik santralde, elektrik üretimi için gerekli enerjiyi sağlayabilmek amacıyla, yakıt olarak pulverize kömür kullanılmaktadır. Dolayısıyla atık malzeme olarak değişik karakterlerde küller elde edilmektedir (Mercan [62]).

Termik santrallerde pulverize kömürün yanması sonucu üç atık malzeme meydana gelir:

- 1) Baca gazları ile taşınmayan, yanarak tabana düşen ve aglomere olan küller (taban külü)
- 2) Siklon tipi ocaklarda, yanan kömür külünün ergimesi ve suda soğutularak uzaklaştırılmasıyla elde edilen küller (ergimiş kül veya cüruf),
- 3) Baca gazları ile taşınan, mekanik veya elektrostatik toz tutucularda tutulan çok ince küller (uçucu kül) (Alataş [63]).

Çizelge 5.1 Türkiye’de kömürle çalışan termik santraller (Görhan vd. [61])

Termik Santral Adı	Bulunduğu İl/ilçe	Kurulduğu Yıl	Kurulduğu Güç (MW)	Ana Yakıt	Yardımcı Yakıt
18 Mart Çan	Çanakkale/Çan	2003	320	Linyit	Fuel Oil-Motorin
Afşin Elbistan-A	Kahramanmaraş/Afşin	1984	1355	Linyit	Fuel Oil-Motorin
Afşin Elbistan-B	Kahramanmaraş/Afşin	2004	1440	Linyit	Fuel Oil-Motorin
Aliğa	İzmir/Aliğa	1975	180	Motorin	Motorin
Ambarlı Doğalgaz	İstanbul/Ambarlı	1988	1350.90	Doğalgaz	-
Ambarlı Fuel-Oil	İstanbul/Avcılar	1967	630	Fuel Oil	Motorin
Bursa Doğalgaz	Bursa/Osmangazi	1998	1432	Doğalgaz	-
Çatalağzı	Zonguldak/Çatalağzı	1989	300	Taş Kömürü	Fuel Oil-Motorin
Denizli Jeotermal	Denizli/Sarayköy	1984	15	Tabii Buhar	-
Hamitabat Doğalgaz	Kırklareli/Lüleburgaz	1985	1120	Doğalgaz	-
Hopa	Artvin/Hopa	1973	50	Fuel Oil	Motorin
Kangal	Sivas/Kangal	1991	457	Linyit	Fuel Oil-Motorin
Orhaneli	Bursa/Orhaneli	1992	210	Linyit	Fuel Oil-Motorin
Seyitömer	Kütahya/Seyitömer	1973	600	Linyit	Fuel Oil-Motorin
Soma-B	Manisa/Soma	1981	1034	Linyit	Fuel Oil-Motorin
Tunçbilek-B	Kütahya/Tunçbilek	1956	365	Linyit	Fuel Oil-Motorin

5.2 Uçucu Külün Tanımı ve Tarihçesi

Termik santrallerde enerji üretiminde yakıt olarak kullanılan pulverize kömür, atık olarak değişik karakterde küllerin ve cürufun ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Termik santrallerde en önemli atık malzeme olan uçucu kül, yanma nedeniyle baca tarafından çekilen gazlarla birlikte yukarıya sürüklenen çok ince parçacıklar olarak tanımlanır (Erdoğan [64]).

Uçucu kül üretimini; santral tipi, işletim biçimi, yakılan kömürün cinsi, yanma biçimi gibi çeşitli faktörler etkilemekle birlikte genel olarak elektrik enerjisi üreten termik santrallerde kullanılan taşkömürünün %10-15'ini, linyit kömürünün ise %20-50'si kül olarak ortaya çıkmaktadır. Yanma sonucu ortaya çıkan külün %75-85'i baca gazları ile kazandan çıkar ve bu atıklar "uçucu kül" olarak tanımlanırlar (Morrison [65]).

TS 639'a göre uçucu kül, toz halinde veya öğütülmüş taş kömürü veya linyit kömürünün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucu oluşan ve baca gazları ile sürüklenen, silis ve alüminasilisli toz halinde bir yanma kalıntısı olarak tanımlanır (Özcan [66]).

Uçucu kül terimi 1930'lu yıllarda elektrik enerjisi endüstrisinin yayılmasıyla ortaya çıkmış ve uçucu külün portland çimentosu içinde kullanımı yine bu tarihlerde başlamıştır. 1937 yılında R.E. Davis California Üniversitesi'nde uçucu küllü betonla ilgili araştırma sonuçlarını yayınlamış ve bu çalışma ilk şartnamelerin, test metotlarının ve uçucu kül kullanımının temelini oluşturmuştur (Gürbüz [67]). Davis ve meslektaşları çalışmalarında portland çimentosu hamurunda, uçucu külün kalsiyum ve alkali-hidroksitler ile reaktivitesini tanımladılar; bununla da uçucu külün zararlı alkali-agrega reaksiyonlarına karşı önleyici davranışını tespit ettiler. A.B.D. Mühendisler Kolordusu, Islah Bürosu, büyük mühendislik firmaları ve diğer bazı kişi ve kurumlar uçucu külün kütle betonlarındaki hidratasyon ısını düşürme avantajını ve taze betonun işlenebilirliği üzerindeki olumlu etkisini tanıdılar ve uçucu külün faydalı yönleri ilk olarak büyük kütleli baraj inşaatlarında ortaya çıkmış oldu (Çiçekli [68]).

Hoover Barajı için U.S. Bureau of Reclamation tarafından yapılan araştırmaları takiben ABD'de uçucu külün hidroelektrik yapılarında kullanımı yaygınlaşmıştır. (Amerika Malzeme Tecrübeleri Kurumu (ASTM) bu konudaki ilk standartlarını 1945'te yayınlamıştır (Malhotra [69]).

Ülkemizde ise uçucu kül ile ilgili çalışmalara, 1964 yılında D.S.İ. Genel Müdürlüğü Araştırma Dairesi Kimya Laboratuvarı uzmanları tarafından başlanıldığı görülmektedir. Yapılan çalışmalarda, Soma ve Tunçbilek uçucu küllerinin Gökçekaya Barajı'nda kullanım olanakları araştırılmıştır. Aynı tarihlerde Karayolları Genel Müdürlüğü Laboratuvarı'nda 4. Bölge Pazar Köprüsü inşaatı ile ilgili olarak uçucu küllü betonlar

üzerinde bir araştırma yapılmıştır. Bu çalışmada, kısmen çimento yerine kullanılan külün erken sürelerdeki basınç dayanımını olumlu şekilde etkilediği bildirilmiştir.

1968 yılında, uçucu kül standartlarının hazırlanmasına yardımcı olmak amacıyla İmar ve İskan Bakanlığı Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda çeşitli santrallerden alınan küllerin puzolanik özellikleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. A.S.T.M. standartlarına göre yapılan deneyler sonucunda, elektro filtrelerden alınmış olan küllerin, genellikle bu standartlara uygun olduğu, No. 200 elekten elendiği takdirde ise bu küllerin puzolanik değerlerinin daha da arttığı tespit edilmiştir (Yeğınobalı [70]).

1968 yılından 1973'e kadar geçen süre içinde iki barajın inşaatında 55.000 tonun üzerinde uçucu kül kullanılmıştır. 1970'de Kütahya-Tavşanlı yolunun 700 m'lik bir bölümünde uçucu kül-çimento karışımı ile zemin stabilizasyonu çalışmaları yapılmıştır.

Çimento endüstrisinin uçucu küle tanışması ise yine 1970'lerde olmuştur. Bu yıllarda Afyon ve Balıkesir Çimento Fabrikalarında, Soma ve Seyitömer termik santralleri uçucu külleri kullanılarak, deneme amaçlı çimento üretimi gerçekleştirilmiştir.

1960 ve 1970'lerde uçucu kül üretimi sırasıyla 500.000 ve 1.200.000 ton/yıl civarında gerçekleşmiştir. Dolayısıyla, en fazla kullanım olduğu dönemlerde bile, uçucu kül kullanımı hiçbir zaman üretimin %7'sini geçmemiştir. T.E.K yetkililerinden alınan bilgilere göre, kullanım son yıllarda daha da düşüktür. 1989 yılında üç termik santralden 33.355 ton uçucu kül satılabilmektedir. Bu rakam toplam üretimin %0,4'ünden daha da azdır. Aynı şekilde 1990'da tüketim üretimin %0,3'ü civarında gerçekleşmiştir (Çiçekli [68]). Ancak son yıllarda özellikle hazır beton endüstrisinin gelişmesi ve Avrupa'dan uyarlanan yeni çimento ve beton standartları, çimento ve beton endüstrilerinde uçucu küle olan ilgi artmaktadır (Türker [71]).

1970'li yıllarda yaşanan enerji maliyetindeki hızlı artış sonucunda, elektrik santrallerinde daha fazla kömür kullanılmaya başlanmıştır. Bunun sonucunda uçucu kül üretiminde bir artış meydana gelerek, uçucu kül kullanımı tüm dünya genelinde kabul görmeye başlamıştır (Özcan [66]).

Türkiye Atom Enerjisi Kurumunun (TAEK) yaptığı ölçümler sonucu bazı termik santrallerin uçucu küllerinde radyasyon düzeyi yüksek bulunmuş ve 1994 ortalarında TEAŞ (Türkiye Elektrik Anonim Şirketi) kül satışını durdurmuştur. Türkiye Hazır Beton

Birliği'nin verilerine göre 2006 yılında ülkemizde uçucu kül üretimi yaklaşık 15 milyon ton olmakla birlikte bunun 600 bin tonu betonda kullanılmaktadır.

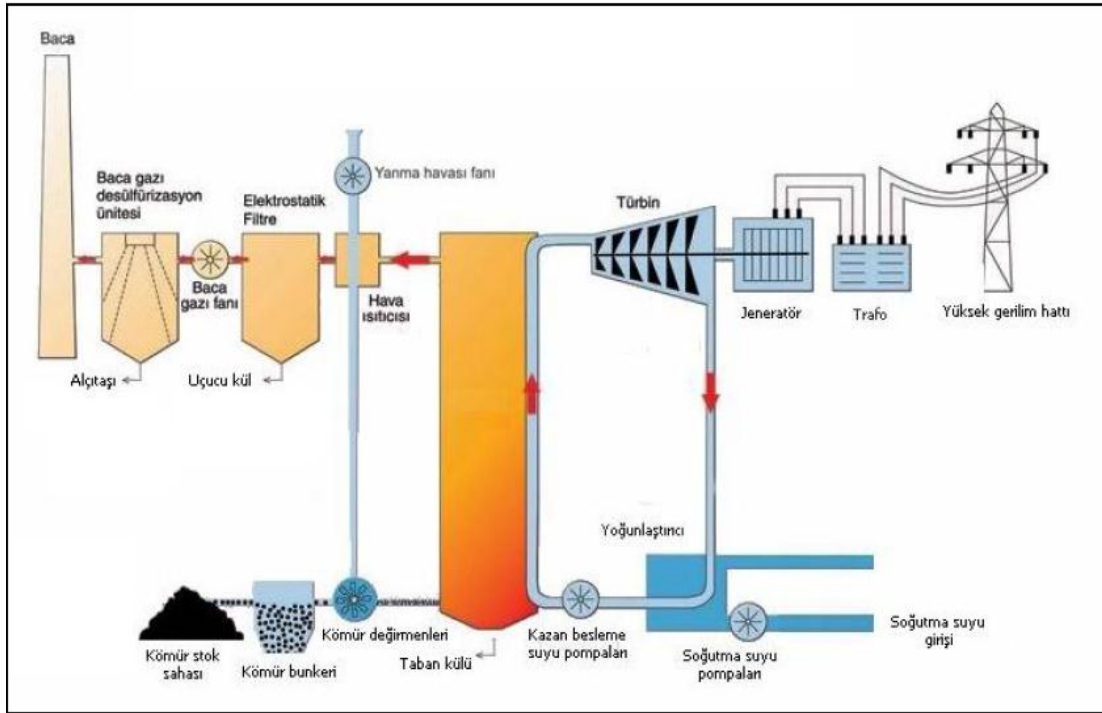
5.3 Uçucu Külün Oluşumu ve Sınıflandırılması

5.3.1 Uçucu külün oluşumu

Kömürle alışan termik santrallerde kömürü yakmak için üç tip kazan kullanılmaktadır; kuru taban kazanları, ıslak taban kazanları ve siklon fırınlarıdır. Kömürü yakmak için en sık kullanılan kazan tipi kuru taban kazanlarıdır. Pulverize kömür kuru taban kazanında yandığı zaman üretilen külün %80'i fırını uçucu kül olarak terk eder ve baca gazıyla dışarı atılır. Külün geriye kalan %20'lik kısmı; koyu gri renkte, granül, gözenekli, baskın olarak kum boyutunda olan kuru taban kldr. Bu malzeme fırının tabanında yer alan su dolu silolarda toplanır (ağlar [72]). Pulverize kömür ıslak tabanlı kazanda yandığında ise külün %50'si fırında kalır ve geri kalan %50'si baca gazıyla dışarı çıkar (Haşal [73]).

Değirmenlerde ğtlp pulverize hale getirilen kömür, yakma havası ile birlikte kazana püskürtülerek, kazan içerisinde yanması sağlanır, böylece yakıtın kimyasal enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesi gerçekleşir. Yanma sonucu oluşan ısı enerjisi vasıtasıyla, kazanın etrafında bulunan borulardan geçen saf su buharlaşır. Elde edilen yüksek basınç ve sıcaklıktaki buharın (kızgın buhar) türbine gönderilmesiyle trbın rotoru harekete geçer ve dönmeye başlar. Böylece suda bulunan ısı enerjisi kinetik enerjiye dönüşür. Kinetik enerji, bir şaftla trbın rotoruna bağlı halde bulunan jeneratör rotorunu aynı hızla çevirerek jeneratörde elektrik enerjisine dönüşür. Elektrik enerjisi trafolardan yüksek gerilim hattına iletilir ve oradan da dağıtım şebekesine gönderilerek nihai kullanıcılara iletilmesi sağlanır. Türbinde kullanılarak basıncı ve sıcaklığı düşmüş olan buhar yoğunlaştırıcı adı verilen bölgede deniz suyu ile ısı alış-verişi sonrası su fazına geçer ve bu su tekrar kullanılmak üzere kazan besleme suyu pompaları ile kazana gönderilir. Kömürün yanması sonucu açığa çıkan ve 100 μm 'den büyük tanecik boyutuna sahip olan küller kazanın dibine toplanır ve sistemden uzaklaştırılır. 0,5 μm ile 100 μm arasında tanecik boyutuna sahip olan ve "uçucu kül" olarak isimlendirilen küller ise baca gazı ile birlikte kazanı üstten terk eder (Davutoğlu,

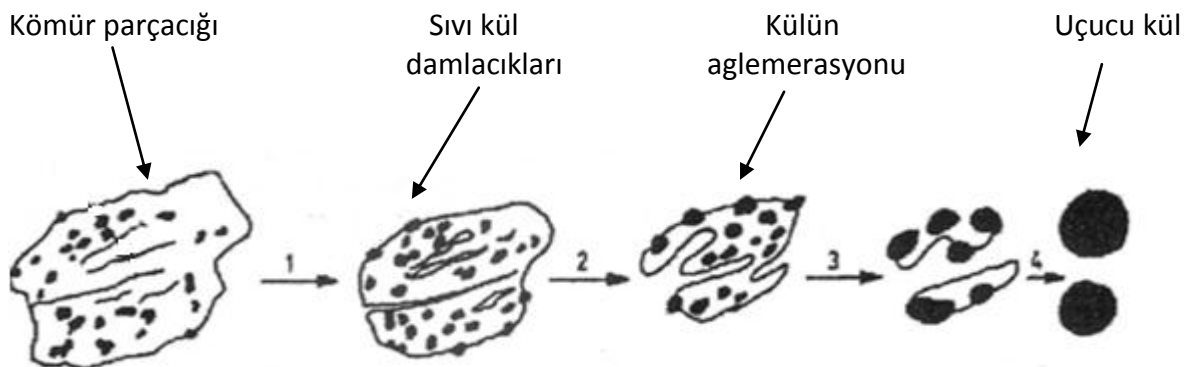
[74]). Şekil 5.1’de baca gazı arıtma ünitesi bulunan bir termik santralde ait akım şeması görülmektedir.



Şekil 5.1 Baca gazı arıtma ünitesi bulunan bir termik santrale ait akım şeması (Davutoğlu [74])

Yanma işlemi süresince kömürün yapısındaki organik bileşiklerin içinde bulunan elementler sıcaklığın etkisiyle sıvı fazdan gaz fazına geçerler. Zamanla uçucu organik maddeler tükenir ve inorganik yapı içerisinde bulunan uçucu kül matris elemanları (alüminosilikat vs.) küresel uçucu kül parçacıkları oluşturmak üzere erirler.

Uçucu külün oluşum safhalarını açıklayan mekanizma Şekil 5.2’de verilmiştir (Balkema [75]).



Şekil 5.2 Uçucu külün oluşum safhaları (Balkema [75])

Uçucu kül, kazanı takiben bulunan elektrostatik çöktürücülerde tutularak baca gazından uzaklaştırılır. Tozundan arındırılmış olan baca gazı elektrostatik çöktürücülerden sonra desülfürizasyon ünitesine geçer. Desülfürizasyon ünitesinde, baca gazı içerisinde bulunan SO_2 'nin absorpsiyonu için gaz üzerine bir absorban madde gönderilerek SO_2 'den arındırılır ve arıtılmış olan baca gazı bacadan atmosfere bırakılır (Davutoğlu [74]).

5.3.2 Uçucu külün sınıflandırılması

Uçucu külden bulunan başlıca bileşenler SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO olup, bunların miktarları uçucu külün tipine göre değişmektedir. Ayrıca MgO , SO_3 , alkali oksitler de minör bileşen olarak bulunmaktadır. Uçucu küldenki temel oksitlerden SiO_2 %25-60, Al_2O_3 %10-30, Fe_2O_3 %1-15 ve CaO %1-40 oranında bulunmaktadır (Türker vd. [71]).

Termik santrallerde yakıt olarak, ülke kaynaklarına göre taş kömürü veya linyit kömürü kullanılmaktadır.

Uçucu küller orijinlerine göre iki ana gruba ayrılırlar:

- 1) Taş kömürü uçucu külleri
- 2) Linyit kömürü uçucu külleri

Kimyasal yapıları bakımından uçucu küller 4 ana sınıfa ayırmak mümkündür:

- 1) Silikat-Alümina esaslı uçucu küller: Bunlar taş kömürü uçucu külleridir. Yapılarının büyük kısmını kuvars (SiO_2) ve bir miktar alümina (Al_2O_3) meydana getirmektedir. Bu uçucu küller normal sıcaklıkta ve hidrolik bağlayıcı gibi priz yaparlar.
- 2) Silikat-Kalsit esaslı uçucu küller: Yapılarındaki ana oksitler kuvars (SiO_2) ve kalsit'tir (CaCO_3). Fakat kalsit miktarı oldukça yüksektir.
- 3) Sülfür-Kalsit esaslı uçucu küller: Yapılarının büyük bir bölümünü kükürt trioksit (SO_3) ve kalsit'ten (CaCO_3) meydana gelmiştir. Bu sınıfa genellikle linyit kömürü uçucu külleri girmektedir.

- 4) Sınıflandırılmayan uçucu küller: Termik santrallerde ki yanma sisteminin homojen olmamasından dolayı belirli bir kimyasal yapıya sahip olmayan küllerdir. Kimyasal yapıları sürekli değişebilmektedir.

Uçucu küller, gözenekli veya dolu camsı küresel taneler ile yanmamış mineralleri içeren süngerimsi ve köşeli aglomere tanelerden meydana gelir. Genellikle bir uçucu külde SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , SO_3 , MgO , Na_2O , K_2O ve TiO_2 gibi oksitlerin hemen hemen tamamına rastlanmaktadır. Ancak bu oksitlerin küldeki yüzdeleri külün tipine bağlı olarak değişmektedir.

TSE ve ASTM göre uçucu küller sınıflandırılmaktadır (Yılmaz [76]). Aynı zamanda uçucu küllerin sınıflandırılmasında, kimyasal bileşen yüzdesine göre esas olarak ASTM C 618 ve TS EN 197-1 standartları baz alınmaktadır.

ASTM C 618 standardına göre uçucu küller iki sınıfa ayrılırlar:

- 1) F sınıfına, bitümlü kömürden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ yüzdesi %70'den fazla olan uçucu küller girmektedir. Aynı zamanda bu küllerde CaO yüzdesi %10'un altında olduğu için düşük kireçli olarak da adlandırılırlar. F sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğe sahiptirler.
- 2) C sınıfı uçucu küller , linyit veya yarı-bitümlü kömürden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı %50'den fazla olan küllerdir. Aynı zamanda, C sınıfı uçucu küllerde $\text{CaO}>\%10$ olduğu için bu küller yüksek kireçli uçucu kül olarak da adlandırılır. C sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğin yanı sıra bağlayıcı özelliğine de sahiptirler (Yeğinobalı [70]).

TS EN 197-1'e göre sınıflandırmada uçucu küller iki ana gruba ayrılırlar:

- 1) V sınıfı uçucu küller, çoğunluğu puzolanik özelliklere sahip küresel taneciklerden meydana gelen ince bir toz olup; esas olarak reaktif silisyum dioksit (SiO_2 ve alüminyum oksitden (Al_2O_3) oluşan; geri kalanı demir oksit ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan az, reaktif silis miktarının %25'den fazla olması gerekmektedir.
- 2) W sınıfı küller, puzolanik özellikleri olan ince bir toz olup; esas olarak reaktif kireç (CaO), reaktif SiO_2 ve Al_2O_3 'den oluşan; geri kalanı demir oksit (Fe_2O_3) ve diğer

bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan fazla, reaktif silis miktarının da %25'den fazla olması gerekmektedir [70].

Uçucu kül içerisinde bulunan CaO miktarına göre de bir sınıflandırma yapılabilmektedir. Bu sınıflandırma uçucu küllerin aktivitesine göre yapılmakta ve uçucu külün aktivitesi CaO içeriyle tanımlanmaktadır.

Uçucu küller aktivitesine göre dört sınıfa ayrılırlar:

- 1) Çok düşük aktiviteli küller: $\text{CaO} < \%3,5$
- 2) Düşük aktiviteli küller: $\%3,5 < \text{CaO} < \%7$
- 3) Aktif küller: $\%7 < \text{CaO} < \%14$
- 4) Çok aktif küller: $\text{CaO} > \%14$ olmak üzere dört farklı şekilde sınıflandırılmıştır [70].

5.4 Uçucu Küllerin Özellikleri

Uçucu kül amorf ve kristal fazların her ikisini de içeren heterojen kompleks bir maddedir. Uçucu külün puzolanik aktivitesinin, içinde barındırdığı amorf karakterli silikat ve alüminatlar nedeniyle meydana geldiği düşünülmektedir (Balkema [75]). Uçucu külün fiziksel, kimyasal, minerolojik ve puzalanik özelliklerinin en belirgin ortak yanı, bunların yöreden yöreye, hatta aynı yörede dahi değişkenlik göstermeleridir.

Bu değişkenlik,

- 1) Uçucu külün kaynağının oluşturan kömürün türü ve değişkenliğine,
- 2) Kömürün yakılmadan önceki öğütülme derecesine,
- 3) Kazan türüne,
- 4) Yakma sıcaklığı ve diğer işletme parametrelerine,
- 5) Kül toplama ve uzaklaştırma sistemlerinin özellikleri ve işleyişine,
- 6) Çevrenin korunması amacıyla kömüre ilave edilen katkı maddeleri gibi faktörlerden ve faktörlerin de zamana göre değişebilmelerinden kaynaklanan özelliklere bağlıdır (Güler vd. [77]).

5.4.1 Uçucu külün fiziksel özellikleri

5.4.1.1 Görünüş

Uçucu küllerin renkleri açık kremden koyu kahverengiye kadar değişiklik gösterir (Şekil 5.3). Bu renk, kullanılan fırınların işletilmesine ve kömürün kalitesine bağlı olarak değişir. Uçucu kül içerisindeki yanmamış karbon oranı arttıkça rengi koyulaşır. Bunun yanı sıra demir oksit içeriği de uçucu külün rengini etkiler. Yüksek demir oksit içeriği siyaha yakın bir renk verir. Linyit uçucu külü taş kömürü uçucu külünden daha koyu renktedir (Kaya [78]).



Şekil 5.3 Uçucu küllerin görünüşü (Kaya [78])

5.4.1.2 Parçacık boyutu

Uçucu küllerin parçacık boyutları öncelikle kullanılan kömürün cinsine ve öğütülme derecesine bağlıdır. Taşkömürü uçucu küllerinin parçacık boyutu linyit uçucu küllerinin parçacık boyutlarından daha küçüktür. Parçacık boyutuna etki eden diğer bir faktör de, bacada kullanılan filtredir. Bacadan toz olarak kaçan kısım azaldıkça parçacık boyutu artar. Elektro filtrelerde tutulan uçucu küller siklonlarda tutulana göre daha ince tanelidir (Yıldız [79]).

Uçucu külün tanecik boyutları genellikle 0,5-200 μm arasında değişmektedir. %16-25'i 80 μm 'lik elekte, %26-40'ı 50 μm 'lik elekte kalmaktadır. 40 μm 'den küçük taneciklerin elekten ayrılması olanaksızdır. Spesifik yüzey alanları ise 2800–3800 cm^2/gr arasındadır (Doğan [80]). Uçucu külün inceliği pozolanik aktiviteyi de önemli ölçüde etkileyen parametrelerin başında gelmektedir (Balkema [75]). Uçucu küller ne kadar ince ve

karbon içeriği ne kadar düşük olursa puzolanik aktivitenin o kadar yüksek olacağı söylenebilir (Karahan [81]).

5.4.1.3 Yoğunluk

Uçucu kül içerisinde farklı yoğunlukta küller vardır. Uçucu küllerin yoğunluğu küldeki demir, silika, alümina ve karbon miktarı ile değişmektedir. Yüksek demir içeriği uçucu külün yoğunluğunun yüksek olmasına, yüksek miktarlarda alümina, silika ve karbon ise daha düşük bir yoğunluğa neden olur (Görhan vd. [61]).

Uçucu küllerin yoğunluğu mineralojik yapısına göre de değişmektedir. İçi dolu küresel tanelerden oluşan uçucu küllerin yoğunlukları yüksek iken, süngerimsi tanelerden oluşanlar daha düşüktür İçi dolu küresel tanelerden meydana gelen uçucu küllerin mutlak yoğunluğu 2,2–2,7 gr/cm³ arasındadır (Kaya [78]). Yoğunluğun yüksekliği uçucu külün inceliği ile de ilgilidir. Uçucu küllerin incelikleri arttıkça yoğunlukları da artmaktadır.

5.4.1.4 Karbon miktarı

İyi yanma olan termik santrallerde yanmamış karbon miktarı çok düşük olmaktadır. Eski tip santrallerde bu oran %10'a yükselmekte iken, yeni tip santrallerde bu oran %3'ün altında kalmaktadır. Uçucu külün karbon miktarı yanma kaybından az olmalıdır. Yanma kaybı değeri deneysel olarak 0,9 ile çarpılarak yaklaşık yanmamış karbon miktarı bulunabilmektedir. Uçucu küllerdeki karbon, yanıcı olan tanelerin üzerinde ince karbon tabakası veya ayrı taneler olarak bulunmaktadır. Uçucu küllerdeki karbon tanelerinin tane boyutu çoğu zaman diğer tanelerden daha büyüktür (Alkaya [82]).

5.4.1.5 Manyetik özellik

Uçucu kül içerisine bir mıknatıs daldırıldığında bir miktar uçucu külün mıknatısa yapıştığı görülür. Manyetik özelliği olmadığı halde yapışan tanecikler hafif bir hava akımı ile uzaklaştırılır (Doğan [80]).

5.4.1.6 Mekanik dayanım

Uçucu külün mekanik dayanımları bünyesindeki boşluklu malzeme yüzdesine bağlı olarak değişmektedir (Volkan [83]).

5.4.1.7 Suda çözünürlük

Uçucu kül bol miktarda saf su içine konup karıştırıldığında birkaç saat sonunda SO_3 'ün hemen hemen tamamı ve toprak alkali metal bileşikler kısmen suda çözünür. Aynı süre içerisinde SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , Na_2O , Fe_2O_3 ise suda çok az çözünür. Uçucu kül içerisindeki amorf ve camsı silis oda sıcaklığında ve saf suda çok az çözünür ancak sıcaklığın artması ile çözünürlükte belirgin bir artış izlenir, bu durum puzolanik özellik istenen karışımlar için iyi olmayan bir özelliktir (Yıldız [79]).

5.4.1.8 Elektrik iletkenliği

İki iletken arasına konulmuş bir uçucu kül örneği iki farklı potansiyeldeki plaka arasına yerleştirildiğinde, bir elektrik akımının geçtiği saptanmıştır. Sıcaklık 600°C 'ye çıktığı zaman çok düşük voltajda da akımın geçtiği görülmüştür. Bu yöntem ile uçucu külü kolayca aglomera etmek mümkündür (Yıldız [79]).

5.4.1.9 Dayanım aktivite indisi

Dayanım aktivite indisi uçucu külün puzolanik reaksiyon ve dayanım kazandırma kapasitesini gösterir. Dayanım aktivite indisi ASTM C 311'e göre belirlenir. Uçucu kül için bu değer 28 günde %75'ten daha az olmamalıdır (Öksüz [84]).

5.4.1.10 Homojen Dağılımlık

Uçucu kül tanelerinin boyutları ve dağılımı belli bir üniformaluluğa sahip olmalıdır. Uçucu külün üniformaluluğu inceliğinin ve yoğunluğunun belirlenmesi ile kontrol edilir (Öksüz [84]).

5.4.2 Uçucu küllerin mineralojik özellikleri

Uçucu küllerin mineralojik bileşimleri, kömürde bulunan minerallere (kil, kuvars, pirit, alçıtaşı, karbonatlar) ve proses koşullarına (kömür hazırlama ve yanma gibi) bağlıdır. Uçucu külün mineralojik yapısı, külün tipine göre değişen dağılımda olmak üzere camı (kristalsız) ve kristal yapıli bileşenlerden oluşmaktadır.

Düşük kireçli uçucu küldeki camı fazın yapısı, SiO_2 açısından zengin ve yüksek oranda polimerize silisli veya alüminyum da içeren alümino silikat bileşimindedir. Silisli veya alümino silikat camı fazı, düşük kireçli külün reaktif bileşeni olup, su ve kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek küle puzolanik özellik kazandırmaktadır (Özdemir [85]). Yüksek kireçli külde ise, aktif bileşen içinde silisyum da içeren kalsiyum alüminat camı fazının yanı sıra aktif kristalize faz (serbest kireç, kalsiyum alüminat gibi) da vardır. Burada saf silika camı Ca ve Al iyonları ile modifiye olmuştur. Yüksek kireçli külün camı ve kristalize fazları, külün puzolanik özelliğinin yanı sıra kısmen bağlayıcı özelliğe de sahip olmasını sağlamaktadır (Erdoğan [86]).

Genellikle, düşük kalsiyum oksit (CaO) içeren uçucu küller başta camı faz ve minör olarak da kuvars (SiO_2), manyetit (Fe_3O_4), hematit (Fe_2O_3) içermekte; yüksek kalsiyum oksit (CaO)'li uçucu küller ise kuvars (SiO_2), hematit (Fe_2O_3), anhidrit (CaSO_4), serbest kireç (CaO), trikalsiyum alüminat C_3A ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$), dikalsiyum silikat C_2S (Ca_2SiO_4), $\text{CS}(\text{CaO}.\text{SiO}_2)$ gibi mineraller ve camı faz içermektedir. Bu bileşenlerin yanı sıra yüksek kireçli küllerde kalsit, portlandit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), trisülfoalüminat ($4\text{CaO}.3\text{Al}_2\text{O}_3.32\text{H}_2\text{O}$), mullit, plajiyoklaz, feldspat gibi kalsiyum silikatlar da bulunabilmektedir. Her iki külde de, alkali feldspatlara rastlanmaktadır (Özmal [87]).

Çizelge 5.2'de F ve C sınıfı uçucu küllerin içerdikleri camı ve kristal yapılar verilmektedir.

Çizelge 5.2 Düşük kireçli F sınıfı uçucu külleriyle yüksek kireçli C sınıfı uçucu küllerinin içerdikleri camı ve kristal yapılar (Joshi vd. [88])

Uçucu Kül İçerisindeki Yapılar	Kapalı Formül
Düşük Kireçli/F Sınıfı	
Hematit	Fe_2O_3
Mullit	$\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$
Kuvars	SiO_2
Yüksek Kireçli/C Sınıfı	
Anhidrit	CaSO_4
Dikalsiyum Silikat	Ca_2SiO_4
Trikalsiyum Alüminat	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$
Hematit	Fe_2O_3
Serbest Kireç	CaO
Melilit	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Al})(\text{Al,Si})_2\text{O}_7$
Mullit	$\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$
Merwinit	$\text{Ca}_3\text{Mg}(\text{SiO}_4)_2$
Magnezyum Oksit	MgO
Kuvars	SiO_2

5.4.3 Uçucu küllerin kimyasal özellikleri

Uçucu külün kimyasal bileşimi kullanılan kömürün yapısı, jeolojik orijini ve proses koşullarına (kömür hazırlama, yanma, toz toplama, desülfürizasyon gibi) bağlıdır.

Uçucu küllerin kimyasal yapılarında temel element olarak; Si, Al, Ca ve S bulunur. Uçucu küllerin matrisi esas olarak alümina silikatlardan ve bunlarla birlikte bulunabilen Fe, Mg, Na, K, Ca, Ti ve nadir toprak elementlerinden oluşur. Uçucu olan veya uçucu

oksitleri oluşturan As, Cd, Ga, Mo, Pb, Se ve Zn gibi elementler matrise girme eğilimi göstermezler. Bu elementler derişimleri tane boyutu ile ters orantılı olarak uçucu küllerin yüzeylerinde toplanırlar (Görhan vd. [61]).

Uçucu küldeki temel oksitlerden SiO_2 %25–60, Al_2O_3 %10–30, Fe_2O_3 %1–15 ve CaO %1-40 oranlarında bulunmaktadır. Buna rağmen uçucu külün temel bileşikleri silis ve alüminadır (Demir [89]). Çizelge 5.3’de uçucu küllerin ASTM C-618 ve TS 639 standartlarına göre sınır değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.3 Uçucu küllerin ASTM C-618 ve TS 639 standartlarına göre sınır değerleri (Aytekin, 2009.90)

Bileşen	ASTM C-618 (%)		TS 639 (%)
	F Sınıfı	C Sınıfı	
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	Min. %70	Min. %50	Min. %70
MgO	Max. %5	Max. %5	Max. %5
SO_3	Max. %5	Max. %5	Max. %5
$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	Max. %1,5	Max. %1,5	-
Nem	Max. 3	Max. 3	Max. 3
Kızdırma Kaybı	Max. %12	Max. %6	Max. %10

Çizelge 5.4’te ise Türkiye’deki bazı uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları verilmektedir.

Çizelge 5.4 Türkiye’deki bazı uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları (Alataş [63])

Oksit (%)	Afşin-Elbistan	Çatalağzı	Seyitömer	Tunçbilek	TS 639	ASTM C-618	
SiO ₂	27,4	56,8	40,6	56,4	-	F	C
Al ₂ O ₃	12,8	24,1	9,1	23,0	-	-	-
Fe ₂ O ₃	5,5	6,8	7,7	10,1	-	-	-
Si+Al+Fe	45,7	87,7	57,4	89,5	>70	>70	>50
CaO	47,0	1,4	19,9	2,1	-	-	-
MgO	2,5	2,4	8,1	3,3	<5	<5	<5
SO ₃	6,2	2,9	10,6	0,4	<5	<5	<5
Alkali	0,3	3,0	1,4	0,9	-	<1,5	<1,5
TiO ₂	0,7	1,1	0,7	1,1	-	-	-
Kızdırma kaybı	2,4	0,6	1,4	1,1	<10	<12	<6

5.4.4 Uçucu küllerin puzolanik özelliği

ASTM C 618’e göre kendi kendine bağlayıcılık özelliği çok az olan veya hiç olmayan ancak uygun rutubet şartlarında ve normal ortam sıcaklığında kireç ile reaksiyona girip bağlayıcı özelliği olan ürünler açığa çıkaran, ince toz halindeki silisli veya silisli ve alüminli maddelere puzolan denir. Puzolanlar esasen reaktif silisyum dioksit (SiO₂) ve alüminyum oksit (Al₂O₃)’den oluşmuştur. Geri kalan kısım demir oksit (Fe₂O₃) ve diğer oksitleri içerir. Reaktif SiO₂ miktarı kütlece %25’den az olmamalıdır (Gündeşli [91]).

Uçucu küller, puzolanik özellikleri nedeni ile puzolan olarak kullanılabilen malzemelerdir (Özyurt [92]). Uçucu küller, baca gazları ile sürüklenir ve hava ile temas ederek ani soğuma ile puzolanik özellik kazanırlar. Uçucu küller çoğunlukla kendi başlarına bağlayıcı özelliği olmayan ancak sulu ortamda kireçle birleştirildiklerinde bağlayıcılık özelliği kazanan puzolanik malzemelerdir. Kireç ve su ile karıştırıldıktan sonra artan süre ile birlikte uçucu küllerin puzolanik özellikleri artmaktadır. Ayrıca CaO miktarı yüksek uçucu küller daha iyi puzolanik özellik göstermektedir (Alkaya [82]).

5.5 Uçucu Küllerin Kullanım Alanları

Termik santral atıklarının endüstride ve birçok mühendislik dalında değerlendirilmesiyle, bu atıkların depolama sorunu büyük ölçüde ortadan kalkacağı gibi, çevresel sorunlar da bertaraf edilecek ve özellikle de kısıtlı diğer hammaddelerden tasarruf edilmesini sağlayacaktır (Kantürk [93]). Uçucu küllerin kullanım alanları aşağıda verilmektedir:

Beton ve çimento üretiminde kullanılması: çimento yapımında kullanılan hammaddeler CaO , SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 olmak üzere başlıca dört bileşiği içerirler. Uçucu küllerde de değişik oranlarda aynı bileşikler bulunduğu için çimento üretiminde kullanılmaktadırlar. Puzolanik özellik gösteren uçucu küller, çimento ile birlikte kullanıldıklarında, çimentonun hidratasyonu sırasında ortaya çıkan kalsiyum hidroksit ile kimyasal reaksiyona girerek bağlayıcı özellik kazanırlar (Özdemir [85]). Beton üretiminde, bağlayıcı madde olarak kullanılan Portland çimentosunun bir kısmı yerine mineral katkı maddesi olarak uçucu kül kullanılabilmektedir, bu şekilde uçucu kül kullanılarak yapılan betonlara uçucu kül katkılı betonlar denir. Ayrıca beton üretiminde kullanılan ince agreganın bir kısmı yerine de uçucu kül kullanılabilmektedir (Öksüz [84]).

Hafif agrega üretiminde kullanımı: hafif agregalar, hem doğal olarak hem de bazı malzemelere uygulanan çeşitli prosesler sonucunda elde edilebilir. Uçucu küller 1100-1200°C'de bir miktar ergime göstererek ve uygulanan sertleştirme yöntemine bağlı olarak yuvarlak veya silindirik taneli agregalar oluşturmaktadır. Doğal agregaya oranla daha hafif olan bu agregaların kullanılması ile hafif beton elde edilmektedir (Özdemir [85]).

Uçucu küllerin tuğla üretiminde kullanımı: tuğla üretiminde kullanılan kiler SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , K_2O , Na_2O ve TiO_2 'den meydana gelmektedir. Uçucu küllerde aynı oksitleri içerdikleri için tuğla üretiminde kullanılabilmektedirler. Uçucu küller çok ince taneli olmaları, sertleştiklerinde yüksek dayanım vermeleri ve kilin yapısındaki oksitleri içermelerinden dolayı tuğla üretiminde kullanılmaya elverişlidir ve tuğla üretiminde yardımcı ve düzeltme maddesi olarak veya esas malzeme olarak kullanılırlar (Kaya [78]).

Gaz beton: gaz-beton, çimento veya kireç ile uçucu kül karışımından otoklavda hava ya da başka bir gaz geçirilmesiyle elde edilmektedir. Ateşe karşı son derece dayanıklı, hafif ve ısı yalıtımı sağlayabilen gaz betonlar uçucu kül karışımının kullanılması ile daha ucuza mal edilebilirler (İbiş [94]).

Geoteknik uygulamalarda ve yol yapımında kullanılması: zemin iyileştirmede iyileştirici katkı malzemesi olarak, enjeksiyon malzemesi olarak, dolgu malzemesi olarak (Kanal kaza dolgu malzemesi, baraj dolgu malzemesi, temel altı dolgusu, istinat duvarı arka dolgusu, yol inşaatında dolgu malzemesi ve iyileştirme malzemesi), atık depolama tesislerinde taban, yan ve üst sızdırmazlık tabakası olarak kullanırlar (Aytekin [95]).

Uçucu küllerin seramik ve cam üretiminde kullanımı: uçucu küller kil ve feldspat ilavesi yapılarak sanatsal seramiklerin üretiminde kullanılmaktadır. Uçucu küller seramik sanayinde kullanıldığında sağladığı avantajlar, tane boyunun küçüklüğü, öğütme masraflarının olmayışı, maliyetinin çok az olması ve içerdiği karbon miktarının pişirme sırasında sağladığı enerji tasarrufudur. Uçucu küllerden aynı zamanda cam seramiklerinin üretiminde de yararlanılmaktadır (Kaya [78]).

Uçucu külün tarımda kullanımı: uçucu kül özellikle fiziksel yapısının bitki yetiştirmeye olan uygunluğu ve içinde makro ve mikro besinleri bulundurması sebebiyle engin bir potansiyele sahiptir. Uçucu külde ağır toksik elementlerinin bulunması kaygı sebebidir. Tarımda uçucu kül kullanımında bu elementlerin varsa negatif etkileri göz önünde bulundurulmak zorundadır (Kantürk [93]).

Bileşiğe giren madde olarak: uçucu küllerin nikel kaplamacılıkta kullanılmaya başlanmasıyla aşınmaya karşı kaplanan malzemelerin direnci iyileşmiştir. Uçucu kül parçacıklarının ve nikelin birbirlerine çok iyi bağlanmaları yüksek aşınma direncinin sağlanmasına neden olmuştur. Aynı zamanda uçucu küller metal kompozisyona sahip parçaların yoğunluğunun azaltılmasında kullanılmaktadır (Kantürk [93]).

Koagülant ve adsorban olarak kullanımı: uçucu kül birim hacim başına büyük bir özgül yüzey alana ve çok geniş bir tane dağılımına sahiptir. Uçucu küllerin karbon içeriği %1-60 arasında değişmektedir. Uçucu külün yapısındaki karbon miktarı arttıkça adsorplama kapasitesi de artmaktadır. Uçucu külün içerisindeki silika, alüminyum,

kalsiyum, magnezyum ve toprak alkali maddeleri su içinde ya da derişik asit çözeltisi içinde serbest hale gelirler. Böylece ham uçucu kül ile elde edilen çözeltiler su ve atık su arıtma işlemlerinde ya da atık sulardaki ağır metallerin adsorplanmasında önemli rol oynamaktadırlar (Altunay [96]).

Belirtilen alanların dışında uçucu küllerin kullanıldıkları diğer alanlar şunlardır:

- Maden ocaklarında filtre olarak
- Cam üretiminde hammadde olarak
- Harç yapımında
- Isı yalıtım malzemesi olarak
- Bataklık kurutmada
- Metal yüzeylerinin püskürtme ile temizlenmesinde
- Petrol kuyusu sondajlarında
- Kerpiç üretiminde bağlayıcı malzeme olarak
- Baraj, otoyol, nükleer santral gibi yapılarda
- Tarımda sıkı toprağın gevşetilmesi ve nem tutma yeteneğinin artırılmasında
- Döküm kumu olarak
- Dolgu malzemesi olarak çatı malzemeleri, sabun, kâğıt, lastik, plastik ve suni gübre sanayinde
- Kömür madenlerinde çökme ve yangın kontrolünde
- Buz kontrolünde
- Emülsiyon üretiminde (Özdemir [85]; Ulusoy [97]; Üstün [98]).

BÖLÜM 6

PELETLEME

6.1 Peletleme

Peletleme, ince boyutlu demir cevheri veya genellikle konsantrelerin, uygun bir bağlayıcı ve gerekli su katkısı ile özel cihazlarda, belirli boyutlarda yaş küreler haline getirilmesi, ardından dayanıklılık kazandırmak amacıyla 1200-1300°C sıcaklıklarda pişirilmesi işlemini kapsayan bir aglomerasyon yöntemidir. Peletleme işlemi özellikle demir cevherlerine ve bunların dışında krom cevherleri, kurşun cevherleri gibi bazı demir dışı metal cevherlerine de uygulanabilmektedir (Tuğrul vd. [99]).

Peletler sert ve küresel hammaddelerdir. Yüksek fırında kullanılabilmeleri için aşağıdaki özellikleri taşımaları gerekir (Tuğrul [100]):

- Peletler; toz, kırıntı ve ince kısımdan arındırılmış, uygun tane boyunda olmalıdır.
- Taşıma ve stoklama sırasında meydana gelebilecek darbelere dayanıklı olmalıdır.
- Yüksek fırında ısınmaya ve çeşitli reaksiyonlara dayanıklı olmalıdır.
- Zamansız ufalanma ve parçalanma göstermemelidir.

6.2 Peletleme Hammaddeleri

6.2.1 Cevher

Peletlenecek cevher fiziksel kimyasal bazı özelliklere sahip olmalıdır. Yapısına göre %60 Fe içerikli cevherler peletlenebilmektedir, ancak dünyada genellikle %65'ten daha fazla

Fe içeren cevherler peletlenmektedir. Ham peletin üretilmesinde en önemli etkenlerden biri cevherin özgül yüzey alanıdır. Cevherin yapısına göre bu değer 1500 g/cm^2 civarında olabilir.

Peletlemede beslenen malzemeler, hazırlanış şekline göre, kuru tanelerin yığını veya yaş filtre keki olabilirler. Cevherler bazen kuru öğütülerek bazen da yaş sistemde öğütülerek hazırlanırlar. Daha çok konsantreler filtre keki olarak elde edilirler. Düşük ya da yüksek orandaki nem peletlemeyi olumsuz etkiler (Üstün [98]).

6.2.2 Bağlayıcılar

Ham peletlerin hazırlanması, aglomerasyonun önemli bir basamağı olup hazırlık aşamasında bağlayıcı kullanımı gerektirir. Ham pelet yapısının oluşumunda bağlayıcı kullanım oranı filtre kekinin nemi ile doğru orantılıdır. Özellikle toprakların büyüme hızı nem ile kontrol edilir. Bu nedenle bağlayıcı olarak kullanılan maddeler suyun akışkanlığını azaltacak nitelikte olmalı, peletlenecek malzemenin yapısal özelliklerini bozmamalı, peletleme işlemindeki diğer bölümlere uyum sağlamalıdır. Ayrıca peletlemede kullanılacak malzemenin seçiminde kolayca ve yeterli miktarda bulunabilmesi ve ekonomik olması en önemli etkenlerdir(Tuğrul [100]).

6.2.2.1 Diatomit

Diatomit alglar sınıfından su canlıları diatomelerin silisli kabuklarının birikimi ile oluşmuş fosil karakterli bir birikim kayasıdır [101]. Diatomit tebeşir görünümünde, genellikle amorf silisten ibaret açık renkli, sertliği mohr sertlik skalasında 4-6,5 olarak gösterilen, su ile karıştırıldığında yapışkan çamur meydana getirmeyen, parmaklar arasında kolayca ezilebilen bir maddedir.

Saf diatomit, opalin ve sulu silikadan teşekkül etmiş olup az miktarda inorganiklerde (alüminyum, demir, toprak mineralleri) içerir. Doğada bulunduğu şekli ile diatomit aşırı miktarda su içerir ki, bu oran %10 ile %60 arasında değişir. Kuru diatomitin özgül ağırlığı $0,34- 0,67 \text{ g/cm}^3$ gelmektedir. Organik madde içeren yataklarda çok farklıdır. Bunların rengi çok açık renkli ten renginde gri hatta kahverengine kadar değişir. Toz haline getirilmiş diatomit ürünlerinin özgül ağırlığı $1,9- 2,35 \text{ g/cm}^3$ 'tür.

Türkiye’de diatomit yatakları ve rezervi: Dünyanın birçok bölgesinde bulunan diatomit, ülkemizin farklı bölgelerinde de bulunmaktadır. Çeşitli amaçlara yönelik olarak kullanılabilecek nitelikte oldukça kaliteli kaynaklarımız olduğu ve toplam miktarın tahmini olarak 100 milyon tonu aştığı söylenebilir. Tespit edilebilen yataklarımızın bulunduğu iller şunlardır. Afyon, Ankara, Aydın, Balıkesir, Bingöl, Çanakkale, Çankırı, Denizli, Eskişehir, Kayseri, Konya, Kütahya, Niğde, Sivas ve Van'dır [102].

- Ankara: Gürcü Köyü çevresi, Başbereket Köyü çevresi
- Çanakkale: Keçialan Köyü çevresi
- Çankırı: Akhasan Köyü, Karaağaç Köyü, Baslak Köyü çevresi
- Denizli: Karakıran Köyü, Tırkaza Köyü çevresi
- Kütahya: Alayunt Köyü çevresi
- Uşak: Kayagil Köyü çevresi
- Kayseri: Hırka Köyü çevresi

Diatomitin kullanıldığı yerler: Diatomitin kullanma sahası özellikle gözenekliliği, ses, ısı ve elektriği iyi geçirmemesi, kimyasal maddelere karşı dayanıklılığı, yoğunluğunun az olması sebebi ile birçok sahada kullanılmaktadır. Diatomitin sanayide kullanıldığı yerler aşağıda sıralanmıştır [102]:

- Süzme
- Doldurucu veya ilave madde,
- Ses ve ısı değişmesine karşı yalıtıcı,
- Adsorbant
- Katalizör taşıyıcısı
- Yapay silikat imali,
- İnşaat malzemesi (Betona %3 karıştırıldığında basınç direncinin %20, çekme direncinin %10 oranında arttığı gözlenmiş.)

- Kimyasal gübreler için sertleşmeyi önleyici unsur olarak.

Diatomit ürünlerinin en büyük kullanımı süzme işlemlerindedir. Bunu dolgu ve yalıtım uygulamaları izlemektedir. Özellikle gelişmiş ülkelerde diatomit ürünleri, sanayideki yerini almış durumdadır [102].

6.2.2.2 Pirinç Kabuğu

Pirinç kabuğu, pirinç üretiminde, pirincin beyaz pirince işlenmesi sırasında ortaya çıkan en önemli yan ürünlerden biridir. Pirinç tarladan toplandığında, tamamen kabuk ile kaplanmış tane halindedir. Çeltik fabrikalarında, ham pirinç öğütülerek pirinç tanesinin %25'ini oluşturan en dışta bulunan kabuk alınır ve cilalama işlemi yapılarak beyaz pirinç elde edilir (Özgül-Yücel [103]). Pirinç kabuğunun kimyasal bileşimi, yetiştiği coğrafi konuma ve özel yetiştirme uygulamalarına göre değişiklik gösterir.

Pirinç kabuğu günümüzde, çelik endüstrisinde çeliğin soğumasını yavaşlatmak amacıyla ve yapı malzemesi olan hafif beton üretiminde çimento katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, kauçuk üretiminde dolgu malzemesi olarak değerlendirilir (Kuşkonmaz [104]). Pirinç kabuğu %20 silis içeriği sayesinde, silisyum karbür, silika, silisyum nitrür, saf silikon ve zeolit gibi silisyum bazlı malzemelerin üretimi için hammadde haline gelmiştir (Kamath ve Proctor [105]).

Pirinç kabukları, birçok ülkede endüstriyel olarak yakılmaktadır. Yakma işlemi enerji sağlamanın yanı sıra, silis bakımından zengin ve endüstriyel olarak kullanılabilen yan ürün olan pirinç kabuğu külü elde edilmesini sağlar. Yakma işlemi sırasında organik kısımlar yanmasına rağmen, silisin kabuktaki bitkisel hücrelerin zarında yoğunlaşmasından dolayı yapı kendini korumaktadır (Kuşkonmaz [104]).

Pirinç kabuğu külü, işlem görmemiş haliyle, atık arıtmada filtrasyon malzemesi ve adsorban olarak kullanılır (Proctor [106]). Pirinç kabuğu külü %60 oranında zengin bir silis içeriğine sahiptir ve silika bazlı maddelerin üretimi için ekonomik bir hammaddedir (Kamath ve Proctor [105]).

Pirinç kabuğu külün gözenekliliği, özgül yüzeyinin büyüklüğü ve amorf silise sahip olması, külün puzolanik özelliğe sahip olduğunu kanıtlamaktadır. Pirinç kabuğu külünü

puzolanik özelliğinden faydalanarak, çimento veya kireç içerisinde katılarak puzolan gibi de kullanılabilir. Ama çok iyi öğütülmesi gerekir.

6.2.2.3 Melas

Şekerin kristallendirilmesi sırasında geriye kalan ve artık kapsadığı şekerin, şeker fabrikalarında uygulanan usullerle kristallenme olanağı bulunmayan melas, koyu kahverenkli ve çok ağdalı, pekmez görünümünde bir maddedir. Bu madde, yaklaşık olarak %50 oranında şeker, %30 oranında şeker dışı maddeler ve %20 oranında da su kapsar ve kapsadığı bu yüksek orandaki şeker nedeniyle çok aranan ve tüketilen değerli bir hammaddedir [107].

Sorghum şurubu olarak da bilinen melasın çoğu Küba, Brezilya ve Hindistan gibi sıcak iklimli ülkelerde yetişen şeker kamışından elde edilir. Pancar melası ise daha çok ılıman iklime sahiptir ve Amerika, Almanya, Fransa ve diğer ülkelerde üretilir.

Melasın kalitesi, şeker kamışı ya da şeker pancarının olgunluk seviyesine, ekstrakt edilen şekerin miktarına ve ekstraksiyon metoduna bağlıdır:

Şeker kamışı melası: Şeker kamışından ham şeker elde edilirken, santrifüj ismi verilen döner makineler yardımıyla kamış melası, şeker kristallerinden ayrılır. Bu işlem üç kademe yapılır. Ele geçen ilk porsiyon, sonrakilerden daha açık renkli ve sakarozca da daha zengindir. Üçüncü ve genellikle sonuncu olan porsiyon, kıvamlı, koyu renkli ve ağır bir tattadır. Bu porsiyon şekerin kristallendirilerek ekonomik olarak elde edilebildiği son porsiyondur. Açık renkli olan melas yaklaşık %65 karbonhidrat, %24 su, %6 kül ve az miktarda minerallerle B grubu vitaminlerden oluşur. Koyu renkli melas ise %55 karbonhidrat, %24 su, daha yüksek yüzdede mineral ve vitaminler içerir. Açık melas genel olarak şekerlemede, koyu melas ise sığır, koyun ve at yemlerinde kullanılır. Endüstride melas alkollü içki ve birtakım kimyasalların üretiminde de kullanılır.

Pancar melası: Santrifüj, pancar melasını, buharlaştırma işlemi ile elde edilen şeker kristallerinden ayırmada kullanılır. Pancar melasının, kamış melasına nazaran daha az vitamini vardır. Tadının çok iyi olmaması sebebiyle kullanılma sahası, başlıca hayvan yemi ve alkollü içkiler olmaktadır [108].

Melasın kimyasal kompozisyonu Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1 Melasın kimyasal kompozisyonu [108]

Protein	%4,0
Kuru madde miktarı	%72,0
Kalsiyum	%0,9
Fosfor	%0,1
Potasyum	%2,5

Kuru madde olarak; azotlu organik maddeler, diğer organik maddeler ve inorganik maddelerden oluşur.

Melasın başlıca kullanım alanları şunlardır:

- Hayvancılık (düşük sakkaroz oranlı melas)
- Kömür sanayi
- Gübre yapımı
- Yem üretimi
- Alkol üretimi
- Maya üretimi

DENEYSEL ÇALIŞMA

7.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Enstrümental Analiz Cihazları

Termik santrallerden alınan uçucu küllerden en iyi sonucu veren Seyitömer uçucu külünün karakterizasyonu yapılmıştır.

7.1.1 X-Işını difraktometre cihazı (XRD)

Enstrümental analiz cihazlarından biri olan X-Işını difraktometre cihazı (XRD) malzemenin içerdiği kristal fazları belirlemede kullanılan cihazdır. Havası boşaltılmış bir tüp içerisinde üretilen X ışınlarının örneğin üzerine gönderilmesi ve bu ışınların örneğe çarpmasının ardından kırılma ve dağılma verilerinin toplanması temeline göre çalışır.

Deneysel çalışmalarda kullanılan Seyitömer termik santrallerinden alınan uçucu kül numunelerinin kristal yapı analizi, Philips Panalytical X'Pert Pro X-Işını difraktometre cihazıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 7.1). Cihazda X-Işınları 45 kV ve 40 mA değerlerinde $\text{CuK}\alpha$ tüpünde üretilmektedir.



Şekil 7.1 XRD cihazı

7.1.2 X-ışınları floresans spektroskopisi cihazı (XRF)

Elementel analiz yapılmasını sağlayan X-ışını floresans spektroskopisi cihazı (Şekil 7.2) numunelerin üzerlerine X-ışınlarının gönderilmesi ve numunelerin kendi karakteristik X-ışını floresansını yayması temeline dayanmaktadır.



Şekil 7.2 XRF cihazı

Hammaddelerimizin majör ve eser element dağılımları XRF analiz tekniği kullanılarak belirlenmiştir.

7.1.3 İndüktif eşleşmiş plazma-optik emisyon spektrometresi (ICP-OES)

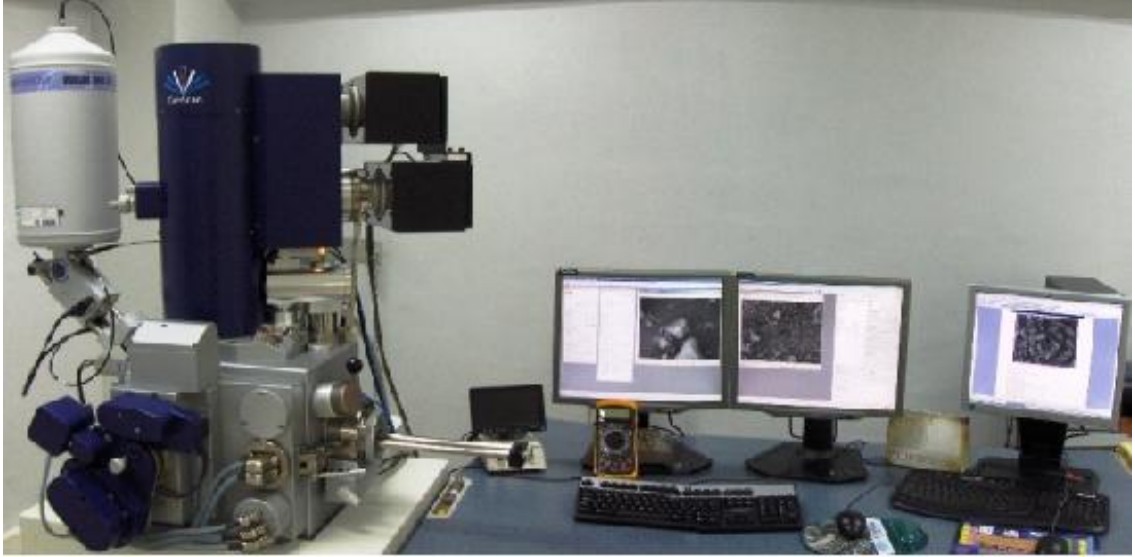
Adsorplama deneyleri sırasında yapay atık sulardan alınan numunelerin elementel analizi Perkin Elmer (Optima 2100 DV) marka optik emisyon spektrometresiyle (Şekil 7.3) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.3 ICP-OES cihazı

7.1.4 Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Uçucu kül numunelerinin morfolojik yapısı CamScan (Apollo 300) marka SEM cihazıyla (Şekil 7.4) gerçekleştirilmiştir. Numuneden alınan örnekler karbon bant yardımıyla cihazın örnek kabına sabitlenerek altın ile kaplanmış ve iletken hale getirildikten sonra analiz için hazır hale getirilmişlerdir.



Şekil 7.4 SEM cihazı

7.1.5 Termogravimetrik ve diferansiyel termal analiz (TG/DTA)

Numelerin termal analizleri, Perkin Elmer (Pyris Diamond) marka Termogravimetrik ve diferansiyel termal analiz cihazıyla yapılmıştır (Şekil 7.5).



Şekil 7.5 TG/DTA cihazı

7.2 Deneysel sistem

7.2.1 Etüv

Deneysel çalışmalarda kullanılan uçucu kül numunelerinin nem giderilme işlemleri 300°C'ye kadar ısıtma yapabilen Binder ED53 marka etüvde (Şekil 7.6) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.6 Etüv

7.2.2 Yüksek sıcaklık fırını

Uçucu küllerin peletleme işleminden sonra pişirilme işlemleri 1800°C sıcaklığa kadar çıkabilen Protherm marka yüksek sıcaklık fırınında gerçekleştirilmiştir (Şekil 7.7).



Şekil 7.7 Yüksek sıcaklık fırını

7.2.3 Hassas terazi

Uçucu küllerin ve bağlayıcıların tartımında Scaltec marka hassas terazi (0,001 hassasiyetle) kullanılmıştır (Şekil 7.8).



Şekil 7.8 Hassas terazi

7.2.4 Peletleme cihazı

Deneyde kullanılan uçucu küller ve bağlayıcıların peletleme Manfredi OL57 (Şekil 7.9) peletleme cihazında (30 MPa basınçta 2 dakika boyunca) gerçekleştirilmiştir.

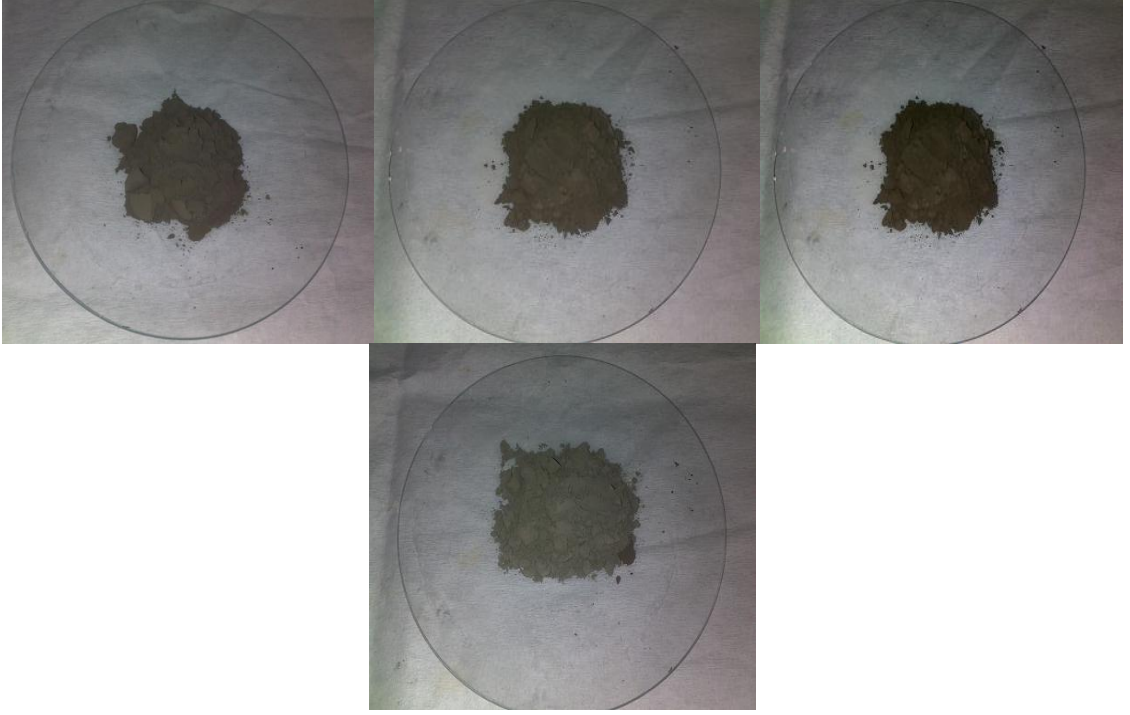


Şekil 7.9 Peletleme cihazı

7.3 Kullanılan Hammaddeler

7.3.1 Uçucu kül

Bu çalışmada Tunçbilek, Seyitömer, Orhaneli ve Çatalağzı termik santrallerinden temin edilen uçucu küller (Şekil 7.10) kullanılmıştır.



Şekil 7.10 Termik santrallerinden alınan uçucu kül örnekleri

7.3.2 Diatomit

Peletleme denemelerinde bağlayıcı olarak beyaz renkli diatomit (Şekil 7.11) kullanılmıştır.



Şekil 7.11 Diatomit

7.3.3 Melas

Peletleme denemelerinde bağlayıcı olarak diatomitin yanında %50'lik (%50 melas+ %50 saf su) melas çözeltisi kullanılmıştır (Şekil 7.12).



Şekil 7.12 Melas çözeltisi

7.3.4 Pirinç kabuğu

Peletleme denemelerinde bağlayıcı olarak beyaz renkli pirinç kabuğu (Şekil 7.13) kullanılmıştır.



Şekil 7.13 Pirinç kabuğu

7.4 Deneyin yapılışı

Bu çalışmada; Çatalağzı, Orhaneli, Seyitömer ve Tunçbilek uçucu külleri kullanılmıştır. Uçucu küllerin karakterizasyon deneyleri tamamlandıktan sonra adsorban malzemenin, yani uçucu küllerin yüzey alanını ve gözenekliliğini, dolayısıyla adsorbansını arttırmak amacıyla peletleme işlemi yapılmıştır. Peletleme denemeleri sırasında; bağlayıcı olarak 1. uygulamada pirinç kabuğu ve melas, 2. uygulamada diatomit ve melas, 3. uygulamada diatomit, melas ve pirinç kabuğu kullanılmıştır. Daha sonra hazırlanan bu peletler, dayanımlarının artırılması amacıyla pişirilmiştir. Pelet pişirme işlemi kademeli

olarak yapılmıştır. Ön çalışmalarda 250°C, 650°C ve 950°C, diğer deneylerde 250°C, 650°C ve 1200°C gibi yüksek sıcaklıklara çıkılmıştır. Son aşamada adsorbans kapasitesini artırmak amacıyla diatomit, melas, pirinç kabuğu gibi katkı maddeler ilave edilerek peletlenmiş uçucu küllerin adsorpsiyon kapasiteleri belirlenmiş ve bugüne kadar kullanılmış diğer adsorban malzemelerle karşılaştırılmıştır. Son aşamada, bu peletlerin yapay olarak hazırlanmış olan atık sulardan Zn ve Cd metalinin adsorplanmasında kullanılabilirliği incelenmiştir. Peletler adsorpsiyon deneylerinde kullanılarak deney boyunca belirli sürelerde atık sulardan alınan numunelerin elementel analizleri ICP-OES cihazında gerçekleştirilmiştir.

Adsorpsiyon kapasitesine göre optimum sonuç veren Seyitömer santralleri uçucu kül numuneleri neminin giderilmesi için 2 saat etüvde tutulduktan sonra, numunelerinin karakterizasyon için XRD, XRF ve SEM analiz yöntemleri kullanılmıştır.

X-Işını Difraksiyon Spektroskopisi analizinde, her bir uçucu kül numunesinden yaklaşık 1 g ağırlığında örnekler alınıp XRD cihazında analizleri yapılmıştır.

XRF analizi için Seyitömer termik santrallerinden alınan uçucu kül numunelerinden peletleme cihazında 1'er tane silindirik pelet basılmıştır. Pelet işlemi için her bir uçucu kül numunesinden 10'ar gram tartılıp içine bağlayıcı koyularak homojen bir karışım elde etmek amacıyla havanda karıştırılmıştır. Hazırlanan uçucu kül+bağlayıcı toz karışımı peletleme işleminin yapılacağı peletleme cihazına konulduktan sonra 30 MPa basınçta 2 dakika boyunca bekletilmiştir. 2 dakikanın sonunda XRF analizi için gerekli olan peletler (Şekil 7.14) elde edilmiştir.



Şekil 7.14 XRF analizi için basılan peletler

Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunelerinin morfolojik yapısını belirlemek amacıyla SEM analiz cihazı kullanılmıştır.

7.4.1 Peletleme İşlemi

Adsorpsiyon çalışmalarında kullanılacak olan peletler hazırlanırken, öncelikle Çatalağzı, Seyitömer, Orhaeli ve Tunçbilek uçucu kül numunelerinden 10 g alınmış ve 105°C'deki etüvde 2 saat bekletilerek nem giderme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Etüvden alınan uçucu kül numuneleri desikatörde soğumaya bırakılmıştır.

1.uygulamada; pirinç kabuğu ve melas, 2. uygulamada; diatomit ve melas, 3. uygulamada diatomit, melas ve pirinç kabuğu kullanılmıştır.

Çatalağzı, Seyitömer, Orhaeli ve Tunçbilek termik santrallerinden alınan uçucu kül numunelerinden her birinden 10'ar gr alınmıştır. 1. uygulamada; 0; 0,1; 0,5 ve 1,0 g pirinç kabuğu ve 0; 0,25; 0,50 ve 0,75 ml melastan oluşan farklı karışımları için peletler hazırlanmıştır. 2. uygulamada; 0; 0,1; 0,5 ve 1,0 g diatomit ve 0; 0,25; 0,50 ve 0,75 ml melastan oluşan farklı karışımlar için peletler hazırlanmıştır. 3. uygulamada ise; 0; 0,1; 0,5 ve 1,0 g diatomit, 0; 0,25; 0,50 ve 0,75 ml miktarlarda melas ve 0; 0,1; 0,5 ve 1,0 g pirinç kabuğundan oluşan farklı karışımlar için peletler hazırlanmıştır. Elde edilen yaş peletler etüvde 105°C'de 24 saat tutulduktan sonra, fırında pişirme işlemine tabi tutulmuştur. Ön çalışmalarda oluşturulan peletler 950°C 'ye kadar kademeli olarak pişirilmiştir. Ön çalışmalardan sonra, peletler, 1200°C'ye kadar kademeli olarak pişirilmiştir (Şekil 7.15).



Şekil 7.15 Pişmiş peletler

7.4.2 Adsorpsiyon deneyleri

Oda sıcaklığı, pH:5, karıştırma hızı: 300 rpm; adsorpsiyon şartlarıdır. Adsorpsiyon için uçucu küllerden elde edilen (Çatalağzı, Seyitömer, Orhaneli ve Tunçbilek) peletler kullanılmış, bunun için 100 ppm'lik olarak hazırlanmış yapay Zn çözeltisi içine konulmuştur. Çatalağzı, Seyitömer, Orhaeli ve Tunçbilek termik santrallerinden alınan uçucu kül numunelerinden basılan peletler yapay atık suya ilave edilmiş ve iyi bir adsorpsiyonun sağlanması için yaklaşık 3 saat ısıtıcılı magnetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. 2 saat boyunca oda sıcaklığında çözelti karıştırılarak, 30., 60., 90., 120. ve 150. dakikalarda numuneler alınarak ICP cihazında analiz edilmiştir. Sonuç olarak, atık su içine atılan peletlerin, gerek oluşturulan karışımın içeriğinden, gerekse adsorplama şartlarından dolayı Zn ağır metalini farklı oranlarda adsorpladığı gözlemlenmiştir.

Diğer çalışmada ise; adsorpsiyon şartları, pH:4, karıştırma hızı: 300 rpm ve sıcaklık: oda sıcaklığıdır. Aynı şekilde peletlet hazırlanmış, bunun için 5 ppm'lik olarak hazırlanmış yapay Cd çözeltisi içine konulmuştur. Peletler yapay atık suya ilave edilmiş ve 3 saat ısıtıcılı magnetik karıştırıcıda karıştırılmıştır 30., 60., 90., 120. ve 150. dakikalarda numuneler alınarak ICP-OES cihazında analiz edilmiştir. Adsorpsiyon deney düzeneği Şekil 7.16'de gösterilmiştir.



Şekil 7.16 Adsorpsiyon deneyleri

DENEYSEL SONUÇLAR

8.1 Ön Deneysel Çalışmalar ve Sonuçları

8.1.1 Pirinç kabuğu külü karakterizasyonu ve sonuçları

Toz haline getirilmiş olan pirinç kabuğunun karakterizasyonu amacıyla TG-DTA analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda pirinç kabuğu yüksek sıcaklığa (1200°C) dayanamayacağı için 1. uygulamada; 0; 0,1; 0,5 ve 1,0 g pirinç kabuğu, 0; 0,25; 0,50 ve 0,75 ml melastan oluşan ve 2. uygulamada; 0; 0,1; 0,5 ve 1,0 g miktar diatomit, 0; 0,25; 0,50 ve 0,75 ml melas, 0; 0,1; 0,5 ve 1,0 g pirinç kabuğundan oluşan farklı bağlayıcı katkılarıyla kademeli olarak 250°C, 650°C ve 950°C'lerde pişirilmiştir. Düşük sıcaklıklardan dolayı peletler adsorpsiyon işlemi için uygun olmamıştır.

8.1.2 Sıcaklık uygulamaları ve sonuçları

Çatalağzı, Orhaneli, Seyitömer ve Tunçbilek termik santrallerine ait uçucu küller kademeli olarak 250°C, 650°C ve 950°C'lerde pişirilmiştir. 1100°C' lere kadar çıkmıştır. Fakat, düşük sıcaklıklardan dolayı peletler adsorpsiyon işlemi için uygun olmamıştır. Peletler 1200°C sıcaklıkta adsorpsiyon işlemi için uygundur.

8.2 Kullanılan Uçucu Küllerin Karakterizasyonu

Deneylerde, Çatalağzı, Orhaneli, Seyitömer ve Tunçbilek termik santrallerine ait uçucu küllerden en yüksek adsorpsiyon verimini Seyitömer uçucu külü sonuç vermiştir. Seyitömer uçucu külünün karakterizasyonunda XRD, XRF ve SEM analiz yöntemleri kullanılmıştır.

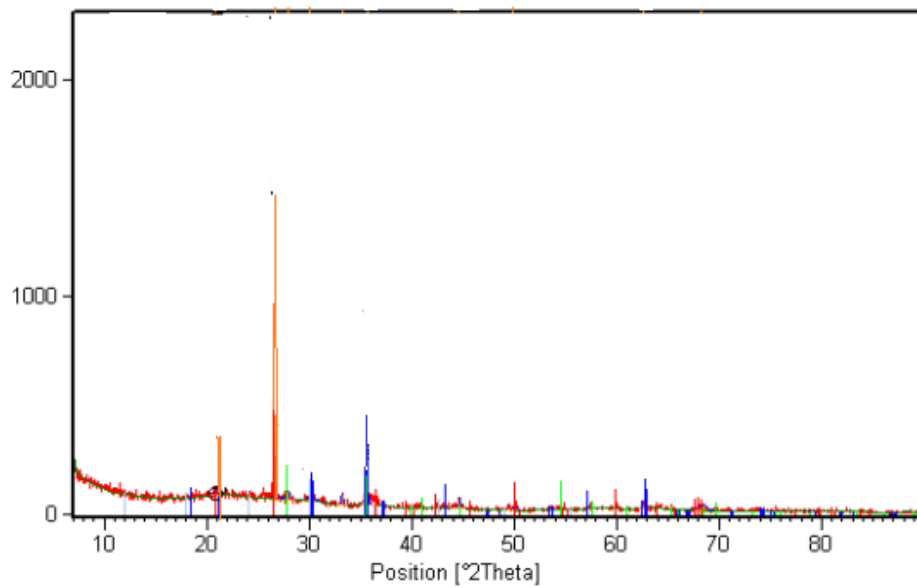
8.2.1 Seyitömer uçucu külünün XRD sonuçları

Seyitömer termik santraline ait uçucu külün XRD analizinde, ana fazın kuvars (SiO_2) yapısında olduğu belirlenmiştir. Ana fazın yanında magnetit yapısına da rastlanılmaktadır. Çizelge 8.1’de Seyitömer termik santraline ait kristal faz yapıları gösterilmiştir.

Çizelge 8.1 Seyitömer termik santraline ait kristal faz yapıları

PDF Numarası	Bileşen	Kimyasal Formül
01-089-1961	Kuvars	SiO_2
01-075-1609	Manyetit	Fe_3O_4

Şekil 8.1’de Seyitömer termik santrali uçucu külüne ait XRD paterni verilmektedir.



Şekil 8.1 Seyitömer termik santrali uçucu külüne ait XRD paterni

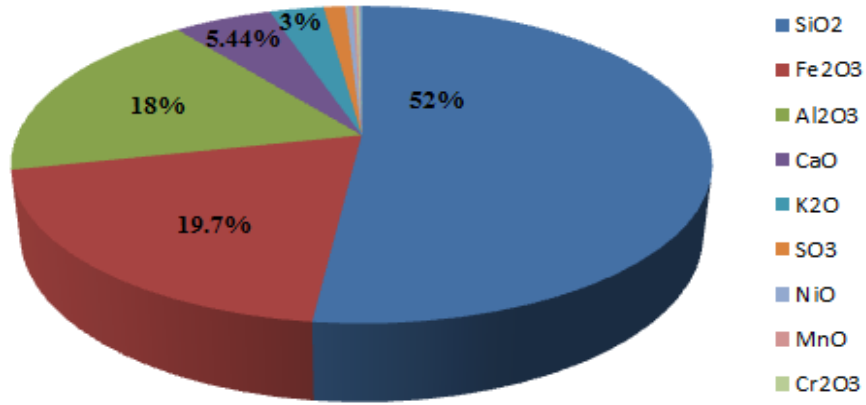
8.2.2 Seyitömer uçucu külünün XRF sonuçları

Seyitömer termik santraline ait uçucu külün XRF analizi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Çizelge 8.2’de ve Şekil 8.2 ’de verilmiştir.

Çizelge 8.2 Seyitömer termik santrali uçucu külü numunelerinin majör ve minör komponent yüzdeleri

Bileşen	İçerik (%)
SiO ₂	52
Fe ₂ O ₃	19,7
Al ₂ O ₃	18
CaO	5,44
K ₂ O	3
SO ₃	1,2
NiO	0,4
MnO	0,18
Cr ₂ O ₃	0,17
CuO	0,1
ZnO	0,054

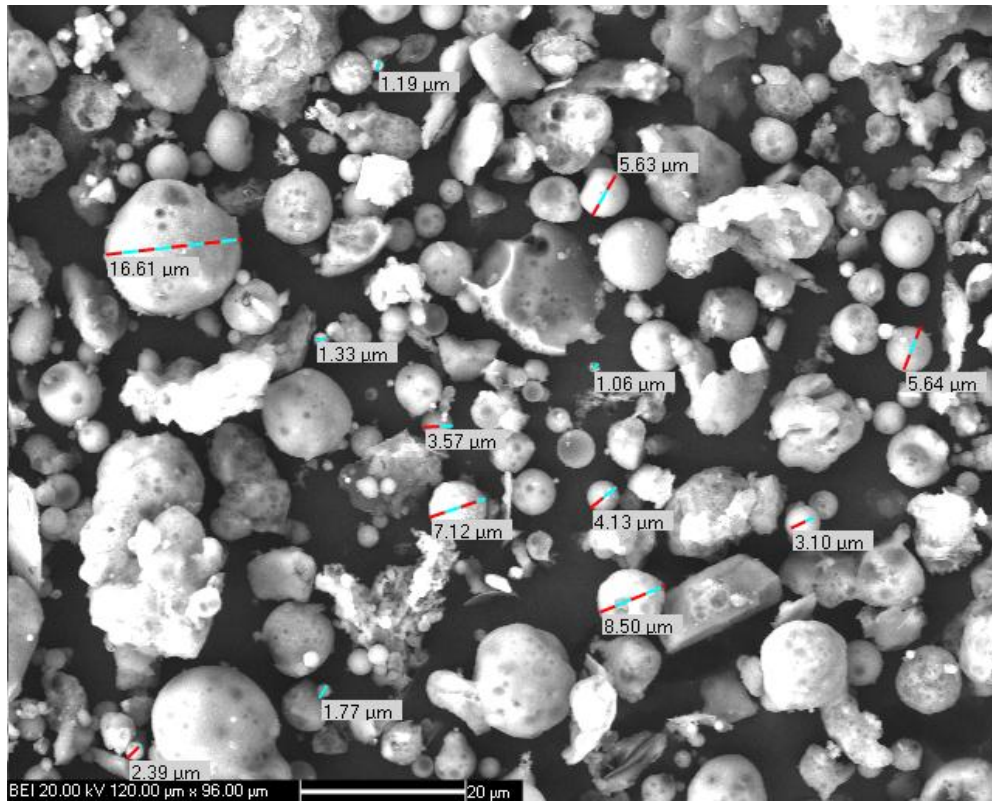
Seyitömer termik santrali uçucu külü içeriğinde de SiO₂ yüzdesi daha fazladır. Ana fazın kuvars (SiO₂) yapısında olduğu belirlenmiştir.



Şekil 8.2 Seyitömer Termik Santrali'nden alınan uçucu kül numunelerinin XRF analizi sonucunda elde edilen majör ve minör komponentlerinin yüzdeleri

8.2.3 Seyitömer uçucu külünün SEM analizi sonuçları

Seyitömer termik santrali uçucu külü morfolojik olarak incelendiğinde 1,06 μm ile 16,61 μm arasında parçacık büyüklüğünün değiştiği görülmüştür. Şekil 8.3'de Seyitömer uçucu külünün SEM görüntüsü verilmektedir.



Şekil 8.3 Seyitömer termik santrali uçucu külü SEM görüntüsü

8.3 Kullanılan Bağlayıcıların Karakterizasyonu

Pirinç kabuğu bağlayıcısının TG-DTA analizi yapılmış ve yüksek sıcaklıklardaki peletin pişirme sırasında olumlu sonuçlar vermediği anlaşılmış ve pirinç kabuğu karakterizasyonuna devam edilmemiştir. Bağlayıcı olarak kullanılan diatomitin XRD, XRF ve SEM analizi yapılmıştır.

8.3.1 Diatomitin karakterizasyonu

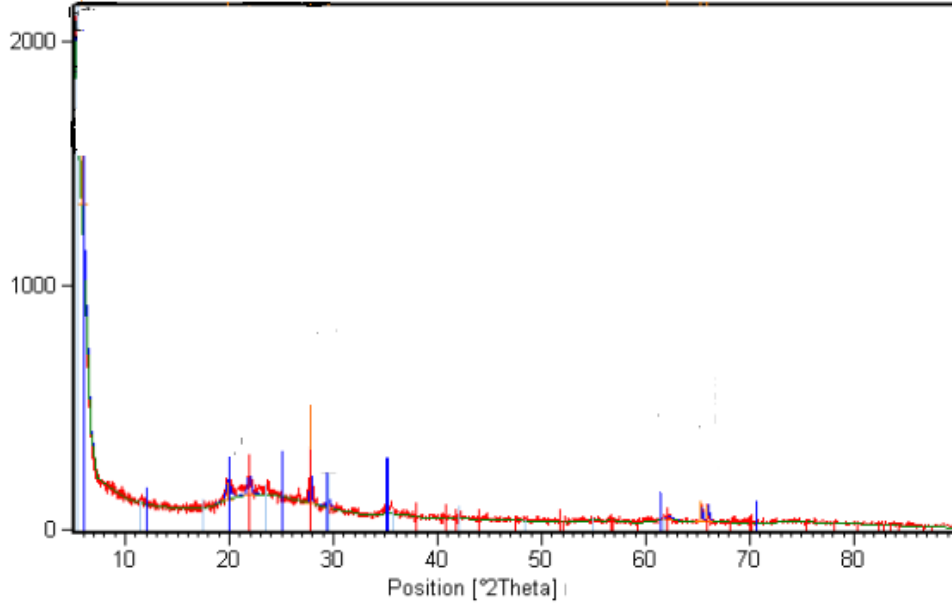
8.3.1.1 Diatomitin XRD sonucu

Diatomitin XRD analizinde, ana fazın kuvars (SiO_2) yapısında olduğu belirlenmiştir. Ana fazın yanında moganit yapısına da rastlanılmaktadır. Çizelge 8.3’de diatomite ait kristal faz yapıları gösterilmiştir.

Çizelge 8.3 Diatomitin kristal yapısı

PDF Numarası	Bileşen	Kimyasal Formül
01-083-2483	Kuvars	SiO_2
01-079-2403	Moganit	SiO_2

Şekil 8.4’de Diatomite ait XRD paterni verilmektedir.



Şekil 8.4 Diatomitin XRD paterni

8.3.1.2 Diatomitin XRF sonucu

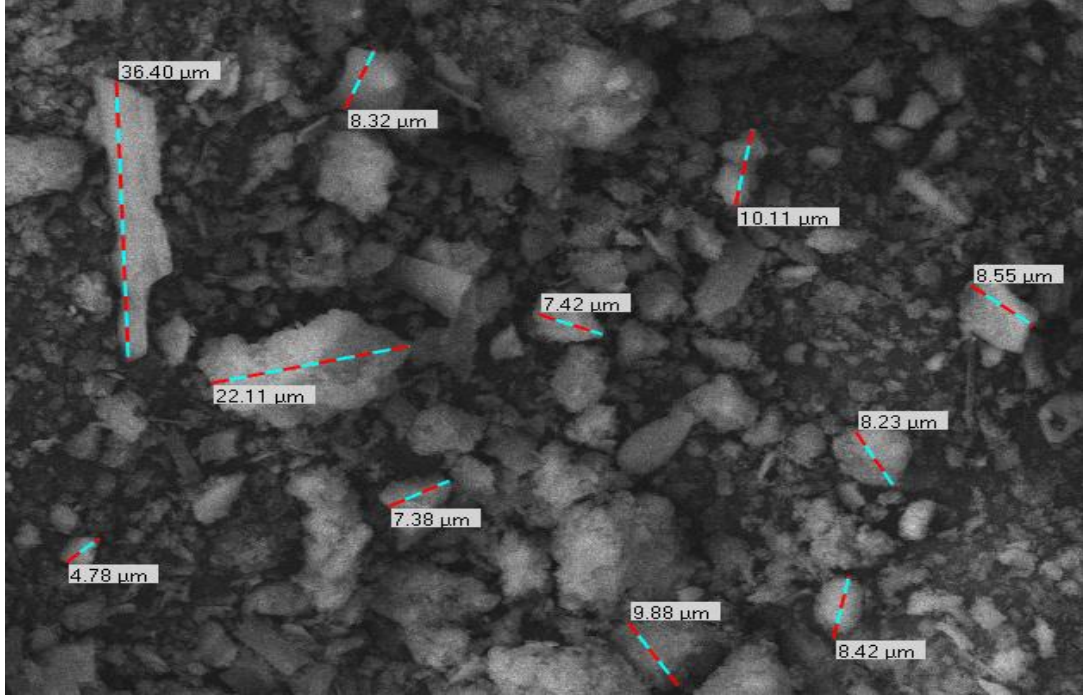
Diatomitin XRF analizinde, ana fazın kuvars (SiO_2) yapısında olduğu belirlenmiştir. Çizelge 8.4’de diatomite ait XRF sonucu verilmektedir.

Çizelge 8.4 Diatomit XRF sonuçları

Bileşen	İçerik (%)
SiO_2	70
Na_2O	12
Al_2O_3	7,2
Fe_2O_3	4,15
CaO	4,1
MgO	1
K_2O	0,88
TiO_2	0,56
CuO	0,045

8.3.1.3 Diatomitin SEM sonucu

Diatomit morfolojik olarak incelendiğinde 4,78 μm ile 36,40 μm arasında parçacık büyüklüğünün değiştiği görülmüştür. Şekil 8.5’de Diatomitin SEM görüntüsü verilmektedir.



Şekil 8.5 Diatomitin SEM görüntüsü

8.4 Peletleme Sonuçları

8.4.1 Çatalağzı uçucu külleri peletleme sonuçları

Çatalağzı termik santraline ait 10 g uçucu kül, 0; 0,1; 0,5 ve 1 g diatomit ve 0; 0,25; 0,50 ve 0,75 ml melas alınmış peletlerin adsorpsiyon için uygun olup olmadığı Çizelge 8.5’de verilmiştir.

Çizelge 8.5 Çatalağzı uçucu külleri peletleme sonuçları

Uçucu kül (10 g)	Diatomit (w/w) (%)	Melas (mL)	Pelet oluşumu
Çatalağzı	0.1	0	-
	0.1	0.25	+
	0.1	0.50	+
	0.1	0.75	+
	0.5	0	-
	0.5	0.25	+
	0.5	0.50	+
	0.5	0.75	+
	1	0	-
	1	0.25	+
	1	0.50	+
	1	0.75	+

8.4.2 Tunçbilek uçucu külleri peletleme sonuçları

Tunçbilek termik santraline ait 10 g uçucu kül, 0; 0,1; 0,5 ve 1 g diatomit ve 0; 0,25; 0,50 ve 0,75 ml melas alınmış peletlerin adsorpsiyon için uygun olup olmadığı Çizelge 8.6’de verilmiştir.

Çizelge 8.6 Tunçbilek uçucu külleri peletleme sonuçları

Uçucu kül (10 g)	Diatomit (w/w) (%)	Melas (mL)	Pelet oluşumu
Tunçbilek	0.1	0	-
	0.1	0.25	+
	0.1	0.50	+
	0.1	0.75	+
	0.5	0	-
	0.5	0.25	+
	0.5	0.50	+
	0.5	0.75	+
	1	0	-
	1	0.25	+
	1	0.50	+
	1	0.75	+

8.4.3 Orhaneli uçucu külleri peletleme sonuçları

Orhaneli termik santraline ait 10 g uçucu kül, 0; 0,1; 0,5 ve 1 g diatomit ve 0; 0,25; 0,50 ve 0,75 ml melas alınmış peletlerin adsorpsiyon için uygun olup olmadığı Çizelge 8.7’de verilmiştir.

Çizelge 8.7 Orhaneli uçucu külleri peletleme sonuçları

Uçucu kül (10 g)	Diatomit (w/w) (%)	Melas (mL)	Pelet oluşumu
Orhaneli	0.1	0	-
	0.1	0.25	-
	0.1	0.50	+
	0.1	0.75	+
	0.5	0	-
	0.5	0.25	+
	0.5	0.50	+
	0.5	0.75	+
	1	0	-
	1	0.25	+
	1	0.50	+
	1	0.75	+

8.4.4 Seyitömer uçucu külleri peletleme sonuçları

Seyitömer termik santraline ait 10 g uçucu kül, 0; 0,1; 0,5 ve 1 g diatomit ve 0; 0,25; 0,50 ve 0,75 ml melas alınmış peletlerin adsorpsiyon için uygun olup olmadığı Çizelge 8.8’de verilmiştir.

Çizelge 8.8 Seyitömer uçucu külleri peletleme sonuçları

Uçucu kül (10 g)	Diatomit (w/w) (%)	Melas (mL)	Pelet oluşumu
Seyitömer	0.1	0	-
	0.1	0.25	+
	0.1	0.50	+
	0.1	0.75	+
	0.5	0	-
	0.5	0.25	+
	0.5	0.50	+
	0.5	0.75	+
	1	0	+
	1	0.25	+
	1	0.50	+
	1	0.75	+

8.5 Seyitömer termik santraline ait uçucu kül numunelerinin yapay atık sulardan Zn ve Cd metalini adsorplama sonuçları

Seyitömer termik santralinden alınan uçucu küllerden elde edilen peletler, 100 ppm konsantrasyonda hazırlanan yapay Zn çözeltisi ve 5 ppm konsantrasyonda hazırlanan yapay Cd çözeltisi içerisine adsorpsiyon işlemini gerçekleştirmek üzere bırakılmıştır. Adsorplama deneyi sırasında 30., 60., 90., 120. ve 150. dakikalarda atıksudan numuneler alınarak ICP-OES cihazında analiz edilmiştir.

8.5.1 Seyitömer termik santraline ait uçucu kül numunelerinin yapay atık sudan Zn metalini adsorpsiyon sonuçları

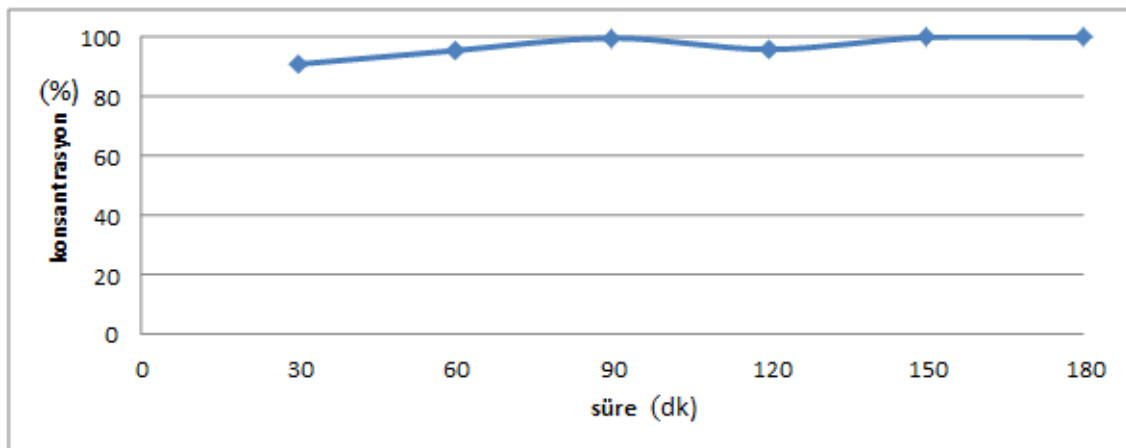
- Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesi (10 g), diatomit (0,1 g), melas (0,25 ml) karışımıyla elde edilen peletlerin Zn adsorpsiyon analiz sonuçları Çizelge 8.9’da verilmiştir.

Çizelge 8.9 Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn konsantrasyonunun süreye bağlı değişimi (diatomit 0,1 g, melas 0,25 ml)

Uçucu kül	Süre (dk)	Zn konsantrasyonu (ppm)
Seyitömer	30	90,94
	60	95,55
	90	95,94
	120	99,76
	150	99,99

Diatomit 0,1 g, melas 0,25 ml olduğu durumda, en fazla adsorplama 30. dakikada olmuştur.

Alınan ICP-OES sonuçlarının süreye değişim grafiği Şekil 8.6’da verilmiştir.



Şekil 8.6 Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn konsantrasyonu (diatomit 0,1 g, melas 0,25 ml)

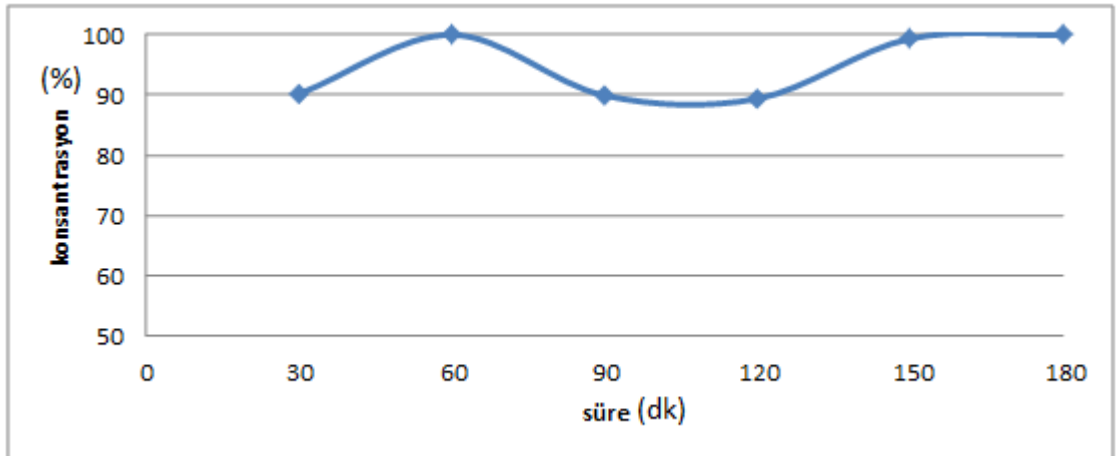
- Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesi (10 g), diatomit (0,1 g), melas (0,50 ml) karışımıyla elde edilen peletlerin Zn adsorpsiyon analiz sonuçları Çizelge 8.10’da verilmiştir.

Çizelge 8.10 Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn konsantrasyonu (diatomit 0,1 g, melas 0,50 ml)

Uçucu kül	Süre (dk)	Zn konsantrasyonu (ppm)
Seyitömer	30	90,15
	60	99,99
	90	89,91
	120	89,35
	150	99,36

Diatomit 0,1 g, melas 0,50 ml olduğu durumda, en fazla adsorplama 120. dakikada olmuştur.

Alınan ICP-OES sonuçlarının zamanla değişim grafiği Şekil 8.7’de verilmiştir.



Şekil 8.7 Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn konsantrasyonu (diatomit 0,1 g, melas 0,50 ml)

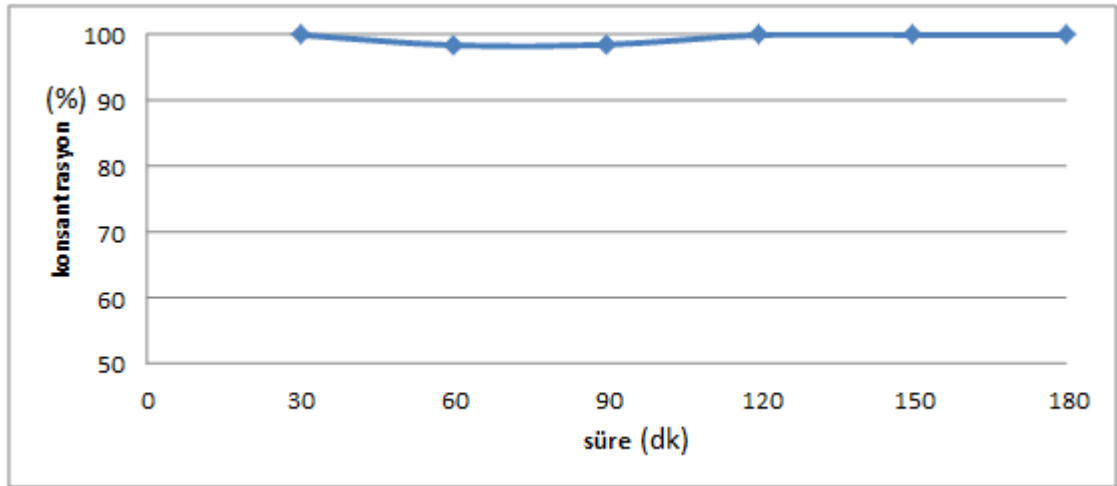
- Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesi (10 g), diatomit (0,1 g), melas (0,75 ml) karışımıyla elde edilen peletlerin Zn adsorpsiyon analiz sonuçları Çizelge 8.11’de verilmiştir.

Çizelge 8.11 Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn konsantrasyonu (diatomit 0,1 g, melas 0,75 ml)

Uçucu kül	Süre (dk)	Zn konsantrasyonu (ppm)
Seyitömer	30	99,99
	60	98,41
	90	98,39
	120	99,96
	150	99,99

Diatomit 0,1 g, melas 0,75 ml olduğu durumda, en fazla adsorplama 90. dakikada olmuştur.

Alınan ICP-OES sonuçlarının zamanla değişim grafiği Şekil 8.8’de verilmiştir.



Şekil 8.8 Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn konsantrasyonu (diatomit 0,1 g, melas 0,75 ml)

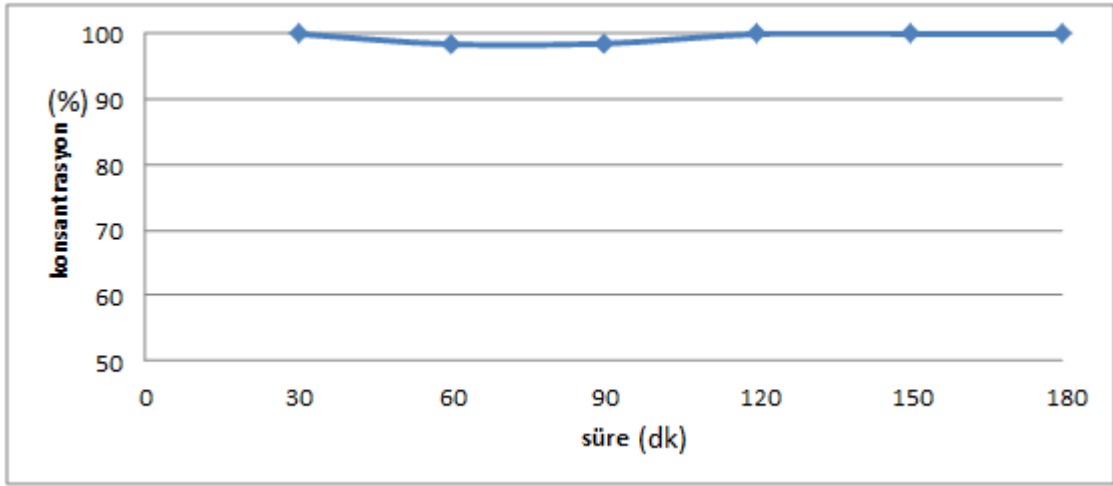
- Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesi (10 g), diatomit (0,5 g), melas (0,25 ml) karışımıyla elde edilen peletlerin Zn adsorpsiyonu olmamıştır.
- Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesi (10 g), diatomit (0,5 g), melas (0,50 ml) karışımıyla elde edilen peletlerin Zn adsorpsiyonu olmamıştır.
- Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesi (10 g), diatomit (0,5 g), melas (0,75 ml) karışımıyla elde edilen peletlerin Zn adsorpsiyon analiz sonuçları Çizelge 8.12’de verilmiştir.

Çizelge 8.12 Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn konsantrasyonu (diatomit 0,5 g, melas 0,75 ml)

Uçucu kül	Süre (dk)	Zn konsantrasyonu (ppm)
Seyitömer	30	99,87
	60	96,84
	90	91,70
	120	98,56
	150	99,99

Diatomit 0,5 g, melas 0,75 ml olduğu durumda, en fazla adsorplama 90. dakikada olmuştur. Adsorplamanın bu koşullarda iyi olduğu belirlenmiştir.

Alınan ICP-OES sonuçlarının zamanla değişim grafiği Şekil 8.9’da verilmiştir.



Şekil 8.9 Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn konsantrasyonu (diatomit 0,5 g, melas 0,75 ml)

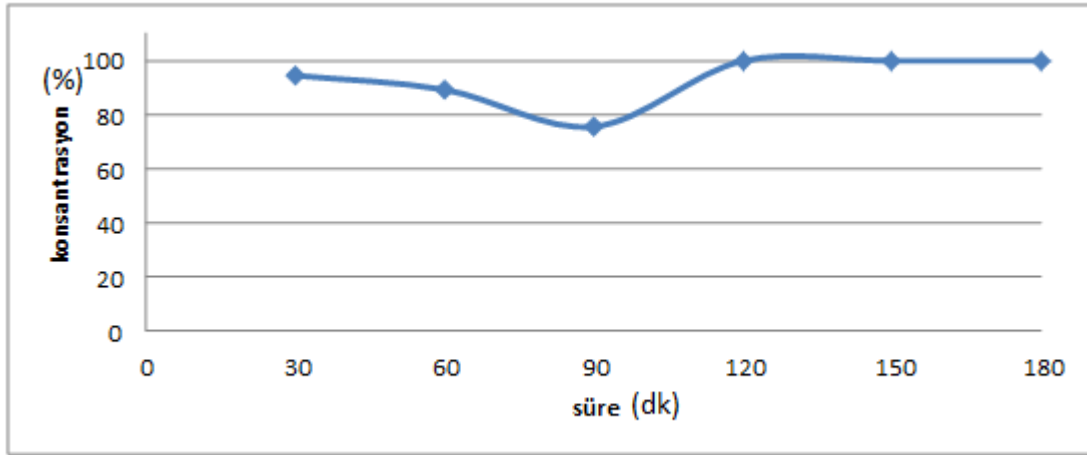
- Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesi (10 g), diatomit (1 g), melas (0 ml) karışımıyla elde edilen peletlerin Zn adsorpsiyon analiz sonuçları Çizelge 8.13'te verilmiştir.

Çizelge 8.13 Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn konsantrasyonu (diatomit 1g, melas 0 ml)

Uçucu kül	Süre (dk)	Zn konsantrasyonu (ppm)
Seyitömer	30	94,53
	60	89,30
	90	75,61
	120	99,99
	150	99,99

Diatomit 1 g, melas 0 ml olduğu durumda, en fazla adsorplama 90. dakikada olmuştur. Adsorplamanın bu koşullarda iyi olduğu belirlenmiştir.

Alınan ICP-OES sonuçlarının zamanla değişim grafiği Şekil 8.10'da verilmiştir.



Şekil 8.10 Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn konsantrasyonu (diatomit 1 g, melas 0 ml melas)

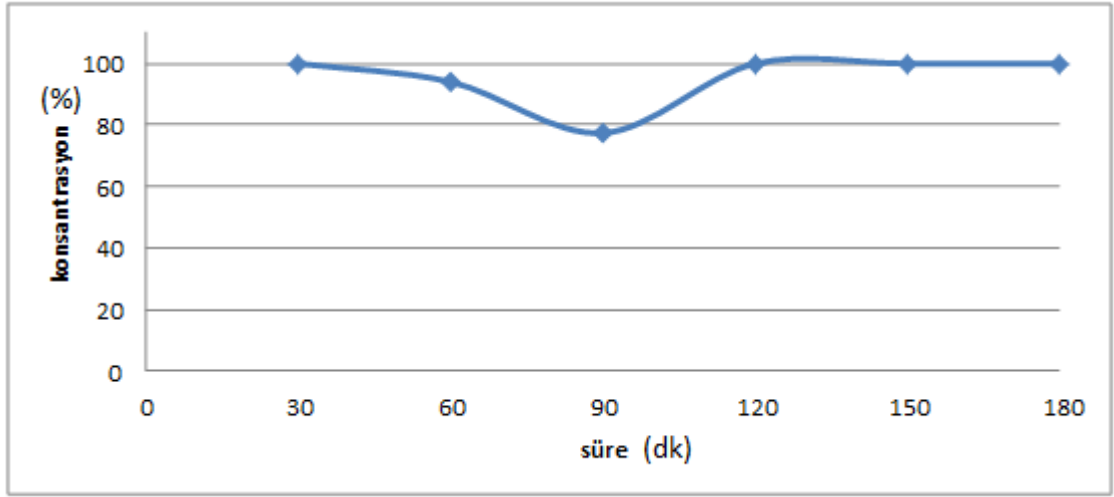
- Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesi (10 g), diatomit (1 g), melas (0,25 ml) karışımıyla elde edilen peletlerin Zn adsorpsiyon analiz sonuçları Çizelge 8.14’te verilmiştir.

Çizelge 8.14 Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn konsantrasyonu (diatomit 1g, melas 0,25 ml)

Uçucu kül	Süre (dk)	Zn konsantrasyonu (ppm)
Seyitömer	30	99,99
	60	94,05
	90	74,40
	120	99,99
	150	99,99

Diatomit 1 g, melas 0,25 ml olduğu durumda, en fazla adsorplama 90. dakikada olmuştur. Adsorplamanın bu koşullarda iyi olduğu belirlenmiştir.

Alınan ICP-OES sonuçlarının zamanla değişim grafiği Şekil 8.11’de verilmiştir.



Şekil 8.11 Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn konsantrasyonu (diatomit 1 g, melas 0,25 ml melas)

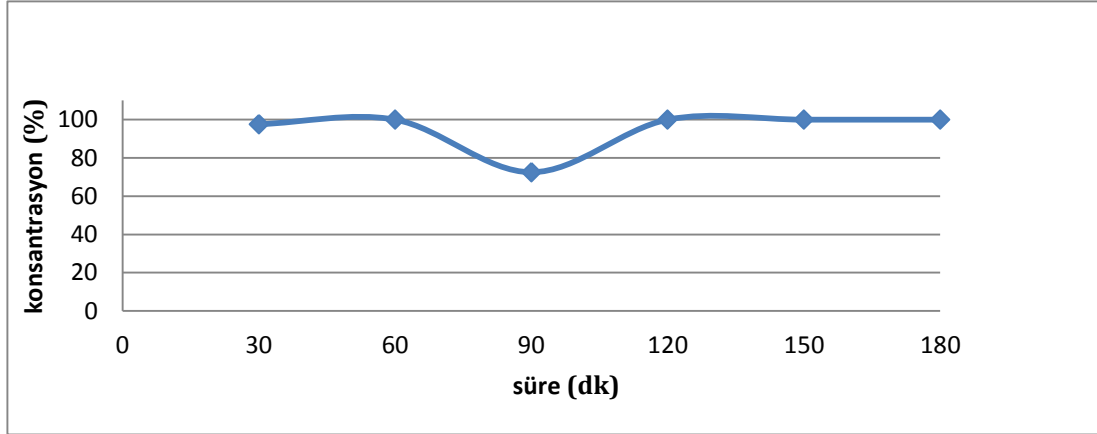
- Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesi (10 g), diatomit (1 g), melas (0,50 ml) karışımıyla elde edilen peletlerin Zn adsorpsiyonu olumlu sonuçlanmamıştır. Adsorplama olmamıştır.
- Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesi (10 g), diatomit (1 g), melas (0,75 ml) karışımıyla elde edilen peletlerin Zn adsorpsiyon analiz sonuçları Çizelge 8.15'te verilmiştir.

Çizelge 8.15 Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn konsantrasyonu (diatomit 1 g, melas 0,75 ml)

Uçucu kül	Süre (dk)	Zn konsantrasyonu (ppm)
Seyitömer	30	97,62
	60	99,99
	90	72,51
	120	99,99
	150	99,99

Diatomit 1 g, melas 0,75 ml olduğu durumda, en fazla adsorplama 90. dakikada olmuştur. Adsorplamanın bu koşullarda iyi olduğu belirlenmiştir.

Alınan ICP-OES sonuçlarının zamanla değışim grafiği Şekil 8.12’de verilmiştir.



Şekil 8.12 Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn konsantrasyonu (diatomit 1 g, melas 0,75 ml)

8.5.2 Seyitömer termik santraline ait uçucu kül numunelerinin yapay atık su Cd metalini adsorplama sonuçları

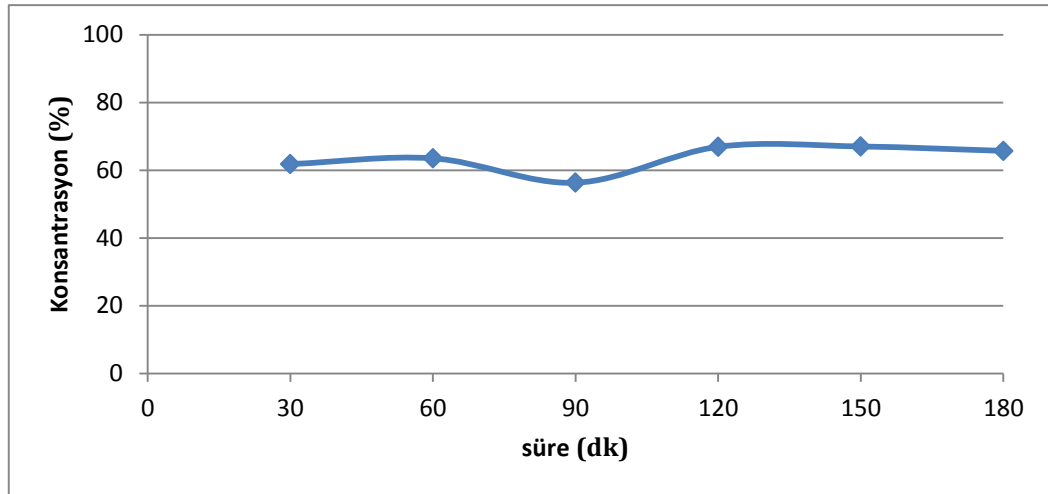
- Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesi (10 g), diatomit (0,1 g), melas (0,25 ml) karışımıyla elde edilen peletlerin Cd adsorpsiyonu olumlu sonuçlanmamıştır. Adsorplama olmamıştır.
- Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesi (10 g), diatomit (0,1 g), melas (0,50 ml) karışımıyla elde edilen peletlerin Cd adsorpsiyonu olumlu sonuçlanmamıştır. Adsorplama olmamıştır.
- Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesi (10 g), diatomit (0,1 g), melas (0,75 ml) karışımıyla elde edilen peletlerin Cd adsorpsiyonu olumlu sonuçlanmamıştır. Adsorplama olmamıştır.
- Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesi (10 g), diatomit (0,5 g), melas (0,25 ml) karışımıyla elde edilen peletlerin Cd adsorpsiyon analiz sonuçları Çizelge 8.16’da verilmiştir.

Çizelge 8.16 Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Cd konsantrasyonunun süreye bağlı değişimi (diatomit 0,5 g, melas 0,25 ml)

Uçucu kül	Süre (dk)	Cd konsantrasyonu (ppm)
Seyitömer	30	61,80
	60	63,50
	90	56,30
	120	66,90
	150	67

Diatomit 0,5 g, melas 0,25 ml olduğu durumda, en fazla adsorplama 90. dakikada olmuştur.

Alınan ICP-OES sonuçlarının süreye değişim grafiği Şekil 8.13’de verilmiştir.



Şekil 8.13 Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Cd konsantrasyonu (diatomit 0,5 g, melas 0,25 ml)

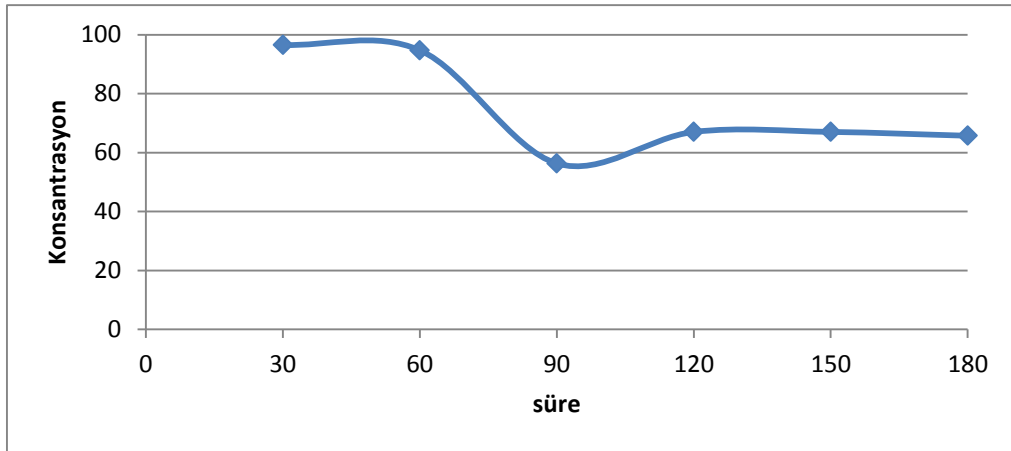
- Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesi (10 g), diatomit (0,5 g), melas (0,50 ml) karışımıyla elde edilen peletlerin Cd adsorpsiyon analiz sonuçları Çizelge 8.17’de verilmiştir.

Çizelge 8.17 Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Cd konsantrasyonunun süreye bağlı değişimi (diatomit 0,5 g, melas 0,50 ml)

Uçucu kül	Süre (dk)	Cd konsantrasyonu (ppm)
Seyitömer	30	96,54
	60	94,70
	90	56,30
	120	67
	150	67

Diatomit 0,5 g, melas 0,50 ml olduğu durumda, en fazla adsorplama 90. dakikada olmuştur.

Alınan ICP-OES sonuçlarının süreye değişim grafiği Şekil 8.14'te verilmiştir.



Şekil 8.14 Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Cd konsantrasyonu (diatomit 0,5 g, melas 0,50 ml)

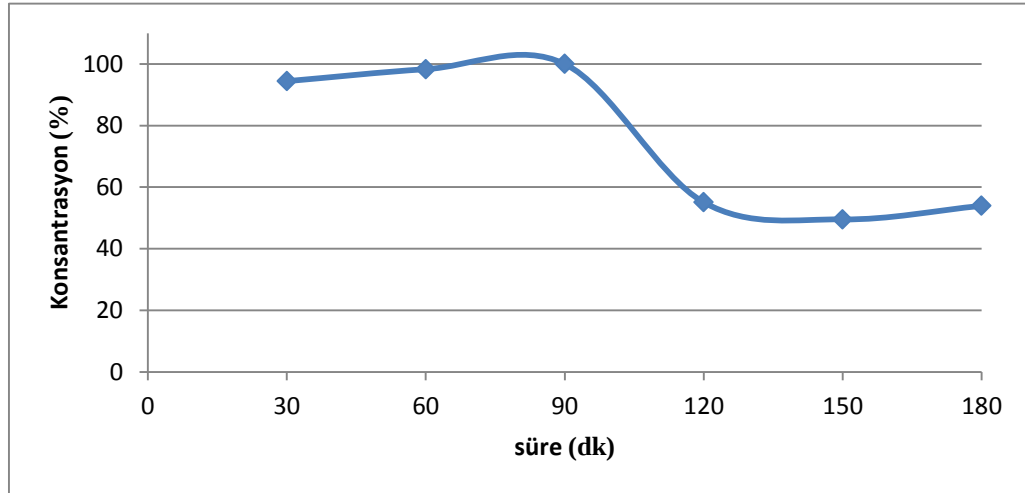
- Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesi (10 g), diatomit (0,5 g), melas (0,75 ml) karışımıyla elde edilen peletlerin Cd adsorpsiyon analiz sonuçları Çizelge 8.18'de verilmiştir.

Çizelge 8.18 Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Cd konsantrasyonu (diatomit 0,5 g, melas 0,75 ml)

Uçucu kül	Süre (dk)	Zn konsantrasyonu (ppm)
Seyitömer	30	94,42
	60	98,30
	90	99,99
	120	55,09
	150	49,53

Diatomit 0,5 g, melas 0,75 ml olduğu durumda, en fazla adsorplama 150. dakikada olmuştur. Adsorplamanın bu koşullarda iyi olduğu belirlenmiştir.

Alınan ICP-OES sonuçlarının zamanla değişim grafiği Şekil 8.15’de verilmiştir.



Şekil 8.15 Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn konsantrasyonu (diatomit 0,5 g, melas 0,75 ml)

- Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesi (10 g), diatomit (1 g), melas (0 ml) karışımıyla elde edilen peletlerin Cd adsorpsiyonu olmamıştır.

- Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesi (10 g), diatomit (1 g), melas (0,25 ml) karışımıyla elde edilen peletlerin Cd adsorpsiyonu olmamıştır.
- Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesi (10 g), diatomit (1 g), melas (0,50 ml) karışımıyla elde edilen peletlerin Zn ve Cd adsorpsiyonu olumlu sonuçlanmamıştır. Adsorplama olmamıştır.
- Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül numunesi (10 g), diatomit (1 g), melas (0,75 ml) karışımıyla elde edilen peletlerin Cd adsorpsiyonu olumlu sonuçlanmamıştır. Adsorplama olmamıştır.

Seyitömer uçucu külüne ait 0,1 g diatomit için adsorpsiyon sonuçları Çizelge 8.19'da gösterilmiştir.

Çizelge 8.19 Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül (10 g) numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn ve Cd konsantrasyonu (0,1 g diatomit)

Süre (dk)	Diatomit (g)	Melas (mL)	Zn konsantrasyonu (ppm)	Cd konsantrasyonu (ppm)
30	0,1	0,25	90,94	-
	0,1	0,50	90,15	-
	0,1	0,75	99,99	-
60	0,1	0,25	95,55	-
	0,1	0,50	99,99	-
	0,1	0,75	98,41	-
90	0,1	0,25	95,94	-
	0,1	0,50	89,91	-
	0,1	0,75	98,39	-
120	0,1	0,25	99,76	-
	0,1	0,50	89,35	-
	0,1	0,75	99,96	-
150	0,1	0,25	99,99	-
	0,1	0,50	99,36	-
	0,1	0,75	99,99	-

Seyitömer uçucu külüne ait 0,5 g diatomit için adsorpsiyon sonuçları Çizelge 8.20’de gösterilmiştir.

Çizelge 8.20 Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül (10 g) numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn ve Cd konsantrasyonu (0,5 g diatomit)

Süre (dk)	Diatomit (g)	Melas (mL)	Zn konsantrasyonu (ppm)	Cd konsantrasyonu (ppm)
30	0,5	0,25	-	61,80
	0,5	0,50	-	96,54
	0,5	0,75	99,87	94,42
60	0,5	0,25	-	63,50
	0,5	0,50	-	94,70
	0,5	0,75	96,84	98,30
90	0,5	0,25	-	56,30
	0,5	0,50	-	56,30
	0,5	0,75	91,70	99,99
120	0,5	0,25	-	66,90
	0,5	0,50	-	67
	0,5	0,75	98,56	55,09
150	0,5	0,25	-	67,0
	0,5	0,50	-	67
	0,5	0,75	99.99	49,53

Seyitömer uçucu külüne ait 1 g diatomit için adsorpsiyon sonuçları Çizelge 8.21’de gösterilmiştir.

Çizelge 8.21 Seyitömer termik santralinden alınan uçucu kül (10 g) numunesinin adsorpsiyonu sonucu yapay atık sudaki Zn ve Cd konsantrasyonu (1 g diatomit)

Süre (dk)	Diatomit (g)	Melas (mL)	Zn konsantrasyonu (ppm)	Cd konsantrasyonu (ppm)
30	1	0	94,53	-
	1	0,25	99,99	-
	1	0,50		-
	1	0,75	99,87	--
60	1	0	89,30	-
	1	0,25	94,05	-
	1	0,50	-	-
	1	0,75	99,99	-
90	1	0	75,61	-
	1	0,25	74,40	-
	1	0,50	-	-
	1	0,75	72,51	-
120	1	0	99,99	-
	1	0,25	99,99	-
	1	0,50	-	-
	1	0,75	99,99	-
150	1	0	99,99	-
	1	0,25	99,99	-
	1	0,50	-	-
	1	0,75	99,99	-

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Termik santrallerde enerji üretiminde yakıt olarak kullanılan pulverize kömür, atık olarak değişik karakterde küllerin ve cürufun ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Termik santrallerde en önemli atık malzeme olan uçucu kül, yanma nedeniyle baca tarafından çekilen gazlarla birlikte yukarıya sürüklenen çok ince kül parçacıkları olarak tanımlanır. Sürüklenme özelliğinden dolayı uçucu küllerin biriktirilmesi veya atılması, önemli oranda çevre kirliliğine yol açmaktadır. Uçucu küllerin neden olduğu çevre problemleri arasında, tozlanma, tarım ürünlerine zarar verme, yağmur ve rüzgar erozyonu, toprakta süzülme dolayısıyla toksit madde taşınması ve radyasyon sayılabilir. Bu çevre sorunları nedeniyle tarım ürünleri, su ve havanın kalitesi, doğal hayat, bölgenin ekonomik durumu ve çevre güzelliği açısından istenmeyen sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Bu sorunların çözülmesi, uçucu küllerin çeşitli kullanım alanlarında değerlendirilerek ülke ekonomisine kazandırılması ile sağlanabilir. Fiziksel ve kimyasal yapısı incelediğinde birçok sektörde kullanılabilme imkânına sahip olan uçucu kül adsorban olarak da değerlendirilmelidir.

Bu çalışmada, özellikle endüstriyel atık sularda önemli miktarlarda bulunabilen, ağır metallerden çinko ve kadmiyumun uçucu kül ile adsorplanabilirliği araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar boyunca, adsorban olarak termik santral (Seyitömer) atığı olan uçucu küller kullanılmıştır. Son yıllarda çevreyi kirlletici atık özelliğinden dolayı uçucu külün değerlendirilmesi için çeşitli kullanım alanları araştırılmaya başlanmıştır. Uçucu kül; yüksek karbon içeriği, birim hacmindeki geniş yüzey alanı ve içerdiği Al, Fe, Ca, Mg ve Si gibi elementlerden dolayı birçok organik ve inorganik kirlleticiyi uzaklaştırma kabiliyetine sahiptir. Bu nedenle bu çalışmada termik santral atığı uçucu küllerin atık

sulardan Zn ve Cd metalini adsorplama kapasitesi araştırılmış ve bu amaçla da uçucu küllerin yüzey alanı artırılıp adsorpsiyon kapasitesini yükseltmek için küller peletleme işlemine tabi tutulmuştur.

Çalışmada Seyitömer termik santrallerinden temin edilen uçucu küllerin ve bağlayıcı olarak kullanılan diatomitin karakterizasyonu için XRD, XRF ve SEM analizleri yapılmıştır. Yapılan XRD analiziyle uçucu küllerin yapısındaki kristal fazlar tespit edilmiştir. XRF analiziyle uçucu küllerin yapısındaki majör ve eser element dağılımları belirlenmiştir. Yapılan SEM analiz çalışmalarının sonucunda ise, Seyitömer termik santrali uçucu külünün ve diatomitin parçacık büyüklüğü bulunmuştur.

Seyitömer termik santrali uçucu külünün XRD analizi sonucunda yapısında SiO_2 ve Fe_3O_4 komponentleri içerdiği görülmektedir. Seyitömer termik santrali uçucu külünün XRF analizi sonucunda yapısında %52 oranında SiO_2 , %18 oranında Al_2O_3 , %19,7 oranında Fe_2O_3 ve ayrıca eser miktarlarda MgO , SO_3 , K_2O , CaO , TiO_2 , NiO , MnO , Cr_2O_3 , CuO ve ZnO komponentlerini de içerdiği görülmektedir.

Bağlayıcı olarak kullanılan diatomitin, XRD analizi sonucunda yapısında SiO_2 komponentleri içerdiği görülmektedir. Bağlayıcı olarak kullanılan diatomit için uygulanan XRF analiziyle uçucu küllerin yapısındaki majör ve eser element dağılımları belirlenmiştir. Diatomitin XRF analizi sonucunda yapısında %70 oranında SiO_2 , %12 oranında Na_2O , %7,2 oranında Al_2O_3 , %4,15 oranında Fe_2O_3 ve ayrıca eser miktarlarda MgO , CuO , K_2O , CaO ve TiO_2 komponentlerini de içerdiği görülmektedir.

Yapılan SEM analiz çalışmalarının sonucunda ise, Seyitömer termik santrali uçucu külünün parçacık büyüklüğünün 1,06 μm ile 16,67 μm arasında değiştiği görülmüştür. Diatomitin parçacık büyüklüğünün 4,78 μm ile 36,40 μm arasında değiştiği görülmüştür.

Karakterizasyon çalışmalarından sonra uçucu küllerin yüzey alanını ve gözenek büyüklüğünü dolayısıyla, adsorbansı arttırmak amacıyla, uçucu küller peletleme işlemine tabi tutulmuştur. Uçucu küllere bağlayıcı (diatomit ve melas çözeltisi, pirinç kabuğu ve melas çözeltisi) ilave edilerek hidrolik preslerde peletlenmiştir.

- ✓ Pirinç kabuğu katkısıyla oluşturulan peletler olumlu sonuçlanmamış, pirinç kabukları yüksek sıcaklıkta erimştir. Pelet pişirme sırasında uygulanan sıcaklık denemelerinde 250, 650, 950°C ve 1100°C sıcaklıkları pelet oluşumu açısından

olumlu sonuçlanmamıştır. Yapılan sıcaklık denemeleri sonucunda 1200°C yüksek sıcaklık en uygun sıcaklık değeri olarak bulunmuştur. Bundan sonraki çalışmalar peletlerin adsorpsiyon amacıyla kullanılabilmesi açısından olumlu sonuçlanmıştır.

- ✓ Diatomit ve melas oranı değiştirilerek farklı bölgelerden alınan uçucu küllerin kullanımı ile atık sulardan Zn ve Cd metalinin adsorplanabildiği gözlemlenmiştir. Optimum sonucu Seyitömer uçucu külü vermiştir.

1. çalışmada Seyitömer numunelerinden 10 g kadar alınıp, 0; 0,1; 0,5 ve 1 g diatomit ve 0; 0,25; 0,50 ve 0,75 ml oranlarında melastan oluşan karışımdan yapılan peletler hazırlanan yapay Zn atık suyu adsorplama işlemine tabi tutulmuştur.

2. çalışmada ise Seyitömer termik santrali uçucu külünden 10 g kullanılarak, 0; 0,1; 0,5 ve 1 g diatomit ve 0; 0,25; 0,50 ve 0,75 ml oranlarında melastan oluşan karışımdan yapılan peletler hazırlanan yapay Cd atık suyu adsorplama işlemine tabi tutulmuştur. Deney boyunca 30., 60., 90., 120., ve 150. dakikalarda numune alınmış ve ICP-OES cihazında analiz edilmiştir. ICP-OES analiz sonuçlarına göre adsorplama işleminde 2. çalışmanın 1. çalışmaya göre daha başarılı olduğu gözlenmiştir.

Termik santrallere ait uçucu kül karışımlarından alınan atık su numunelerinin elementel analizi de ICP-OES cihazında gerçekleştirilmiştir. ICP-OES cihazında yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler aşağıdaki gibidir:

- Seyitömer termik santrali uçucu külünün atık sudaki Zn metalini adsorplama deneyi sırasında 30., 60., 90., 120. ve 150. dakikalarda yapay sulardan numuneler alınmıştır ve alınan numunelerin ICP-OES cihazındaki analizi sonucunda Zn gidermede en iyi verimler şu şekilde elde edilmiştir:
 - ✓ 10 g Seyitömer uçucu külü, 0,1 g diatomit ve 0,25 mL melas karışımından oluşan peletin 30. dk.'da ICP-OES sonucu %9,06
 - ✓ 10 g Seyitömer uçucu külü, 0,1 g diatomit ve 0,50 mL melas karışımından oluşan peletin 120. dk.'da ICP-OES sonucu %10,65
 - ✓ 10 g Seyitömer uçucu külü, 0,5 g diatomit ve 0,75 mL melas karışımından oluşan peletin 90. dk.'da ICP-OES sonucu %8,3

- ✓ 10 g Seyitömer uçucu külü, 1 g diatomit ve 0 ml melas karışımından oluşan peletin 90. dk.'da ICP-OES sonucu %24,39
- ✓ 10 g Seyitömer uçucu külü, 1 g diatomit ve 0,25 mL melas karışımından oluşan peletin 90. dk.'da ICP-OES sonucu %22,6
- ✓ 10 g Seyitömer uçucu külü, 1 g diatomit ve 0,75 mL melas karışımından oluşan peletin 90. dk.'da ICP-OES sonucu %27,49
- Seyitömer termik santrali uçucu külünün atık sudaki Cd metalini adsorplama deneyi sırasında 30., 60., 90., 120. ve 150. dakikalarda yapay sulardan numuneler alınmıştır ve alınan numunelerin ICP-OES cihazındaki analizi sonucunda Cd giderme verimleri şu şekilde elde edilmiştir:
 - ✓ 10 g Seyitömer uçucu külü, 0.5 g diatomit ve 0,25 mL melas karışımından oluşan peletin 90. dk.'da ICP-OES sonucu %43,7
 - ✓ 10 g Seyitömer uçucu külü, 0.5 g diatomit ve 0,50 mL melas karışımından oluşan peletin 90. dk.'da ICP-OES sonucu %47,3
 - ✓ 10 g Seyitömer uçucu külü, 0.5 g diatomit ve 0,75 mL melas karışımından oluşan peletin 150. dk.'da ICP-OES sonucu %51,5

Tüm bu sonuçlar değerlendirildiğinde, Seyitömer termik santrali uçucu külünün atıksulardan Cd giderme verimi Zn giderme verimine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Verimin en yüksek olduğu deney sonucu; 10 g Seyitömer uçucu külü, 0.5 g diatomit, 0,75 mL melas karışımından oluşmuş ve bu koşullarda hazırlanan pelet içeren Cd çözeltisinden 150. dk.'da alınan verim değeri %51,5 olarak bulunmuş ve optimum nokta olarak seçilmiştir.

Yapılan bu çalışmalar kapsamında büyük çevre sorunlarına yol açan termik santral atığı uçucu küllerin, atık sulardan çinko (Zn) ve kadmiyum (Cd) metalleri adsorplanmada değerlendirilebileceği ve böylece çevresel açıdan olumlu sonuçlar alınabileceği görülmüştür. Bu çalışmanın, gelecekte yapılacak farklı uçucu küllerle, bağlayıcıların farklı ağır metallerin adsorbsiyonunda kullanılmasına yönelik çalışmalara ışık tutacağı beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Doğan, A., (1989). Bir Pamuklu Tekstil Fabrikası Atıksuyunun Adsorpsiyon Yöntemiyle Arıtılabilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- [2] Akan, M., Demirbaş Ö., Çelikçapa S., Doğan M., (2003). Sorption of acid red 57 from aqueous solution onto sepiolite, Department of Chemistry, Faculty of Science Literature, University of Balıkesir, Balıkesir.
- [3] Koç, Ö., (1997). Bor Atıkları, Uçucu Kül ve Silis Dumanının İnşaat Tuğlası Üretiminde Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] Türker, P., Erdoğan, B., Katnas, F., Yeğinobalı, A., (2003). “Türkiye’deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri”, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB), Ankara.
- [5] Özdemir, U., Özbay, B., Veli, S., Zor, S., (2011). “Modeling adsorption of sodium dodecyl benzene sulfonate (SDBS) onto polyaniline (PANI) by using multi linear regression and artificial neural networks”, Chemical Engineering Journal, 178:183-190.
- [6] Baran, A., Bıçak, E., Hamarat-Baysal, Ş., Önal, S., (2006). “Comparative studies on the adsorption of Cr(VI) ions on to various sorbents”, Bioresource Technol., 98:661-665.
- [7] Aksu, Z., Gönen, F., Demircan, Z., (2002). “Biosorption of chromium (VI) ions by motiwal B₃OH resin immobilized activated sludge in a packed bed: comparison with granular activated carbon”, Process Biochem., 38:175-186.
- [8] Berkes, F., Kışlalıoğlu M., (1993). Ekoloji ve çevre bilimleri, Türkiye Çevre Sorunları Vakfı yayınları, Çevre Bakanlığı, Ankara.
- [9] Torunoğlu, E., (2013). Çevre politikaları, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- [10] Görmez, K. (2003). Çevre Sorunları ve Türkiye, Gazi Kitabevi, 190, Ankara.
- [11] Özey, R. (2005). Çevre Sorunları, Aktif Yayınevi, 256, İstanbul.
- [12] Ülküseven, N., (1993). Kirlenmiş Sulardan Killerle Ağır Metal İyonlarının Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [13] Çokadar, H., Ateş, A., İleri, R., İzgi, B., (2003). "Nikel (II) İyonunun Sulu Ortamdan Granül Aktif Karbon (GAK) ile Giderilmesi", Çevre Koruma, 12: 38-42.
- [14] Arslan, S., Arkan, A. (2013). "Arı Ürünlerindeki Ağır Metal Birikimine Karayollarından Uzaklığın Etkisi", Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 1(2): 90-93, Tokat.
- [15] Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S., (2004). Metallerin Çevresel Etkileri-I. Metalurji Dergisi, 136, İstanbul.
- [16] Haktanır, K., Arcak, S., Erpul, G., (1995). "Yol Kenarındaki Topraklarda Trafikten Kaynaklanan Ağır Metallerin Birikimi", Journal of Engineering and Environmental Sciences. 19: 423-431.
- [17] Akman, Y., Ketenoğlu, O., Evren, H., Kurt, L., Düzenli, S., (2000). Çevre Kirliliği (Çevre Biyolojisi), Palme Yayıncılık, 274, Ankara.
- [18] Dülgeroğlu, A., Trafik ve Çevre Etkisi, http://www.trafik.gov.tr/arastirma_inceleme/arastirma_inceleme_bildiriler.asp , 21 Mart 2014.
- [19] Ehrlich, P. R., (2008). "Key Issues for Attention from Ecological Economists", Environment and Development Economics 13: Cambridge University Press, 2.
- [20] Khor, M., (2001). Globalisation and the Crisis of Sustainable Development, Environment and Development Series, 1: 12.
- [21] Lerner, B. W., Lerner, K. L., (2006). "Globalization and Poverty: An Ecological Perspective", Environmental Issues: Essential Primary Sources, Gale, Detroit: 444-445.
- [22] Sonnenfeld, D. A., Mol, A. P. J., (2002). "Globalization and the Transformation of Environmental Governance An Introduction, American Behavioral Scientist, 1323.
- [23] T.C Resmi Gazete, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, (25687), 31.12.2004, 1-5.
- [24] Erdem, B., (2004). Na-Bentonit ve Organo-Bentonit Üzerine Boya Adsorpsiyonunun İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [25] Yavuz, Y., (1998). Tekstil Atıksularından Boyar Maddelerin Elektro Adsorpsiyonla Giderimi, Yüksek Lisans tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- [26] Tan, I.A.W., Hameed, B.H., Ahmad, A.L., (2007). "Equilibrium and kinetic studies on basic dye adsorption by oil palm fibre activated carbon", Chemical Engineering Journal, 127: 111-119.
- [27] Zengin Bilgiler, <http://www.bilgizenginleri.com/cografya/10290-su-kirliliginin-nedenleri-ve-cozum-yollari.html> , 21 Mart 2014.
- [28] Avcı, İ., (2002). Sınır Aşan Sularımız, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- [29] Filiz, E., (2007). Doğal Kaynaklardan Elde Edilen Adsorbanlarla Sulardan Ağır Metal Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [30] Gönüllü, T., (2004). "Endüstriyel Kirlenme Kontrolü", Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [31] Pala, A., (2006). Doğal Zeolitlerin Atıksuda Kurşun Gideriminde Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- [32] Teknolojik Araştırmalar, <http://teknolojikarastirmalar.com/eegitim/Periyodik/PERIODIC/PERIODIC/Zn.html> , 22 Mart 2014.

- [33] Gıda Gündemi,
<http://forum.gidagundemi.com/cinko-zn-hakkinda-bilgilert9388.html> ,
21 Mart 2014.
- [34] Healty.net, Healty people- Healty planet,
<http://www.healthy.net/Health/Article/Zinc/2071> , 20 Mart 2014.
- [35] WHO, (1996). Trace Elements In Human Nutrition and Health, Geneva.
- [36] Habashi, F., (1997). Handbook of Extractive Metallurgy, Vol. 2, WILEY-VCH, Germany.
- [37] K  chler, W., Verlag, C. H., (1986). Chemische Technology, Band 4, ISBN 3: 446-13182-5, Wien.
- [38] Türkiye'nin yapı taşları, Maden-Mermer portalı,
<http://www.marbleport.com/dogal-kaynaklar/38/diatomit> , 18 Mart 2014.
- [39] Hakkında Bilgi Al,
<http://hakkindabilgi.com/bilim/kimya/8630-kadmiyum.html> , 15 Mart 2014.
- [40] Division of Toxicology and Human Health Sciences,
<http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp5-c1-b.pdf> , 25 Mart 2014.
- [41] Bebianno, M. J., Machado. M., (1997). "Concentrations of metals and metallothioneins in *Mytilus galloprovincialis* along the South Coast of Portugal", Marine Pollution of Bulletin, 34(8): 666-670.
- [42] <http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/minimize/cadmium.pdf>
- [43] <http://www.osha-slc.gov/SLTC/cadmium>
- [44] Muslu, Y., (1996). "Atıksuların Arıtılması", İT   Yayınları, 70-85, İstanbul.
- [45] Benli, S., (2003). Sulardaki Kurşun(II), Bakır(II) ve Çinko(II) İyonlarının Dolgulu Kolonlarda Adsorpsiyonla Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [46] John, H., Duffus, H., Worth, G. J. (1996). Fundamental toxicology for chemists, UK: Royal Society of Chemistry Information Services, Cambridge.
- [47] Ç  çek, H., (2005). Atık Sulardan Fenolün Giderilmesinde Şeker Pancarı Küspesinden Elde Edilen Aktif Karbonun Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [48] University of Maryland Extension, www.hgic.umd.edu , 5 Mart 2014.
- [49] Hawari, A. H. ve Mulligan, C. N., (2006). "Heavy metals uptake mechanisms in a fixed-bed column by calcium-treated anaerobic biomass", Process Bio chemistry, 41: 187-198.
- [50] Tatlı, İ. A., (2003). Ç  şitli Tekstil Boyarmaddelerin Adsorpsiyon-Biyosorpsiyonunun Karşılaştırılmalı Olarak Kesikli Sistemde İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [51] Babel, S., Kurniawan, T.A., (2003). "Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: a review", J. Hazardous Mater. B97: 219–243.
- [52] Al-Ghouti, M.A., Khraisheh, M.A.M., Allen, S.J., Ahmad, M.N., (2003). "The removal of dyes from textile wastewater: a study of the physical characteristics and adsorption mechanisms of diatomaceous earth", J. Environ. Manage. 69: 229–238.

- [53] Etcı, Ö., (2008). Ağır Metal İçeren Atıksulardan Doğal Kil Minerali Beydellit ile Kadmiyum ve Kurşun Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- [54] Nas, M., (2006). "Tekstil Boyalarından Sulu Çözeltilerden Adsorpsiyon Yöntemiyle Giderimi", Gebze.
- [55] Ho, Y. S., McKay, G., (1999). "Pseudo-second order model for sorption processes", *Process Biochem.*, 34: 451-465.
- [56] Ng, J. C. Y., Cheung, W. H., McKay, G., (2003). "Equilibrium studies for the sorption of lead from effluents using chitosan", *Chemosphere*, 52: 1021-1030.
- [57] Aksu, Z., Çalık, A., Dursun, A. Y., Demircan, Z., (1999). "Biosorption of iron(III)-cyanide complex anions to *Rhizopus arrhizus*: application of adsorption isotherms", *Process Biochem.*, 34: 483-491.
- [58] Bayat, B., Atuk, A., Sarı, B., (2007). Evsel Atıksulardan Fenol Gideriminde Uçucu Külün Adsorban Olarak Kullanılması, 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Yaşam Çevre Teknoloji: 350-358, İzmir.
- [59] Wong, Y., Yu, J., (1999). Laccase-Catalyzed Decolorization of Synthetic Dyes, *Wat.Res.*, Elsevier, 33(16): 3512-3520.
- [60] Kara, İ., (2008). Seyitömer Uçucu Kulunun Farklı Yapı Malzemeleri Olarak Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- [61] Görhan, G., Kahraman, E., Başpınar, S., Demir, İ., (2009). Uçucu Kül Bölüm II: Kimyasal, Mineralojik ve Morfolojik Özellikler, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 5(2): 33-42.
- [62] Mercan, N., (2007). Uçucu Kül Katkısıyla Üretilen Harçların Dayanım ve Dayanıklılığının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- [63] Alataş, T., (1996). Afşin-Elbistan Termik Santrali Uçucu Külünün Yol Stabilizasyonunda Çeşitli Malzemelerle Birlikte Kullanımı Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [64] Erdoğan, Y.A., (2005). Atıksulardan Çeşitli Adsorbanlarla Arsenik Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [65] Morrison, R. E., (1970). A Review of Ash Specifications, Symposium on Fly Ash Utilization, 24-31. Pittsburgh.
- [66] Özcan, M., (1997). Tunçbilek ve Seyitömer Uçucu Küllerin Beton Özelliklerine Etkisi ve Etkinlik Katsayısının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul.
- [67] Gürbüz, E., (2009). C Tipi Uçucu Küllerin Etkinliği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [68] Çiçekli, O. C., (1996). Uçucu Kül İnceliğinin Yüksek Dozajlı Betonun Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [69] Malhotra, V. M. (1986). Superplasticized Fly Ash Concrete For Structural Concrete Application, *Concr Int* 8 (28), 28-31.
- [70] Yeğinobalı, A., (1971). Uçucu Kül, Tras ve Yüksek Fırın Cürufunun Betonda Katkı Maddesi Olarak Kullanılması ve Optimum Uçucu Kül Karışım Oranlarının Tayini, TÜBİTAK Projesi, Mag-157/A, Ankara.

- [71] Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F., Yeğınobalı, A., (2004). Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB), Ankara.
- [72] Çağlar, G. A., (2007). Endüstriyel Atık Malzemelerin Karayollarında Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [73] Haşal, E., (2000). Uçucu Kül-Çimento-Köpük Karışımının Hafif Dolgu Malzemesi Olarak Geoteknik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [74] Davutoğlu, C., (2008). Termik Santral Baca Gazı Arıtma Tesisi Kaynaklı Koagülasyon Çamurunda Florür Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [75] Balkema, A. A., (1992). Fly ash as addition to concrete, Intron, Rotterdam, Brookfield.
- [76] Yılmaz, Ş., (1992). Seyitömer Termik Santrali Atık Uçucu Külünün Yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [77] Güler, G., Güler, E., İpekoğlu, Ü., Mordoğan, H., (2005). Uçucu Küllerin Özellikleri ve Kullanım Alanları, Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, IMCET2Q05, İzmir.
- [78] Kaya, G., (2010). Farklı Konsantrasyonlarda Uçucu Kül Kullanımının Çimento Özellikleri Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat.
- [79] Yıldız, T., Yıldız, C., (2002). Soma Termik Santrali Uçucu Kül ve Polipropilen Atıklarının Yeni Bir Malzeme Üretiminde Değerlendirilmesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9(2): 163-169.
- [80] Doğan, Ö., (2007). Afşin-Elbistan Termik Santrali Uçucu Küllerinden Çöktürülmüş Kalsiyum Karbonat (CaCO_3) Kazanım Koşullarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [81] Karahan, O., (2006). Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [82] Alkaya, D., (2002). Uçucu Kül Katkısının Dolgu Zeminlerin Stabilitésine Etkisi, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- [83] Volkan, S., (2006). Afşin-Elbistan Termik Santrali Uçucu Külünden Yanmamış Karbonun Geri Kazanımı, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [84] Öksüz, K., (2006). Afşin-Elbistan Termik Santrali Uçucu Külünün Zemin Stabilizasyonunda Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [85] Özdemir, O., (2007). Uçucu Külün Yapı Malzemelerinde Bağlayıcılığa Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- [86] Erdoğan, E., (2006). Çimentoya Bor Katkısı, Uçucu Kül, Yüksek Fırın Cürufu İlavesiyle Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [87] Özmal, F., (2005). Bor Endüstri Atıkları, Uçucu Kül, Taban Külü ve Alünit Mineralinin Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.
- [88] Joshi, R., C., Lohtia, R., P., (1997). Fly Ash in Concrete, Production, Properties and Uses, Overseas Publishers Association (OPA), Alberta, Kanada.

- [89] Demir, İ., (2009). Aynı Oranlarda İkame Edilen Silis Dumanı ve Uçucu Külün Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi, International Journal of Engineering Research and Development, 1(2): 1-7
- [90] Aytekin, S., (2009). Uçucu Küllerinin Killi Zeminlerin İslahında Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [91] Gündeşli, U., (2008). Uçucu Kül, Silis Dumanı ve Yüksek Fırın Cürufunun Beton ve Çimento Katkısı Olarak Kullanımı Üzerine Bir Kaynak Taraması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [92] Özyurt, Z., (2006). Termik Santral Atıklarındaki İz Elementlerin Çevresel Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- [93] Kantürk, E., (2006). Ege Bölgesi Uçucu Küllerinden Sentetik Zeolit Üretim Parametrelerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- [94] İbiş, R. Y., (2010). Termik Santral Uçucu Külünün Atıksulardan Arsenik Uzaklaştırmada Etkinliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [95] Aytekin, S., (2009). Uçucu Küllerinin Killi Zeminlerin İslahında Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [96] Altunay, V., (2010). Boyar Maddelerin Gideriminde Değişik Adsorbanların Kullanımının Araştırılması: Zeolit ve Uçucu Kül, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- [97] Ulusoy, A., (2008). Uçucu Kül-Tekstil Fabrikası Atık Külü ve Bazaltik Pomzanın Tuğla Üretiminde Katkı Olarak Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.
- [98] Üstün, N. (2006). Uçucu Küllerin Peletlenmesi, Çinko, Bakır ve Krom Adsorpsiyonunda Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [99] Tuğrul, N., Möröydor Derun, E., Pişkin, M. B., Pişkin, S., (2004). Pelletization of Pyrite Ash Wastes for Utilization in Iron Production Industry, Journal of Engineering and Natural Sciences, Sigma 2005/3.
- [100] Tuğrul, N., (2005). Bandırma Etibank Sülfürik Asit Fabrikasından Çıkan Kalsine Pirit Külünün Yüksek Fırın Hammaddesi Olarak Değerlendirilmesi ve Pik Demir Üretiminde Kullanılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [101] Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Genel Sanayi Mineralleri IV. Çalışma Grubu Raporu, DPT Yayını, Ankara (2001).
- [102] Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Genel Sanayi Mineralleri IV. Çalışma Grubu Raporu, DPT Yayını, Ankara, 85-108 (1996).
- [103] Özgül-Yücel, S., (1999). Pirinç kepeği yağının yerinde esterleşmesi ile yağ asitleri monoesterleri üretimi, Doktora tezi, İ.T.Ü. Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [104] Kuşkonmaz, N., (1993). Pirinç kabuklarından silisyum nitrür tozunun sentezi, Doktora tezi, İ.T.Ü. Fen bilimleri enstitüsü, İstanbul
- [105] Kamath, S.R. ve Proctor, A., (1998). Silica gel from rice hull ash: preparation and characterisation, Cereal Chem., 75, 484-487.

- [106] Proctor, A., (2005). Rice hull and rice hull silic utilization, Socrates Intensive Programme 'Renewable Biomaterials' , Toulouse, France.
- [107] http://www.amasyaseker.com.tr/index.php?option=com_content&view=article&id=80&Itemid=113, 19 Nisan 2014.
- [108] http://www.hammaddeler.com/index.php?option=com_content&view=article&id=4654&Itemid=414, 13 Nisan 2014

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ekin ÇINAR
Doğum Tarihi ve Yeri : 26.11.1988- Tarsus
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : ekin_cinar_5@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Kimya Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2014
Lisans	Kimya Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2012
Lise	Fen Bilimleri	İçel Anadolu Lisesi	2006

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2013	Geyik Kimya	Kimya Mühendisi ve Satış Temsilcisi
2012	2y Botoks Kremleri	Çağrı Merkezi Müşteri Temsilcisi
2011	Ariteks Boyacılık Tic. Ve San. A.Ş	Stajyer Kimya Mühendisi
2010	Şişecam Soda San. A.Ş	Stajyer Kimya Mühendisi
2010	Dış Ticaret Müsteşarlığı	Stajyer Kimya Mühendisi

YAYINLARI

Makale

1. The Zinc and The Cadmium Adsorption Study by Using Seyitomer Fly Ash, Diatomite and Molasses In Wastewater (Gönderildi)

Bildiri

1. The Cadmium Adsorption Study by Using Seyitomer Fly Ash, Diatomite and Molasses in Wastewater, (N. Tugrul, E. Cinar, N. Baran A carali, S. Pişkin), ICCEE 2014: International Conference on Chemical and Environmental Engineering, Barcelona, Spain, October 27-28 (Kabul edildi)

Proje

1. Farklı Bölgelerden Alınan Uçucu Küllerin Ağır Metal İyonlarının Adsorbansı Üzerinde Etkilerinin İncelenmesi, 2011-07-01-KAP01 numaralı KAP Projesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü, Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖDÜLLERİ

1. Kimya Mühendisliği Lab III Poster Yarışması 2012 2.lık Ödülü