

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Atıksu, Bak. ve Kadm. Komp.  
ile Adsorp. Uzaklaş.

Doktora Tezi

Beyza Çomakoğlu

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIKSULARDAN  
BAKIR VE KADMIYUM'UN  
KOMPOST İLE ADSORPLANARAK  
UZAKLAŞTIRILMASI**

**Çevre Yük. Müh. Beyza ÇOMAKOĞLU**

F.B.E. Çevre Mühendisliği

Ana Bilim Dalında hazırlanan

DOKTORA TEZİ

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Süheyla UZMAN**

İSTANBUL 1995

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
KÜTÜPHANE DOKÜMANTASYON  
DAİRE BAŞKANLIĞI

Kot : R 369  
10

Alındığı Yer : F.B. Enstitüsü

Tarih : 19.9.1996

Fatura : .....

Fiyatı : 125. Bin .....

Ayniyat No : 1/7 .....

Kayıt No : 52466 .....

UDC : .....

Ek : .....

Y. T. Ü.  
KÜTÜPHANE DOK. DAİ. BAŞKA

Y. T. Ü.  
KÜTÜPHANE DOK. DAİ. BAŞKANLIĞI

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



111,132

**ATIKSULARDAN  
BAKIR VE KADMIYUM'UN  
KOMPOST İLE ADSORPLANARAK  
UZAKLAŞTIRILMASI**

**Y.T.U.**  
**KÜTÜPHANE DOK. DAL. BAŞKANLIĞI**

**Çevre Yük. Müh. Beyza ÇOMAKOĞLU**  
F.B.E. Çevre Mühendisliği  
Ana Bilim Dalında hazırlanan  
DOKTORA TEZİ

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Süheyla UZMAN**



İSTANBUL 1995

**İÇİNDEKİLER**

ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	v
KISALTMALAR ve SEMBOLLER LİSTESİ	iv
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	ii
SUMMARY	i
1. GİRİŞ	1
2. AĞIR METALLER VE KOMPOST	3
2.1. Ağır Metaller	3
2.1.1. Tanımı	3
2.1.2. Kirletici Kaynaklar	4
2.1.3. Ağır Metallerin Deşarj Kriterleri	9
2.1.4. Ağır Metallerin Çevreye ve İnsan Sağlığına Etkileri	11
2.1.4.1. Civa ve Bileşikleri	11
2.1.4.2. Kadmiyum ve Bileşikleri	12
2.1.4.3. Arsenik ve Bileşikleri	12
2.1.4.4. Berilyum ve Bileşikleri	13
2.1.4.5. Kurşun ve Bileşikleri	13
2.1.4.6. Nikel ve Bileşikleri	13
2.1.4.7. Gümüş ve Bileşikleri	14
2.1.4.8. Kalay ve Bileşikleri	14
2.1.4.9. Vanadyum ve Bileşikleri	14
2.1.4.10. Çinko ve Bileşikleri	14
2.1.4.11. Bakır ve Bileşikler	14
2.1.5. Ağır Metallerin Arıtım Teknikleri	15
2.1.5.1. Kimyasal Çöktürme	15
2.1.5.2. İyon Değişirme	16
2.1.5.3. Ultrafiltrasyon ve Ters Osmos	17

2.1.5.4. Elektrodializ	18
2.1.5.5. Adsorpsiyon	19
2.1.5.5.1. Adsorpsiyonun Nedenleri	22
2.1.5.5.2. İzotermeler	26
2.1.5.5.3. Adsorpsiyon Sistemleri ve Sistem Tasarımı	30
2.1.5.5.4. Ağır Metallerin Adsorpsiyonla Arıtımı	39
2.2. Kompost Üretimi, Özellikleri, Arıtmada Kullanımı	40
2.2.1. Kompostlama	41
2.2.2. Arıtmada Kompost Kullanımı	42
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	43
3.1. Deneyleerde Kullanılan Adsorbant'ın Özellikleri	44
3.2. Deney Sistemleri	46
3.2.1. Kesikli (Süreksiz) Sistem	46
3.2.2. Sürekli Sistem	52
4. DENEY BULGULARI	57
4.1. Kesikli Sistemde Deneysel Çalışmalar	57
4.1.1. Cd Adsorpsiyonu	57
4.1.1.1. Kesikli Sistemde Kompost Miktarının Cd Adsorplama Randımanına Etkisi	57
4.1.1.2. Kesikli Sistemde Cd Konsantrasyonunun Adsorplama Randımanına Etkisi	61
4.1.1.3. Kesikli Sistemde Cd ile temas Eden Kompostun Doygunluk Değeri	62
4.1.2. Cu Adsorpsiyonu	64
4.1.2.1. Kesikli Sistemde Kompost Miktarının Cu Adsorplama Randımanına Etkisi	64
4.1.2.2. Kesikli Sistemde Cu Konsantrasyonunun Adsorplama Randımanına Etkisi	66
4.1.2.3. Kesikli Sistemde Cu ile temas eden Kompost'un Doygunluk Değeri	66
4.1.3. Kesikli Sistemde Cd ve Cu'ın Birlikte Adsorpsiyonu	69
4.1.4. Kompost'un Elektronmikroskop ile Analizi	73

4.2. Sürekli Sistem	82
4.2.1. Sürekli Sistemde Cd Adsorpsiyonu	82
4.2.2. Sürekli Sistemde Cu Adsorpsiyonu	84
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	86
5.1. Sonuçlar	86
5.2. Öneriler	94
KAYNAKLAR	95
EKLER	101
ÖZGEÇMİŞ	130
Şekil 2-1	17
Şekil 2-2	18
Şekil 2-3	20
Şekil 2-4	23
Şekil 2-5	24
Şekil 2-6	27
Şekil 2-7	28
Şekil 2-8	33
Şekil 3-1	34
Şekil 3-2	37
Şekil 3-3	40
Şekil 3-4	51
Şekil 3-5	53
Şekil 3-6	54
Şekil 3-7	55
Şekil 3-8	56
Şekil 4-1 (a ve b)	59
Şekil 4-2 (a ve b)	60

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2 - 1	: Adsorpsiyon - Absorpsiyon eğrileri	20
Şekil 2 - 2	: Kohezyon - Adhezyon Kuvvetlerinin kesişim yüzeyindeki etkileri	21
Şekil 2 - 3	: Langmuir ve BET İzoterm modellerinin grafiklerle kıyaslanması	27
Şekil 2 - 4	: Adsorpsiyon izotermelerinin grafiksel görünümü	30
Şekil 2 - 5	: Aşağı akışlı sabit yataklı reaktörlerde adsorpsiyon zonu hareketi	32
Şekil 2 - 6	: Adsorpsiyon sistemi izoterm eğrisi	37
Şekil 2 - 7	: $\int_{C_k}^c (C-C_e) dC$ değerinin grafiksel integrasyonu	38
Şekil 2 - 8	: Adsorpsiyon zonu sabiti $f$ 'in bulunuşu	38
Şekil 3 - 1	: Kompost yüzeyinin elektronmikroskop fotoğrafı	46
Şekil 3 - 2	: Elektronmikroskopta büyütülmüş yüzeyin elemental analizi	47
Şekil 3 - 3	: Kesikli sistemin şematik görünümü	49
Şekil 3 - 4	: Kesikli sistem çalışma düzeneği	51
Şekil 3 - 5	: Sürekli sistem şeması	53
Şekil 3 - 6	: Reaktör detayı	54
Şekil 3 - 7	: Sürekli sistem çalışma düzeneği	56
Şekil 4 - 1 (a ve b)	: 5 ppm Cd'un farklı miktarlarda kompost ile adsorpsiyonu süresince çözelti içinde kalan Cd konsantrasyonu	59
Şekil 4 - 2 (a ve b)	: Farklı miktarlarda kompost üzerinde biriken Cd miktarı	60



Şekil 4 - 3	: 5 ppm - 10 ppm Cd'un litrede 50 ml ( $18 \pm 0.5$ g) kompost ile adsorpsiyonu	61
Şekil 4 - 4	: Cd ile temas eden kompost'un doygunluk eğrisi	62
Şekil 4 - 5	: Farklı miktarlarda kompost'un Cd ile ardışık beslenmesi	63
Şekil 4 - 6	: Ardışık beslenen adsorbant üzerinde biriken Cd miktarı	63
Şekil 4 - 7	: 10 ppm Cu'ın farklı miktarlarda kompost ile adsorpsiyonu	65
Şekil 4 - 8	: 5 ppm Cu'ın farklı miktarlarda kompost ile adsorpsiyonu	65
Şekil 4 - 9	: Farklı konsantrasyonlarda Cu çözeltisinin litrede 50 ml (18.30 g) kompost ile adsorpsiyonu	67
Şekil 4 - 10	: Farklı konsantrasyonlarda Cu 'ın litrede 125 ml (41.90 g) kompost ile adsorpsiyonu	67
Şekil 4 - 11	: Kesikli sistemin Cu ile ardışık beslenmesi	68
Şekil 4 -12	: Kompost üzerinde biriken Cu miktarı	68
Şekil 4 - 13	: 5 ppm Cu- 5 ppm Cd'lu çözeltinin kompost ile adsorpsiyonu (Ardışık besleme)	70
Şekil 4 - 14	: Kompost üzerinde biriken Cu-Cd miktarları	70
Şekil 4 - 15	: 5 ppm Cu-5 ppm Cd karışımı çözelti ile 5 ppm Cd'lu çözeltinin karşılaştırılması (Ardışık besleme)	71
Şekil 4 - 16	: 5 ppm Cu-5 ppm Cd karışımı ile, 5 ppm Cd çözeltisi ile ardışık olarak beslenen iki sette kompost üzerinde biriken Cd miktarı	71

Şekil 4 - 17 : Cu-Cd karışımı çözelti ile Cu'lu çözeltinin karşılaştırılması	72
Şekil 4 - 18 : Karşılaştırılmalı iki sette kompost üzerinde biriken Cu miktarı	72
Şekil 4 - 19 : 250 ppm Cd çözeltisi ile temas eden kompost'un elektronmikroskop'ta elemental analizi	74
Şekil 4 - 20 : Kompost yüzeyinde tutunmuş Cd'un elektronmikroskop görüntüsü	76
Şekil 4 - 21 : a) Tablo 5-19' daki b) Tablo 5-20' deki kompost örneklerinin elektronmikroskop görüntüsü (250 ppm Cu)	79
Şekil 4 - 22 : Tablo 5-19 ve Şekil 5-21 a'da elemental analiz sonuçları verilen kompost'un yüzeyinde tutunmuş Cu'nun elektronmikroskop görüntüsü	80
Şekil 4 - 23 : Tablo 5-20 ve Şekil 5-21 b'de elemental analiz sonuçları verilen kompost'un yüzeyinde tutunmuş Cu'nun elektronmikroskop görüntüsü	81
Şekil 4 - 24 : Farklı debilerde reaktöre verilen 5 ppm Cd çözeltisinin adsorpsiyonu	83
Şekil 4 - 25 : 20 ppm Cd çözeltisinin sürekli sistemde adsorpsiyonu	83
Şekil 4 - 26 : Farklı debilerde reaktöre verilen 5 ppm Cu çözeltisinin adsorpsiyonu	84
Şekil 4 - 27 : 20 ppm Cu çözeltisinin sürekli sistemde adsorpsiyonu	85
Şekil 5 - 1 : 5 ppm Cu ve 5 ppm Cd'un % 90 adsorplanıma randımanı - süre Grafiği	88
Şekil 5 - 2 : Cd - Freundlich İzotermi	91

Şekil 5 - 3 : Cu - Freundlich İzotermi	91
Şekil 5 - 4 : Cd - Langmuir İzotermi	92
Şekil 5 - 5 : Cu - Langmuir İzotermi	92
Şekil 5 - 6 : Sürekli sistemde kararlı halde Cd konsantrasyonu-debi ilişkisi	93
Şekil 5 - 7 : Sürekli sistemde kararlı halde Cu konsantrasyonu-debi ilişkisi	93

Tablo 2-3 : Ağır Metallerin Değer Limitleri	10
---	----

Tablo 2-4 : WHO'ya Göre Standartları	10
--------------------------------------	----

Tablo 2-5 : Ağır Metallerin Adsorpsiyon Dışında Arıtma Yöntemleri ve Rendimantları	19
--	----

Tablo 2-6 : Değerlendirilebilir Kullanılan Kompostun Özellikleri	45
--	----

Tablo 2-7 : Kompostun Mikroskopik Elementleri ve Özellikleri	48
--	----

Tablo 2-8 : Akışlı Sistemde Çözelti Debi-Kompost Miktarı ve Kompost Yatak Yüksekliği Arasındaki İlişki	55
--	----

Tablo 2-9 : Akışlı Sistemde 5 ppm Cd Adsorpsiyonu	Ek-1 102
---	----------

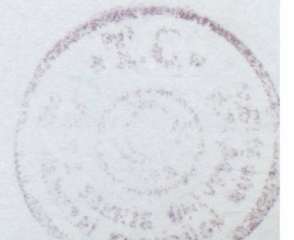
Tablo 2-10 : Akışlı Sistemde 5 ppm Cu Adsorpsiyonu	Ek-1 103
--	----------

Tablo 2-11 : Akışlı Sistemde 5 ppm Cu Adsorpsiyonu	Ek-1 104
--	----------

Tablo 2-12 : Akışlı Sistemde Adsorbanın Farklı Konsantrasyonlarındaki Cd ile Teması	Ek-1 105
---	----------

## TABLO LİSTESİ

Tablo 2-1	: Ergani Bakır İşletmesi Curuflarının İçindeki Ağır Metal Miktarı ve Bu Metallerin Maden Çayı'nda Belirlenen Konsantrasyonları	6
Tablo 2-2	: Tipik Metal Kaplama endüstrisi Atıksu Kirlilik Parametreleri	6
Tablo 2-3	: Ağır Metallerin Deşarj Limitleri	10
Tablo 2-4	: WHO - İçmesuyu Standartları	10
Tablo 2-5	: Ağır Metallerin Adsorpsiyon Dışında Arıtılma Yöntemleri ve Randımanları	19
Tablo 3-1	: Denemelerde Kullanılan Kompost'un Özellikleri	45
Tablo 3-2	: Kompost'un elektronmikroskop Elemental Analiz Sonuçları	48
Tablo 3-3	: Sürekli Sistemde Çözelti Debisi-Kompost Miktarı ve Kompost Yatak Yüksekliği Arasındaki İlişki	55
Tablo 4-1	: Adsorbant Miktarının 5 ppm Cd Adsorpsiyonuna Etkisi	Ek-1 102
Tablo 4-2	: Farklı Miktarlarda Kompost'un 5 ppm Cd Adsorpsiyonu	Ek-1 103
Tablo 4-3	: 18,30 g Kompost'un Farklı Konsantrasyonlardaki Cd'u Adsorpsiyonu	Ek-1 104
Tablo 4-4	: Ardışık Sistemde Adsorbantın Farklı Konsantrasyonlarda Cd ile Teması	Ek-1 105



Tablo 4-5	: Ardışık Beslenen Kesikli Sistemde Kompost'un 5 ppm Cd için Doygunluk Randımanı	Ek-1 106
Tablo 4-6	: Farklı Miktarlarda Kompost'un 10ppm Cu'ı Adsorpsiyonu	Ek-1 110
Tablo 4-7	: 5 ppm Cu'ın Farklı Miktarlarda Kompost ile Adsorpsiyonu	Ek-1 111
Tablo 4-8	: Farklı Miktarlarda Kompost'un 5 ppm Cu'ı Adsorplama Randımanı	Ek-1 112
Tablo 4-9	: Değişik Konsantrasyonlardaki Cu'ın Adsorpsiyonu	Ek-1 113
Tablo 4-10	: Farklı Konsantrasyondaki Cu'ın 18,30 g. Kompost'la Adsorpsiyonu	Ek-1 114
Tablo 4-11	: Ardışık Beslemeli Kesikli Sistemde Kompost'un Cu'ı Adsorplama randımanı	Ek-1 115
Tablo 4-12	: Cu-Cd Çözeltisinden Cu ve Cd'un Adsorpsiyonu	Ek-1 117
Tablo 4-13	: Cu-Cd Karışımında Cu ve Cd'un Adsorpsiyonu	Ek-1 118
Tablo 4-14	: Cu-Cd'un Birlikte Adsorpsiyonu ile Sadece Cd'un Adsorpsiyonunun Kıyaslanması	Ek-1 119
Tablo 4-15	: Cu-Cd'un Adsorpsiyonu ile Cd Adsorpsiyonunun Kıyaslanması	Ek-1 120
Tablo 4-16	: Cu-Cd Karışımının Adsorpsiyonu ile Cu Adsorpsiyonunun Kıyaslanması	Ek-1 121
Tablo 4-17	: Cu-Cd Karışımının Adsorpsiyonu ile Cu Adsorpsiyonunun Kıyaslanması	Ek-1 122
Tablo 4-18	: 250 ppm Cd Çözeltisi ile Temas Eden Kompost'un Elektronmikroskopta Elemental Analizi	75

## KISALTMALAR VE SEMBOLLER LİSTESİ

Tablo 4-19	: 250 ppm Cu Çözeltisi ile Temas Eden Kompost'un Elektronmikroskopta Elemental Analizi	77
Tablo 4-20	: 250 ppm Cu Çözeltisi ile Temas Eden Kompost'un Elektronmikroskopta Elemental Analizi	78
Tablo 4-21	: Farklı Debilerde Reaktöre Verilen 5 ppm Cd Çözeltisinin Adsorpsiyonu	Ek-2 125
Tablo 4-22	: 20 ppm Cd Çözeltisinin Sürekli Sistemde Adsorpsiyonu	Ek-2 126
Tablo 4-23	: Farklı Debilerde Reaktöre Verilen 5 ppm Cu Çözeltisinin Adsorpsiyonu	Ek-2 127
Tablo 4-24	: 20 ppm Cu Çözeltisinin Sürekli Sistemde Adsorpsiyonu	Ek-2 128
Tablo 5-1	: Kompost'un 240 dak. Temas Süresinde Cu ve Cd'u Adsorplama randımanı ve Deşarj edilebilecekleri Ortamlar	Ek-1 123
Tablo 5-2	: Kompost'un Cd Adsorpsiyon İzoterm Değerleri	Ek-1 124
Tablo 5-3	: Kompost'un Cu Adsorpsiyon İzoterm Değerleri	Ek-1 124
Tablo 5-4	: Sürekli Sistemde Kararlı Haldeki Cd, Cu Konsantrasyonu-Debi İlişkisi	Ek-2 129

## KISALTMALAR ve SEMBOLLER LİSTESİ

A.A.S.	: Atomic Absorption Spectrophotometer
A.E.T.	: Avrupa Ekonomi Topluluğu
B.E.T.	: Brauner, Emmet, Teller İzotermi
Conf.	: Conference
Eng.	: Engineering
Env.	: Environmental
EPA	: Environmental Protection Agency
G.A.C.	: Taneli Aktif Karbon
Int	: International
İ.S.K.İ.	: İstanbul Su Kanalizasyon İşleri
Jour.	: Journal
P.A.C.	: Toz Aktif Karbon
$x/m$ ( $q_e$ )	: Birim miktarda adsorbant üzerine biriken madde miktarı
$C_e$ (C)	: Adsorpsiyon sonrası çözeltide kalan adsorbat konsantrasyonu
$K_f$	: Ampirik Sabit (Freundlich izotermi)
$n$	: Ampirik Sabit (Freundlich izotermi)
$a$	: Ampirik sabit (Langmuir izotermi)
$b$	: Ampirik sabit (Langmuir izotermi)

$V_k$	: Kritik noktaya ulaşıncaya kadar reaktörden geçen geçen sıvı hacmi
$Q$	: Debi
$\delta_s$	: Akışkanın yoğunluğu
$A$	: Reaktör kesit alanı
$F_m$	: Akışkanın kütlesi
$H$	: Toplam adsorbant yatak yüksekliği
$t_f$	: Zon oluşum süresi
$U_s$	: Adsorpsiyon zonunun hareket hızı.
$f$	: Adsorpsiyon zonunun kapasite sabiti
$\delta$	: Adsorpsiyon zonu yüksekliği
$t_s$	: Adsorpsiyon zonu içinden geçiş süresi
$t_x$	: Adsorpsiyon eğrisinin maksimum değerine ulaşıncaya kadar geçen süre
$x_x$	: Adsorpsiyon eğrisinde kırılma noktası ile maksimum değer arasında zonda biriken madde miktarı
$x_t$	: Adsorbant tarafından adsorplanabilecek maksimum madde miktarı
$x$	: Adsorbantın adsorplayabileceği madde miktarı
$S$	: Toplam adsorpsiyon kapasitesi



- $\delta p$  : Adsorbantın yoğunluğu
- $d_y$  : Adsorbantın differansiyel yatak yüksekliği
- $k$  : Kütle transfer sabiti
- $a$  : Adsorbantın birim hacimdeki yüzey alanı

Bu nedenle kendinizi teminatsız ve öğrencisi olmaması dezavantaj için bir şans elde etmiş varsayarak başta çok değerli danışmanım Sn. Prof. Dr. Süleyman Haktanır ve değerli hocam Sn. Prof. Dr. Kamil Çarık olmak üzere bu çalışmaya katkıları ve desteği geçen herkese teşekkür ederim.

Saygılarımla,

Boşali Uzun (BOŞALI) ÖZÜ

## TEŞEKKÜR

Bu araştırma; bilgi, görüş ve tecrübeleriyle araştırmayı yönlendiren her konuda destekleyen ve sonuçlanmasını sağlayan danışmanım, Sn. Prof. Dr. Süheyla Uzman'ın, araştırma süresince zamanını bilgisini esirgemeyen Sn. Prof. Dr. Kriton Curi'nin, TÜbitak'ta yapılan elemental analizler için gereken izni ve yardımları sağlayan Sn. Prof. Dr. Ekrem EKİNCİ'nin, Stuttgart Max Planck Araştırma Enstitüsünde elektromikroskop analizlerinin yapılmasında yardımcı olan Sn. Prof. Dr. Şadi Karagöz'ün, İTÜ SEM laboratuvarının kullanılması için gereken izni vererek çalışmayı destekleyen Sn. Prof. Dr. Erman Tulgar ve Sn. Prof. Dr. Emel Geçkinli'nin, analizlerin yapılmasında ve numunelerin görüntülenmesinde özverili çabalarıyla elektronmikroskop teknisyeni Sn. Hüseyin Sezer'in, deneysel çalışmalarındaki destekleri ile İSKİ Feriköy Atıksu Ruhsat Denetim Dairesi eski başkanı Sn. Dr. Oktar Timur'un, eski başkan merhum Sn. Volkan Özsoy'un, özverili katkıları ve yardımları ile Laboratuvar şefi Sn. Kimya Y.Müh. Hale Uğurcu'nun, Kimya Y.Müh. Nilgün Kandemir'in ve tüm laboratuvar çalışanlarının, sabrını zorlayarak tezin yazılmasını gerçekleştiren sevgili Mirace Tarıcan'ın, manevi desteklerinden dolayı eşim, oğlum, annem, babam ve kardeşlerimin, ortak desteklerinin sonucudur.

Bu nedenle kendisini tanımamın ve öğrencisi olmamın benim için bir şans olduğunu vurgulayarak başta çok değerli danışmanım Sn. Prof. Dr. Süheyla Uzman ve değerli hocam Sn. Prof. Dr. Kriton Curi olmak üzere, bu çalışmaya katkıları ve emeği geçen herkese teşekkürü bir borç biliyorum.

Saygılarımla,

Beyza Üstün ÇOMAKOĞLU

## ATIKSULARDAN BAKIR ve KADMİYUM'UN KOMPOST İLE ADSORPLANARAK UZAKLAŞTIRILMASI

### ANAHTAR KELİMELER :

Adsorpsiyon, Ağır Metaller, Bakır, Kadmiyum, Kompost

### ÖZET

Endüstriyel atıksularda sıkça rastlanan, arıtılmadan deşarj edildiklerinde girdikleri doğal ortama ciddi zararlar veren, besin zinciri yoluyla bitki, hayvan ve insanlara geçerek bünyelerinde biriken ve karsinogen etki yaratan ağır metaller; son yüzyılın, arıtılmaları zorunlu, deşarjları yasak maddeleri arasında yer almıştır.

Ağır metallerin konvansiyonel yöntemlerle arıtılmaları zor ve arıtım maliyetleri yüksektir. Konvansiyonel arıtım ünitesine verildiklerinde sisteme ilave yük getirirler, hatta verildikleri sistem biyolojik arıtım ünitesi ise mikroorganizmalar üzerinde zehirli etki yaparak sistemi devre dışı bırakırlar. Bu nedenle son yıllarda ağır metallerin kaynağında arıtımı önerilmektedir.

Ağır metallerin kaynağında arıtılmaları kolaydır. Böylece arıtım ünitesine verecekleri zarar da önlenmiş olur. Kaynağında arıtıldıklarında işletme ve yatırım maliyeti düşeceğinden son derece ekonomiktir. Arıtım teknikleri arasında adsorpsiyon yöntemi; kaynakta arıtım amacıyla kullanılması, kolay uygulanabilmesi, ekonomik olması, işletme kolaylığı gibi nedenlerden dolayı tercih edilmektedir.

Araştırmacılar özellikle son 10 yılda değişik pekçok adsorbant deneyerek ağır metal adsorpsiyonunda randımanlı, ekonomik sonuçlar elde etmişlerdir.

Bu araştırmada, zehirliliği nedeniyle EPA, Birleşmiş Milletler Koruma Teşkilatı gibi kuruluşlarca öncelikli kirleticiler sınıfına alınan, biyolojik yapıda birikebilirliği, canlı bünyesinde ciddi hasarlar yaratması, ayrıca endüstriyel atıksularda sıkça rastlanması gibi özelliklerinden dolayı Kadmiyum ve Bakır adsorbat olarak seçildi.

Her iki ağır metalin adsorpsiyonu için İzmir Kompost Tesislerinden getirilen Kompost adsorbant olarak kullanıldı.

Sürekli ve kesikli, iki tip reaktör kullanılarak Bakır ve Kadmiyum'un Kompost ile adsorpsiyonu araştırıldı. Böylece adsorbant olarak kullanımı ile kimyasal madde sarfiyatını ortadan kaldıran, ekonomik, kolay ve istenildiği kadar bulunabilen kompostun kullanım alanlarına bir yenisi daha eklenmiş oldu.

Bu çalışmada Kompost'un her iki ağır metali adsorblama randımanı, bu randımanı etkileyen parametreler araştırıldı.

# Adsorption Of Copper And Cadmium from Wastewater Using Compost

## Key Words

Adsorption, Compost Heavy Metals, Copper(Cu), Cadmium (Cd).

## Summary

Heavy metals which enter the environment by effluents of various industries cause serious effects on it. The fact that they have carcinogenic effects on humankind, as well as plant and animal life, makes the removal of heavy metals from the environment a very important issue.

Recently, economical reasons have motivated the researchers to try to control heavy metals at the source of pollution. More emphasis has been put on adsorption within the last ten years, because unlike the conventional treatment facilities, and in particular biological systems, it is not hindered at the presence of heavy metals and has economical advantage over those methods .

The purpose of this study is to investigate the removal of copper and cadmium by adsorption. It was observed that compost, produced at the Harmandalı Compost Plant of İzmir, was an effective and economical medium as adsorbant. Cd and Cu were chosen as adsorbates because of their more frequent appearance in industrial effluents compared to other heavy metals, as indicated in the priority pollution list of EPA.

As a result of the experiments carried out in batch and in continuous systems, compost has proved to be an effective and economical adsorbant for the removal of Cd and Cu from synthetic wastewaters.

## 1. GİRİŞ

Atıksuların arıtımında adsorpsiyon yönteminin kullanılması 18. yüzyıl 1. yarısına kadar gerilere giderken bu teknikle ağır metallerin arıtımı son yüzyılın uygulamasıdır (Weber, 1972). Reed (Reed E.B. *et al* 1993) gibi araştırmacılar adsorpsiyonu taneli aktif karbon (G.A.C.) ile gerçekleştirilirken, Das N.C. (1993) Vermialite' in, Hoins U. (1993) Goethite' in, Banerjee (Banerjee K. *et al*, 1992) uçucu küllerin, Cowan (Cowan C.E. *et al* 1991), endüstrilerden atık olarak açığa çıkan  $Fe_2O_3$ 'in ağır metalleri adsorpladığını tesbit etmişlerdir.

Araştırmacıların bir kısmı çalışmalarını kesikli (süreksiz) sistemde diğerleri ise sürekli sistemde gerçekleştirmişlerdir. Matsumato (1989) ise biyolojik arıtım ünitesine ilave ettiği toz aktif karbon (P.A.C.) ile ortamdaki ağır metallerin mikroorganizmalar üzerindeki zehirliliğini azaltmayı başarmıştır.

Bu çalışmada; teknik açıdan kolay uygulanabilir olması, ekonomik olması, kaliteli çıkış suyu sağlaması nedenleriyle ağır metal arıtılmasında adsorpsiyon tekniği denendi ve ilk kez Kompost adsorbant olarak ağır metallerin arıtılmasında uygulandı. Ağır metal olarak endüstri atıksularında en çok rastlanan metallere Kadmiyum (Cd) ve Bakır (Cu) ile çalışıldı. Çözünürlüğü fazla olan Cd ile daha az olan Cu 'ın (Perry, 1988) ayrı ayrı ve birlikte davranışları izlendi ve kıyaslandı. Denemelerde sürekli ve kesikli (süreksiz) sistemlerin her ikisi de kullanıldı. Kesikli sistemde kompostun ağır metali adsorplama randımanı ve ağır metal cinsinin adsorpsiyona etkisi araştırılırken sürekli sistemde atıksu debisinin ve ağır metal konsantrasyonunun adsorpsiyona etkisi gözlemlendi.

Bu araştırmada ağır metal içeren endüstriyel atıksuların adsorpsiyon yöntemi ile kaynağında arıtılması hedeflendi. Toprak iyileştirici ve dolgu malzemesi olarak kullanımını dışında henüz yaygın kullanım alanı olmayan kompostun adsorbant olarak önerilip önerilmeyeceği araştırıldı.

Bu çalışmada, Alüminyum şekillendirme, metal son işlemler, demir dışı metal üretimi, emaye son işlemler, pil ve akü endüstrileri gibi endüstrilerin atıksularının kapsamlarındaki 10 ppm'e kadar Cu ve Cd'un kompost ile kaynağında adsorplanabileceği sonucuna varıldı. Adsorpsiyon sonrası arıtılmış atıksuyun Cu ve Cd konsantrasyonuna bağlı olarak alıcı ortam veya kanal kriterlerine düşürüldüğü tesbit edildi.

Araştırmanın sonucunda kompost'un arıtım teknolojisinde ağır metal adsorpsiyonuna uygun bir adsorbant olduğu belirlendi.

1. Kadmim (Cd)
2. Bismut (Bi)
3. Nikel (Ni)
4. Krom (Cr)
5. Kalsiyum (Ca)
6. Vanadyum (V)
7. Mangan (Mn)
8. Çinko (Zn)
9. Selen (Se)

## 2. AĞIR METALLER ve KOMPOST

### 2.1. AĞIR METALLER

#### 2.1.1. Tanımı

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde (1988), düzensiz şehirleşme, kontrolsüz nüfus artışı ve endüstrinin plansız gelişmesi sonucunda açığa çıkan ve kirliliğe neden olan maddelere atık denir ve fiziksel, kimyasal, bakteriyolojik özellikleri olan, girdikleri ortamın özelliklerini bozarak değişime uğratan katı, sıvı, gaz halindeki maddeler olarak tanımlanır. Sınıflandırılmaları ne olursa olsun, aralarında solunum, sindirim veya deri absorpsiyonu ile canlı bünyesine giren ve dışarı atılmayarak girdiği ortamda birikerek uzun sürede kronik toksisite ve karsinojen etki gösteren, biyolojik arıtmaya karşı dirençli olan, yeraltı ve yüzeysel suları kirletmemeleri için kesin önlem alınması gereken atıklar ise “tehlikeli ve zararlı atıklar” sınıfındadır. Bu sınıfa girenler arasında toksisitenin asıl kaynağının ağır metaller olduğu belirtilmektedir (Duffus J.H.,1980). Nikel (Ni), Mangan (Mn), Kurşun (Pb), Krom (Cr), Kadmiyum (Cd), Çinko (Zn), Bakır (Cu), Demir (Fe) ve Civa (Hg) gibi metaller ağır metaller olarak sınıflandırılırken, bunlardan, Kadmiyum (Cd), Krom (Cr), Kurşun (Pb), Civa (Hg) ve Gümüş (Ag) gibi ağır metaller öncelikli kirleticiler (Priority Pollutants) olarak tanımlanmaktadır (Tchobanoglous,1991). Liptak (1974) ise ağır metalleri atom numaraları 19 ile 84 arasında olan ve periyodik tablonun ortasına denk gelen elementler olarak tanımlamıştır. Birleşmiş Milletler Çevre Koruma Teşkilatı ağır metallerin içinden Berilyum (Be) ve Civanın (Hg) zararlı ve insan sağlığı açısından tehlikeli olduğunu, gen yapısını değiştirdiğini, kanser yapma özelliğine sahip olduğunu, aşağıdaki diğer metallerin ise zehirliliğe aday ya da gizli zehirliliğe sahip metaller olduklarını ve bu metallerin kontrol altında tutulmaları ile zehirlilik etkilerinin önlenebileceğini belirtmektedir. Bu metallerin önem sırasına göre dizilişi aşağıdaki gibidir:

1. Kadmiyum (Cd)
2. Bakır (Cu)
3. Mangan (Mn)
4. Gümüş (Ag)
5. Nikel (Ni)
6. Kalay (Sn)
7. Vanadyum (V)
8. Çinko (Zn)



AET'ye bağılı ülkeler ise Kadmiyum ve Civayı siyah listeye diğer ağır metalleri ise gri listeye alarak önemlerini ayrı ayrı belirginleştirmişlerdir. 1973 yılından beri uyguladıkları talimatlarda siyah listedeki maddelerin tamamen yok edilmesi, gri listedekilerin ise mümkün olduğunca azaltılması istenmektedir (Kanowski, S. 1987).

Bazı metallerin ise biyolojik büyümede önemli rolleri vardır. Wood, (Wood D.K. *et al* (1975)) bu metallerin Cu, Fe, Mg ve Zn olduğunu belirtmektedir. Ancak bu metaller zehirli özellikleri nedeniyle suların faydalı kullanımlarını engellerler. Bu nedenle su havzalarında sürekli ölçüm yapılmalı ve ağır metal konsantrasyonu kontrol altında tutulmalıdır.

### 2.1.2. KİRLETİCİ KAYNAKLAR

Ağır metallere, genellikle, endüstriyel aktiviteler sonucunda atılan atıksularda, maden sahalarından yağmur vs. nedenlerle sızan sularda, çöp sızıntı sularında rastlanır. Bu sular göl, nehir, yeraltı suları gibi alıcı ortamlara karıştığında, ağır metallerin sedimentlerde biriktiği ve deşarj noktasından kilometrelerce uzakta bile kirlilik değerlerini kaybetmeden korudukları yapılan araştırmalarda belirlenmiştir (Schmitz, 1990). Bu ortamların içmesuyu ve sulama suyu amacıyla kullanımları sonucunda doğrudan veya besin zinciri yoluyla canlılara geçen ağır metaller çeşitli arazlara (Bkz. kısım 2-4) neden olmaktadır.

Tünay O. ve arkadaşlarının İstanbul'da Kağıthane Cendere Havzası (1990), Büyükçekmece ve Ömerli Havzası (1988), Tuzla Atıksu Toplama Alanı (1987) gibi farklı bölgelerdeki endüstri tesislerinde yaptıkları incelemeler sonucunda kirleticii yük olarak atıksularında ağır metal olan endüstrilerin kirlilik bazında sınıflandırılmaları ve atıksularındaki ağır metal konsantrasyonları aşağıdaki gibidir:

#### \* Demir dışı metaller üretimi

\* Kurşun şekillendirme Endüstrisi Pb : 0,2 mg/L

\* Bakır şekillendirme Endüstrisi Cu : 0,2 mg/L

#### \* Emayeleme Endüstrisi Kategorisi

Cu : 0,075 mg/L

Pb : 0,085 mg/L

\* Metal son işlemler Endüstrisi  
Cd : 0 - 21,5 mg/L  
Pb : 0 - 42,5 mg/L  
Cu : 0 - 500 mg/L (ort. 14,5 mg/L)

\* Galvaniz işlemi  
Cu : 2 mg/L  
Pb : 8 mg/L

\* Alüminyum Şekillendirme Endüstrisi

\* Alüminyum Kaplama  
Cu : 14,2 mg/L  
Pb : 1,25 mg/L  
Cd : 0,613 mg/L

\* Pil ve Akü Endüstrisi Kategorisi  
Cd : 0 - 0,030 mg/L  
Cu : 0,05 - 0,25 mg/L  
Pb : 1 - 46 mg/L (ort. 14 mg/L)

Gür, F. ve diğerleri (1993) Ergani Bakır İşletmesi'nin curuflarının yığıldığı yere yakın akan Maden Çayında seçtikleri ölçüm istasyonlarında yaptıkları incelemelerde yüksek konsantrasyonda ağır metal kirliliğine rastlamışlardır. Tablo 2-1 'de curuftaki bileşimi verilen ağır metaller yağışların ve yüzeysel suların etkisi ile zamanla çözünmekte ve Maden Çayı'na karışmaktadır.

Couillard (1990) ise Kanada'da yapılan bir araştırmada tarım toprağında yüksek oranda ağır metale rastlandığını bunun % 60 kaynağının endüstriyel atıksular olmadığını toprağa gömülmüş Cd, Zn, Cu içeren arıtma tesisi çamurları olduğunu belirtmektedir.

Metal Kaplama Endüstrilerinde ağır metal içeren atıksular temizleme, fosfatlama ve yüzey kaplama işlemi sırasında açığa çıkmaktadır. (Eran, G., 1987)

Ağır metaller metal kaplama atıksularında kaplama işlemine bağlı olarak siyanür kompleksleri halindedir. Bunlardan Bakırsiyanür (CuCN), Demirsyanür (FeCN), Nikelsiyanür (NiCN) daha dayanıklı, Çinko (ZnCN) ve Kadmiyumsiyanür (CdCN) daha az dayanıklıdır. (Öztürk, N., 1985)

Tablo 2-1 : Ergani Bakır İşletmesi Curuflarının İçindeki Ağır Metal Miktarı ve Bu Metallerin Maden Çayı'nda Belirlenen Konsantrasyonları (Gür, F., ve arkadaşları, 1993)

Ağır Metal Cinsi	Curuftaki Miktarı	* Maden Çayı'nda Rastlanan Konsantrasyon Aralığı (mg/L)
Cu	9500 mg/kg	0,1 - 1,2
Co	600 mg/kg	0,005 - 0,4
Mn	1500 mg/kg	0,5 - 8,5
Cd	40 mg/kg	0,004 - 0,025
Zn	5200 mg/kg	0,2 - 4,8
Ni	500 mg/kg	0,1 -1,5

\* Yapılan çalışmada yağışın fazla olduğu aylarda konsantrasyonun yüksek değerlerde olduğu gözlenmiştir.

Tablo 2-2 : Tipik Metal Kaplama Endüstrisi Atıksu Kirlilik Parametreleri ( Öztürk, N., 1985)

Parametre	Konsantrasyon (mg/L)
Cd	0,1 - 6
Ag	0,03 -2,1
Ni	0,2 - 12,5
Fe	1-25
Yağ	0,5 - 2,5
Siyanür	0,01 - 10,80
Fenol	0,04 - 16,40

Tekstil Endüstrisinin farklı proseslerinden farklı ağır metal kirlilikleri açığa çıkmaktadır. Bunlardan bazıları:  
(Göknil ve arkadaşları, 1984)

Yapağı yıkama atıksuyunda	Cu : 18 - 1480 mg/L
Yün terbiyesi atıksuyunda	Cr : 1 - 12000 mg/L
Dokunmuş kumaş terbiyesi suyunda	Zn : 18 - 1880 mg/L
	Pb : 0 - 109 mg/L
	Cd : 7 - 950 mg/L

Uslu, O. (1985) ağır metallerin insanlar ve deniz canlıları da dahil tüm canlılar için zararlı olduğunu, canlıların metabolizmalarını olumsuz etkilediklerini vurgulamaktadır. Bu nedenle, ağır metalleri atık olarak üreten kaynaklar belirlenmeli ve ağır metaller, zehirli etkileri ile canlılara ulaşmadan kaynağında arıtılmalıdır. Bu maddelerin kullanım yerleri aşağıdadır.

**KADMİYUM ve Bileşikleri :** Metal kaplamalarında, düşük eritimi alaşımlarda, Nikel-Kadmiyumlu pil ve baterilerde, güç transfer tellerinde, seramikte kullanılan temel renklendiricilerde; örneğin anorganik pigment tesisi atıksuyunda günde 2-210 g. Kadmiyumsülfür ve Selenür deşarj edilmektedir. (Çiler,1980), Kadmiyumlu gaz lambalarında ve fotoelektrik güçlendiricilerde, Çinko üretiminde kullanılır. (Daz-Giflexikon, Cadmium, 1985)

Bu kullanım alanlarından Cd atık kaynağı olarak en önemlisi metal kaplama endüstrileridir. (Tablo 2-2)

Cd'un başka bir atık kaynağı ise Çinko üretim tesisleridir. Cd bu tesislerden yan ürün olarak çıkar. Çinko (Zn) eritimi sırasında açığa çıkan Cd' lu buhar toplanarak su kapanlarına verilir. Böylece Cd suya karışır. (Liptak,1974).

**KROM ve Bileşikleri :** Metal alaşımlarında, metal kaplamalarında, (Tablo 2-2), rezistanslarda, Krom kapsamlı paslanmaz Çeliklerde, otomotiv ve cihaz aksesuarlarında koruyucu olarak, nükleer araştırmalarda, anorganik pigmentlerin bileşiminde kullanılırlar.



Deri endüstrisi atıksularında Cr III ve Cr VI tuzları halinde bulunur. Cr III daha az toksik özelliğindedir, kloroplastın yapısını onarıcı özelliğe sahip olduğundan bitkilerin büyümelerinde pozitif etki yapar. CrVI nın 1  $\mu\text{M}$ ' den düşük miktarı ise yüksek toksik özelliğindedir. (Barcelo, S, et al 1992)

**CİVA ve Bileşikleri :** Civalı alaşımlarda, Klor ve kostik soda üretimlerindeki katodlarda, Civa gazlı lambalarda, ayna kaplamalarında ısıtıcılarda ve elektrikli aletlerin üretiminde kullanılır.

Kağıt ve klora-alkali endüstrisi atıksularında doğal ortama karışan civa ve bileşikleri mikrobiyal aktivite sonucunda canlı bünyesi için zararlı olan metil civaya dönüşmektedir.

Bir başka civa kirletici kaynağı ise endüstrilerden açığa çıkan civa emisyonlarıdır. Hidrolojik döngü esnasında kimyasal dönüşümler sonucu asit yağmurlarının içinde  $\text{Hg}^0$  ve  $\text{Hg}^{++}$  formunda yeryüzünde geri döndüğü bilinmektedir. (Itri, 1992)

**GÜMÜŞ ve Bileşikleri :** Gümüşnitrat üretiminde , su distile cihazlarında, ayna, Gümüş kaplamalı elektronik cihazlarda, su arıtma ve sterilizasyon cihazlarında, özel baterilerde, solar güç vericilerde, reflektör farlarda, düşük sıcaklık alaşımlarında, diş, tıp, kuyumculuk, teknikte kullanılan aletlerde, fotokopi ve röntgen cihazlarında kullanılır.

Atıksuyunda gümüş bulunan endüstrilerin en önemlisi galvonek teknik yöntemi ile metal kaplama endüstrileridir. Bu yöntemle siyanürlü suda gümüş metal üzerine kaplanır. Daha sonra içinde 0,1~0,5 g/L gümüş ve 0,2~0,6 g/L toplam siyanür bulunan durgun yıkama banyolarında yıkanır. (Eran,1987)

**KURŞUN ve Bileşikleri :** Boya endüstrilerinde , pil ve akü üretiminde kullanılır. Kurşun genelde eritilirken çıkan tozda, boya hazırlama endüstrileri atıksuyunda, depolanan veya atılan pillerde, şehir içi trafiğin yoğun olduğu saatlerde maksimum seviyede olmak üzere egzozdan çıkan emisyonda kurşuna rastlanır.

**NİKEL ve Bileşikleri :** Nikel kaplama, seramik ve sırlama endüstrilerinde kullanılır. Atık olarak bu endüstrilerden açığa çıkar.

BERİLYUM ve Bileşikleri : Nükleer reaktörlerin, airkraftların, roketlerin üretiminde kullanılır. Doğada kömürün yanması sırasında; Berilyum üreten ve kullanan endüstrilerden ise atık olarak açığa çıkar.

KALAY ve Bileşikleri : Tarımda böcek ve mantar ilaçlarında, deniz araçlarında pas önleyici boyalarda ve kalay kaplamada kullanılır.

VANADYUM ve Bileşikleri : Çelik ve demir alaşımında, seramik endüstrilerinde boya maddesi olarak kullanılır. Bazı petrol ürünlerinin yanmasından atmosfere fazla miktarda yayılır.

ÇİNKO ve Bileşikleri : Diğer metallerin özellikle Demir ve Çeliğin galvenizlenmesinde kullanılır.

ARSENİK ve Bileşikleri : Atıksularında arsenik ve bileşiklerine rastlanan endüstriler metalurji, cam ve seramik, tabaklama, boya petrokimya, v.s.dir. Çözeltilerde arsenik genellikle arsenit ( $AsO_2^-$ ) ve arsenat ( $AsO_4^{-3}$ ) şeklinde bulunur. Ortamdaki çözünmüş oksijen yardımıyla tüm iyonlar arsenata yükseltgenirler.

BAKIR ve Bileşikleri : Metal yüzeyini temizleme ve işleme endüstrisi, gübre, kağıt, otomotiv endüstrisinde kullanılır ve bu endüstrilerin atıksularından çevreye kirletici olarak girer.

### 2.1.3. AĞIR METALLERİN DEŞARJ KRİTERLERİ

Endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan atıksuların kontrolünü belirleyen esaslar 4 Eylül 1988 tarihinde yürürlüğe giren T.C. Çevre Bakanlığı'nın "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği" ile resmen uygulamaya alınmıştır. Bu yönetmeliğe göre ağır metaller için kanala maksimum deşarj limitleri Tablo 2-3 deki gibidir.

Ancak kanalizasyona verilen endüstriyel atıksuyun kirlilik değeri maksimum deşarj limitini aşmasa bile, bu kanalın nereye deşarj edileceği önemlidir. Kanal alıcı ortama deşarj ediliyorsa bu ortamdaki canlı sağlığı ve yaşamı düşünülerek, kanal biyolojik arıtım ünitesine bağlı ise arıtma tesisi ve verimi düşünülerek maksimum deşarj değerlerinin duruma göre yeniden irdelenmesi gerekmektedir.

Tablo 2-3 : Ağır Metallerin Deşarj Limitleri

Parametre	Maksimum Değer (mg/L)	
	Kanala Deşarj *	Alıcı Ortama Deşarj **
Kadmiyum (Cd)	5	0,1
Bakır (Cu)	10	3
Kurşun (Pb)	3	2
Kalay (Sn)	5	-
Nikel (Ni)	10	-
Toplam Krom (Cr)	5	0,5
Civa (Hg)	1	0,01
Arsenik (As)	10	0,5
Gümüş (Ag)	5	-

\* Yönetmelik - 1984

\*\* Yönetmelik - 1988

Alıcı ortamın içmesuyu elde etmek amacıyla kullanılması durumunda Tablo 2-4 deki Dünya Sağlık Teşkilatının kriterleri önem kazanmaktadır.

Tablo 2 - 4 : WHO - İçmesuyu Standartları (Al-Layla,M.A.,*et al*,1978)

Parametre	İzin Verilen max. Değer (mg/L)
Kadmiyum (Cd)	0,01
Bakır (Cu)	1,5
Mangan (Mn)	0,5
Gümüş (Ag)	0,1
Çinko (Zn)	15
Demir (Fe)	1
Arsenik (As)	0,05
Krom (Cr+6)	0,05
Kurşun (Pb)	0,1

#### 2.1.4. AĞIR METALLERİN ÇEVREYE ve İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ

Öncelikli kirleticiler sınıfına giren ağır metallerin arıtılması zordur, arıtılmadan atıksuyla birlikte deşarjları ise girdikleri doğal ortamı bozar.

Ağır metaller ile araştırmalarını sürdüren pek çok bilim adamı bu metallerin canlı bünyesine yaptığı olumsuz etkileri incelemişlerdir.

Elezaj (Elezaj, I *et al*, 1992) yenebilen salyangozlar üzerinde yaptığı inceleme sonucunda, bu hayvanlardan kurşun, çinko eriten işletmeye yakın yaşayanların pankreaslarında en çok Pb'nun, sonra Cu'nun ve sırasıyla Cd ve Zn'nun biriktiğini tespit etmişlerdir. Tespit edilen değerler %68.9 ile Pb, %20.7 ile Cu, %6.6 ile Cd, %4.2 ile Zn dur.

Foklar üzerinde yapılan bir başka araştırmada ise ağır metallerin cinslerine göre canlı bünyesinde birikme oranlarının değiştiği belirlenmiştir. Cd ve Zn ile yapılan araştırmada hayvanların en çok ciğerlerinde sonra böbrek ve kaslarında daha çok Cd'a daha az oranda Zn'nun biriktiği belirlenmiştir. (Gerpe, M., *et al*, 1992)

##### 2.1.4.1. CİVA ve BİLEŞİKLERİ

Civa, endüstriyel olarak üç formda bulunur; Metalik Civa, Organik Civa ve anorganik Civa. Bileşikleri içinde en az toksik olanı anorganik Civadır. Civa buharı solunum yoluyla alındığında akciğerde birikmekte ve akciğer kanserine sebep olmaktadır. Alkali Civa bileşikleri, kararlı ve yüksek derecede toksiktirler. Vücuda alındıklarında dokularda birikmekte daha sonra hücre parçalanmasına neden olmakta, kromozomlara zarar vermektedirler. Metalik Civa, deniz sedimantasyonlarında anaerobik şartlarda Clostridium, Chlearium bakterileri yardımıyla metil ve dimetil türevlerine dönüşerek balık ölümlerine neden olmaktadır. 0,001 ppm'den bile daha düşük konsantrasyondaki organik Civa bileşikleri deniz ve tatlısu fotoplanktonlarının fotosentez randımanını düşürmekte, bazı alglerin ve su bitkilerinin bünyelerinde birikerek yüksek konsantrasyonlarda ölümlere neden olmaktadır.

1987'de Japonya'da Minamata körfezine bir kimyasal fabrikadan atılan metil Civa ve zehirli olmayan anorganik Civanın deşarj edilmesi sonucu dipteki sedimantasyonda anorganik Civanın metil Civaya



dönüştüğü, bu maddeyi bünyelerine alan balıkları yiyen kişilerden 115'nin aniden öldüğü, kalanlarının çoğunun görme ve işitme duyularını yitirdikleri, norolojik semptomlara yakalandıkları, ardından gelen birkaç yıl boyunca bölgede kuş ve balık ölümlerinin sürdüğü belirlenmiştir. 30 Haziran 1988'de yapılan belirlemelerde Minamata zehirlenmesinden 1841 kişinin hastahane de hala yatmakta olduğu, 999 ölüm, 4822 tedavisi yapılmış izlenmekte olan, 9995 tedavi edilmeden dolaşan kişi olmak üzere toplam 17657 kişinin etkilendiği rapor edilmiştir (Itrı, F.M.,1992).

#### 2.1.4.2. KADMİYUM ve BİLEŞİKLERİ

Kadmiyum, bitki ve hayvanlar için toksik özelliktedir. Bitkilerin dokularında hayvanların böbreklerinde, karaciğer ve üretim organlarında birikir (Gerpe,M.*et al* 1992).Yüksek konsantrasyonlarda kismaya, kanamaya, kolite sebep olur. Hipertansiyon, kalp sıkışması, prematüre ölümler Kadmiyum zehirlenmelerinin sonucudur.

Kadmiyum kemikleri onaran mekanizmayı bozarak çalışmasına engel olduğundan kemiklerin içlerinde boşluklar giderek artmakta ve sonunda iskelet vücudu taşıyamayarak çökmektedir. 1955'de görülen bir olayda güney Japonya'da pirinç ve soya fasulyelerinde birikmiş olan Kadmiyum Lumbago ya ve pek çok insanın iskeletinin kırılarak çöküşüne neden olmuştur. Hayvanlar için LD<sub>50</sub> 2 mg/kg, insanlar için 5 mg/m<sup>3</sup> duman öldürücü dozdur. WHO'ya göre 0.5 mg Cd/ hafta insanlar için maksimum alınabilecek Cd miktarıdır. (DAZ-Giftlexikon, Cadmium,1983).

#### 2.1.4.3. ARSENİK ve BİLEŞİKLERİ

Arsenik trioksit bu grubun en toksik bileşigidir. Vücuda alındığında kemik kas ve deride daha az oranda da karaciğer ve böbreklerde birikmektedir. Arsenik zehirlenmesinde sinirlerde, sindirim sisteminde iltihaplanmalar, siroz, kemik iliği hasarları, değişen deri pigmentasyonları, böbrek dejenerasyonu görülmektedir. Arsin gazı (As H<sub>3</sub>) şiddetli kan zehiridir. Arsenik triklorür ve türevleri tahriş edici özelliklere sahiptirler. (DAZ-Giftlexikon, Arsen,1985)

#### 2.1.4.4. BERİLYUM ve BİLEŞİKLERİ

Cilt hastalıklarına neden olur, mukoza ve balgam yapar, ciğerlere yerleşir ve orada birikir. Berylliosis adlı ciğer hastalığına neden olur. Bu hastalık daha sonra akciğer kanserine veya kemik iliği kanserine dönüşebilir. (Vural, N.1984)

#### 2.1.4.5. KURŞUN ve BİLEŞİKLERİ

Bitkilerin köklerine yerleşerek bitkiyi zehirler. Hayvanlar Kurşunu solunumla veya Kurşunlu bitkiyi yiyerek alırlar. Absorbe edilmesi çok yavaştır ancak girdiği ortamda birikir. Alyuvarlar tarafından harekete geçirilir. Böylece tüm vücudu dolaşır, karaciğerde veya böbreklerde yerleşir. Daha sonra tekrar kemik dokularına, dişlere ve beyne dağılır. Kemiklerde hemen zehirli etkisini göstermez yerleşir. İleri yaşlarda veya kortizon tedavilerinde etkin bir şekilde zararı ortaya çıkar. Sinir sistemi bozuklukları, kansızlık, kolit ağrıları (DAZ- Giftlexikon, Blei,1983) belli başlı belirtileridir.

Hayvanlarda kronik olarak Kurşun zehirlenmesinin ilk belirtisi kansızlıktır. Çocuklarda ise merkezi sinir sistemindeki bozukluklardır.

Kurşun içeren boya malzemeleri çocuklar tarafından kullanılmamalıdır. Diş Macunu tüplerinde kurşun alaşımlar bulunmamalıdır.

Yetişkin insan için öldürücü doz 25 gr. Kurşun karbonat veya 50 gr. Kurşun asetattır. Hayvanlarda Kurşun tetraetil  $LD_{50} = 35$  mg/kg (ağızdan, sıçan) 0.6 mg/kg (tavşan için). Kurşun tetrametil ise insanlar için dozu henüz bilinmemekle beraber hayvanlar için  $LD_{50}$  105 mg/kg (ağızdan, sıçan) dır. (Az-Giftlexikon, Blei, 1983)

#### 2.1.4.6. NİKEL ve BİLEŞİKLERİ

Nikelin türevlerinden en zehirli olanı Nikeltetrakarbon'dur. Hayvanlarda solunumla alınır ve akciğer kanserine neden olur. İnsanların ellerinde deri kaşıntıları yaparak etkisini belli eder.

#### 2.1.4.7. GÜMÜŞ ve BİLEŞİKLERİ

Zehirli etkisi oldukça yüksektir. Kaş, saç, deride renk açılmasına neden olur.

#### 2.1.4.8. KALAY ve BİLEŞİKLERİ

Değişik alaşımlar ve bileşikler halinde bulunur. Trialkilkalay ve bileşikleri en zehirli olanıdır. Zehirli etkisi bitkilerin talan olmasıyla, hayvanların merkezi sinir sistemlerinin bozulmasıyla ortaya çıkar.

#### 2.1.4.9. VANADYUM ve BİLEŞİKLERİ

Deniz organizmaları tarafından absorblanır. Hayvanlarda deriye yerleşerek solunumu engeller. Kolestrole neden olur. İnsanlarda nefes darlığı göğüs ağrısı, nöbet tarzında öksürük yaparak belirti verir.

#### 2.1.4.10. ÇİNKO ve BİLEŞİKLERİ

Zehirliliği diğer metallerin yanısıra gözardı edilecek kadar azdır. Belirtisi, bulantı ve kusmadır.

İnsanların genellikle kaslarında birikir. Cd ile birlikte deşarj edilen ortamda bulunmaları sonucunda zehirli etkileri tek başlarına buldukları ortamda yarattıkları etkiden daha fazladır. Çünkü bu iki metal arasında, biyolojik etkileri ve metabolizmaya yerleşme özellikleri nedeniyle biyo-kimyasal geçiş vardır. (Gerpe,M, *et al*, 1992)

#### 2.1.4.11. BAKIR ve BİLEŞİKLERİ

Genelde metalik halde saf veya alaşımlar halinde bulunur. 0.5 ppm algler için 3-4 ppm balıklar için öldürücü dozdur. Daha büyük hayvanlarda öldürücü etkisi yoktur ancak beyinlerinde hasar yaratır. (Vural,1984)

## 2.1.5. AĞIR METALLERİN ARITIM TEKNİKLERİ

Ağır metallerin arıtım yöntemleri ileri arıtma teknikleri arasında yer alır. Çevre Mühendisliği açısından bu tekniklerin tamamı önemlidir ve çözülmüş anorganik maddelerin arıtım yöntemleri olarak bilinir. En çok uygulanan ağır metal arıtma yöntemleri:

- \* Kimyasal Çöktürme
- \* İyon Değişirme
- \* Ultrafiltrasyon
- \* Ters Osmos
- \* Elektrodializ
- \* Adsorpsiyon'dur.

### 2.1.5.1. KİMYASAL ÇÖKTÜRME

Atıksudaki Fosforu çöktürmek için alum, kireç, Demir, Demir tuzları ve organik polimerler atıksuya ilave edilir. Çökeltme işlemi esnasında Fosfor'la birlikte değişik anorganik iyonlar da (özellikle ağır metaller) çöker. Bu yöntem genellikle endüstriyel atıksu ile evsel karakterde atıksuyun birlikte arıtılması gereken yerlerde uygulanır.

Atıksuda Cd v.s. gibi ağır metallerle bileşik halinde bulunan Arsenik genelde kimyasal çöktürme yöntemi ile atıksudan uzaklaştırılır. Arsenitin arsenata kimyasal yolla yükseltgenmesi, bu iyonun daha dayanıklı kompleks oluşturma özelliği nedeniyle arıtma verimini arttırır. Bu yükseltgenmeyi en uygun sağlayan oksidantlar Cl ve  $KMnO_4$  dır. Tablo 2-5 de Arsenik bileşiklerinin arıtma yöntemleri, arıtma randımanları ve bu randımanın yakalandığı pH değeri verilmektedir.

Kadmiyum alkali pH düzeyinde çözünmez ve dayanıklı hidroksitler oluşturur. Bu nedenle  $pH=9.5\sim 12.5$  arasında hidroksit çöktürmesi randımanlı sonuç vermektedir (Bkz. Tablo 2-5). Cd- Siyanür komplekslerinin çöktürülmesi zordur. Arıtım randımanı düşüktür.

Kimyasal çöktürmede karbonat ve sülfat Cd'un çözünmeyen tuza dönüşmesini sağlar. ( $CdSO_4$ 'in çözünürlük katsayısı:  $K=3.6 \cdot 10^{-29}$ ) Ancak oluşan floklar çok küçük olduğundan çökeltme hızı çok yavaştır. Bu nedenle çökeltmeyi sağlayabilmek için çözeltideki parçacıkların

(flokların) boyutlarının artırılması veya bu parçacıkların mikrofiltreler yardımıyla çözümlerden süzülerek alınması gerekmektedir.

Bakır, alkali pH ortamında, hidroksit veya sülfür şeklinde çöktürülür. Bakır II oksit en düşük çözünürlüğe pH 9 ile 10.3 arasında ulaşır. Ancak kimyasal çöktürme yöntemiyle, diğer iyon etkileri, pH dalgalanmaları düşük reaksiyon hızları gibi nedenlerle randımanlı arıtım sağlanmaz. (Çiler, M., 1980).

Ağır metallerin kimyasal çöktürme yöntemi kullanılarak arıtılmasının önemli dezavantajları:

- 1) Atıksuyun içindeki ağır metal daha derişik ve farklı bir atığa geçirilmiş olur. Böylece fazla miktarda çamur birikir, bu da arıtmaya ilave yük getirir.
- 2) Ağır metallerin zehirliliği nedeniyle çamurun anaerobik çürümesi veya atılması zor ve zararlıdır.
- 3) Arıtılmış su içinde çözünmüş toplam katı madde miktarında artış görülür. Giderilmesi filtre sistemi gibi ilave arıtım ünitesi gerektirir.

#### 2.1.5.2. İYON DEĞİŞTİRME

İyon değiştirme işleminde çözelti içindeki iyonlar ile çözünmeyen maddenin iyonlarının yer değiştirmesi olarak tanımlanır (Tchobanoglous, 1991). Anyonik ve katyonik reçinelerden oluşur. Su önce + yüklü iyonların hidrojen iyonları ile yer değiştirdiği katyon değiştirici reçinelerden, sonra anyonların hidroksit iyonlarla yer değiştirdiği anyon değiştirici reçinelerden geçer. Böylece çözeltide bulunan anorganik maddeler reçineler üzerinde katı halde tutulmuş olur. Ancak sonuçta geriye metalik iyonlarla doymuş bir reçine kalır. Temizlenme için reçineler asit veya kostik ile yıkanabilir. Yaygın olarak içme suyu kaynağı olarak kullanılan suların yumuşatılmasında uygulanır.

Ağır metaller içinde en fazla  $Cr^{+6}$  için iyon değiştirici reçineler önerilmektedir. Diğer yöntemlere oranla daha ekonomiktir. pH 4.5-5 arasında randıman sağlanır 4'den düşük pH değerlerinde kromik asitin oksidasyon potansiyeli reçineleri etkiler pH 6'dan büyük ise kromatın dikromata oranı büyür. Anyon değiştirici reçineler dikromat iyonuna karşı etkili değildir. (Çiler, M., 1980).

Ağır metallerin iyon değiştirme yöntemi kullanılarak arıtılmasının önemli dezavantajları (EPA,1987) :

- 1) Çözeltinin içinde yüksek miktarda askıda katı madde ( $>50$  mg/L) varsa reçineler kolaylıkla tıkanır .
- 2) pH, proses randımanı için sınırlayıcı özelliktir.

### 2.1.5.3. ULTRAFİLTRASYON ve TERS OSMOS

Ultrafiltrasyon ve ters osmos teknikleri gibi membran filtrasyon yöntemlerinde yüksek basınç altında çözeltilerin içindeki çözünmüş organik ve anorganik maddeler membran üzerinde birikir.

Liptak (1974) sürekli sistemlerde kullanılacak ultrafiltrasyon yöntemi için çözeltinin hidrolik yükünün  $0,085 - 0,51 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-h}$ , ters osmos için hidrolik yükün  $0,008-0,085 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-h}$  arasında alınmasını önermiştir. Tchobanoglous (1991) ise ters osmosda basıncın atmosfer basıncı ile  $10.000 \text{ kN/m}^2$  arasında değiştiğini belirtmiştir. Membranlarının filtre randımanı sürekli sistemdeki hidrolik yüke ve çözeltinin reaktörde bekleme süresine bağlı olarak değişmesinden dolayı genelde Ultrafiltrasyon veya Ters Osmos tekniklerinin, arıtma tesislerinde koagulasyon işleminden sonra ileri arıtım tekniği olarak kullanımları önerilmektedir. Ancak Ters Osmos'un kullanım alanı daha da sınırlıdır. Çünkü sadece düşük çözünürlüğe sahip tuzlar membranlarda çöktürülerek kolaylıkla tutulabilir. (EPA,1987)

Ağır Metallerin Ultrafiltrasyon ve Ters Osmos yöntemleri kullanılarak arıtılmasının önemli dezavantajları (Tchobanoglous, G.1991, Perry & Chilton 1973) :

1. pH proses için sınırlayıcı özelliktir. Sisteme verilecek atıksuyun pH'sı 4.0 ile 7.5 arasında tutulmalıdır.
2. Bu sistemlerin maliyeti yüksektir.

#### 2.1.5.4. ELEKTRODİALİZ

Elektrodializ yöntemi ile sadece iyonize olabilen maddeler çözeltilerden ayrıştırılabilirler. Bu yöntem; iyonize olabilen maddenin çözeltilerden yarı geçirgen membranlara transferini sağlar. İyon değiştiricilerin geliştirilmesi bu yöntemin uygulanmasına önderlik etmiştir. Elektroliz ünitesinde anyonik ve katyonik membranlar arka arkaya dizilidir. Çözeltideki anyonlar anoda doğru, katyonlar katoda doğru hareket ederler. İyonlar yarı-geçirgen membranlardan geçerek geçirgen olmayan membran üzerinde toplanırlar. Elektrodializ yönteminin randımanı; çözeltinin konsantrasyonuna, kullanılan membranların geçirgenliğine, sürekli sistemlerde akış hızına bağlı olarak değişir. En önemli dezavantajı ise uygulanma esnasında yüksek enerji gereksinimi oluşudur (EPA,1987). Bu nedenlerden dolayı sürekli sistemlerde elektroliz yönteminin büyük kapasiteli arıtma tesislerinde kullanımı yaygın değildir ve önerilmemektedir.

Tablo 2 - 5 : Ağır Metallerin Adsorpsiyon Dışında Arıtılma Yöntemleri ve Randımanları (Çiler, M.,1980, Mavroidis,I.,1992)

Ağır Metal		Aritma Yöntemi	Optimum pH	Aritma Randımanı %
A R S E N İ K	AsO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	FeSO <sub>4</sub> ile çöktürme	8	94
	AsO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	FeCl <sub>3</sub> ile çöktürme	9	90
	AsO <sub>2</sub> <sup>-</sup>		8	95
	AsO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	Alum ile	7 - 8	90
	AsO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	çöktürme	7 - 8	95
	AsO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	Na <sub>2</sub> S ile çöktürme	7	80
	AsO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	Kireç ile	10,12	80,95
	AsO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	çöktürme	12	95
K A D M İ Y U M		Zayıf bazik Anyon değiştirici (iyon değiştirici)	6,95	82 - 100
		Ters - Osmos	11,5	78 - 99
		Hidroksit çöktürmesi	9,5 - 12,5	-
		FeSO <sub>4</sub> ile çöktürme	6	
		FeSO <sub>4</sub> + Kireç ile çöktürme	10	
B A K I R		Kireç ile çöktürme	11,5	
		FeSO <sub>4</sub> ile çöktürme	6	80
K R O M	Cr <sup>6</sup>	İyon değiştirici	4,5-5	
	Cr <sup>6</sup>	Elektrokimyasal indirgeme (Fe <sup>0</sup> ve Fe <sup>2</sup> ile)	2	90 - 95
	Cr <sup>6</sup>	SO <sub>2</sub> ile indirgeme	2,5 - 4	99

#### 2.1.5.5. ADSORPSİYON

Konvansiyonel kimyasal ve biyolojik arıtma yöntemleri ile arıtılamayan organik ve anorganik kirlilikler adsorpsiyon yöntemi ile arıtılabilirler.

Adsorpsiyon genel anlamda çözelti içindeki çözünmüş



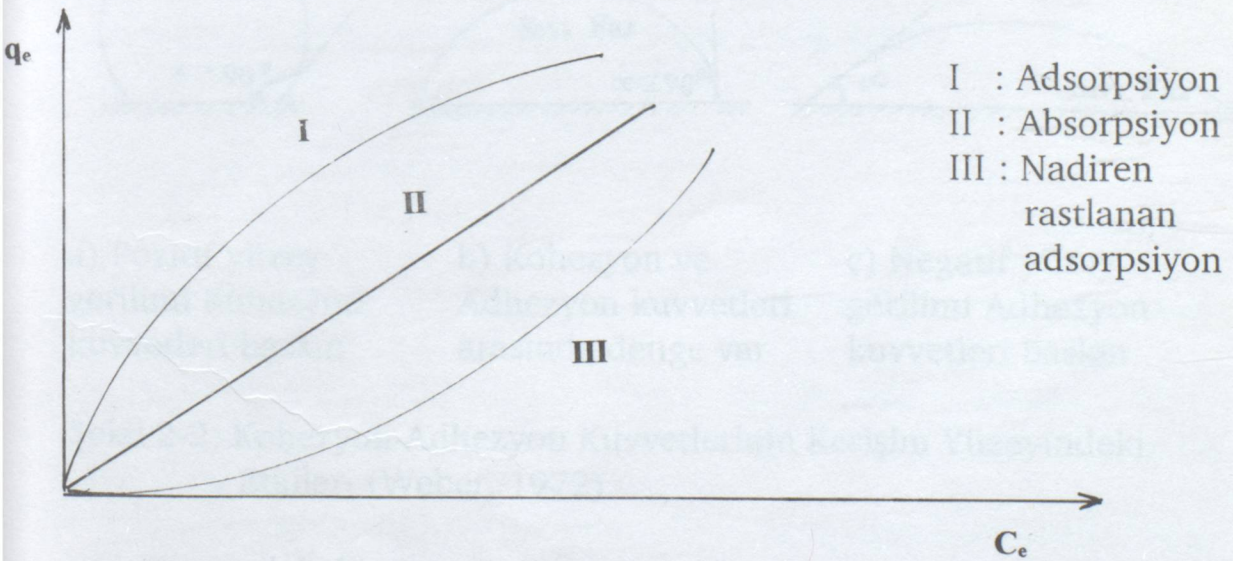
maddelerin uygun bir temas yüzeyine toplanmasıdır. Temas yüzeyi sıvı-gaz, sıvı-sıvı ve sıvı-katı arasındadır.

Son yıllarda içme suyu arıtımında, aktif-karbon; çözülmüş organik maddeleri kolay adsorpladığı için çok kullanılır olmuştur. Günümüzde aktif- karbonla adsorpsiyon, biyolojik arıtma tesislerine ilave olarak ileri arıtma teknikleri arasında yer almaktadır.

Adsorpsiyon üç adımda gerçekleşir; makro - transport, mikro-transport ve sorpsiyon.

Macro-transport difüzyon etkisi ile suda çözülmüş maddenin sıvı - katı kesişim yüzeyine hareketidir. Mikro-transport çözülmüş maddenin adsorbantın mikro veya daha küçük açıklıklarına hareketidir. Adsorpsiyon genelde adsorbant yüzeyinde adsorbantın makro ve mikro gözeneklerinde maddelerin birikmesidir, ancak makro gözeneklerin yüzey alanları mikro gözeneklerin yüzey alanlarına göre çok küçük olduğundan makro yüzeye adsorplanan miktar ihmal edilir. Sorpsiyon ise organik veya anorganik maddelerin adsorbantın bünyesine yerleşmesidir.

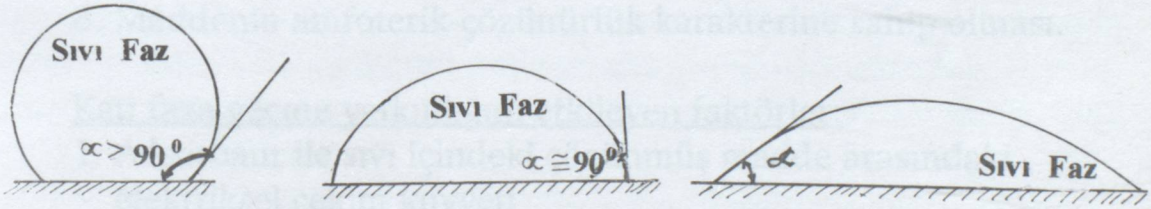
Bu üç adım sırasıyla "film difüzyonu", "gözenek difüzyonu" ve "kılcal yapı boşluklarına adsorpsiyon" olarak nitelenmiştir. Weber (1972), adsorpsiyonu yüzeye kütle transferi olarak yorumlamakta ancak yüzey ile sıvı arasındaki ince çamurumsu film tabakada (ara yüzeyinde) oluşan olayların akışkanlar mekaniği açısından iyi bir şekilde tanımlanamadığını da belirtmektedir.



Şekil 2-1 : Adsorpsiyon-Absorpsiyon Eğrileri (Weber, 1972)

Şekil 2-1 de görülen lineer bağıntı absorpsiyon oluşumunun belirtisidir. Çünkü absorpsiyonda iki faz arasında lineer ilişki vardır. Ara yüzeye hareket ederek burada biriken madde miktarı ile ara yüzeyde biriken maddeden çözeltiliye geri dönen arasındaki bağıntı doğru orantıdır.

Adsorpsiyonda ise çözelti içindeki madde konsantrasyonu ile adsorplanan madde konsantrasyonu arasında lineer ilişki yoktur. Adsorpsiyon ara yüzeyde veya faz ayrımında etkin olan kuvvetler tarafından yaratılır. Katı- sıvı ara yüzeyinde veya sıvı- gaz ara yüzeyinde sıvı molekülleri arasındaki kohezyon kuvvetleri sıvı yüzeyini küçültmeye çalışırken iki faz molekülleri arasındaki adhezyon kuvvetleri ise sıvı molekül yüzeyini katı yüzeyi üzerine yaymaya çalışır. Sıvının yüzeyini adhezyon kuvvetine karşı küçültmeye çalışması yüzey gerilimini oluşturur. Katı- sıvı ara yüzeyinde sıvı her zaman yüzey enerjisini küçültmeye çalışır. Bu da sayısal olarak serbest yüzey enerjisinin azalmasını karşılamaya yetecek kadar işe eşittir, yani yüzey genişlerken sıvı molekülleri arasındaki bağlar kopar ve yeniden iki faz molekülleri arasında oluşur. Böylece yüzey gerilimine karşı bir iş yapılmış olur (Şekil 2-2).



- |  |   |  |
|--|---|--|
| a) Pozitif yüzey gerilimi Kohezyon kuvvetleri baskın | b) Kohezyon ve Adhezyon kuvvetleri arasında denge var | c) Negatif yüzey gerilimi Adhezyon kuvvetleri baskın |
|--|---|--|

Şekil 2-2: Kohezyon-Adhezyon Kuvvetlerinin Kesişim Yüzeyindeki Etkileri (Weber, 1972)

Sıvı molekülünün (çözünmüş maddenin) yüzeye ya da katı faza

geçiş yüzey alanını genişletmek için gereken işin azalmasının sonucudur. Bu azalma ara yüzeydeki çözünmüş madde (adsorbat) konsantrasyonu ile orantılıdır. Katı (adsorbant) molekülleri; birbirlerini çekme kuvvetlerinden daha çok çözünmüş madde moleküllerini çekme kuvvetine sahip olduklarından, yüzey gerilimini düşüren çözünmüş madde ara yüzeyde birikir. Bu olay yani çözünmüş maddenin ara yüzeyde birikmesi adsorpsiyondur. Düşük yüzey gerilimine sahip sıvı içinde çözünmüş madde iki faz arasındaki yüzeyde adsorplanır.

### 2.1.5.5.1. ADSORPSİYONUN NEDENLERİ

Çözelti içindeki maddelerin adsorpsiyonu çözücü-çözünen-katı ilişkisine bağlıdır. Adsorpsiyon için en önemli etkilerden biri çözünenin liyofobik-hidrofobik karakteri (çözücüden-sudan hoşlanmama) veya çözünenin katı faza daha fazla geçme meyilidir. Adsorpsiyon genelde bu iki kuvvetin bir arada bulunmasının sonucudur. Her iki kuvveti de etkileyen faktörler vardır.

#### Liyofobik karakteri etkileyen faktörler:

1. Maddenin çözünürlüğü
2. Maddenin hidrofilik veya hidrofobik yapıya sahip olması.
3. Maddenin amfoterik-çözünürlük karakterine sahip olması.

#### Katı faza geçme yatkınlığını etkileyen faktörler:

1. Adsorbant ile sıvı içindeki çözünmüş madde arasındaki elektriksel çekim kuvveti
2. Van der Waals çekim kuvveti
3. Kimyasal yapı

Maddenin çözünürlüğü, katı ile sıvı arasındaki kimyasal geçiş belirler.

Hidrofilik yapıdaki madde sıvının içinde kalma arzusundadır. Adsorpsiyonu zordur. Hidrofobik yapıda ise madde yüzey veya geçiş adsorpsiyonu için en aktif elemandır.

Eğer madde amfoterik-çözünürlüğe sahip ise hidrofobik kısmı sıvının ara yüzeyinde adsorplanacak hidrofilik kısmı ise sıvıda kalacaktır. İyon değişimi olarak nitelendirilen bir tür adsorpsiyonun

nedeni ise çözünen maddenin iyonlarının katı-sıvı ara yüzeyinde elektrostatik çekim kuvveti nedeni ile konsantre olmasıdır.

Van der Waals çekim kuvvetlerinin etkisi ile oluşan adsorpsiyona fiziksel adsorpsiyon adı verilir. Fiziksel adsorpsiyon genelde düşük sıcaklıkta oluşur ve adsorpsiyon oluşması için gerekli enerji azdır. Oysa moleküllerin katı - sıvı ara yüzeyinde rahatça hareket edemedikleri adsorplanan madde ile adsorplayan (adsorbant) arasında güçlü bağlar oluşumunu sağlayan, kimyasal adsorpsiyon ise yüksek sıcaklıkta oluşur ve fazla enerji gerektirir.

### Adsorpsiyonu Etkileyen Faktörler

1. Adsorbantın yüzey alanı ve yapısı
2. Adsorbat'ın yapısı
3. pH
4. Sıcaklık
5. Çözünmüş maddelerin karışımı
6. Temas süresi

#### 1) Adsorbantın Yüzey Alanı ve Yapısı :

Adsorpsiyon ara yüzeyde gerçekleşen bir olaydır. Adsorbant'ın fizikokimyasal yapısı adsorpsiyonun hem hızını hem de randımanını etkilemektedir. Her katı madde adsorbant olabilir. Ancak adsorbant'ın yüzey yapısı adsorpsiyon kapasitesini değiştirmektedir. Uygun adsorbant, yüzey alanı geniş, boşluklu, kılcal boşlukları fazla olan yapıya sahip maddedir.

Yüzey alanı adsorpsiyon kapasitesini direkt etkiler. Düzgün yüzeyli bir katı maddenin yüzeyine adsorplanan madde miktarı ile gözenekli yüzeye sahip aynı katı maddenin yüzeyine adsorplanan madde miktarı farklıdır. Adsorbant gözeneksiz bir yüzeye sahip ise, adsorpsiyon hızı adsorbant çapının tersi ile orantılıdır. Eğer adsorbant kılcal ve gözenekli yapıya sahip ise adsorpsiyon hızı adsorbant dane çapının kuvvetleri ile ters orantılıdır. (Eckenfelder, W.W., 1966, Weber, J.W., 1972).

#### 2) Adsorplanacak maddenin (Adsorbat'ın) yapısı

Adsorpsiyonu etkileyen önemli faktörlerden birisi de

adsorplanacak maddenin çözünürlüğüdür. Lundelius kuralı olarak bilinen çözünürlük ile adsorpsiyon arasındaki ilişki ters orantıdır. Bir başka deyişle maddenin çözünürlüğü azaldıkça adsorpsiyon randımanı artar. Çözünürlük ile adsorpsiyon arasındaki bu ilişki çözücü ile çözünen arasındaki bağların adsorpsiyon öncesinde kırılması ile ilgilidir. Traube kuralı olarak kabul edilen ve Lundelius kuralının özel bir durumunu tanımlayan bu kurala göre çözünürlük arttıkça çözücü-çözünen arasındaki bağlar daha kuvvetli olmaktadır, adsorpsiyon derecesi daha düşüktür. (Weber,1972)

Adsorplanacak maddenin molekül büyüklüğü de adsorpsiyon hızını etkiler. Molekül büyüklüğü, adsorbantın molekül ağırlığı ile ilişkilidir. Molekül ağırlığı ise molekülün hareket edebilme özelliğini etkilemektedir. Bunun gözenek difüzyonu üzerine etkisi önemlidir. Weber (1972) molekül ağırlığı azaldıkça adsorpsiyonun daha hızlı olduğunu belirtmektedir. Ancak bu kıyaslama aynı kimyasal sınıftaki moleküller için geçerlidir.

Bir maddenin adsorplanma randımanı molekülün kimyasal yapısına da bağlıdır. Bir molekül içinde atomların uzaysal dizilişi adsorplanma randımanını etkiler. Dallanmış zincirler düz zincirlerden daha az adsorplanır.(Weber, 1972)

### 3) pH

Adsorpsiyon için birbiri ile temas eden iki fazdan sıvı olanının asidik, bazik veya nötral olması adsorpsiyonu etkileyen bir başka faktördür. Çözünmüş maddenin pH'sı iyonlaşma derecesini ve iyon yüklerini belirlediğinden adsorbant yüzeyinde elektriksel çekim kuvvetini değiştiren etki yapmaktadır. Çözeltinin (adsorbantın) pH'sının azalması hidrojen iyonu konsantrasyonunu arttıracaktır. Bu da adsorbant yüzeyindeki negatif değişimleri nötrale eder. Böylece adsorpsiyon hızı artar. Maksimum adsorpsiyon derecesi nötral "çözünmüş madde-çözücü" yüzeyinde bulunmuştur. Aynı sonuç amfoterik bileşiklerde de nötral olanda tesbit edilmiştir.

### 4) Sıcaklık

Adsorpsiyon ekzotermik bir işlemdir. Bu nedenle genel olarak sıcaklık azaldıkça adsorpsiyon derecesi artar. Ancak sıcaklık farkları az ise sıvı ortam adsorpsiyonunda kayda değer değişim gözlenmez.

## 5) Çözünmüş Maddelerin Karışımı

Çevre Teknolojisinde adsorpsiyon, genelde içinde birden fazla çözünmüş madde bulunan su veya atıksu arıtımında kullanılır.

Yapılan araştırmalarda su veya atıksuyun içindeki farklı maddeler, herbirinin molekül yapısına, çözeltideki konsantrasyonlarına, adsorpsiyon davranışlarına göre birlikte farklı adsorpsiyon davranışı izlerler. Birbirlerinden etkilenmeyebilirler böylece tek tek olduklarıdaki adsorpsiyon davranışını gösterirler veya adsorpsiyon hızı yüksek olan maddeler adsorbant yüzeyini önceden kapladığından diğerinin adsorpsiyon davranışını engelleyici konuma geçebilir, ya da birlikte tek tek olduklarından daha iyi adsorpsiyon kapasitesine ulaşabilirler. Weber (1972) karışım halindeki maddelerden herbirinin adsorpsiyon hızı ve kapasitesi açısından diğerleri ile yarıştığını belirtmiştir.

Cowan (Cowan, C.E *et al*, 1991) karışım halinde ağır metallerin adsorplanacakları yüzeye doğru bir yarış içinde olduklarını ve herbirinin farklı yüzeylere yöneldiğini, yarışın adsorplanacak uygun yüzey bulunamadığında sona erdiğini ancak metallerin cinsine göre yarışan metallerin öncelik sırasının değiştiğini rapor etmiştir.  $\delta$ -MnO<sub>2</sub> ile yapılan adsorpsiyonda Zn ve Cd farklı önceliklerle ayrı ayrı çok iyi adsorbe edildiklerini, Goethite ( $\alpha$ -FeOOH) ile yapılan başka bir çalışmada ise Mg'nun Cu, Pb, Zn ve Cd'un adsorpsiyonunu azaltıcı etki yaptığını belirtmiştir.

Çözelti içinde karışım halindeki metallerin adsorpsiyon esnasında öncelik sıralaması net olarak tanımlanamamaktadır.

## 6) Temas Süresi

Adsorbant, etrafını çevreleyen sıvı filmdeki maddeyi hızla adsorplar. Adsorbant ile çözeltinin (adsorbat'ın) ilk temas anında adsorpsiyon hızı yüksektir. Süre ilerledikçe adsorpsiyon hızında azalma görülür. Adsorpsiyon yönteminde kullanılan adsorbant ve adsorbat'a ait optimum temas süresinin bulunması, özellikle bu adsorbat karakterine sahip endüstriyel atıksuyun arıtılmasında önemlidir.

## 2.1.5.5.2. IZOTERMLER

Adsorbantın alabileceği adsorbat miktarı adsorbat'ın yapısına, konsantrasyonuna ve ortamın sıcaklığına göre değişir. Genelde adsorplanan madde miktarı sabit sıcaklıkta madde konsantrasyonunun fonksiyonu olarak tanımlanır ve adsorpsiyon izotermi ile yorumlanır. En önemli adsorpsiyon izotermi Freundlich, Langmuir, BET dir.

### FREUNDLICH IZOTERMI

Freundlich Izotermi denklem 2-1'in deneysel sonuçlara göre türetilmesidir.

$$q_e = x/m = K_f C^{1/n} \quad (2-1)$$

Burada  $x/m$  ( $q_e$ ) : Birim miktarda adsorbant üzerine biriken madde miktarı.

$C$  : Adsorpsiyon sonrası çözültide kalan adsorbat konsantrasyonu

$K_f$  : Ampirik sabit

$n$  : Ampirik sabit

Ampirik sabitleri  $x/m$ ' in  $C$ 'ye bağlı grafiği yardımıyla (Şekil 2-4) veya denklem 2-2 kullanılarak bulunur.

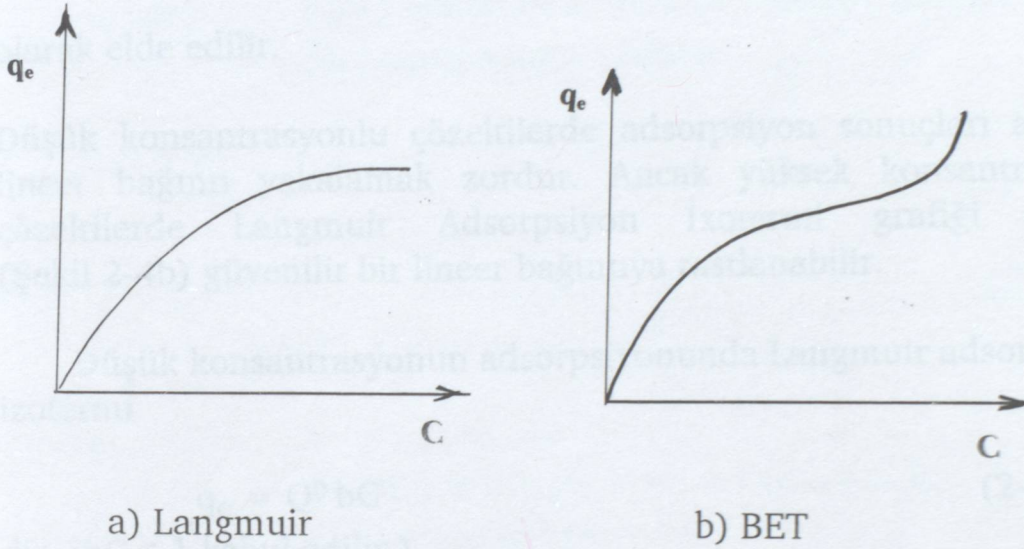
$$\log x/m = \log K_f + (1/n) \log C \quad (2-2)$$

$K_f$ ; Şekil 2-4' de  $C=1$ ' de eksenini kestiği değerdir ve kabaca adsorpsiyon kapasitesini verir,  $1/n$  ise Şekil 2-4'deki doğrunun eğimidir.

### LANGMUIR IZOTERMİ VE BET IZOTERMİ

Langmuir adsorpsiyon modeli ile BET modeli arasındaki fark Şekil 2-3 de görülmektedir.

Langmuir Adsorpsiyon Modeli Şekil 2-3 a'deki gibi tek katmanlı bir modeldir. Oysa BET'te (Şekil 2-3 b) adsorpsiyon katmanlarının sayısı birden fazladır ve herbirine Langmuir modeli uygulanabilmektedir.



Şekil 2-3 : Langmuir ve BET İzoterm Modellerinin Grafiklerle Kıyaslanması. (Schroeder,E.D.,1977)

LANGMUIR İZOTERMI :

Denklem 2-3 ile tanımlanır.

$$q_e = x/m = \frac{Q^0 b C}{1 + b C} \quad (2-3)$$

Burada ,  $x/m(q_e)$  : Birim miktarda adsorbant üzerine biriken madde miktarı,

$b$  : Ampirik sabit (Adsorpsiyon enerjisi veya net entalpi  $\Delta H$  ile ilgili sabit,  $b \propto e^{-\Delta H/RT}$ )



C : Adsorpsiyon sonrası çözültide kalan adsorbat konsantrasyonu,

$Q^0$  : Birim miktar adsorbant üzerinde tek katman oluşturmak için gereken mol sayısı.

Sabitlerin grafik yöntemiyle bulunabilmesi için denklem 2-3 yeniden düzenlenirse,

$$1/q_e = m/x = (1/Q^0) + (1/Q^0b)(1/C) \quad (2-4)$$

olarak elde edilir.

Düşük konsantrasyonlu çözültelerde adsorpsiyon sonuçları arasında lineer bağıntı yakalamak zordur. Ancak yüksek konsantrasyonlu çözültelerde Langmuir Adsorpsiyon İzotermi grafiği çizilirse (Şekil 2-4b) güvenilir bir lineer bağıntıya rastlanabilir.

Düşük konsantrasyonun adsorpsiyonunda Langmuir adsorpsiyon izotermi

$$q_e = Q^0 bC \quad (2-5)$$

dir. ( $bC \leq 1$  kabul edilir.)

Yüksek konsantrasyonların adsorpsiyonunda ise izoterm denklemini

$$q_e \cong Q^0 \quad (2-6)$$

olarak kabul edilebilir. ( $bC \geq 1$ )

Langmuir izotermi çözülmüş iki madde karışımına uygulanırsa denklem 2-7 ve 2-8 elde edilir.

$$\frac{C_1}{C_2 q_{e1}} = \frac{b_2}{b_1 Q_1^0} + \frac{C_1}{C_2 Q_1^0} \quad (2-7)$$

$$\frac{C_2}{C_1 q_{e2}} = \frac{b_1}{b_2 Q_2^0} + \frac{C_2}{C_1 Q_2^0} \quad (2-8)$$

- Burada;  $C_1, C_2$  : Adsorpsiyon sonrası çözültide kalan 1. ve 2. madde konsantrasyonu,  
 $Q^0, Q^0_2$  : Birim miktarda adsorbant üzerinde tek katman oluşturmak için 1. ve 2. maddeden gereken mol sayısı,  
 $b_1, b_2$  : 1. ve 2. çözülmüş maddelerin adsorpsiyonu için enerji veya net entalpi ile ilgili ampirik sabitler,  
 $q_{e1}, q_{e2}$  : Birim miktarda adsorbant üzerinde biriken 1. ve 2. çözülmüş madde miktarı.

### BET İZOTERMİ

$$q_e = x/m = \frac{B C Q^0}{(C_s - C) [1 + (B-1) (C/C_s)]} \quad (2-9)$$

Burada

- $C_s$  : Çözültinin doyumluk konsantrasyonu,  
 $C$  : Çözelti konsantrasyonu,  
 $B$  : Yüzeye geçiş enerjisi ile ilgili adsorpsiyon sabiti.  
 $x/m(q_e)$  : Birim miktarda adsorbant üzerine biriken madde miktarı,  
 $Q^0$  : Birim miktarda adsorbant üzerinde tek katman oluşturmak için gereken mol sayısı.

Denklem (2-9) yeniden düzenlenirse;

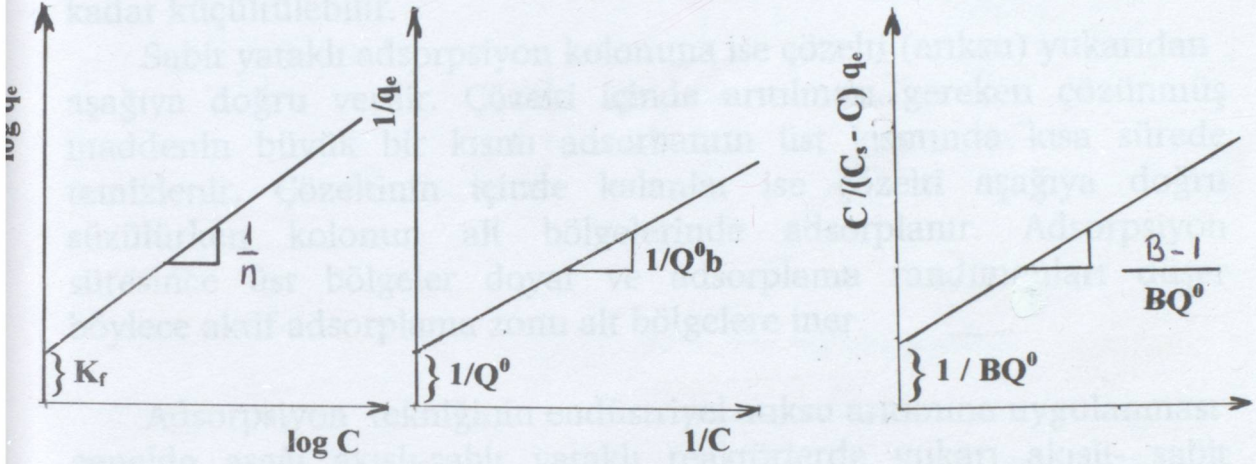
$$\frac{C}{(C_s - C) q_e} = \frac{1}{B Q^0} + \left( \frac{B - 1}{B Q^0} \right) (C/C_s) \quad (2-10)$$

olarak elde edilir.

BET İzoterminde şu kabuller yapılır :

- 1) Yüzeyde çok katlı adsorpsiyon oluşur.
- 2) Her katın oluşumu için gereken enerji aynıdır.

Denklem 2-2, 2-4, ve 2-10' grafik olarak çizilirse izoterm sabitleri bulunur (Şekil 2-4).



a) Freundlich

b) Langmuir

c) B.E.T.

Şekil 2-4 : Adsorpsiyon İzotermlerinin Grafiksiz Görünümü.

(Weber, 1972)

### 2.1.5.5.3. ADSORPSİYON SİSTEMLERİ ve SİSTEM TASARIMI

Son yıllarda daha kaliteli arıtılmış su istenmesi adsorpsiyon yönteminin arıtım teknikleri arasında daha çok kullanılmasını sağladı. Böylece değişik adsorbantlar kullanılarak anorganik maddelerin adsorpsiyonu araştırmacılarının çalışmaları arasında yer aldı.

Organik veya anorganik kirliliklerin arıtılmasında kullanılan adsorpsiyon yöntemi kesikli veya sürekli sistemlerde gerçekleştirilir.

Kesikli sistemde adsorbat kapsamındaki organik veya anorganik kirleticiler, istenilen limitlere ininceye kadar sistemde kalır ve adsorbant ile temas ettirilir. Böylece adsorpsiyon maksimum kapasitesine ulaşıncaya kadar sürer. Ancak su ve atıksu arıtımlarında kesikli sistemin kullanılması çok yaygın değildir. Bekletme süresi, su veya atıksu debisi dikkate alındığında gerekli tank boyutu çok büyük çıkmaktadır.

Sürekli Sistemde ise adsorbant , çözeltili ile sürekli temas

halindedir. Adsorpsiyon için gerekli temas süresi, çözeltinin konsantrasyonu dikkate alınarak belirlenir. Sürekli sistemde genelde akışkan yataklı veya sabit yataklı sistemler kullanılır.

Akışkan yatak sisteminde çözelti, reaktöre aşağıdan yukarıya doğru verilir. Bu nedenle adsorbantın tıkanma olasılığı yoktur, yük kaybı minimumdur. Böylece adsorbantın dane boyutu istenildiği kadar küçültülebilir.

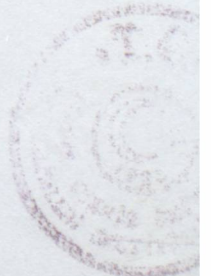
Sabit yataklı adsorpsiyon kolonuna ise çözelti (atıksu) yukarıdan aşağıya doğru verilir. Çözelti içinde arıtılması gereken çözünmüş maddenin büyük bir kısmı adsorbantın üst kısmında kısa sürede temizlenir. Çözeltinin içinde kalanlar ise çözelti aşağıya doğru süzülürken kolonun alt bölgelerinde adsorplanır. Adsorpsiyon süresince üst bölgeler doyar ve adsorplama randımanları düşer böylece aktif adsorplama zonu alt bölgelere iner.

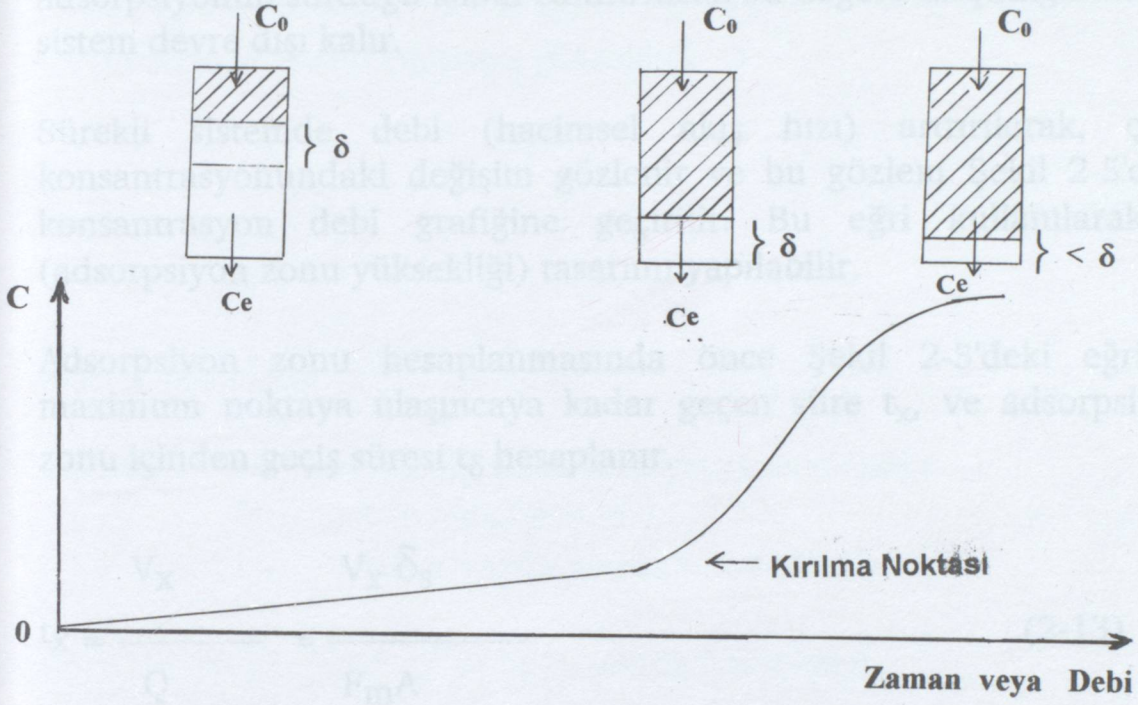
Adsorpsiyon tekniğinin endüstriyel atıksu arıtımına uygulanması genelde aşağı akışlı-sabit yataklı reaktörlerde yukarı akışlı- sabit yataklı reaktörlerde ve akışkan yataklı reaktörlerde gerçekleşmektedir. Üç reaktör tipinde de tasarım prensibi aynıdır. Atıksuyun içindeki çözünmüş madde adsorbant yatağı içinden geçirilerek yani sürekli olarak adsorbant ile temas ettirilerek adsorpsiyon gerçekleştirilir.

Sistemlerin hepsinde boyutlandırma Şekil 2-5 deki adsorpsiyon zonu yüksekliğinin değişimine bağlı olarak yapılır. Zamana göre veya debiye göre,  $C/C_1$  eğrisi çizilir ve sistemler bu eğride oluşan kırılma (dönüm) noktasına göre tasarlanır.

Adsorpsiyon zonu hareketi ile adsorpsiyon randımanı arasındaki ilişkinin verilmekte olduğu Şekil 2-5 de eğrinin eğiminin arttığı nokta "kırılma noktası" olarak isimlendirilir ve bu noktaya ulaşıldığında adsorbantın değiştirilmesi tavsiye edilir. Şekil 2-5 deki S eğrisine pek çok faktör etkili olur. Ancak "kırılma noktasının" daha erken oluşmasını etkileyen en önemli faktörler :

- \* Adsorbant dane boyutunun artması,
- \* Çözelti konsantrasyonunun artması,
- \* pH'nın yükselmesi,
- \* Akış hızının artması,
- \* Yatak derinliğinin azalması.





Şekil 2-5: Aşağı Akışlı Sabit Yataklı Reaktörlerde Adsorpsiyon Zonu Hareketi (Schroeder, E.D., 1977)

Bu tasarımda  $\delta$  aktif zon yüksekliği adsorpsiyonun randımanlı olarak gerçekleştiği adsorbant yatak kalınlığı olarak tanımlanır. Pratikte çıkış suyundaki çözülmüş madde konsantrasyonu  $C_e$ 'nin deşarj kriterlerine uygun olması istenir ancak boyutlandırma yapılırken giriş suyundaki madde konsantrasyonununun ( $C_i$ 'nin) %5'i olarak hesaplarda dikkate alınır.

$$C_e = 0,05 C_i \quad (2-11)$$

Denklem 2-11 deki giriş-çıkış suyu konsantrasyonları arasındaki oran adsorbant yatağının randımanlı olarak adsorpsiyonu sağladığının göstergesidir.

Bu oran denklem 2-12 deki değerine ulaşınca kadar

$$C_e = 0,95 C_i \quad (2-12)$$

adsorpsiyonun sürdüğü kabul edilir. Ancak bu değere ulaşıldığında sistem devre dışı kalır.

Sürekli sistemde debi (hacimsel akış hızı) artırılarak, çıkış konsantrasyonundaki değişim gözlenir ve bu gözlem Şekil 2-5'deki konsantrasyon debi grafiğine geçirilir. Bu eğri kullanılarak  $\delta$  (adsorpsiyon zonu yüksekliği) tasarımı yapılabilir.

Adsorpsiyon zonu hesaplanmasında önce Şekil 2-5'deki eğrinin maximum noktaya ulaşıncaya kadar geçen süre  $t_x$ , ve adsorpsiyon zonu içinden geçiş süresi  $t_\delta$  hesaplanır.

$$t_x = \frac{V_x}{Q} = \frac{V_x \delta_s}{F_m A} \quad (2-13)$$

$$t_\delta = \frac{V_x - V_k}{Q} = \frac{(V_x - V_k) \delta_s}{F_m A} \quad (2-14)$$

Denklem 2-13 ve 2-14'de

$V_x$  : Eğrinin maksimum noktaya ulaşmasına kadar reaktörden geçen sıvı hacmi

$V_k$  : Kritik noktaya ulaşıncaya kadar reaktörden geçen sıvı hacmi

$Q$  : Debi

$\delta_s$  : Akışkanın yoğunluğu

$A$  : Reaktör kesit alanı

$F_m$  : Akışkanın kütlesi

Adsorpsiyon zonunun reaktör içinde sabit hızla hareket ettiği varsayılırsa adsorpsiyon zonu yüksekliği  $\delta$  :

$$\delta = U_{\delta} \cdot t_{\delta} = \frac{H}{t_x - t_f} t_{\delta} \quad (2-15)$$

olarak tanımlanır.

Burada  $H$  : Toplam adsorbant yatak yüksekliği  
 $t_f$  : Zon oluşum süresi  
 $U_{\delta}$  : Adsorpsiyon zonunun hareket hızı

Zon oluşum süresi,  $t_f$ ,  $t_{\delta}$ ' ya bağlı olarak hesaplanır.

$$t_f = (1-f) t_{\delta} \quad (2-16)$$

burada,  $f$  adsorpsiyon zonunun kapasite sabitidir ve Şekil 2-5 deki eğrinin kırılma noktası ile maximum noktası arasında adsorpsiyon zonunda biriken madde miktarı  $X_x$  ile, adsorbant tarafından adsorplanabilecek maximum madde miktarı  $X_t$  arasındaki oran olarak hesaplanır.

Şekil 2-5'de taralı bölge,  $X_x$ 'in grafiksel integralidir ve Denklem 2-17' deki gibi formüle edilir.

$$X_x = \int_{V_k}^{V_x} (C_i - C) dV \quad (2-17)$$

Adsorbantın adsorplayabileceği madde miktarı,  $X$ , aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$X = (V_x - V_k) \cdot C_i \quad (2-18)$$

Denklem 2-17 ve 2-18 deki eşitlikler oranlanırsa  $f$ , adsorpsiyon zonu kapasite sabiti hesaplanır.

$$f = \frac{\int_{V_k}^{V_x} (C_i - C) dV}{(V_x - V_k) C_i} \quad (2-19)$$

Denklem 2-19 düzenlenirse ;

$$f = \int_0^1 \left( 1 - \frac{C}{C_i} \right) d \left( \frac{V - V_k}{V_x - V_k} \right) \quad (2-20)$$

Şekil 2-5 incelendiğinde denklem 2-20 'nin eğrinin üzerinde kalan alandan hesaplanan bir integral olduğu görülmektedir.  $f$ , 1'e yaklaşırken  $t_f$ 'nin 0'a yaklaştığı denklem 2-19 ve 2-20'den görülmektedir ve bu değerde akış şartları ideal akış şartıdır.

Oysa  $f$  0'a yaklaşırken sistem grafiği kırılma noktasını vermektedir. Bu adsorpsiyon zonu içerisinde kanallanmanın olduğunun ya da adsorbantın doyduğunun belirtisidir.

Adsorpsiyon zon yüksekliği yeniden yazıldığında

$$\delta = \frac{H(V_x - V_k)}{V_k + f(V_x - V_k)} \quad (2-21)$$

bulunur. Toplam adsorpsiyon kapasitesi,  $S$  aşağıdaki denklem ile tanımlanabilir.

$$S = (x/m)_{C_i} \delta_p [(H - \delta) + f\delta] \quad (2-22)$$



Burada,

$S$  : Denge durumunda, birim kesit alanda adsorplanan madde miktarı

$(x/m)_{Ci}$  :  $C_i$  konsantrasyonlu çözeltiden birim ağırlıktaki adsorbant üzerine adsorplanan madde miktarı

$\delta_p$  : Adsorbantın yoğunluğu

Kütle-transfer oranı ifade edilmek istenirse

$$F_m \frac{dC}{dy} = ka (C-C_e) \quad (2-23)$$

Burada,

$d_y$  : Adsorbantın differansiyel yatak yüksekliği

$k$  : Kütle transfer sabiti

$a$  : Adsorbantın birim hacimdeki yüzey alanı

$C_e$  : Adsorpsiyon sonrası çözelti konsantrasyonu

Denklem 2-23 düzenlenirse;

$$\frac{ka}{F_m} dy = \frac{dC}{C-C_e} \quad (2-24)$$

halini alır. Her iki tarafın integrali alınırsa;

$$\int_0^y \frac{ka}{F_m} dy = \int_{C_k}^C \frac{dC}{C-C_e} \quad (2-25)$$

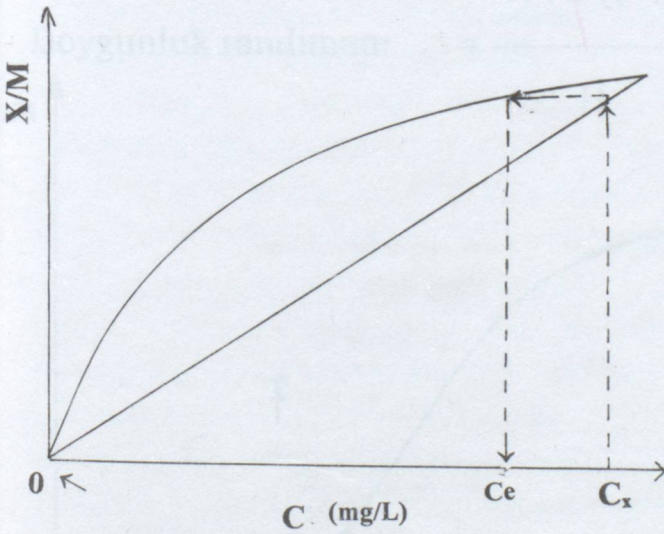
$$y = \frac{F_m}{ka} \int_{C_k}^C \frac{dC}{C-C_e} \quad (2-26)$$

Denklem 2-26 adsorpsiyon zon yüksekliğine bölünürse;

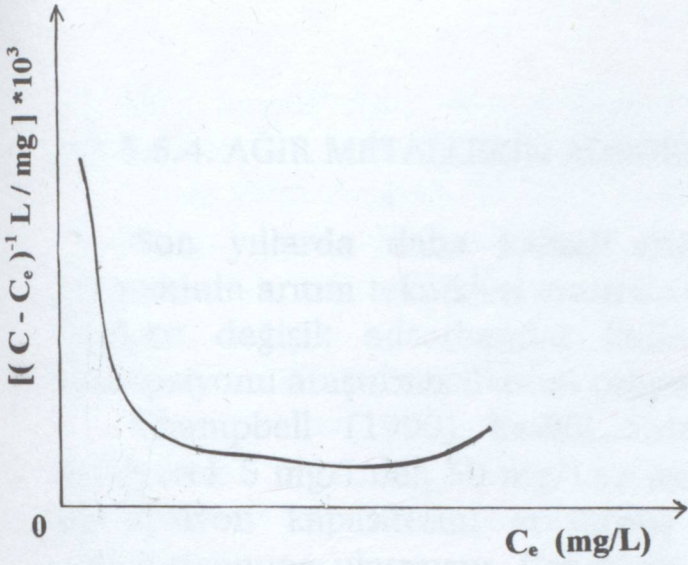
$$\frac{y}{V-V_k} = \frac{f^C}{C_k} \frac{dC}{C-C_e} \quad (2-27)$$

$$\delta = \frac{V_x-V_k}{C_k} \frac{f^{C_x}}{C-C_e}$$

Denklem 2-26'nın hesaplanabilmesi için adsorpsiyon sisteminin izoterm eğrisi (Şekil 2-6) çizilir. Şekil 2-6 yardımıyla çizilen Şekil 2-7'nin, grafiksel integrasyonu hesaplanır ve sonuç Denklem 2-27' de yerine konur.



Şekil 2-6 : Adsorpsiyon Sistemi İzoterm Eğrisi



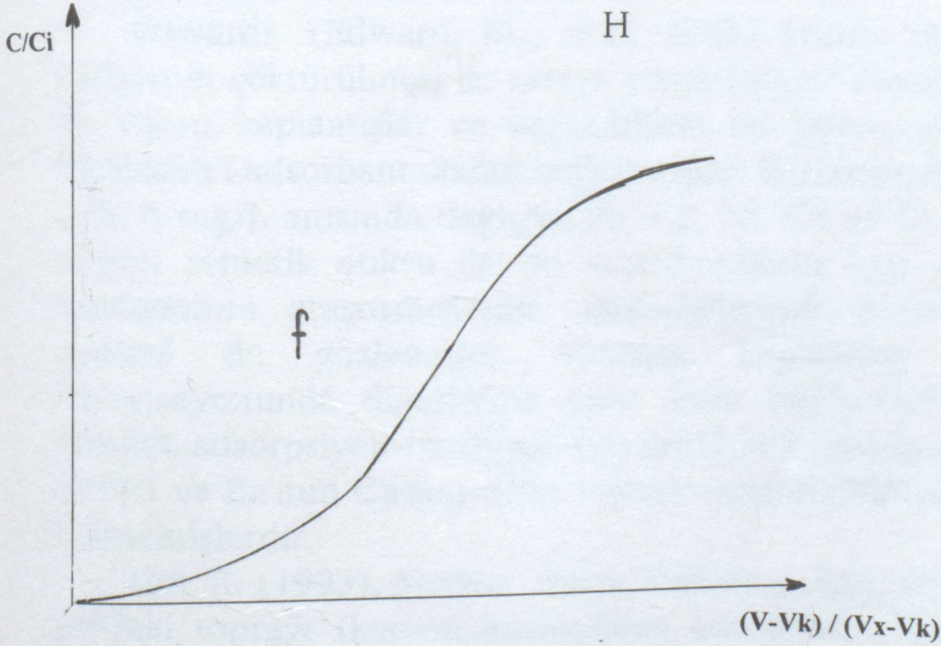
C

Şekil 2-7 :  $\int_{C_k}^C (C - C_e)^{-1} dC$  Değerinin Grafiksel İntegrasyonu

$C_k$

Şekil 2-8 Denklem 2-27 kullanılarak çizilir ve grafiksel integrasyonu alınırsa  $f$  adsorpsiyon zonu sabiti bulunur ve Denklem 2-28 'deki doygunluk randımanı hesaplanabilir.

$$\text{Doygunluk randımanı} = \frac{H+S (f-1)}{H} \times 100 \quad (2-28)$$



Şekil 2-8 : Adsorpsiyon Zonu Sabiti  $f$ 'nin Bulunuşu

#### 2.1.5.5.4. AĞIR METALLERİN ADSORPSİYONLA ARITIMI

Son yıllarda daha kaliteli arıtılmış su istenmesi adsorpsiyon yönteminin arıtım teknikleri arasında daha çok kullanılmasını sağladı. Böylece değişik adsorbantlar kullanılarak anorganik maddelerin adsorpsiyonu araştırmacılarının çalışmaları arasında yer aldı.

Champbell (1990), kesikli sistemde farklı fungus türlerini deneyerek 5 mg/L'den 50 mg/L'ye kadar Cd'a sahip sentetik atıksuda adsorpsiyon kapasitesini araştırmış ve *A. Niger* ile % 90 Cd adsorpsiyonuna ulaşmıştır. Çalışması sırasında *Mucor*, *Cladosporium* *Aspergillus*, *Penicillium* gibi fungusları da deneyen araştırmacı bunların Zn, Pb, Ni, Cu gibi ağır metallerle karşı dayanımlı olduklarını, bu metallerin olduğu ortamda zor ve yavaş da olsa büyüebildiklerini ancak 10 gün süresince Cd çözeltisi ile temas edenler arasında *Aspergillus*'un Cd'umu % 80, *penicillium*'un % 33,6 adsorpladığını *Cladosporium*'un ise adsorplayamadığını belirlemiştir. Aynı araştırmacı sürekli sistemde yaptığı çalışmada biokütlenin sürekli sistem çıkış suyu ile birlikte sistemi terk ettiğini, bunun filtre sistemiyle önlenebileceğini ancak filtrasyonun çok uzun süre aldığını tesbit etmiştir. Bu nedenle araştırmacı ağır metallerin geri kazanımında sürekli sistemi önermemektedir.

Edwards (Edward, M., *et al*, 1989) arıtma tesislerinde demir tuzlarının çöktürülmesi ile ortaya çıkan (amorf demiroksit) ferrihidrit ile kumu kaplamışlar ve kapladıkları bu kumu, normal kumu ve ferrihidrit'i adsorbant olarak kullanmışlar. Başlangıç konsantrasyonları 2 ile 5 mg/L arasında değişen, Pb, Cu, Ni, Cd ve Cr III karışımından oluşan sentetik atıksu ile bu adsorbantların ayrı ayrı adsorpsiyon randımanını araştırmışlardır. Denemelerinde pH'nın adsorpsiyona etkisini de gözlemişler, sonuçta kaplanmış kumun metal adsorpsiyonunda diğerlerine göre daha randımanlı olduğunu, pH arttıkça adsorpsiyon randımanının arttığını metal karışımı içinden Cd (%89) ve Zn'nun Cu'dan daha yüksek randımanda adsorbe olduğunu belirlemişlerdir.

Gül, R. (1993), Maden Bakır Fabrikası katı atıklarının yığıldığı yerdeki toprağı (katyon adsorplama kapasitesi 11,08 meg/100g ve yoğunluğu 1,30 g/cm<sup>3</sup>, pH'sı 8,5 olan toprağı) adsorbant olarak kullanmış, böylece yağış etkisi ile çözünen ağır metalin bu topraktan geçerken ne kadarının adsorplandığını, ne kadarının yeraltı suyuna

sızdığını belirlemiştir. Bu araştırmada 105 günlük deneme süreci sonunda 20 cm kalınlığında 4 kg toprağın Cu ve Mn'nin % 100'ü Zn, Co, Ni ve Fe'in sırasıyla % 74'ü, % 80, % 81 ve % 82'sinin toprakta adsorplandığı ancak Cd'un 40 cm (8kg) kalınlığındaki toprakta dahi tutulmadan tamamının yeraltısuyuna karıştığı belirlenmiştir.

İleri, R. ve arkadaşları (1993) ise Ölü Rhizopus Arrhizus biokütlesini kullanarak, hazırladıkları sentetik etüksudan (pH:5,5) ağır metal adsorplamışlar. Kullandıkları biyokütlenin doygunluk kapasitesini 50 mg Cu(II)/g. kuru biyokütle, 20 mg Zn (II)/g kuru biyokütle, 33 mg Pb (II)/g kuru biyokütle, 10 mg Mn (II)/g biyokütle olarak belirlemişler.

Banarjee (Benarjee, K., *et al*, 1992) % 1,9 karbon kapsayan, yoğunluğu 2,41 yüzey alanı 2,90 m<sup>2</sup>/g olan uçucu külü petrol endüstrisi atığı olan anorganik tuzların adsorpsiyonunda kullanmışlar ve anorganik tuz konsantrasyonunu artırarak adsorpsiyon kapasitesinin arttığını tesbit etmişler.

## 2.2. KOMPOST ÜRETİMİ, ÖZELİKLERİ, ARITMADA KULLANIMI

Son yıllarda özellikle Türkiye'de, katı atığın depolanması için gereken arazinin giderek azalması, yanlış depolama nedeniyle doğan kazaların artması, katı atığın ortadan kaldırılması sorununa çözüm olarak yakma, kompostlama gibi yöntemlerin uygulanabilirliğini arttırdı.

Bu yöntemlerden kompostlama, kalifiye eleman istememesi, karmaşık, ileri teknik gerektiren makinalara gereksinim duymaması nedeniyle tercih edilir olmuştur.

Kompostlama tekniğinin katı atık uzaklaştırma yöntemi olarak doğru bir seçim olması :

- \* Toplanan katı atığın kompozisyonuna
- \* Ve toplama yöntemine bağlıdır.

Katı atığın toplandığı bölgenin sosyo - ekonomik yapısı kompozisyonunu, etkilemektedir. Bu parametrelerin tümü kompostlama sonucunda elde edilen ürünün (kompost'un) kalitesini değiştirmektedir. Amerika'da kişi başına üretilen katı atığın 1,4 kg/gün iken, bu oran Hindistan'da 0,4 kg/gün'e düşmektedir. Çöpün

yoğunluğu Avrupa'da gelişmiş ülkelerde 0,25 iken gelişmekte olan ülkelerde 0,50'ye ulaşmaktadır. Bunun nedeni gelişmekte olan ülkelerde çöpün içinde % 40-75 oranında kül, curuf ve anorganik partiküllerin bulunmasıdır. (Levasseur J.P., 1984)

### 2.2.1. KOMPOSTLAMA

Kompostlama basit olarak aşağıdaki bağıntı ile açıklanabilir.

Fermente edilebilen organik atık + O<sub>2</sub> → stabil haldeki organik atık (kompost) + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + ISI

Kompostlama işlemi süresince verilecek oksijen biyolojik aktivitenin gerçekleşmesini ve CO<sub>2</sub> ile ısının açığa çıkışını sağlayacaktır. Kompostlamanın tamamlanmasında bakteriler, mantarlar ve "actynomic" ler önemli rol oynar. Yani kompostlama işleminin başarıyla sonuçlanması bu mikroorganizmaların aktivitelerine bağlıdır.

Çöpün nem oranı bakterilerin başarıya ulaşmasında oksijenden sonra en önemli etkidir. Çünkü bakteriler yarı geçirgen dış hücre zarlarından içeriye sadece çözünmüş haldeki maddeleri absorblarlar. Bu nedenle metabolizmalarının etrafında nemli bir bölge bulunmalıdır. Kompostlama için optimum nem oranı % 50-65 arasında olmalıdır. (Mooss, H., 1980)

C/N oranı ise kompostlama için bir başka önemli faktördür. Bu oran kompostlama öncesinde % 25-40 arasında değişebilir.

İyi bir kompost elde etmenin bir başka koşulu ise toplanan çöpün içinde cam, metaller, plastikler gibi materyallerin kompostlama işleminden önce çöpten ayklanmasıdır. Bunun için, kompost üretim ünitesi öncesine parçalayıcılar, ızgaralar, materyalleri ağırlığına göre ayırmaya yarayan balastik ayırıcılar (cam gibi ağır inert malzemeler için), manyetik ayırıcılar (metal parçalarının çöpten ayrılması için) gibi özel makinalar yerleştirilebilir. Bu materyallerin ayrıştırılmasında daha etkin bir yöntem ise çöpün kaynağında ayklanmasıdır.

Genelde iki yöntemle kompost üretilmektedir:

- 1) Yavaş Fermantasyon
- 2) Hızlandırılmış Fermantasyon

Yavaş Fermantasyon : Bu teknik ön ayıklamadan geçen çöpün, eğimi, yüksekliği sabit yığınlar halinde istiflenmesidir. Bu yığınlar kepçe ile periyodik olarak alt üst edilir. Böylece kompost oluşması için gereken hava ile çöpün teması sağlanmış olur. Kompostun olgunlaşması bu yöntemle ortalama 3 ayda gerçekleşir.

Hızlandırılmış Fermantasyon : Bu yöntemde çöp fermantasyon silolarına konur. Kompostlama için gereken nem oranı ve havalandırma gelişmiş makinalarla kontrol altında tutulur. Bu tesislerde karmaşık fermantasyon prensiplerinin olmasına karşın üretilen kompostun kalitesinin oldukça yüksek olması, sistemin işleyişinin kolay oluşu ve kompost olgunlaşma süresinin 8 ~ 10 gün gibi kısa oluşu hızlandırılmış fermantasyon yönteminin önemli avantajlarıdır.

#### 2.2.2. ARITMADA KOMPOST KULLANIMI

Günümüzde toprak iyileştirici ve dolgu malzemesi olarak kullanılan kompostun üretim amacı, çöpün çevreye zarar vermeyecek bir forma dönüşmesi idi. Kompost, son yıllarda üretim amacının yanısıra değişik alanlarda da kullanılmaya başlandı. Fan (1989) yaptığı bir çalışmada kompostu bira endüstrisi atıksularını anaerobik sistemde arıtmak için kullandı. KOI'si 24.000 mg/L olan atıksu bu araştırmada 1/4 oranında seyreltilmiş, içinde 500 kg/m<sup>3</sup> yoğunluklu kompost bulunan reaktöre farklı debilerle (8,16,20,36 L/gün) verildi. NaCO<sub>3</sub> ile pH'sı ayarlanan atıksu anaerobik olarak % 99 oranında arıtıldı, çıkış suyunda KOI 60 mg/L'ye düştüğü tesbit edildi, deneyler sonucunda Shulze denklemi

$$S_e/S_0 = \exp (-1,3835 DQ^{-0,5873}) \text{ bulundu.}$$

Fan (1989) çalışmasında aktif çamur, damlatmalı filtre gibi konvansiyonel arıtma sistemlerinin yerine anaerobik arıtımın seçilmesini ekonomik, daha uzun hidrolik bekletme süresine sahip bir sistem olmasına bağlamaktadır. Kompost kullanılarak KOI giderimi sağlayan Fan çalıştığı sistemin biyolojik parçalama kapasitesinin yüksek olduğunu rapor etmektedir.

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu araştırmada endüstri atıksularında en çok rastlanan ağır metallere Cu ve Cd'nin adsorplanabilirliği araştırıldı ve adsorbant olarak Kompost kullanıldı.

Araştırmalarda, ağır metalleri kirletici olarak çevreye veren endüstrilerin atıksularında Cu ve Cd konsantrasyonunun genelde 10 ppm'in altında olduğu belirlendi.

Bu çalışmada;

- \* Önce kompost'un ağır metalleri ne oranda adsorplayabileceğinin araştırılması planlandı.
- \* Kompost'un adsorplama randımanını araştırmak için farklı konsantrasyonlardaki Cu ve Cd'nin eşit şartlarda kompost ile teması düşünüldü. Bu çalışmaya göre kompost'un adsorpsiyon karakterini belirleyici Langmuir ve Freundlich İzoterm eğrilerinin çıkartılması planlandı.
- \* Atık çamur miktarını en düşük seviyede tutmak amacıyla, her iki ağır adsorplayacak minimum kompost miktarının belirlenmesinin araştırılması planlandı.
- \* Her iki metalin kompost üzerine adsorpsiyonu esnasında metallere birbirlerini ne denli etkilediklerinin, adsorpsiyonda seçicilik sıralarının nasıl olduğunun araştırılması planlandı.
- \* Bu aşamadan sonra, atıksuların endüstrilerden sürekli deşarj edildikleri düşünülerek, adsorpsiyon işleminin sürekli sistemde sürdürülmesi düşünüldü.

Bu denemelerde sürekli sistem debisi değiştirilerek debinin adsorpsiyona etkisinin belirlenmesi hedeflendi. Reaktörlerden geçirilen atıksuyun içindeki ağır metal konsantrasyonlarının istenilen deşarj kriterlerine düşürülmesi için reaktörde bekleme sürelerinin tesbiti planlandı.

Deneysel çalışmalar İSKİ Feriköy Atıksu Ruhsat ve Denetim Daire Başkanlığı'na bağlı Atıksu Laboratuvarında yapıldı. Deney düzenekleri bu laboratuvarında kuruldu ve ölçümler aynı laboratuvarında gerçekleştirildi. Ağır metal ölçümlerinde 2380 Perkin Elmer modeli Atomic Absorption Spectrophotometer kullanıldı.



Çözeltideki ağır metal konsantrasyonları A.A.S.'de iki yöntemle belirlenmektedir. Bu yöntemler :

1. Alev Fotometri
2. Elektro-Termal Atomlaştırma (Grafit Fırın)

0.1 ppm'den yüksek metal konsantrasyonlu çözeltiler Alev Fotometri yöntemi ile, 0.1 ppm.'den düşük konsantrasyondaki ağır metaller ise Elektro-Termal Atomlaştırma (Grafit Fırın) yöntemi ile tesbit edilmektedir. Bu çalışmada kullanılan ağır metal konsantrasyonu 0.1 ppm.'den yüksek olduğundan, çözeltideki ağır metal konsantrasyonunun tesbitleri Alev Fotometri yöntemi ile yapıldı. Alev Fotometri ile yapılan ölçümlerde cihazın okuma hatasını belirlemek için konsantrasyonu bilinen standart çözeltilerle bir ön çalışma yapıldı. Bu çalışmaya göre Cu ve Cd tesbitlerinde A.A.S.'den kaynaklanabilecek maksimum hatanın  $\pm$  % 5 olduğu belirlendi.

### 3.1. DENEYLERDE KULLANILAN ADSORBANT' IN ÖZELLİKLERİ

Bu araştırmada adsorbant olarak, günde 8 saatlik çalışma süresinde 500 ton çöp işleme kapasitesine sahip İzmir Harmandalı Çöp Tesislerinde üretilen Kompost kullanıldı. Kompost'un analizleri TÜBİTAK Enstrümantal Analiz laboratuvarında ve YTÜ. Kimya laboratuvarında yapıldı. Bu analizlerin sonuçları Tablo 3-1 de birlikte verildi. Denemelerde kullanılan kompostun C/N oranınının 19.56 olması Erdin'e (1986) göre kompostun olgunlaşma sürecini tamamlamış üründen seçildiğini göstermektedir.

Tablo 3-1 : Denemelerde Kullanılan Kompost'un Özellikleri

Parametre	Analiz Sonuçları
Karbon %	18.39 (T)
Hidrojen %	1.65 (T)
Nitrojen %	0.94 (T)
C/N oranı	19.56 (T)
Su Miktarı %	21 (Y)
Organik Md %	38-44 (Y)

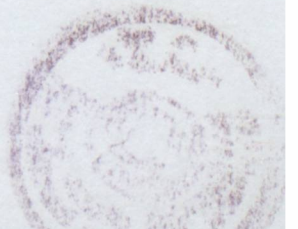
(T) : TÜBİTAK'da yapılan elemental analiz sonuçları

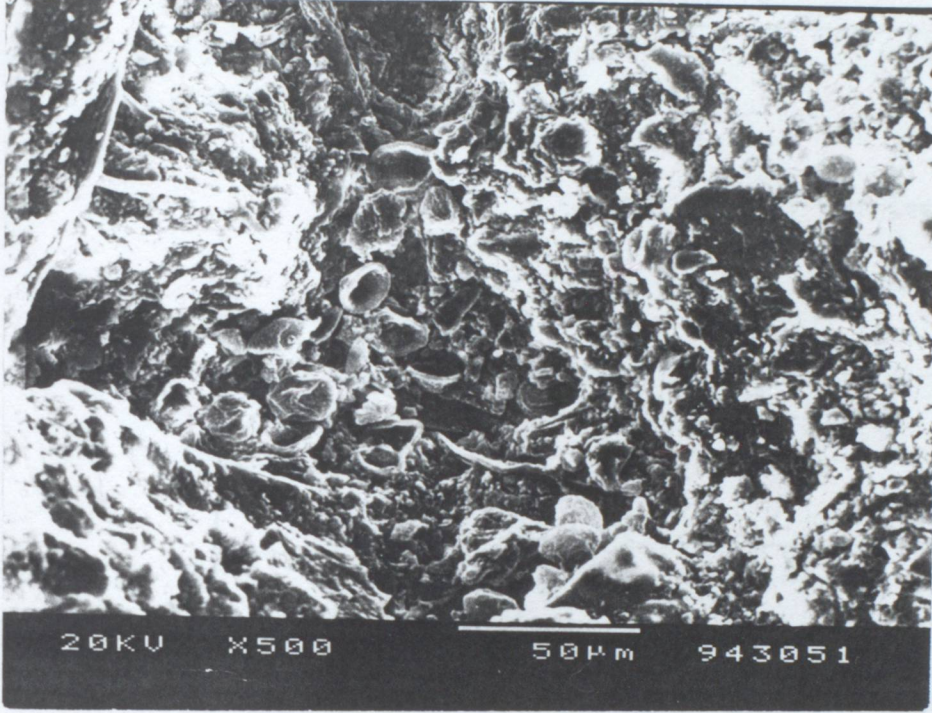
(Y) : YTÜ.'de yapılan analiz sonuçları

Denemelerde uniform bir malzeme kullanabilmek için kompost, elek açıklıkları daire şeklinde DIN 1045 normundaki eleklerden elendi. Bu çalışmada 3 no.lu ( $\emptyset$  3mm) ve 7 no'lu ( $\emptyset$  7mm) elekler arasında kalan malzeme kullanıldı. Denemelerde Tablo 3-1'de özellikleri verilen kompostun Cu ve Cd adsorplama randımanı ve doygunluk değeri araştırıldı.

Stuttgart Max Planck Araştırma Enstitüsü ve İTÜ SEM laboratuvarlarındaki elektronmikroskoptan yararlanılarak denemelerde kullanılan kompostun yüzeyi büyütülerek görüntülendi (Şekil 3-1) ve görüntülenen yüzeyin elemental analizleri yapıldı. (Şekil 3-2, Tablo 3-2).

Görüntülenen yüzeyin farklı bölgelerinde yapılan ve Şekil 3-2'de sonuçları verilen analizlerde adsorbant olarak kullanılan kompostta genelde Fe, Si, Ca, Al gibi elementlere eser oranda da Mg, Ni, Zn, K gibi elementlere rastlandı.





Şekil 3 - 1 : Kompost Yüzeyinin Elektronmikroskop Fotoğrafi.

### 3.2. DENEY SİSTEMLERİ

Ağır metallerin kompost ile adsorpsiyonunu gözlemek için gereken deneysel çalışmalar iki ayrı deney düzeneği ile gerçekleştirildi. Bunlar :

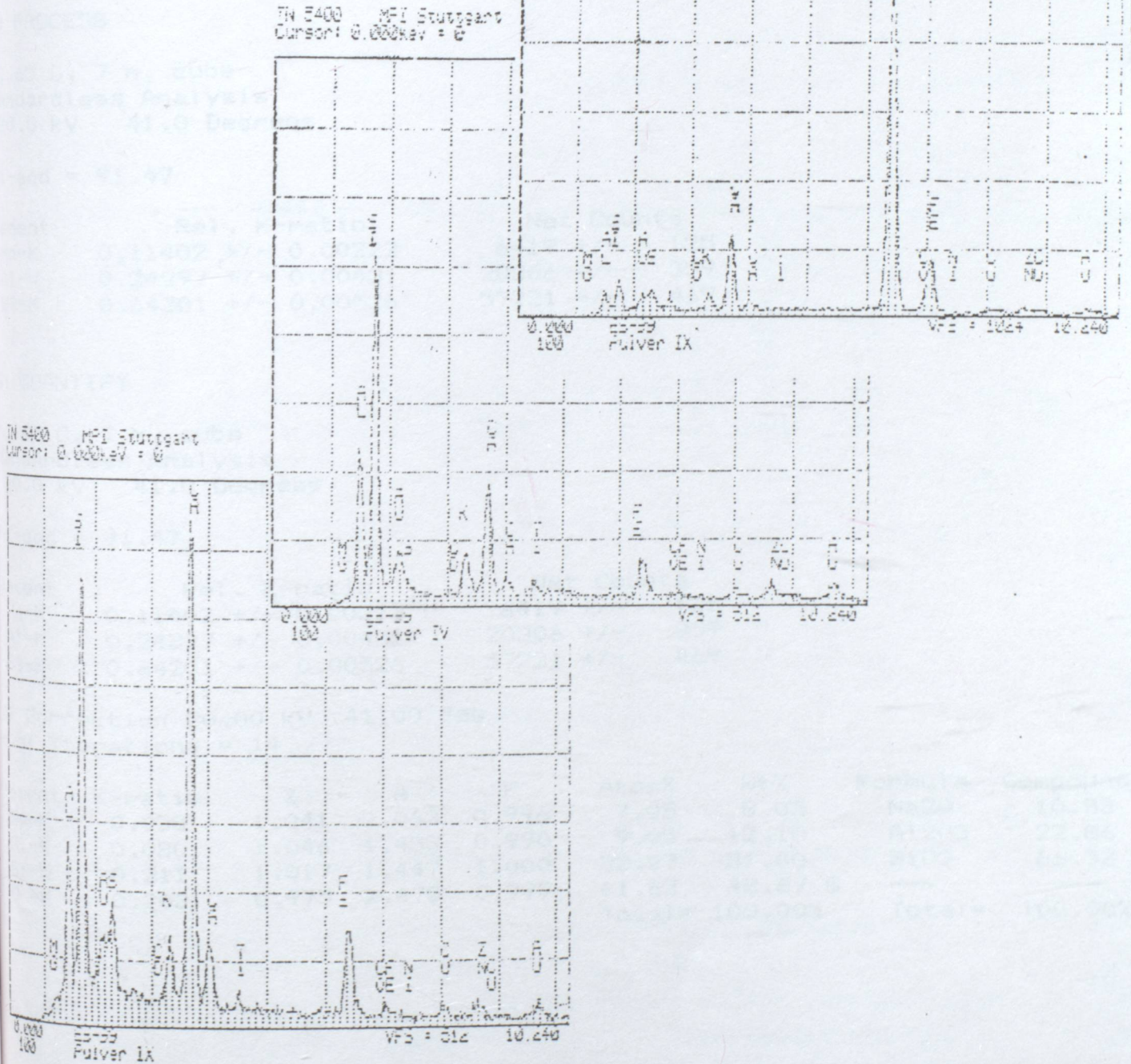
- \* Kesikli Sistem (Sürekli Sistem) ve
- \*\* Sürekli Sistem'dir.

#### 3.2.1. KESİKLİ SİSTEM

Kesikli sistem, karıştırma düzenekleri aynı anda ve aynı karıştırma hızında çalışan 2L'lik üç reaktörden oluşmaktadır. Şekil 3-3' deki şemada görülen her reaktörde, eşit konsantrasyonlardaki ağır metal çözeltisi eşit miktarlardaki kompost ile temas ettirildi. Denemeler oda sıcaklığında (20~22 °C'de) sürdürüldü.



Şekil 3 - 2 : Kompozitli Elektron Mikroskopta Elemanal Sönucian



Şekil 3 - 2 : Elektronmikroskopta Büyütülmüş Yüzeyin Elemental Analizi.

Tablo 3 - 2 : Kompost'un Elektronmikroskop Elemental Analiz Sonuçları

Q: PROCESS

, 65 C, 7 h, cube  
Standardless Analysis  
20.0 kV 41.0 Degrees

hi-sqd = 91.47

Element	Rel. K-ratio	Net Counts
Na-K	0.11402 +/- 0.00222	6419 +/- 125
Al-K	0.24397 +/- 0.00431	20306 +/- 359
Si-K	0.64201 +/- 0.00526	57221 +/- 469

Q: QUANTIFY

, 65 C, 7 h, cube  
Standardless Analysis  
20.0 kV 41.0 Degrees

hi-sqd = 91.47

Element	Rel. K-ratio	Net Counts
Na-K	0.11402 +/- 0.00222	6419 +/- 125
Al-K	0.24397 +/- 0.00431	20306 +/- 359
Si-K	0.64201 +/- 0.00526	57221 +/- 469

AF Correction 20.00 kV 41.00 deg  
No. of Iterations = 14

Element	K-ratio	Z	A	F	Atom%	Wt%	Formula	Compound
Na-K	0.038	1.041	2.063	0.996	7.05	8.03	Na2O	10.83
Al-K	0.080	1.046	1.453	0.990	9.05	12.10	Al2O3	22.86
Si-K	0.211	1.017	1.447	1.000	22.27	31.00	SiO2	66.32
O-K	0.203	0.975	2.475	0.999	61.63	48.87	---	---
Total=						100.00%	Total=	100.00%

Kesikli sistemindeki denemelerde aşağıda belirtilen maddelere uyuldu:

1) Metalik Cu ve metalik Cd'nin 1000 ppm'lik stok çözeltiler Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1985) kullanılarak hazırlandı.

2) Deneylerde yerli olan değişik konsantrasyonlarda selenyumların (5ppm-10ppm) hazırlanmasında bu stok çözeltiler kullanıldı.

3) Hazırlanan çözeltilere pH'ları düzenli olarak ölçüldü. Çözelti süzülme işlemi için 0,45 mikrometreli filtreler kullanıldı.

4) Sistemdeki reaksiyon hacimlerinde en uygun sonuçları elde etmek için 50 ml'lik reaksiyon hacimlerinde 50 ml'lik çözelti kullanıldı.

5) Sistemdeki reaksiyon hacimlerinde en uygun sonuçları elde etmek için 50 ml'lik çözelti kullanıldı.

6) Sistemdeki reaksiyon hacimlerinde en uygun sonuçları elde etmek için 50 ml'lik çözelti kullanıldı.

7) Sistemin hazırlanmasında Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1985) kullanıldı.

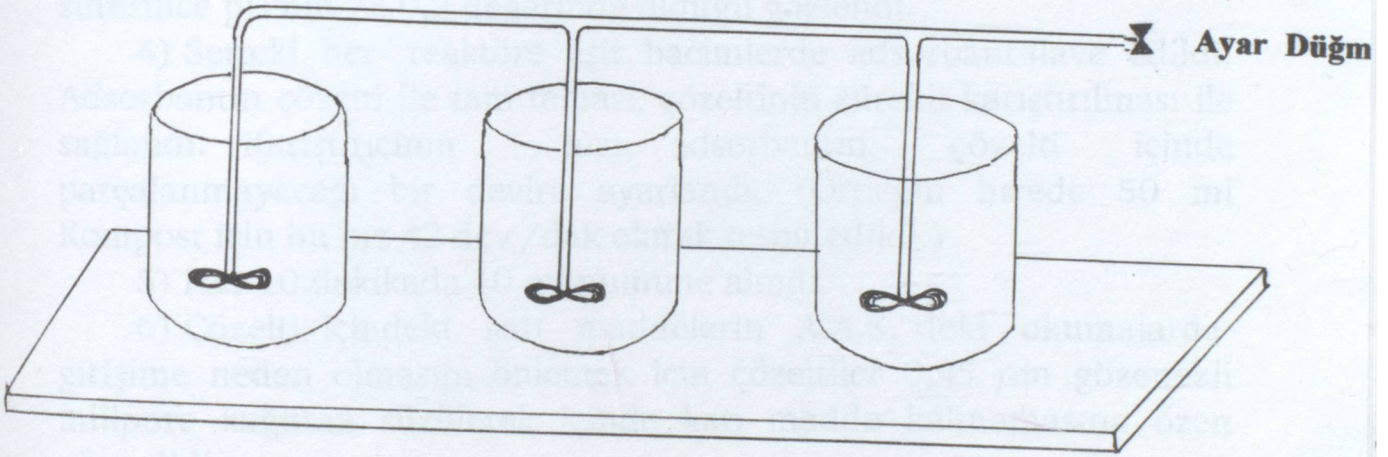
8) Sistemdeki reaksiyon hacimlerinde en uygun sonuçları elde etmek için 50 ml'lik çözelti kullanıldı.

9) Sistemdeki reaksiyon hacimlerinde en uygun sonuçları elde etmek için 50 ml'lik çözelti kullanıldı.

10) Sistemdeki reaksiyon hacimlerinde en uygun sonuçları elde etmek için 50 ml'lik çözelti kullanıldı.

11) Sistemdeki reaksiyon hacimlerinde en uygun sonuçları elde etmek için 50 ml'lik çözelti kullanıldı.

12) Sistemdeki reaksiyon hacimlerinde en uygun sonuçları elde etmek için 50 ml'lik çözelti kullanıldı.



Şekil 3-3: Kesikli Sistemin Şematik Görünümü.

Kesikli Sistemdeki denemelerde:

- \* Her iki ağır metal için farklı kompost miktarlarında araştırma yapıldı.
- \* Her iki metal için çözeltinin konsantrasyonu değiştirilerek kompostun adsorplama randımanı araştırıldı.
- \* Ağır metal cinsine göre adsorplama randımanı belirlendikten sonra adsorplama doygunluğunu (adsorplayabileceği maksimum ağır metal miktarını) bulabilmek için sistem ardışık olarak beslendi.

Kesikli sistemdeki denemelerde aşağıda belirtilen sıralamaya uyuldu:

1) Metalik Cu ve metalik Cd'dan 1000 ppm'lik stok özelti Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1985) kullanılarak hazırlandı.

2) Deneylerde gerekli olan değişik konsantrasyondaki numunelerin (5ppm.-10ppm) hazırlanmasında bu stok çözelti kullanıldı.

3) Hazırlanan özelti pH'ları düzenli olarak ölçüldü. Çalışma süresince pH'nın  $7 \pm 0.2$  değerinde olduğu gözlemlendi.

4) Setteki her reaktöre eşit hacimlerde adsorbant ilave edildi. Adsorbantın özelti ile tam teması, çözeltinin sürekli karıştırılması ile sağlandı. Karıştırıcının hızı; adsorbantın, çözelti içinde parçalanmayacağı bir devire ayarlandı. (Örneğin litrede 50 ml Kompost için bu hız 42 dev /dak olarak tesbit edildi.)

5) Her 10 dakikada 10 ml numune alındı.

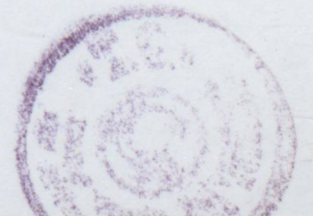
6) özelti içindeki katı maddelerin A.A.S.'deki okumalarda girişime neden olmasını önlemek için çözelti 0,45  $\mu\text{m}$  gözenekli milipore kağıttan süzülerek içinde katı madde kalmamasına özen gösterildi.

7) Süzölen numuneler Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1985)'de belirtilen numune hazırlama yöntemine uyularak  $\text{HNO}_3$  ile asitlendirildi. Bu numuneler, hazırlanan 1ppm, 3ppm, 5ppm, 8ppm ve 10 ppm'lik standart çözelti ile birlikte A.A.S de Alev Fotometresinde okundu.

8) A.A.S.'de okunan değerler konsantrasyona çevrilerek 4.kısımda görölen, zamana göre ağır metal konsantrasyonundaki değişim grafiklerine işlendi.



Şekil 3-4 : Kesikli Sistem Çalışma Düzenneği





### 3.2.2. SÜREKLİ SİSTEM

Denemeler Kesikli Sistemin ardından Şekil 3-5 de şematik görünümü verilen sürekli sistem ile sürdürüldü. Bu sistem :

\* 1,45 m x 0,60 m x 0,60 m boyutlarında fiberglass'dan yapılmış 500L kapasiteli çözelti hazırlama tankı,

\* Çapı 0,16 m, yüksekliği 0,46 m olan, 8,050 L kapasiteli fiberglass'dan yapılmış reaktörler,

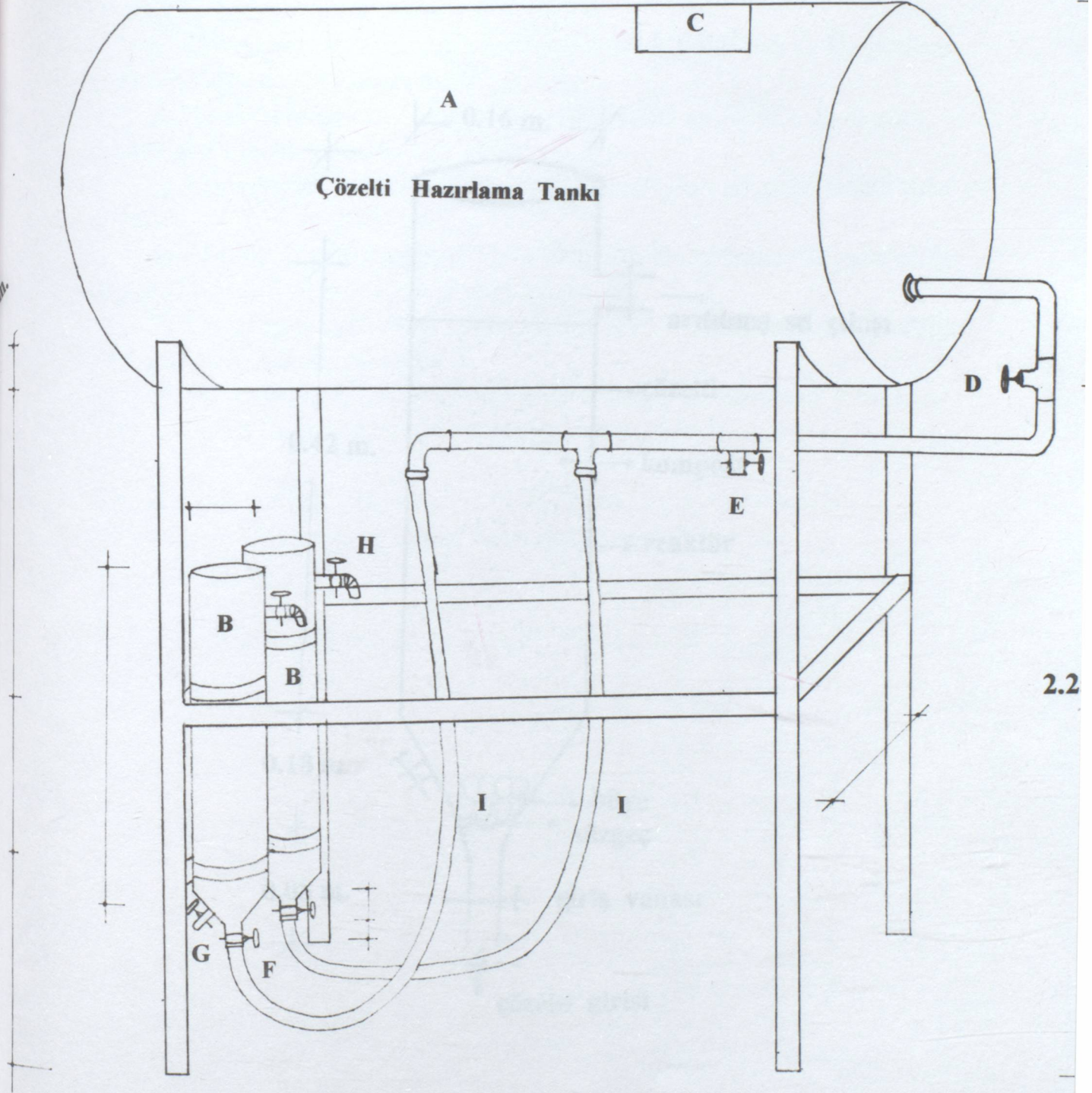
\* Reaktör temizleme ağzı ve vanaları,

\* 3"/4 lik depo çıkış borusu, 3"/4 / 1"/2 T redüksiyon, 1"/2 lik reaktöre çözelti taşıyan plastik borular gibi bölümlerden oluşmaktadır.

Şekil 3-6 da kesiti görülen reaktörün çözelti giriş ağzına süzgeç tertibatı kondu. Böylece reaktörün içine konan kompostun çözelti borusuna kaçıışı ve reaktör girişini yada çözelti borusunu tıkama olasılığı önlenmiş oldu. Süzgeç tertibatının üzerine şemada (Şekil 3-6) görüldüğü gibi, akışkanın kompost içinden geçerken kanal oluşturmasını önlemek için, şaşırtmalı olarak iki sıra bilya dizildi.

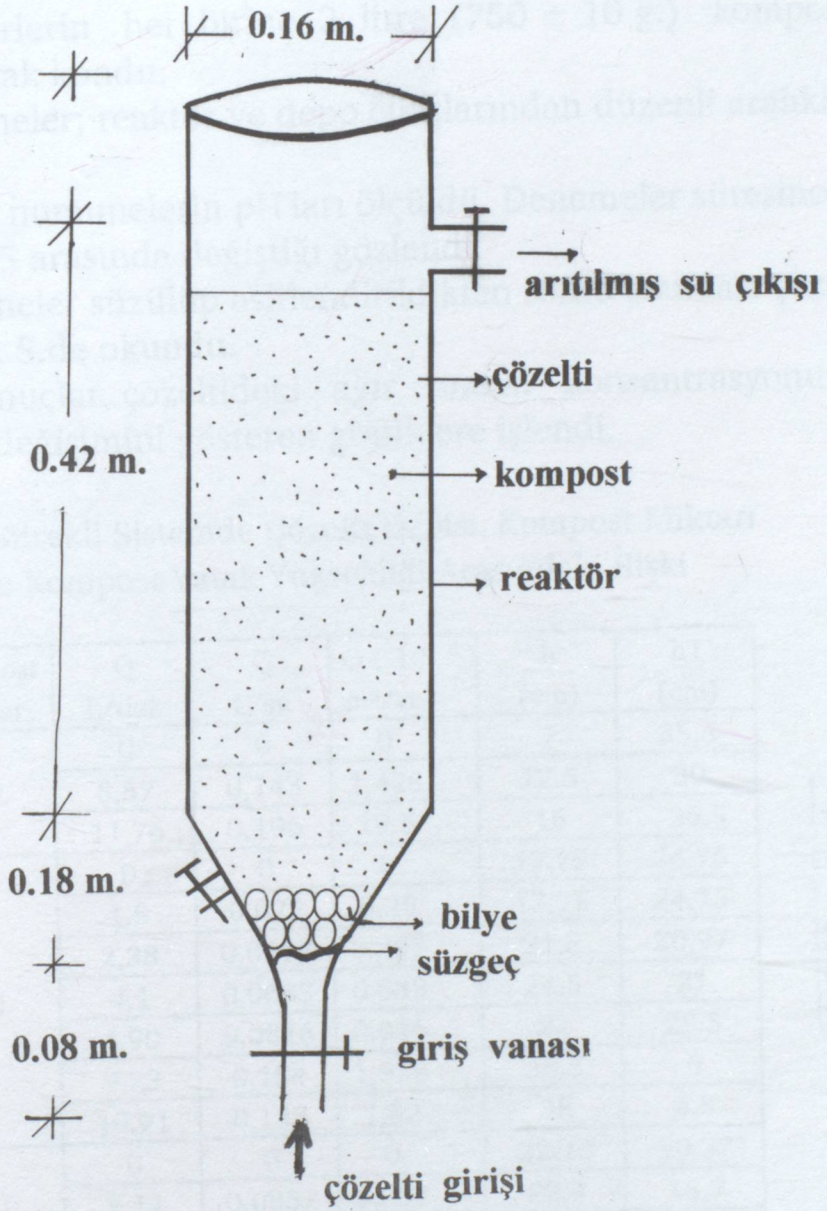
Denemeler süresince; reaktöre alttan giren, bilyalar sayesinde düzenli olarak dağılarak reaktörde yükselen ağır metal çözeltisi; reaktör içinde aşağıdan yukarıya çıkışı esnasında, kompost ile temas ettirildi. Kompost parçacıklarının akışkanın hareketi etkisi ile yukarı, aynı anda birbirine ve reaktör iç cidarına çarparak farklı yönlerde doğru hareketi, parçacığın yüzeyi ile çözeltinin temasını arttırdı. Bu nedenle çözelti içinde kompost yatağının, akışkanın hızına bağlı olarak yükselişi gözlemlendi ve sonuçları liste halinde Tablo 3-3'de verildi.

Ön denemeler sonucunda 3 L kompostun en yüksek debide bile akışkanlaşmadığı belirlendi. 1 L kompostun ise düşük debide reaktörün kenarlarına doğru yığıldığı, debi arttıkça akışkanlaştığı ancak reaktör içinde kompostun uniform bir dağılım sağlayamadığı gözlemlendi. Akışkanlaşmanın yanısıra reaktör içinde iyi bir dağılımı sağlayan 2 L'lik kompost miktarı denemelerde kullanılmak üzere seçildi.



Şekil 3-5 : Sürekli Sistem Şeması

- A: Çözelti Hazırlama Tankı B: Reaktör C: Depoya Çözelti Girişi  
D: Depo Çıkış Vanası E: Depo Suyu Numune Alma Yeri  
F: Reaktör Giriş Vanası G: Reaktör Temizleme Ağızı H: Reaktör  
Çıkış Ağızı I: Çözelti Taşıyıcı Plastik Borular.



Şekil 3-6 : Reaktör Detayı

Çalışmanın bu bölümündeki denemeler aşağıdaki sıralamaya göre yapıldı.

1) Çözeltiler istenen konsantrasyonda ve Şekil 3-5 deki, şemada görülen depoda (A) hazırlandı.

2) Reaktörlerin her birine 2 litre ( $750 \pm 10$  g.) kompost adsorbant olarak kondu.

3) Numuneler; reaktör ve depo çıkışlarından düzenli aralıklarla alındı.

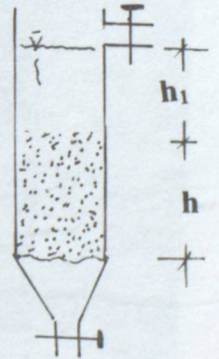
4) Alınan numunelerin pH'ları ölçüldü. Denemeler süresince bu değer 6.8-7.5 arasında değiştiği gözlemlendi.

5) Numuneler süzülüp asitlendirildikten sonra standart çözeltiler ile birlikte A.A.S.de okundu.

6) Bu sonuçlar, çözeltideki ağır metal konsantrasyonunun zamana göre değişimini gösteren grafiklere işlendi.

TABLO 3-3 : Sürekli Sistemde Çözelti Debisi, Kompost Miktarı ve Kompost Yatak Yüksekliği Arasındaki İlişki

Kompost Miktarı	Q L/dak	Q L/sn	Q ( $10^{-4}$ ) m <sup>3</sup> /sn	h (cm)	h1 (cm)
1 L	0	0	0	7	35,5
	8,57	0,143	1,428	12,5	30
	11,76	0,196	19,6	16	26,5
2 L	0	0	0	17,75	24,75
	1,5	0,025	0,25	17,75	24,75
	2,38	0,0397	0,397	21,5	20,97
	4,1	0,0683	0,683	21,5	21
	4,90	0,0816	0,816	22	20,5
	9,23	0,154	1,538	36,5	6
	10,91	0,182	1,82	38	4,5
3 L	0	0	0	22,13	20,37
	2,14	0,0357	0,357	23,8	18,7
	4,138	0,069	0,69	25,5	17





Şekil 3-7 : Sürekli Sistem Çalışma Düzenegi

#### 4. DENEYSEL BULGULAR

Deneysel çalışmaların sonuçları iki ayrı sistem için ayrı ayrı verildi. Önce kesikli sistemde kompostun Cd'u, Cu'ı ve Cd-Cu birlikte adsorpsiyon davranışları gözlemlendi. Cd ve Cu'ın atık olarak karşılaştığı endüstriyel atıksularda atıksu debisinin değişken ancak genelde sürekli olması dikkate alınarak sürekli sistemde değişik debilerde kompostun adsorplama davranışı gözlemlendi.

##### 4.1. KESİKLİ SİSTEMDE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, ağır metal konsantrasyonundaki ve kompost miktarındaki değişimin, kompostun ağır metali adsorplama randımanına etkisi araştırıldı. Her setteki üç reaktörün sonuçlarının ortalaması, tek sonuç olarak tablolara ve grafiklere işlendi. Ortalaması alınan üç değer arasındaki maksimum farkın % 1,1 olduğu tesbit edildi.

###### 4.1.1. Cd ADSORPSİYONU

Önce Cd'un kompost ile adsorpsiyon randımanı araştırıldı. Kompost miktarının ve Cd konsantrasyonunun adsorpsiyona etkisi incelendi. Kompostun adsorplayabileceği maksimum Cd değeri belirlendi.

###### 4.1.1.1. KESİKLİ SİSTEMDE KOMPOST MİKTARININ Cd ADSORPLAMA RANDIMANINA ETKİSİ

Adsorplama randımanı Cd konsantrasyonu sabit tutularak (5ppm), kompost miktarı artırılarak araştırıldı. 5ppm Cd konsantrasyonu farklı miktarlarda kompost ile temas ettirildi. Gözlemler kompost miktarı artırılarak sürdürüldü. Adsorpsiyon süresinde gözlenen Cd konsantrasyonundaki değişim Tablo 4-1 ve 4-2 de (Bkz. Ek.1) liste olarak ve Şekil 4-1a, 4-1b de grafik olarak verildi.

Bu sonuçlara göre:

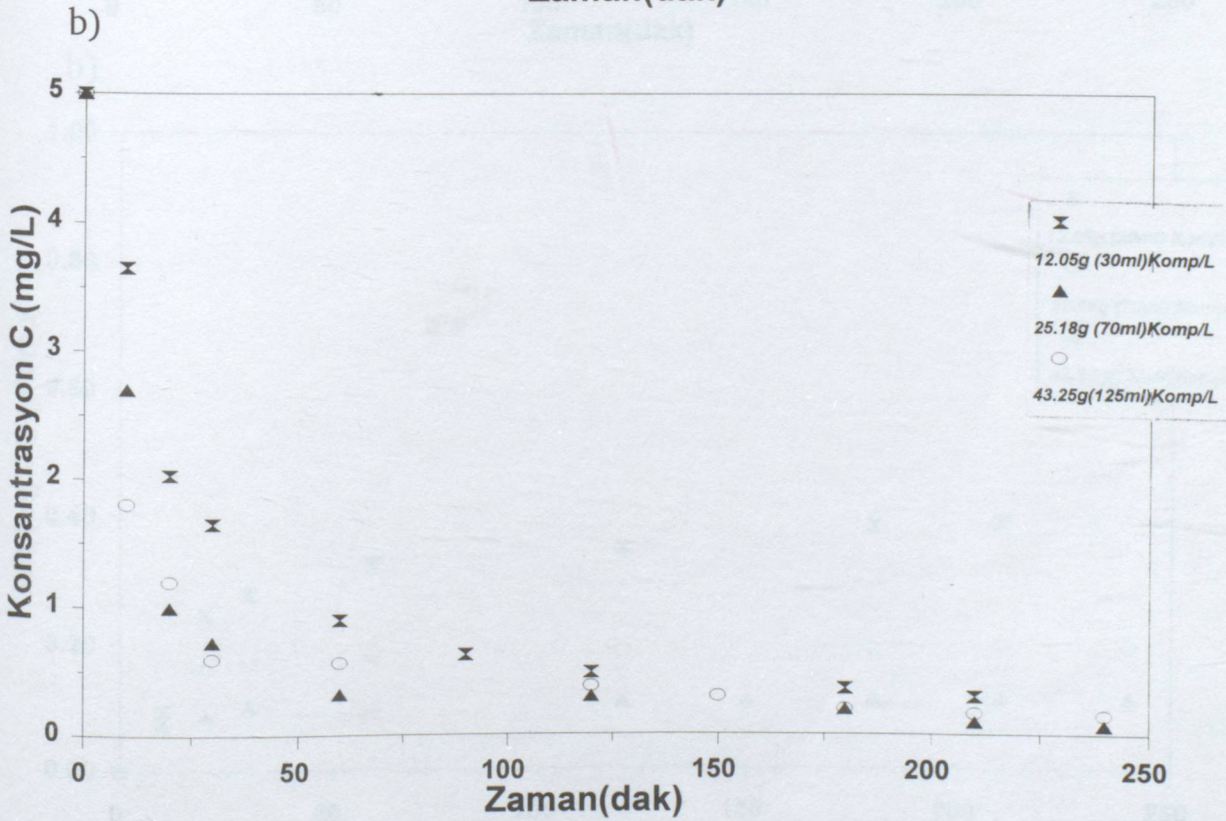
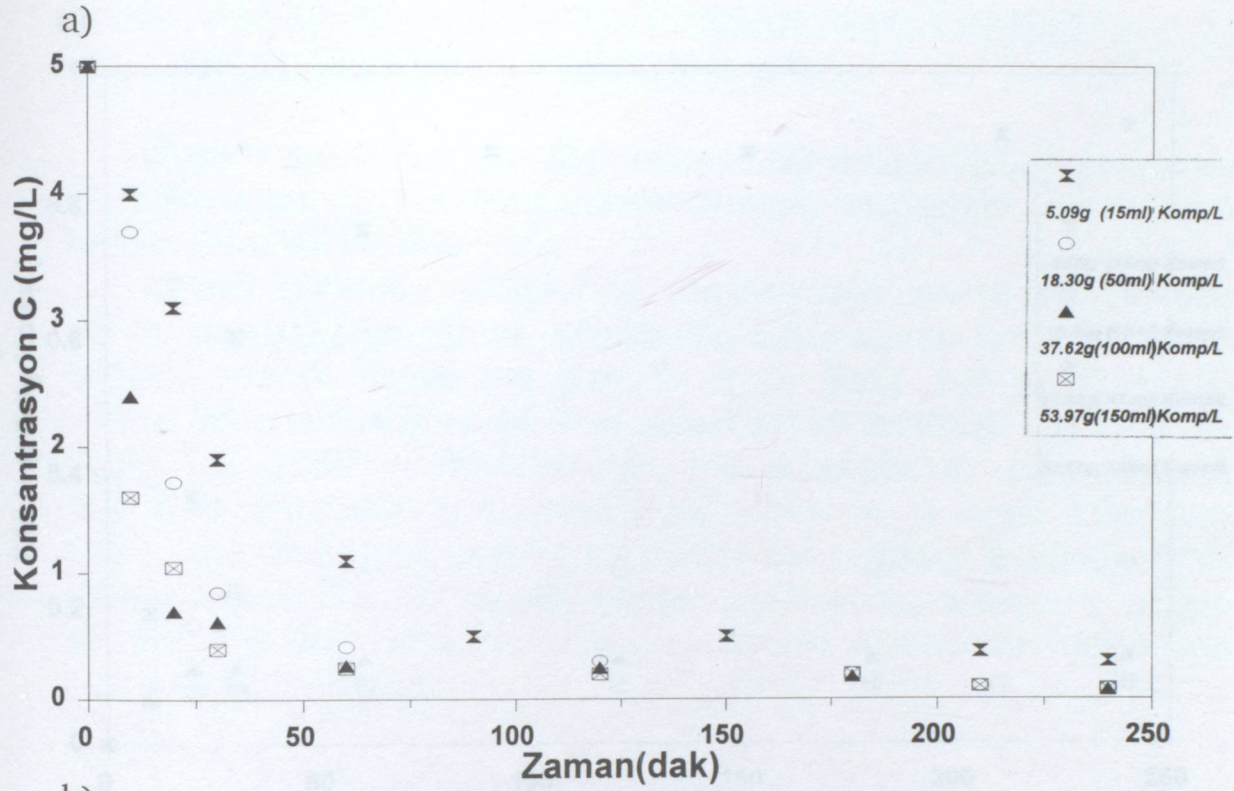
\* Çözeltinin konsantrasyonu sabit tutulup kompost miktarı

15 ml/L' den ( $5 \pm 0,5$ g/L) 150 ml/L' ye ( $54 \pm 0,5$ g/L) çıkarıldığı zaman adsorplama randımanı, ( $\Delta C/C_i$ ) aynı temas süresi sonucunda (240 dak.) % 94'den % 99'a yükselmektedir. (Tablo 4-1 ve 4-2 Bkz. Ek.1)

\*\* % 90 adsorplama randımanına; litrede 15 ml ( $5 \pm 0,5$ g/L) kompostla temas ettirilen çözeltide 90 dakikada ulaşılırken, bu süre kompost miktarı 150 ml'ye çıkarıldığında 30 dakikaya inmektedir. Kompost miktarı arttırıldıkça daha kısa sürede istenen adsorplama randımanı sağlanmaktadır.

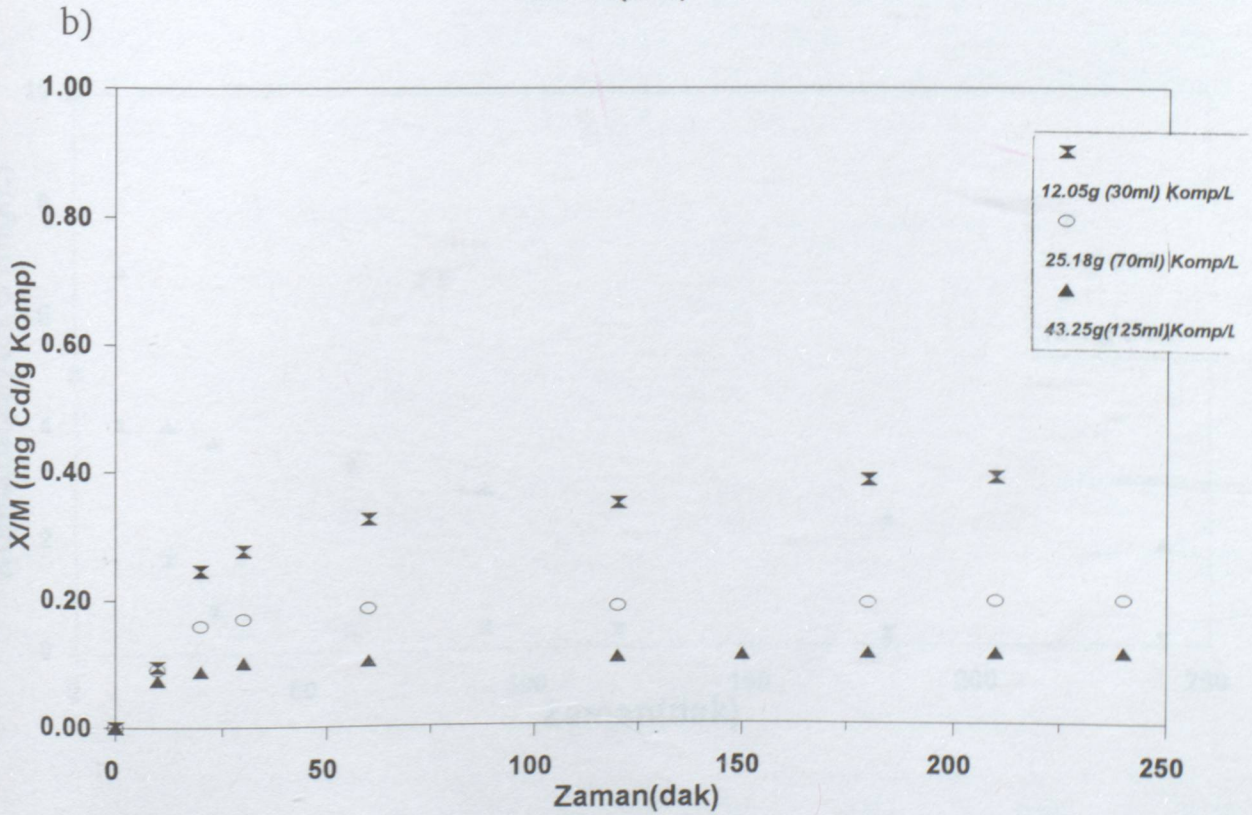
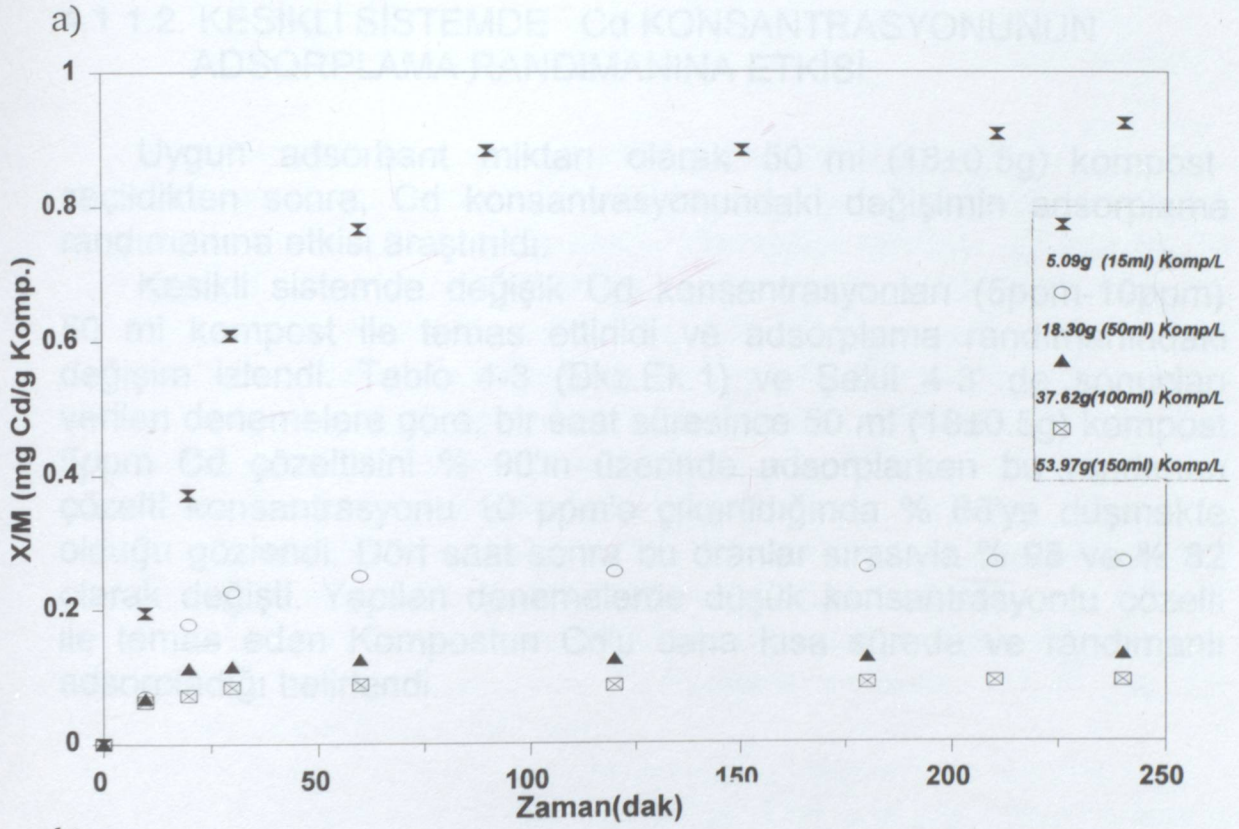
Kompost miktarı arttırıldığında adsorplama kapasitesinin artmasına rağmen 60 dakika deneme süresi sonunda litrede 15 ml ( $5 \pm 0,5$ g/L) ve 30ml ( $12 \pm 0,5$ g/L) kompostun adsorbant olarak kullanıldığı iki set haricinde diğerlerinin adsorplama randımalarının birbirine çok yakın olduğu belirlendi. Bu nedenle 15 ml ve 30 ml'lik setlerden sonra gelen en düşük miktarlı komposta sahip 50 ml/L ( $18 \pm 0,5$  g/L)'lik set kesikli sistemde Cd denemelerinde kullanılmak üzere seçildi.

Denemelerde kullanılan adsorbantın üzerinde biriken Cd miktarı, mg Cd/g Kompost olarak Şekil 4-2a ve 4-2b de verildi.



Şekil 4-1 (a ve b) : 5 ppm Cd'un farklı Miktarlarda Kompost ile Adsorpsiyonu Süresince Çözelti İçinde Kalan Cd Konsantrasyonu



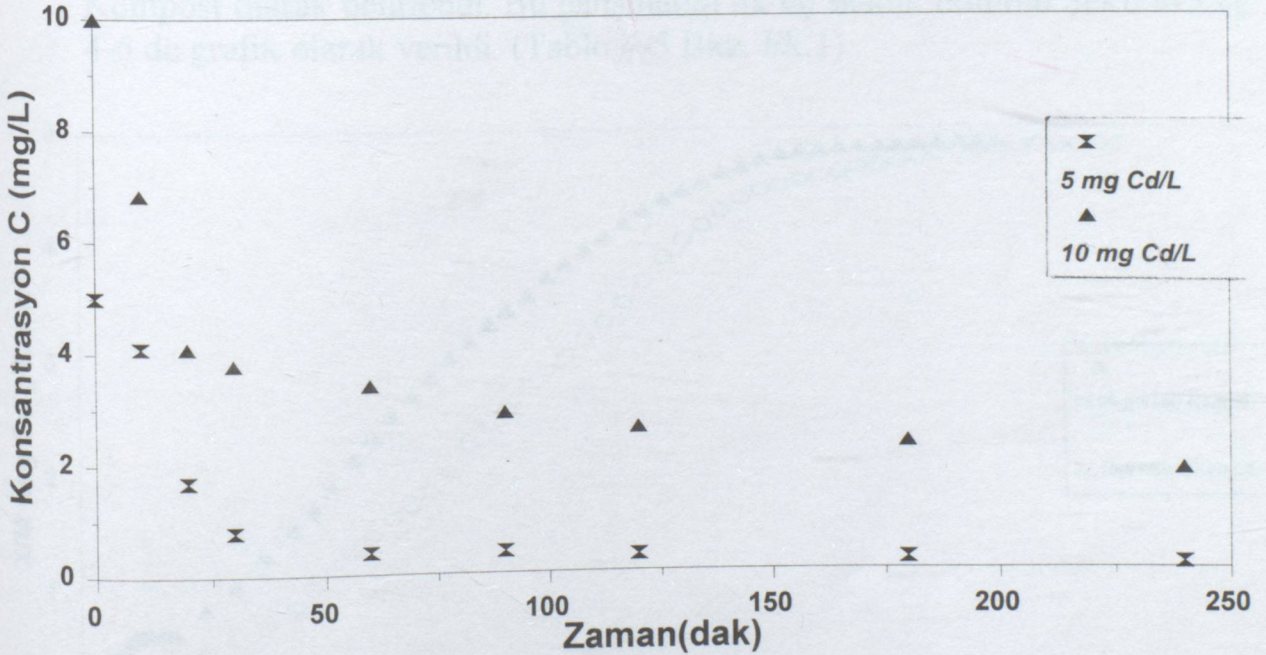


Şekil 4-2 (a ve b) : Farklı Miktarlarda Kompost Üzerinde Biriken Cd Miktarı.

#### 4.1.1.2. KESİKLİ SİSTEMDE Cd KONSANTRASYONUNUN ADSORPLAMA RANDIMANINA ETKİSİ

Uygun adsorbant miktarı olarak 50 ml ( $18 \pm 0.5$ g) kompost seçildikten sonra, Cd konsantrasyonundaki değişimin adsorplama randımanına etkisi araştırıldı.

Kesikli sistemde değişik Cd konsantrasyonları (5ppm-10ppm) 50 ml kompost ile temas ettirildi ve adsorplama randımanındaki değişim izlendi. Tablo 4-3 (Bkz.Ek.1) ve Şekil 4-3' de sonuçları verilen denemelere göre, bir saat süresince 50 ml ( $18 \pm 0.5$ g) kompost 5ppm Cd çözeltisini % 90'ın üzerinde adsorplarken bu randıman çözelti konsantrasyonu 10 ppm'e çıkarıldığında % 66'ya düşmekte olduğu gözlemlendi. Dört saat sonra bu oranlar sırasıyla % 98 ve % 82 olarak değişti. Yapılan denemelerde düşük konsantrasyonlu çözelti ile temas eden Kompostun Cd'u daha kısa sürede ve randımanlı adsorpladığı belirlendi.



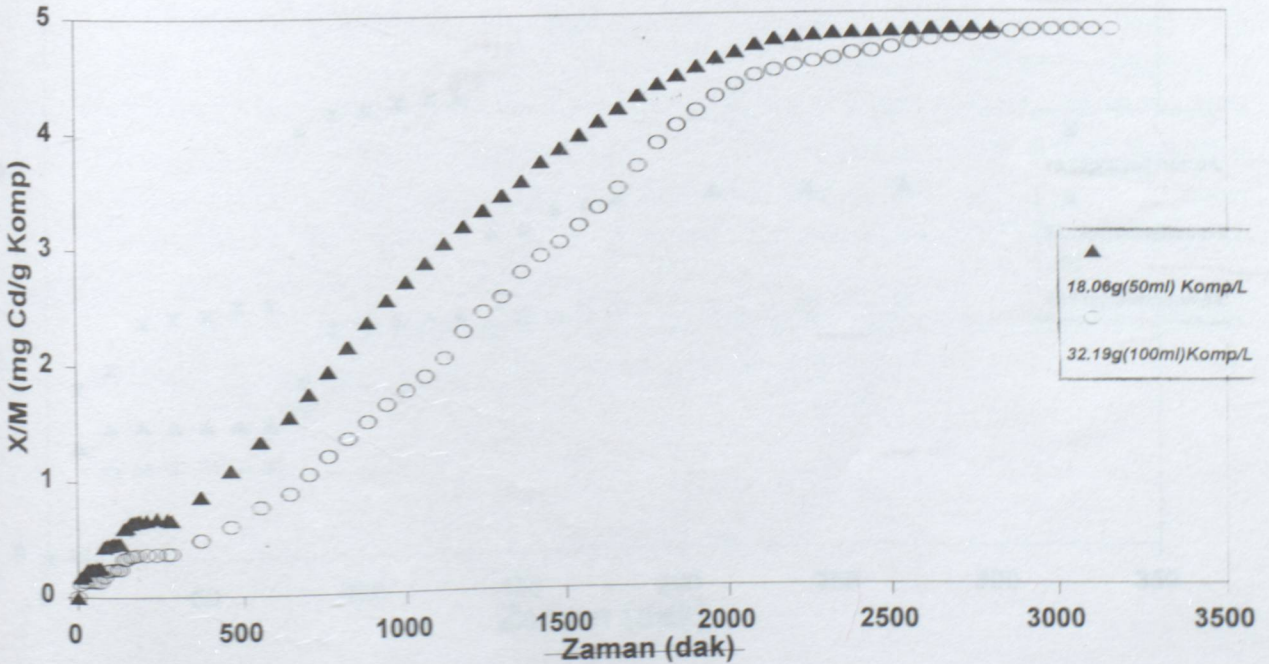
Şekil 4-3 : 5ppm - 10 ppm Cd'un Litrede 50 ml ( $18 \pm 0.5$  g) Kompost ile Adsorpsiyonu

#### 4.1.1.3. KESİKLİ SİSTEMDE Cd ile TEMAS EDEN KOMPOST'UN DOYGUNLUK DEĞERİ

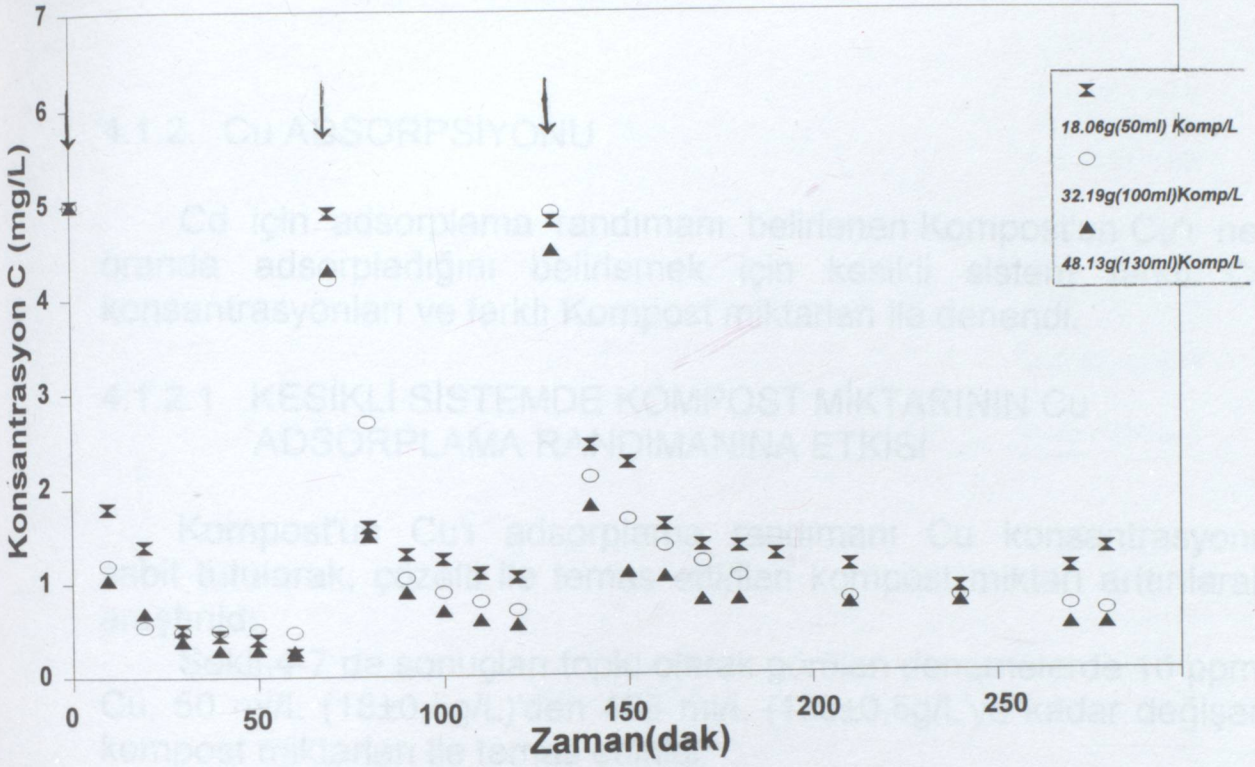
Adsorbantın alabileceği maksimum Cd miktarını bulabilmek için; sistem, her saat başı çözeltinin konsantrasyonu 5 ppm olacak şekilde derişik Cd çözeltisi ile ardışık olarak beslendi. Denemeler ayrı ayrı setlerde 50 (18  $\pm$ 0,5 g) ml/L ve 100 ml (32 $\pm$ 0.5g) kompost/L ile sürdürüldü. 50 ml/L Kompost setinde 45 saatten sonra, 100 ml/L Kompost setinde 51 saatten sonra ardışık besleme devam edilmesine rağmen Kompost'un adsorpladığı madde miktarı değişmedi. Beslemeye devam edilirken Kompost'un üzerindeki madde miktarını çözeltiliye geri vermediği, çözeltiliden de Cd adsorplamadığı, her beslemeden sonra çözeltili içinde kalan Cd konsantrasyonu ölçülerek tesbit edildi. Kompost üzerinde adsorplanarak sabit kalan, Cd miktarı doygunluk değeri olarak kabul edildi.

Denemelerde; 45 saat sonunda 50 ml/L Kompost üzerinde 87,68 mg Cd, 51 saat sonunda 100ml/L Kompost üzerinde 155,80 mg Cd adsorplandı ve bu değer sabit kaldı.

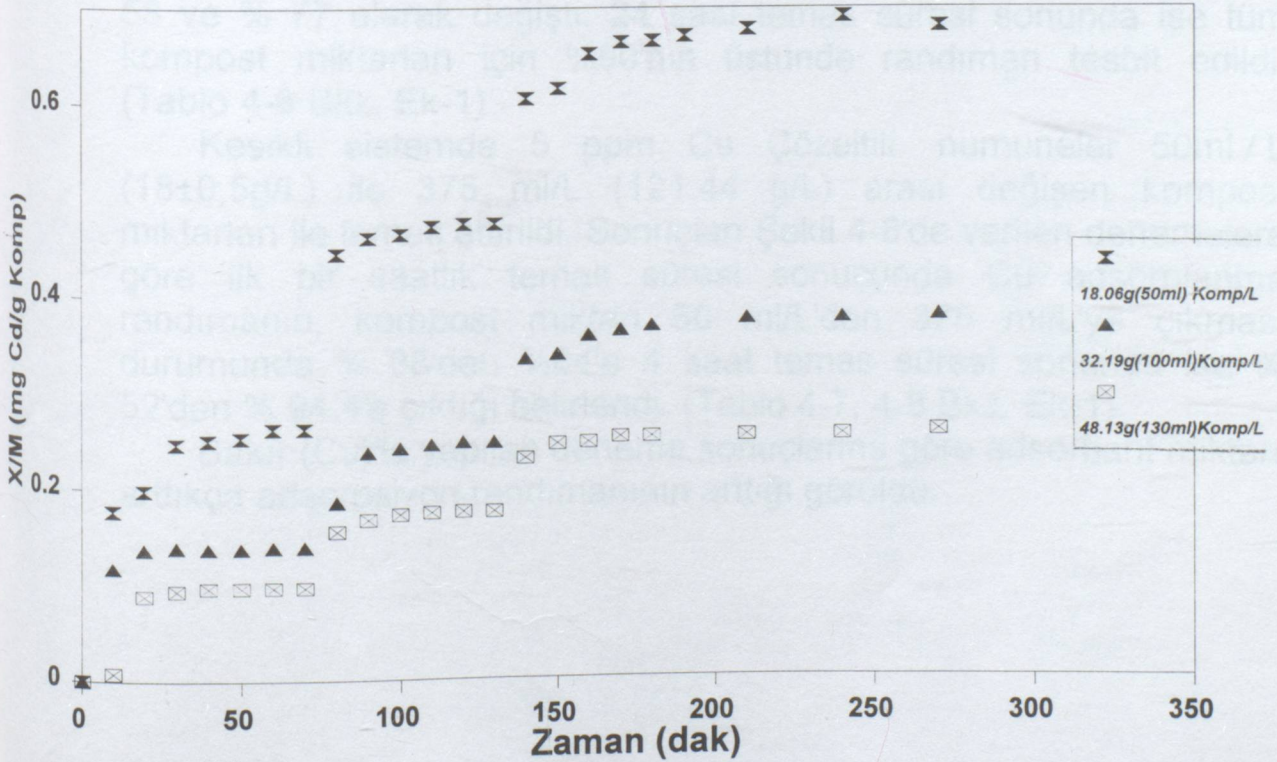
Böylece: 50 ml/L Kompost için doygunluk değeri 4,86 mgCd/g, 100 ml/L Kompost için doygunluk değeri 4,84 mgCd/g olarak bulundu (Şekil 4-4). Cd için Kompostun doygunluk değeri : 4,85( $\pm$ 0,01) mg Cd/gr Kompost olarak belirlendi. Bu çalışmanın ilk üç saatlik bölümü Şekil 4-5 ve 4-6 de grafik olarak verildi. (Tablo 4-5 Bkz. Ek.1)



Şekil 4-4 : Cd ile Temas Eden Kompost'un Doymunluk Eğrisi



Şekil 4-5 : Farklı Miktarlarda Kompost'un Cd ile Ardışık Beslenmesi



Şekil 4-6: Ardışık Beslenen Adsorbant Üzerinde Biriken Cd Miktarı.

#### 4.1.2. Cu ADSORPSİYONU

Cd için adsorplama randımanı belirlenen Kompost'un Cu'ı ne oranda adsorpladığını belirlemek için kesikli sistem farklı Cu konsantrasyonları ve farklı Kompost miktarları ile denendi.

##### 4.1.2.1 KESİKLİ SİSTEMDE KOMPOST MİKTARININ Cu ADSORPLAMA RANDIMANINA ETKİSİ

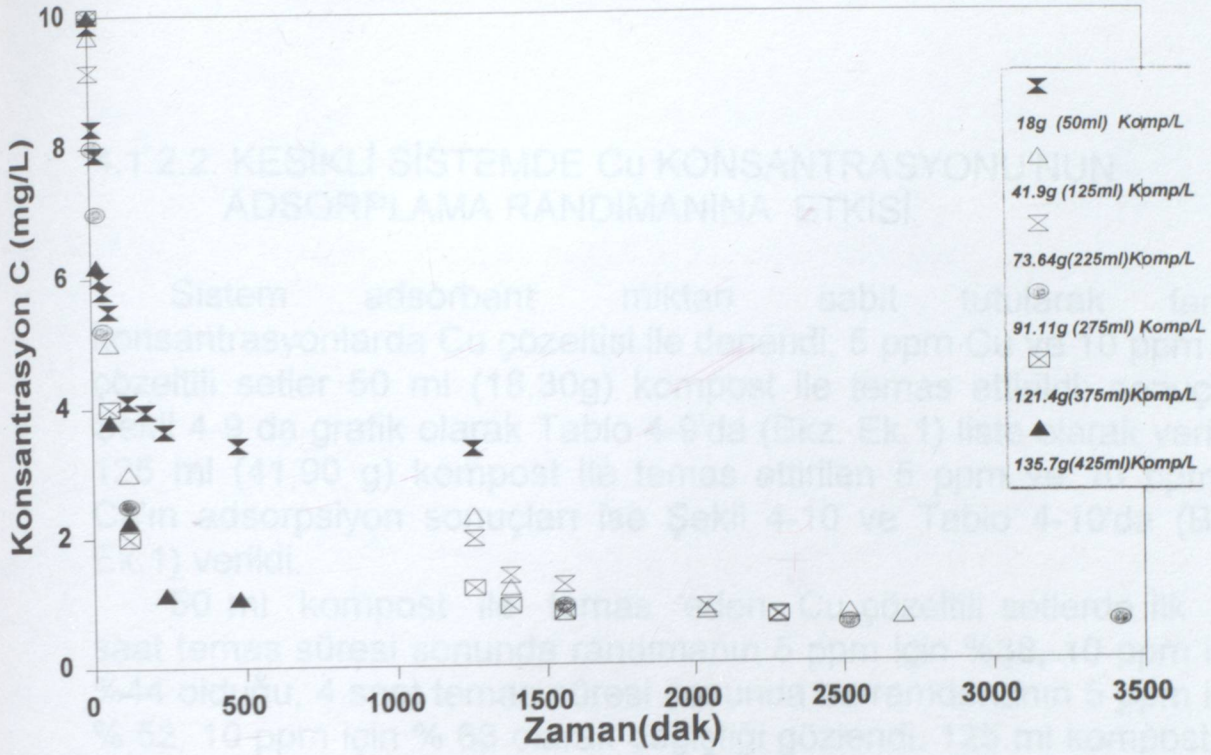
Kompost'un Cu'ı adsorplama randımanı Cu konsantrasyonu sabit tutularak, çözelti ile temas ettirilen kompost miktarı artırılarak araştırıldı.

Şekil 4-7 de sonuçları toplu olarak görülen denemelerde 10 ppm Cu, 50 ml/L ( $18\pm 0,5\text{g/L}$ )'den 425 ml/L ( $136\pm 0,5\text{g/L}$ 'ye kadar değişen kompost miktarları ile temas ettirildi.

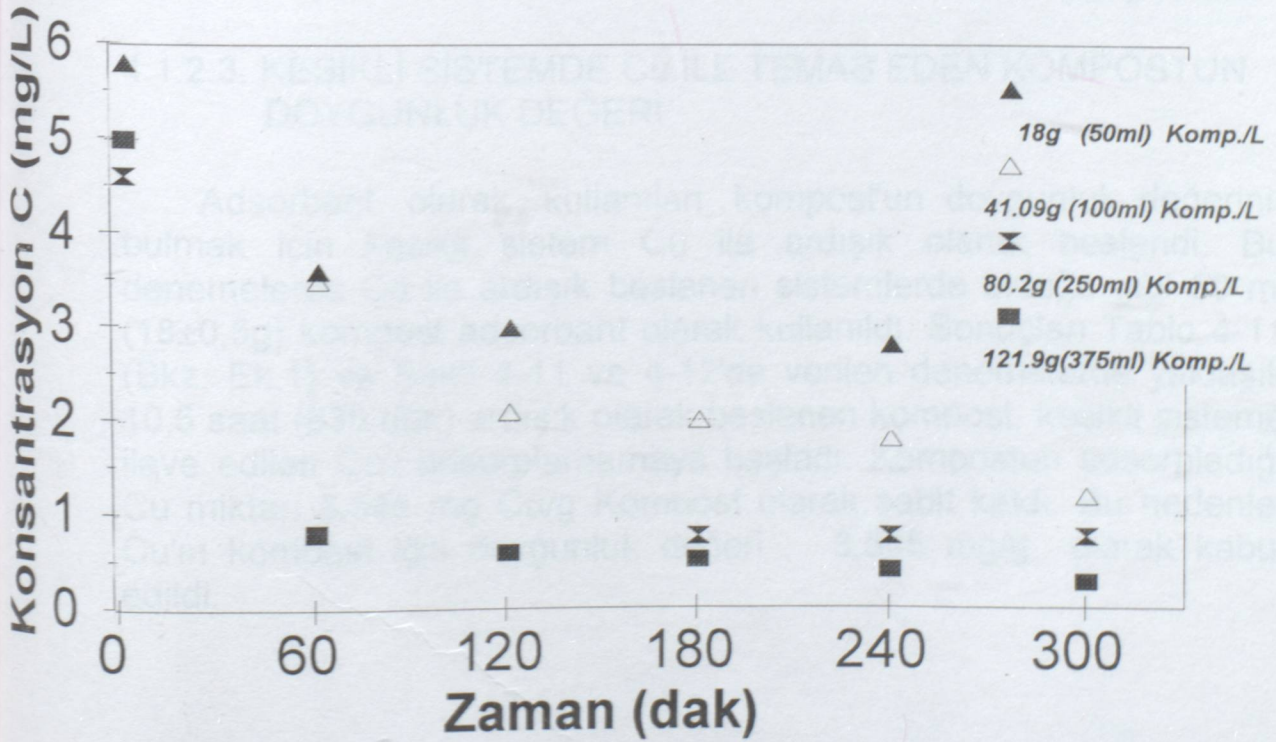
Bu denemelerde 10ppm Cu'ın adsorplama randımanının kompost miktarı 50 ml/L ( $18\pm 0,5\text{g/L}$ )'den, 425 ml/L ( $136\pm 0,5\text{g/L}$ )'ye çıkarıldığında ilk bir saat temas sonunda, % 44'den % 62'ye çıktığı gözlemlendi. İki saatlik temas süresi sonunda ise bu değerler sırasıyla % 58 ve % 77 olarak değişti. 24 saat temas süresi sonunda ise tüm kompost miktarları için %90'nın üstünde randıman tesbit edildi. (Tablo 4-6 Bkz. Ek-1)

Kesikli sistemde 5 ppm Cu Çözeltili numuneler 50ml / L ( $18\pm 0,5\text{g/L}$ ) ile 375 ml/L (121.44 g/L) arası değişen kompost miktarları ile temas ettirildi. Sonuçları Şekil 4-8'de verilen denemelere göre ilk bir saatlik temas süresi sonucunda Cu adsorplanma randımanının, kompost miktarı 50 ml/L'den 375 ml/L'ye çıkması durumunda % 38'den %84'e 4 saat temas süresi sonunda ise % 52'den % 94,4'e çıktığı belirlendi. (Tablo 4-7, 4-8 Bkz. Ek-1)

Bakır (Cu)'la yapılan deneme sonuçlarına göre adsorbant miktarı arttıkça adsorpsiyon randımanının arttığı görüldü.



Şekil 4-7 : 10 ppm Cu'nun Farklı Miktarlarda Kompost ile Adsorpsiyonu



Şekil 4-8 : 5 ppm Cu'nun Farklı Miktarlarda Kompost ile Adsorpsiyonu.

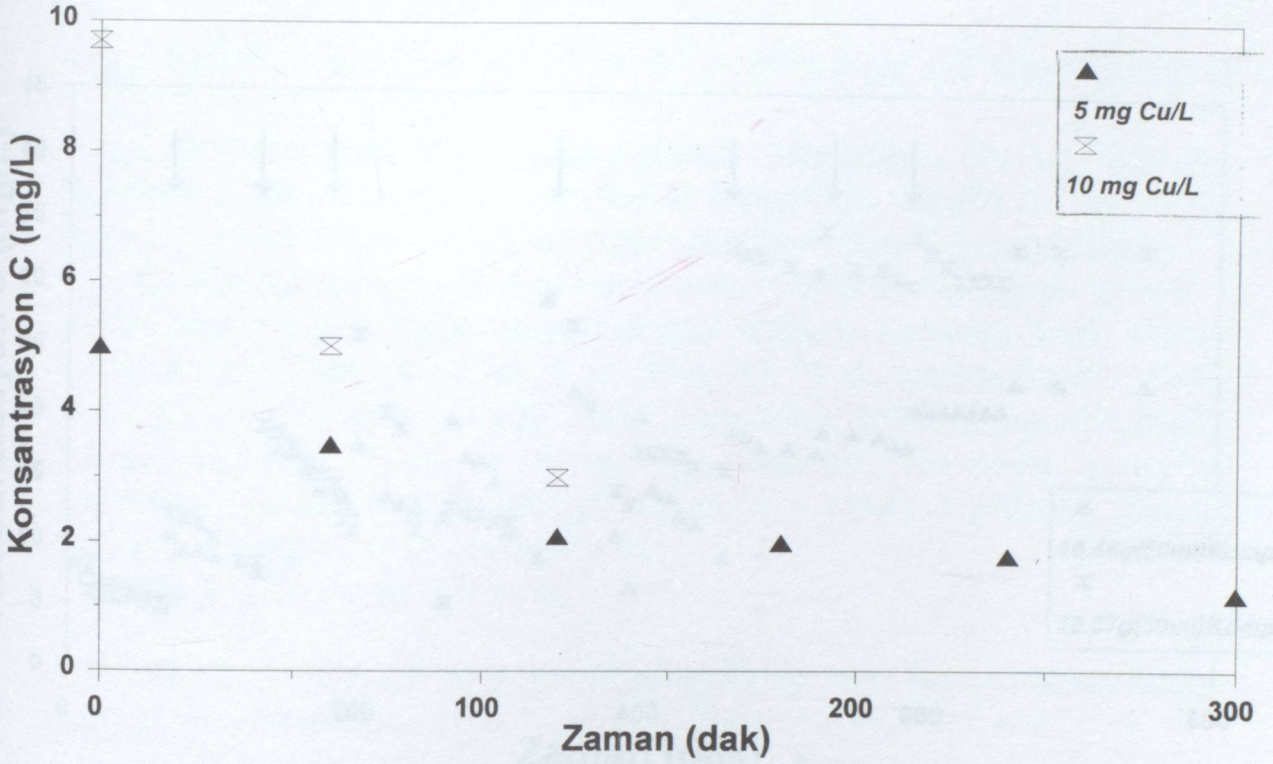
#### 4.1.2.2. KESİKLİ SİSTEMDE Cu KONSANTRASYONU'NUN ADSORPLAMA RANDIMANINA ETKİSİ

Sistem adsorbant miktarı sabit tutularak farklı konsantrasyonlarda Cu çözeltisi ile denendi. 5 ppm Cu ve 10 ppm Cu çözeltili setler 50 ml (18,30g) kompost ile temas ettirildi; sonuçları Şekil 4-9 da grafik olarak Tablo 4-9'da (Bkz. Ek.1) liste olarak verildi. 125 ml (41,90 g) kompost ile temas ettirilen 5 ppm ve 10 ppm'lik Cu'nun adsorpsiyon sonuçları ise Şekil 4-10 ve Tablo 4-10'da (Bkz. Ek.1) verildi.

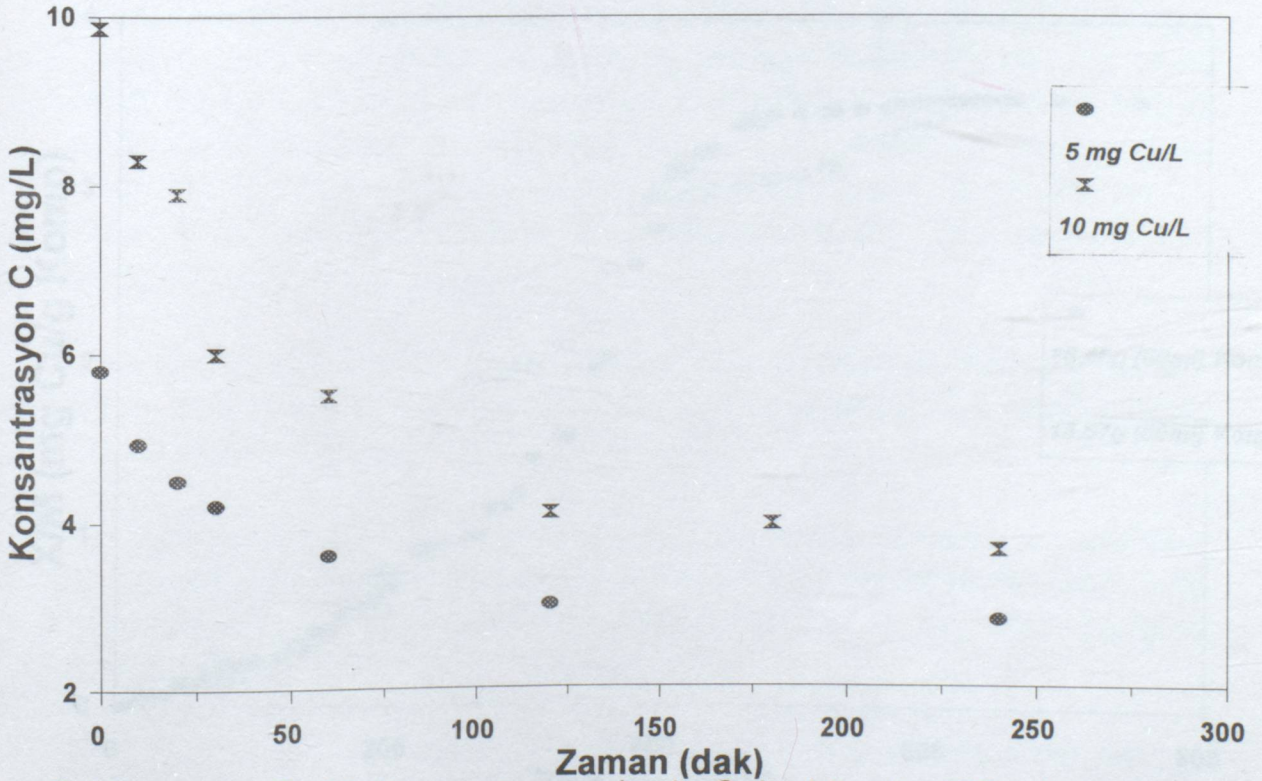
50 ml kompost ile temas eden Cu çözeltili setlerde ilk bir saat temas süresi sonunda randımanın 5 ppm için %38, 10 ppm için %44 olduğu, 4 saat temas süresi sonunda bu randımanın 5 ppm için % 52, 10 ppm için % 63 olarak değiştiği gözlemlendi. 125 ml kompost ile temas eden Cu çözeltili setlerde ise iki saatlik temas süresi sonunda 5 ppm Cu çözeltili sette randımanın % 58, 10 ppm Cu çözeltili sette ise % 69 olduğu belirlendi. Yüksek Cu konsantrasyonlu çözeltilerin kısa sürede daha randımanlı adsorplandığı, temas süresi uzatıldıkça konsantrasyon farkının randımana etkisinin ortadan kalktığı gözlemlendi.

#### 4.1.2.3. KESİKLİ SİSTEMDE Cu İLE TEMAS EDEN KOMPOSTUN DOYGUNLUK DEĞERİ

Adsorbant olarak kullanılan kompost'un doygunluk değerini bulmak için kesikli sistem Cu ile ardışık olarak beslendi. Bu denemelerde Cd ile ardışık beslenen sistemlerde olduğu gibi 50 ml (18±0,5g) kompost adsorbant olarak kullanıldı. Sonuçları Tablo 4-11 (Bkz. Ek.1) ve Şekil 4-11 ve 4-12'de verilen denemelerde yaklaşık 10,5 saat (630 dak) ardışık olarak beslenen kompost, kesikli sisteme ilave edilen Cu'ı adsorplamamaya başladı. Kompostun adsorpladığı Cu miktarı 3,545 mg Cu/g Kompost olarak sabit kaldı. Bu nedenle, Cu'nun kompost için doygunluk değeri : 3,545 mg/g olarak kabul edildi.

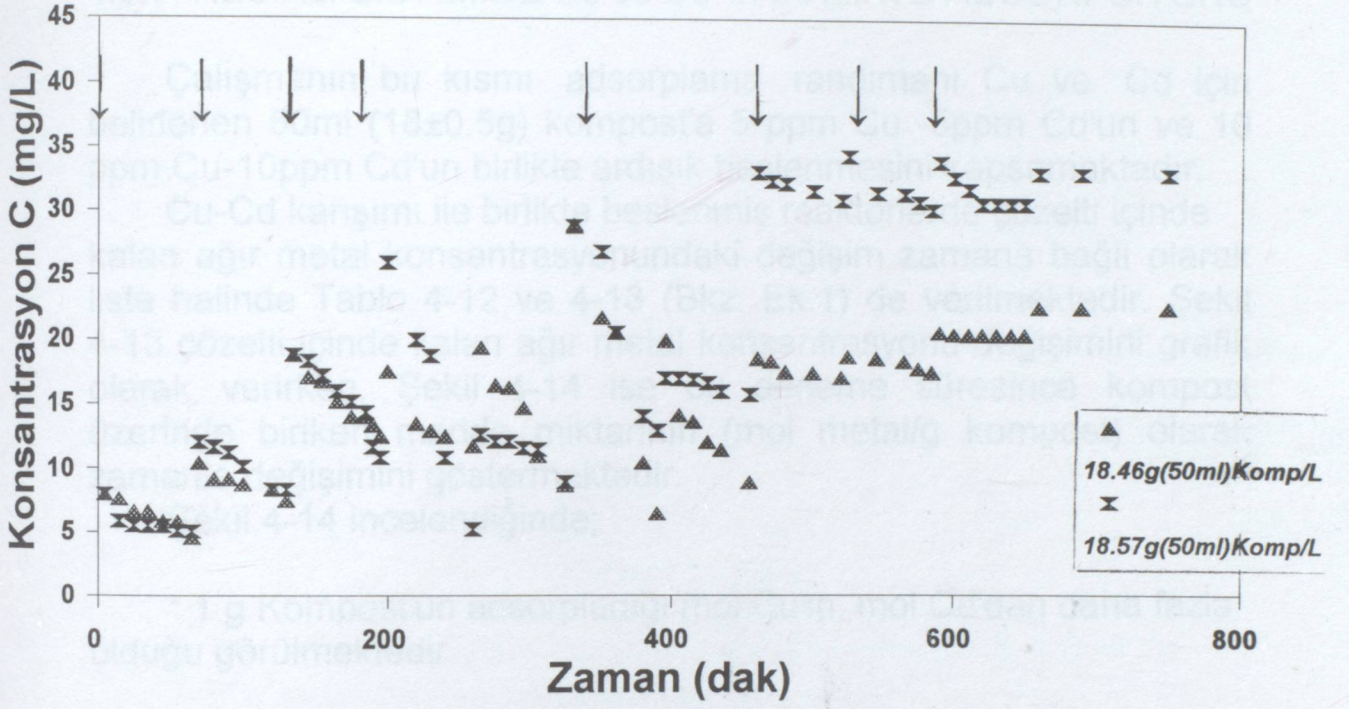


Şekil 4 - 9 : Farklı Konsantrasyonlarda Cu Çözeltisinin Litrede 50 ml (18.30 g) Kompost ile Adsorpsiyonu

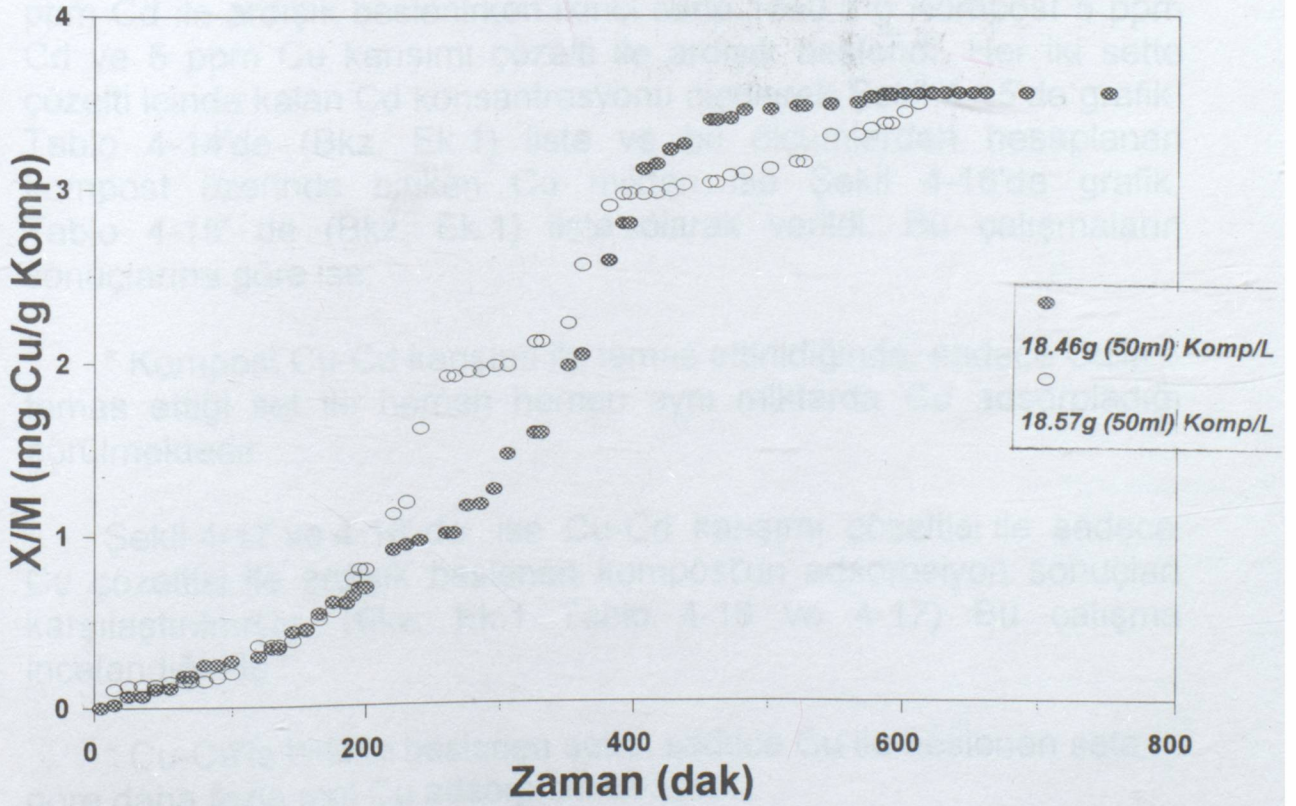


Şekil 4 - 10 : Farklı Konsantrasyonlarda Cu'in Litrede 125 ml (41.90g) Kompost ile Adsorpsiyonu





Şekil 4-11 : Kesikli Sistemin Cu ile Ardışık Beslenmesi



Şekil 4-12 : Kompost Üzerinde Biriken Cu Miktarı

#### 4.1.3. KESİKLİ SİSTEMDE Cd ve Cu 'ın BİRLİKTE ADSORPSİYONU

Çalışmanın bu kısmı adsorplama randımanı Cu ve Cd için belirlenen 50ml ( $18\pm 0.5$ g) kompost'a 5 ppm Cu -5ppm Cd'un ve 10 ppm Cu-10ppm Cd'un birlikte ardışık beslenmesini kapsamaktadır.

Cu-Cd karışımı ile birlikte beslenmiş reaktörlerde çözelti içinde kalan ağır metal konsantrasyonundaki değişim zamana bağlı olarak liste halinde Tablo 4-12 ve 4-13 (Bkz. Ek.1) de verilmektedir. Şekil 4-13 çözelti içinde kalan ağır metal konsantrasyonu değişimini grafik olarak verirken, Şekil 4-14 ise bu deneme süresince kompost üzerinde biriken madde miktarının (mol metal/g kompost) olarak zamanla değişimini göstermektedir.

Şekil 4-14 incelendiğinde;

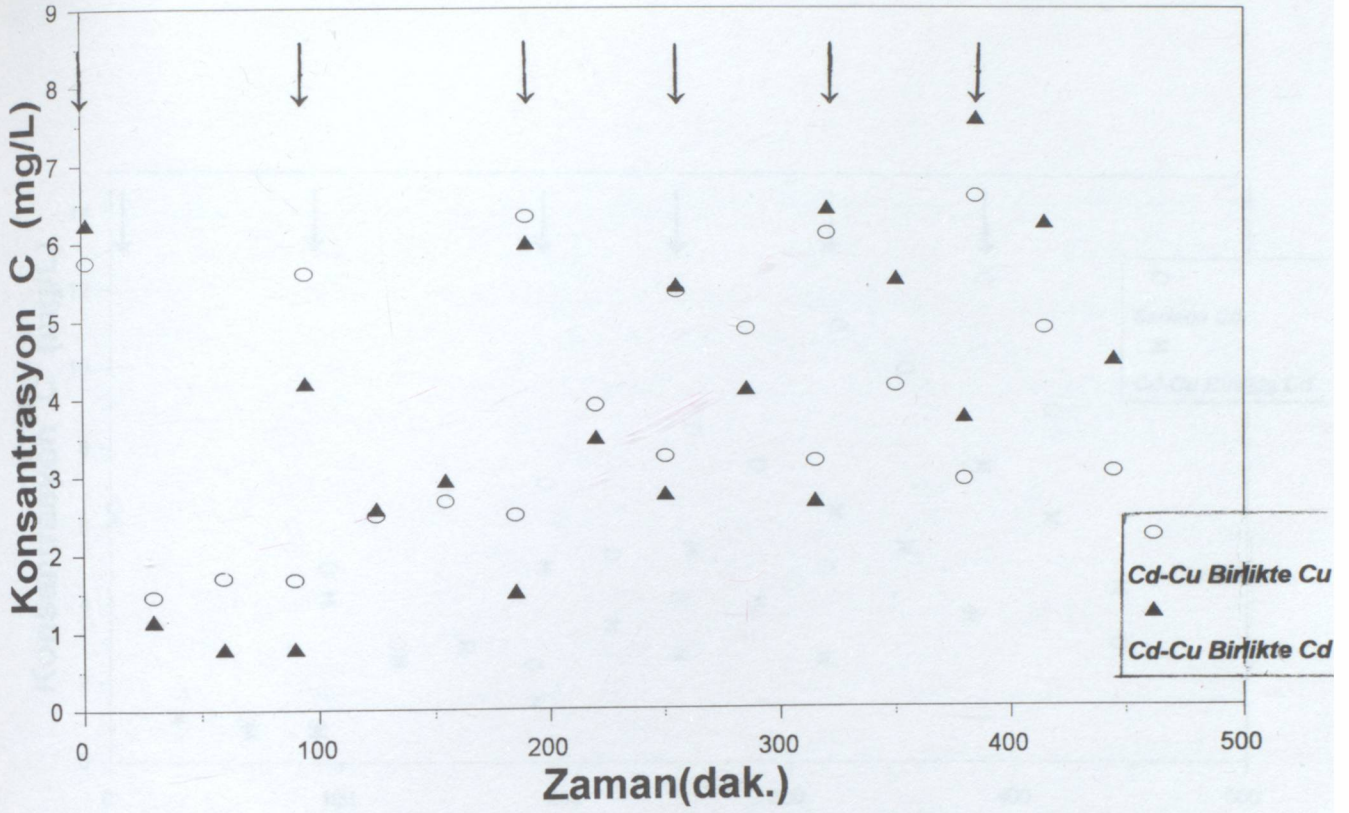
\* 1 g Kompost'un adsorpladığı mol Cu'ın, mol Cd'dan daha fazla olduğu görülmektedir.

Şekil 4 - 15 ve şekil 4-16'da ise iki ayrı reaktör seti karşılaştırılmıştır. Birinci sette litrede  $18\pm 0.5$  g (50 ml) Kompost 5 ppm Cd ile ardışık beslenirken ikinci sette  $18\pm 0.5$  g Kompost 5 ppm Cd ve 5 ppm Cu karışımı çözelti ile ardışık beslendi. Her iki sette çözelti içinde kalan Cd konsantrasyonu ölçülerek Şekil 4-15'de grafik, Tablo 4-14'de (Bkz. Ek.1) liste ve bu ölçümlerden hesaplanan kompost üzerinde biriken Cd miktarı ise Şekil 4-16'de grafik, Tablo 4-15' de (Bkz. Ek.1) liste olarak verildi. Bu çalışmaların sonuçlarına göre ise;

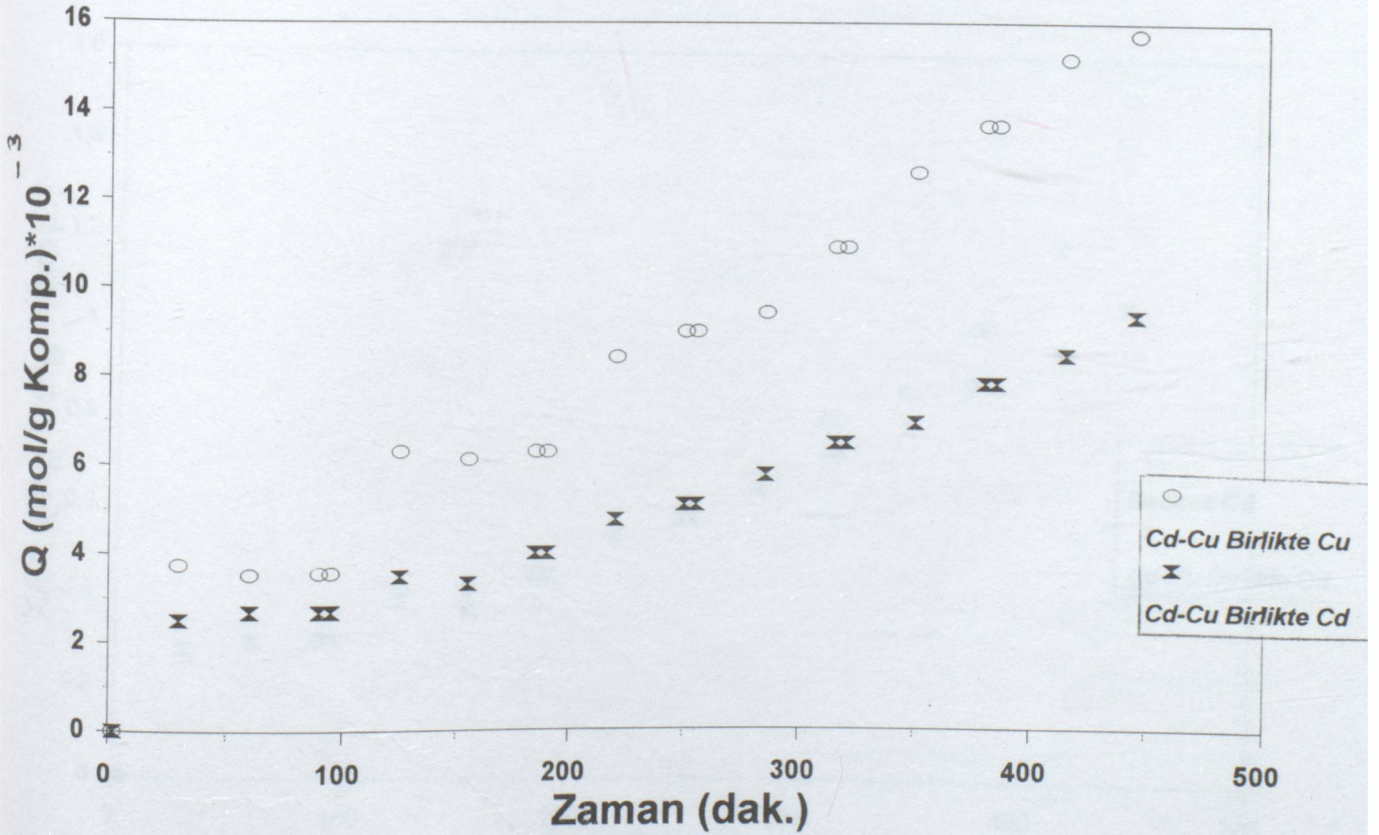
\* Kompost Cu-Cd karışımı ile temas ettirildiğinde, sadece Cd'la temas ettiği set ile hemen hemen aynı miktarda Cd adsorpladığı görülmektedir.

Şekil 4-17 ve 4-18' de ise Cu-Cd karışımı çözeltisi ile sadece Cu çözeltisi ile ardışık beslenen kompost'un adsorpsiyon sonuçları karşılaştırılmıştır. (Bkz. Ek.1 Tablo 4-16 ve 4-17) Bu çalışma incelendiğinde :

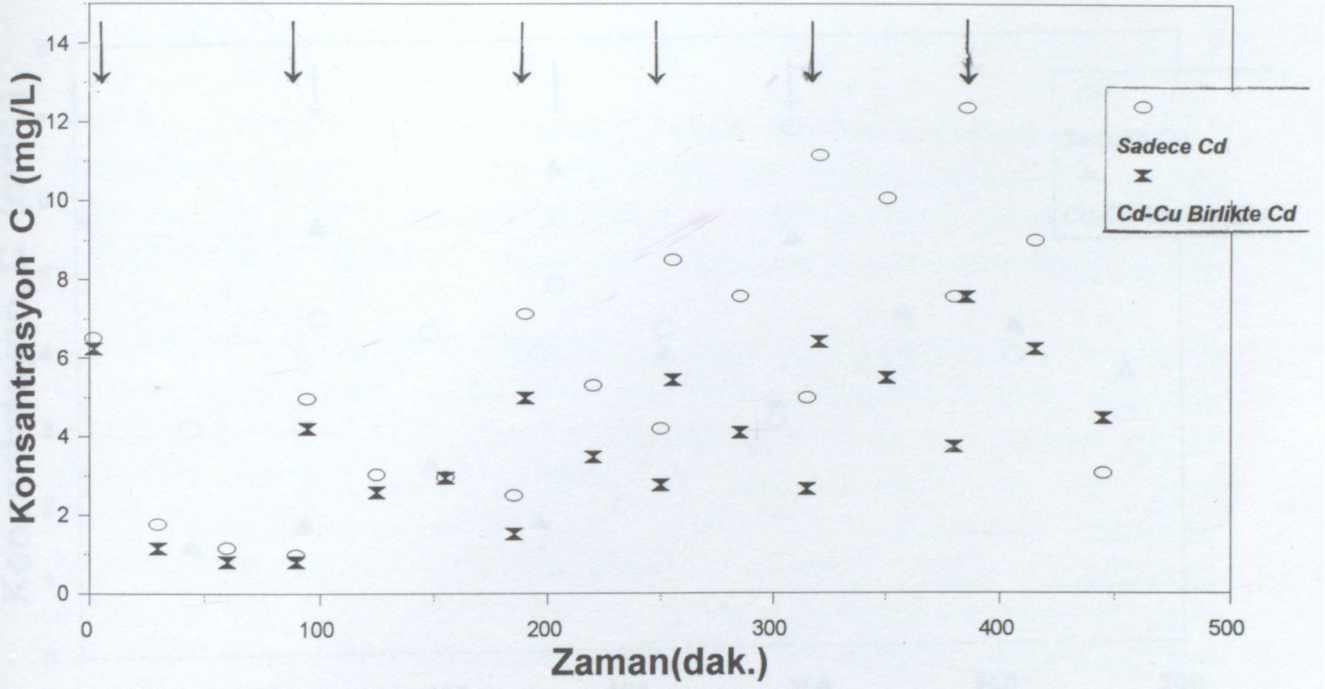
\* Cu-Cd'la birlikte beslenen sette, sadece Cu ile beslenen sete göre daha fazla mol Cu adsorplanmaktadır.



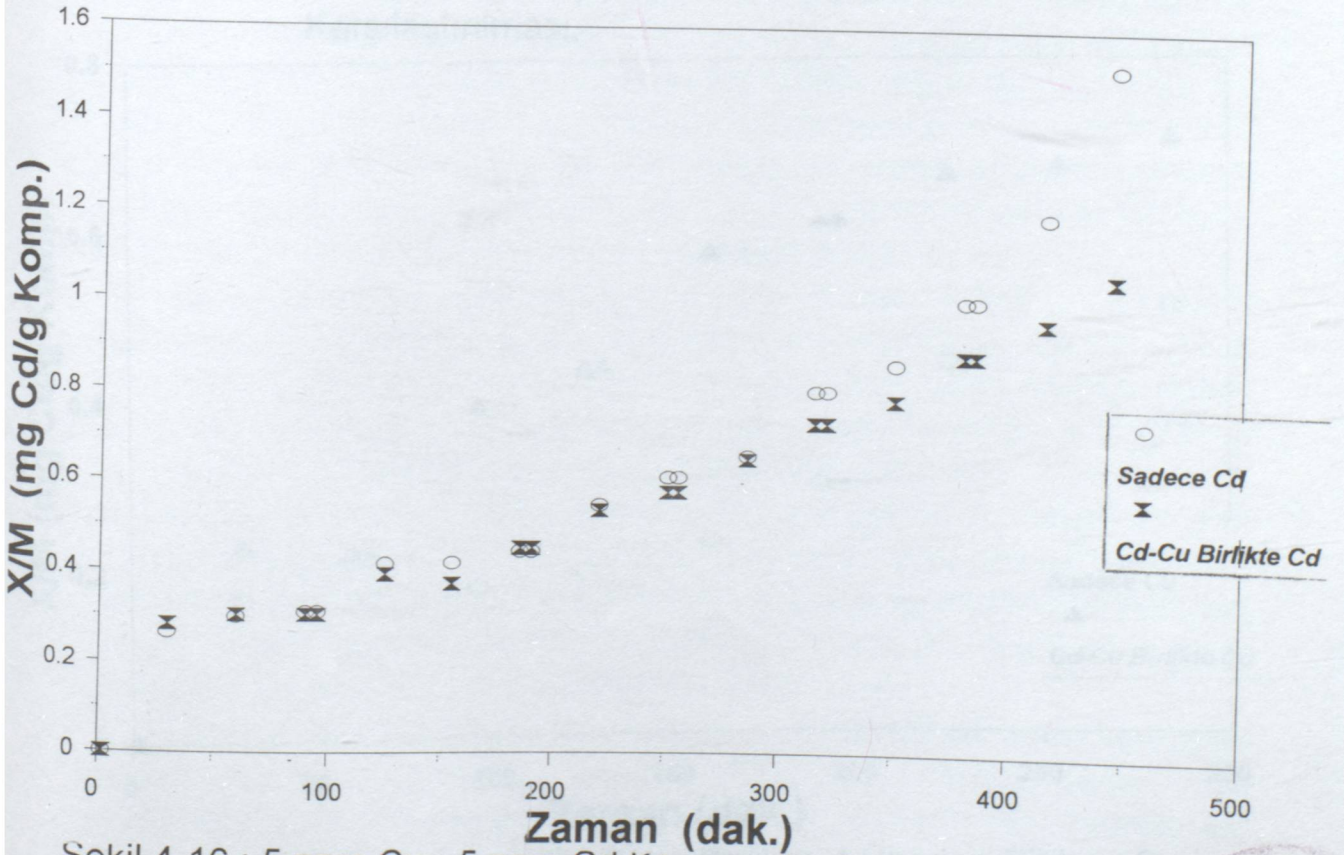
Şekil 4-13 : 5 ppm Cu-Cd'lu Çözeltinin Ardışık Beslenerek Kompost ile Adsorpsiyonu (Ardışık Besleme)



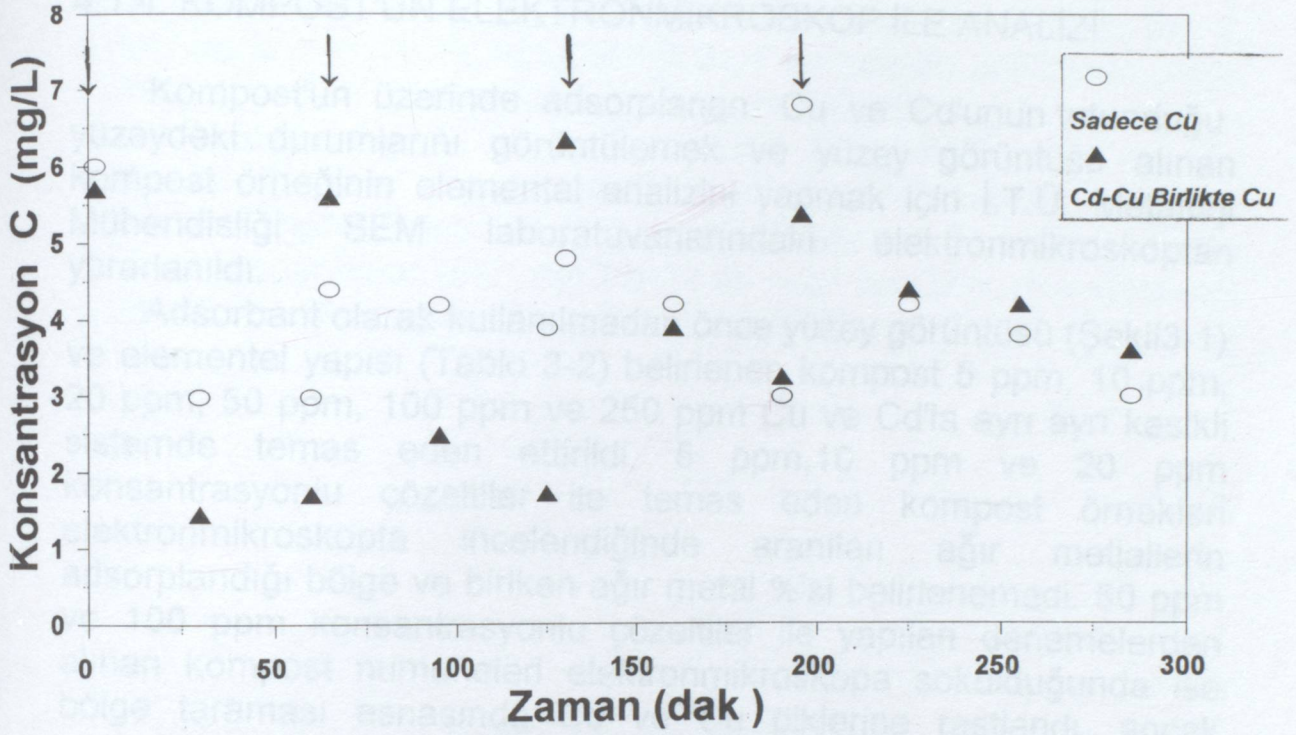
Şekil 4-14 : Kompost Üzerinde Biriken Cu-Cd Miktarları



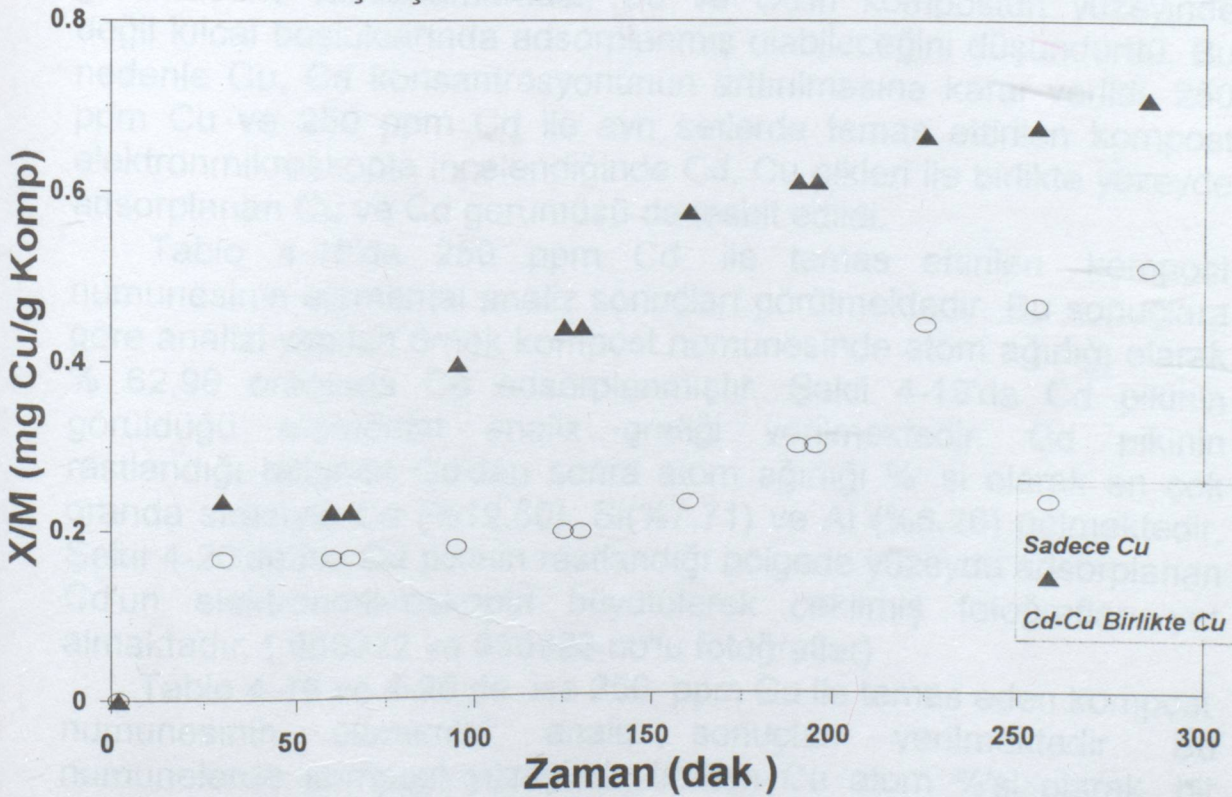
Şekil 4-15 : 5 ppm Cu-5 ppm Cd Karışımı Çözelti ile 5 ppm Cd'lu Çözeltinin Karşılaştırılması (Ardışık Besleme)



Şekil 4-16 : 5 ppm Cu - 5 ppm Cd Karışımı ile, 5 ppm Cd Çözeltisi ile Ardışık Olarak Beslenen İki Sette Kompost Üzerinde Biriken Cd miktarı.



Şekil 4-17 : Cu-Cd Karışımı Çözelti ile Cu'lu Çözeltinin Karşılaştırılması.



Şekil 4-18 : Karşılaştırmalı İki Sette Kompost Üzerine Biriken Cu Miktarı

#### 4.1.4. KOMPOST'UN ELEKTRONMİKROSKOP İLE ANALİZİ

Kompost'un üzerinde adsorplanan Cu ve Cd'unun tutunduğu yüzeydeki durumlarını görüntülemek ve yüzey görüntüsü alınan kompost örneğinin elemental analizini yapmak için İ.T.Ü. Metalurji Mühendisliği SEM laboratuvarlarındaki elektronmikroskoptan yararlanıldı.

Adsorbant olarak kullanılmadan önce yüzey görüntüsü (Şekil3-1) ve elementel yapısı (Tablo 3-2) belirlenen kompost 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, 50 ppm, 100 ppm ve 250 ppm Cu ve Cd'la ayrı ayrı kesikli sistemde temas eden ettirildi. 5 ppm,10 ppm ve 20 ppm konsantrasyonlu çözeltiler ile temas eden kompost örnekleri elektronmikroskopta incelendiğinde aranılan ağır metallerin adsorplandığı bölge ve biriken ağır metal %'si belirlenemedi. 50 ppm ve 100 ppm konsantrasyonlu çözeltiler ile yapılan denemelerden alınan kompost numuneleri elektronmikroskopa sokulduğunda ise bölge taraması esnasında Cd ve Cu piklerine rastlandı, ancak görüntüde Cd ve Cu'ın biriktiği yüzey tesbit edilemedi. Elektronmikroskopta aranılan ağır metal piklerine rastlanıp da görüntüsüne rastlanamaması; Cd ve Cu'ın kompostun yüzeyinde değil kılcal boşluklarında adsorplanmış olabileceğini düşündürdü. Bu nedenle Cu, Cd konsantrasyonunun artırılmasına karar verildi. 250 ppm Cu ve 250 ppm Cd ile ayrı setlerde temas ettirilen kompost elektronmikroskopta incelendiğinde Cd, Cu pikleri ile birlikte yüzeyde adsorplanan Cu ve Cd görüntüsü de tesbit edildi.

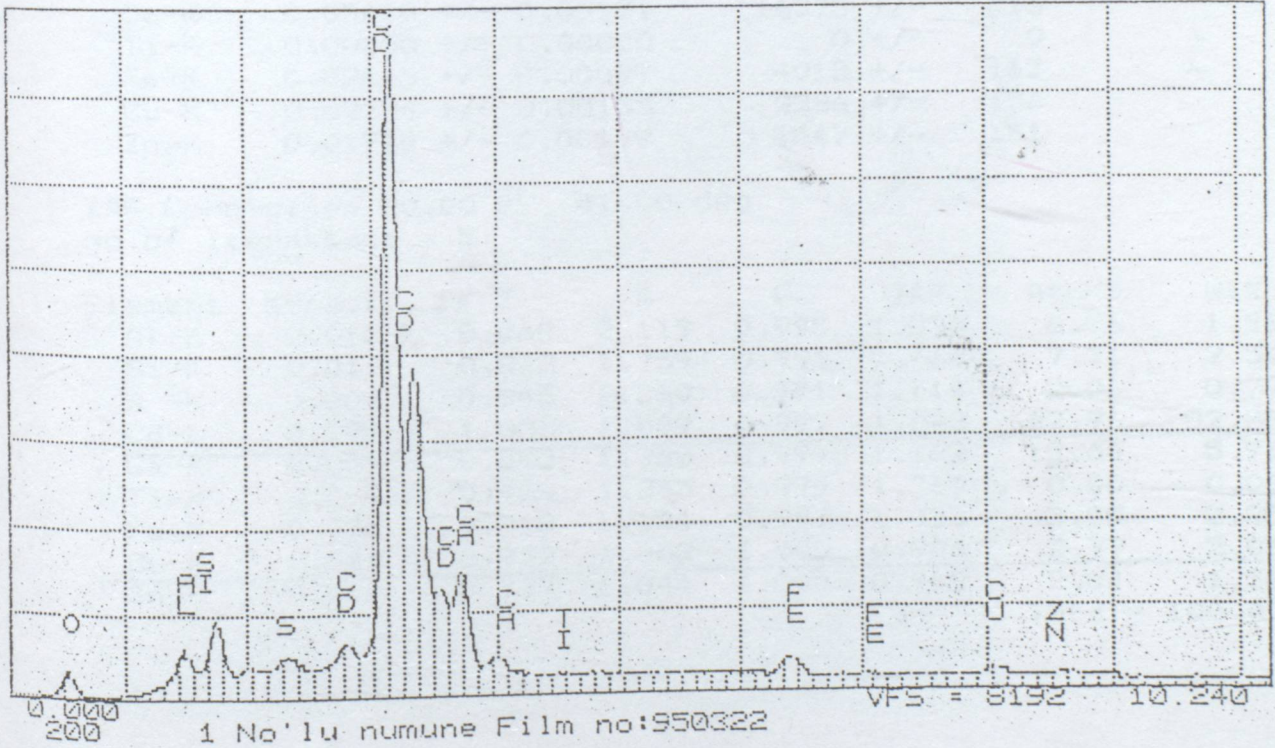
Tablo 4-18'de 250 ppm Cd ile temas ettirilen kompost numunesinin elemental analiz sonuçları görülmektedir. Bu sonuçlara göre analizi yapılan örnek kompost numunesinde atom ağırlığı olarak % 62,96 oranında Cd adsorplanmıştır. Şekil 4-19'da Cd pikinin görüldüğü elemental analiz grafiği verilmektedir. Cd pikinin rastlandığı bölgede Cd'dan sonra atom ağırlığı %' si olarak en çok oranda sırasıyla Ca (%12,60), Si(%7,71) ve Al (%6,26) gelmektedir. Şekil 4-20'de ise Cd pikinin rastlandığı bölgede yüzeyde adsorplanan Cd'un elektronmikroskopta büyütülerek çekilmiş fotoğrafları yer almaktadır. ( 950322 ve 950323 no'lu fotoğraflar)

Tablo 4-19 ve 4-20 de ise 250 ppm Cu ile temas eden kompost numunesinin elemental analiz sonuçları verilmektedir. Bu numunelerde kompost yüzeyinde biriken Cu atom %'si olarak, bir numunede % 84,46 diğerinde % 88,48'dir. Aynı numunede Cu'a atom

%'si olarak en yakın element çalışmanın birinde %6,45 ile S, diğerinde % 7,79 ile Si dur. Şekil 4-21 a ve b'de bu analizlerin grafik olarak sonuçları verilmektedir. Kompost yüzeyinde Cu ve Cd'un adsorplandığı bölgede orjinal kompostta (Bkz. Tablo 3-2) en çok rastlanan Fe eser oranda görülmüştür. Aynı numuneler üzerinde yapılan incelemede ise Fe'in % olarak ağırlığı olduğu kısımlarda Cd ve Cu'a rastlanılmamıştır. Şekil 4-22 ve 4-23 de Cu'in adsorplandığı yüzeydeki elektronmikroskop görüntüleri verilmektedir.

TN-5500  
Cursor: 0.000KeV = 0

TUE 31-JAN-95 15:01



Şekil 4-19 : 250 ppm Cd Çözeltisi ile Temas Eden Kompost'un Elektronmikroskop'ta Elemental Analizi

Tablo 4-18 : 250 ppm Cd çözeltisi ile Temas Eden Kompost'un Elektronmikroskop'ta Elemental Analizi

1. No'lu numune Film no:950322  
Standardless Analysis  
20.0 kV 41.0 Degrees

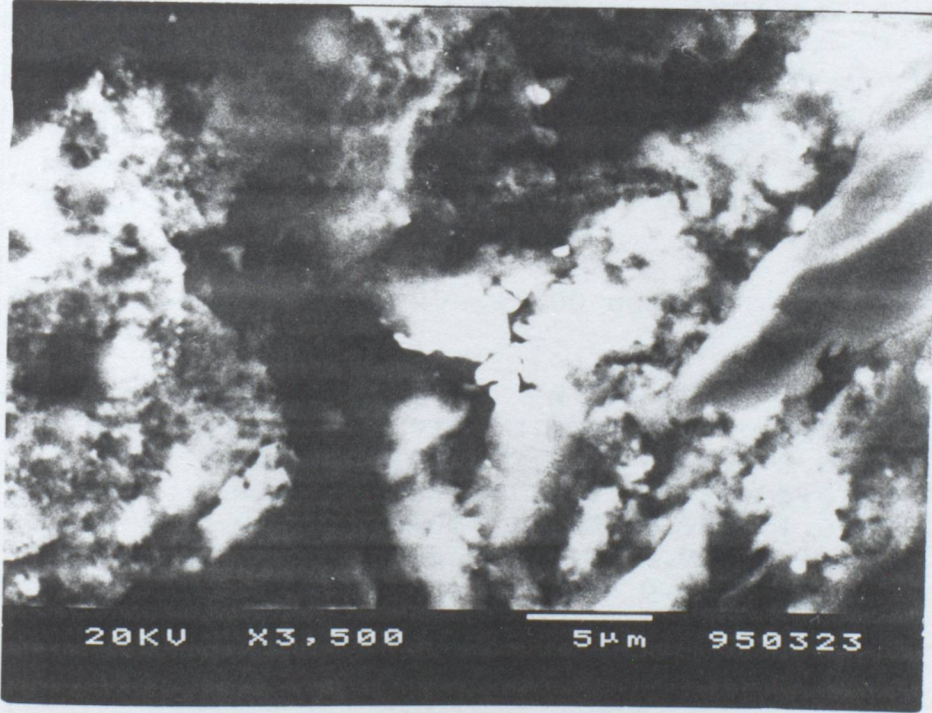
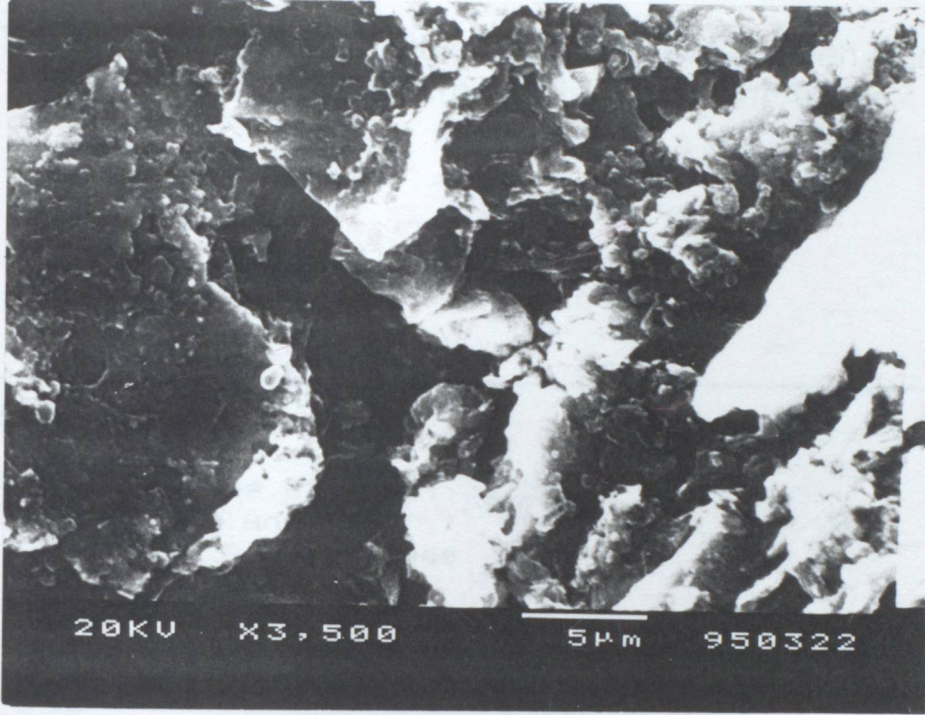
Refit \_TIK' \_TIK"  
Refit \_S K' \_S K" \_TIK \_FEK" \_CUK" \_ZNK' \_ZNK"  
Chi-sqd = 1.76

Element	Rel. K-ratio	Net Counts
Al-K	0.01148 +/- 0.00078	4444 +/- 303
Si-K	0.01837 +/- 0.00081	8258 +/- 364
S -K	0.00736 +/- 0.00042	3006 +/- 171
Cd-L	0.84484 +/- 0.00602	190462 +/- 1358
Ca-K	0.05410 +/- 0.00171	16373 +/- 516
Ti-K	0.00000 +/- 0.00000	0 +/- 0
Fe-K	0.02443 +/- 0.00099	4013 +/- 162
Cu-K	0.02224 +/- 0.00155	2236 +/- 156
Zn-K	0.01718 +/- 0.00179	1447 +/- 151

ZAF Correction 20.00 kV 41.00 deg  
No. of Iterations = 5

Element	K-ratio	Z	A	F	ZAF	Aton%	Wt%
Al-K	0.011	0.868	2.119	0.995	1.830	6.26	1.98
Si-K	0.017	0.842	1.759	0.991	1.468	7.71	2.54
S -K	0.007	0.845	1.360	0.971	1.116	2.06	0.77
Cd-L	0.795	1.036	1.009	0.997	1.042	62.96	82.83
Ca-K	0.051	0.850	1.368	0.999	1.162	12.60	5.91
Ti-K	0.000	0.924	1.365	0.999	1.260	0.00	0.00
Fe-K	0.023	0.913	1.124	0.997	1.023	3.59	2.35
Cu-K	0.021	0.932	1.058	1.000	0.986	2.77	2.06
Zn-K	0.016	0.927	1.044	1.000	0.968	2.04	1.56
						Total=	100.00%





Şekil 4-20 : Kompost Yüzeyinde Tutunmuş Cd'un Elektronmikroskop Görüntüsü.

Tablo 4 - 19 : 250 ppm Cu çözeltisi ile Temas Eden Kompost'un Elektronmikroskop'ta Elemental Analizi.

SO: QUANTIFY

3 No'lu numune Film no:950324

Standardless Analysis

20.0 kV 41.0 Degrees

Refit \_ZNK' \_ZNK"

Refit \_ALK" \_S K" \_CAK' \_CAK" \_TIK' \_TIK" \_ZNK

Chi-sqd = 1.39

Element	Rel. K-ratio	Net Counts
Al-K	0.00151 +/- 0.00010	584 +/- 38
Si-K	0.00372 +/- 0.00022	1674 +/- 99
S -K	0.02460 +/- 0.00033	10048 +/- 134
Ca-K	0.00093 +/- 0.00026	281 +/- 80
Ti-K	0.00097 +/- 0.00038	249 +/- 98
Fe-K	0.02674 +/- 0.00164	4397 +/- 269
Cu-K	0.94154 +/- 0.00632	94719 +/- 636
Zn-K	0.00000 +/- 0.00000	0 +/- 0

ZAF Correction 20.00 kV 41.00 deg

No. of Iterations = 3

Element	K-ratio	Z	A	F	ZAF	Atom%	Wt%
Al-K	0.001	0.919	3.030	0.999	2.782	0.92	0.41
Si-K	0.004	0.892	2.310	0.999	2.058	1.61	0.75
S -K	0.024	0.896	1.589	0.999	1.423	6.45	3.42
Ca-K	0.001	0.903	1.138	0.986	1.013	0.14	0.09
Ti-K	0.001	0.985	1.069	0.961	1.012	0.12	0.10
Fe-K	0.026	0.981	1.012	0.814	0.809	2.29	2.12
Cu-K	0.921	1.008	1.003	1.000	1.011	88.48	93.11
Zn-K	0.000	1.003	1.001	1.000	1.004	0.00	0.00
						Total=	100.00%

Tablo 4-20 : 250 ppm Cu Çözeltisi ile Temas Eden Kompost'un Elektronmikroskop'ta Elemental Analizi.

3. No'lu numune Film no: 950326  
 Standardless Analysis  
 20.0 kV 41.0 Degrees

Refit\_ZNK\_ZNK"  
 Refit\_SIK\_S\_K" \_CAK\_ \_CAK" \_TIK\_ \_ZNK"  
 Refit\_ALK"  
 Chi-sqd = 54.88

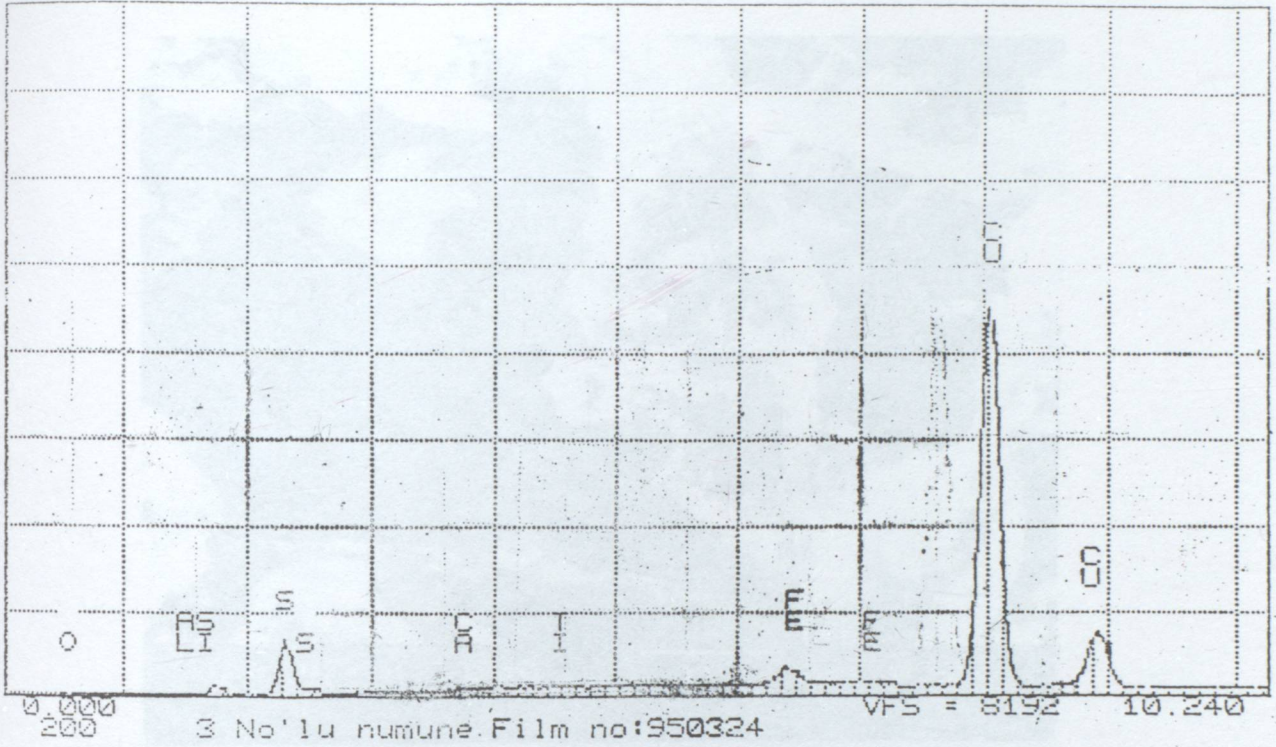
Element	Rel. K-ratio	Net Counts
Al-K	0.00620 +/- 0.00053	2034 +/- 174
Si-K	0.01874 +/- 0.00034	7137 +/- 129
S -K	0.00219 +/- 0.00038	758 +/- 133
Ca-K	0.00286 +/- 0.00046	733 +/- 119
Ti-K	0.00550 +/- 0.00103	1202 +/- 225
Fe-K	0.03047 +/- 0.00177	4240 +/- 246
Cu-K	0.93403 +/- 0.00670	79518 +/- 570
Zn-K	0.00000 +/- 0.00000	0 +/- 0

ZAF Correction 20.00 kV 41.00 deg  
 No. of Iterations = 2

Element	K-ratio	Z	A	F	ZAF	Atom%	Wt%
Al-K	0.006	0.920	2.996	0.999	2.755	3.59	1.64
Si-K	0.018	0.893	2.307	1.000	2.060	7.79	3.72
S -K	0.002	0.898	1.614	0.999	1.447	0.56	0.31
Ca-K	0.003	0.907	1.136	0.986	1.016	0.41	0.28
Ti-K	0.005	0.989	1.068	0.963	1.017	0.66	0.54
Fe-K	0.029	0.983	1.012	0.818	0.814	2.52	2.39
Cu-K	0.899	1.011	1.003	1.000	1.014	84.36	91.13
Zn-K	0.000	1.008	1.001	1.000	1.009	0.00	0.00
						Total=	100.00%

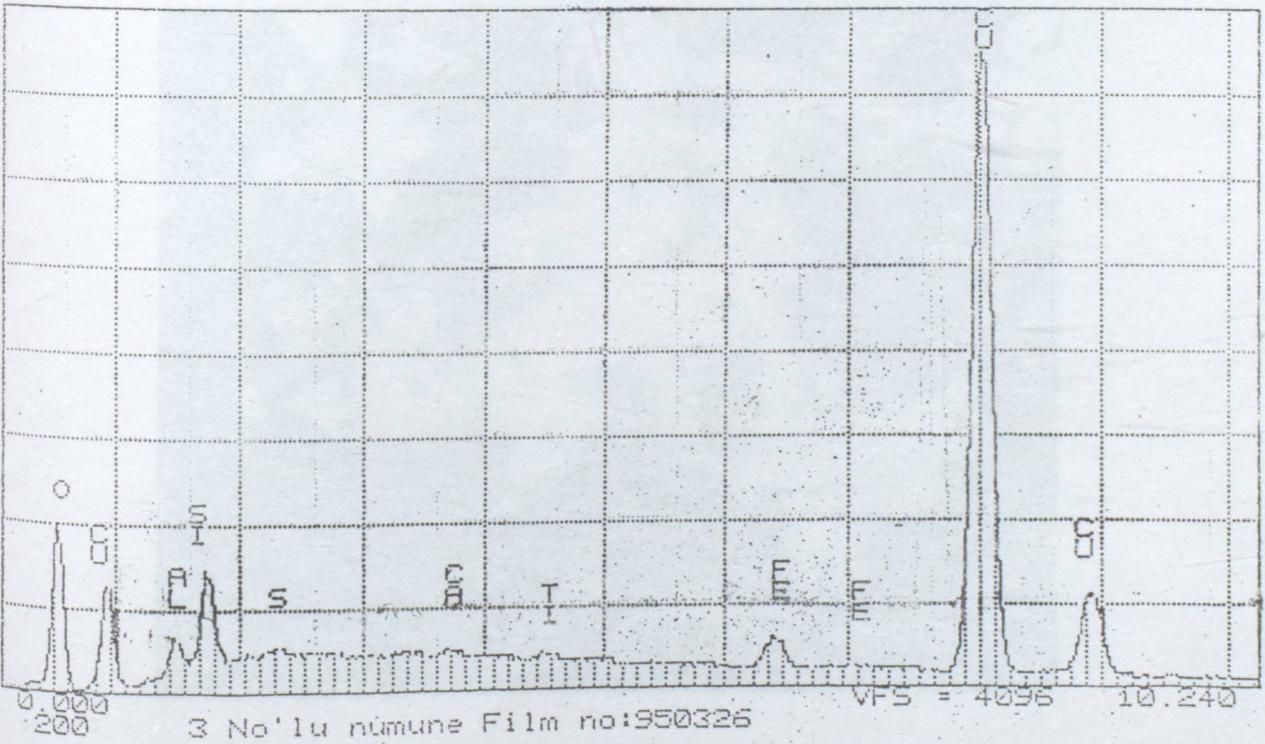
TN-5500  
Cursor: 0.000keV = 0

TUE 31-JAN-95 15:33



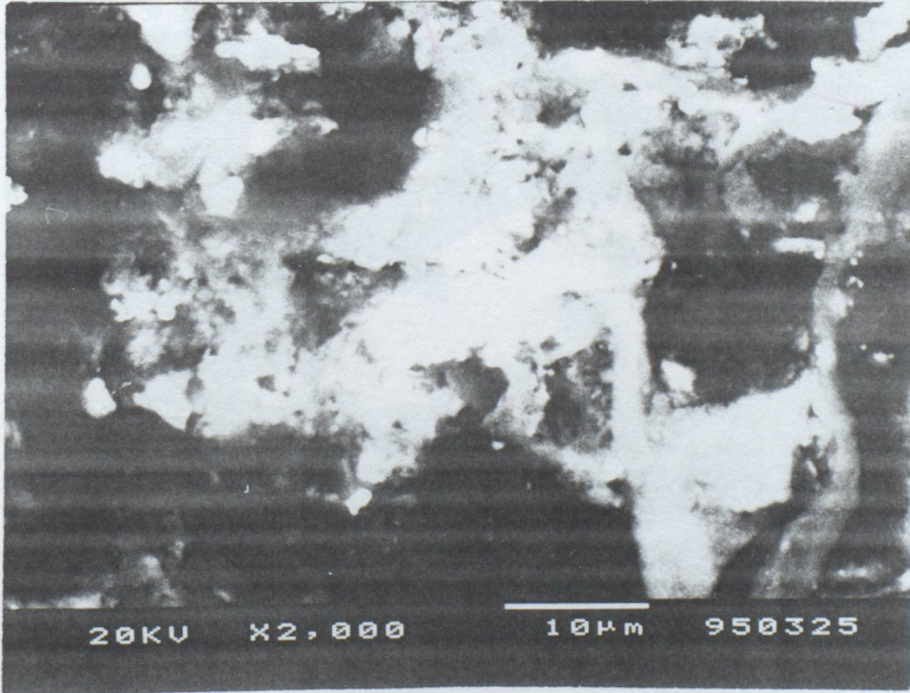
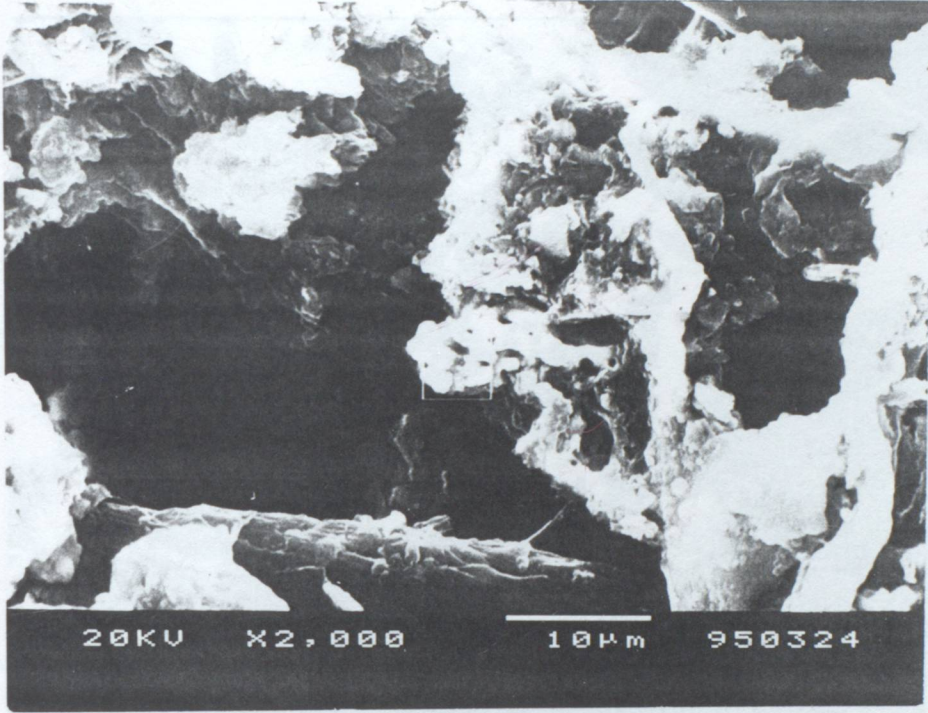
TN-5500  
Cursor: 0.000keV = 0

TUE 31-JAN-95 15:42



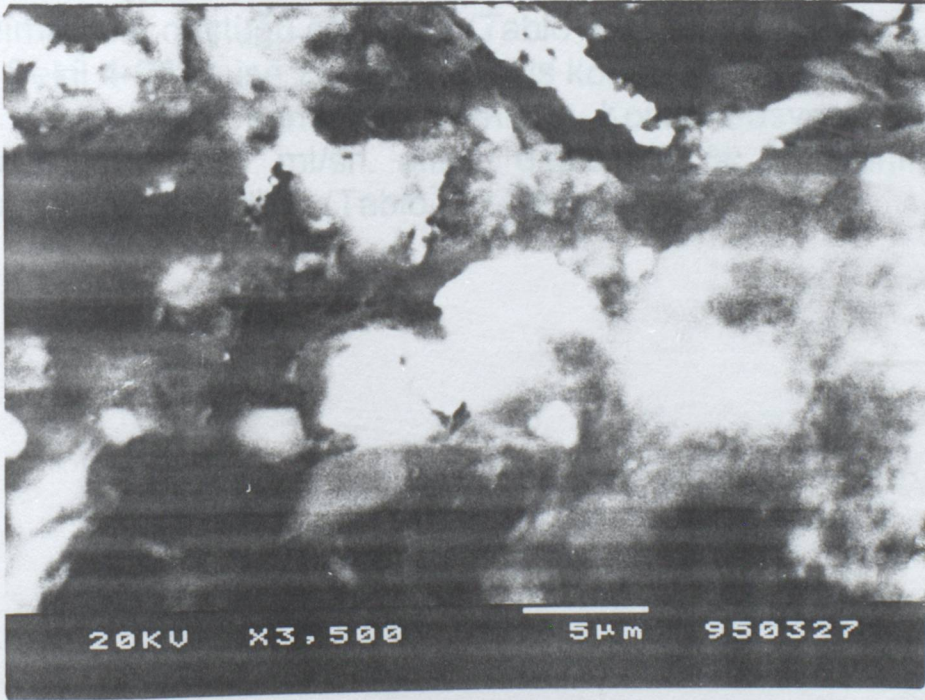
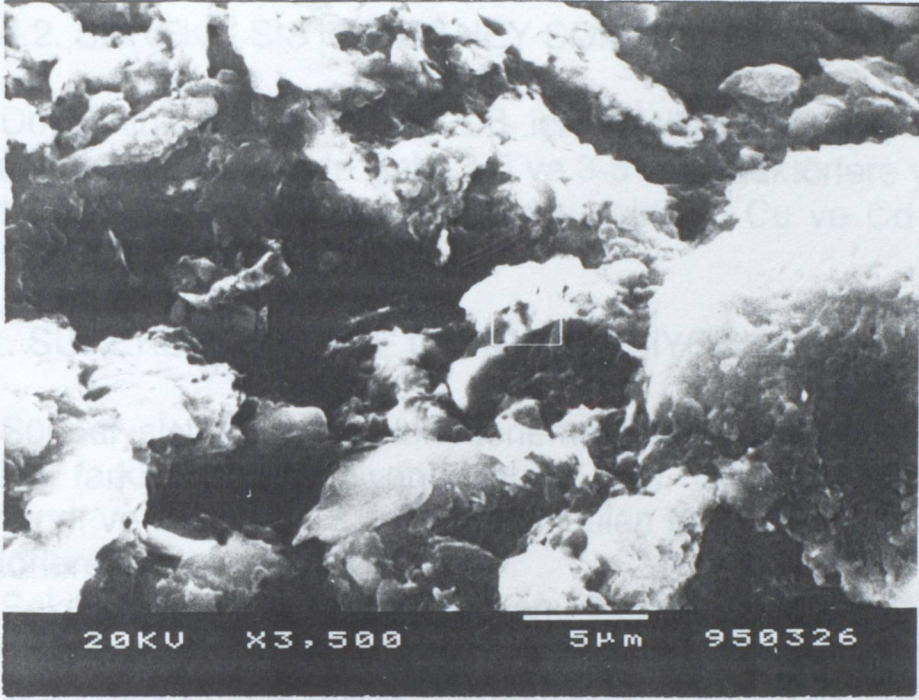
Şekil 4 - 21 : a) Tablo 5-19'daki  
b) Tablo 5-20 deki Kompost Örneklerinin  
Elektronmikroskop Görüntüsü (250 ppm Cu)





Şekil 4-22 : Tablo 5-19 ve Şekil 5-21 a'da Elemental Analiz Sonuçları Verilen Kompost'un Yüzeyinde Tutunmuş Cu'nun Elektronmikroskop Görüntüsü





Şekil 4 - 23 : Tablo 5-20 ve Şekil 5-21 b'de Elemental Sonuçları Verilen Kompost'un Yüzeyinde Tutunmuş Cu'nun Elektronmikroskop Görüntüsü

## 4.2. SÜREKLİ SİSTEM DENEY SONUÇLARI

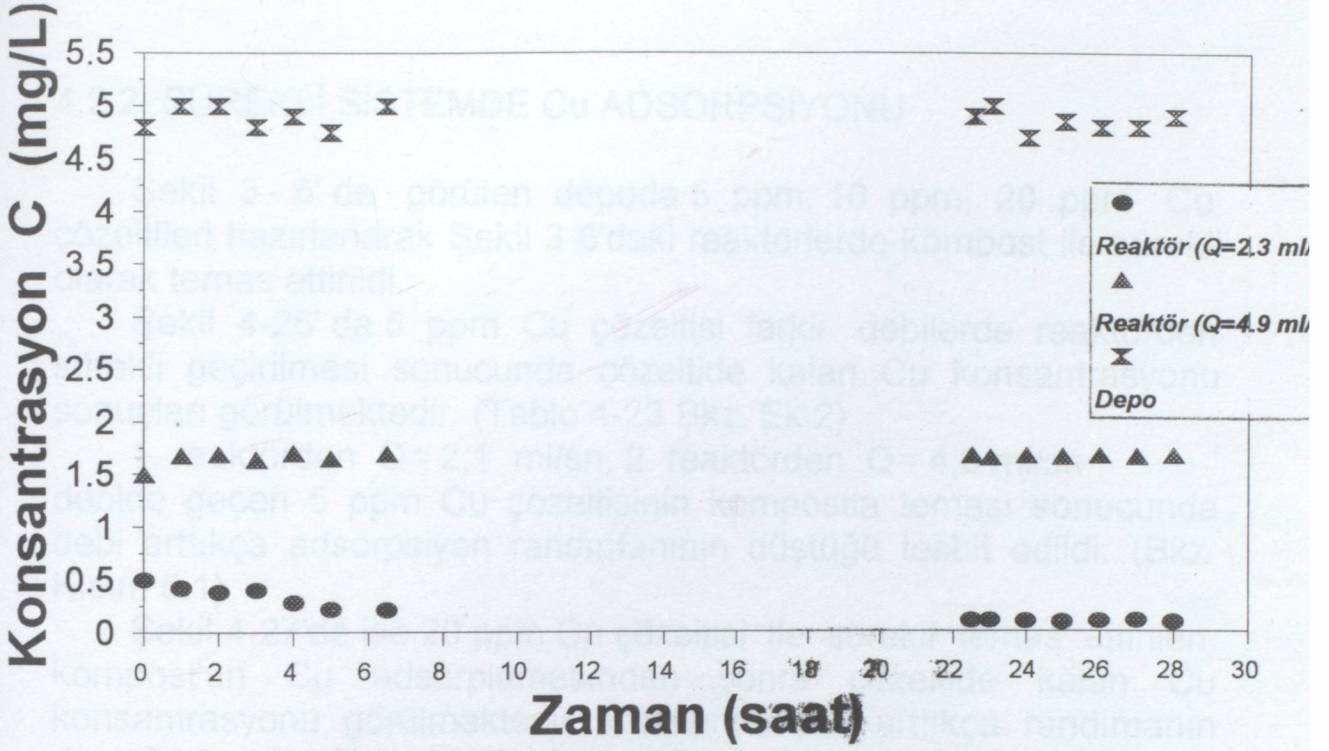
Doygunluk değeri Cu ve Cd için kesikli sistemde belirlenen kompost sürekli sistemde Şekil 3-5 ve 3-6'daki reaktörlere yerleştirildi ve reaktöre alttan giren sentetik atıksu içindeki Cu ve Cd ile temas ettirildi.

### 4.2.1. SÜREKLİ SİSTEMDE Cd ADSORPSİYONU

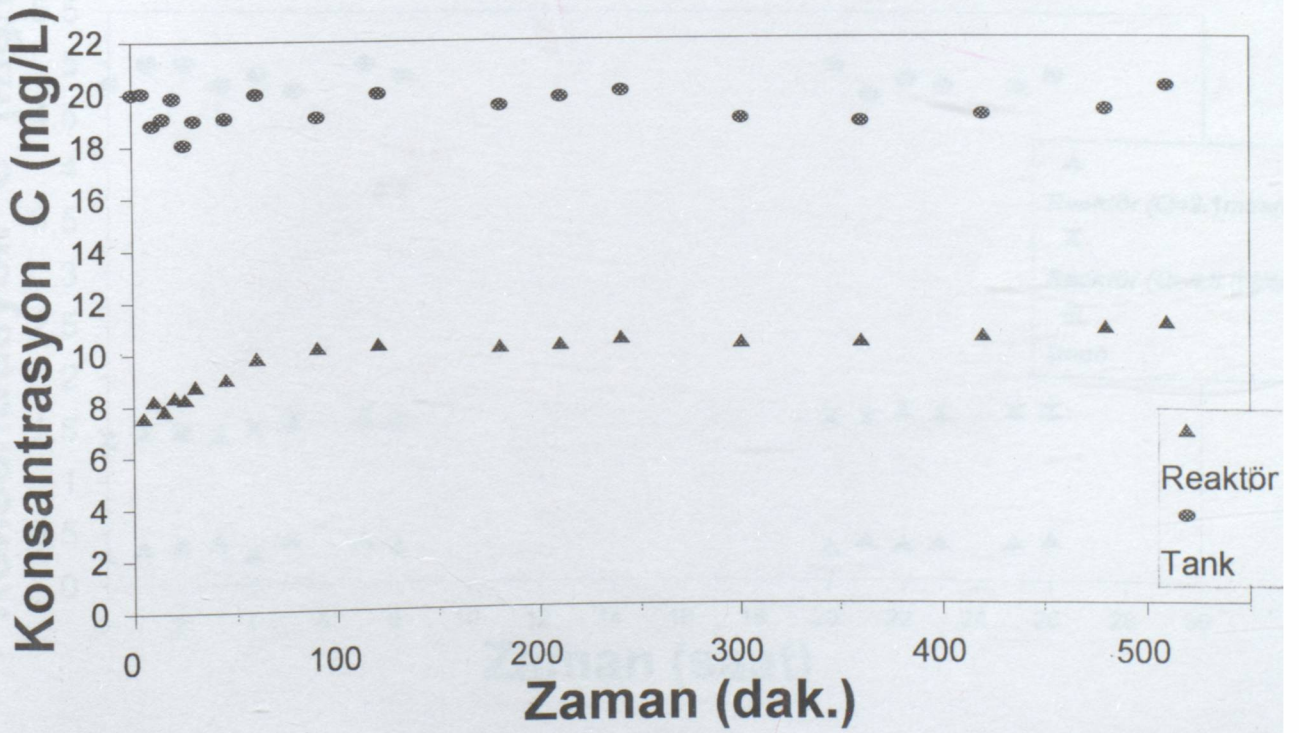
Sürekli sistemde yapılan denemelerde Şekil 3-5' de görülen depoda farklı konsantrasyonlarda (5 ppm, 20 ppm) Cd çözeltisi hazırlandı ve bu çözelti 3. kısımda anlatılan prensiplere uygun olarak reaktörlere verildi.

Şekil 4-24'de giriş konsantrasyonu 5 ppm olan Cd çözeltisinin iki ayrı reaktörden iki ayrı debide (1.reaktörde  $Q= 2,3$  ml/sn., 2.reaktörde  $Q= 4,9$  ml/sn.) geçerken Cd'un sulu ortamdan kompost ile uzaklaştırılmasının sonuçları verilmektedir. Debi değiştirilerek sürdürülen çalışmalar sonucunda sürekli sistemde debi arttıkça arıtım randımanının düştüğü gözlemlendi. (Tablo 4-21 Bkz. Ek.2)

Şekil 4-25'de ise 20 ppm Cd giriş konsantrasyonu ile sürdürülen bir çalışmanın sonuçları verildi. Konsantrasyon 20 ppm'e çıkartıldığında 3,57 ml/sn. atıksu debisinde, % 50 oranında arıtım sağlandığı tesbit edildi. (Tablo 4-22 Bkz. Ek 2)



Şekil 4-24 : Farklı Debilerde Reaktöre Verilen 5 ppm Cd Çözeltisinin Adsorpsiyonu.



Şekil 4-25 : 20 ppm Cd Çözeltisinin Sürekli sistemde Adsorpsiyonu



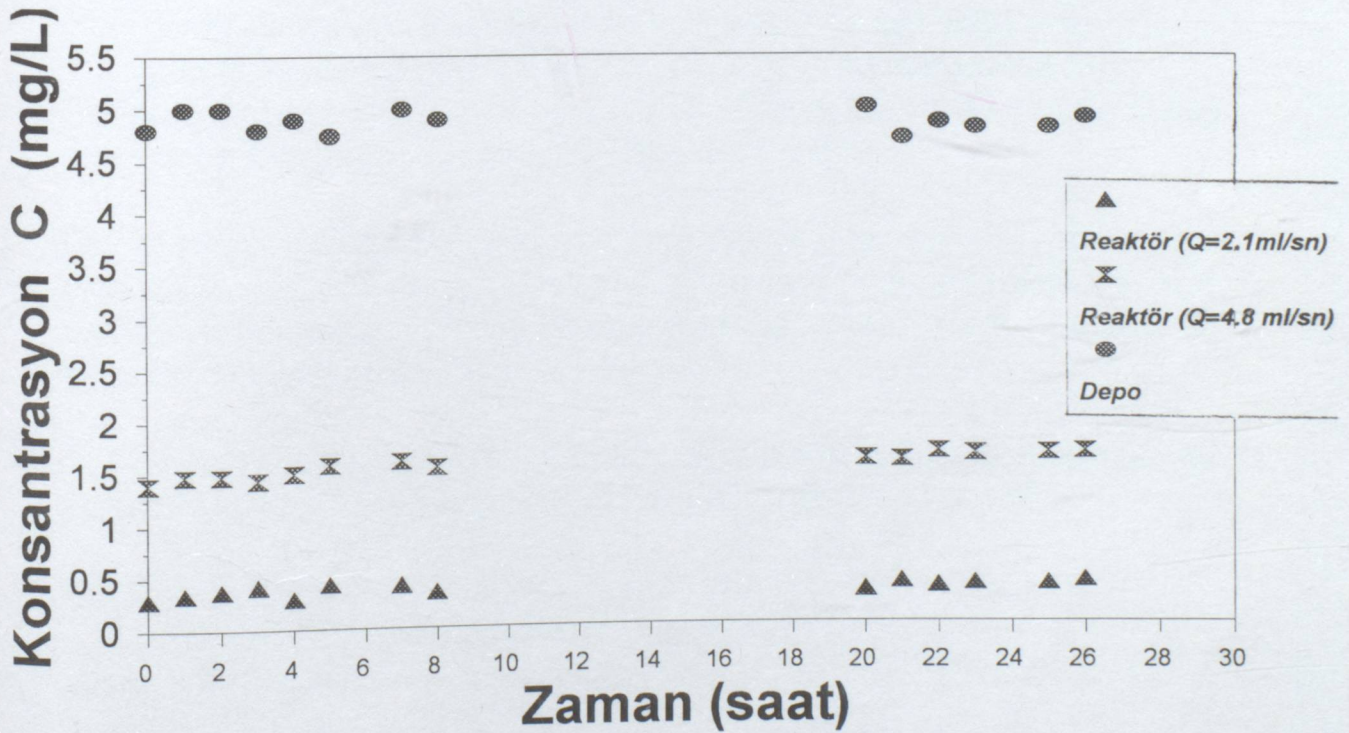
#### 4.2.2. SÜREKLİ SİSTEMDE Cu ADSORPSİYONU

Şekil 3 - 5' de görülen depoda 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm Cu çözeltileri hazırlanarak Şekil 3-6'daki reaktörlerde kompost ile sürekli olarak temas ettirildi.

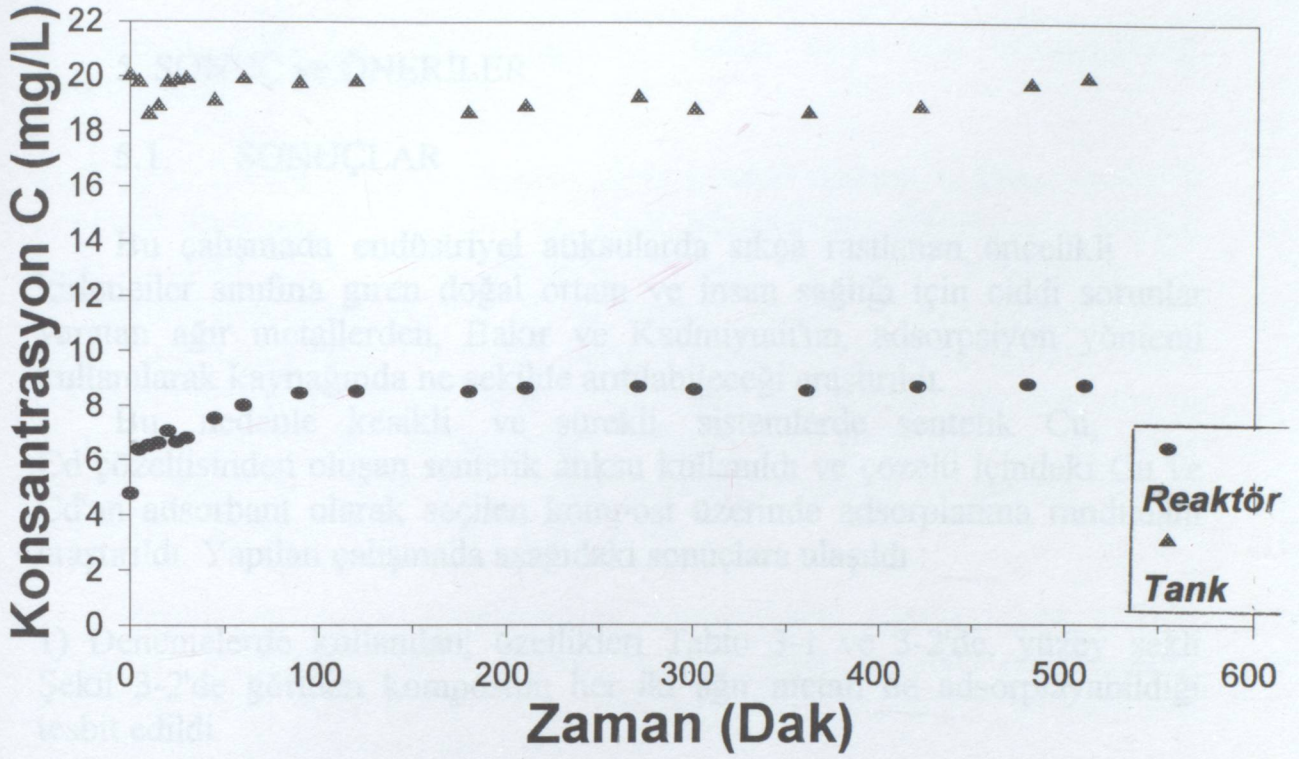
Şekil 4-26' da 5 ppm Cu çözeltisi farklı debilerde reaktörden sürekli geçirilmesi sonucunda çözeltide kalan Cu konsantrasyonu sonuçları görülmektedir. (Tablo 4-23 Bkz. Ek.2)

1. reaktörden  $Q=2,1$  ml/sn, 2. reaktörden  $Q=4,8$  ml/sn debide geçen 5 ppm Cu çözeltisinin kompostla teması sonucunda debi arttıkça adsorpsiyon randımanının düştüğü tesbit edildi. (Bkz. Kısım 5.1)

Şekil 4-27'de ise 20 ppm Cu çözeltisi ile sürekli temas ettirilen kompost'un Cu adsorplamasından sonra çözeltide kalan Cu konsantrasyonu görülmektedir. Konsantrasyon arttıkça randımanın düştüğü tesbit edilmiştir. (Tablo 4-24 Bkz. Ek.2)



Şekil 4-26 : Farklı Debilerde Reaktöre Verilen 5 ppm Cu Çözeltisinin Adsorpsiyonu.



Şekil 4-27 : 20 ppm Cu Çözeltisinin Sürekli Sistemde Adsorpsiyonu.

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

### 5.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada endüstriyel atıksularda sıkça rastlanan, öncelikli kirleticiler sınıfına giren doğal ortam ve insan sağlığı için ciddi sorunlar yaratan ağır metallere, Bakır ve Kadmiyum'un, adsorpsiyon yöntemi kullanılarak kaynağında ne şekilde arıtılabileceği araştırıldı.

Bu nedenle kesikli ve sürekli sistemlerde sentetik Cu, Cd çözeltisinden oluşan sentetik atıksu kullanıldı ve çözelti içindeki Cu ve Cd'un adsorbant olarak seçilen kompost üzerinde adsorplanma randımanı araştırıldı. Yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşıldı :

1) Denemelerde kullanılan; özellikleri Tablo 3-1 ve 3-2'de, yüzey şekli Şekil 3-2'de görülen kompostun her iki ağır metali de adsorplayabildiği tesbit edildi.

Ancak kompost'un adsorplama kapasitesinin Cu ve Cd için farklı olduğu belirlendi. 50 ml/L kompost 240 dak.süresince Cu ve Cd ile temas ettiğinde Kadmiyumun Bakırdan daha hızlı adsorplandığı belirlendi.

Çözelti içindeki 5 ppm Cu ve 5 ppm Cd'un 4 saat sonucunda alıcı ortama deşarj kriterlerine; 10 ppm Cu ve 10 ppm Cd'un ise kanala deşarj kriterlerine düşürülebildiği görüldü. (Bkz. Ek.1 Tablo 5-1)

Bu nedenle, Aliminyum şekillendirme, Metal son işlemler demir dışı metaller üretim, emayeleme pil ve akü gibi endüstrilerin atıksularından ağır metalleri adsorpsiyon yöntemi ile uzaklaştırmak amacıyla adsorbant olarak kompost'un kullanılabileceği sonucuna varıldı.

2) Kompost kesikli sistemde Cd ve Cu ile ayrı ayrı ardışık olarak beslendi ve her iki ağır metal için kompost'un doygunluk değeri araştırıldı.

Bu değer Cd için 0.043 mol Cd/g Kompost  
Cu için 0.0558 mol Cu/g Kompost  
olarak tesbit edildi.

Kompost üzerinde adsorplanan Cd ve Cu'nun doygunluk değerleri ile bu metallerin tuzlarının çözünürlükleri kıyaslandığında, Kadmiyum tuzlarının çözünürlüğünün Bakır tuzlarından fazla olduğu dikkate alınır

iki bileşik arasında çözünürlüğü az olanın daha çok adsorplandığı düşünülebilir.

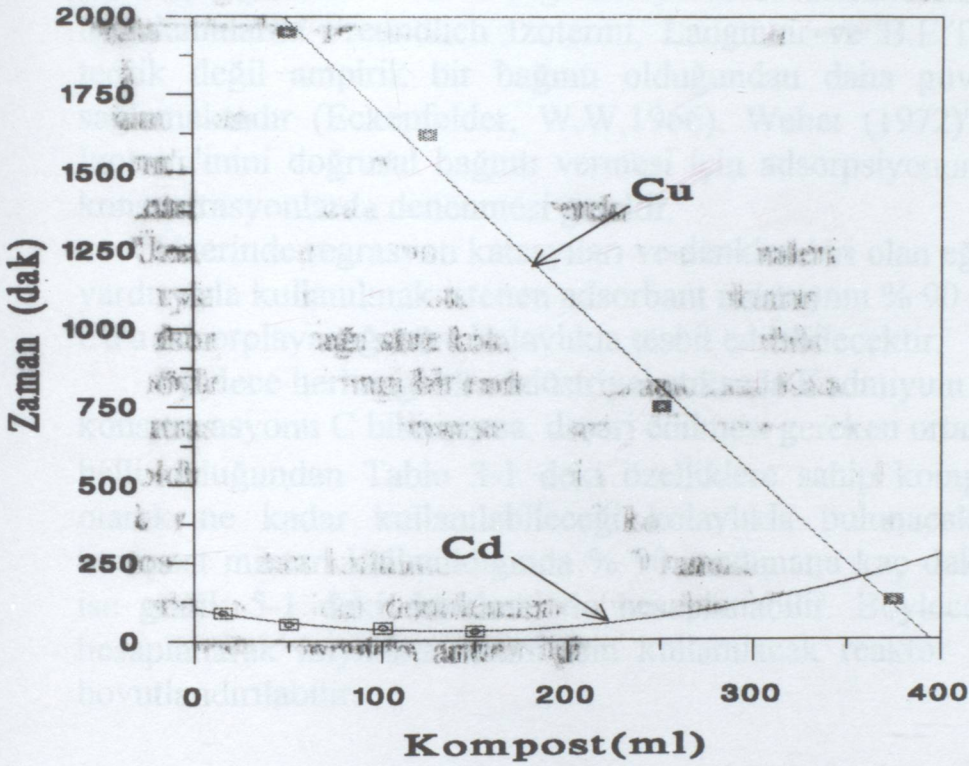
3) 5 ppm Cu ve 5 ppm Cd çözeltileri kesikli sisteme birlikte verilerek kompost ile temas ettirildiklerinde, Cu'nun adsorplanma davranışının Cd'dan farklı olduğu tesbit edildi. Birlikte kompost ile temas ettiklerinde Cu öncelikli olarak (Bkz. Şekil 4-18) adsorplanmaktadır. Ayrıca Cd ile birlikte kompostla temas eden Cu yalnız başına, kompostla temas ettiğinden daha hızlı adsorplanmakta ancak Cd'un adsorplanma hızı düzenli artış gösterirken Cu'nun adsorplanma hızı başlangıçtaki değerine göre azalmaktadır. İki metal birlikte beslendiklerinde Cd, yalnız beslendiği setteki özelliğine benzer davranış göstermektedir. (Bkz. Şekil 4-16)

4) Kompost miktarının değişmesinin adsorpsiyona pozitif etkisi olduğu belirlendi. Kompost miktarı arttıkça çözelti içinde bulunan ağır metalin adsorplanacağı daha fazla yüzey alanı bulması nedeniyle adsorpsiyon randımanının da arttığı gözlemlendi.

5) Sentetik çözelti içinde ağır metal konsantrasyonunun artışı yaklaşık ilk yarım saat içinde adsorpsiyona hızlandırıcı etki yapmaktadır. Temas süresi 4 saatten fazla sürdüğünde ise konsantrasyonu 10 ppm'e kadar olan ağır metal çözeltilerinin kompost tarafından %98-%100 randımanla adsorplandığı belirlenmiştir.

6) 5 ppm Cd ve 5 ppm Cu için % 90 adsorpsiyon randımanına ulaşılan süre-kompost miktarı Şekil 5-1'de grafik olarak verilmiştir. % 90 randımanına karşılık gelen süre randıman eğrilerinden hesaplanmıştır.

$\square$  Cd  $y = -102.220 - 1.028x + 0.004x^2 \quad r^2 = 0.973$   
 $\blacksquare$  Cu  $y = -2293.432 - 6.134x + 0.001x^2 \quad r^2 = 0.994$



Şekil 5-1: 5ppm Cu ppm ve 5 Cd'un % 90 Adsorplanma Randıman-Süre Grafiği

7) Şekil 5-2 ve 5-3 de grafik halindeki Tablo 5-2 ve 5-3'de (Bkz. Ek.1) liste halindeki verilere göre Freundlich İzoterm katsayıları belirlendi.

Freundlich İzoterm Denklemleri :

Cd için :  $x/m = 0,81 C_e^{0,781}$  (6-1)  
( $r=0.999$ ) (5ppm Cd - 4 saatlik adsorpsiyon)

Cu için :  $x/m = 1,056 C_e^{0,033}$  (6-2)  
( $r=0.989$ ) (5ppm Cu - 4 saatlik adsorpsiyon)

olarak hesaplandı.

Kesikli sistem deney sonuçlarına (Tablo 5-2 ve 5-3, Bkz. Ek.1) göre Şekil 5-4 ve 5-5'deki Langmuir İzoterm eğrileri belirlendi. Langmuir izoterminin lineer bağıntı yerine eğrisel bağıntı vermesi nedeniyle Şekil 5-4

ve 5-5'de görülen İzoterm değerleri yorumda dikkate alınmadı. Genellikle uygulamalarda Freundlich İzotermi, Langmuir ve B.E.T. İzotermi gibi teorik değil ampirik bir bağıntı olduğundan daha güvenilir korelasyon sağlamaktadır (Eckenfelder, W.W,1966). Weber (1972)'e göre Langmuir İzoterm'inini doğrusal bağıntı vermesi için adsorpsiyonun oldukça yüksek konsantrasyonlarda denenmesi gerekir.

Üzerinde regrasyon katsayıları ve denklemleri olan eğriler yardımıyla kullanılmak istenen adsorbant miktarının % 90 randımanla Cu ve Cd'u adsorplayacağı süre kolaylıkla tesbit edilebilecektir.

Böylece herhangi bir endüstriyel atıksuda Kadmiyum ve Bakır'ın konsantrasyonu C biliniyorsa, deşarj edilmesi gereken ortam standartları  $C_e$ , belli olduğundan Tablo 3-1 deki özelliklere sahip kompost'un adsorbant olarak ne kadar kullanılacağı kolaylıkla bulunacaktır. Bulunan bu kompost miktarı kullanıldığında % 90 randımana kaç dakikada ulaşılacağı ise grafik 5-1 deki denklemlerle hesaplanabilir. Böylece minimum süre hesaplanarak kaynakta arıtım için kullanılacak reaktör ekonomik olarak boyutlandırılabilir.

8) Adsorbant olarak 2 L kompostun 8.050 L. kapasiteli reaktörlerde kullanıldığı sürekli sistem denemelerinde, çözelti içinde ağır metal konsantrasyonu kararlı hale gelinceye kadar çalışma sürdürüldü. Denemeler sentetik çözeltinin debisi değiştirilerek tekrarlandı.

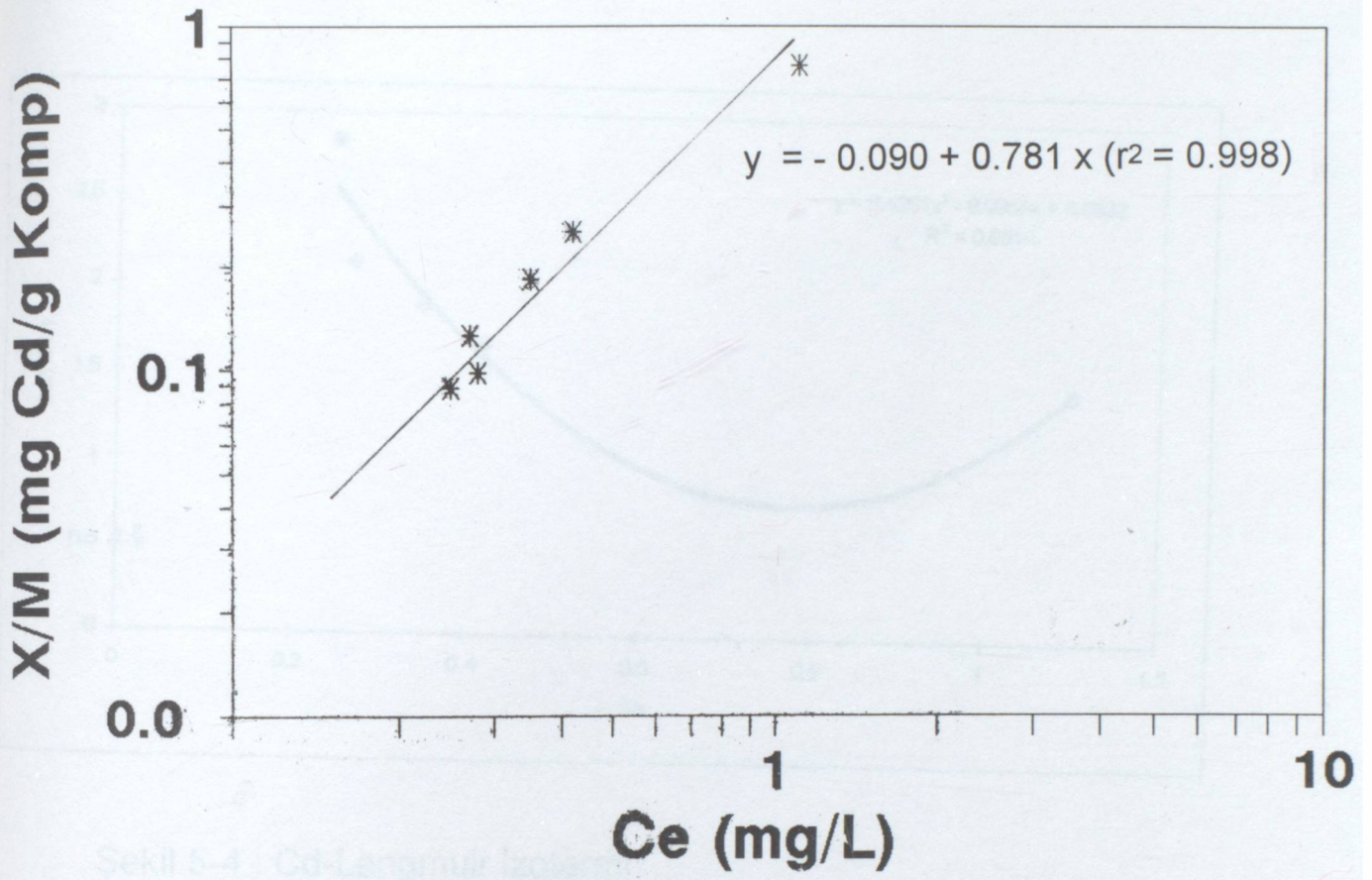
5 ppm Cd veya 5 ppm Cu çözeltisinin kompost ile temas ettiği reaktörlerden çıkış suyu konsantrasyonunun Tablo 5-4'de (Bkz. Ek.2) liste, Şekil 5-6 ve 5-7'de grafik olarak verilen sonuçlarına göre her iki ağır metal için debi arttırıldıkça çıkış suyundaki ağır metal miktarının arttığı tesbit edildi. Ancak adsorpsiyon randımanının % 65'in altına düşmediği belirlendi.

Kısım 2.2'de kirletici kaynağı olarak verilen endüstrilerin atıksuları, litrede 250 ml kompost ile temas ettirilirse:

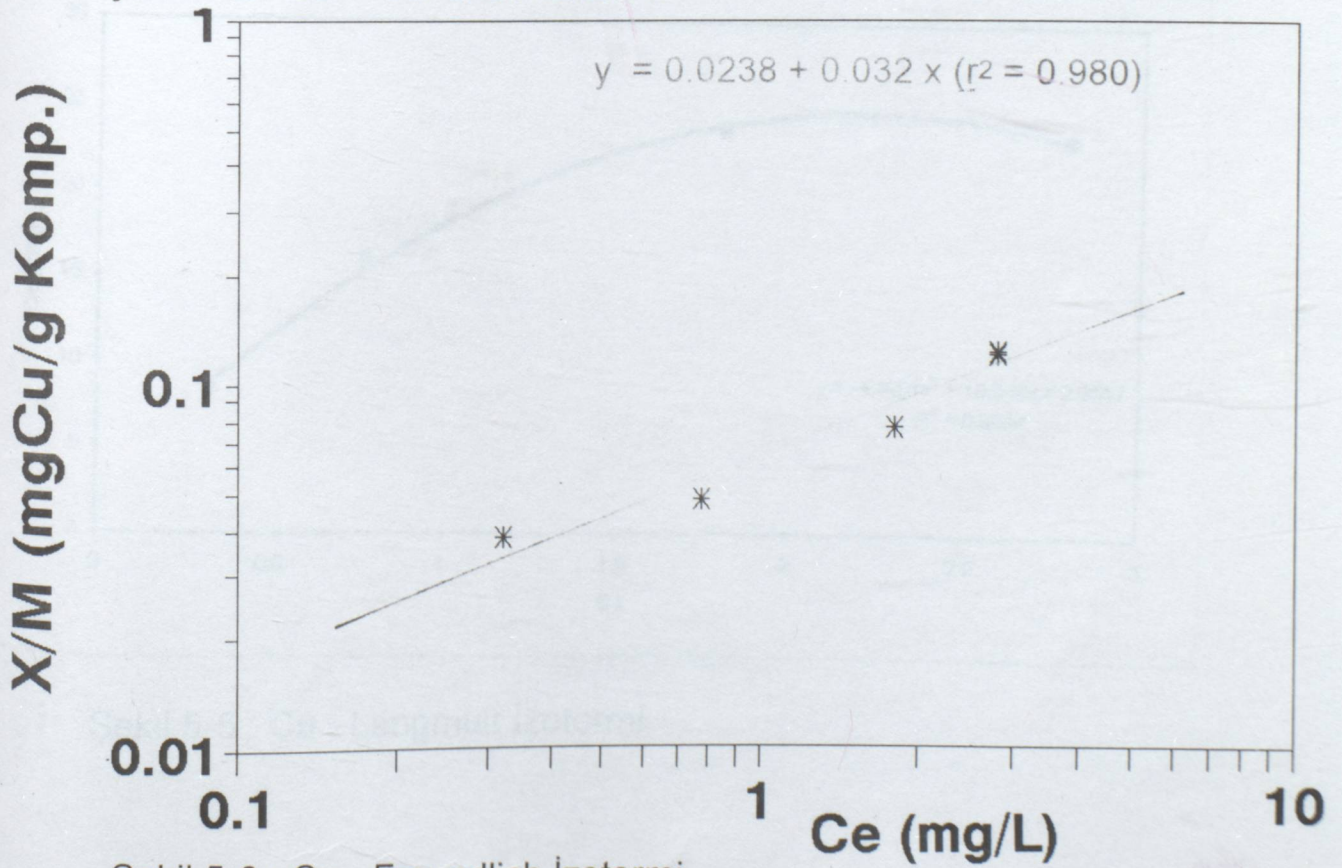
\* Başlangıç konsantrasyonları 5 ppm Cu veya 5 ppm Cd olanlar Tablo 5-4'deki bekleme sürelerine uygulanarak (Cu için 8 dak. Cd için 58 dak.), adsorpsiyon sonrasında alıcı ortama (Tablo 2-3) deşarj edilebilirler.

\* Başlangıç konsantrasyonu 20 ppm Cu olanlar ise 64 dak. bekleme süresine uyularak (Tablo 5-23) adsorpsiyon sonrasında kanala deşarj (Tablo 2-3) edilebilirler.

Başlangıç konsantrasyon 20 ppm Cd olanlar ise birbirine seri bağlı iki reaktörden geçirilerek kanala deşarj (Tablo 2-3) edilebilirler.

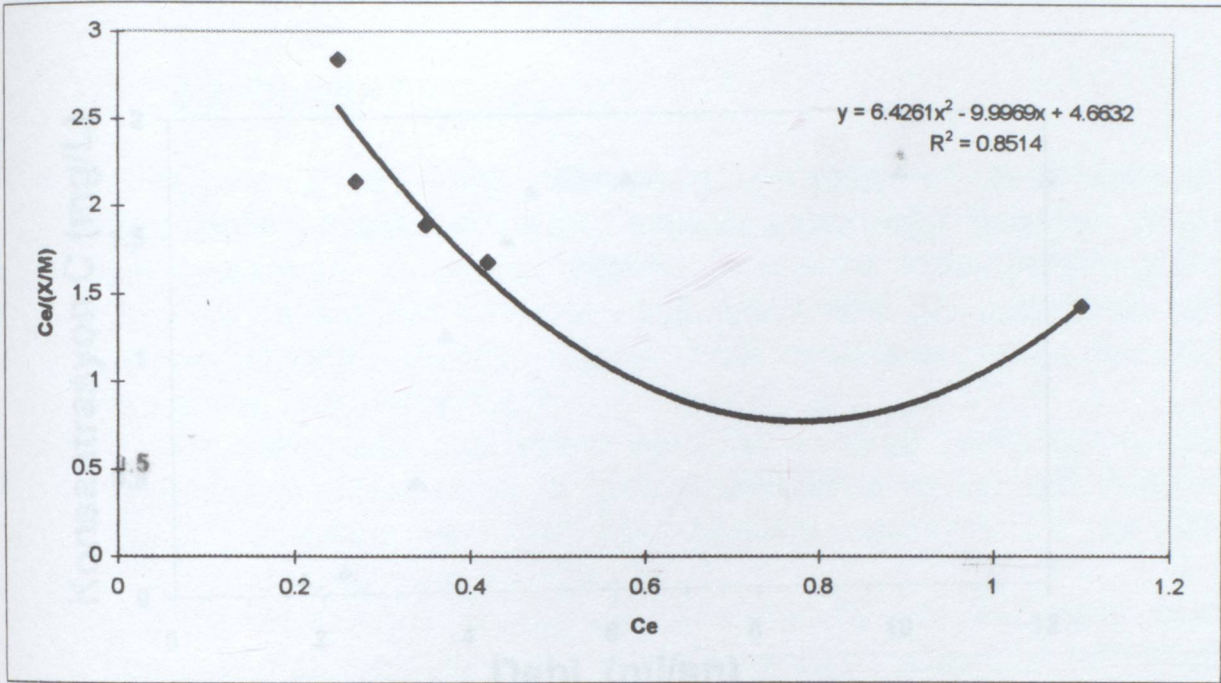


Şekil 5-2 : Cd-Freundlich İzotermi

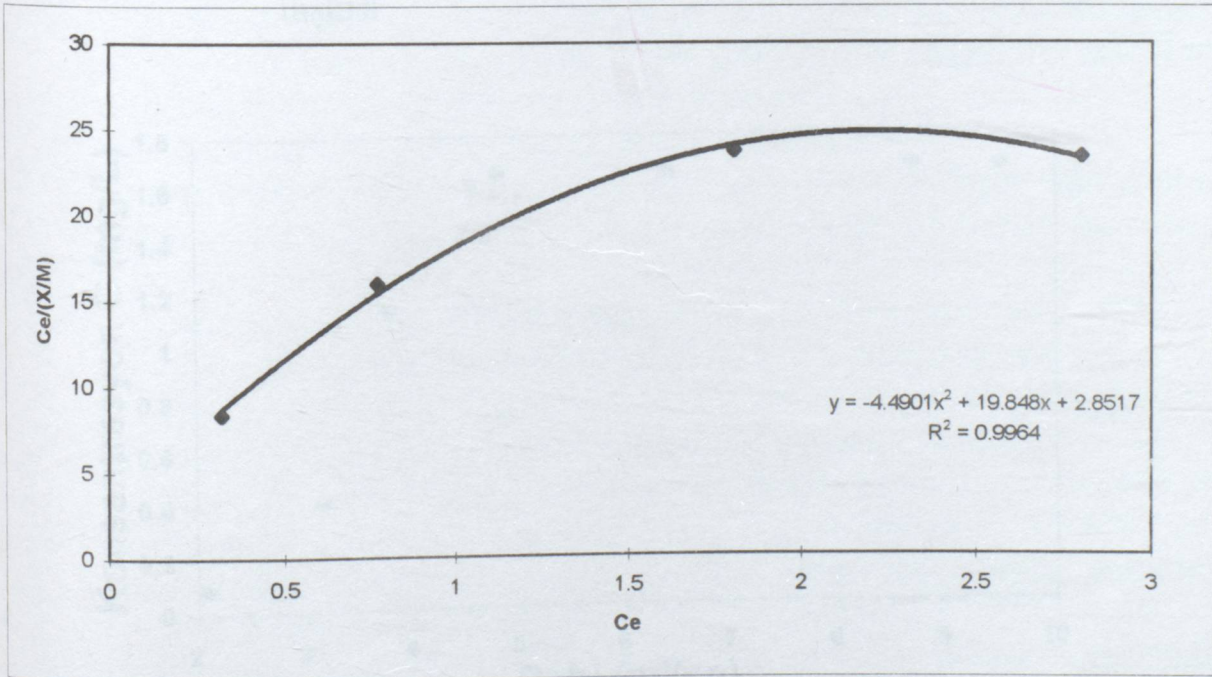


Şekil 5-3 : Cu - Freundlich İzotermi

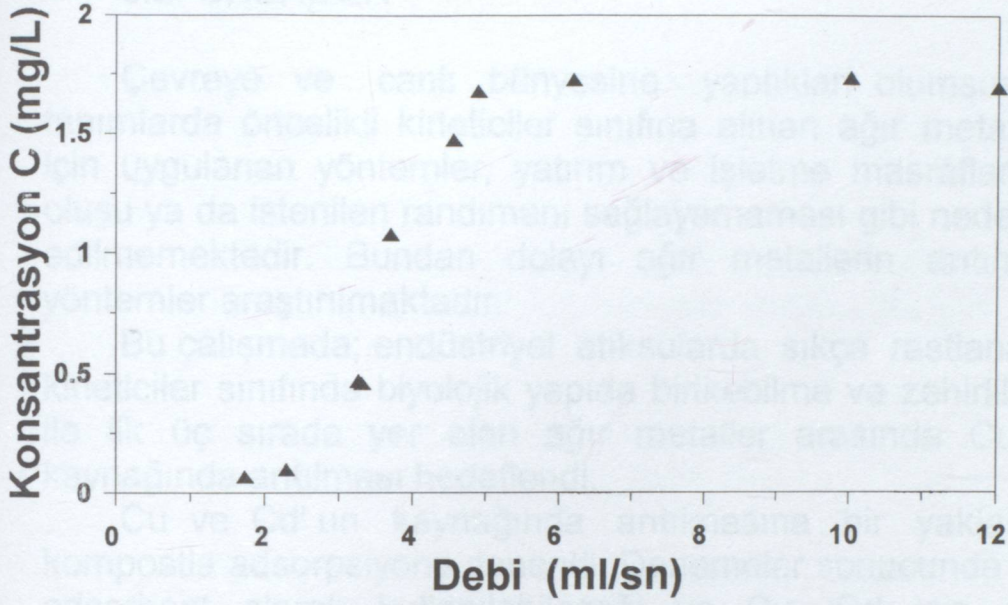




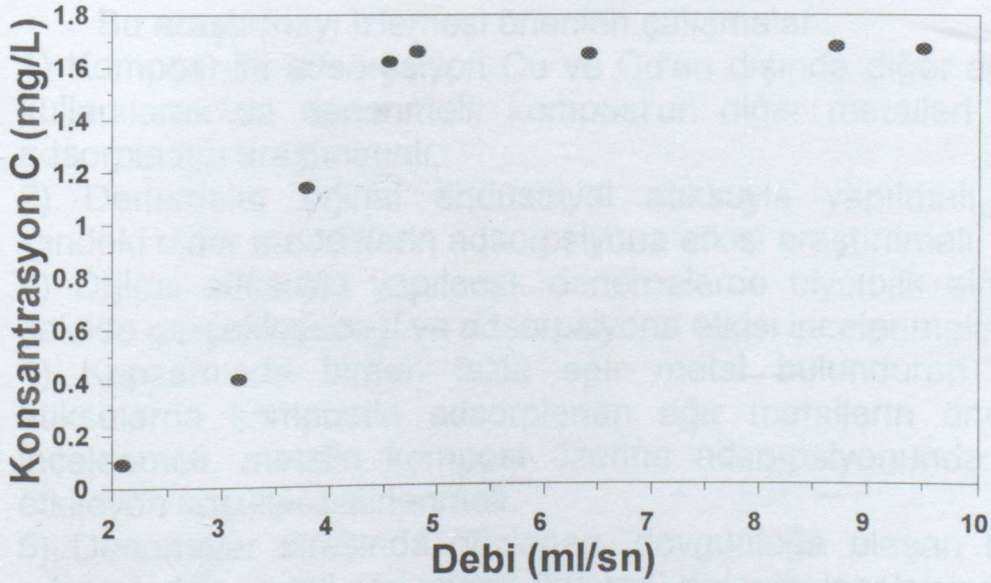
Şekil 5-4 : Cd-Langmuir İzotermi



Şekil 5-5 : Cu - Langmuir İzotermi



Şekil 5-6 : Sürekli Sistemde Kararlı Halde Cd Konsantrasyonu-Debi İlişkisi



Şekil 5-7 : Sürekli Sistemde Kararlı Halde Cu Konsantrasyonu- Debi İlişkisi

## 5.2. ÖNERİLER

Çevreye ve canlı bünyesine yaptıkları olumsuz etkileriyle tanımlarda öncelikli kirleticiler sınıfına alınan ağır metalleri arıtmak için uygulanan yöntemler, yatırım ve işletme masraflarının yüksek oluşu ya da istenilen randımanı sağlayamaması gibi nedenlerle tercih edilmemektedir. Bundan dolayı ağır metallerin arıtımında diğer yöntemler araştırılmaktadır.

Bu çalışmada; endüstriyel atıksularda sıkça rastlanan, öncelikli kirleticiler sınıfında biyolojik yapıda birikebilme ve zehirlilik özellikleri ile ilk üç sırada yer alan ağır metaller arasında Cu ve Cd'un kaynağında arıtılması hedeflendi.

Cu ve Cd'un kaynağında arıtılmasına bir yaklaşım olarak kompostla adsorpsiyonu denendi. Denemeler sonucunda kompost'un adsorbant olarak kullanılabilmesi ve Cu, Cd için adsorpsiyon randımanının yüksek olduğu tesbit edildi. Araştırma Cu ve Cd çözeltisinden oluşan sentetik atıksular ile yapıldı.

Bu araştırmanın sonucunda belirlenen proje kriterlerinin uygulanabilmesi ve araştırmanın endüstriyel atıksu arıtımında yerini alması için bundan sonra yapılacak çalışmaların aşağıda belirtilenler doğrultusunda sürdürülmesi önerilmektedir.

Bu araştırmayı izlemesi önerilen çalışmalar :

- 1) Kompost ile adsorpsiyon Cu ve Cd'un dışında diğer ağır metaller kullanılarak da denemeli, kompost'un diğer metalleri ne şekilde adsorpladığı araştırılmalı,
- 2) Denemeler orjinal endüstriyel atıksuyla yapılmalı, atıksuyun içindeki diğer maddelerin adsorpsiyona etkisi araştırılmalı.
- 3) Orjinal atıksuyla yapılacak denemelerde biyolojik aktivitenin ne şekilde gerçekleşeceği ve adsorpsiyona etkisi incelenmeli.
- 4) Kapsamında birden fazla ağır metal bulunduran endüstriyel atıksularda kompostla adsorplanan ağır metallerin öncelik sırası incelenmeli, metalin kompost üzerine adsorpsiyonunda seçiciliğini etkileyen koşullar belirlenmeli.
- 5) Denemeler sırasında gözlenen, doyumluğa ulaşan kompost'un adsorpladığı metali geri verme (kusma) prensibi incelenmeli.
- 6) Doyumluğa ulaşımı kompost'un çamur olarak uzaklaştırma esasları araştırılmalı.

## KAYNAKLAR

Al-Layla, M.A., Ahmad, S., Middlebrooks, E.S., 1978. Water Supply Engineering Design, Second Edition, Ann Arbor Science Publisher Inc., Michigan.

APHA., 1985. Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater, 16th Edition, American Public Health Association, Washington DC.

"Atıksuların Kanalizasyon Şebekesine Deşarj Yönetmeliği", İSKİ Gn.Md., Resmi Gazete 18340, 13 Mart 1984.

Bagby, M.M., and Sherrard, J.H.,1981. Combined Effects of Cadmium and Nickel on the Activated Sludge Process, Jour. WPCF., 50,11:1609.

Banerjee, K., Horng, P.Y., Cheremisionoff, P.N., and Cheng, S.L., 1992. Adsorption Characteristics of Flyash in the Presence of Inorganic Salt, Proc. 5th.Int.Conf.Environmental Contamination, Morges, Switzerland. 354-357.

Barcelo, J., Poschenrieder, C., Vazquez, M.D., and Gunse, B., 1992. Beneficial and Toxic Effects of Chromium in Plants: Controversly over the Environmental Risks of Chromium, Proc. 5th. Int. Conf. Environmental Contamination, Morges, Switzerland. 119-121.

Campbell, R.,and Martin, M.H.,1990. Fermentation to Purify Wastewater Removal of Cadmium, Water Air and Soil Pollution, 50:397-408.

Couillard, D., and Mercier, G., 1990. Bacterial leaching of Heavy Metals from Sewage Sludge-Bioreactors Comparison, Environmental Pollution, 66, 237-252.

Couillard, D. and Zhu, S., 1992. Bacterial leaching of Heavy Metals from Sewage Sludge for Agricultural Application, Water, Air, and Soil Pollution, 63, 67-80

Cowan, C.E., John, M.Z., and Resch, C.T., 1991. Cadmium Adsorption on Iron Oxides In the Presence of Alkaline Earth Elements, Jour, Env. Sci. Techno., 25., 437-446.

Chang, S.Y., Huang, J.C., and Liu, Y.C., 1986. Effects of Cd(II) and Cu(II) on a biofilm System, Jour. Env. Eng. 112:94.

Çiler, M., 1980., Ağır Metal Giderme İşlemlerinin Tasarımı, Arıtma Sistemlerinin tasarımı, Boğaziçi Üns, İstanbul, 147-156.

Das, N.C., Padhi, A.K., and Bandyopadhyay, M., 1993. Design of Vermiculite Column Adsorber for the Removal of Lead from Water, Env. Pollut., 80:129-132

Daz-Giftlexikon, 1985. "Arsen", Deutsche Apotheker Zeitung, 123.

Daz-Giftlexikon, 1983. "Blei", Deutsche Apotheker Zeitung, 123.

Daz-Giftlexikon, 1983. "Cadmium", Deutsche Apotheker Zeitung, 123.

Duffus, J.H., 1980. Environmental Toxicology, Resources and Environmental Sciences Series, London.

Eckenfelder, W. W., 1966. Industrial Water Pollution Control, McGraw-Hill Book Company U.S.

Edwards, M., and Benjamin, M.M., 1989. Adsorptive Filtration Using Coated Sand: A new Approach for Treatment of Metal-Bearing Wastes, Jour. WPCF., 61;9,:1523 -1533.

Elezaj, I., Selimi, Q., Azemi, R., Rozhaja, D.A., and Jusuji, S., 1992. Accumulation of Some Heavy Metals in Hepathopancreas Tissue of Edible Snails (Helix pomatia, L.) Living Near Lead and Zinc Smelter "Trepca" (Kosova), Optimization of Physical, Chemical Treatment Proc. 5th. Int. Conf. Env. Cont., Morges, Switzerland.

EPA, 1987. A Compendium of Technologies used in the Treatment of Hazardous Wastes, Cincinnati, U.S.A.

Eran, G., Kammel R., and Lieber H.W.,1987. Ağır Metallerin Endüstriyel Atıksulardan Ayırışımı ve Geri Kazanılması , Türk Alman Çevre Teknolojisi Semineri, İstanbul.

Erdin,E., 1986. İzmir Kompost Tesisleri Ürün Kalitesi, Çevre 86 Sempozyumu, İzmir.

Fan, K-S., 1989. Treatability of High Strength Brewery Wastewater with Stabilized Refuse, International Symposium on Waste Management problems in Agro-industries, Proceedings IAWPRC, İstanbul, 35-43

Gerpe, M., Moreno, V., Bastide, R., Radriquez, D., and Marcoveccino J. 1992. Zinc and Cadmium Relationship in Several Tissues of the South American for Seal, Arctocephalus Australish, Proc. 5th Int.Conf.Env. Con. Morges, Switzerland, 260-262

Göknil, H., Toroz, İ., ve Çimşit, Y., 1984. Tekstil Endüstrisi, Endüstriyel Atıksuların Kontrol ve Kısıtlama Esasları Projesi, İTÜ-UYGAR, İstanbul.

Gül, R., 1993. Ağır Metallerin Su Kaynaklarına Etkisi, Türk Devletleri Arasında 2. İlimi İşbirliği Konferansı, Almatı, Kazakistan. 313-316

Gür F.,Tümen, F. ve Bildik M., 1993. Ergani Bakır İşletmesi Atıklarının Maden Çayın'ndaki Ağır Metal Kirliliği, Türk Devletleri Arasındaki 2. İlimi İşbirliği Konferansı, Almatı, Kazakistan. 115-118.

Hoins,U.,Charlet,L.,and Stiche, H.,1993. Ligand Effect on the Adsorption of Heavy Metals: The Sulfate-Cadmium-Goethite Case, Water Air and Soil Pollution, 68,1-2:241-255.

Itri, F.M., 1992. Mercury Pollution and Cycling in Aquatic Systems, Optimization of Physical, Chemical Treatment Proc. 5th. Int. Conf. Env. Cont. Morges, Switzerland. 64-74

İleri, R., Sümer, B., Şengörür, B., 1993. Atıksulardaki Ağır Metal İyonlarının Tutulmuş Ölü Rhizopus Arrhizus ile Biyosorpsiyonu, Türk Devletleri Arasındaki 2. İlimi İşbirliği Konferansı, Almatı, Kazakistan. 309-312.

"İşyerlerinde Tüklenen Yaşam" , 1986. Petrol-İş, Araştırma No.10.

Kanowski, S., 1987. Batı Almanya'da Su Kirliliğine Karşı Kanuni Yasaklar ve Kuzey Denizi ile Akdeniz'in Korunması için Yapılan Uluslararası Toplantı, Türk-Alman Çevre Teknolojisi Semineri, Berlin Teknik Üniversitesi Teknoloji İşbirliği Merkezi, Berlin 108-124.

Kutmen, Y., 1989. Deterjan İçeren Bir Atıksudan Lineer Alkil Sulfanat'ın (LAS) Aktif Karbon Adsorpsiyonu ile Temizlenmesi ve Aktif Karbonun Rejenerasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Y.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Lahoz, C.G., Herruzo, F.G., and Rodriguez, J.J., 1990. Heavy Metal Removal with  $\text{NaBH}_4$ . A Pilot Plant Study, Proc.4th Int.Conf.Environmental Contamination Barcelona, 454-456

Levasseur, J.P., 1984. Accelerated Composting of Wastes In Developing Countries, Environmental Management for Developing Countries, Envitek A.S., Preprints II., L1-L18.

Liptak, B.C., 1974. Environmental Engineers' Handbook, Vol.1., U.S.A.

Mattuschka, B., and Straube, G., 1993. Biosorption of Metals by a Waste Biomass, Jour. Chem. Tech. Biotechnol., 58, 57-63

Mavroidis, I., Ranzato, S., Bragadin, M.A., Zonta, R., and Traverso, P., 1992. Complexed Heavy Metals in Mixed Wastewaters from Artisan Factories: Optimization of Physical, Chemical Treatment, Proc. 5th.Int.Conf. Environmental Contamination, Morges, Switzerland. 437.

Mooss, H., 1980. Experiences with a Two-Stage Refuse Composting System at the Refuse Composting Plant in Salzburg Austria, Treatment and Disposal of Liquid and Solid Industrial Wastes, 413-436.

Öztürk, N., 1985. Metal Kaplama Endüstrisi Atıksularında Siyanür'ün Çevreye Etkisi, Redüksiyonu ve Arıtım Randımanı, Yüksek Lisans Tezi, Y.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Perry, R.H., Chilton, C.H., 1988 Chemical Engineers' Handbook, Fourth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York.

Prakash, O., Mehrotra, I., and Kumer, P., 1987. Removal of Cadmium from Water by Water Hyacinth, Jour. Env. Eng., 113,2:352.

Reed, B.E., and Matsumoto, M.R., 1993. Modeling Cd Adsorption in Single and Binary Adsorbent (PAC) Systems, Jour. Env. Eng ASCE. 119,2:332-348

Reid, W., et al., 1968. Effects of Metallic Ion on Biological Waste Water Treatment Processes, Water and Sewage Works, 115:320.

Schmitz, W., Mao, M.Z., Ramezani, N., and Wang, Z., 1990. Heavy Metal Pollution of Aquatic Sediments in The Lo An River-Poyang Lake Area, Jiangxi Province-Chine, Proc. 4th. Int. Conf. Environmental Contamination, Barcelona. 187-189

Schroeder, E.D., 1977. Water and Wastewater Treatment, McGraw-Hill Inc., U.S.A.

Sharma, Y.C., Prasad, G., and Rupainvar, D.S., 1990. Adsorption for Removal of Cd (II) from Effluents, Jour. Env. Studies, 36:315-320.

"Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği", Resmi Gazete 1999, 4 Eylül 1988.

Tchobanoglous, G., Burton, F., 1991. Metcalf-Eddy., Wastewater Engineering; Treatment, Disposal, Reuse, Third Edition, McGraw-Hill Inc., Singapore.



Tünay, O., Orhon,D.,Çetiner, A., Giritlioğlu, C., Zeren,N., Dölger, H., ve Germirli, F., 1987. Tuzla Atıksu Toplama Alanı İçindeki Endüstri Tesislerinin Konumu ve Kirletici Yüklerinin Belirlenmesi, İTÜ Çevre ve Şehircilik Uygulama ve Araştırma Merkezi, İstanbul.

Tünay,O.,Eremektar, G., Ateş, E., ve Orhan, D., 1990. Kağıthane,Cendere havzasındaki Endüstri Tesislerinin Konumu ve Kirletici Yüklerinin Belirlenmesi, İTÜ Çevre ve Şehircilik Uygulama ve Araştırma Merkezi İstanbul.

Uslu, O., 1985., Marine Outfalls as a Wastewater Treatment and-Disposal Alternative in Developing Countries, Proc. Appropriate Waste Management for Developing Countries, New York, 459-473.

Vural, N., 1984. Toksikoloji, Ankara Üns., Ecz. Fak.Yayınları, no.56, Ankara.

Wang, W., and Williams, J.M., 1989. Determination and Reduction of Phytotoxicity of two Industrial Waste Effluents, Water Air and Soil Pollution, 44:363-373.

Wasay, S.A., Puri, B.K., and Hao, S.,1993.Removal of Trace Heavy Metals by Metal Chelates, Jour. Env. Studies, 36:191-198

Weber, W.J., 1972. Physicochemical Processes for Water Quality Control, John Wiley & Sons Inc.,U.S.A.

Wood,D.K., Tchobanoglous, G., 1975. Trace Elements in Biological Wastes Treatment , Jour. WPCF., Vol.47 No.7

EK -1

KESİKLİ (SÜREKSİZ) SİSTEM  
DENEY SONUÇLARI

**TABLO 4-1 : Adsorbant Miktarının 5 ppm Cd Adsorpsiyonuna Etkisi**

Zaman (dak)	Konsantrasyon (ppm)				x/m (mg/g)				R a n d ı m a n %			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
0	5	5	5	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0
10	1.6	2.4	3.7	4	0.063	0.069	0.071	0.196	68	52	26	20
20	1.05	0.7	1.72	3.1	0.073	0.114	0.179	0.373	79	86	65.6	38
30	0.4	0.62	0.85	1.9	0.085	0.116	0.227	0.609	92	87.6	83	62
60	0.25	0.27	0.42	1.1	0.088	0.126	0.25	0.766	95	94.6	91.6	78
90				0.5				0.884				90
120	0.2	0.25	0.3		0.087	0.126	0.257		96	95	94	
150				0.5				0.884				90
180	0.15	0.18	0.2		0.089	0.128	0.262		97	96.4	96	
210	0.08		0.1	0.38	0.091		0.268	0.908	98.4		98	92.4
240	0.05	0.07	0.08	0.3	0.092	0.131	0.269	0.924	99	98.6	98.4	94

- 1 : 53.97 g (150 ml)Kompost/L
- 2 : 37.62 g (100 ml)Kompost/L
- 3 : 18.30 g (50 ml)Kompost/L
- 4 : 5.09 g (15 ml)Kompost/L

**TABLO 4-2 : Farklı miktarda Kompostun 5 ppm Cd Adsorpsiyonu**

Zaman (dak)	Konsantrasyon (ppm)			x/m (mg/g)			Randıman %		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	5	5	5	0.000	0.000	0.000	0	0	0
10	1.8	2.7	3.5	0.074	0.091	0.112	64	46	27
20	1.2	1.00	2.03	0.088	0.159	0.246	76	80	59
30	0.6	0.73	1.35	0.102	0.170	0.278	88	85	67
90	0.4	0.35	0.63	0.106	0.185	0.340	92	93	82
120	0.38	0.30	0.49	0.107	0.187	0.349	92	94	84
150	0.30			0.109			94		
180	0.20	0.20	0.36	0.111	0.191	0.385	96	96	93
210	0.17	0.1	0.3	0.112	0.195	0.397	97	98	96
240	0.15	0.07		0.112	0.196		97	99	

**1 :** 43.25 g (125 ml.) Kompost/L

**2 :** 25.18 g (70 ml.) Kompost/L

**3 :** 12.05 g (30 ml.) Kompost/L

**TABLO 4-3 : 18.30 g (50 ml) Kompostun Farklı Konsantrasyonlardaki Cd'u Adsorpsiyonu**

Zaman (dak)	Cd Konsantrasyon		x/m (mg/gr)		Randıman %	
	1	2	1	2	1	2
0	5	10	0	0	0	0
4.1			0.049		18	
10	1.7	6.85	0.180	0.172	66	31.5
20	0.8	4.10	0.23	0.322	84	59
30	0.4	3.80	0.251	0.339	92	62
60	0.4	3.40	0.251	0.361	92	66
90	0.3	2.9	0.257	0.388	94	71
120	0.2	2.6	0.262	0.404	96	74
180	0.1	2.3	0.268	0.421	98	77
240	0.1	1.8	0.268	0.448	98	82

18.30 g (50ml) Kompost/L

1 : 5 ppm Cd

2 : 10 ppm Cd

**TABLO 4-4 : Ardışık Beslenen Kesikli (Süreksiz) Sistemde Adsorbantın Farklı Konsantrasyonlarda Cd ile Teması**

Zaman (dak)	Konsantrasyon (ppm)		x/m (mg/g)	
	1	2	1	2
0	5	10	0	0
10	1.8	5.5	0.177	0.244
20	1.5	4.1	0.194	0.32
30	0.6	3.8	0.222	0.336
40	0.47	3.5	0.233	0.352
50	0.38	3.5	0.233	0.352
60	5.6	8.42	0.233	0.352
70	1.7	8.34	0.388	0.356
80	1.2	7.82	0.41	0.385
90	1	5.32	0.455	0.52
100	0.98	3.9	0.466	0.597
160	0.8	3.77	0.487	0.604
260	0.54	2.78	0.513	0.658

1 : 5 ppm - 18.06 g (50 ml) Kompost/L

2 : 10 ppm - 18.45 g (50 ml) Kompost/L

\* Koyu çizgi reaktörün beslendiğini göstermektedir.

**TABLO 4-5 : Ardışık Beslenen Kesikli Sistemde Kompost'un  
5 ppm Cd için Doygunluk Randımanı**

Zaman (dak)	Konsantrasyon (ppm)			x/m (mg/g)		
	1	2	3	1	2	3
0	5	5	5	0	0	0
10	1.8	1.2	1.05	0.177	0.118	0.008
20	1.4	0.55	0.7	0.199	0.138	0.089
30	0.52	0.5	0.4	0.248	0.14	0.095
40	0.45	0.51	0.3	0.252	0.139	0.098
50	0.41	0.52	0.3	0.254	0.139	0.098
60	0.25	0.48	0.28	0.263	0.14	0.098
70	4.9	4.2	4.3	0.263	0.14	0.098
80	2.7	1.6	1.5	0.445	0.186	0.156
90	1.3	1.05	0.9	0.462	0.238	0.168
100	1.25	0.9	0.7	0.465	0.243	0.173
110	1.1	0.8	0.6	0.473	0.246	0.175
120	1.05	0.7	0.55	0.476	0.249	0.176
130	4.8	4.9	4.5	0.476	0.249	0.176
140	2.43	2.1	1.8	0.607	0.336	0.232
150	2.25	1.65	1.1	0.617	0.34	0.247
160	1.6	1.37	1.05	0.653	0.359	0.248
170	1.38	1.2	0.8	0.665	0.364	0.253
180	1.36	1.05	0.8	0.666	0.369	0.253
190	1.27			0.671		
210	1.15	0.8	0.75	0.678	0.376	0.254
240	0.9	0.8	0.75	0.691	0.376	0.254
270	1.1	0.7	0.5	0.681	0.379	0.259
280	1.3	0.65	0.5	0.67	0.381	0.259
285	5.3	4.41		0.67	0.381	
370	1.7	0.84		0.869	0.492	
375	5.05	4.67		0.869	0.492	
460	1	0.94		1.093	0.608	

Zaman (dak)	Konsantrasyon (ppm)			x/m (mg/g)		
	1	2	3	1	2	3
465	5.7	5.5		1.093	0.608	
550	1.2	0.22		1.342	0.772	
555	6.2	5.54		1.342	0.772	
640	2.35	1.97		1.555	0.883	
645	6	5.85		1.555	0.883	
700	2.55	0.47		1.746	1.05	
705	5.6	5.27		1.746	1.05	
760	2.17	0.38		1.936	1.202	
765	5.2	5.42		1.936	1.202	
820	1.46	0.66		2.143	1.35	
825	4.9	5.98		2.143	1.35	
880	1	1.31		2.358	1.495	
885	4.63	6.02		2.358	1.495	
940	1.24	1.38		2.547	1.639	
945	4.75	4.9		2.547	1.639	
1000	1.95	1.17		2.702	1.755	
1005	4.9	5.02		2.702	1.755	
1060	2	1.16		2.862	1.875	
1065	5.8	6.36		2.862	1.875	
1120	2.75	1.37		3.031	2.03	
1125	5.5	7.96		3.031	2.03	
1180	2.86	0.57		3.177	2.26	
1185	5.4	5.69		3.177	2.26	
1240	2.9	0.19		3.316	2.431	
1245	5.1	5.56		3.316	2.431	
1300	2.8	1.5		3.443	2.557	
1305	4.87	7.54		3.443	2.557	
1360	2.68	0.84		3.564	2.765	
1365	5	5.35		3.564	2.765	
1420	2	0.68		3.73	2.91	
1425	4.95	5.26		3.73	2.91	
1480	2.92	1.72		3.842	3.02	
1485	4.9	5.6		3.842	3.02	
1540	2.9	0.87		3.953	3.167	
1545	5.4	5.47		3.953	3.167	
1600	3.25	0.42		4.072	3.324	
1605	5.35	5.33		4.072	3.324	
1660	3.38	0.05		4.181	3.488	



Zaman (dak)	Konsantrasyon (ppm)			x/m (mg/g)		
	1	2	3	1	2	3
1665	5.4	6.3		4.181	3.488	
1720	3.45	0.12		4.289	3.68	
1725	5.1	6.52		4.289	3.68	
1780	3.31	0.08		4.388	3.88	
1785	5.3	5.12		4.388	3.88	
1840	3.9	0.29		4.466	4.03	
1845	5	5.01		4.466	4.03	
1900	3.64	0.82		4.541	4.16	
1905	5.23	4.89		4.541	4.16	
1960	3.91	1.02		4.614	4.28	
1965	5.24	4.86		4.614	4.28	
2020	4.25	1.64		4.669	4.38	
2025	5.16	4.88		4.669	4.38	
2080	4.04	2.37		4.731	4.458	
2085	4.94	4.81		4.731	4.458	
2140	4.16	3.43		4.774	4.501	
2145	4.66	4.92		4.774	4.501	
2200	4.23	3.54		4.798	4.544	
2205	4.86	4.83		4.798	4.544	
2260	4.6	3.73		4.813	4.578	
2265	4.63	4.75		4.813	4.578	
2320	4.4	3.78		4.826	4.608	
2325	5.2	4.9		4.826	4.608	
2380	4.9	3.64		4.831	4.647	
2385	4.78	4.02		4.831	4.647	
2440	4.64	3.54		4.839	4.662	
2445	4.88	4.25		4.839	4.662	
2500	4.83	3.09		4.842	4.698	
2505	4.89	5.28		4.842	4.698	
2560	4.74	3.96		4.85	4.739	
2565	5.12	5.05		4.85	4.739	
2620	4.98	4.34		4.858	4.761	
2625	5.07	5.15		4.858	4.761	
2680	5.04	4.41		4.86	4.784	
2685	5.1	6.52		4.86	4.784	
2740	5.1	6.07		4.86	4.798	

Zaman (dak)	Konsantrasyon (ppm)			x/m (mg/g)		
	1	2	3	1	2	3
2745	5.25	5.51		4.86	4.798	
2800	5.25	5.09		4.86	4.811	
2805		4.93			4.811	
2860		4.6			4.821	
2865		5.17			4.821	
2920		4.66			4.837	
2925		4.8			4.837	
2980		4.7			4.84	
2985		6.08			4.84	
3040		4.02			4.842	
3045		7.14			4.842	
3100		7.14			4.842	
3105		8.25			4.842	
3160		8.25			4.842	

- 1 : 18.06 g (50 ml)Kompost/L  
2 : 32.19 g (100 ml) Kompost/L  
3 : 48.13 g (150 ml) Kompost/L

\* Koyu çizgi reaktörün beslendiğini göstermektedir.

**TABLO 4-6 : Farklı Miktarlarda Kompostun  
10 ppm Cu'ı Adsorpsiyonu**

Zaman (dak)	Konsantrasyon (ppm)						Birken Cu x/m (mg/g)						Randiman (%)					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
0	9.86	9.7	9.16	10	10	10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0
10	8.3			8			0.088			0.021			16			20		
20	7.9			7	-	6.2	0.109			0.032		0.028	20			30		38
30	6						0.213						39					
40	5.8			5.2			0.224			0.052			41			48		
50																		
60	5.5	5			4	3.8	0.241	0.111			0.049	0.045	44	48			60	62
120	4.1	3		2.5	2	2.26	0.317	0.159		0.082	0.065	0.056	58	69		75	80	77
180	3.95						0.328						60					
240	3.64					1.13	0.345				0.065		63					89
480	3.41					1.08	0.356				0.065		65					89
1260	3.35	2.3	1.96		1.2		0.361	0.175	0.098		0.072		66	76	79		88	
1380		1.2	1.39		0.92			0.203	0.105		0.074			88	85		91	
1560		0.8	1.23	0.9	0.8			0.212	0.108	0.099	0.075			92	87	91	92	
2040		0.8	0.87					0.212	0.113					92	91			
2280			0.72		0.74				0.114		0.076				92		93	
2520		0.78		0.6				0.212		0.103				92		94		
2700		0.68						0.215						93				
3420				0.6						0.103						94		

**Cu**

- 1) 18 g (50 ml) Kompost/L      3) 73.64 g (225 ml)Kompos 5) 121.44 g (375 ml) Kompost/L
- 2) 41.9 g (125 ml) Kompost/L      4) 91.11 g (275 ml)Kompos 6) 135.7 g (425 ml) Kompost/L

**TABLO 4-7 : 5 ppm Cu'm Farklı Miktarlarda Kompost ile Adsorpsiyonu**

Zaman (dak)	Konsantrasyon (ppm)		x/m (mg/g)		Randıman (%)	
	1	2	1	2	1	2
0	4.61	5	0	0	0	0
30	0.82	0.8	0.047	0.035	82	84
60	0.82	0.6	0.047	0.036	82	88
120	0.77	0.51	0.048	0.036	83	89.8
180		0.4		0.037		92
240	0.77	0.32	0.048	0.038	83	94.4

1 : 80.2 g (250 ml) Kompost/L

2 : 121.87 g (375 ml) Kompost/L

**TABLO 4-8 : Farklı Miktarlarda Kompostun 5ppm Cu'ı Adsorplama Randımanı**

Zaman (dak)	Konsantrasyon (ppm)		x/m (mg/g)		Randıman (%)	
	1	2	1	2	1	2
0	5	5.8	0	0	0	0
60	3.5	3.6	0.036	0.122	30	38
120	2.1	3	0.069	0.156	58	48
180	2		0.072		60	
240	1.8	2.8	0.076	0.167	64	52
300	1.2		0.091		76	
360	1				80	
480						
1320	0.6	0.81	0.105	0.278	88	86
1380		0.73		0.282		87
1440	0.6	0.7	0.105	0.283	88	88
1560		0.66		0.286		89
1620	0.5		0.107		90	

1: 41.9 g (125 ml) Kompost/L

2: 18 g (50 ml) Kompost/L

**TABLO 4-9 : Farklı Konsantrasyondaki Cu'm**  
**18,30 g (50 ml) Kompostla Adsorpsiyonu**

Zaman (dak)	Konsantrasyon (ppm)		x/m (mg/g)		Randıman (%)	
	1	2	1	2	1	2
0	5.8	9.86	0	0	0	0
10	4.93	8.3	0.048	0.085	15	16
20	4.5	7.9	0.071	0.107	22	20
30	4.2	6	0.087	0.21	28	39
60	3.6	5.5	0.120	0.238	38	44
90						58
120	3	4.1	0.153	0.315	48	60
180		3.95		0.322		
240	2.8	3.64	0.164	0.34	52	63

18.30 g (50 ml) Kompost/L

- 1 : 5 ppm Cu  
2 : 10 ppm Cu

**TABLO 4-10 : Değişik Konsantrasyonlardaki Cu'm 41,99 (125 ml)  
Kompost ile Adsorpsiyonu**

Zaman (dak)	Kons (ppm)		x/m (mg/g)		Randıman (%)	
	1	2	1	2	1	2
0	5	9.7	0	0	0	0
60		5		0.111		48
120	2.1	3	0.069	0.16	58	69
180	2		0.072		60	
240	1.8		0.076		64	
300	1.2		0.091		76	
360	1		0.096		80	
480						
1260	0.6	2.3	0.105		88	76
1380		1.2				88
1440	0.6		0.105	0.176	88	
1560		0.8		0.204		92
1620	0.5		0.107		90	
2040		0.8		0.213		92
2520		0.78		0.213		92
2700		0.68		0.216		93

41.9 g (125 ml) Kompost/L

1 : 5 ppm

2 : 10 ppm

**TABLO 4-11 : Ardışık Beslemeli Kesikli (süreksiz) Sistemde Kompost'un Cu'ı Adsorplama Randımanı**

Zaman (dak)	18.57 g(50 ml)Kompost		18.46 g(50 ml)Kompost		18.38 g (50 ml) Kompost	
	Kons.(ppm)	x/m (mg/g)	Kons.(ppm)	x/m (mg/g)	Kons.(ppm)	x/m (mg/g)
5	8	0.000	8	0.000	8	0.000
15	5.91	0.113	7.59	0.022	5.97	0.110
25	5.57	0.131	6.67	0.072	5.39	0.142
35	5.49	0.135	6.67	0.072	5.08	0.159
45	5.49	0.135	5.89	0.114	5.08	0.159
55	5.14	0.154	5.83	0.118	5.08	0.159
65	5.08	0.157	4.58	0.185	5.08	0.159
70	12.08	0.157	10.42	0.185		
80	11.67	0.179	9.17	0.253		
90	11.25	0.202	9.17	0.253		
100	10.13	0.262	8.75	0.275		
120	8.33	0.359	8.33	0.298		
130	8.33	0.359	7.5	0.343		
135	18.8	0.359	18.8	0.343		
145	18.33	0.384	17.08	0.436	1.33	0.362
155	17.2	0.445	16.8	0.451		
165	16	0.510	15.2	0.538		
175	15.2	0.553	14	0.603		
185	14.4	0.596	14	0.603		
190	11.7	0.741	13.33	0.639		
195	10.8	0.790	12.5	0.684		
200	26	0.790	17.5	0.684		
220	20	1.113	13.5	0.901		
230	18.76	1.180	12.92	0.932	1.30	0.365
240	10.83	1.607	12.5	0.954		
260	5.26	1.907	11.76	0.995		
265	12.63	1.907	19.41	0.995		
275	12.11	1.935	16.5	1.153		
285	12.11	1.935	16.32	1.162		
295	11.58	1.964	14.74	1.248		
305	11.5	1.968	11	1.451		
325	8.95	2.105	8.7	1.575		
330	28.82	2.105	28.95	1.575		
350	26.84	2.212	21.77	1.964		
360	20.59	2.548	20.59	2.028		
380	14.21	2.892	10.5	2.574		
390	12.95	2.960	6.5	2.791		
395	17.06	2.960	20	2.791		
405	17.02	2.962	14.21	3.105		
415	16.93	2.967	13.68	3.133		
425	16.71	2.979	12.11	3.218		
435	16.07	3.013	11.5	3.251		
455	15.79	3.028	8.95	3.390		
460	33.1	3.028	18.6	3.390		
470	32.42	3.065	18.42	3.400		



Zaman (dak)	18.57 g (50 ml) Kompost		18.46 g (50 ml) Kompost		18.38 g (50 ml) Kompost	
	Kons.(ppm)	x/m (mg/g)	Kons.(ppm)	x/m (mg/g)	Kons.(ppm)	x/m (mg/g)
480	32.21	3.075	17.55	3.447	4	0.217
500	31.67	3.105	17.48	3.450		
520	30.94	3.144	17.12	3.470		
525	34.4	3.144	18.74	3.470		
545	31.57	3.296	18.6	3.477		
565	31.45	3.303	18.42	3.487		
575	30.84	3.336	17.8	3.521		
585	30.24	3.368	17.55	3.534		
590	34.01	3.368	20.68	3.534		
600	32.78	3.434	20.54	3.542	5.2	0.152
610	31.87	3.483	20.51	3.543		
620	30.72	3.545	20.51	3.543		
630	30.72	3.545	20.50	3.544		
640	30.72	3.545	20.50	3.544		
650	30.72	3.545	20.50	3.544		
660	33.15	3.545	22.70	3.544	5.4	0.141
690	33.15	3.545	22.70	3.544		
750	33.15	3.545	22.70	3.544	5.4	0.141

\*Koyu çizgi reaktörün beslendiğini göstermektedir.

**TABLO 4-12 : " Cu-Cd " Çözeltisinden Cu ve Cd'un Adsorpsiyonu**

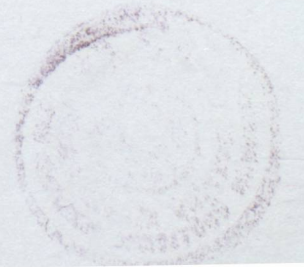
Zaman (dak)	Konsantrasyon (ppm)		x/m (mg/g)		Q° (mol/g)x10 <sup>-3</sup>	
	1	2	1	2	1	2
2	6	5.8	0	0	0	0
30	3.02	3.8	0.166	0.111	1.47	1.75
60	2.17	3.6	0.213	0.122	1.9	1.92
65	5.89	6.6	0.213	0.122	1.9	1.92
95	4.06	4.8	0.315	0.222	2.8	3.49
125	3.9	4.2	0.324	0.255	2.88	4.01
130	7.66	8.4	0.324	0.255	2.88	4.01
160	4.23	5.6	0.515	0.411	4.58	6.47
190	4.23	5.2	0.515	0.433	4.58	6.81
195	8.4	8	0.515	0.433	4.58	6.81
225	6.8	7.4	0.604	0.466	5.37	7.33
255	4	4.3	0.759	0.644	6.75	10.14
285	2.47	3.72	0.844	0.677	7.51	10.65

18 ± 0.5 g (50 ml) Kompost/L

1 : Cu-Cd Birlikte Cd

2 : Cu-Cd Birlikte Cu

\* Koyu çizgi reaktörün beslendiğini göstermektedir.



**TABLO 4-13 : “ Cu-Cd ” Karışımında Cu ve Cd'un Adsorpsiyonu**

Zaman (dak)	Konsantrasyon (ppm)		x/m (mg/g)	
	1	2	1	2
2	5.76	6.25	0	0
30	1.46	1.16	0.239	0.283
60	1.71	0.8	0.225	0.303
90	1.68	0.8	0.227	0.303
95	5.61	4.2	0.227	0.303
125	2.5	2.59	0.4	0.392
155	2.68	2.95	0.39	0.372
185	2.5	1.52	0.4	0.452
190	6.34	6	0.4	0.452
220	3.9	3.48	0.536	0.536
250	3.25	2.77	0.572	0.576
255	5.37	5.45	0.572	0.576
285	4.88	4.11	0.6	0.65
315	3.17	2.66	0.694	0.731
320	6.1	6.43	0.694	0.731
350	4.15	5.53	0.802	0.781
380	2.93	3.75	0.87	0.88
385	6.59	7.59	0.87	0.88
415	4.88	6.25	0.965	0.954
445	3.03	4.48	1	1.053

18 ± 0.5 g (50 ml) Kompost/L

- 1 : Cu-Cd Birlikte Cu  
2 : Cu-Cd Birlikte Cd

\* Koyu çizgi reaktörün beslendiğini göstermektedir.

**TABLO 4-14 : “ Cu-Cd ” un Birlikte Adsorpsiyonu ile Sadece Cd Adsorpsiyonunun Kıyaslanması**

Zaman (dak)	Konsantrasyon (ppm)		x/m (mg/g)	
	1	2	1	2
2	5	4.24	0	0
30	3.02	2.82	0.11	0.079
60	2.17	2.24	0.157	0.111
65	6.01	6.12	0.157	0.111
95	4.06	5.12	0.265	0.167
125	3.9	1.41	0.274	0.373
130	7.85	8.41	0.274	0.373
160	4.23	6.59	0.475	0.474
190	4.23	6.35	0.475	0.487
195	8	8.98	0.475	0.487
225	6.8	7.05	0.542	0.594
255	4	5.2	0.697	0.697
285	2.47	3.8	0.782	0.775

18 ± 0.5 g (50 ml) Kompost/L

1 : Cu-Cd Birlikte Cd

2 : Sadece Cd

\* Koyu çizgi reaktörün beslendiğini göstermektedir.

**TABLO 4-15 : “ Cu-Cd ” un Adsorpsiyonu ile “ Cd”  
Adsorpsiyonunun Kıyaslanması**

Zaman (dak)	Konsantrasyon (ppm)		x/m (mg/g)	
	1	2	1	2
2	6.52	6.25	0	0
30	1.77	1.16	0.264	0.283
60	1.15	0.8	0.298	0.303
90	0.97	0.8	0.308	0.303
95	4.96	4.2	0.308	0.303
125	3.04	2.59	0.415	0.392
155	2.98	2.95	0.418	0.372
185	2.5	1.52	0.445	0.452
190	7.14	5	0.445	0.452
220	5.31	3.48	0.547	0.536
250	4.2	2.77	0.608	0.576
255	8.5	5.45	0.608	0.576
285	7.59	4.11	0.658	0.65
315	5	2.66	0.802	0.731
320	11.15	6.43	0.802	0.731
350	10.09	5.53	0.861	0.781
380	7.59	3.75	1	0.88
385	12.39	7.59	1	0.88
415	9.02	6.25	1.187	0.954
445	3.08	4.48	1.517	1.053

18 ± 0.5 g (50 ml) Kompost/L

- 1 : Sadece Cd  
2 : Cu-Cd Birlikte

\* Koyu çizgi reaktörün beslendiğini göstermektedir.

**TABLO 4-16 : “ Cu-Cd ” Karışımının Adsorpsiyonu ile “Cu” Adsorpsiyonu'nun Kıyaslanması**

Zaman (dak)	Konsantrasyon (ppm)		x/m (mg/g)	
	1	2	1	2
2	5.76	9.48	0	0
30	1.46	2.38	0.239	0.394
60	1.71	1.95	0.225	0.418
90	1.68	1.71	0.227	0.432
95	5.61	5.59	0.227	0.432
125	2.5	4.15	0.4	0.512
155	2.68	2.95	0.39	0.579
185	2.5		0.4	
190	6.34	7.09	0.4	0.579
220	3.9	3.33	0.536	0.787
250	3.25	3.57	0.572	0.775
255	5.37	7.86	0.572	0.775
285	4.88	4.63	0.6	0.954
315	3.17	3.42	0.694	1.022
320	6.1	9.52	0.694	1.022
350	4.15	8	0.802	1.107
380	2.93	4.5	0.87	1.301
385	6.59	15.48	0.87	1.301
415	4.88	10.73	0.965	1.564
445	3.08	6.19	1	1.817

18 ± 0.5 g (50 ml) Kompost/L

1 : Cu-Cd Birlikte Cu

2 : Sadece Cu

\* Koyu çizgi reaktörün beslendiğini göstermektedir.

**TABLO 4-17 : “ Cu-Cd ” Karışımının Adsorpsiyonu ile “Cu” Adsorpsiyonu'nun Kıyaslanması**

Zaman (dak)	Konsantrasyon (ppm)		x/m (mg/g)	
	1	2	1	2
2	6	5.7	0	0
30	3	1.46	0.167	0.236
60	3	1.71	0.167	0.222
65	4.4	5.61	0.167	0.222
95	4.2	2.5	0.178	0.395
125	3.9	1.73	0.195	0.438
130	4.8	6.34	0.195	0.438
160	4.2	3.9	0.228	0.574
190	3	3.25	0.295	0.61
195	6.8	5.37	0.295	0.61
225	4.2	4.4	0.44	0.664
255	3.8	4.2	0.462	0.675
285	3	3.6	0.506	0.708

18 ± 0.5 g (50 ml) Kompost/L

1 : Cu-Cd Birlikte Cu

2 : Sadece Cu

\* Koyu çizgi reaktörün beslendiğini göstermektedir.

**TABLO 5-1 : Kompostun 240 dak. Temas Süresinde, Cu ve Cd'u Adsorplama Randımanı ve Deşarj Edilebilecekleri Ortamlar**

Kompost	Başlangıç	240 dak. Temas Süresi Sonucunda		Deşarj Edilebileceği Ortam
		Çıkış	Randıman	
Miktarı	Kons. (ppm)	Kons (ppm)	%	
50 ml/L (18 g/L)	5	0.08 Bkz. Tablo 4-1	98.4	Alıcı Ortama
50 ml/L	10	1.8 Bkz. Tablo 4-3	82	Kanala
50 ml/L	5	2.8 Bkz. Tablo 4-9	52	Alıcı Ortama
50 ml/L	10	3.64 Bkz. Tablo 4-9	63	Kanala



**TABLO 5-2 : Kompostun Cd Adsorpsiyon Izoterm Değerleri**

M (g)	C (mg)	C e (mg)	X (mg)	X/M (mg/g)	C e/qe=Ce /(x/m)
53.97	5	0.25	4.75	0.088	2.84
37.62	5	0.27	4.73	0.126	2.14
18.30	5	0.42	4.58	0.250	1.68
5.09	5	1.1	3.9	0.766	1.44
25.18	5	0.35	4.65	0.185	1.89
32.19	5	0.48	4.52	0.140	3.43

**TABLO 5-3 : Kompostun Cu Adsorpsiyon - Izoterm Değerleri**

M (g)	C (mg)	C e (mg)	X (mg)	X/M (mg/g)	C e/qe=Ce /(x/m)
18.3	5	2.8	2.2	0.120	23.33
80.2	4.61	0.77	3.84	0.048	16.04
121.87	5	0.32	4.68	0.038	8.42
41.9	5	1.8	3.2	0.076	23.68
18	5	2.8	2.2	0.122	22.95

TABLO 1-11 : Enerji Akışının Enerji Verimi  $\eta$  için  
C3 Enerji Akışının Enerji Verimi

Sıra No	Enerji Akışının Enerji Verimi $\eta$		
	1	2	3
1	0,1	1,1	1,1
2	0,2	1,2	1,2
3	0,3	1,3	1,3
4	0,4	1,4	1,4
5	0,5	1,5	1,5
6	0,6	1,6	1,6
7	0,7	1,7	1,7
8	0,8	1,8	1,8
9	0,9	1,9	1,9
10	1,0	2,0	2,0
11	1,1	2,1	2,1
12	1,2	2,2	2,2
13	1,3	2,3	2,3
14	1,4	2,4	2,4
15	1,5	2,5	2,5
16	1,6	2,6	2,6
17	1,7	2,7	2,7
18	1,8	2,8	2,8
19	1,9	2,9	2,9
20	2,0	3,0	3,0

EK -2

## SÜREKLİ SİSTEM DENEY SONUÇLARI

- 1- Enerji Akışının Enerji Verimi  $\eta$  için C3 Enerji Akışının Enerji Verimi
- 2- Enerji Akışının Enerji Verimi  $\eta$  için C3 Enerji Akışının Enerji Verimi
- 3- Enerji Akışının Enerji Verimi  $\eta$  için C3 Enerji Akışının Enerji Verimi
- 4- Enerji Akışının Enerji Verimi  $\eta$  için C3 Enerji Akışının Enerji Verimi



**TABLO 4-21 : Farklı Debilerde Reaktöre Verilen 5 ppm  
Cd Çözeltisinin Adsorpsiyonu**

Zaman (saat)	Konsantrasyon (ppm)		
	1	2	3
0	0.5	1.5	4.8
1	0.42	1.68	5
2	0.38	1.69	5
3	0.4	1.64	4.8
4	0.28	1.7	4.9
5	0.22	1.65	4.75
6.5	0.21	1.69	5
22.5	0.11	1.68	4.9
23	0.11	1.66	5
24	0.1	1.68	4.7
25	0.09	1.67	4.85
26	0.1	1.68	4.8
27	0.11	1.675	4.8
28	0.09	1.68	4.9

- 1 :** 1 no'lu reaktör çıkışında çözelti içinde kalan Cd konsantrasyonu  
( $Q = 2,3$  mL/sn)
- 2 :** 2 no'lu reaktör çıkışında çözelti içinde kalan Cd konsantrasyonu  
( $Q = 4,9$  mL/sn)
- 3 :** Depo çıkışında çözelti içindeki Cd konsantrasyonu

**TABLO 4-22 : 20 ppm Cd Çözeltisinin Sürekli Sistemde Adsorpsiyonu**

<b>Zaman (dak)</b>	<b>Konsantrasyon (ppm)</b>	
	<b>1</b>	<b>2</b>
0		20
5	7.6	20.05
10	8.25	18.84
15	7.87	19.09
20	8.36	19.87
25	8.3	18.07
30	8.78	19
45	9.05	19.08
60	9.84	20
90	10.2	19.1
120	10.3	20
180	10.15	19.5
210	10.2	19.8
240	10.4	20
300	10.2	18.9
360	10.2	18.75
420	10.4	19
480	10.7	19.2
510	10.9	20.1

**1 :** Reaktör çıkışında çözeltide kalan Cd konsantrasyonu

**2 :** Depo çıkışında çözelti içindeki Cd konsantrasyonu

**TABLO 4-23 : Farklı Debilerde Reaktöre Verilen 5 ppm  
Cu Çözeltisinin Adsorpsiyonu**

Zaman (Saat)	Konsantrasyon (ppm)		
	1	2	3
0	0.3	1.4	5
1	0.35	1.48	5.1
2	0.38	1.48	5
3	0.42	1.44	4.95
4	0.3	1.5	4.9
5	0.44	1.58	4.81
6	0.42	1.61	5
7	0.35	1.555	5.1
8	0.32	1.59	5
20	0.4	1.58	4.96
21	0.36	1.66	4.83
22	0.38	1.65	4.8
23	0.38	1.65	4.95
25	0.41	1.66	4.87

- 1 :** 1 no'lu reaktör çıkışında çözelti içinde kalan Cu konsantrasyonu  
(Q = 2,1 mL/sn)
- 2 :** 2 no'lu reaktör çıkışında çözelti içinde kalan Cu konsantrasyonu  
(Q = 4,8 mL/sn)
- 3 :** Depo çıkışında çözelti içindeki Cu konsantrasyonu

**TABLO 4-24 : 20 ppm Cu Çözeltisinin Sürekli Sistemde Adsorpsiyonu**

Zaman (dak)	Konsantrasyon (ppm)	
	1	2
0	4.8	20.1
5	6.4	19.87
10	6.53	18.69
15	6.65	19
20	7.08	19.87
25	6.68	19.93
30	6.82	20
45	7.55	19.2
60	8.03	20
90	8.47	19.84
120	8.52	19.9
180	8.5	18.76
210	9.64	19
270	8.7	19.34
300	8.6	18.9
360	8.58	18.78
420	8.72	19
480	8.83	19.82
510	8.78	20.07

1 : Reaktör çıkış suyunda ölçülen Cu konsantrasyonu

2 : Depo çıkışında ölçülen Cu konsantrasyonu

**Tablo 5 - 4 : Sürekli Sistemde Kararlı Halde Cu,Cd  
Konsantrasyonu-Debi İlişkisi**

Cu			Cd		
Debi	Bekleme Süresi	Kararlı Durum	Debi	Bekleme Süresi	Kararlı Durum
mL/sn	Q (dak)	Kons. (ppm)	mL/sn	Q (dak)	Kons. (ppm)
2.1	63.88	0.09	1.736	77.3	0.07
3.164	42.04	0.41	2.3	58.33	0.1
3.78	35.49	1.14	3.267	41.06	0.47
4.545	29.8	1.62	3.314	40.48	0.46
4.8	27.95	1.66	3.7	36.26	1.08
6.4	20.96	1.65	4.567	29.37	1.475
8.7	15.42	1.68	4.9	27.38	1.68
9.5	14.12	1.67	6.2	21.63	1.73
16	8.3	1.68	12	11.18	1.74

\* Başlangıç konsantrasyonları : 5 ppm Cu  
: 5 ppm Cd

## ÖZGEÇMİŞ

*Beyza Üstün Çomakoğlu*

1957 yılında Eskişehir'de doğdu. İlkokulu İzmir Mustafa Kemal İlkokulunda, Orta öğretimini Eskişehir 'de Süleyman Çakır Kız Lisesi'nde tamamladı. 1980 yılında Anadolu Üniversitesi İnşaat Fakültesini bitirdi. 1985 yılında Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümünden “Efficiency of Wastewater Treatment By Land Disposal and Its Effects on Crop Productivity” başlıklı tezi ile Yüksek Mühendis olarak mezun oldu. Halen Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünde öğretim elemanı olarak görev yapmaktadır.

Evli ve bir çocukludur.



