

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**METAL KAPLAMA SANAYİ ATIK SULARINDAN
PERLİT MİNERALİ İLE TOPLAM KROM
GİDERİMİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Sevgi SÖNMEZ

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Bülent
ŞENGÖRÜR**

Haziran 2006

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**METAL KAPLAMA SANAYİ ATIK SULARINDAN
PERLİT MİNERALİ İLE TOPLAM KROM
GİDERİMİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Sevgi SÖNMEZ

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 14 / 06 / 2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Prof.Dr. Bülent ŞENGÖRÜR
Jüri Başkanı**

**Yrd.Doç.Dr. Nurtaç ÖĞLENİ
Üye**

**Yrd.Doç.Dr. Şenol YILMAZ
Üye**

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı titizlikle yöneten, çalışma süresince her türlü teşvik ve fedakarlığı esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Bülent ŞENGÖRÜR'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarına yakın ilgi ve alaka gösteren, değerli fikirleriyle yardımlarını esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Ömer ÖĞLENİ, Yrd. Doç. Dr. Nurtaç ÖĞLENİ ve Yrd. Doç. Dr. Mehmet İŞLEYEN başta olmak üzere tüm bölüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi yardımlarıyla beni sürekli destekleyen ve motive eden Sayın Prof. Dr. Cuma BİNDAL ve Yrd. Doç. Dr. Şenol YILMAZ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarına katkıda bulunan değerli arkadaşlarım Nalan BÖCEK ve Gülsevil ÇETİN YAZGAN'a teşekkür ederim.

Beni maddi ve manevi tüm imkânlarıyla her zaman destekleyerek bugünlere gelmemde vesile olan sevgili aileme, dedeme, biricik kardeşime ve ihtiyacım olduğunda hep yanımda olan nişanlım Hasan Kemal ÖZTÜRK'e teşekkürlerimi sunarım.

Sevgi SÖNMEZ

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
TABLOLAR LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Ağır Metaller ve Etkileri.....	3
1.2. Ağır Metallerin Giderim Yöntemleri.....	7
BÖLÜM 2.	
METAL KAPLAMA ENDÜSTRİSİ VE ATIK SULARININ ÖZELLİKLERİ.....	12
2.1. Yüzey Kaplamaları.....	13
2.1.1. Metalik olmayan kaplamalar.....	13
2.1.2. Metalik kaplamalar.....	14
2.2. Elektrolitik Kaplama.....	15
2.2.1. Elektrolit.....	15
2.2.2. Katot.....	16
2.2.3. Anot.....	17
2.2.4. Kaplama tankı.....	17
2.3. Kaplama Kalitesine Etki Eden Faktörler.....	19
2.3.1. Akım yoğunluğu.....	19
2.3.2. Elektrolit (çözelti) konsantrasyonu.....	20
2.3.3. Elektrolit banyosunun karıştırılması.....	20

2.3.4. Sıcaklık.....	20
2.3.5. Kolloidal bileşenlerinin etkisi.....	21
2.3.6. Kaplama veya dağılma iktidarı.....	21
2.4. Metal Kaplama Öncesi Yüzey Temizleme İşlemleri.....	22
2.4.1. Yağlı maddelerin alınması.....	22
2.4.2. Kabukların ve diğer oksitlerin alınması.....	23
2.5. Metal Sanayi Atıklarının Özellikleri.....	24
2.6. Metal Kaplama Atıklarının Arıtımı.....	26
BÖLÜM 3.	
PERLİT.....	28
3.1. Tanım ve Sınıflandırma.....	28
3.2. Sanayide Perlit.....	31
3.2.1. Kriyojenik tankların ısı yalıtımında.....	31
3.2.2. Değişik fırınların ve sistemlerin ısı yalıtımında.....	31
3.2.3. Refrakter tuğla üretiminde.....	31
3.2.4. Döküm sanayinde.....	31
3.3. Dünyada Mevcut Durum.....	32
3.3.1. Rezervler.....	32
3.3.2. Üretim.....	33
3.3.2.1. Üretim yöntemi ve teknolojisi.....	33
3.3.2.2. Üretim miktarı.....	34
3.3.3. Tüketim.....	35
3.3.3.1. Tüketim alanları.....	36
3.3.3.2. Tüketim miktarı.....	40
3.3.4. Uluslararası ticaret.....	41
3.3.4.1. İthalat - ihracat.....	42
3.3.4.2. Komşu ülkelerin ticaretteki yerleri.....	43
3.3.5. İstihdam.....	44
3.3.6. Çevre.....	44
3.4. Türkiye’de Mevcut Durum.....	44
3.4.1. Rezervler.....	44
3.4.2. Üretim.....	45

3.4.2.1. Üretim yöntemi ve teknolojisi.....	45
3.4.2.2. Üretim miktarı.....	47
3.4.3. Tüketim.....	47
3.4.3.1. Tüketim alanları ve miktarı.....	47
3.4.4. Uluslararası ticaret.....	48
3.4.4.1. İthalat - ihracat.....	48
3.4.4.2. Komşu ülkelerin ticaretteki yerleri.....	48
3.4.5. İstihdam.....	49
3.4.6. Çevre.....	49
BÖLÜM 4.	
ADSORPSİYON.....	50
4.1. Adsorpsiyon Mekanizması.....	55
4.2. Adsorpsiyon Kinetiği.....	56
4.3. Adsorpsiyon İzotermi.....	58
4.3.1. Langmuir adsorpsiyon izotermi.....	59
4.3.2. Freundlich adsorpsiyon izotermi.....	61
4.3.3. Bet adsorpsiyon izotermi.....	63
4.4. Literatür Bilgileri.....	65
BÖLÜM 5.	
MATERYAL VE METOD.....	70
5.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Analiz Yöntemleri.....	70
5.1.1. Atomik absorpsiyon spektroskopisi.....	70
5.1.2. Atomik absorpsiyon ölçümü.....	71
5.1.3. Konsantrasyon tayini.....	71
5.2. Deney Düzeneği.....	72
5.3. Numunelerin Ölçüme Hazırlanması.....	72
5.4. Tesis Bilgileri.....	72
BÖLÜM 6.	
BULGULAR.....	74
6.1. Deneysel Çalışmalar.....	74

BÖLÜM 7.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	84
KAYNAKLAR.....	87
ÖZGEÇMİŞ.....	91

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AAS	: Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi
A.B.D	: Amerika Birleşik Devletleri
Ag	: Gümüş
Al ₂ O ₃	: Alüminyum Oksit
Al ₂ (SO ₄) ₃	: Alüminyum Sülfat
As	: Arsenik
A.Ş.	: Anonim Şirketi
B	: Bor
Ba	: Baryum
B.D.T	: Bağımsız Devletler Topluluğu
Be	: Berilyum
BOI	: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
Ca	: Kalsiyum
CaO	: Kalsiyum Oksit
CCl ₄	: Karbontetraklorür
Cd	: Kadmiyum
Ce	: Seryum
cm ³	: Santimetreküp
CN	: Siyanür
CO ₂	: Karbondioksit
Co	: Kobalt
Cr(OH) ₃	: Krom trioksit
C ₀	: Başlangıç metal iyonu konsantrasyonu
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
ÇED	: Çevresel Etki Değerlendirme
db	: Desibel

dk	: Dakika
dm ³	: Desimetreküp
F	: Florür
Fe	: Demir
FeCl ₃	: Ferrik Klorid
FeO	: Ferro Oksit
FeSO ₄	: Demir Sülfat
Fe ₂ O ₃	: Demir (III) Oksit (Ferrik Oksit)
g	: Gram
H	: Hidrojen
HCl	: Hidroklorik Asit
HF	: Hidrojen Florür
Hg	: Civa
H ₂ SO ₄	: Sülfürik Asit
hz	: Hertz
K	: Potasyum
Kcal	: Kilokalori
Kg	: Kilogram
kj	: Kilojoule
KOI	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
Kons.	: Konsantrasyon
K ₂ O	: Potasyum Oksit
l	: Litre
Ltd. Şti.	: Limited Şirketi
Max.	: Maksimum
mg	: Miligram
Mg	: Magnezyum
MgO	: Magnezyum Oksit
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre
Mn	: Manganez
MnO ₂	: Mangan dioksit
m ³	: Metreküp

N_2	: Azot
$NaAlO_2$: Sodyum Alüminat
Na_2O_3	: Sodyum Oksit ($Na_2O.O_2$)
$NaOH$: Sodyum Hidroksit
$Na_2S_2O_5$: Sodyum Metabisülfid
Na_2CO_3	: Sodyum Karbonat
Ni	: Nikel
NiO	: Nikel Oksit
OH	: Hidroksit
Pb	: Kurşun
PbO	: Kurşun Oksit
rpm	: Devir
San. Tic.	: Sanayi Ticaret
Sb	: Antimon
Se	: Selenyum
SiO_2	: Silisyum Oksit
Sn	: Kalay
sn	: Saniye
SO_2	: Kükürt dioksit
SO_3	: Kükürt trioksit
SO_4	: Sülfat
t	: Zaman
TiO_2	: Titanyum Oksit
TOK	: Toplam Organik Karbon
Zn	: Çinko
%	: Yüzde
\$: Dolar
$^{\circ}C$: Santigrad Derece
ΔH	: Entalpi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Kaplama banyosu kesiti.....	19
Şekil 4.1. Langmuir adsorpsiyon izoterminin grafiksel ifadesi.....	60
Şekil 4.2. Langmuir adsorpsiyon izoterminin lineerize şekli.....	61
Şekil 4.3. Freundlich adsorpsiyon izoterminin grafiksel ifadesi.....	62
Şekil 4.4. Freundlich adsorpsiyon izoterminin lineerize şekli.....	63
Şekil 4.5. Bet adsorpsiyon izoterminin lineerize şekli.....	64
Şekil 6.1. Adsorbent miktarının çözeltide kalan toplam krom miktarına etkisinin tayini ($C_0=444$ mg/l, $t=10$ dk).....	76
Şekil 6.2. Adsorbent miktarının çözeltide kalan toplam krom miktarına etkisinin tayini ($C_0=444$ mg/l, $t=20$ dk).....	76
Şekil 6.3. Adsorbent miktarının çözeltide kalan toplam krom miktarına etkisinin tayini ($C_0=444$ mg/l, $t=30$ dk).....	77
Şekil 6.4. Adsorbent miktarının çözeltide kalan toplam krom miktarına etkisinin tayini ($C_0=444$ mg/l, $t=40$ dk).....	77
Şekil 6.5. Karıştırma süresinin toplam krom giderim verimine etkisinin tayini ($C_0=444$ mg/l, Adsorbent miktarı=0,1 g/l).....	79
Şekil 6.6. Karıştırma süresinin toplam krom giderim verimine etkisinin tayini ($C_0=444$ mg/l, Adsorbent miktarı=0,5 g/l).....	79
Şekil 6.7. Karıştırma süresinin toplam krom giderim verimine etkisinin tayini ($C_0=444$ mg/l, Adsorbent miktarı=1 g/l).....	80
Şekil 6.8. Karıştırma süresinin toplam krom giderim verimine etkisinin tayini ($C_0=444$ mg/l, Adsorbent miktarı=3 g/l).....	80
Şekil 6.9. Karıştırma süresinin toplam krom giderim verimine etkisinin tayini ($C_0=444$ mg/l, Adsorbent miktarı=5 g/l).....	81
Şekil 6.10. Karıştırma süresinin toplam krom giderim verimine etkisinin tayini ($C_0=444$ mg/l, Adsorbent miktarı=7,5 g/l).....	81

Şekil 6.11. Karıştırma süresinin toplam krom giderim verimine etkisinin tayini ($C_0=444$ mg/l, Adsorbent miktarı=10 g/l).....	82
Şekil 6.12. Karıştırma süresinin toplam krom giderim verimine etkisinin tayini ($C_0=444$ mg/l, Adsorbent miktarı=20 g/l).....	82
Şekil 6.13. Her bir adsorbent miktarında toplam krom giderim veriminin zamana göre değişimi ($C_0=444$ mg/l).....	83

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Amerika’da halk sağlığı açısından kabul edilen içme suyu standartları.....	5
Tablo 1.2. TS 266’a göre eser element konsantrasyonları.....	5
Tablo 1.3. Çeşitli endüstrilerin atık sularında bulunan ağır metaller.....	7
Tablo 2.1. Metal kaplama atık sularının tipik zellikleri.....	26
Tablo 3.1. Ham perlitin fiziksel zellikleri.....	29
Tablo 3.2. Genleşmiş perlitin fiziksel zellikleri.....	30
Tablo 3.3. Perlitin % olarak kimyasal zellikleri.....	30
Tablo 3.4. Dünya perlit rezervleri (milyon ton).....	32
Tablo 3.5. lkelere göre perlit üretim miktarları (bin ton).....	35
Tablo 3.6. A.B.D’de perlit tüketim miktarı (bin ton).....	41
Tablo 3.7. Avrupa Birliği lkelerinin perlit tüketimi (bin ton).....	41
Tablo 3.8. Dünya perlit ithalatı (bin ton).....	42
Tablo 3.9. Dünya perlit ihracatı (bin ton).....	43
Tablo 3.10. Türkiye perlit rezervleri.....	45
Tablo 3.11. Türkiye perlit üretim miktarı (ton).....	47
Tablo 3.12. Türkiye perlit tüketim oranları.....	48
Tablo 3.13. Türkiye perlit ihracatı.....	49
Tablo 5.1. AAS ile ilgili çalışma şartları.....	71
Tablo 5.2. Elemente ait doğruluk ve kalibrasyon değerleri.....	71
Tablo 6.1. Optimum adsorbent miktarı tayini.....	75
Tablo 6.2. Adsorbent miktarının zamana karşı zeltide kalan toplam krom miktarına etkisi ($C_0=444$ mg/l).....	78
Tablo 6.3. Adsorbent miktarının zamana karşı toplam krom giderim verimine etkisi ($C_0=444$ mg/l).....	78

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Toplam Krom, Perlit

Doğal kaynaklarımızın başında gelen suya olan ihtiyacımız gerek ilerleyen endüstrileşme ve gerekse her geçen gün artan nüfus ile daha da önemli hale gelmektedir. Bu nedenle, su kirlenmesinde özellikle endüstriyel atıklardan kaynaklanan ağır metal kirliliği üzerinde önemle durulması gereken bir konudur.

Dünya perlit rezervinin % 70'nin Türkiye'de olduğu ve perlitin % 70'nin silika içerdiği göz önüne alındığında mineralin ekonomiye farklı bir yolla kazandırılması düşünülebilir.

Bu çalışmada IR Emniyet ve Güvenlik Sistemleri San. A.Ş. kromlu atık su dengeleme havuzundan numune alınarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Farklı karıştırma süreleri ve farklı miktarlarda perlit ilavesiyle jar test çalışmaları tamamlanmıştır.

Sabit 6,84 pH değerinde, oda sıcaklığında ve 90 rpm karıştırıcı hızıyla yapılan çalışmalar neticesinde 40 dakikada 3 g/l perlit ilavesiyle maksimum toplam krom giderim verimi % 42 olarak bulunmuştur. Literatür bilgileri ve bu çalışma neticesinde düşük maliyetli olan perlitin geleneksel adsorbentlere bir alternatif olabileceği sonucuna varılır.

THE INVESTIGATION OF REMOVAL TOTAL CHROMIUM ON WASTEWATER OF METAL COATING INDUSTRY USING PERLITE MINERAL

SUMMARY

Keywords: Perlite, Total Chromium

Surface water and groundwater sources are contaminated by industries due population increases. Today, inorganic contaminants such as Pb, Zn, and Cr are measured at various concentrations. Alternative treatment methods are needed to remove heavy metal from water bodies.

Turkey has 70 percent of Perlite sources in the World. Perlite consists of approximately 70 percent of silica known as porous materials. Therefore, Perlite may use as sorbent materials to remove heavy metal from wastewater generated by industries.

In this study, experiments have been conducted to investigate Cr removal from wastewater generated by IR Security System in Düzce, Turkey. Jar tests were carried out at various dosages and rpm at room temperature. Optimum dosage was found to be 3 gram per liter of wastewater at 90 rpm for 40 minutes of mixing period. For this optimum dose of Perlite, Cr removal from the wastewater was around 42 % which is close to values given in literatures. The results show that Perlite could be used as sorbent for removal of heavy metal from wastewater. However, further studies need to be done on the chemistry of the process of removal by Perlite.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Sanayileşme, kentleşme, nüfus artışı, teknolojik gelişmeler günümüzde birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Bu gelişmelerin getirdiği sorunların başında, canlı hayatını önemli ölçüde tehdit eden yaşadığımız ortamın ekolojik dengesini bozan çevre kirliliği gelmektedir. Çevre kirliliğinin en önemli kısmını atık sular ve su kirlenmesi teşkil etmektedir. Bu kirlilikler insan sağlığını doğrudan etkilemektedir [1].

Su, insanların içme, kullanma, sanayi ve tarımsal amaçlı gereksinimlerini karşıladıktan sonra nitelik yönünden çeşitli değişimlere uğrar ve atık suya dönüşür. Böylece su bünyesinde sağlığa zararlı biyolojik, kimyasal maddeleri içerir ve bunların kolayca bir bölgeden diğer bir bölgeye taşınmasına da aracılık eder. Dünyadaki suyun % 95'i tuzlu sudur ve tatlı suyun da büyük bir kısmı buzullarda ve yeraltındadır (% 4,9). Buna göre kullanılabilir su miktarı % 0,1'dir. Bu durum kullanılan suyun atık suya dönüşümünde başta kısıtlı olan su kaynakları olmak üzere çevrede olumsuz etkilerin ne ölçüde önemli olduğunu ortaya çıkarmaktadır [2].

Doğal kaynaklarımızın başında gelen suya olan ihtiyacımız gerek ilerleyen endüstrileşme ve gerekse her geçen gün artan nüfus ile daha da önemli hale gelmektedir. Buna rağmen su kaynaklarımız giderek azalmakta ve mevcut kaynaklar kirlenme riski ile karşı karşıya kalmaktadır. Doğal kaynakların sınırlı olması ve bizden sonraki nesillerinde bu kaynaklardan faydalanmaları gerektiğinden doğal kaynakların korunması gerekliliği çevre bilincini ortaya çıkarmıştır. Çevresel kaynakların karşısında ise kirlenici durumda olan fakat ondan vazgeçilemeyeceği de bir gerçek olan sanayileşme durmaktadır [3].

Sanayi atık suları akarsu, deniz veya alıcı ortamlara bırakılmadan önce çeşitli yöntemlerle arıtılmalı, ayrıca atık su arıtma yöntemlerine göre zehirli maddeler ve

inhibitörlerden belirli oranda arındırılması gerekmektedir. Aksi takdirde bu maddeler, deşarj edildikleri ortamda oksijeni tüketerek, zehirlenme yoluyla akarsu, göl ve denizlerdeki canlı hayatını tehlikeye sokmaktadır [4].

Endüstriyel atık sular 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 suların alıcı ortama ulaşması sucul yaşamı etkilemekte ve su kaynaklarının içme suyu amaçlı kullanılması durumunda ise pahalı arıtma tekniklerinin uygulanmasını gerekli kılmaktadır. 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 endüstriyel atık suların kanalizasyon sistemine deşarjı büyük önem arz etmektedir [5].

Çevre kirliliği açısından sorun oluşturan ağır metallerden biri de kromdur. Krom, genelde metal, metal kaplama sanayi atık sularında bulunur. Metal sanayi atık suları nicelik açısından az olmakla birlikte, toksik özellikte olmaları nedeniyle alıcı ortama verilmeden önce arıtılmaları gerekmektedir.

Perlitin birçok kullanım alanının olduğu, gün geçtikçe kullanım alanı çeşitliliğinin arttığı ve dünya perlit rezervinin yaklaşık %70'nin Türkiye'de olduğu göz önüne alındığında, perlitin ülkemiz için önemli bir cevher olduğu anlaşılmaktadır. Perlit günümüzde esas itibariyle inşaat sektöründe tüketilmekte, bu nedenle de perlit hakkındaki araştırmalar inşaat malzemelerinin üretimi ve bu malzemelerin özelliklerinin incelenmesi konularında yoğunlaşmıştır. Adsorbent olarak perlitin kullanımını konusunda çok az sayıda çalışmaya rastlanmaktadır.

Bu çalışmada, diğer adsorbentlere kıyasla oldukça düşük maliyetle elde edilen perlit minerali kullanılarak, metal kaplama sanayi atık sularındaki kromun giderimi üzerine çalışılmıştır. Çevre kirliliğinin giderek önem kazandığı ülkemizde, atık suların temizlenmesinde hem ekonomiklik hem de etkinlik açısından adsorpsiyon yönteminin kullanılabilirliği ve perlit mineralinin ekonomiye farklı bir yolla kazandırılması amaçlanmaktadır.

1.1. Ağır Metaller ve Etkileri

Günümüzde insanoğlunun çeşitli aktiviteleri sonucu meydana gelen atıklar çevrede hızla artmaları sonucu bazı önemli çevresel problemlere neden olmaktadır. Kirleticilerin en önemlilerinden birkacı ortamda uzun süre kalıcı ve toksik olan kimyasal maddeler ve türevleridir. Bu kirleticiler belirli düzeylerden sonra normal ortamda yaşayan ekosistem bireylerinin yaşamsal aktivitelerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır.

Su kirlenmesinde önemli bir yer tutan ağır metal kirliliğinin nedenleri arasında esas olarak madencilik endüstrisi yer almaktadır. Örneğin, cevherlerden metallerin kazanılması sırasında meydana gelen atıklar çoğu kez geçirdikleri işlemlere bağlı olarak aktifleşip birer kirlilik kaynağı haline gelmektedirler. Ağır metaller ile kirlenmiş atıksular genel olarak Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ) değeri düşük, asidik ve suda yaşayan ve bu suyu kullanan canlılar için çok zehirli, kendi kendine temizlenme veya arıtmada etken mikroorganizmaları öldürücü nitelikte inorganik karakterli sulardır. Kirliliği oluşturan krom, kurşun, nikel, bakır, demir, çinko, arsenik, civa, kadmiyum gibi ağır metal iyonlarıdır [6]. Bu metaller içme suları kullanımında doğrudan insan sağlığını etkilediği gibi, toprakta birikerek bitkilerin gelişmesini engellemekte ve bitkilerde birikim yaparak insan ve hayvan sağlığını gıda zinciri içerisinde tehdit etmektedir [7]. Ağır metallerin bazıları biyolojik yaşamda gerekli olup, örneğin yeterli miktarlarda bulunmayışı alglerin çoğalmasını sınırlandırabilir. Ancak özellikle metal kaplama ve demir çelik endüstrisinden gelen atık sular içindeki ağır metallerden kadmiyum, civa, kurşun ve krom besin zincirleriyle girdikleri canlı bünyelerinden atılamadıkları için canlılarda fizyolojik birikime neden olurlar. Bünyede belirli sınır konsantrasyonların aşılması halinde ise canlıda toksik etkiler söz konusu olur. Bu birikim sonucu sularda yaşayan balıklar ve diğer canlılar ölebilir ve hatta bu tür su ürünleriyle beslenen insanların bile olumsuz sağlık etkilerine uğramaları söz konusu olabilir. Bu nedenle bu maddelerin konsantrasyonlarının çoğunlukla önlenmesi ve kontrol edilmesi gerekir [6].

Ağır metallerin toksisitesi pH, çözülmüş oksijen, sıcaklık, balığın büyüklüğüne oranla çözeltilinin hacmi, çözeltilinin yenilenme frekansı, çözeltideki diğer maddeler ve

sinerjetik etki gibi faktörlere bağlıdır. Suyun pH'ı en önemli faktör olabilir. Ağır metallerin destile ve yumuşak sularda sert ve bazik sulara göre daha toksik olduğu sanılmaktadır. Sıcaklık artışı ağır metallerin balıklara karşı olan toksikliğini çoğaltır. Pb, Hg, Cu, Zn gibi ağır metaller suda çok az miktarlarda bulunurlar. Bunların hepsi su hayvanları için toksiktir. Çoğu 1 ppm sınırında öldürücüdür [8].

Denizde yapılan araştırmalar Se, Fe, Mn, Ce, Co gibi elementlerin doğal olarak yerkabuğundan sulara karıştığını; Mg, K ve Ca elementlerinin deniz suyunun doğal bileşenleri olup hava ortamına denizlerden geçtiğini; buna karşılık Zn, Cu, Cd, Hg, Sb, Ag, As, Pb, Cr ve Se gibi kronik ve akut zehirliliği yüksek elementlerin atmosfere insan faaliyetleri ile karıştıktan sonra denize ve yer kabuğuna bulaştığı izlenimini ortaya koymaktadır. Bunun sonucu olarak metal grubunun hava/deniz ve hava/yer kabuğu arasındaki zenginleştirme faktörleri son derece yüksek olmaktadır.

Bu metallerin bir kısmı akarsular, drenaj yolları, atık su deşarjları gibi belli başlı yollar başta olmak üzere tarımsal alanlar dâhil, karalardan denize karışabilmektedir. Böylece karadaki kirletici kaynaklardan çıkıp gerek sıvı kirletici deşarjları ve gerekse atmosferde taşınmak suretiyle deniz ortamına geçen Zn, Cu, Cd, Pb, Cr gibi belli başlı zehirleyici metaller deniz suyunda bulunabilirler.

Halk sağlığı açısından, çeşitli ülkelerde maksimum müsaade edilebilen iz element konsantrasyonları belirlenmiştir. Amerika'da halk sağlığı açısından kabul edilen içme suyu standartları tablo 1.1'de verilmiştir. Ülkemizde ise TS 266 olarak bilinen içme sularının fiziksel ve kimyasal özelliklerini gösteren normlara göre müsaade edilebilen ve maksimum eser element konsantrasyonları tablo 1.2'de verilmiştir [9].

Tablo 1.1. Amerika'da halk sağlığı açısından kabul edilen içme suyu standartları [9]

İz Anorganik Madde	Konsantrasyon (mg/l)
Ba	1
Cd	0,01
Cr	0,05
Pb	0,05
Zn	5
Hg	
Ag	0,01 - 0,05
CN	0,01 - 0,2
F	1
Se	0,01

Tablo 1.2. TS 266'a göre eser element konsantrasyonları [9]

İz Anorganik Madde	Müsaade Edilebilen Konsantrasyon (mg/l)	Maksimum Değer (mg/l)
Pb		0,05
Se		0,01
As		0,05
Cr ⁺⁶		0,2
Cn ⁻		0,01
F ⁻	1	1,5
Fe	0,3	1
Mn	0,1	0,5
Cu	1	1,5
Zn	5	15

Genel olarak iz elementlerin kullanıldıkları yerler ve meydana getirdikleri başlıca sorunlar şunlardır;

Baryum: Baryum tuzları genel olarak boya ve kâğıt sanayiinde kullanılırlar. Sularda baryum limiti 1 mg/l olarak tespit edilmiştir. Eğer bu miktar aşılsa canlılarda böbrek ve dolaşım bozukluklarına sebep olur.

Kadmiyum: Kadmiyum pil, boya ve plastik sanayiinde; ayrıca demir ürünleri ve kaplama sanayiinde kullanılır. Standartlarında belirtilen miktarlar aşırsa; yüksek kan basınçlarına ve böbrek bozukluklarına sebep olur.

Krom: Krom alaşımı, kataliz, krom oksit, kaplama ve krom tuzları sanayiinde kullanılır. İçme sularında belirtilen sınır değerler aşıldığı zaman; deri rahatsızlıklarına ve karaciğer bozukluklarına sebep olur.

Bakır: Çok değişik alanlarda kullanılır. Yüzeysel sularda bakır 1,0 mg/L nin altında bile su bitkilerine zehirli etki yapabilir. Bağcılıkta, pestisit olarak ve zaman zaman alglerin yok edilmesi için bakır tuzları kullanılabilir. Bazı balıklar için 1 mg/L konsantrasyonda bile toksik olabilir.

Kurşun: Kurşun boru, boya, akü vb. sanayi dallarında kullanılmaktadır. Belirtilen standarttan fazlası böbrek ve beyin bozukluklarına sebep olmaktadır.

Civa: Amalgam, bilimsel aletler, pil, bambu, gümüş ve altın ekstraksiyon sanayiinde kullanılır. Belirtilen standarttan fazlası birikimlere sebep olmaktadır.

Nikel ve Kobalt: Her ikisi de elektrolitik kaplamada kullanılır. Fazla dozlarda kansere sebep olabileceği düşünülerek ileride içme suyu standartlarına bu metalleri de eklemek için çalışılmaktadır.

Arsenik: Arsenik, maden ve metalurji sanayinden çıkan zaman zaman kullanılan arsenikli tarım ilaçlarıyla kimya sanayi atıklarında bulunur.

Selenyum: Elektrik sanayiinde kullanılır. Ayrıca metalurji sanayiinde, hammaddeye bağlı olarak bulunur. Kömür rezervlerimizin bir kısmının yüksek Se içerdiği, bunun da baca gazı yoluyla çevreye Se bileşikleri saçılmasına neden olduğu bilinmektedir.

Siyanür: Çevresel önemi büyük olan siyanür iyonları metal kaplama atıksuları, kok fabrikaları ve petrol rafinerilerinden çevreye karışmaktadır [9].

Tablo 1.3. Çeşitli endüstrilerin atıksularında bulunan ağır metaller [10]

	Otomotiv	Azotlu Gübre	Cam	Çimento	Deri	Metal	Petrol	Plastik Madde	Kâğıt	Termik Enerji	Çelik	Tekstil
Krom	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x
Siyanür	x					x	x	x			x	
Bakır	x		x			x	x			x		
Nikel	x					x	x					
Demir	x		x			x	x			x	x	
Çinko	x	x	x	x		x	x	x		x	x	
Kalay	x		x								x	
Kurşun	x					x	x					
Kadmiyum	x					x						

1.2. Ağır Metallerin Giderim Yöntemleri

Çevresel ortamlarda ağır metallerin bulunuşu yaşayan türlere zararlı olup bu ağır metallerin su ve atık sulardan elimine edilmesi halk sağlığı için çok önemli bir olaydır. Ağır metal giderimi için birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında bazıları şunlardır:

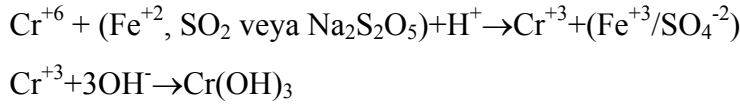
- Kimyasal çöktürme
- Kimyasal oksidasyon-redüksiyon
- Flotasyon

- Ters osmoz
- Mikroorganizma vasıtası ile
- Adsorpsiyon
- İyon değiştirme

Atık sulardan ağır metallerin giderilmesinde yaygın olarak kimyasal koagülasyon ve çöktürme yöntemleri kullanılır. $FeCl_3$, $Al_2(SO_4)_3$, $NaAlO_2$ gibi kimyasal koagülantlar ve organik polimerler çökelme verimini artırır. Ağır metaller genellikle minimum çözünürlük sağlayan bir pH değerinde kireç ve kostik soda kullanılarak çoğunlukla hidroksitler şeklinde çöktürülürler. Hidroksit çöktürmesi işlem kolaylığı ve maliyeti bakımından en yaygın kullanılan bir metoddur [11].

Kimyasal oksidasyon-redüksiyon reaksiyonları tehlikeli atıklar için diğer bir önemli alternatif kimyasal arıtma yöntemidir. Oksidasyon elektron kaybına, indirgenme de elektron kazanımına eşdeğerdir. Organik bileşiklerin oksidasyonunda oksijen ilavesi, hidrojen uzaklaştırılması, elektron uzaklaştırılması reaksiyonları gerçekteşir. Oksidasyon veya redüksiyonun her ikisi de aynı reaksiyonda meydana gelir [12].

En önemli redoks arıtım proseslerinden biri, metal kaplama tesislerinden gelen en önemli kirleticilerden biri olan altı değerlikli kromun daha az toksik olan üç değerlikli kroma indirgenmesidir. Kromlu atıkların indirgenmesinde ferro sülfat, sodyum metabisülfıt veya kükürt dioksit gibi indirgen maddeler kullanılır. Ferro sülfat ve sodyum meta bisülfıt kuru halde veya çözelti halinde SO_2 ise sisteme doğrudan doğruya gaz silindirlerden verilir. Sülfıtlar, bisülfıtlar, metabisülfıtlar ve serbest kükürt dioksit aktif indirgen maddelerdir. Krom (+6) nın indirgenmesi olayı düşük pH ($pH < 3$) değerlerinde çok verimli bir şekilde gerçekteşmesinden dolayı kimyasal indirgen maddenin asidik özellikte olması gereklidir. Ferro sülfat indirgen madde olarak kullanıldığında Fe^{+2} , Fe^{+3} ’e oksitlenir. Cr^{+6} ise Cr^{+3} ’e indirgenir. Eğer metabisülfıt veya kükürt dioksit kullanılırsa, SO_3^- kökü SO_4^{-2} ’e dönüştürülür. Asitlendirme bikromatları kromik (Cr^{+3}) tuzlarına indirger. İndirgenmeyi asidik ortamda, bunu takiben alkali ortamda çöktürme yapmak gerekir. Krom arıtımında kullanılan genel reaksiyon şöyledir:



Metal kaplama tesislerinde oluşan siyanürlü atık suların arıtımı için kimyasal oksidasyon yöntemi tercih edilir. Oksidasyon maddesi olarak hava, klor, sodyum hipoklorit, potasyum permanganat veya ozon kullanılmaktadır. CN^- içeren çinko kaplama atıkları alkalidir. İlk olarak siyanür alkali klorlama ($\text{pH} > 10$) ile çok daha az toksik olan siyanata daha sonra siyanat bileşiği nötrale yakın ortamda biraz daha oksitlenerek N_2 ve CO_2 'e dönüşür [13].

Ağır metal gideriminde kullanılan diğer bir yöntemde flotasyon yöntemidir. Flotasyon, katı ve sıvı fazların bir sıvı fazdan ayrılması için kullanılan ve çökeltme işleminin tersi olan bir temel işlemdir. Flotasyon işlemi endüstriyel atıksuların arıtımında geniş bir uygulama sahası bulmuştur. Yağ ve margarin sanayi, et entegre tesisleri, kağıt sanayi, petrol rafinerileri kömür üretimi ve işletme sanayi, demir çelik sanayi, madencilik, metal kaplama, sabun sanayi, şeker rafinerileri, tabakhaneler, yünlü tekstil sanayi, balık ürünleri işleme tesisleri, petrokimya sanayi atıksularının arıtımında yaygın olarak kullanılır [12]. Bu prosesin avantajları:

- İşlem kolaylığı
- İşletme uygunluğu ve etkinliği
- Sınırlı alan ihtiyacı
- Az konsantre çamur üretimi
- Kirece göre uygun maliyet
- Enerji ve kimyasal madde açısından işletmede düşük maliyet
- Büyük ölçekli uygulamaların olmasıdır [10].

Ters osmoz, yüksek basınç ve yarı geçirgen membran vasıtası ile kirleticilerden atıksuların uzaklaştırıldığı bir prosestir. Ters osmoz ile ultrafiltrasyon birbirine benzer ve aralarında çok keskin bir fark bulunmaz. Ultrafiltrasyon katıları şekil ve boyutlarına göre ayıran fiziksel; ters osmoz ise membran çözelti etkileşimleri sonucu verimliliğin belirlendiği fizikokimyasal bir prosesdir [14].

Ağır metallerin giderilmesinde kullanılan diğer bir yöntemde mikroorganizmalardır. Suda yaşayan pek çok mikroorganizma çözülmüş ağır metalleri ve radyoaktif elementleri çevrelerinden bünyelerine adsorplayabilirler. Mikroorganizmaların bu özelliklerinden yararlanılarak deniz suyu, endüstriyel ve evsel atıksular ve radyoaktif sularda yeralan zararlı metal iyonlarının giderilmesinde kullanımları mümkündür. Ağır metal iyonlarının adsorplanarak atık suyun temizlenmesinde çeşitli alg türleri, bakteri ve mayalar başarı ile kullanılabilirler.

Mikroorganizmaların metal kirliliğinin giderilmesinde kullanımı aynı amaç için kullanılan diğer yöntemlere göre bir takım avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Dezavantajı, bu yöntemle ağır metal gideriminin düşük olmasıdır. Yöntemin avantajları ise:

- Maliyetin düşük olması
- Temiz ve kolay işletilebilir olması
- İşlem süresinin kısa olması sayılabilir [10].

Adsorpsiyon; bir yüzey veya ara kesit üzerinde maddenin birikimi ve değişimini arttırması olarak tanımlanabilir. Katı-sıvı adsorpsiyonu içme suyu ve atıksu arıtımında önemli rol oynar. Su arıtımında adsorpsiyon teknikleri için çeşitli kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Alümina, silikajel, fuller toprağı, makroporöz reçineler, bazik makroporöz iyon değiştirici reçineler, aktif silika ve aktif karbon en çok bilinen adsorban maddelerdir [12].

Aktif karbon adsorpsiyonu çözülmüş organiklerin ayrılması için kullanılan tekniklerin en popüler olanlarından biridir. Tanecikli karbon yapı tercih edilmesine karşılık; hem tanecikli hem de toz hali ile de kullanılabilir. Aktif çamur sistemlerinde (havalandırma havuzlarında) toz haldeki aktif karbonun kullanılmasından sonra, petrokimya, tekstil ve diğer atık suların arıtılma işlemlerinde de son yıllarda aktif karbon kullanılmaya başlandı. Aktif karbonun bunların yanında biyolojik arıtma işlemleri sırasında ağır metalleri gidermesi, KOI ve BOI değerlerini iyileştirmesi gibi üstünlükleri de bulunmaktadır [14].

İyon değiştirme işleminde ise cözelti bir reçine yatağından geğirilirken, ya katyonlar ya da anyonlar seğici olarak ayrılırlar. İyon değiştirme geleneksel metodların başarılı olamadığı atık suların bilhassa seyreltik atık suların arıtılma işlemlerinde uygulanabilir. Kirlenmeyi önlemek dolayısıyla membran ömrünü uzatmak için bir ölçüde ön arıtma yapmak gerekir. Bu yöntem ile hem ağır metaller mükemmel bir şekilde giderilir hem de arıtılan suyun kalitesi çok yüksek olmasına rağmen ekonomik açıdan uygulanması sınırlı olmaktadır. Bu yöntemin uygulanması esnasında şu problemlerle karşılaşılır:

- İyon değiştiricilerde (Fe, Mn, Cu vs.) yağ gres, kum, kil, kolloidal silika, organik maddeler ve mikroorganizmalardan kaynaklanan kirlilik olabilir. Uygun temizleme programının seçimi ile eski verim sağlanabilir.
- Serbest asitlerin varlığı işlemin verimini azaltacaktır.
- Oldukça yüksek işletim maliyeti mevcuttur.

Metal son işlemleri, madencilik ve mineral işleme, kömür madenciliği ve petrol rafinerisi gibi çoğu endüstrilerin proses ve atıksuları ağır metal içermektedir. Atık ve proses sularından değerli metallerin geri kazanma teknolojisi daha ekonomik üretim amacıyla son yıllarda yoğun olarak araştırılmakta ve geliştirilmektedir. Metalin geri kazanımının ekonomikliği yüksek seğicilikte özel reğinelerin kullanımı ile sağlanmaktadır [10].

BÖLÜM 2. METAL KAPLAMA ENDÜSTRİSİ VE ATIK SULARININ ÖZELLİKLERİ

Gelişen teknoloji ile beraber birçok endüstri alanında kullanılacak malzemelerden istenen ve beklenen özellikler de her geçen gün artmaktadır. Mevcut malzeme özelliklerinin istenen şartlara göre modifiye edilme gerekliliği de bu nedenlerle ortaya çıkmıştır. Birçok teknik alanda kullanılan malzemelerin yüzey özelliklerinin çevresel etkilere karşı korunabilmesi için yüzey işlemleri ve/veya yüzey kaplamaları tatbik edilmektedir. Ayrıca birçok sahada kullanılan elemanlardan optimum çalışmayı elde etmek ve bunu artırmak için yüzey işlemleri ve kaplamaları tatbik edilir. Metal ve alaşımlara veya dışındaki diğer malzemelere uygulanan yüzey tekniklerinin amacı çok çeşitlidir. Kaplamaların sağladığı avantajlar şu şekilde özetlenebilir:

- Korozyona karşı dayanım,
- Daha iyi dış görünüş,
- Parlak ve düzgün yüzey,
- Eskime ve aşınmaya karşı dayanıklılık,
- Sertlik,
- Lehimlenebilme,
- Elektrik iletkenliğinin artması.

2.1. Yüzey Kaplamaları

Yüzey tekniklerinin önemli bir grubu olan yüzey kaplamaları kullanılan malzeme cinsine göre belli başlı 2 gruba ayrılır.

1. Metalik olmayan kaplamalar

1.1. Anorganik kaplamalar

1.2. Organik kaplamalar

2. Metalik kaplamalar

2.1.1. Metalik olmayan kaplamalar

Anorganik kaplamalar: Kimyasal reaksiyon sonucu metal yüzeyinde oluşturulan oksit, tuz, emaye ve beton kaplamalar anorganik kaplamalar sınıfına girmektedir. Çeliğin sıcak bazik çözeltilere daldırılmasıyla yüzeyinde bir oksit tabakasının oluşturulması, alüminyumun seyreltik sülfürik asit içerisinde anodik olarak oksitlenmesiyle yüzeyinin Al_2O_3 kaplanması yine çelik parçalarının asidik Mn veya Zn ortafosfat çözeltisine çok kısa süreli olarak daldırılmasıyla fosfatla kaplanması anorganik kaplamalara örnek teşkil eden bazı kaplamalardır.

Anorganik kaplamaların diğer bir türü de emaye kaplamalardır. Bir oksit bileşiminden oluşan, oda sıcaklığında gevrekleşen, sıcaklığın artmasıyla önce yumuşayan, sonra sıvılaştıran cam yapısındaki kaplamalara emaye adı verilmektedir. Emaye kaplamalar, yağ elektrostatik püskürtme, elektrostatik daldırma, elektrostatik toz püskürtme gibi yöntemlerle uygulanır. Bir diğer anorganik kaplamalar da seramik kaplamalardır. Bu kaplamalar; oksitler, silikatlar, karbürler, borürler ve nitrürler gibi seramik esaslı malzemelerin ısı püskürtme teknikleri (alev, plazma, detonasyon), gibi tekniklerle metal yüzeyine uygulanması ile elde edilir. Ayrıca en çok kullanılan seramik kaplama malzemeleri de metal oksitlerdir. Bunlar özellikle aşınma direnci, korozyon direnci, ısıl bariyer gibi bazı özelliklerinin iyi olmalarından dolayı tercih edilir [15].

Organik kaplamalar: Organik kaplamaların en önemli temsilcisi boyalardır. Boyalar pigment adı verilen çok ince parçacıklarla bunları askıda tutan uygun özellikteki taşıyıcıların karışımından oluşurlar. Genel olarak boyalar; güzelleştirme boyaları, tanıma boyaları, koruyucu ve tecrit edici boyalar olmak üzere çeşitli tipte imal edilirler. Genellikle metal oksitlerden ibaret olan ve pigment adı verilen renkli boyalar, boyanan metalin yüzeyi ile reaksiyona girerek yüzeye tutunur ve sağlam tabakalar oluştururlar. Boya ve benzeri kaplama malzemeleri ile korozyon kontrolü çok yaygın bir yöntemdir. Bu uygulamanın çok yaygın olmasının başlıca nedenleri; uygulama kolaylığı, maliyetinin düşük olması, koruyuculuk özelliği yanında dekoratif özelliğinin olması da sayılabilir [15].

2.1.2. Metalik kaplamalar

Metal kaplamalar çeşitli yöntemlerle uygulanabilir. Bu yöntemler;

- Fiziksel yöntemler,
- Mekanik yöntemler,
- Kimyasal yöntemler,
- Elektrokimyasal yöntemler.

Fiziksel yöntemlerle metal kaplamaları şöyle sıralayabiliriz;

- Sıcak daldırma,
- Vakum kaplama,
- Katodik saçınım,
- İyon kaplama,
- İyon aşılama.

Mekanik yöntemlerle metal kaplamanın en belli başlıcaları şunlardır;

- Metal giydirme (cladding),
- Sıcak püskürtme.

Kimyasal yöntemlerden faydalanılarak yapılan metalik kaplamalar ise şunlardır;

1. Yüksek sıcaklıkta uygulanan yöntemler;

- Değişimle,
- Kimyasal indirgeme ile,
- Isıl ayrışım ile.

2. Düşük sıcaklıkta uygulanan yöntemler,

- Kimyasal indirgeme ile,
- Sementasyon,
- Akımsız kaplama.

Elektrokimyasal yöntemler ise elektro kaplama adı ile anılan metal kaplama yöntemlerinden birisidir [15].

2.2. Elektrolitik Kaplama

Metal kaplama yüzeylere elektrolitik birikim yolu ile uygulanır. İletken bir yüzey tabakası sağlanmak koşuluyla, kaplanan yüzey metal veya metal olmayan bir maddedir. Bir kaplama birimi başlıca bir katot, bir anot, bir elektrolit ve uygun bir kaplama banyosundan oluşur. Bunun yanında bazı ek araçlara da gereksinim duyulur. Bunlar elektrolitin karıştırılması ve saflaştırılması için gerekli olan ve herhangi bir otomatik kontrol için gerekli olan araçlardır [16].

2.2.1. Elektrolit

Elektrolit normal olarak kaplanacak metali iyonik halde içeren sulu bir çözeltilerdir. Elektrolitte metali iyonik halde bulundurmanın en basit yolu o metalin basit bir tuzunun çözeltilisini kullanmaktır. Metal tuzunun ve yanında elektrolitin diğer bileşenlerinin bulunduğu kaplama en uygun birikim veren kaplamadır. pH kaplama banyolarında çok büyük önem taşır. Basit metal tuzlarının kullanımı halinde çözelti asidik olmalıdır, aksi halde alkali çözeltide kaplama metali hidroksit halinde çöker. Hidrojen ya da hidroksil iyonlarının çözeltide bulunması iletkenliği artırır.

Kaplama banyosundaki sıcaklığın yükseltilmesi genellikle metal tuzunun çözünürlüğünü ve çözeltinin iletkenliğini artırır. Sıcaklık, birikimin özelliğini etkiler ve sıcaklıktaki artış yetersiz kaplamanın oluşumuna yol açar. Diğer değişkenlerde göz önüne alınarak, en uygun sıcaklık, kaplama hızı ve birikim kalitesi arasında en iyi ortak noktayı sağlayacak ve genellikle deneysel olarak saptanan sıcaklıktır. Uygulama da ise kaplama sıcaklıkları oda sıcaklığından hemen hemen kaynama noktasına kadar değişen bir aralığı kapsar [16].

2.2.2. Katot

Kaplama banyosunda kaplanacak metal katot olarak bağlanır. Kaplamadan önce kaplanacak metale bir ön işlem uygulanması daima gereklidir ve bu işlem için araç ve gereçler kaplama tesisini tamamlayıcı parçalardır. Bir metal yüzeyinin kaplamadan önce yalnızca yağ ve pislikten değil aynı zamanda yüzeydeki diğer tabakaların giderilmesi gereklidir. Temizlemedeki ilk adım yağ ve pislğin uygun bir organik çözücü kullanılarak temizlenmesidir. Bunun içinde en fazla kullanılan çözücü trikloretilen'dir. Parça daha sonra su ile tamamen yıkanır ve temizlemenin tamamlanması için alkali bir çözelti ile temas ettirilir. Bu çözeltinin cinsi temizlenen metalin türüne göre değişir fakat genellikle kullanılanlar sodyum hidroksit, sodyum karbonat, sodyum fosfat, sodyum metasilikat ve sodyum siyanürdür. Büyük parçalar el ile, çok sayıda küçük parça ise bir varilde temizleyici çözelti ile temizlenir. Normal olarak temizleme parçanın temizleme çözeltisine daldırılması yada püskürtme (sprey) ile yıkama şeklinde yapılır. Alkali ile işleminden sonra parça yıkanır ve asit içerisine daldırılır. Asit içerisine daldırma alkali ile yıkama sırasında oluşan herhangi bir oksit tabakasının giderilmesini ve kaplama için daha uygun bir yüzeyin oluşmasını sağlar. Ön işlemin detayı metale ve giderilmesi gereken yabancı maddeye göre değişir. Bazı işlemlerde tüm adımlar uygulanmaz bazılarında ise ek yada bir başka yöntem uygulanır. Eğer kaplanacak yüzey metalik değilse kaplamadan önce yüzey üzerinde uygun bir iletken tabakanın oluşturulması gereklidir [16].

2.2.3. Anot

Genel olarak uygulamada kaplanacak metalin çözünebilen türde anodu kullanılır. Bu yolla metal iyonu derişimi sürekli olarak sabit tutulur. Kaplanacak parça, sistem çalıştığı müddetçe metal iyonu alacaktır. Dengenin sağlanması için, aynı metal iyonundan elektrolit bünyesine katılması gerekir. Örneğin, bir bakır banyosunda, katot da bakır kaplanırken, elektrolitteki bakır iyonu azalacaktır. Bu ise elektrolitteki dengeyi bozacaktır. Bu dengeyi sağlamak için de anoda bakır asılması gerekir. Nikel kaplamada nikel anot, çinko kaplamada çinko anot v.s. anoda asılması gereklidir. Ayrıca banyolarda anot yüzeyinin, daima kaplanacak yüzeyin iki misli olması gerekir. Bununla birlikte anottan azami randımanın sağlanması için ise anot gövdesinin elektrolitin içine tamamen girmesi gereklidir [17].

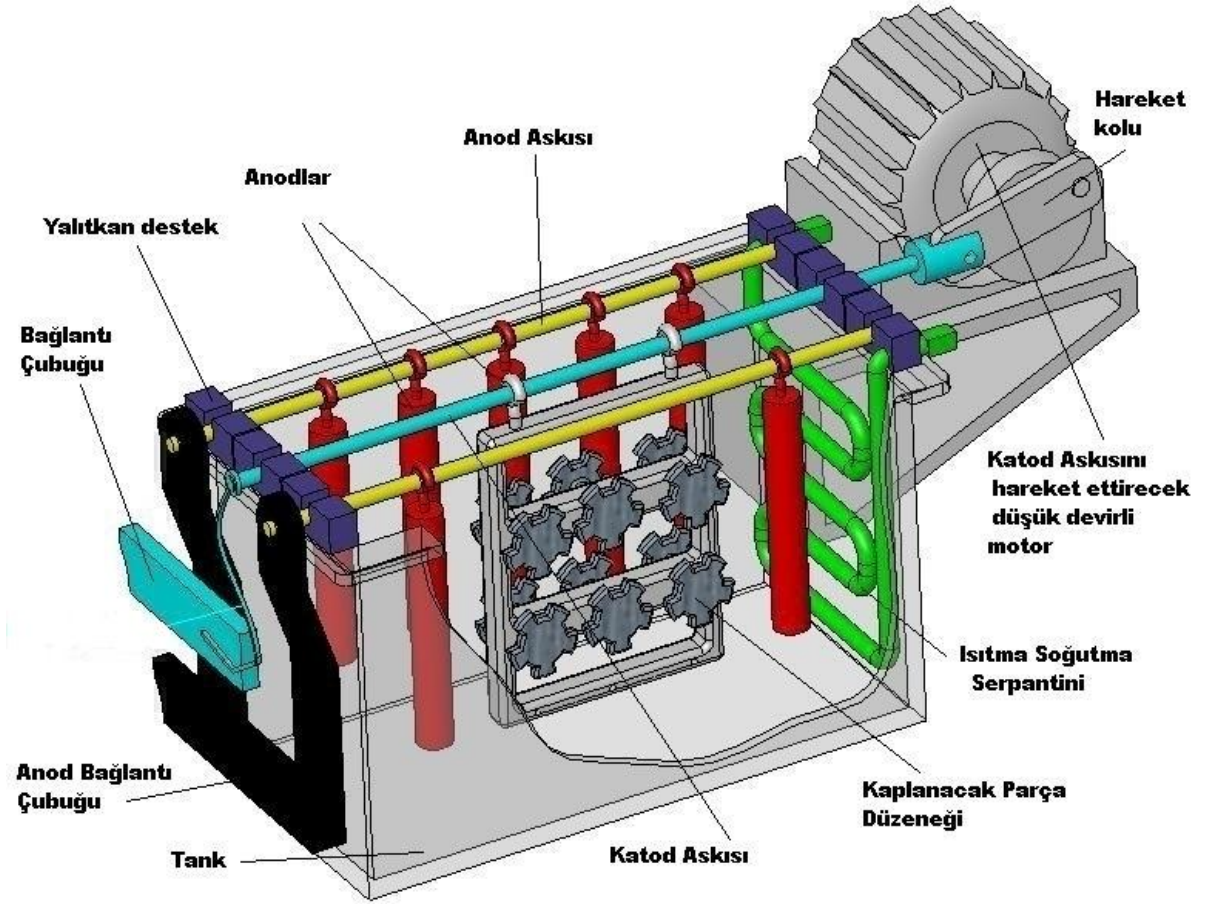
Elektrolitte sabit bir metal iyonu derişiminin sağlanması anottaki akım veriminin katottaki ile aynı olmasına bağlıdır. Eğer böyle bir durum söz konusu değilse belirli aralıklarla derişimde düzeltme yapmak gerekir. Anodun pasifleşmesi önlenmesi gereken bir durumdur. Eğer anodun çözünme biçimi düzensiz ise anot yüzeyinde kırılmalara ve metal taneciklerinin ayrılmasına neden olur. Bu durumun kaplama üzerindeki etkisi bir yana bırakılsa bile, bu tanecikler boşa gidecektir. Bu tanecikler anodun çözünmesi sırasında serbest hale geçen diğer çözünmeyen maddelerle birlikte filtrasyon prosesinde ayrılırlar. Filtrasyon yerine kullanılabilen diğer bir yöntem ise gözenekli torba ya da diğer uygun bir gözenekli diyafram kullanılarak anodun, birimin diğer bölgelerinden ayrılmasını sağlamaktır. Bu amaçla sentetik iplikten dokunmuş dokuma bezi kullanılır, bu ise elektrolit tarafından daha az etkilenir. Birkaç kaplama işlemi için ise çözünmeyen türden anot kullanılır [16].

2.2.4. Kaplama tankı

Başlıca istenen özellikler; kaplama banyosunun bulunduğu kabın elektrolit tarafından etkilenmeyen bir maddeden yapılmış olmasıdır. Çelik tanklar alkali elektrolitler ve kurşun kaplı tahta ya da çelik tanklar asit elektrolitler için kullanılır. Çelik tankların lastik ya da plastik ile kaplanması yaygındır. İşlem sıcaklığı ve ısıtmanın şekli tankın yapılacağı maddenin seçiminde önemli etkenlerdir. Isıtma doğrudan doğruya brülör,

buhar ceketini ile ya da su buharını geçirilen helezon borularla yapılır. Daldırma yolu ile elektrik ısıtıcılarla ve hatta daldırma yolu ile gaz ısıtıcılarla ısıtma yapılabilir. Sabit sıcaklığı sağlamak amacıyla uygun bir termostat düzenlenmesine ve ayrıca pompalama ve filtrasyon düzeneklerine gerek vardır.

Banyo içerisinde katot ve anot, homojen bir ortam sağlayan karıştırma sistemi, doğru akım sağlayan bir güç kaynağı (redresör), voltaj ölçer voltmetre, akımölçer ampermetre bulunur. Normal bir kaplama işleminde kaplanacak parça uygun bir taşıyıcıdan bir iletken tel aracılığı ile banyo içine asılır, anotlarda benzer şekilde tank içine asılır. Kaplama işletmelerinin çoğunda işlem süreklidir. Bu nedenle kaplanacak parça taşıyıcı üzerinde değişik temizleme tankları, kaplama tankı ve daha sonra bir yıkama tankı içinden geçirilir, bu yüzden kaplama işletmesinin düzenlenmesi her adımda (temizleme, yıkama, kaplama v.s) yeterli süre sağlanacak biçimde yapılmalıdır. Sistem vida, somun, musluk gibi küçük parçalar için çok uygun değildir. Küçük parçalar için varil kaplama yöntemi kullanılır. Bu yöntemde çok sayıda küçük parça elektrolit içeren ve dönen bir varil içine doldurulur. Güç kaynağından parçalara elektriksel bağlantı varil içinde uygun şekilde düzenlenmiş katot temas uçları aracılığı ile yapılır. Bir kaplama banyosu kesiti şekil 2.1'de verilmiştir [16].



Şekil 2.1. Kaplama banyosu kesiti [18]

2.3. Kaplama Kalitesine Etki Eden Faktörler

2.3.1. Akım yoğunluğu

Düşük akım yoğunluğunda elektroliz yavaştır. Akım yoğunluğunun fazlaca artırılması katot civarında deşarj olan metal iyonları çözelti içinden gelenlerle karşılanamadığından katotta bir fakirleşme meydana gelir ve kaplama gayri muntazam bir hal alır. Siyah ve süngerimsi kaplamalara “yanmıştır” denir. Katotta hidrojen çıkışı akım yoğunluğunun artmış olduğuna işarettir. Kaplama esnasında akım yoğunluğu devreye yerleştirilen bir ampermetre ile kontrol edilir [15].

2.3.2. Elektrolit (çözelti) konsantrasyonu

Düşük elektrolit konsantrasyonunda difüzyon hızı yavaştır ve proses difüzyon kontrol etkisi altında cereyan etmektedir. Bu durumda da kaplamanın yapışıklığı iyi olacaktır. Yüksek konsantrasyonda ise bunun tam tersi bir durum geçerlidir [15].

2.3.3. Elektrolit banyosunun karıştırılması

Karıştırma çözeltinin bileşimini daha homojen tutar ve daha büyük akım yoğunluğunda çalışmasını sağlar. Katottaki kısmi fakirleşmeyi karşılamak amacıyla banyonun karıştırılması faydalıdır. Fakat yüksek karıştırma hızı, sınır tabaka kalınlığını azaltmak sureti ile, difüzyon hızını artırmakta, dolayısıyla ürünün kaba taneli toplanmasını teşvik etmektedir. Ayrıca çamur vesairenin banyoda süspansiyon halinde kalmasına da sebep olmaktadır. Bunun içinde banyo çözeltisi zaman zaman süzülmalıdır [15].

2.3.4. Sıcaklık

Sıcaklığın artışı, difüzyon hızını ve kristal büyüme hızını artırarak elektrolizi iki şekilde etkilemektedir. Her iki faktörde iri tane oluşumunu teşvik etmektedir. Bu nedenle yüksek sıcaklık kaba taneli bir ürünün teşekkülüne neden olmaktadır. Bu durumun tersine, düşük sıcaklık derecelerinde ise küçük tanelerin oluşumu söz konusudur. Sıcaklığın çok fazla artışı ayrıca hidrojen aşırı potansiyelini de azaltacağından hidrojenin de çıkışını kolaylaştıracaktır. Bu durumda da süngerimsi bir kaplama meydana gelecektir. Genellikle uygulamalarda sıcak banyolar kullanılmaktadır. Sebeplerini şöylece belirtmek mümkündür:

-Metalik tuzların çözünürlüğü artacağından derişik çözeltilerin kullanılması mümkün olur.

-İletkenlik artar.

-Aşırı voltajın sıcak ortamda artması nedeni ile katotta açığa çıkan hidrojen miktarı ise azalır. Böylece Fe ve Ni kaplamaların yapılması halinde kolaylıkla kopabilen kaplamaların önüne geçilmiş olur [15].

2.3.5. Kolloidal bileşenlerin etkisi

Kaplamaların kalitesini artırmak için elektrolit içine az miktarda jelatin, zambak, peptonez, şeker gibi koloidal maddelerin ilave edilmesi gereklidir. Bu tür maddeler arasında kauçuk, kazein, alkaloidler, boyar maddeler de sayılabilirler. Bunlar genellikle yüzey aktif maddeler olduğu için kristal tanecikleri üzerinde absorplanıp büyümelerini önlerler ve böylece ince taneli kristallerin toplanmasını teşvik ederler. Ancak bu tür bileşenlerin yaklaşık 0,05 g/l den fazla miktarda olması gevşek yapıda bir toplanmaya neden olmaktadır [15].

2.3.6. Kaplama veya dağılma iktidarı

Kaplamacılık bakımından kaplamanın sadece manzarasının ve özelliklerinin istenen şekilde olması yeterli değildir. Aynı zamanda kaplamanın, eşyanın her tarafında aynı kalınlıkta olması gerekir. Ekonomik açıdan ise kaplamanın minimum kalınlıkta olması gerekir. Uygulamada kaplanan eşya genellikle düzgün bir geometrik şekilde değildir. Bu durum karşısında mümkün olduğunca aynı kalınlıkta bir kaplama elde etmeye çalışılır. Yoksa tabaka kalkabilir. Gayri muntazam şekilli bir katot üzerinde oldukça düzgün bir kaplamanın elde edilebilmesi için çözeltinin gösterdiği özelliğe “dağılma iktidarı” , kaplamacılıkta ise “kaplama iktidarı” denilmektedir. Dağılma iktidarı esas itibari ile kaplama dağılımının, yani eşyanın muhtelif kısımlarındaki kaplama kalınlığının bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır.

Gayri muntazam bir şekle sahip olan bir katot kaplanmak istendiğinde anoda yakın olan kısımlar daha uzaktakilere göre daha kalın bir tabaka ile kaplanırlar. Birçok çöküntülerde eşitsiz şekildeki çökme eğilimi daha düzgün bir kaplama sağlayabilen diğer faktörlerle karşılanır. Ohm kanununun tam tatbiki ile elde edilecek gayri muntazam dağılımı kendiliğinden düzeltebilen elektrolitik çözeltiye “iyi kaplama iktidarlı çözelti” denir [15].

2.4. Metal Kaplama Öncesi Yüzey Temizleme İşlemleri

Elektrolitik metal kaplamaların başarılı olabilmesi için başta gelen unsur; kaplanacak yüzeyin en üst düzeyde yağ, kir, pas gibi yabancı maddeler ve işleme sırasında yüzeyden ayrılmış metal parça ve tozlarından temizlenmiş olmasıdır. Yüzey temizlemeden amaç şunlardır:

- Genel olarak kir ve yağlı kirin yüzeyden alınması (Yağ alımı)
- Kalın oksit veya pas tabakasının kaldırılması (Dağlama)
- Kaplanacak parçanın işlenmesi sırasında zarar görmüş (yüzeyle bağlantı ilişkisi kaybolmuş) metal tabakanın kaldırılması
- Yüzey temizleme ve parçanın kaplamaya hazırlanmasında kullanılacak işlemler, kaplanacak parçanın şekline (basit olmasına, çok girintili çıkıntılı olmamasına), yapıldığı metale (saç, döküm, çelik cinsine) ve işleme özelliklerine (döküm, dövme, pres, dekopaj v.s.) bağlıdır [15].

Temizleme yağlı maddelerin alınması ve kabukların alınması olmak üzere iki ana işlemde oluşur.

2.4.1. Yağlı maddelerin alınması

Hemen hemen bütün metalik yüzeyler bazı yağlı maddeler ihtiva ederler. Bu, gres yağı olabilir veya metalurji işlemlerinden gelen bir yağ hatta paslanmayı önleyecek bir madde de olabilir. Eğer gres organik ise bir alkalide çözünebilir. Sabun haline dönüştürülebilir. Bu da çok kolay bir işlemdir. Petrol esaslı yağlar ise sabunlaşmazlar, çözücülerle veya başka bir şekilde alınabilirler. Gresin alınması aşağıdaki şekilde olabilir.

a) Organik çözücüler

Temizlenecek cisim gazolin, benzen veya karbon tetra klorür ile yıkanır. Gazolin ve benzen ucuz olduklarından tercih edilirler, ancak tutuşma olasılıkları ve benzenin zehirli özellikleri kullanılma alanları sınırlar. CCl_4 iyi bir çözücüdür, fakat fiyatı

kullanma alanını kısıtlar. Buhar fazı ile yağ giderilmesi önemli uygulama alanı bulmaktadır. Temizlenecek cisim kaynayan çözücünün buharlarına asılır, buhar taşınmayı sağlar. Temizleme işlemi birkaç saniyede tamamlanır. Çözücünün buhar kayıplarını minimumda tutmak için, yavaş buhar üreten cinsten olanı, çabuk yoğunlaşmak için düşük gizli buharlaşma ısısına sahip ve tutuşur cinsten olmayanı tercih edilir. Trikloroetilen bu amaç için uygundur.

b) Alkali çözelti kullanılması

Yağlar sıcak alkali ile sabunlaşmaya tabi tutulurlar ve metalik yüzeyden alınırlar. Emülsiyon teşkil edici maddeler ise NaOH, Na₂CO₃ çözeltileri ve sabundur. Elektro kaplama işletmeleri genellikle hazır metal temizleyicileri satın alırlar [16].

2.4.2. Kabukların ve diğer oksitlerin alınması

Bir takım nedenlerle kaplanması gereken maddelerin yüzeyini, ince bir metal oksit tabakası kaplar. Bunu önlemek için yüzey bir yağ veya gres tabakası ile örtülmüş olmalıdır. Fakat bu oksit tabakası, koruyucu madde sürülmeden önce de meydana gelebilir. Bu tabakaları gidermek için çeşitli yöntemler vardır.

a) Demir ve çeliği asitle temizleme (pikaj işlemi)

Demirden yapılmış cisimler için genellikle H₂SO₄ ve HCl tavsiye edilirse de HCl tercih edilir. HCl, H₂SO₄'den daha çabuk etki eder. Aslında pahalı olduğundan pek çok hallerde H₂SO₄'ın kullanılmasını gerektirir. Asidin oksit kabuğu üzerine etkisi, metale döküldüğünde metalle kabuk arasında oluşan hidrojen habbeciklerinin meydana getirdiği mekanik ayırma ve ayrıca çözeltilerin etkisi şeklinde olur.

b) Kum püskürtme

Dökümler kum püskürtmesi ile temizlenebilir. Döküm üzerine basınçlı hava ile kum püskürtülür ve oksit kabuğu mekanik olarak kaldırılır. Ufak işletmelerin pek çoğunda kum püskürtme küçük odalarda yapılır. İşçi gözlük takar ve aspiratörler çalıştırılır.

Fakat bütün tedbirlere rağmen ince kum solunum sistemine girer. Kum püskürtme kapalı bölmelerde yapılmalıdır. İşlemin dışarıdan idare edilmesi yerinde olur.

Kum püskürtme temizlenecek cismin yüzeyini etkiler ve bazen da mat bir yüzey arzu edildiğinde son işlem olarak kullanılır. Eğer hava basıncı çok büyük ise demirin yüzeyine kum yerleşir. Cisim elektro kaplamadan önce HF ile temizlenmelidir.

c) Tel fırça ile fırçalama

Tel fırçalar pek etkilidir, yalnız başına yada zımpara, sünger taşı, silisyum karbür gibi aşındırıcılarla ve alkali çözeltilerle birlikte de kullanılırlar.

d) Dönen fırçalar

Ufak cisimler dönen fırçalar ile kolayca temizlenir. Temizlenecek cisim çelik bilye, kum, zımpara veya diğer uygun bir aşındırıcı ile sabun veya başka bir alkali ile birlikte dönen varile yerleştirilir. Bu aşındırıcılar yağ ve kuru olarak kullanılırlar. Yuvarlanma ile kabuklar, pürüzler, sivri uçlar, çıkıntılar, girintiler giderilir [16].

2.5. Metal Sanayi Atıklarının Özellikleri

Metal endüstrisi atıkları, metal işleme, metal kaplama ve parça yıkama tesislerinden oluşur. Metal sanayi atık suları genellikle az miktarda olmakla beraber toksik özellikte olabilen atıklardır. Atık sular; asitleri, alkalileri, yağları, metalik maddeleri içerir. Metal sanayi atık sularının tipik özellikleri; zehirlilik, düşük organik madde içeriği ve yağ-gres içermeleridir. Metal endüstrisi atık sularında asidite veya alkalinite mevcut olabilmektedir. Siyanür ve krom tuzlarını ve diğer metal tuzlarını içerebilmektedir. Ayrıca solventler ve deterjanlar, boyalar, yağ ve gres de metal işleme endüstrileri atık sularının tipik bileşenleridir.

Pikle (Salamura) işlemi metal yüzeylerindeki oksitlerin uzaklaştırılması için uygulanır. Bu işlemde anorganik asitler kullanılır. Salamura işlemi atıkları genellikle hacimce az, ancak oldukça derişik atıklardır.

Metal kaplama işlemlerinde iki tip atık su oluşur. Her birinin kimyasal karakterleri ve hacimleri farklıdır:

- Kesikli kaplama çözeltileri
- Yıkama-çalkalama suları

Sıyırma, yıkama, temizleme ve kaplama işlemlerinden oluşan atık sular; karışık kimyasal maddeleri içeren kaplama çözeltisi kaçaklarını veya atıklarını ve siyanür konsantratlarını içerir. Ayrıca siyanürlü çalkalama suları, derişik asit ve pikle atıkları, asitli çalkalama suları, kromatlar, derişik alkali maddeler, metal bileşikleri, yağlar, sabunlar ve askıda katı madde içeren atıklar metal kaplama tesislerinde oluşan diğer atıklar sayılabilir.

Metal kaplama tesislerinde oluşan toplam sıvı atıklar fazla hacimli değildir, ancak çok tehlikelidir. Oldukça toksik atıklardır. En önemli toksik bileşenleri metaller, asitler, nikel, kalay ve siyanürlerdir.

Metal kaplamada kullanılan stripping (sıyırma) banyolarının çoğunluğu asidik özelliktedir. Sülfürik, nitrik ve hidroklorik asitlerin karışımından oluşan kuvvetli asit çözeltisi genellikle metal temizlemede tercih edilir. Ayrıca sodyum sülfür, siyanürler ve hidroksitleri içeren alkali banyolar da kullanılır. Temizleme işleminde alkali temizleyiciler veya organik solventler kullanılabilir.

Metal kaplama atık suları hem alkali hem de asidik özellikte olabilir. Siyanürlü veya alkali temizleme banyolarının kullanımı ile oldukça yüksek pH'lı atıklar oluşur. Yapılan yıkama ve temizleme işlemi ortaya oldukça asidik atıklar verir. Krom ve çinko temizleme işleminden sonraki yıkamalardan atılan atıklar alkali, asit banyolarından sonraki yıkamalardan çıkan atıklar ise asidiktir. Krom kaplama tesislerinden krom içeriği yüksek atıklar, çinko kaplama tesislerinden de siyanürlü atıklar gelir [13].

Tablo 2.1. Metal kaplama atık sularının tipik özellikleri [13]

Tesis	pH	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Ni (ppm)	Zn (ppm)	Cr ⁺⁶ (ppm)	Toplam Cr (ppm)	CN ⁻ (ppm)
A	3,2	16	11	0	0	0	1	6
A	10,4	19	3	0	0	0	0,5	14
B	4,1	58	1,2	0	0	204	246	0,2
E	2,4	35	8			555	612	1,2
G	11,3	18	18	26		36		15
F	10,5	6	2	25	39			10

2.6. Metal Kaplama Atıklarının Arıtımı

Metal kaplama atıkları toksik metal tuzlarını ve siyanürleri içerir. Siyanür artıkları, hidrojen siyanürün oluşumunu önlemek üzere asitli artıklardan ayrılmalıdır. Nikel siyanürün arıtılmasının güç olması nedeniyle siyanür içeren artıklar aynı zamanda nikel içeren artıklardan ayrılmalıdır.

Metal kaplamada kullanılan kaplama tuzlarını geri kazanmak üzere iyon değişimi veya ters ozmos kullanılmaktadır. Yıkama suları iyon değiştiricilerden geçirilerek içindeki kirleticilerden arındırılır. İyonlarından arındırılan su tekrar yıkama suyu olarak devreye alınır. İyon değiştiriciler zaman zaman rejenere edilmelidir. Krom, nikel, bakır, asit tipi kaplama çözeltileri buharlaşma vasıtası ile durulama tankından geri alınabilirler. Derişik hale getirilen çözelti daha sonra kaplama banyosuna geri döndürülür. Bu proses değerli metal tuzlarının geri kazanılması amacıyla kullanılması ile beraber ilk yatırım masrafı çok yüksek olan bir prosestir.

Krom kaplama tesislerinden gelen atık suların kromunun arıtılması gereklidir. Metal kaplama tesislerinde oluşan siyanürlü atık suların arıtımı için genellikle kimyasal

oksidasyon yöntemi tercih edilir. Oksidasyon maddesi olarak hava, klor, sodyum hipoklorit veya ozon kullanılmaktadır.

Metal kaplama tesisleri atık sularında uygulanması gereken arıtma işlemlerinin başlıcaları şunlardır;

- Siyanürlerin oksidasyonu
- +6 değerlikli kromun +3 değerlikli hale indirgenmesi ve çöktürülmesi
- Asit artıkların nötralizasyonu
- Metal artıklarının kimyasal yolla çöktürülmesi
- Çökeltim
- İyon değişimi
- Ters ozmos
- Nötralizasyon [13].

BÖLÜM 3. PERLİT

3.1. Tanım ve Sınıflandırma

Perlit, doğal olarak oluşan silis esaslı volkanik kayalara verilen bir isimdir. Perlit ismi bazı perlit tiplerinin kırıldığı zaman inci parlaklığında küçük küreler elde edilmesi nedeni ile inci anlamına gelen perle kelimesinden türetilmiştir.

Perlit, ısıyla genleşme özelliği olan, genişletildiğinde çok hafif ve gözenekli hale geçen bir kayadır.

Perlit, % 90–97 cam, % 3–10 kristalleşmiş feldispat ve biotit içeren asidik bir volkanik kayadır. Dünyadaki 6,6 milyar tonluk görünür perlit rezervinin 4,5 milyar tonu ülkemizde bulunmaktadır [19, 20, 21]. Perlitin diğer volkanik camlardan ayıran en önemli özellik ise yumuşama sıcaklığı civarında ısıtıldığı zaman orijinal hacminin dört ile yirmi dört katına çıkabilmesidir. Bu genleşme ham perlitte % 2–6 arasında bulunan özsuya (Kristal su) bağlıdır. Perlit 870°C üzerinde hızlı bir şekilde ısıtıldığı zaman bünyesindeki özsuyun buharlaşması ile mısır taneleri gibi patlar ve ısıyla genişleyen perlit üzerinde sayısız gözenekler oluşur. İşte bu genişmiş perlit mükemmel bir ısı ve ses izolasyonu malzemesidir.

Perlit kelimesi hem ham perlit için hem de genişletilmiş perlit için kullanılmaktadır. Çeşitli perlit kayalarının renkleri ve yapıları birbirinden çok farklı olabilir. Bu bakımdan perlitin gözle tanımak oldukça zordur. Ham perlitin rengi saydam açık griden parlak siyaha kadar değişmekte olup, genişletildiğinde renk tamamen beyazlaşır. Perlitte en önemli özellik % 2–6 oranında değişen içeriğindeki sudur ve bu su perlitin kararlılığını sağlamaktadır [20].

Ham perlit ve genleşmiş perlit farklı fiziksel özellikler göstermektedir. Perlitin fiziksel ve kimyasal özellikleri tablo 3.1 - 3.2 - 3.3'de verilmektedir.

Genleşmiş perlit, gözenekli bir yapıya sahiptir. Bu özelliğinden dolayı süzme yardımcı maddesi ve kimyasal maddeler için taşıyıcı olarak kullanılmaktadır. Ateşe karşı dayanıklı ve kimyasal olarak pasif bir malzemedir [22].

Perlit, özel dokulu, iç yapısında belli oranda su içeren, asit bileşimli esas itibariyle volkanik camdır. Fibrik yapılı değildir. Nitrat, sülfat, fosfor, ağır metal, radyoaktif element ve organik madde içermez. Dolayısıyla kimyasal olarak oldukça saftır.

Ham olarak $2000 - 2100 \text{ kg / m}^3$, kırılmış elenmiş olarak $2200 - 2400 \text{ kg / m}^3$ olan perlit, genleştikten sonra 32 kg / m^3 ile 180 kg / m^3 yoğunlukta üretilebilir. Genleşmiş perlitin sanayide kullanımı A.B.D'de başlamış ve kısa sürede inşaat sanayinde hafifliğinden, ısı ve ses yalıtım özelliğinden dolayı aranan bir malzeme haline gelmiştir. Bu genleşmiş perlit ısı ve ses izolasyonunda, binalarda sıva çatı kaplama ve katlar arası ses izolasyonunda, ziraatta seracılıkta ve fide yetiştirmede, refrakter malzeme imalatında 32 kg / m^3 ile 60 kg / m^3 arasında genleşen perlit ise öğütüldükten sonra sanayide filtre malzemesi olarak kullanılır [20].

Tablo 3.1. Ham perlitin fiziksel özellikleri [22]

Renk	Gri, siyah ve grinin tonları
Yumuşama Noktası	$800 - 1100^\circ\text{C}$
Ergime Noktası	$1315 - 1390^\circ\text{C}$
pH	6,6 - 8,0
Spesifik Isı	$0,20 \text{ kcal / kg}^\circ\text{C}$
Özgül Ağırlık	$2,2 - 2,4 \text{ g / cm}^3$
Serbest Nem	0,5
Ağırlık Kaybı	% 0,5
Erime Özelliği	Sıcak konsantre alkali ve % 2 konsantre asitlerde az, % 1'lik seyreltik mineral ve konsantre zayıf asitlerde çok az erir.

Tablo 3.2. Genleşmiş perlitin fiziksel özellikleri [22]

Renk	Beyaz
Ergime noktası	1300 °C
Spesifik ısı	0,20 kcal / kg°C
Özgül ağırlık	2,2 – 2,4 g / cm ³
Kaba yoğunluk	30 – 190 kg / m ³
Isı iletkenliği	0,034 – 0,040 kcal / mh°C
Ses yalıtkanlığı	18 db (125 hz'de)

Tablo 3.3. Perlitin % olarak kimyasal özellikleri [20]

SiO ₂	71,0 - 75,0
Al ₂ O ₃	12,5 - 18,0
Na ₂ O ₃	2,9 - 4,0
K ₂ O	0,5 - 5,0
CaO	0,5 - 2,0
Fe ₂ O ₃	0,1 - 1,5
MgO	0,02 - 0,5
TiO ₂	0,03 - 0,2
H ₂ O	2,0 - 5,0
MnO ₂	0,0 - 0,1
SO ₃	0,0 - 0,2
FeO	0,0 - 0,1
Cr	0,0 - 0,1
Ba	0,0 - 0,05
PbO	0,0 - 0,03
NiO	Eser
Cu	Eser
B	Eser
Be	Eser
Serbest Silis	0,0 - 0,2
Toplam Klorür	0,0 - 0,2
Toplam Sülfatlar	Hiç Yok

3.2. Sanayide Perlit

3.2.1. Kriyojenik tankların ısı yalıtımında

Düşük sıcaklıklarda (-270°C kadar) sıvılaştırılmış bütün gazların, çift cidarlı tanklarda sıvılaştırma sıcaklığında muhafazası, ısı iletkenlik değeri çok düşük olan perlit ile mümkündür.

Rutubetsiz, bozulmaz, yanmaz ve ucuz olan bu malzeme tankın çift cidarı arasına atmosfer basıncında veya vakum altında serbestçe doldurulur.

3.2.2. Değişik fırınların ve sistemlerin ısı yalıtımında

Çalışma ortamı maksimum $+1050^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar olan fırınlarda dış ortamla ısı alışverişini (ısı kaybını) önlemede perlit kullanılmaktadır. Fırın dış yüzeyine (çift cidar arasına) serbest dolgu yapılır.

3.2.3. Refrakter tuğla üretiminde

Çalışma ortamı maksimum $+1050^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar olan kazan, tavlama-dövme, ısıl işlem ve ergitme ocaklarında kullanılan tuğlaların üretiminde katkı maddesi olarak perlit kullanılır. Perlitin kil veya kalsiyum silikat çimentosu ile bağlanmasıyla üretilen refrakter blok ve tuğlalar hafif olduğu gibi yüksek oranda yalıtım sağlarlar. Dolayısıyla yakıt tasarrufu yaparlar.

3.2.4. Döküm sanayinde

Perlit döküm kumuna katkı maddesi olarak kullanılır. Demir-çelik dökümlerinde döküm kumuna hacimce % 8–12, diğer malzemelerin dökümünde ise % 20–30 oranında katılır [20].

3.3. Dünyada Mevcut Durum

3.3.1. Rezervler

Dünya perlit rezervleri volkanik kuşak içindeki bölgelerde bulunmaktadır. Ülkeler ve bölgeler için perlit rezervleri tablo 3.4’de verilmiştir. A.B.D. , Ermenistan, Japonya, Türkiye ve Yunanistan perlit kaynakları bakımından zengin ülkelerdir. Türkiye’de yapılan araştırmalar sonucu toplam perlit rezervinin 4,5 milyar ton olduğu belirtilmektedir [20].

Tablo 3.4. Dünya perlit rezervleri (milyon ton) [20]

Ülkeler	Rezervler	Rezerv Toplamı
Kuzey Amerika		
ABD	45,4	182
Diğer	4,5	18
Toplam	49,9	200
Avrupa		
Yunanistan	45,5	273
Diğer	453,6	909
Toplam	499,1	1182
Asya		
Japonya	9,1	45,5
Filipinler	9,1	36,4
Türkiye	27,3	273
Toplam	45,5	354,9
Afrika ve Okyanusya	22,7	90,1
Dünya Toplamı (yuvarlatılmış)	635	1820

3.3.2. Üretim

3.3.2.1. Üretim yöntemi ve teknolojisi

Perlit cevheri açık işletmecilik metodu ile üretilmekte ve kırma-öğütme-sınıflandırma işlemlerini takiben geliştirilmiş perlit elde edilmektedir. Geliştirilmiş perlitin üretiminde tüvenan cevher ocağa yakın bir yerde ilk kaba kırmadan geçirilip gerekli tane iriliğine getirilmesi ekonomik bulunmaktadır.

Perlit genellikle kolayca kırılabilen iyi öğütülebilen bir kayadır. Ancak tane dağılımı kırma darbelerine bağlı olduğu için, kırıcı ve öğütücü seçimi özel dikkat gerektirmektedir. Perlitin hazırlanmasında dikkat edilecek hususlar şunlardır:

- Olabildiği ölçüde perlit nodüllerine ayırmak yada küp şeklinde taneler elde etmek,
- Fazla inceltmeden ve kabuk dokusunu bozmadan, perlit sadece gerekli tane iriliğine kadar kırma,
- İstenen tane boyuna ayırmak,

Perlit hazırlama tesislerinde gerekli işlemler şöyle sıralanabilir;

- Kırma
- Ön öğütme
- Kurutma
- Öğütme
- İnce öğütme
- Eleme, sınıflandırma, boyutlandırma
- Depolama

Perlitte ilgili talep alanları değişik boyutlara yöneldiğinden öğütmede esneklik önem taşımaktadır. Çeşitli kullanım yerlerinin gereklerine koşut olarak perlit talebinin genel olarak aşağıdaki gruplara göreli bir ağırlık taşıdığı söylenebilir.

0,05 mm; 0,3-1 mm; 0,3-1,6 mm; 0,3-2 mm (0,3 mm altındaki miktar max. %8)
 0,3-2 mm (0,3 mm altındaki miktar max. %40)
 0-0,4 mm; 0-1,2 mm (0,3 mm altındaki miktar max. %10)
 0,8-1,6 mm; 0-2 mm (0,3 mm altındaki miktar max. %40)
 0-0,4 mm; 0,4-1,2 mm; 1,2-2 mm.

Piyasada en çok aranan 0,03-1 mm ile 0,8-3 mm arasındaki tane boyutudur.

Öğütülmüş, boyutlanmış ham perlit, cinsine göre 700-1200 °C arasında sıcaklığı olan bir ortama verildiğinde içindeki suyun buhar halinde çıkmasıyla çok kısa sürede mısır gibi patlayarak hacmi 4-30 kat artar. Bu şekilde genişletilmiş perlit, çok gözenekli ve hafif camsı bir yapıya dönüşür.

Perlitin genişletilmesinde başlıca dört faktör rol oynamaktadır:

- Kullanılan perlitin cinsi
- Gerekli ısıtma süresi
- Tane iriliği
- Genleşme sıcaklığı

Perlit genişletme tesisleri, hammadde depolama, genişletme, ayırma ve paketleme olarak dört üniteden oluşmaktadır.

Perlitin cinsine ve istenen ürüne göre genişletme tesisinde kullanılacak fırının tipi değişmekle birlikte son yıllarda sabit, dikey fırınlara doğru temayül bulunmaktadır. Bu fırınlar mazot ya da gazla çalışmaktadır [20].

3.3.2.2. Üretim miktarı

Ülkelere göre üretim miktarları (bin ton) tablo 3.5'te verilmiştir. Üretime Çin, Bulgaristan, Mozambik, Cezayir, İzlanda gibi ülkeler dâhil edilmemiştir. Çin'in önemli üreticilerden biri olduğu bilinmektedir. 1995'li yıllarda A.B.D, Yunanistan, Japonya ile birlikte Türkiye ana üretici konuma gelmiştir [21].

Tablo 3.5. Ülkelere göre perlit üretim miktarları (bin ton) [21]

Ülke	1994	1995	1996	1997	1998
ABD	644	700	684	706	685
Yunanistan	372	431	418	425	425
Japonya ¹	200	200	200	200	200
Türkiye ²	165	171	175	175	150
Macaristan ²	85	151	150	150	150
İtalya ¹	65	60	60	60	60
Slovakya ¹	50	50	50	50	50
Diğerleri ³	69	77	73	74	100
Toplam	1650	1840	1810	1840	1820

1- Tahmini; 2- Tüvenan cevher, 3- Ermenistan, Filipinler, Avustralya, Meksika, Güney Afrika, İran

3.3.3. Tüketim

İnşaat sektörünün başlangıçtan günümüze en büyük problemlerinden biri bina ağırlıklarıdır. Bina ağırlıklarını azaltabilmek için bu sektördeki uygulamacılar çok değişik malzemeler kullanmışlardır. Kullandıkları malzemelerin hafif olması yanında, bu malzemelerde, yük taşıma, ateşe dayanıklılık, ısı yalıtıcılık gibi inşaat malzemelerinde olması gereken özellikleri de aramışlardır.

Modern teknikler; bina elemanlarının yüksek mekanizasyon ve otomasyonla iklim şartlarına bağlı kalmaksızın, inşaat mahallinde ilave işlemlere gerek duyulmayacak şekilde, yüksek verimlilikle üretilmesini gerektirmektedir. Perlit; bu problemlerin bir kısmı için aranan bir çözümdür.

Perlit; hafifliğinden ötürü, hafif beton yapımında, ısı yalıtıcılığından dolayı izolasyon işlerinde, ses yutuculuğundan dolayı akustik sıva yapımında kullanılmaktadır [22].

Dünyanın en büyük üretici ve tüketici konumundaki ülkelerden biri olan A.B.D'de 1999'da tüketilen perlitin % 71'i inşaat üretim ürünlerinde, % 10'u tarım agregası, % 9'u filtre yardımcı malzemesi, % 7'si dolgu malzemesi, % 3'ü diğer alanlarda kullanılmıştır. Dünyada inşaat üretim ürünlerinde kullanılan perlitin yaklaşık % 70'i izolasyon plakaları ile tavan döşemelerinde kullanılmaktadır [21].

3.3.3.1. Tüketim alanları

Perlitin tüketim alanları başlıklar halinde aşağıda verilmektedir.

1. İnşaat Sektörü

- a) Perlitli sıvalar
- b) Perlit agregalı hafif yalıtım betonu (Çimento veya alçı bağlayıcılı)
- c) Perlit agregalı hafif yapı elemanları
- d) Isı ve ses yalıtıcı gevşek dolgu maddesi olarak perlit kullanımı
- e) Yüzey döşemelerde ısı ve ses yalıtıcı olarak perlit kullanımı
- f) Çimento ve alçı dışındaki bağlayıcılarla yapılan özel amaçlı perlit betonları

2. Tarım Sektörü

Toprağın fiziksel özelliklerini artırıcı "substrat" maddesi olarak perlit kullanımı,

- a) Tarla tarımında
- b) Bahçe tarımı ve seracılıkta (fide yetiştiricilik, kültür tarımı vb.)
- c) Çimli spor alanlarında

3. Sanayi Sektörü

1. Gıda, ilaç ve diğer kimyasal maddeler üretiminde süzme yardımcı maddesi olarak perlit kullanımı

- a) Gıda sanayinde
 - Bira, şarap ve likörleri süzmede

- Bitkisel yemeklik yağları süzmede
- Meyve suları süzmede
- Şeker şerbeti süzmede
- Mısır şerbeti süzmede (glikoz/dekstroz üretiminde)

b) İlaç ve kimya sanayiinde

- Antibiyotiklerin süzülmesinde
- Pektin süzmede
- Soda külü eriyiklerinin filtrasyonu
- Sitrik asit süzme
- Sodyum silikat (su cam) filtrasyonu
- Sülfürik asit filtrasyonu
- Uranyum şerbeti filtrasyonu
- Kağıt sanayiinde (beyaz su) filtrasyonu
- Flok süzmede (alüminyum hidroksit ve flokülasyon işlemlerinde)
- Boyaların süzülmesinde
- Fosforik asit süzme

c) Diğer Süzme işlemlerinde

- Makina yağı süzme (kullanılmış makina yağının rejenerasyonu)
- İçme suyu süzmede
- Yüzme havuzlarının suyunu süzmede
- Atık suları temizlemede süzme işleminde

2. Sanayide ısı yalıtımında perlit kullanımı

a) Sıvılaştırılmış gaz tanklarının ısı yalıtımında

- Sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG)
- Sıvılaştırılmış doğal gazlar (LNG)
- Sıvı azot ve amonyak
- Sıvı propan, etan ve metan
- Sıvı oksijen
- Sıvı soygazlar, itici gazlar, soğutucu gazlar

- b) Soğuk depoların yalıtımında.
- c) 1000 °C kadar sıcaklıktaki reaktörlerin, potanların vb. yalıtımında.

3. Metalurjide perlit kullanımı

- a) Dökümcülükte metalurjik flaks olarak
- b) Döküm kumuna katkı maddesi olarak
- c) Potadaki ergimiş metalin korunmasında
- d) Dövmede veya haddeye giden sıcak metal ingotların ısı kayıplarını önlemede
- e) Demir-çelik sanayiinde ergimiş metalin curuf kontrolunda
- f) Perlitli yalıtıcı refrakterlerin üretiminde
 - Seramik bağlayıcılı perlit refrakter tuğlalar
 - Alüminyum fosfat bağlayıcılı perlit refrakter tuğla veya betonlar
 - Perlitli refrakter harç

4. Seramik ve cam sanayiinde katkı maddesi olarak perlit kullanımı

5. İlaç ve kimya sanayiinde dolgu maddesi olarak perlit kullanımı

- a) İlaçlarda (insan sağlığı ilaçları-veteriner ilaçları)
- b) Haşere ilaçlarında (bitki koruma vb.)
- c) Temizleyici tozlarda
- d) Gübrelerde
- e) Dinamit üretiminde
- f) Testüre (yüzeyi grenli) örtücülüğü yüksek boyaların üretiminde

6. Diğer Uygulamalar

- Sondajlarda, çimentolama işlemini kolaylaştırıcı katkı maddesi olarak
- Gemi dipleri kaplama ve yalıtımında
- Petrol artıklarından veya diğer yağlı atıklardan gelen su kirliliğini gidermede
- Baraj göllerinde, kentlerde, açık su rezervuarlarında buharlaşmayla su kaybını önleyici olarak,
- Ambalajlama için dolgu maddesi,

- Plastik köpüklere ve plakalara katkı dolgu maddesi,
- Ucuz ve hafif plastik mobilya yapımında dolgu maddesi,
- Titreşimli tesbitte
- Yangına karşı özellikle çelik kontrüksiyonlarda yalıtım katı olarak.

Perlit genişlemiş olarak kullanıldığı gibi ham olarak da geniş kullanım alanlarına sahiptir. Ham perlit kimyasal bileşimi itibariyle silisli ve alüminyumlu bileşikler içerdiğinden kalsiyum esaslı bağlayıcılar ile kimyasal reaksiyona girerek hidrolik aktivite gösterir. Bu özelliği nedeniyle inşaat sektöründe geniş çapta kullanılmaktadır. Perlit çimentoya dayanıklılık kazandırmaktadır. Bunun için ham perlit kayası kırılıp öğütülüp elendiği gibi doğal olarak agrega halinde bulunan perlit kaynakları da kullanılmaktadır. Bu şekilde doğal agrega olarak bulunan perlit ülkemizde geniş rezervleri vardır (Erzincan, Nevşehir, Ankara civarındaki yataklarda).

Ham perlit agrega olarak hafif yapı malzemesi niteliğinde olup aşağıdaki özelliklere sahiptir.

- | | |
|--|-----------------------------|
| a) Agreganın kuru gevşek birim ağırlığı | : 1,264 g / cm ³ |
| b) Agreganın kuru sıkı birim ağırlığı | : 1,437 g / cm ³ |
| c) Agreganın kuru kıvam su ihtiyacı | : % 18 |
| d) Agreganın kuru su emmesi | : % 6 |
| e) Agreganın kuru yaş gevşek birim ağırlığı | : 0,969 g / cm ³ |
| f) Agreganın kuru sıkı gevşek birim ağırlığı | : 1,280 g / cm ³ |
| g) Agreganın kuru asit ve bazlara karşı dayanıklı: | |

- Asitlerde çözünürlük :

- | | |
|-----------------------------------|-------------------|
| Hidroflorik asit (sıcak derişik) | : % 94,94 çözünür |
| Hidroklorik asit (1/10'luk sıcak) | : % 3,32 çözünür |
| Hidroklorik asit (0,1 N sıcak) | : % 2,55 çözünür |

- Bazlarda çözünürlük :

Sodyum hidroksit (doygun çözelti sıcak)	: % 9,13 çözünür.
Sodyum hidroksit (1 N sıcak)	: % 8,77 çözünür.
Sodyum hidroksit (0,1 N sıcak)	: % 2,64 çözünür.

Ham perlitin, kırılmış, öğütülmüş ve tane boyutlarına ayrılmış olarak kullanım alanları şöyledir;

1. Asit ve bazlara karşı, dayanıklı olduğu için özellikle kanalizasyon borularının üretiminde kullanılır.

2. İç ve dış inşaat sıvalarında,

a) Dona karşı dayanıklı olduğu için su alan inşaatlarda

b) Çatı ve teras su izolasyonlarında,

c) Yüzme havuzu yapımında,

d) Hafif yapı malzemesi karekterinde olduğu için ısı izolasyonunda sıva olarak veya briket gibi izolasyonlu hafif yapı elemanları üretiminde kullanılır.

3. Demiryollarında patinaj kumu olarak

4. Abrasif sanayiinde aşındırıcı olarak

5. Filtre kumu ve çakılı olarak su arıtma tesislerinde TS 4081'e uygun olarak kullanılır.

6. Karayolu yapımında asfalt dolgu malzemesi olarak kullanılır [20].

3.3.3.2. Tüketim miktarı

Dünyada üretilen ham perlitin yalnızca küçük bir miktarı direk olarak metalurjik uygulamalarda (curuf toplayıcı vb.) ve aşındırıcı olarak tüketilmekte geri kalan büyük bölümü genişletilmiş şekilde tüketilmektedir.

İyi vasıflı perlitin 900°C'a kadar ısıtılması ile üretilen genişletilmiş perlit mükemmel ısı ve ses yalıtım izolasyonu nitelikleri ile kullanımı hayli yaygın olan az

yoğun yapı malzemesidir. Bu itibarla perlit tüketimi inşaat sektöründeki gelişmeye bağlıdır [20].

Tablo 3.6. A.B.D'de perlit tüketim miktarı (bin ton)* [21]

Yıllar	1994	1995	1996	1997	1998
Perlit Tüketimi (Bin Ton)	636	652	670	695	742

(*) Genleştirilmiş perlit

Tablo 3.7. Avrupa Birliği ülkelerinin perlit tüketimi (bin ton)* [21]

Yıllar	1992	1993	1994	1995
Perlit Tüketimi (Bin Ton)	428	696	540	576

(*) Tüketimde 12 ülke baz olarak alınmıştır.

Dünya perlit tüketimi 1998'de 1.820 bin ton olduğu göz önüne alınarak stok miktarının yok denecek kadar az veya sınırlı olduğu düşünüldüğünde gelişmiş ülkelerdeki perlit tüketim görünür miktarının 1.800 bin ton/yıl olduğu tahmin edilmektedir [21].

3.3.4. Uluslararası ticaret

Avrupa'da, özellikle Batı Avrupa'da yüksek vasıflı perlitin ana kaynağı Yunanistan'dır. Diğer Avrupalı perlit üreticisi ülkeler İtalya, Macaristan, Çekoslovakya'dır. Bunların içinde özellikle İtalya, İngiltere ve Fransa için önemli bir ithalat kaynağıdır. Macaristan ve Çekoslovakya öncelikle dahili pazarlara yönelik olarak çalışmaktadır. Avrupa pazarına önemli ölçülerde ihracat yapan diğer üreticiler Türkiye ve BDT (özellikle Ermenistan) dir. Ancak, Türkiye'nin 1980'den beri uyguladığı modernizasyon ve büyüme programları nedeni ile bahsi konu pazardaki payı gittikçe artmaktadır [20].

3.3.4.1. İthalat - ihracat

Dünya ithalat ve ihracat verileri tablo 3.8 ve tablo 3.9'da verilmiştir.

Tablo 3.8. Dünya perlit ithalatı (bin ton) [20]

Ülkeler	1988	1989	1990	1991	1992
A.B.D	56	59	59	54	45 (*)
Belçika		51	57		
Danimarka		3	3,4		
Almanya		118	118		
İspanya		39,8	40		
Fransa		98,4	97		
İrlanda		4	2		
İtalya		54,5	59,6		
Hollanda		15,8	20,4		
Portekiz		0,3	0,7		
İngiltere		133,6	163,3		
Toplam	56	577,4	620,4	54	45

(*) Tahmini

Perlit gelişmiş ülkelerde özellikle ABD ve Avrupa ülkelerinde yoğun olarak tüketilmektedir. Bu ülkelerin ana kaynakları ise İtalya, Yunanistan, Macaristan ve Türkiye olmaktadır.

AT' ye yapılan toplam ihracat içinde % 53,8 ile Yunanistan başta gelirken, % 33,8 ile İtalya ve % 5,3 ile Hollanda gelmektedir. En çok ithalat gerçekleştiren ülke % 29 ile İngiltere, % 21 ile Almanya, % 17,3 ile Fransa gelmektedir [20].

3.3.4.2. Komşu ülkelerin ticaretteki yerleri

Yunanistan 550-600 bin ton/yıl seviyelerindeki üretimi ile dünyanın en büyük üreticilerinden biridir. Ayrıca, Ermenistan'ın üretiminde 600 bin ton/yıl mertebesinde olduğu tahmin edilmektedir. Ancak Ermenistan'ın ticari olarak faaliyetinin BDT ile sınırlı olduğu tahmin edilmektedir. Bu itibarla Yunanistan'ın iyi vasıflı perlit üretimi neticesi dünya ticaretindeki rolü çok büyüktür [20].

Tablo 3.9. Dünya perlit ihracatı (bin ton) [20]

Ülkeler	1988	1989	1990	1991	1992
A.B.D	32,6	45	32	29	27 (*)
Fransa			0,8		
Belçika			2,3		
Hollanda			14,1		
Almanya			6,8		
İtalya			90,4		
İngiltere			7,3		
Yunanistan		146,7	144,4		
İspanya		0,9	1,5		
İsviçre					
Avusturya					
Yugoslavya		0,9	3,1		
Türkiye		82,7	94,3		
BDT		59,1	61,2		
Çekoslovakya		0,9	0,4		
Macaristan		17	18		
Kenya		0,4	0,9		
Güney Afrika		96,7	56,6		
Nambiya			50,2		
Brezilya			2,5		
Suudi Arabistan		0,9	1,9		
Toplam	32,6	451,2	588,7	29	27

(*) Tahmini

3.3.5. İstihdam

A.B.D'de perlit madenciliği sektöründe 125 ile 150 kişinin istihdam edildiği ve kişi başına üretimdeki verimliliğin ortalama 3800 ton/yıl-kişi olduğu tahmin edilmektedir. Türkiye'de ise devlet ve özel sektör birlikte 222 kişi istihdam etmekte olup ortalama kişi başına üretim ise 630 ton / yıldır [20].

3.3.6. Çevre

A.B.D'de terkedilmiş açık ocakların son durumu ile atık problemleri normal olarak değerlendirilmekte, çevreye herhangi bir sorun arz etmemektedir. Esasen ocakların işgal ettiği alanlar azdır ve bu alanlarda yerleşim yerlerinden oldukça uzaktadırlar. Aynı durum Türkiye'de de mevcuttur. Perlitin prosesi sırasında kimyasal işlem değil, fiziksel işlemler tatbik edilmektedir. Bu nedenle atık sorunu bulunmamakla beraber kırma ve eleme aşamasında aşırı toz çıkışı olmaktadır. Bu sorun kırma-eleme ünitelerine toz tutma ekipmanları yerleştirilmek suretiyle çözümlenmektedir [20].

3.4. Türkiye'de Mevcut Durum

3.4.1. Rezervler

Ege bölgesi perlitleri, Menderes ve Karaburun Masifleri arasında kalan Mezozoik bir kırımın, Miosen Riyolitik volkanizmaları ile ilgilidir. Perlit doğrudan doğruya lav akıntılarıyla meydana gelmiştir. Bölgeyi Riyolit, Riyolitik tüfler, perlit ve volkanik tortular kaplamaktadır.

Cumaovası mevkiindeki perlit cevherleşmesi, Murat tepenin kuzey eteklerinden başlayıp takriben 10 km boyunca Murattepe, Mezarkaya, Aktaş, Güllüktepe ve Karadağ'a kadar uzanmaktadır. Perlit cevheri tamamen satıhta olup, bazı kısımlarda 1,5 metreyi bulan nebati örtü tabakasıyla kaplıdır. Bazı yataklarda ve yatakların bazı kısımlarında perlit üzerinde riyolitik tüfler ve perlitik breşler mevcuttur. Cevher yataklarının derinliği 25-90 metre arasında değişmektedir [20].

Tablo 3.10. Türkiye perlit rezervleri [20]

Bölgeler	Miktar (bin ton)
Ankara-Kızılcahamam	34.200
Ankara-Çubuk	32.000
Ankara-Çamlıdere	8.000
Balıkesir-İvrindi	25.000
Çanakkale-Biga	3.400
Çanakkale-Orta	30.000
Eskişehir-Seyitgazi-Türkmentepe	20.000
Erzurum-Pasinler	100.000
İzmir-Cumaovası	60.000
İzmir-Foça	16.500
İzmir-Bergama	16.500
İzmir-Dikili-Deliktaş	8.000
Kars-Sarıkamış	1.500.000
Manisa-Sarıkamış	18.000
Manisa-Zeytindağ	18.600
Nevşehir-Acıgöl	862.000
Nevşehir-Derinkuyu (Niğde-Gölcük)	350.000
Van-Erciş-Adilcevaz	1.400.000
Toplam	4.502.200

3.4.2. Üretim

3.4.2.1. Üretim yöntemi ve teknolojisi

Perlit yataklarından ham cevher üretimi açık işletmelerde yapılmaktadır. Yüzeğe yakın geniş alan kaplayan yataklar ekonomik olarak işletilmektedir. Bazı gevşek perlit ocakları Ripperli dozer ile sökülebilirse de üretim sırasında genellikle patlayıcı madde kullanılır. Ocaklarda üretilen ham cevher, fabrikalarda çeneli kırma veya merdaneli kırma makinaları kullanılarak kırılır. Daha sonra öğütme işlemleri gelir. Bu işlemler için değirmenler elekler ve kırmalı ayırıcılar kullanılır. Öğütülen perlit

tane iriliğine göre tasnif edilir ve torbalanır. Belirli tane iriliğinde tasnif edilmiş perlit cevher kalitesine göre ön ısıtma işlemlerinden geçirilir. Bu işlem ile perlit bünyesindeki su miktarı % 2'ye kadar düşürülebilir. Bazı perlit cevherleri ön ısıtma gerektirmeyebilir. Daha sonra yapılan genişletme işlemi için 870-1000°C'de çalışan dikey, eğik ve döner yatay fırınlar kullanılır. Genleştirilen perlit, siklon ve multisiklonlardan (havalı ayırıcılar) geçirilerek sınıflandırılır ve torbalanır [20].

Türkiye'de perlit işletmeciliği yapan önemli 6 firma sayılabilir.

- Eti Holding (Menderes)
- Perlisan Ltd.- DPM Ltd. (Bergama)
- Harborlite Aegean (Ege Endüstri Mineralleri) (Bergama)
- Silver and Baryt (Saba Madencilik) (pabalk) (Karabiga)
- Persa (İstanbul)
- Perlitaş (Bergama)

Eti Holding faaliyetlerine 1979 yılında başlamıştır. Faal olarak üç ocağı Menderes, Bergama ve Demirci Tesisleri'dir.

Perlisan Ltd. IMP Ltd., Türkiye'de en fazla perlit ihraç eden kuruluştur. Bergama civarında beş tane ocağı mevcuttur.

Harbolite Aegean, Kiska inşaat grubunun bir üyesidir. Bu grup Ege Endüstri Mineralleri Sanayii A.Ş. olarak faaliyet gösterirken ABD'deki Harborlite firması ile işbirliğine giderek adını da bu şekilde değiştirmiştir. Ocakları Bergama'da tesisleri Dikili'dedir.

Saba Madencilik, Pabalk Madencilik San. A.Ş. adı ile faaliyet yürütürken ABD kökenli Silverand Baryte Ores Mining Co'nun Yunanistan şubesi ile birleşerek adını Saba Madencilik olarak değiştirmiştir. Ocakları Biga ve Balıkesir civarında, tesisleri ise Çanakkale Karabiga'dadır.

Persa perlit türevleri San. Tic. Ltd. Şti. genişmiş perlit üretimi için kurulmuş olmakla beraber perlit madenciliğinde yenidir. Firmanın batı, orta ve Doğu Anadolu'da perlit sahaları vardır.

Perlitaş, Perlisan'a bağlı bir kuruluştur. Tesisleri Bergama'dadır [21].

3.4.2.2. Üretim miktarı

Türkiye perlit üretimi yıllar itibariyle tablo 3.13'de verilmektedir. Ortalama yıllık üretimin 150.000 ton civarlarında olduğu görülmektedir [21].

Tablo 3.11. Türkiye perlit üretim miktarı (ton) [21]

Yıllar	Üretim Miktarı (ton)
1994	164.582
1995	171.058
1996	157.580
1997	103.416
1998	124.312
1999	142.061

3.4.3. Tüketim

3.4.3.1. Tüketim alanları ve miktarı

Ülkemizde yeterli perlit kapasitesi olmasına rağmen yurtiçi talep çok sınırlı kalmıştır. Bunun nedeni perlit konusunda yeterli tanıtımın yapılmamış olmasıdır. Çok iyi bir izolasyon maddesi olan perlit Türk halkı ve hatta teknik kişiler, müteahhitler tarafından bilinmemektedir.

Türkiye'de genişmiş perlit üretim kapasitesinin 300.000 m³ olmasına karşın bugün tüketilen genişmiş perlit 100.000 m³ dolaylarında olduğu ve Türkiye'deki tüketim potansiyelinin 500.000 m³ dolaylarında seyrettiği Türkiye tarımda birinci perlit

sempozyumunda sunulmuştur. Bu sempozyumda sektörel olarak olması gereken tüketim rakamları tablo 3.12’de verilmektedir.

Tablo 3.12. Türkiye perlit tüketim oranları [20]

Sektör	% Tüketim	Tüketim Potansiyeli (Bin m ³)
İnşaat	60	300
Tarım	17	85
Sanayi	20	100
Diğer	3	15
Toplam	100	500

Tüketilen toplam miktarın 100.000 m³ olduğu ve 1 ton kırılmış-elenmiş perlitten vasati 12 m³ genişmiş perlit elde edildiği düşünülürse Türkiye’de yılda ortalama 8000 ile 8500 ton civarında kırılmış-elenmiş perlit tüketilebileceği açıktır [20].

3.4.4. Uluslararası ticaret

3.4.4.1. İthalat - ihracat

Türkiye’nin perlit ithalatı yoktur. Ancak, 1993 yılı içinde 720 ton kadar bir ithal girdisi görülmüştür. Bunun değeri 153.000 \$ kadardır. Esas itibariyle Türkiye perlit ihraç etmektedir. Türkiye perlit ihracatı tablo 3.13.’de verilmektedir.

3.4.4.2. Komşu ülkelerin ticaretteki yeri

Pazarda Türkiye’nin en güçlü rakibi Yunanistan’dır. Bölge ihracatının % 60-70’ini elinde tutmaktadır. Ancak, Türkiye’nin dünya pazarındaki payı da 1988’den bu yana % 70’lik bir büyüme göstermiştir [20].

Tablo 3.13. Türkiye perlit ihracatı [20]

Yıllar	Miktar (bin ton)	Değer (bin \$)
1988	87.0	1.478.0 (*)
1989	98.0	1.086.0 (*)
1990	118.0	1.127.0 (*)
1991	100.0	620.0 (*)
1992	140.0	2.693.4
1993	148.0	3.005.0

(*) Merkez Bankası ortalama döviz alış kuru kullanılmıştır.

3.4.5. İstihdam

Halihazırda Türkiye'de üretim yapan 6 işyerinde istihdam edilen personel sayısı 222'dir. Bunların, 170 tanesi üretimde çalışmakta geri kalan 52 kişi ise idari hizmetler sınıfındadır.

3.4.6. Çevre

Perlit işletmeciliği çevre ile ilgili önemli bir sorun yaratmamaktadır. Perlit proses sırasında kimyasal işlem değil, fiziksel olarak işlem gördüğü için atık problemi yoktur. Ancak, kırma eleme esnasında ortaya çıkan toz nedeniyle yerleşim alanlarının dışında olması tercih edilmeli veya bir toz tutma ünitesi tesise ilave edilmeli ve ayrıca kırılmış-elenmiş perlitin ÇED tüzüğüne uygun olarak yapılmış depolarda stoklanması ürünün nemlenmemesi ve toz olarak çevreye zarar vermemesi açısından önem kazanmaktadır [20].

BÖLÜM 4. ADSORPSİYON

Adsorpsiyon, bir yüzey veya arakesit üzerinde maddenin birikimi ve derişiminin arttırması olarak tanımlanabilir. Bu işlem herhangi iki değişik fazın ara kesitinde meydana gelebilir; sıvı – sıvı, gaz – sıvı, gaz – katı, sıvı – katı gibi. Yüzeyde tutulan maddeye “adsorplanan” veya “adsorbat”, yüzeyinde tutanlara “adsorban” veya “adsorbent” denir. Adsorpsiyon ise bir fazda bulunan atom veya moleküllerin diğer fazda bulunan atom veya moleküller arasından oldukça homojen biçimde geçerek bu faza yerleşmesidir. Adsorpsiyon ve adsorpsiyonun ortak adına “Sorpsiyon” denilmektedir [12].

Adsorpsiyon olayı ilk olarak 1773 yılında Scheele ile 1777 yılında A. Fontana tarafından keşfedilmiştir. Adsorpsiyon üzerine ilk sistematik araştırmayı ise 1814 yılında Saussure yapmış, adsorpsiyon terimi ise 1881 yılında Kayser tarafından ileri sürülmüştür [23].

Sular değişik miktarlarda organik maddeler ihtiva ederler. Bu organik maddelerin çoğu renk, koku, tad ve arıtma problemlerine ilaveten çok ciddi sağlık problemleri ve özellikle kanser riski ortaya çıkarmaktadır. Pestisid, Trihalometan gibi bileşiklerin ve diğer organik maddelerin içme sularından uzaklaştırılması halk sağlığı açısından çok önemlidir. Organik maddeler, klor ve permanganat oksidasyonu, havalandırma, pıhtılaştırma-yumaklaştırma, çöktürmeyle ve filtrasyonla kısmen uzaklaştırılabilir. Ancak bunların hiçbirisi, adsorpsiyon kadar etkili değildir. Adsorpsiyon işlemi, öncelikle organik maddeleri uzaklaştırmak için yapılmakla beraber, florür ve arsenik gibi, inorganik iyonların giderilmesinde de kullanılmaktadır [24].

Adsorpsiyonun temel mekanizması ayrılacak maddenin çözücüden kaçma özelliğine, katıya duyduğu ilgiye bağlıdır. Sulu sistemlerde her iki özelliğin kombinasyonu önem taşır. Bu özellikleri etkileyen çözünebilirlik gibi faktörler adsorpsiyon için önem taşır.

Bir sıvı – katı sisteminde çözültüden katı faz yüzeyine adsorpsiyon sırasında katı ve sıvı fazdaki maddelerin derişimleri arasında dinamik bir denge oluşur. Bu denge durumunda maddenin sıvı ve katı fazlardaki derişimleri arasındaki orantı adsorpsiyon verimi açısından önem taşır.

Katı – sıvı adsorpsiyonu içme suyu ve atık su arıtımında önemli rol oynar. Adsorpsiyon prosesi su ve atık su arıtımında şu amaçlarla kullanılmaktadır:

- İstenmeyen tad ve kokuların uzaklaştırılmasında,
- İnsektisid, bakterisit ve bunun gibi pestisidler biyolojik arıtma sistemlerinde girişim meydana getirebilirler ve arıtılmadan tesisten çıkarlar. Bu gibi maddelerin alıcı sulara gitmesini engellemek için üçüncül arıtma olarak adsorpsiyon işlemi uygulanabilir.
- Küçük miktarda toksik bileşiklerin (fenol vb.) sulardan uzaklaştırılmasında,
- Deterjan kalıntılarının sulardan uzaklaştırılmasında,
- Endüstriyel atıklarda bulunan kalıcı organik maddelerin ve rengin giderilmesinde,
- Nitro ve kloro bileşikleri gibi özel organik maddelerin uzaklaştırılmasında,
- TOK ve klor ihtiyacının azaltılmasında,
- Deklorinasyon (Klor Giderme) amacı ile kullanılır.

Su arıtımında adsorpsiyon teknikleri için çeşitli kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Alümina, silikajel, fuller toprağı, makroporöz reçineler; bazik makroporöz iyon değıştirici reçineler, aktif silika ve aktif karbon en çok bilinen adsorban maddelerdir [12].

Adsorpsiyon sulardan özellikle organik kirleticilerin gideriminde kullanılan önemli bir metottur. Yaygın olarak kullanılan adsorban madde ise aktif karbondur. İçme suyu tasfiyesinde çoktan beri adsorplama işleminden faydalanılmaktadır. Genel olarak çeşitli endüstriyel atık sulardaki kirletici seviyesi ile içme suyu kaynaklarındaki kirletici seviyesi kıyaslandığında; içme suyu kaynaklarındaki kirletici seviyesinin çok daha düşük olduğu görülür. Genellikle içme suyu koagülasyon, flokülasyon, sedimentasyon, filtrasyon ve klorlama gibi arıtım metotlarıyla arıtılmaktadır. Son senelerde atık suların tasfiyesinde çok iyi kaliteli

çıkış sularının istenmesi üzerine, bilhassa aktif karbon yardımıyla adsorplama işlemi tatbik edilmeye başlanmıştır [25].

Aktif karbon; turbo, linyit, kömür, mangal kömüründen ve Hindistan cevizi kabuğundan çeşitli işlemler sonucu hazırlanır. Aktif karbonun hazırlanmasında buhar aktivasyon prosesi veya kimyasal aktivasyon prosesi uygulanır. Aktif karbon, taneli veya toz halinde kullanılan bir malzemedir. Taneli aktif karbon, filtre malzemesi olarak kullanılır. Toz halindeki aktif karbon ise, akan suya ilave edilerek bir temas havuzunda su ile iyice karıştırılır. Daha sonra su içindeki aktif karbon zerreleri çöktürülerek veya hızlı filtrelerden geçirilerek sudan ayrılır. Karbon taneleri çok ince olduğundan çöktürmeleri için polielektrolit gibi koagülant bir maddenin kullanılmasına gerek olabilir. Belirli bir zaman sonra karbonun adsorplama kabiliyeti sona erer. Bu takdirde rejenerasyona ihtiyaç vardır. Taneli aktif karbon tanelerin yüzeylerindeki organik maddeler fırınlarda yakılarak rejenere edilir. Toz halindeki aktif karbonun rejenerasyonu ise zor olmaktadır [26].

Adsorplayan madde yüzeyi ile adsorplanan kimyasal arasındaki çekim kuvvetlerine bağlı olarak üç tür adsorpsiyon işlemi gerçekleşmektedir.

Fiziksel Adsorpsiyon (Fizisorpsiyon): Katı yüzey ile adsorplanan madde molekülleri arasındaki düşük çekim kuvvetleri sonucu oluşan adsorpsiyon olayıdır. Burada zayıf van der Waals kuvvetleri etkindir ve işlem genellikle geri dönüşümlüdür (tersinirdir). Fiziksel olarak adsorplanmış sistemlerdeki bağlanma zayıf olduğu için gazın basıncını ya da çözünenin konsantrasyonunu düşürmekle olay kolaylıkla tersine çevrilebilir. Van der Waals kuvvetleri adsorplanan madde ile adsorplayıcı arasındaki bağlantıyı sağlar. Adsorbe olan molekül katı yüzeyinde belirli bir yere bağlanmamıştır, yüzey üzerinde hareketli bir durumdadır. Bununla birlikte adsorplanan adsorbanın yüzeyinde birikir ve gevşek bir tabaka oluşturur. Fiziksel adsorpsiyon sonucu yoğunlaşma enerjisinden biraz fazla ısı açığa çıkar. Proses esnasında açığa çıkan adsorpsiyon ısısı 10 kcal/mol veya daha azdır. Fiziksel adsorpsiyonda aktivasyon enerjisi gerekli olmadığından oldukça hızlıdır.

Kimyasal Adsorpsiyon (Kemisorpsiyon): Adsorplanan madde ile katı yüzey arasındaki fonksiyonel grupların kimyasal etkileşimi ile oluşan adsorpsiyondur. Kimyasal adsorpsiyon kimyasal bağların oluşumunu içerir. Adsorplanan moleküller adsorbanın yüzeyine tıpkı moleküllerde atomları bir arada tutan kovalent kuvvetlerle tutunurlar. Genellikle adsorplanan madde yüzey üzerinde bir molekül kalınlığında tek bir tabaka oluşturur, moleküller yüzey üzerinde hareket etmezler. Adsorban yüzeyinin tamamı bu mono moleküler tabaka ile kaplandığında, adsorbanın adsorplama kapasitesi bitmiş olur. Adsorbe olan maddenin uzaklaştırılması için (rejenerasyon) adsorbanın yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılması gibi işlemler uygulanır. Adsorplanmış moleküllerle adsorban molekülleri arasındaki bağlanma bir bileşikteki kimyasal bağlar kadar kuvvetli olduğundan bu tür adsorpsiyon çok nadir olarak geri dönüşümlüdür (tersinmez). Kimyasal adsorpsiyon belli bir aktivasyon enerjisi gerektirir ve bu sebeple yavaş bir süreçtir. Çoğu zaman kimyasal adsorpsiyon fiziksel adsorpsiyondan reaksiyon entalpisine bakılarak ayırt edilir. Genel olarak bir adsorpsiyon olayının reaksiyon entalpisi 35 kJ/mol'den büyük ise adsorpsiyon olayının kimyasal olarak meydana geldiği söylenebilir. Adsorpsiyon sırasında açığa çıkan ısı reaksiyon ısısından daha büyüktür. Kimyasal adsorpsiyonda, adsorplayıcı ve adsorplanan madde arasında kimyasal bağlanma olup gerçek bir reaksiyon oluşmaktadır. Bu esnada açığa çıkan aktivasyon enerjisi 10-50 kcal/mol'dür. Bu nedenle yüksek sıcaklıklarda kimyasal adsorpsiyon daha hızlı gerçekleşir.

İyonik Adsorpsiyon: Adsorplanan ile yüzey arasındaki elektriksel çekim ile gerçekleşmektedir. Elektrostatik çekim kuvvetlerinin etkisi ile iyonlar yüzeydeki yüklü bölgelere tutunmaktadır. Burada adsorplayan ve adsorplananın iyonik güçleri önemlidir. İyonlar eş yüklü ise daha küçük olan tercihi olarak yüzeye tutulur. İyon değişimi bu sınıfa dâhil edilir. Burada, zıt elektrik yüklerine sahip olan adsorplanan ve adsorban yüzeyinin birbirini çekmesi önem kazanmaktadır. Elektrik yükü fazla olan iyonlar ve küçük çaplı iyonlar daha iyi adsorbe edilir [27].

Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon karşılaştırılırsa;

Adsorplayıcı ile adsorplanan arasındaki kuvvet fiziksel adsorpsiyonda yoğunlaşma olayındaki, kimyasal adsorpsiyonda ise kimyasal tepkimelerde etkin olan kuvvetlere benzer. Bu nedenle fiziksel adsorpsiyon yüzey yoğunlaşması, kimyasal adsorpsiyon ise yüzey tepkimesi olarak da adlandırılmaktadır.

Adsorpsiyon ısısı fiziksel adsorpsiyonda gazların yoğunlaşma ısıları, kimyasal adsorpsiyonda ise tepkime ısıları ile aynı büyüklük mertebesindedir.

Yeteri derecede düşük sıcaklıklarda fiziksel adsorpsiyon herhangi bir adsorplayıcı-adsorplanan ikilisi arasında meydana gelebilir. Bu olay ikilinin türüne bağlı değildir. Kimyasal adsorpsiyon ise ikili sistemin türüne bağlıdır ve ikili arasında özel bir kimyasal ilgiyi gerektirir.

Fiziksel adsorpsiyon oldukça hızlıdır. Kimyasal adsorpsiyonun hızını ise aktiflenme enerjisi belirler.

Fiziksel adsorpsiyon genel olarak düşük sıcaklıklarda, kimyasal adsorpsiyon ise yüksek sıcaklıklarda oluşur. Sıcaklık arttıkça fiziksel adsorpsiyonun azalması nedeniyle adsorpsiyon önce azalır ve daha sonra kimyasal adsorpsiyonun meydana gelmesinden dolayı sıcaklıkla birlikte artar.

Kimyasal adsorpsiyon en fazla tek moleküllü biçiminde olabilir. Fiziksel adsorpsiyon ise tek moleküllü veya çok moleküllü tabaka biçiminde gerçekleşebilir.

Fiziksel adsorpsiyon dengesi tersinirdir ve adsorplanmış faz sıcaklığının yükseltilip basıncın düşürülmesiyle kolayca desorplanabilir. Oysa kemisorplanmış bir gazın desorpsiyonu çok zordur ve desorpsiyon ürünleri, adsorplayıcı ile adsorplanan arasındaki bir kimyasal tepkime ürünü olabilir [23].

Çoğu adsorpsiyon olayında ise bu üç çeşit adsorpsiyon birlikte veya artarda görülür.

Adsorpsiyonu etkileyen bazı faktörler şunlardır:

pH: Hidronyum ve hidroksil iyonları kuvvetle adsorbe olduklarından, diğer iyonların adsorpsiyonu çözelti pH'ından etkilenir. Ayrıca asidik veya bazik bileşiklerin iyonizasyon derecesi de adsorpsiyonu etkiler.

Sıcaklık: Adsorpsiyon işlemi genellikle ısı veren bir tepkime biçiminde gerçekleşir. Bu nedenle azalan sıcaklık ile adsorpsiyon büyüklüğü artar. Açığa çıkan ısının genellikle fiziksel adsorpsiyonda yoğunlaşma veya kristalizasyon ısıları mertebesinde, kimyasal adsorpsiyonda ise kimyasal reaksiyon ısıları mertebesinde olduğu bilinmektedir.

Yüzey Alanı: Adsorpsiyon bir yüzey işlemi olduğundan, adsorpsiyon büyüklüğü spesifik yüzey alanı ile orantılıdır. Adsorplayıcının partikül boyutunun küçük, yüzey alanının geniş ve gözenekli yapıda olması adsorpsiyonu artırır [28].

4.1. Adsorpsiyon Mekanizması

Bir adsorbanın seçiciliği, kuvvetli bir şekilde onun mikroötesi kristal yapısına bağlıdır. Bu yapı yüzey fonksiyonel organik grupların birbirleriyle bağlantısından oluşmuş mikrokristallerden meydana gelir. Adsorpsiyon, yüzey fonksiyonel grubun sorbate moleküllerine elektron verdiği, alıcı-verici bir kompleksleşme mekanizması ile meydana gelir. Sorbent yüzeyindeki fonksiyonel grupların durumu, sorbate/sorbent bağının tipini belirler. Bu sebepten prosesin fizisorpsiyon veya kemisorpsiyon olduğu sonucuna varılır.

Fizisorpsiyonda, van der Waals ve fiziksel bağlar üretilir, proses tersinirdir ve sistem düşük adsorpsiyon ısısına sahiptir. Sorbate polarizasyonu muhtemel olmasına rağmen elektron transferi oluşmamasından dolayı proses özelliksiz bir prosestir. Diğer yandan, kemisorpsiyon iyonik ve kovalent bağların oluşumunu içerir, yüksek enerji gerektirir ve proses tersinir değildir. Fizisorpsiyon daha düşük sıcaklıkta ortaya çıkarken geniş sıcaklık aralığında mümkün olan kemisorpsiyon oldukça özellikli bir prosestir. Kemisorpsiyon prosesinin tersinir olmamasına bağlı olarak, fizisorpsiyonda

çoklu tabaka ortaya çıkarken, kemisorpsiyonda tek tabaka oluşması beklenir. Bir adsorpsiyon sisteminde her iki türünde meydana gelmesi beklenir [29].

4.2. Adsorpsiyon Kinetiği

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

1- Gaz ya da sıvı fazda bulunan adsorplanan, adsorbanı kapsayan bir film tabakası sınırına doğru difüze olur (bulk solution transport). Bu basamak, adsorpsiyon düzeneğinde belirli bir hareketlilik (karıştırma) olduğu için çoğunlukla ihmal edilir.

2- Film tabakasına gelen adsorplanan buradaki durgun kısımdan geçerek adsorbanın gözeneklerine doğru ilerler (film mass transfer/boundary layer diffusion).

3- Sonra adsorbanın gözenek boşluklarında hareket ederek adsorpsiyonun meydana geleceği yüzeye doğru ilerler (intraparticle diffusion).

4- En son olarak da adsorplanan maddenin adsorbanın gözenek yüzeyine tutunması meydana gelir. (sorpsiyon)

Eğer adsorbanın bulunduğu faz hareketsiz ise, 1. basamak en yavaş ve adsorpsiyon hızını belirleyen basamak olabilmektedir. Bu nedenle, eğer akışkan hareket ettirilse, yüzey tabakasının kalınlığı azalacağı için adsorpsiyon hızı artacaktır. Son basamak ölçülemeyecek kadar hızlı olduğundan ve ilk basamak da iyi bir karıştırma olduğu düşünülerek adsorpsiyon hızına aksi bir etki yapmayacakları için 2. ve 3. basamaklar hız belirleyicidir. 2. basamak adsorpsiyon işleminin ilk birkaç dakikasında, 3. basamak ise adsorpsiyon işleminin geri kalan daha uzun bir süresinde meydana geldiği için, adsorpsiyon hızını tam olarak etkileyen basamağın 3. basamak olduğunu söyleyebiliriz.

Adsorpsiyon hızını belirlemek için kullanılan eşitlikler şunlardır:

Birinci derece Lagergren eşitliği:

$$\text{Log } (q_e - q) / q_e = - k_{1,ad} t / 2,303$$

Yalancı ikinci dereceden reaksiyon hız eşitliği:

$$t / q = [1 / k_{2,ad} q_{eq}^2] + t / q_{eq}$$

İkinci dereceden hız eşitliği:

$$1 / (q_e - q_t) = 1 / q_e + kt$$

$k_{1,ad}$: Lagergren adsorpsiyon hız sabiti (dakika⁻¹)

$k_{2,ad}$: Yalancı ikinci dereceden adsorpsiyon hız sabiti (g / mg.dakika)

k: İkinci dereceden adsorpsiyon hız sabiti (g / mg.dakika)

q_e : Denge meydana geldiği zaman adsorbe edilen madde miktarı (mg / g)

q_t : Herhangi bir zamandaki adsorbe edilmiş olan madde miktarı (mg / g)

$\log(q_e - q_t)$, t / q_t , $1 / (q_e - q_t)$ değerlerinin t değerine karşı ayrı ayrı grafiğe konulmalarıyla $k_{1,ad}$, $k_{2,ad}$ ve k değerleri hesaplanır.

Deneylelerden elde edilen veriler grafikler yardımıyla değerlendirilerek adsorpsiyona en uygun izoterm ve adsorpsiyon hızının derecesi bulunur.

Adsorpsiyon çalışmalarında dikkat edilmesi gereken en önemli faktörler:

- Sıcaklığın etkisi
- Çözeltinin ilk pH'sı
- Başlangıç adsorbat derişimi
- Çalkalama hızı
- Çalkalama zamanı [27].

4.3. Adsorpsiyon İzotermi

Adsorpsiyon işlemini daha etkin ve az maliyetli bir hale getirmek için bir çok araştırmacı ucuz ve yenilenebilir adsorbanlar bulmaya çalışmaktadır. Maliyet azalımı ve etkinlik için öngörülen yollardan biri adsorpsiyonun doğasının anlaşılmasıdır.

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 içinse konsantrasyon kütle birimleri olarak verilir (mg/l, ppm v.s.). Matematiksel olarak bu denge adsorpsiyon izotermi ile açıklanmaktadır [27].

İzotermiye tesir eden önemli adsorbent karakteristikleri, yüzey alanı, gözenek boyutu dağılımı ve yüzey kimyasıdır. Maksimum adsorpsiyon kapasitesi, adsorplanacak olan maddelerin ulaşabileceği gözeneklerin yüzey alanı ile doğru orantılıdır. Adsorplanacak maddenin sudaki çözünürlüğü azaldıkça adsorplanabilen fraksiyon azalır.

Adsorplanabilen madde miktarı, maddenin çözelti içindeki konsantrasyonunun ve sıcaklığın bir fonksiyonudur. Sabit sıcaklıkta, birim adsorplayıcı üzerinde adsorplanan madde miktarı ile çözeltideki maddenin dengedeki konsantrasyonu arasındaki denge bağıntısı adsorpsiyon izotermi olarak adlandırılır. Genel olarak adsorplayıcının birim ağırlığında adsorplanan madde miktarı konsantrasyonla artar, ancak bu artış orantılı değildir.

İzoterm, birim ağırlıktaki adsorplayıcının denge konsantrasyonuna kadar adsorpladığı kirleticinin bir fonksiyonu olarak ifade edilir. İzoterm sıcaklığa bağlı olduğu için değerler sıcaklığa göre verilmelidir. Adsorplama kapasitesi, adsorplayıcının tipine, adsorplanacak maddenin konsantrasyonuna, suyun sıcaklığına, yüzey yüküne, pH'a bağlıdır. İzotermi genellikle tek bir kirletici için belirlenir. Eğer su içerisinde değişik bileşikler mevcut ise, izotermi dizayndan ziyade karşılaştırma için kullanılır [10].

Çözeltide kalan derişim C ile, adsorplayıcının birim ağırlığı başına tuttuğı madde miktarı q arasındaki ilişkiler adsorpsiyon izotermi olarak tanınır. Adsorpsiyon izotermelerinin matematik açısından uygun formüllerle ifadesi başlıca üç yaklaşımla geliştirilmiştir: Langmuir izotermi, Freundlich izotermi ve BET izotermi [12].

4.3.1. Langmuir adsorpsiyon izotermi

Langmuir tarafından 1915 yılında ortaya konulan bu kavramsal bağıntı her basınç aralığında kullanılabilir. Bu izoterm denklemini Langmuir tarafından kinetik, Volmer tarafından termodinamik, Fowler tarafından istatistik olarak türetilmiştir.

Langmuir, bir gazın bir katı yüzeyi tarafından adsorpsiyonunun tek tabakadan öteye gidemeyeceğini öne sürmüştür. Adsorpsiyonda birbirine ters iki etki tasarımlanabilir.

- Gazın yüzeyde tutulması
- Yüzeyde tutulan gaz moleküllerinin yüzeyden uzaklaştırılması

Bu iki olayın hızı eşit olduğunda adsorpsiyon dengesi kurulur [23].

Langmuir izotermi, adsorban yüzeyinin enerji açısından benzer olduğu varsayımıyla, tek tabakalı homojen adsorpsiyonu açıklamak için kullanılmaktadır.

Kimyasal adsorpsiyon için matematiksel eşitlikleri tanımlayan en önemli bağıntılardan biri Langmuir izotermidir. Langmuir izotermi, çok sayıda sistemin denge adsorpsiyon davranışını yorumlamak için ve katı yüzeylerinin toplam yüzey alanını belirlemek için başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Bu eşitlik adsorpsiyon olayının izotermal olarak meydana geldiğini ve adsorbent yüzeyinin adsorbatın tek tabakası ile kaplandığını farz eder. Ayrıca bütün adsorpsiyon yörelerinin eşdeğer, yüzeyin mikroskopik düzeyde mükemmel derecede düzgün olduğunu, adsorplanmış moleküller arasında hiçbir etkileşimin olmadığını ve mevcut tüm noktaların adsorbat için aynı ilgiye sahip olduğunu da varsayar [30].

Langmuir adsorpsiyon izotermi ampriktir ve aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$q_e = X / M = a \cdot b \cdot C / (1 + bC)$$

$q_e = X / M$: Birim adsorplayıcı ağırlığı başına adsorplanan madde miktarı (g / g)

a: Birim adsorplayıcı ağırlığı başına tek sıralı filmde tutulan mol sayısı

b: Sabit

C: Adsorpsiyondan sonra çözeltide kalan maddenin derişimi (mg / l)

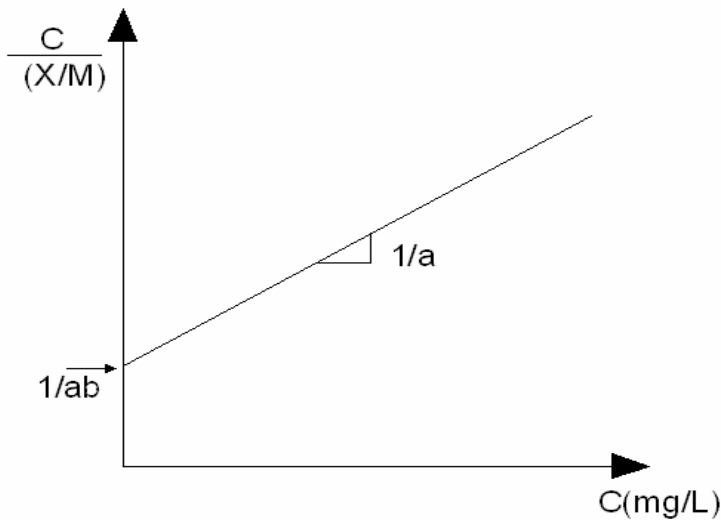
Langmuir izotermi lineerize edilmiş şekli ile;

$$C / q_e = C / (X / M) = 1 / ab + C / a$$

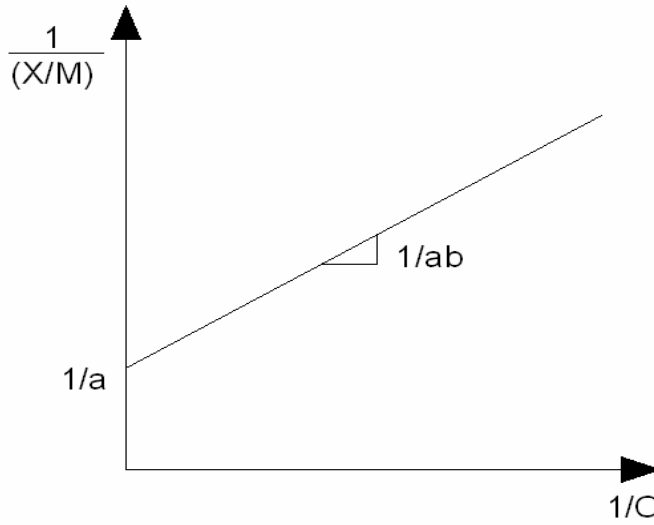
veya

$$1 / (X / M) = 1 / a + (1 / ab) (1 / C)$$

C ye karşı $C / (X / M)$ değerleri grafiğe geçirilerek şekil 4.1 elde edilir ve bu grafik yardımı ile a ve b sabitleri hesaplanabilir. Langmuir adsorpsiyon izoterminin diğer bir ifade şekli de şekil 4.2’de görülmektedir [12].



Şekil 4.1. Langmuir adsorpsiyon izoterminin grafiksel ifadesi [12]



Şekil 4.2. Langmuir adsorpsiyon izoterminin lineerize şekli [12]

4.3.2. Freundlich adsorpsiyon izotermi

Çözüldüden adsorpsiyon için kullanılan fakat gazların adsorpsiyonu için de başarılı bir şekilde kullanılan bir izotermdir. İlk kez 1907 yılında H. Freundlich tarafından ortaya konulmuştur [30].

Çoğu sistem, Langmuir denkleminde sapmalar gösterir. Bunun sebebi çoğunlukla yüzeylerin homojen olmaması ve adsorplanmış moleküller arasında etkileşmelerin meydana gelmesidir. İdeal olmayan sistemler bazı ampirik izotermlere uyabilirler. Bunlardan biri Freundlich adsorpsiyon izoterimidir. Freundlich adsorpsiyon izotermi, sınırlı bir konsantrasyon aralığında adsorplanmış miktar ile konsantrasyon arasındaki ilişkiyi temsil eder.

Adsorbent tarafından adsorplanan madde miktarı başlangıçta hızla artarken daha sonra adsorbent yüzeyinin doymasıyla daha yavaş artış göstermektedir. Bu değişimi göstermek için Freundlich adsorpsiyon izotermi denilen eşitlik önerilmiştir.

Freundlich izotermi aşağıdaki formül ile ifade edilir:

$$q_e = X / M = K_f \cdot C^{1/n}$$

$q_e = X / M$: Birim adsorban madde ağırlığı başına adsorplanan madde miktarı (g/g)

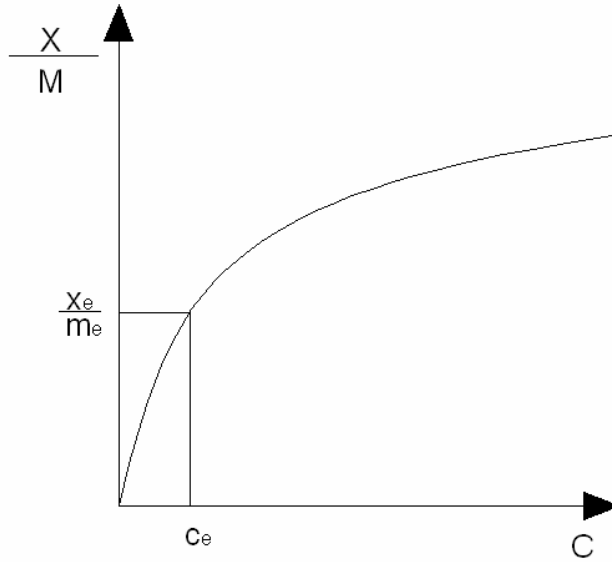
M: Adsorban maddenin ağırlığı

X: Adsorplanan madde miktarı

K_f : Freundlich sabiti

n: Sabit ($n > 1$)

C: Adsorplanan maddenin çözeltideki kalıntı derişimi (mg / l)



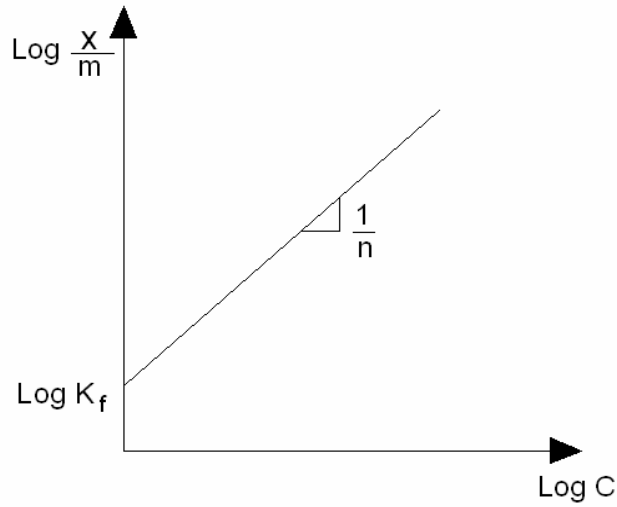
Şekil 4.3. Freundlich adsorpsiyon izoterminin grafiksel ifadesi [12]

Freundlich bağıntısının lineerize edilmesi ile;

$$\log X / M = \log K_f + 1 / n \log C$$

elde edilir. $\log (X / M)$ 'i $\log C$ 'nin fonksiyonu olarak çizmek suretiyle lineer izoterm elde edilir (Şekil 4.4).

Freundlich izotermi atık su arıtılmasında aktif karbon dozlaması için kullanılır [12].



Şekil 4.4 Freundlich adsorpsiyon izoterminin lineerize şekli [12]

Langmuir izotermi, adsorpsiyonun kesin olarak tek tabaka olduğu haller için geçerlidir. Yüksek basınç veya derişimlerde adsorpsiyon bir maksimuma erişmelidir. Hâlbuki Freundlich izoterm denklemleri, adsorpsiyonun basınç ve derişimle sürekli olarak artması gerektiğini belirtir [23].

4.3.3. Bet adsorpsiyon izotermi

Bu izoterm, yüzey üzerinde birçok adsorbat tabakası oluşması esasına dayanır ve her bir tabakaya Langmuir adsorpsiyon izotermi tatbik edilir [24].

Başlangıçta adsorplanan tabaka, ileri adsorpsiyon için yeni bir yüzey olarak davranabilirse izotermin, yüksek basınçlarda belli bir doygunluk değerinde düzleşmesi yerine sonsuza gidecek bir şekilde büyümesi beklenebilir. Çok tabakalı adsorpsiyonla ilgili en yaygın olarak kullanılan izoterm, S. Brunauer, P. Emmett ve E. Teller tarafından geliştirilen Bet izotermidir.

Bet izoterminin matematiksel ifadesi aşağıda verilmiştir:

$$q_e = X / M = (B \cdot C \cdot Q_0) / (C_s - C)[1 + (B - 1)(C / C_s)]$$

$q_e = X / M$: Birim adsorban madde ağırlığı başına adsorplanan madde miktarı (g/g)

B, Q_0 : Sabitler

B : Yüzeyle adsorplanan arasında enerji alışverişi ile ilgili bir sabit

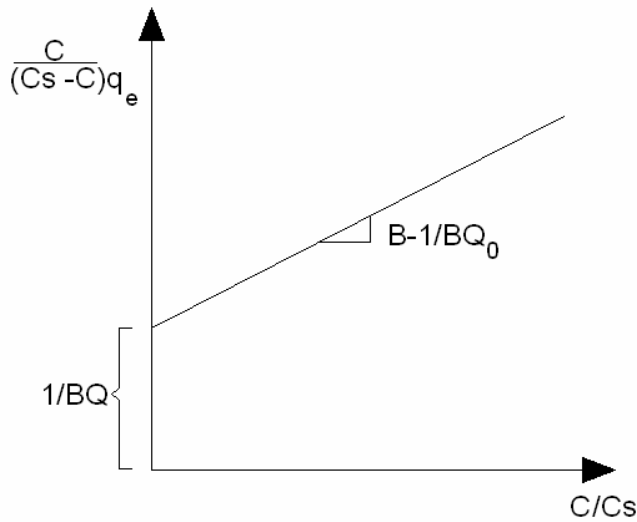
C : Adsorpsiyondan sonra çözeltide kalan maddenin derişimi (mg / l)

C_s : Adsorplanan maddenin doyunluk konsantrasyonu (mg/l)

Bağıntı lineerize edilirse,

$$C / (C_s - C) q_e = 1 / B Q_0 + [(B - 1) / B Q_0] (C / C_s)$$

elde edilir. Bet izoterminin lineerize hali şekil 4.5’de görülmektedir. B ve Q_0 sabitleri bu şekil yardımı ile hesaplanır [12].



Şekil 4.5. BET adsorpsiyon izoterminin lineerize şekli [12]

4.4. Literatür Bilgileri

Achraf Chakir, Jacques Bessiere, Kacem EL. Kacemi, Bouchaib Marouf (2002), sulu çözeltilerdeki Cr (III)'ün bentonit ve genişmiş perlit ile gideriminin karşılaştırılması üzerine çalışma yapmışlardır. Kinetik çalışmalar sonucunda, bentonit ile Cr (III) gideriminin, genişmiş perlit ile Cr (III) gideriminden çok daha hızlı olduğu tespit edildi. İki sorbentin sorpsiyon kapasitelerini hesaplamak için, farklı pH'larda, deneysel veri noktaları bentonit için Freundlich, genişmiş perlit için ise Langmuir adsorpsiyon izoterm modellerine uyduruldu. Genişmiş perlit ve bentonitin Cr (III) adsorpsiyonuna pH'ın etkisini incelemek amacıyla pH 1,5 - 5 aralığında yapılan çalışmalar neticesinde, bentonit ile Cr (III) gideriminin çok daha fazla olmasıyla birlikte her iki sorbentin sorpsiyon kapasitelerinin artan pH ile arttığı bulundu. Bentonit ile % 96, genişmiş perlit ile % 40 Cr (III) giderim verimi hesaplandı. Böylece, Cr (III) gideriminde, bentonitin % 96 giderim verimiyle genişmiş perlitten daha etkili olduğu sonucuna varıldı [31].

Mahir Alkan, Mehmet Doğan (2001)'in yaptığı çalışmada genişmiş ve ham perlit ile Cu (II) adsorpsiyonu incelendi. Farklı sıcaklık, pH ve iyonik şiddetteki çözeltilerden Cu (II) iyonlarını gidermek için H₂SO₄ çözeltisi ile aktifleştirilmiş perlit numuneleri adsorbent olarak kullanıldı. Perlit örnekleri üzerinde adsorplanmış Cu (II) iyonu başına salıverilen protonların sayısının yaklaşık 1 olduğu bulundu. Deneysel verilerin, Langmuir adsorpsiyon izotermi ile oldukça iyi bir uyum içinde olduğu saptandı. Her iki perlit örneği için Cu (II)'nin adsorplanmış miktarının asit aktivasyonu için kullanılan H₂SO₄'ün artan konsantrasyonu ile azaldığı bulundu. Perlit numuneleri ile Cu (II) iyonlarının adsorpsiyon kapasiteleri üzerine pH'ın etkisi incelemek amacıyla pH 5 – 7 aralığında yapılan çalışmalar neticesinde her iki perlit örneği için Cu (II)'nin adsorplanmış miktarının artan pH ile arttığı bulundu. Her iki perlit örneği için Cu (II)'nin adsorplanmış miktarının artan iyonik şiddet ve sıcaklıkla azaldığı bulundu. Boyutsuz ayırma faktörü (R), perlitin sulu çözeltilerden Cu (II) iyonunun giderimi için kullanılabilceğini, fakat genişmemiş perlitin daha etkili olduğunu gösterdi. Genişmemiş ve genişmiş perlit örneklerinin ΔH değerleri sırasıyla -5,14±1 kJ/mol ve -4,38±1 kJ/mol olarak hesaplandı. Perlit ucuz olmasından

dolayı bir adsorbent olarak ticari sistemde metal iyonlarının gideriminde önemli bir potansiyele sahip olduğu sonucuna varıldı [32].

T. Mathialagan, T. Viraraghavan (2002), sulu çözeltilerden kadmiyum giderimi için perlitin kullanımı üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmada, adsorpsiyon prosesi üzerine pH ve temas süresinin etkisi incelendi. Kesikli pH çalışmalarında perlit ile kadmiyum adsorpsiyonunun pH 3 ile 10 aralığında değiştiğinde kadmiyum adsorpsiyon veriminin 0'dan % 90'a arttığı görüldü ve adsorpsiyon için optimum pH 6,0 olarak bulundu. Reaksiyonun ilk bir saatinde perlit ile kadmiyum adsorpsiyonunun hızlı olduğu ve altı saat sonunda kadmiyum konsantrasyonunun dengeye ulaştığı görüldü. $22\pm 1^\circ\text{C}$ oda sıcaklığında yapılan kesikli adsorpsiyon deneylerinin Freundlich izoterm modeline uyduğu görüldü. Kesikli çalışmalardan pH 6,0'da saptanan maksimum kadmiyum giderim verimi % 55 olarak bulundu. Thomas modeli kullanılan kolon deneylerinde kadmiyum için perlitin adsorpsiyon kapasitesi 0,42 mg Cd / g perlit olarak bulundu. Çalışmalardan, sulu çözeltilerdeki kadmiyum giderimi için perlitin potansiyel bir adsorbent olarak düşünülebileceği sonucuna varıldı [33].

Mirali S. Alosman, Sinan Mehmet Turp, Asude Ateş (2004), yeni teknolojik yöntemle atık bor bileşiklerinden borun arıtılması üzerine çalışma yapmışlardır. Gelişmiş ülkelerde bor ürünleri başlıca uzay, savaş, nükleer endüstrilerde kullanılmasına rağmen ülkemizde böyle kıymetli bir hammaddenin önemli bir kısmı atık olarak atılmaktadır. Dünyada, bor rezervinin % 63'ü Türkiye'de bulunmaktadır. Gölete depolanan endüstriyel borlu su, yeraltına sızarak yararlı olan yeraltı ve yer üstü suları kirletmektedir. Bu çalışmada, borlu atık sudan bor elementini adsorplamak amacıyla çeşme suyuna belli oranlarda borik asit ilave edilerek yapay bir borlu atık su oluşturulmuş, belli devirde karıştırılmış ve belli oranda adsorplayıcı madde olarak perlit atılmıştır. Sonuçlar doğrultusunda Boraks İşletmesinden kaynaklanan atık borlu sulardan bor elementi perlit ile adsorplanarak, borlu atık sulardan bor elementi arıtılmıştır [34].

Mehmet Doğan ve Mahir Alkan (2003)'ın yaptığı çalışmada, farklı konsantrasyon, pH ve sıcaklıkta sulu çözeltilerden metil violetin giderimi için genişmiş ve ham perlitin kullanımı araştırıldı. Deneysel verilerin, Langmuir adsorpsiyon izotermi ile oldukça iyi bir uyum içinde olduğu saptandı. Her iki perlit örneği için metil violetin adsorplanmış miktarının asit aktivasyonu için kullanılan H_2SO_4 'ün artan konsantrasyonu ile azaldığı bulundu. Her iki perlit örneği için metil violetin adsorplanmış miktarının artan pH ve sıcaklıkla arttığı bulundu. Genleşmemiş ve genişmiş perlit örneklerinin ΔH değerleri sırasıyla 69 ± 1 kJ/mol ve 56 ± 1 kJ/mol olarak hesaplandı. Perlit ile metil violetin adsorpsiyonu fiziksel adsorpsiyon sınıfına girdiği ve Boyutsuz ayırma faktörü (R), perlitin sulu çözeltilerden metil violetin giderimi için kullanılabileceğini, fakat genleşmemiş ham perlitin daha etkili olduğunu gösterdi [35].

Mehmet Uğurlu (2003)'nun yaptığı çalışmada, adsorpsiyon yöntemini kullanarak, kâğıt endüstrisi atık sularında kirliliğe ve zehirliliğe neden olan fenolik ve lignin bileşiklerinin giderim oranları ile atık suyun türbidite (bulanıklık) değerlerindeki değişimler incelendi. Deneysel adsorbent olarak $105^\circ C$ 'de aktive edilmiş perlit minerali kullanıldı. Adsorpsiyon süresi, tane boyutu, sıcaklık, katı / sıvı oranı ve pH'nın etkisi parametre olarak seçildi. Deneysel sonuçunda, düşük pH, 0,02 g/ml katı/sıvı oranı, bir saatlik süre ve $35^\circ C$ adsorpsiyon sıcaklığı optimum giderim için uygun bulundu. Bu şartlarda, fenolde % 59, ligninde % 46 oranında giderim sağlanırken türbiditenin (bulanıklık) 79,6 mg/l'den 23,5 mg/l'ye düştüğü görüldü [4].

Mahir Alkan, Mecit Karadağ, Mehmet Doğan, Özkan Demirbaş (2005) sıcaklık, pH ve iyonik kuvvetin bir fonksiyonu olarak cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) sulu çözeltilerinde genişmiş ve genleşmemiş perlitin adsorpsiyon özellikleri üzerine çalışma yapmışlardır. Genleşmemiş perlitin genişmiş perlitte göre CTAB adsorpsiyonunun daha fazla olduğu görüldü. Genleşmiş ve genleşmemiş perlitlerin her ikisinde de sorpsiyon kapasitesinin artan pH ve azalan sıcaklıkla arttığı bulundu. Deneysel verilerin, Freundlich adsorpsiyon izotermi ile iyi bir uyum içinde olduğu saptandı. Perlit yüzeyi ile CTAB arasındaki etkileşimin fiziksel bir etkileşim olduğu ve adsorpsiyon prosesinin ekzotermik bir proses olduğu sonucuna varıldı [36].

B. Koumanova, P. Peeva - Antova (2002), sulu çözeltilerden p-chlorophenol (p-CP)'ün bentonit ve perlit ile adsorpsiyonu üzerine çalışma yapmışlardır. Bentonit ve perlit ile p-chlorophenol adsorpsiyon kapasitelerini saptamak için, çeşitli konsantrasyonlardaki (1-50 mg dm⁻³) çözeltiler belirli miktarlardaki adsorbentler ile karıştırıldı. Standart tank şekline göre dizayn edilmiş kesikli adsorpsiyon tankı kullanılarak farklı temas sürelerinde deneyler yapılarak başlangıç p-chlorophenol konsantrasyonunun ve adsorbent kütlesinin etkisi belirlendi. Hızlı adsorpsiyon çoğu deneyde başlangıçtan 20–30 dakika sonra gözlemlendi. Bu süreden sonra ise sıvı fazdaki p-chlorophenol konsantrasyonu sabit kaldı. Bentonit ve perlit üzerindeki p-chlorophenol adsorpsiyonu Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermi ile uyumlu olduğu saptandı. Perlit (5,84 mg/g) ile bentonit (10,63 mg/g) kıyaslandığında, bentonitin adsorpsiyon kapasitesinin daha yüksek olduğu sonucuna varıldı [37].

Mehmet Doğan, Mahir Alkan, Yavuz Onganer (2000)'in yaptığı çalışmada, sulu çözeltilerden katyonik boyaları gidermek için perlitin kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla H₂SO₄ ve NaCl çözeltileriyle aktifleştirilmiş genişlemiş ve ham perlit numuneleriyle sulu çözeltilerden Methylene Blue adsorpsiyonu incelendi. Adsorpsiyon kapasitesi üzerine boya çözeltilisinin sıcaklığı ve pH'nın etkisi değerlendirildi. Deneysel verilerin Langmuir adsorpsiyon izotermi ile uyum içinde olduğu görüldü. Giderim verimi (P) ve boyutsuz ayırma faktörü (R), sulu çözeltilerden Methylene Blue giderimi için perlitin kullanılabilirliğini, fakat genişlememiş ham perlitin daha etkili olduğunu gösterdi [38].

Mehmet Doğan, Mahir Alkan, Aydın Türkyılmaz, Yasemin Özdemir (2004), perlit ile Methylene Blue adsorpsiyonunun kinetiği ve mekanizması üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmada, adsorpsiyon hızı üzerine pH, sıcaklık ve giriş boya konsantrasyonu gibi çeşitli deneysel parametrelerin etkisi incelendi. Ölçümler adsorpsiyon prosesinin çok hızlı ve fiziksel olduğu sonucunu gösterdi. Başlangıç boya konsantrasyonu, başlangıç pH ve çözelti sıcaklığındaki artışla boya giderim miktarının arttığı görüldü. İkinci derece kinetik denklemlerinin sorpsiyon kinetiklerini en iyi tanımladığı görüldü [39].

Özkan Demirbaş, Mahir Alkan, Mehmet Doğan (2002) farklı konsantrasyon, iyonik güç, pH ve sıcaklıktaki çözeltilerden Victoria Blue giderimi için perlitin kullanımı üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmada, adsorpsiyon prosesinin 1 saat içinde dengeye ulaştığı görüldü. Victoria Blue giderimi için adsorpsiyon kapasitesinin artan pH ve sıcaklıkla arttığı bulundu. Deneysel verilerin, Langmuir adsorpsiyon izotermi ile uyum içinde olduğu saptandı. Victoria Blue fiziksel olarak perlit ile adsorplandığı belirlendi. Giderim verimi (P) ve boyutsuz ayırma faktörü (R), sulu çözeltilerden Victoria Blue giderimi için perlitin kullanılabilceğini, fakat genleşmemiş ham perlitin daha etkili olduğunu gösterdi [40].

M. Alkan ve M. Doğan (2003)'ın yaptığı çalışmada ise, perlit ile Victoria Blue adsorpsiyon kapasitesi üzerine başlangıç boya konsantrasyonu, sıcaklık ve pH gibi çeşitli deneysel parametrelerin etkileri incelendi. Başlangıç konsantrasyonu, pH, boyanın sıcaklığı ve temas süresinin artması ile boya giderim veriminin arttığı tespit edildi. Ölçümler neticesinde adsorpsiyon prosesinin hızlı olduğu görüldü. Renk ve boya giderimi için atık su arıtımında geleneksel adsorbentlere bir alternatif olarak düşük maliyetli perlitin kullanılabilceği sonucuna varıldı [41].

BÖLÜM 5. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada metal kaplama sanayi atık sularından perlit minerali ile toplam krom giderimi incelenmiştir. Deneysel çalışmalar ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.

5.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Analiz Yöntemleri

Deneysel çalışmalarda ağır metal analizleri SHIMATSU model AA-6701 F Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi (AAS) ile gerçekleştirilmiştir.

5.1.1. Atomik absorpsiyon spektroskopisi

1995 yılından sonra geliştirilmiş olan atomik absorpsiyon spektroskopisi, yüksek sıcaklıkta gaz halinde bulunan element atomlarının elektromagnetik ışınları absorplaması temeli üzerine kurulmuştur. Bir elementin atomik absorpsiyon spektroskopisi ile analizini yapmak için o elementin önce nötral hale, sonra buhar haline gelmesi, daha sonra da bir kaynaktan gelen elektromanyetik ışın demetinin yoluna dağılması gerekir. Bu işlem, ya elementi bileşik halinde ihtiva eden bir çözeltinin sis halinde yüksek sıcaklıktaki bir alev içine püskürtülmesi veya elementi bileşik halinde içeren numunenin (çözelti veya katı) karbon numune kabına konarak kabın elektrik arkıyla akkor haline getirilmesi suretiyle gerçekleştirilir.

Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi (AAS), serbest atomların elektromanyetik ışınlarını absorplayarak uyarılmaları esasına dayanan ve çoğunlukla metallerin miktar analizi için kullanılan bir yöntemdir [42].

5.1.2. Atomik absorpsiyon ölçümü

Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi (AAS) metodu, numunenin alev içine emilerek atomize edilmesi açısından alev fotometresine benzemektedir. Temel fark alev fotometresinde yayılan ışık ölçüldüğü halde Atomik Absorpsiyon Spektroskopisinde (AAS) alev içerisinden geçirilen ışık önce monokromatöre oradan da dedektöre gönderilerek alevde atomize edilen metalin absorbe ettiği ışık miktarı ölçülür. Alev emisyonu ile ölçümü güç olan pek çok metal için Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi (AAS) ile çok hassas sonuçlar alınmaktadır.

Tablo 5.1. AAS ile ilgili çalışma şartları

Element	Akım Şiddeti (mA)	Dalga Boyu (nm)	Slit (nm)	Gaz Akış Hızı (l/dk)
Cr	10	357,9	0,5	2,8

Tablo 5.2. Elemente ait doğruluk ve kalibrasyon değerleri

Element	Denklem	Regresyon Katsayısı (r)	% RSD
Krom	$y = 3E - 0,5x + 0,0014$	0,9996	4,8

5.1.3. Konsantrasyon tayini

Metal standart çözeltileri hazırlanır. Konsantrasyonu belli bir stok çözelti ve bu stok çözeltilerden uygun oranlarda seyreltmeler yapılarak artan konsantrasyonlarda (0,5 - 1 - 2 ppm) bir seri standart çözelti hazırlanır. Standart çözeltilerin absorbansları okunarak bilinen konsantrasyonlara karşı grafiğe geçirilir. Numunelerin absorbansları okunur ve absorbans - konsantrasyon kalibrasyon doğrusundan numunenin konsantrasyonu bulunur.

5.2. Deney Düzenegi

Deneysel çalışmalarda jar testi, hız kontrollü, Velp Scientifica marka ve hızı 90 rpm olan karıştırıcı ile gerçekleştirilmiştir.

5.3. Numunelerin Ölçüme Hazırlanması

500 ml'lik beherlere metal kaplama endüstrisinden temin edilmiş atık sular konulmuştur. Çeşitli dozlarda adsorbentler ilave edilerek, karıştırıcıda oda sıcaklığında karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Numuneler AAS cihazında ağır metal analizi yapılmıştır.

5.4. Tesis Bilgileri (Metal Kaplama Sanayi Atık Suları İncelenen)

IR Emniyet ve Güvenlik Sistemleri San. A.Ş. Düzce iline bağlı D-100 karayolu 9.km Şaziye köyünde faaliyet göstermektedir. Tesiste üretim 3 vardiya şeklinde olup haftanın 6 günü 24 saat gerçekleşmekte ve fabrikada 470 kişi çalışmaktadır. Tesiste kilit, hidrolik kapı ve panic exit kapı kilidi üretilmekte ve üretilen parçaların % 40'ı ihraç edilmektedir. Amerikan menşeli bir kuruluş olan IR Emniyet ve Güvenlik Sistemleri San. A.Ş. dünya çapında 40.000 çalışanı ve 115 fabrikası bulunmaktadır.

Tesiste kaplama askı ve dolap olmak üzere iki şekilde gerçekleşmektedir. Demir, pirinç, zamak, alüminyum kaplanılan ana metaller arasındadır. Nikel, Krom, Pirinç, Satine Nikel, Çinko ve bunların kombinasyonları tesiste gerçekleştirilen kaplama çeşitleridir. Malzemeler kaplama işlemine girmeden önce sıcak yağ alma, ultrasonik yağ alma ve elektrolitik yağ alma işlemlerinden geçerek temizlenirler. Tesiste, krom aktifleme banyosunda, krom kaplama banyosunda, çinko pasivasyon ve pirinç sonrası pasivasyon banyosunda krom türevleri bulunmaktadır. Atık sular genel olarak kaplama ünitelerinden ve boyahaneden fosfat yıkamadan (aylık 6 ton) gelmektedir. Ayrıca sıcak yağ alma tankları 6 ayda bir, elektrolitik ve ultrasonik yağ alma tankları da 45 günde bir boşaltılmaktadır. Tesis atık su debisi; asitli atık sular için 40 m³ / gün, bazik atık sular için 12 m³ / gün, siyanürlü atık sular için 2 m³ / gün

ve kromlu atık sular için ise $40 \text{ m}^3 / \text{gün}$ olmak üzere ortalama toplam atık su debisi $100 \text{ m}^3 / \text{gün}$ 'dür.

Tesiste prosesten kaynaklanan endüstriyel nitelikli atık sular, siyanürlü atık sular, kromlu atık sular ve asidik bazik atık sular olmak üzere üç ayrı hattan taşınarak her biri için ayrı yapılmış dengeleme havuzlarında toplanır. Dengeleme havuzunda debi ve kirlilik yönünden homojenize edilen atık sular seviye şamandrasına bağlı olarak çalışan bir pompa ile arıtma ünitelerine aktarılır.

Deneysel çalışmalarda kullanmak amacıyla numuneler krom hattı dengeleme havuzundan alınmıştır.

BÖLÜM 6. BULGULAR

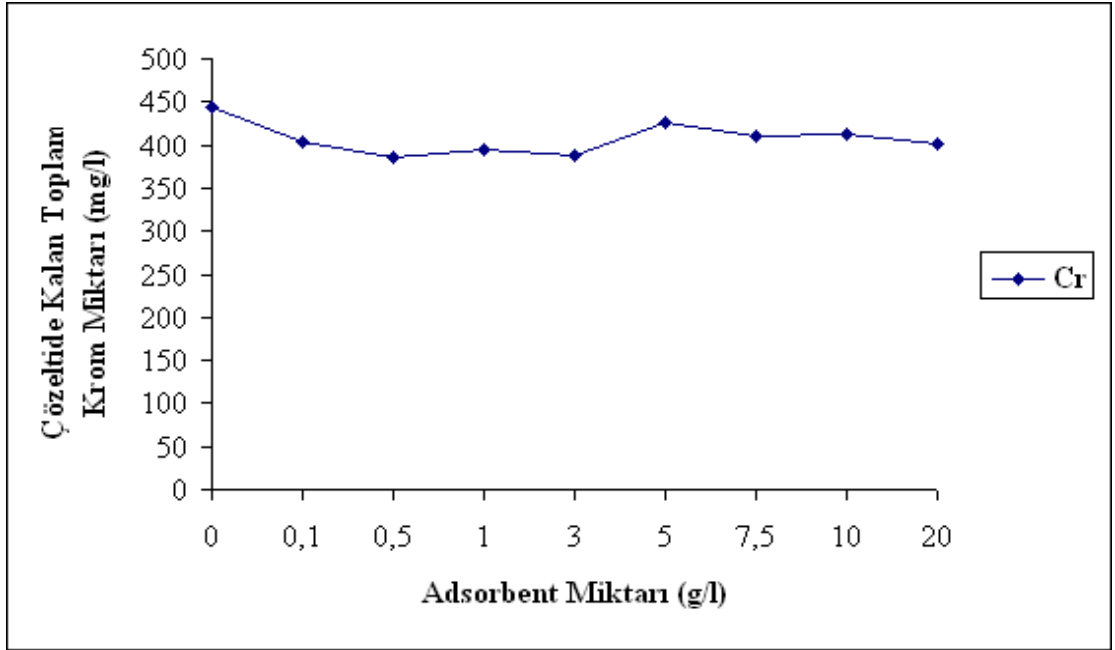
6.1. Deneysel Çalışmalar

Farklı adsorbent miktarlarında ve farklı karıştırma sürelerinde hazırlanan numunelerin atomik absorpsiyon spektroskopisinde ölçüm sonucundan elde edilen çözeltilerde kalan toplam krom konsantrasyonları ve hesaplanan toplam krom giderim verimleri tablo 6.1’de verilmiştir. Atık suyun başlangıç toplam krom konsantrasyonu AAS ölçüm sonucu $C_0 = 444 \text{ mg / l}$ olarak bulunmuştur. Giderme verimi, başlangıç toplam krom konsantrasyonu olan 444 mg / l ’den ölçüm anındaki çözeltilerde kalan toplam krom konsantrasyonu çıkarılarak elde edilmiştir. Atık suyun pH değeri ise $\text{pH} = 6,84$ olarak ölçülmüştür.

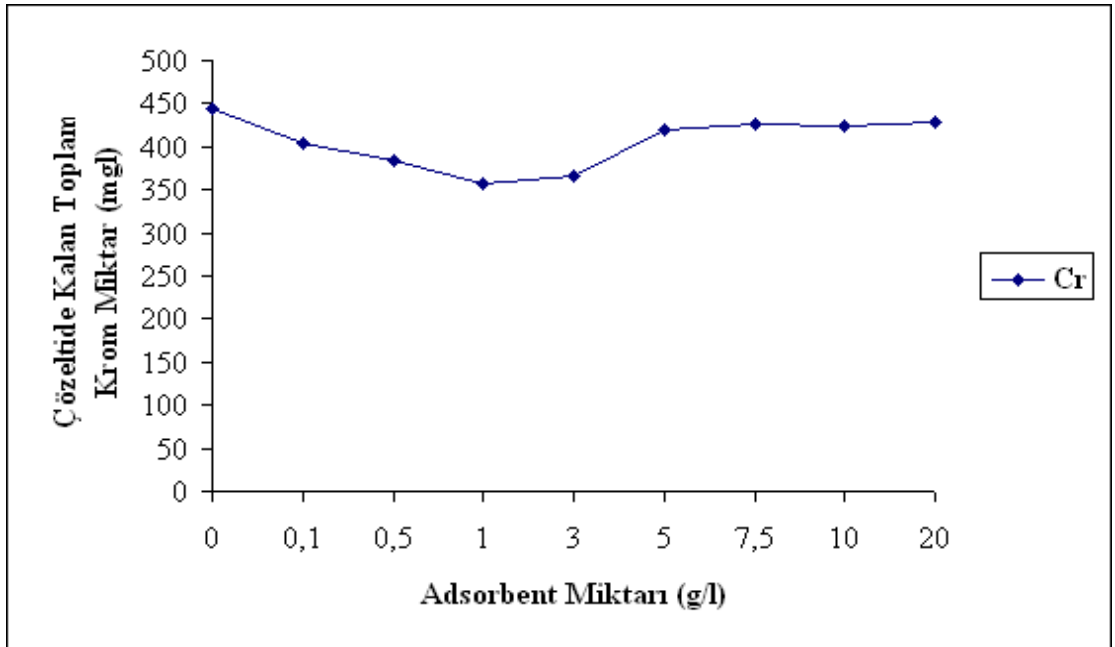
Tablo 6.2 ve 6.3’de adsorbent miktarının zamana karşı çözeltilerde kalan toplam krom miktarına ve giderim verimine etkisi gösterilmiştir.

Tablo 6.1. Optimum adsorbent miktarı tayini

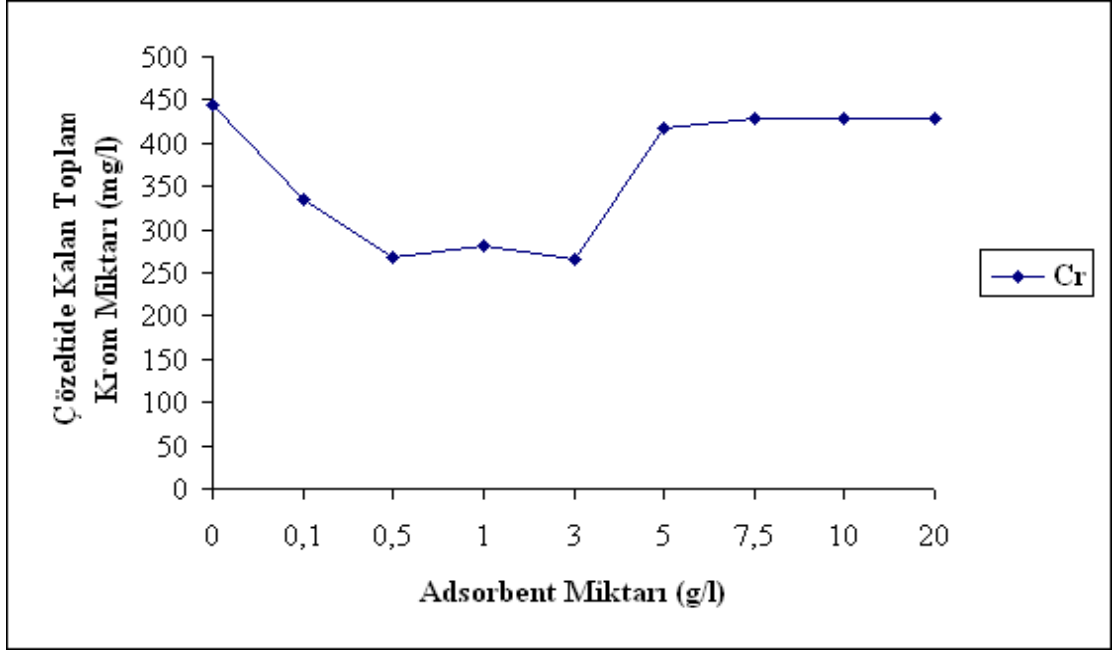
Adsorbent Miktarı (g / l)	Karıştırma Süresi (dk)	Çözeltide Kalan Toplam Krom Konsantrasyonu (mg / l)	Giderim Verimi (%)
0,1	10	404	9,01
0,5	10	385	13,29
1	10	395	11,04
3	10	387	12,84
5	10	425	4,28
7,5	10	410	7,66
10	10	413	6,98
20	10	401	9,68
0,1	20	405	8,78
0,5	20	385	13,29
1	20	357	19,59
3	20	367	17,34
5	20	419	5,63
7,5	20	427	3,83
10	20	423	4,73
20	20	428	3,60
0,1	30	335	24,55
0,5	30	267	39,86
1	30	281	36,71
3	30	265	40,32
5	30	418	5,86
7,5	30	429	3,38
10	30	428	3,60
20	30	429	3,38
0,1	40	310	30,18
0,5	40	264	40,54
1	40	294	33,78
3	40	259	41,67
5	40	419	5,63
7,5	40	429	3,38
10	40	428	3,60
20	40	429	3,38



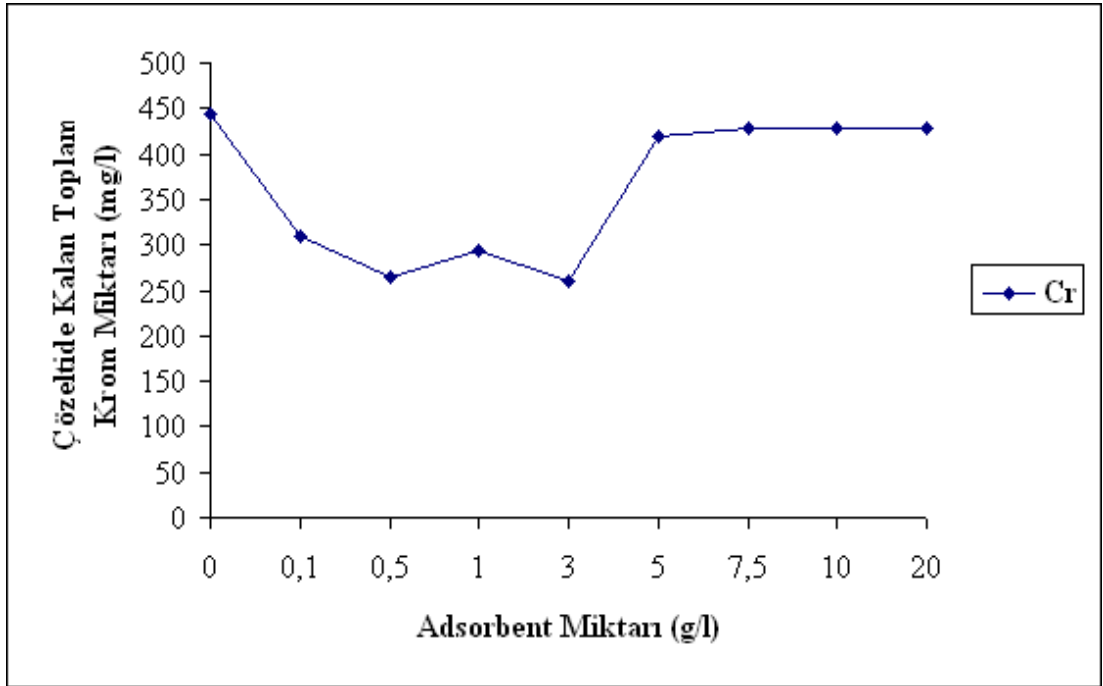
Şekil 6.1. Adsorbent miktarının çözeltide kalan toplam krom miktarına etkisinin tayini ($C_0=444$ mg/l, $t=10$ dk)



Şekil 6.2. Adsorbent miktarının çözeltide kalan toplam krom miktarına etkisinin tayini ($C_0=444$ mg/l, $t=20$ dk)



Şekil 6.3. Adsorbent miktarının çözeltide kalan toplam krom miktarına etkisinin tayini ($C_0=444$ mg/l, $t=30$ dk)



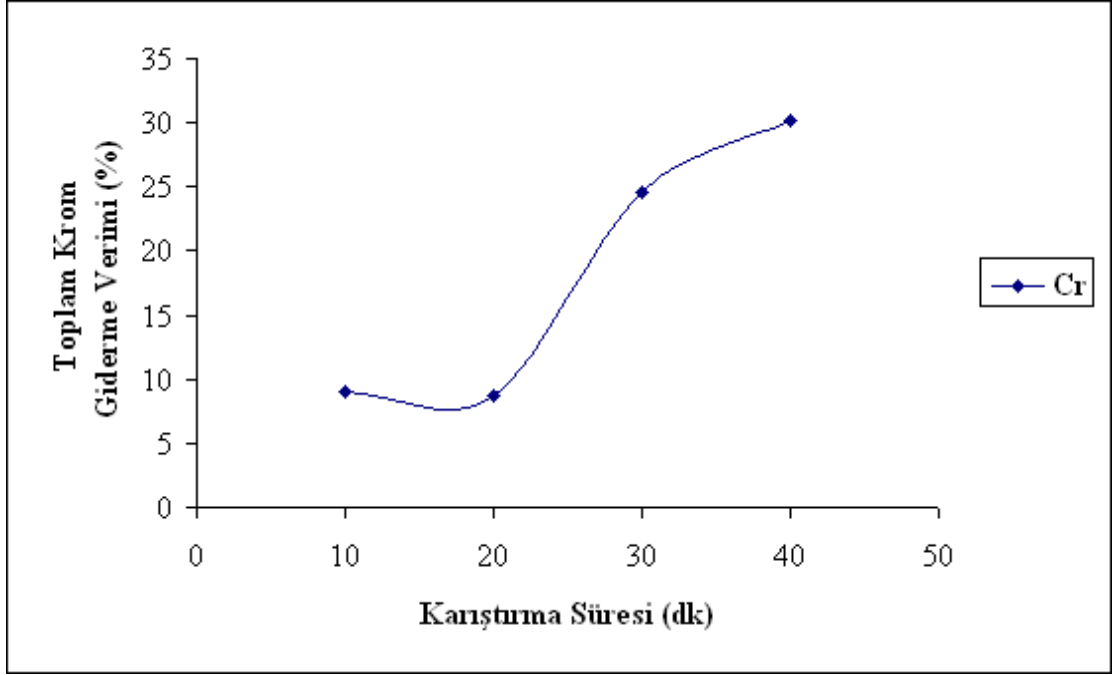
Şekil 6.4. Adsorbent miktarının çözeltide kalan toplam krom miktarına etkisinin tayini ($C_0=444$ mg/l, $t=40$ dk)

Tablo 6.2. Adsorbent miktarının zamana karşı çözeltide kalan toplam krom miktarına etkisi
($C_0 = 444 \text{ mg / l}$)

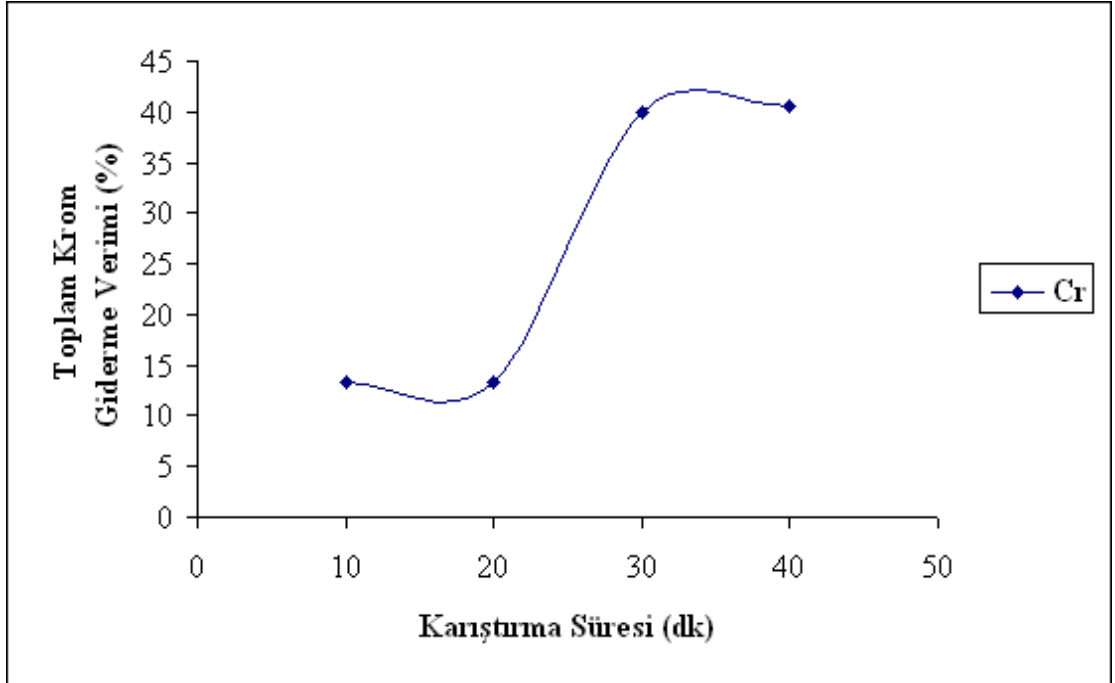
Adsorbent Miktarı (g / l)	Karıştırma Süresi (dk)			
	10	20	30	40
0,1	404	405	335	310
0,5	385	385	267	264
1	395	357	281	294
3	387	367	265	259
5	425	419	418	419
7,5	410	427	429	429
10	413	423	428	428
20	401	428	429	429

Tablo 6.3. Adsorbent miktarının zamana karşı toplam krom giderim verimine etkisi ($C_0 = 444 \text{ mg / l}$)

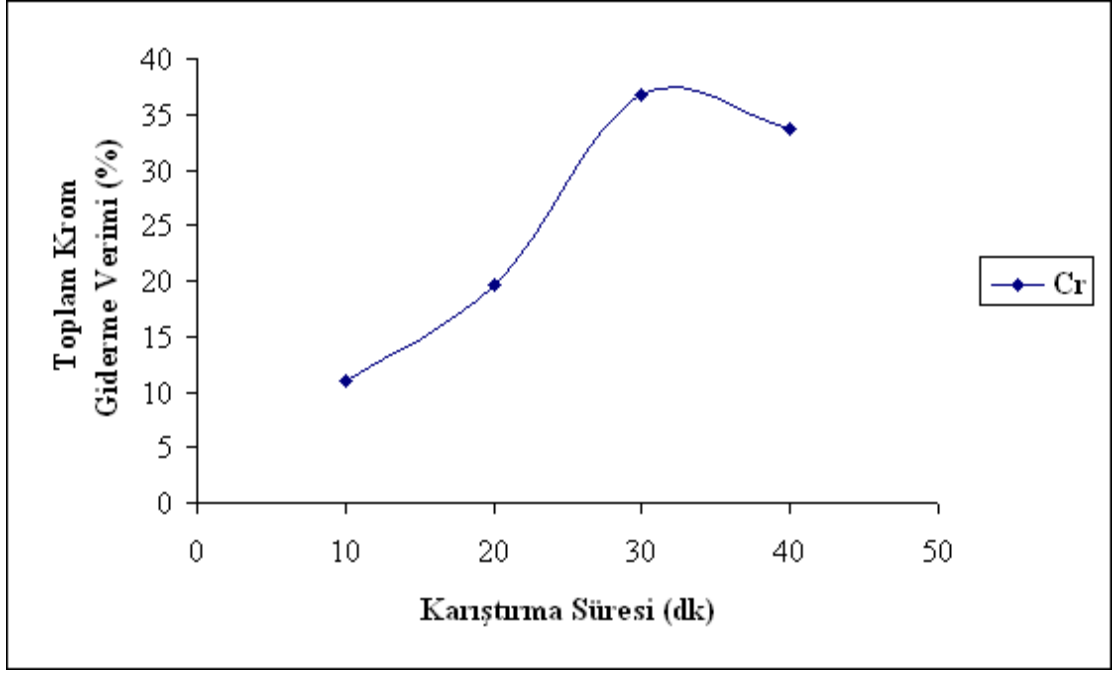
Adsorbent Miktarı (g / l)	Karıştırma Süresi (dk)			
	10	20	30	40
0,1	9,01	8,78	24,55	30,18
0,5	13,29	13,29	39,86	40,54
1	11,04	19,59	36,71	33,78
3	12,84	17,34	40,32	41,67
5	4,28	5,63	5,86	5,63
7,5	7,66	3,83	3,38	3,38
10	6,98	4,73	3,60	3,60
20	9,68	3,60	3,38	3,38



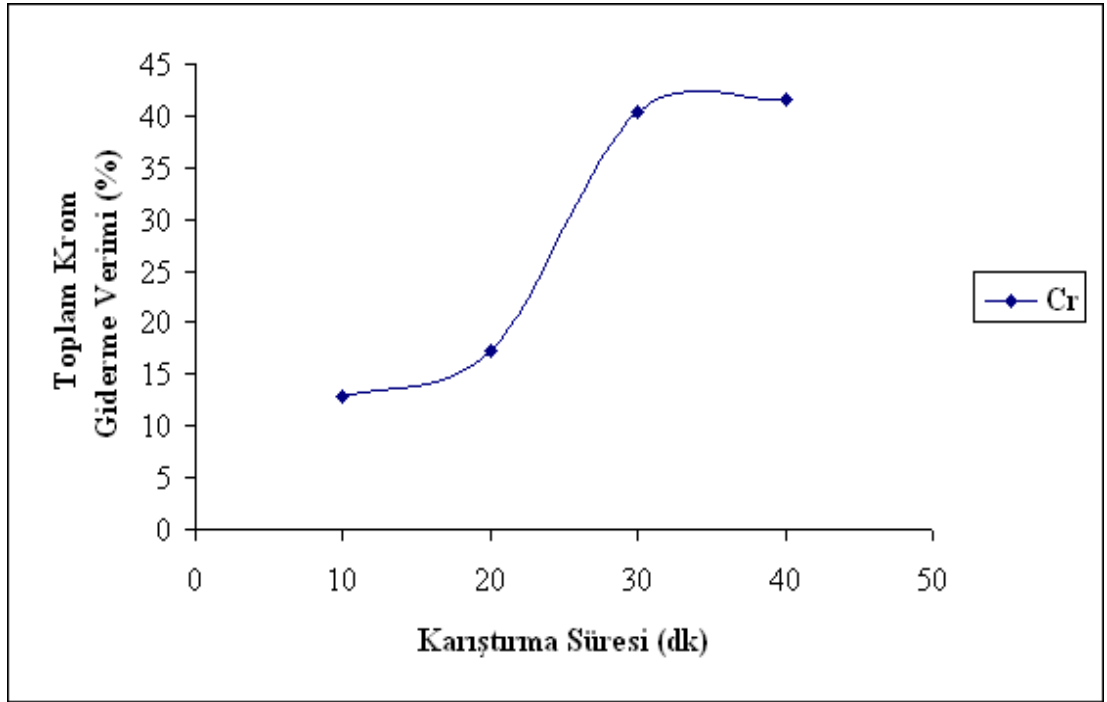
Şekil 6.5. Karıştırma süresinin toplam krom giderim verimine etkisinin tayini ($C_0=444$ mg/l, Adsorbent miktarı=0,1 g/l)



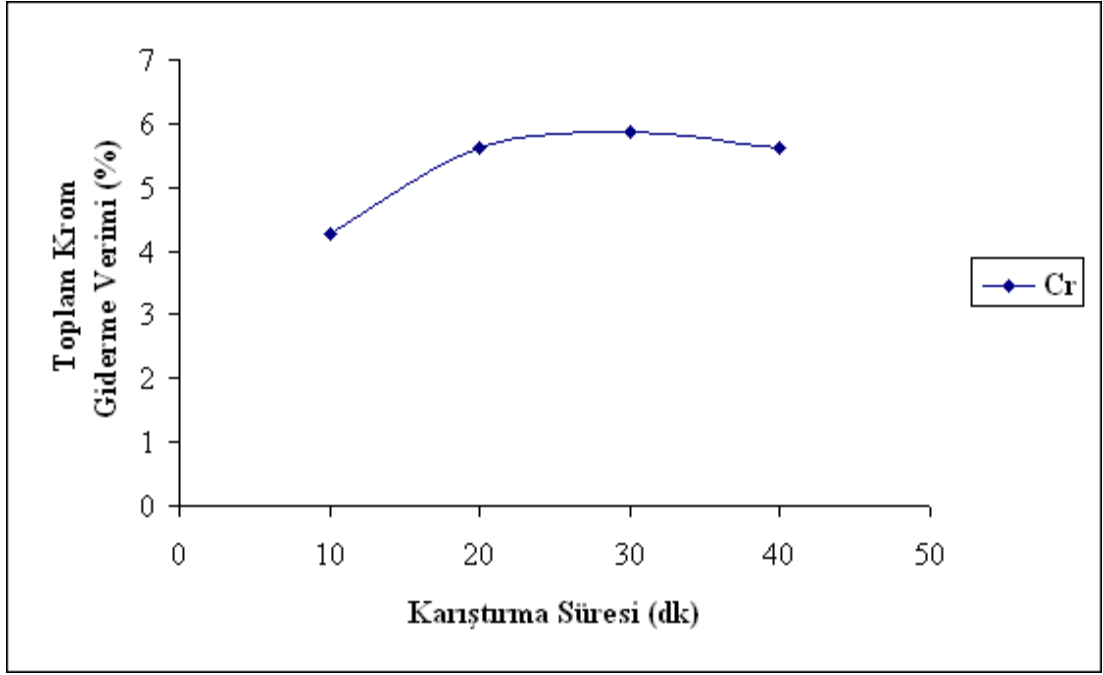
Şekil 6.6. Karıştırma süresinin toplam krom giderim verimine etkisinin tayini ($C_0=444$ mg/l, Adsorbent miktarı=0,5 g/l)



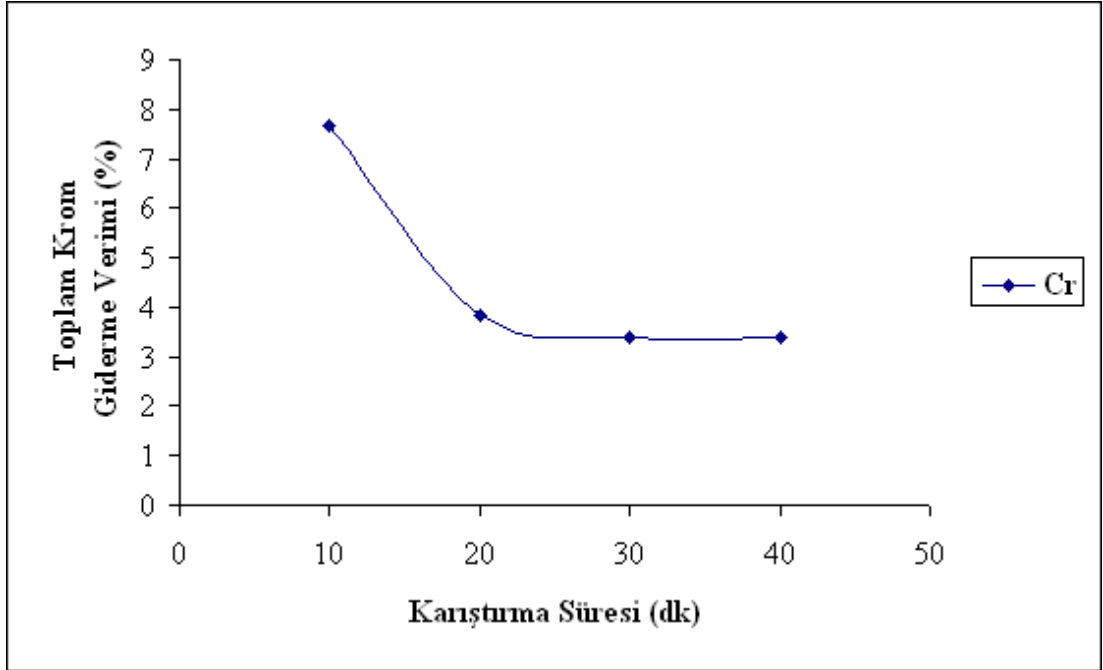
Şekil 6.7. Karıştırma süresinin toplam krom giderim verimine etkisinin tayini ($C_0=444$ mg/l, Adsorbent miktarı=1 g/l)



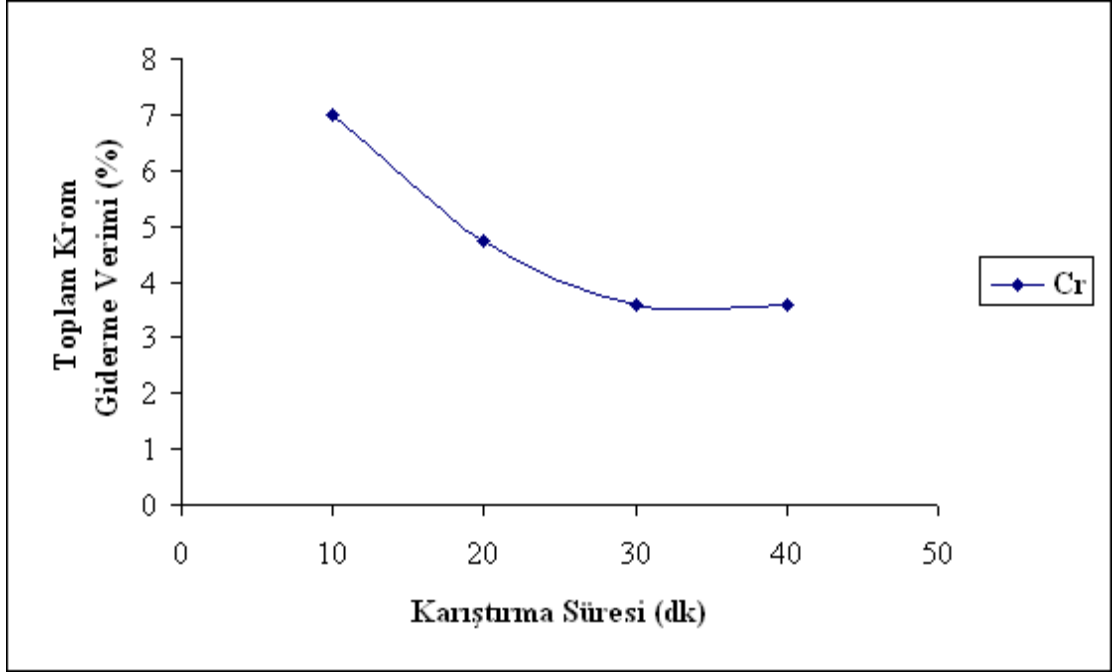
Şekil 6.8. Karıştırma süresinin toplam krom giderim verimine etkisinin tayini ($C_0=444$ mg/l, Adsorbent miktarı=3 g/l)



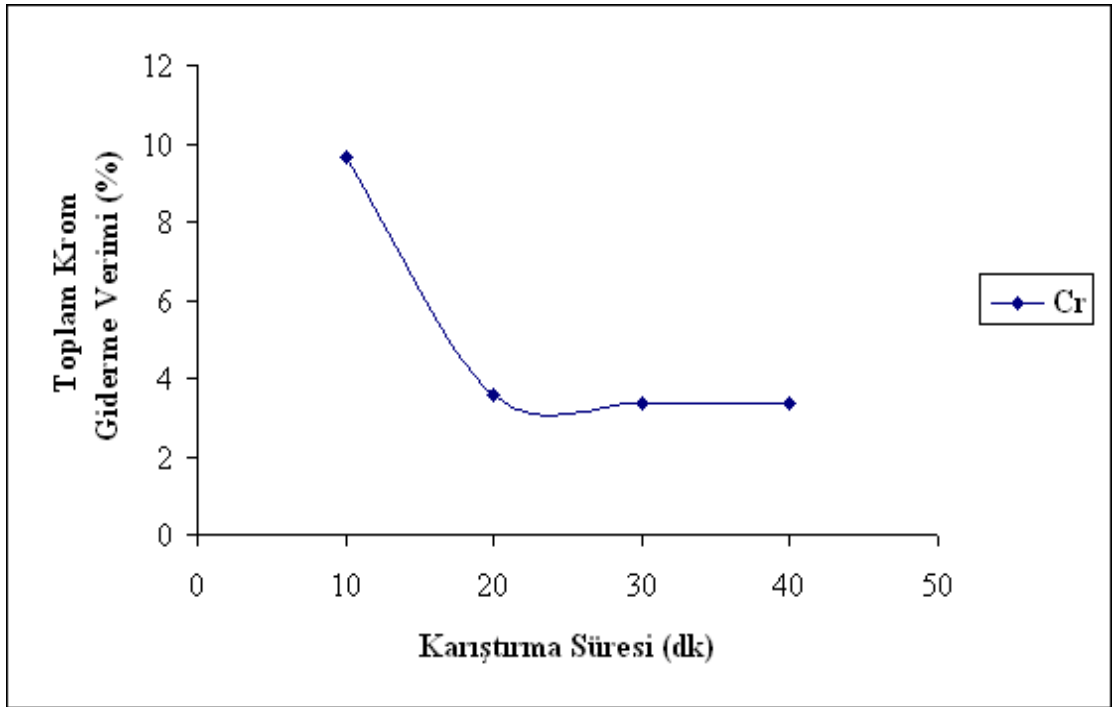
Şekil 6.9. Karıştırma süresinin toplam krom giderim verimine etkisinin tayini ($C_0=444$ mg/l, Adsorbent miktarı=5 g/l)



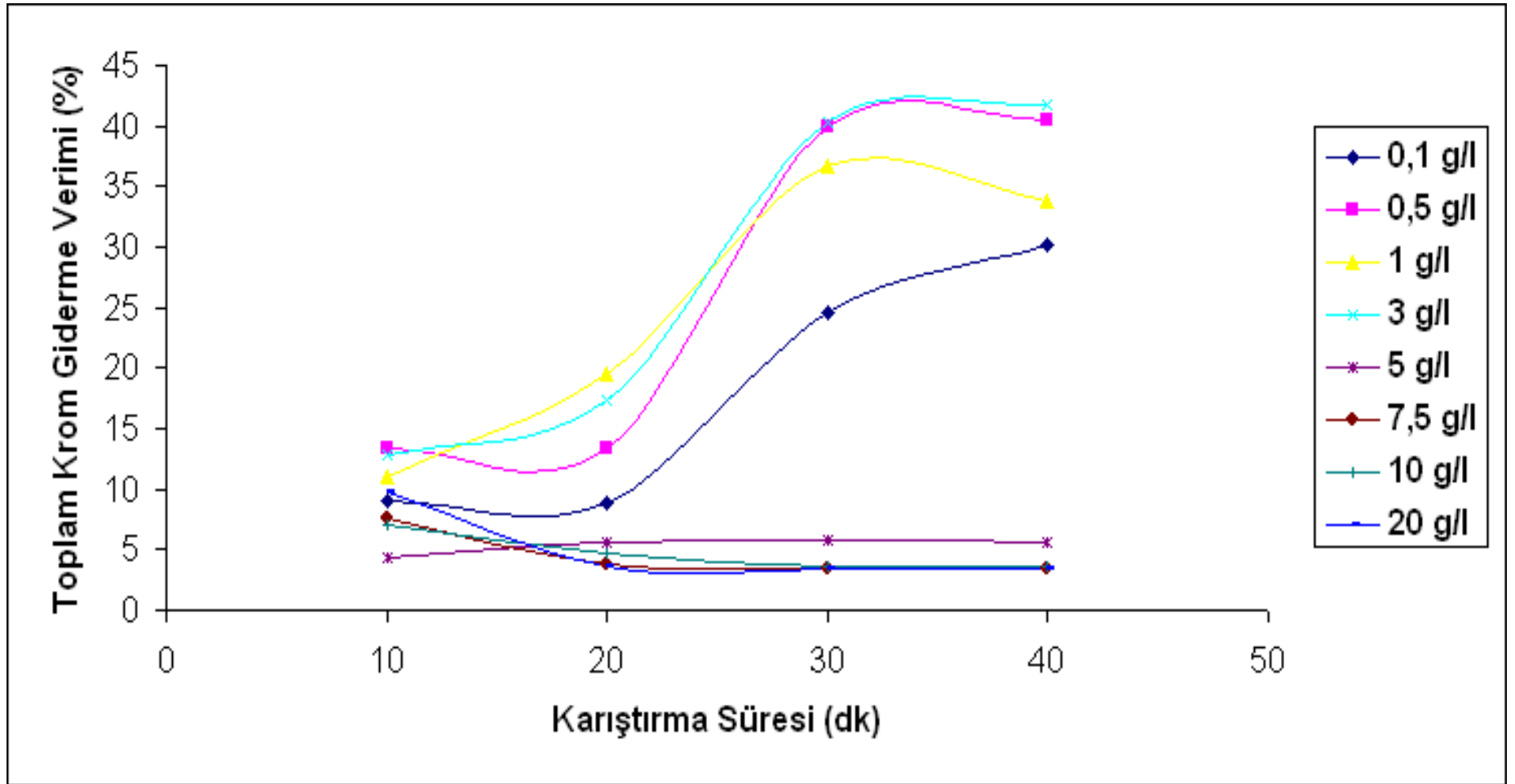
Şekil 6.10. Karıştırma süresinin toplam krom giderim verimine etkisinin tayini ($C_0=444$ mg/l, Adsorbent miktarı=7,5 g/l)



Şekil 6.11. Karıştırma süresinin toplam krom giderim verimine etkisinin tayini ($C_0=444$ mg/l, Adsorbent miktarı=10 g/l)



Şekil 6.12. Karıştırma süresinin toplam krom giderim verimine etkisinin tayini ($C_0=444$ mg/l, Adsorbent miktarı=20 g/l)



Şekil 6.13. Her bir adsorbent miktarında toplam krom giderim veriminin zamana göre değişimi ($C_0=444$ mg/l)

BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde daha çok endüstriyel atıklardan kaynaklanan ağır metal iyonları, toprak, hava ve su için önemli kirleticiler arasındadır. Kirlenen bu sahalar bünyesinde barındırdığı canlı organizmalar için büyük tehlikeler oluşturmaktadır. Kirlenmiş çevreyi temizlemek oldukça pahalı ve kompleks tesisleri gerektiren uzun çalışmalarla mümkündür. Bu nedenle su, toprak ve havanın kirlenmesini önleyici tedbirlerin alınmasına çalışmak daha da önem kazanmaktadır. Toprak ve havada kirlilik yaratan materyallerin zamanla yağmur, kar gibi etkenlerle suya geçmesinden dolayı kirlilikler içinde en önemlisi su kirliliği olarak düşünülebilir. Bu nedenle su kirlenmesinde özellikle endüstriyel atıklardan kaynaklanan ağır metal kirliliğinin dünyaca kabul edilen limite indirmek gerekmektedir.

Perlitin birçok kullanım alanının olduğu, gün geçtikçe de kullanım alanı çeşitliliğinin arttığı ve dünya perlit rezervinin yaklaşık % 70'nin Türkiye'de olduğu göz önüne alındığında, perlitin ülkemiz için önemli bir cevher olduğu anlaşılmaktadır. Perlit, genellikle % 70'den fazla silika içerdiğinden adsorpsiyon özelliği göstermektedir. Çevre kirliliğinin giderek önem kazandığı ülkemizde, atık suların temizlenmesinde ekonomiklik ve etkinlik açısından adsorpsiyon yönteminin kullanılabilirliği ve perlit mineralinin ekonomiye farklı bir yolla kazandırılması düşünülebilir.

Diğer adsorbentlere kıyasla oldukça düşük maliyetle elde edilen perlit minerali kullanılarak, metal kaplama sanayi atık sularındaki toplam kromun giderimi amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır. 30 dakikalık jar test (şekil 6.3) sonuçları incelendiğinde 0,5–1–3 g/l perlit ilavesiyle çözültide kalan toplam krom miktarlarında yaklaşık değerler görülmektedir. Bu sebeple ekonomiklik açısından 0,5 g/l perlit kullanımının daha uygun olduğu düşünülebilir.

Zamana karşı toplam krom giderim verimi grafiklerinden şekil 6.5–6.6–6.7–6.8–6.13 incelendiğinde, karıştırma süresinin artmasıyla birlikte toplam krom giderim veriminin arttığı, 40 dakikada giderim veriminde büyük bir artış olmamakla birlikte dengeye ulaştığı görülmektedir.

Zamana karşı toplam krom giderim verimi grafiklerinden şekil 6.9-6.10-6.11-6.12-6.13 incelendiğinde ise adsorbent miktarının artırılmasının toplam krom giderim verimine etki etmediği görülmektedir. Çözeltiye ilave edilen adsorbent miktarının artırılmasıyla, adsorbent başına düşen krom miktarı azalmakta ve çözeltideki perlit taneciklerinin karıştırma ile birbirleriyle çarpışma oranları artmaktadır. Bu sebeple, karıştırma ile krom - perlit taneciklerinin çarpışma, tutunma oranı azalmakta ve gram perlit başına giderim veriminin azalmasından dolayı toplam krom giderim verimi düşmektedir.

Tablo 6.3'deki veriler doğrultusunda, 30 dakika sonunda 0,5 g/l perlit ilavesi ile % 39,86 , 3 g/l perlit ilavesi ile % 40,32 toplam krom giderim verimi elde edilirken, 40 dakika sonunda 0,5 g/l perlit ilavesi ile % 40,54 , 3 g/l perlit ilavesi ile ise % 41,67 oranında bir giderim verimine ulaşılmıştır.

Sabit 6,84 pH değerinde, oda sıcaklığında ve 90 rpm karıştırıcı hızıyla yapılan jar test deneyi neticesinde 40 dakikada 3 g/l perlit adsorbenti ile elde edilen maksimum toplam krom giderim verimi % 42 olarak bulunmuştur.

Achraf Chakir, Jacques Bessiere, Kacem EL. Kacemi, Bouchaib Marouf tarafından yapılan çalışma neticesinde, perlit ile Cr (III) giderim verimi % 40 olarak bulunmuştur. T. Mathialagan, T. Viraraghavan , sulu çözeltilerden kadmiyum giderimi için perlitin kullanımı üzerine yaptıkları çalışmada maksimum kadmiyum giderim verimi % 55 olarak bulunmuştur. Mahir Alkan, Mehmet Doğan tarafından perlit ile Cu (II) giderimi üzerine çalışma yapılmış ve perlitin ucuz olmasından dolayı bir adsorbent olarak ticari sistemde metal iyonlarının gideriminde önemli bir potansiyele sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada, metal kaplama sanayinden temin edilen numunelerin başlangıç toplam krom konsantrasyonu $C_0=444$ mg/l olarak çok yüksek bir değer olduğu görülmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda, perlit minerali kullanılarak başlangıç krom konsantrasyonu daha düşük olan bir endüstriden temin edilen numunelerdeki krom giderimi araştırılabilir.

Literatür bilgilerinin ışığında ve bu çalışma neticesinde ağır metal gideriminde düşük maliyetli olması ön planda tutularak geleneksel adsorbentlere bir alternatif olarak perlitin kullanılabilceği sonucuna varılır.

KAYNAKLAR

- [1] TOSUN, L. , “Adsorpsiyon Yöntemi ile Sulu Çözeltilerden Pb (II), Zn (II) ve Cr(VI) İyonlarının Uzaklaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 1996
- [2] LİMAN, B. , “Atıksulardan Kaynaklanan Çevre Sorunları”, Kayseri I. Atıksu Sempozyumu, Kayseri, 22–24 Haziran 1998
- [3] HANECIO, L. , “İyon Değiştirici Reçine ile Metal Kaplama Durulama Banyosu Atıksularından Cr(VI) Giderimi”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 2002
- [4] UĞURLU, M. , “Kağıt Endüstrisi Atık Sularından Lignin ve Fenol’ün Perlit Minerali ile Giderimi”, Ekoloji Çevre Dergisi, Cilt:12, Sayı:47, S:11-16, Muğla, Nisan-Mayıs-Haziran 2003
- [5] TÜRKMAN, A. , ASLAN, Ş. , EGE, İ. , “Doğal Zeolitlerle Atıksulardan Kurşun Giderimi”, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt:3, Sayı:2, S:13-19, İzmir, Mayıs 2001
- [6] BEYAZIT, N. , PEKER, İ. , “Atıksularda Ağır Metal Kirliliği ve Giderim Yöntemleri”, Kayseri I. Atıksu Sempozyumu, Kayseri, 22–24 Haziran 1998
- [7] CABBAR, H. , “Atık Sulardaki Nikelin Ponza Taşı ile Adsorpsiyonu”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt:13, No:2, S:517-524, Ankara, Nisan 2000
- [8] MUTLUAY, H. , DEMİRAK, A. , “Su Kimyası”, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1996
- [9] SAMSUNLU, A. , “Çevre Mühendisliği Kimyası”, SAM-ÇEVRE Teknolojileri Merkezi Yayınları, İstanbul, 1999
- [10] ÖĞLENİ, Ö. , “Otomotiv Endüstrisi Atıksularından İyon Değiştirici Reçine Yardımıyla Ağır Metal Gideriminin İncelenmesi”, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Mayıs 2005

- [11] HOWE, R. , “Applied Chemistry for Water Purification and Wastes Treatment”, Çağlayan Scientific Publisher, İstanbul, 1967
- [12] ŞENGÜL, F. , KÜÇÜKGÜL, E. , “Çevre Mühendisliğinde Fiziksel-Kimyasal Temel İşlemler ve Süreçler”, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, 1997
- [13] ŞENGÜL, F. , “Endüstriyel Atıksuların Özellikleri ve Arıtılması”, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, İzmir, 1991
- [14] KUMBASAR, R. , “Atıksulardan Ağır Metallerin Elektrokimyasal Metotla Giderilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Haziran 1997
- [15] ALP, A. , “Elektrolitik Metal Kaplama Ders Notları”, Sakarya Üniversitesi Malzeme ve Metalurji Mühendisliği Bölümü, Sakarya, 2005
- [16] SARAÇ, S. , “Metal Kaplama ve Elektrokimyasal Teknolojiler”, Çağlayan Kitapevi, İstanbul, 1995
- [17] YONAR, İ. “Galvanoteknik”, Milli Eğitim Yayınları, İstanbul, 1979
- [18] YALÇIN, S. , “Metal Kaplama Sanayii Atık Sularının Arıtılması ve Metal Tuzlarının Geri Kazanılması”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1998
- [19] AY, N. , TAŞPINAR, B. , “Duvar Karosu Üretiminde Perlit Kullanımı”, IV. Seramik Kongresi, S:47-52, Eskişehir, Eylül 1998
- [20] <http://www.pertas.net/PERLITMADENI.html>
- [21] TURP, S. , “Perlit Adsorpsiyonu Katkısıyla Sıvı Borlu Sudan Helezon Sistemiyle Bor Arıtımının Teknolojik Araştırması”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Ocak 2004
- [22] YALGIN, S. “İnşaat Sektöründe Genleşmiş Perlit Kullanımı”, Etibank Yayınları, Ankara, Nisan 1983
- [23] YÖRÜKOĞULLARI, E. , “Doğal Zeolitlerde Fiziksel Adsorpsiyon Uygulamaları”, Anadolu Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, Eskişehir, 1997

- [24] ŞENGİL, A. , “Kimyasal Prosesler Ders Notları”, Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Sakarya, 2006
- [25] COONEY, D. , “Adsorption Design for Wastewater Treatment”, Lewis Publishers, United States of America, 1999
- [26] MUSLU, Y. , “Çevre Mühendisliğinde Temel İşlemler ve Temel Prosesler”, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 2002
- [27] <http://www.people.cornell.edu/pages/mec68/files/adsor.pdf>
- [28] <http://yunus.hacettepe.edu.tr/~emrecan/tez/adsorpsiyon.htm>
- [29] MCKAY, G. , “Use of Adsorbents For the Removal of Pollutants From Wastewaters”, CRC Pres, United States of America, 1996
- [30] DOĞAN, M. , “Sulu Ortamda Perlit’in Yüzey Yükünün ve Adsorpsiyon Özelliklerinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Balıkesir, Nisan 2001
- [31] CHAKIR, A. , BESSIERE, J. , KACEMI, K. , MAROUF, B. , “A Comparative Study of the Removal of Trivalent Chromium From Aqueous Solutions by Bentonite and Expanded Perlite”, Elsevier Journal of Hazardous Materials, Morocco, 2002
- [32] ALKAN, M. , DOĞAN, M. , “Adsorption of Copper(II) onto Perlite”, Academic Pres, Journal of Colloid and Interface Science, Balıkesir, 2001
- [33] MATHIALAGAN, T. , VIRARAGHAVAN, T. , “Adsorption of Cadmium From Aqueous Solutions by Perlite”, Elsevier Journal of Hazardous Materials, Canada, 2002
- [34] TURP, S. , ALOSMAN, M. , ATEŞ, A. , “The Refining of Boron From the Waste Boron Compounds with Helezone System”, IWA LET2004 2nd IWA Leading-Edge Conference on Water and Wastewater Treatment Technologies, Prague, Czech Republic, 1-4 June 2004
- [35] DOĞAN, M. , ALKAN, M. , “Removal of Methyl Violet From Aqueous Solution by Perlite”, Elsevier Journal of Colloid and Interface Science, Balıkesir, 2003

- [36] ALKAN, M. , KARADAŞ, M. , DOĞAN, M. , DEMİRBAŞ, Ö. , “Adsorption of CTAB onto Perlite Samples From Aqueous Solutions”, Elsevier Journal of Colloid and Interface Science, Balıkesir, 2005
- [37] KOUMANOVA, B. , PEEVA-ANTOVA, P. , “Adsorption of p-chlorophenol From Aqueous Solutions on Bentonite and Perlite”, Elsevier Journal of Hazardous Materials, Bulgaria, 2002
- [38] DOĞAN, M. , ALKAN, M. and ONGANER, Y. , “Adsorption of Methylene Blue From Aqueous Solution onto Perlite”, Kluwer Academic Publishers, Netherland, 2000
- [39] DOĞAN, M. , ALKAN, M. , TÜRKYILMAZ, A. , ÖZDEMİR, Y. , “Kinetics and Mechanism of Removal of Methylene Blue by Adsorption onto Perlite”, Elsevier Journal of Hazardous Materials, Balıkesir, 2004
- [40] DEMİRBAŞ, O. , ALKAN, M. and DOĞAN, M. , “The Removal of Victoria Blue From Aqueous Solution by Adsorption on a Low-Cost Material”, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 2002
- [41] ALKAN, M. and DOĞAN, M. , “Adsorption Kinetics Of Victoria Blue Onto Perlite”, Fresenius Environmental Bulletin, Volume:12, No:3, Balıkesir, 2003
- [42] GÜNDÜZ, T. , “İnstrümental Analiz”, Gazi Kitapevi, Ankara, 1999

ÖZGEÇMİŞ

Sevgi SÖNMEZ, 1980 yılında Bolu'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Bolu'da tamamladı. 1998 yılında Bolu Yabancı Dil Ağırlıklı Atatürk Lisesi'nden mezun oldu. 2002 yılında Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği bölümünden fakülte ve bölüm birincisi olarak mezun oldu. 2002 yılında Sakarya Üniversitesinde bir yıl İngilizce hazırlık okuyarak 2003 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği bölümünde yüksek lisansa başladı.