



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**TOPRAK ŞARTLANDIRILMASINDA KULLANILAN  
KOMPOSTTAN KATI-SIVI EKSTRAKSİYONU İLE AĞIR  
METALLERİN GİDERİLMESİ**

**Çevre Yük.Müh. Emine ELMASLAR ÖZBAŞ  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı  
Çevre Mühendisliği Programı**

**Danışman  
Doç.Dr. Nilgün BALKAYA**

**Ekim, 2008**

**İSTANBUL**

Bu çalışma 13/10/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliğı Anabilim Dalı Çevre Mühendisliğı programında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Doç.Dr. Nilgün BALKAYA (Danışman)  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

Prof.Dr. Semiha ARAYICI  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

Prof.Dr. Ferruh ERTÜRK  
Yıldız Teknik Üniversitesi  
İnşaat Fakültesi

Doç.Dr. Nihal BEKTAŞ  
Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü  
Mühendislik Fakültesi

Doç.Dr. Gülten GÜRDAĞ  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

Bu alışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin T-458/25062004 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

## ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli danışmanım Doç.Dr. Nilgün BALKAYA'ya en içten teşekkürlerimi sunarım. Tez konumun belirlenmesinde ve tez çalışmamın başlangıç aşamasında yönlendirilmesinde gösterdiği ilgi ve yardımlardan dolayı çok değerli hocam Prof.Dr. Cuma BAYAT'a teşekkür ederim. Doktora tezimin ilerleyen kısımlarında benden desteğini esirgemeyen çok değerli hocam Prof.Dr. Semiha ARAYICI'ya teşekkür ederim. Doktora tez izleme komitemde yer alan, her ararapor sunumuma yüksünmeden gelen ve fikirlerinin bana yol gösterdiği değerli hocam Prof.Dr. Ferruh ERTÜRK'e teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca bana her zaman destek veren ve beni dinleyen çalışma arkadaşım Araş.Gör. H. Kurtuluş ÖZCAN'a ve benim yanımda olan Çevre Mühendisliği Bölümü'ndeki değerli hocalarıma ve çalışma arkadaşlarıma ayrıca teşekkür ederim.

FTIR analizlerimin yapılmasında ve bu analizlerin yorumlanmasında bana yardımcı olan Araş.Gör. Serkan EMİK'e teşekkür ederim.

Bütün hayatım boyunca bana destek olan sevgili anneme, 10 Kasım 2007'de vefat eden çok sevgili babama ve benim bir tane kardeşime ne kadar teşekkür etsem azdır. Son olarak, tanıştığımız günden beri, benim bütün aksiliklerimi ve yorgunluklarımı çeken, benimle birlikte doktora tezim için bir çok işime koşan sevgili eşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

**Ekim, 2008**

**Emine ELMASLAR ÖZBAŞ**

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
TABLO LİSTESİ .....	x
SEMBOL LİSTESİ .....	xii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xiii
ÖZET .....	xiv
SUMMARY .....	xv
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL KISIMLAR.....	3
2.1. KOMPOSTUN TANIMI .....	3
2.2. KOMPOST ÜRÜNÜNÜN ÖZELLİKLERİ VE KULLANIMI.....	3
2.3. İSTANBUL KATI ATIK GERİ KAZANMA VE KOMPOSTLAŞTIRMA TESİSİ.....	6
2.4. KOMPOSTUN AĞIR METAL İÇERİĞİ İLE İLGİLİ YASAL SINIRLAMALAR.....	7
2.5. AĞIR METALLERİN BİTKİLER İÇİN KRİTİK VE TOKSİK DEĞERLERİ.....	11
2.5.1. Çinko.....	11
2.5.2. Bakır.....	12
2.5.3. Nikel.....	12
2.5.4. Kurşun.....	13
2.5.5. Kadmiyum.....	13

2.6. LİTERATÜRDE KOMPOST İLE YAPILAN ÇALIŞMALARLA ÖRNEKLER.....	14
2.7. EKSTRAKSİYON.....	22
2.8. AĞIR METALLERİN EKSTRAKSİYONU İLE İLGİLİ LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALARLA ÖRNEKLER.....	26
2.8.1. EDTA'nın Disodyum Tuzunun (Na <sub>2</sub> EDTA) ve Sodyum Meta Bisülfitin (Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) Ekstraksiyon Çözeltisi Olarak Kullanılabilirliği ile İlgili Literatür Çalışmaları.....	29
2.9. MELASIN TANIMI VE BİLEŞİMİ .....	32
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	34
3.1. KOMPOSTUN pH'SININ BELİRLENMESİ.....	34
3.2. KOMPOSTUN NEM İÇERİĞİNİN BELİRLENMESİ.....	34
3.3. KOMPOSTUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞININ BELİRLENMESİ.....	35
3.4. KOMPOST NUMUNELERİ İÇERİSİNDEKİ AĞIR METALLERİN VE BAZI ELEMENTLERİN MİKTARLARININ (Ca, Na, Mg, K, P) TAYİN YÖNTEMİ.....	35
3.5. KOMPOST İÇERİSİNDEKİ AĞIR METAL BİLEŞİKLERİNİN TAYİN YÖNTEMİ.....	36
3.6. DENEYLERDE KULLANILAN MELASIN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ.....	36
3.7. MELAS HİDROLİZATININ HAZIRLANMASI.....	37
3.8. MELAS HİDROLİZATI İÇERİSİNDEKİ ORGANİK ASİT TÜRLERİNİN TAYİNİ.....	38
3.9. METALLERİN ZAYIF BAĞLI KISIMLARININ TESPİTİ.....	38
3.10. KOMPOSTTAN AĞIR METAL EKSTRAKSİYONU- KESİKLİ ÇALIŞMALAR.....	38
3.10.1. Na <sub>2</sub> EDTA ile Yapılan Deneysel Çalışmalar.....	39
3.10.2. Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ile Yapılan Deneysel Çalışmalar.....	39
3.10.3. Na <sub>2</sub> EDTA ve Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> İçeren Çözelti ile Yapılan Deneysel Çalışmalar.....	40
3.10.4. Melas Hidrolizatının Kullanıldığı Deneysel Deneyler.....	40

<b>3.11. KOMPOSTTAN AĞIR METAL EKSTRAKSİYONU-SÜREKLİ SİSTEM ÇALIŞMALARI .....</b>	<b>41</b>
<b>3.11.1. Kapasite Eğrilerinin Çizilmesi için Yapılan Sürekli Çalışmalar.....</b>	<b>43</b>
<b>3.12. ÇEŞİTLİ ÇÖZELTİLER İLE İŞLEM GÖREN KOMPOSTUN pH'SININ UYGUN pH'YA GETİRİLMESİ.....</b>	<b>45</b>
<b>3.13. ELEMENTEL ANALİZ (C, H, N, S).....</b>	<b>45</b>
<b>3.14. TOPLAM ORGANİK KARBON (TOK) MİKTARLARININ TAYİNİ.....</b>	<b>46</b>
<b>3.15. KOMPOST NUMUNELERİNİN İLETKENLİK, ORTO FOSFAT VE TKN (TOPLAM KJELDAHL AZOTU) MİKTARLARININ TAYİNİ.....</b>	<b>46</b>
<b>3.16. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) ANALİZLERİ.....</b>	<b>46</b>
<b>3.17. FTIR SPEKTROMETRESİ İLE YAPI ANALİZİ.....</b>	<b>47</b>
<b>3.18. BİTKİYE UYGUNLUK DENEYLERİ.....</b>	<b>47</b>
<b>4. BULGULAR.....</b>	<b>49</b>
<b>4.1. DENEYLERDE KULLANILAN KOMPOST NUMUNELERİNİN KARAKTERİZASYONU.....</b>	<b>49</b>
<b>4.1.1. Kompost İçerisindeki Ağır Metal Bileşikleri.....</b>	<b>50</b>
<b>4.2. ZAYIF BAĞLI AĞIR METAL MİKTARLARI.....</b>	<b>53</b>
<b>4.3. Na<sub>2</sub>EDTA KULLANILARAK YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>54</b>
<b>4.3.1. Temas Süresinin Ağır Metal Ekstraksiyonuna Etkisinin Belirlenmesi.....</b>	<b>54</b>
<b>4.3.2. Na<sub>2</sub>EDTA Çözeltisi Konsantrasyonunun Ağır Metal Ekstraksiyonuna Etkisinin Belirlenmesi.....</b>	<b>57</b>
<b>4.3.3. Katı:Sıvı Oranının Ağır Metal Ekstraksiyonuna Etkisinin Belirlenmesi.....</b>	<b>59</b>
<b>4.4. Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (SODYUM METABİSÜLFİT) İLE YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>61</b>
<b>4.4.1. Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Konsantrasyonunun Değişiminin Ağır Metal Ekstraksiyonuna Etkisinin Belirlenmesi.....</b>	<b>61</b>

4.4.2. Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Çözeltisi Kullanıldığında Katı:Sıvı Oranının Ağır Metal Ekstraksiyonuna Etkisinin Belirlenmesi.....	64
4.5. Na <sub>2</sub> EDTA VE Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> KARIŞIMI İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	66
4.5.1. Na <sub>2</sub> EDTA ve Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> İçeren Çözelti ile Yapılan Deneysel Çalışmalar- Kesikli Deneyler.....	66
4.5.1.1. Katı:Sıvı Oranının Ağır Metal Giderim Verimlerine Etkisinin Belirlenmesi.....	66
4.5.1.2. Na <sub>2</sub> EDTA ve Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> İçeren Farklı Çözelti Konsantrasyonlarının Ağır Metal Ekstraksiyonuna Etkisinin Belirlenmesi.....	69
4.5.2. Na <sub>2</sub> EDTA ve Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> İçeren Çözelti ile Yapılan Deneysel Çalışmalar- Sürekli Sistem .....	71
4.6. MELAS HİDROLİZATI KULLANILARAK GERÇEKLEŞTİRİLEN EKSTRAKSİYON DENEYLERİ.....	76
4.6.1. Melas Hidrolizati İçerisinde Mevcut Organik Asit Türleri.....	76
4.6.2. Melas Hidrolizatının Kullanıldığı Kesikli Deneyler.....	76
4.6.2.1. pH'nın Ağır Metal Ekstraksiyonuna Etkisinin Belirlenmesi.....	77
4.6.2.2. Temas Süresinin Ağır Metal Ekstraksiyonuna Etkisinin Belirlenmesi.....	79
4.6.2.3. Farklı Seyreltme Oranlarının Ağır Metal Ekstraksiyonuna Etkisinin Belirlenmesi.....	81
4.6.3. Melas Hidrolizatının Seyreltilmeden Kullanıldığı Kesikli Deneyler.....	83
4.6.3.1. Temas Süresinin Ağır Metal Ekstraksiyonuna Etkisinin Belirlenmesi.....	83
4.6.3.2. Katı:Sıvı Oranının Ağır Metal Ekstraksiyonuna Etkisinin Belirlenmesi.....	85
4.6.4. Melas Hidrolizati ile Yapılan Sürekli Sistem Deneyleri .....	89
4.7. ÇEŞİTLİ EKSTRAKSİYON ÇÖZELTİLERİ İLE İŞLEM GÖREN KOMPOSTUN pH'SININ UYGUN pH'YA GETİRİLMESİ.....	94
4.8. KOMPOST NUMUNELERİNE AİT XRD ANALİZLERİ.....	94
4.9. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOPU (SEM) ANALİZLERİ.....	100
4.10. FTIR SPEKTROMETRESİ İLE ELDE EDİLEN SONUÇLAR.....	110
4.11. BİTKİYE UYGUNLUK (FİTOTOKSİTİTE) DENEYİ SONUÇLARI...	112
4.12. KOMPOST NUMUNELERİNİN KARAKTERİZASYONU.....	116



<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....</b>	<b>119</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>127</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>134</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1	:Melas hidrolizatının hazırlanma aşamaları.....	37
Şekil 3.2	:Deneylerde kullanılan kolonun şematik gösterimi.....	42
Şekil 3.3	:Deneylerde kullanılan kolona ait fotoğraflar.....	43
Şekil 3.4	:Bitkiye uygunluk deneyine ait fotoğraflar.....	48
Şekil 4.1	:Kompost 1 numunesine ait XRD spektrumu.....	51
Şekil 4.2	:Kompost 2 numunesine ait XRD spektrumu.....	52
Şekil 4.3	:Na <sub>2</sub> EDTA çözeltisi ile ekstraksiyonda zamana bağlı olarak elde edilen ağır metal giderim verimleri (%) (kullanılan kompost miktarı, m =3 g; çözelti hacmi, V=30 mL; çözelti derişimi, C= 0.05 M).....	55
Şekil 4.4	:Na <sub>2</sub> EDTA çözeltisi ile ekstraksiyonda konsantrasyona bağlı olarak elde edilen ağır metal giderim verimleri (%) (m=5 g; V = 30 mL; temas süresi, t=3 saat).....	57
Şekil 4.5	:Na <sub>2</sub> EDTA çözeltisi ile ekstraksiyonda katı:sıvı oranına bağlı olarak elde edilen ağır metal giderim verimleri (%) ( t= 3 saat; C = 0.05 M).....	59
Şekil 4.6	:Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> çözeltileri ile ekstraksiyonda konsantrasyona bağlı olarak elde edilen ağır metal giderim verimleri (%) (m=5 g; V = 30 mL; t= 3 saat).....	62
Şekil 4.7	:Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> çözeltisi ile ekstraksiyonda katı:sıvı oranına bağlı olarak elde edilen ağır metal giderim verimleri (%) (C = 0.1 M; t= 3 saat).....	64
Şekil 4.8	:Na <sub>2</sub> EDTA ve Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> içeren çözeltinin kullanıldığı deneylerde farklı katı:sıvı oranları için elde edilen ağır metal giderim verimleri (C= 0.01 M Na <sub>2</sub> EDTA+0.1 M Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ; t= 3 saat).....	67
Şekil 4.9	:Çeşitli konsantrasyonlardaki Na <sub>2</sub> EDTA ve Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> içeren çözeltiler ile yapılan deneyler sonucu elde edilen giderim verimleri (%) (m=5 g; V= 30 mL; t= 3 saat; Çözelti 1: 0.001 M Na <sub>2</sub> EDTA ve 0.1 M Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> karışımı; Çözelti 2: 0.01 M Na <sub>2</sub> EDTA ve 0.05 M Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> karışımı; Çözelti 3: 0.01 M Na <sub>2</sub> EDTA ve 0.1 M Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> karışımı).....	69
Şekil 4.10	:0.01 M Na <sub>2</sub> EDTA ve 0.1 M Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> içeren çözelti kullanıldığında elde edilen kapasite eğrileri .....	74
Şekil 4.11	:0.01 M Na <sub>2</sub> EDTA ve 0.1 M Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> içeren çözelti kullanıldığında zamana bağlı elde edilen eğriler.....	74
Şekil 4.12	:Çeşitli pH değerlerinde elde edilen ağır metal giderim verimleri (%) (m= 5 g; V= 30 mL; t= 15 dak., C= 10 kat seyreltilmiş).....	77
Şekil 4.13	:Farklı temas sürelerinde elde edilen ağır metal giderim verimleri (%) (m= 5 g; V= 30 mL; C= 10 kat seyreltilmiş, pH= 2).....	79

<b>Şekil 4.14</b>	:Ekstraksiyon ile elde edilen ağır metal giderim verimleri (%) (m= 5 g; V = 30 mL;t=1 saat; pH= 2).....	81
<b>Şekil 4.15</b>	:Farklı temas süreleri için elde edilen ağır metal giderim verimleri (%) (m= 5 g; V = 30 mL; pH ≤1).....	83
<b>Şekil 4.16</b>	:Çeşitli katı:sıvı oranları için elde edilen giderim verimleri (%) (t= 30 dak.; pH ≤1).....	85
<b>Şekil 4.17</b>	:Çeşitli katı:sıvı oranları için elde edilen giderim verimleri (%) (t=1 saat.; pH ≤1).....	87
<b>Şekil 4.18</b>	:Melas hidrolizati kullanıldığında elde edilen kapasite eğrileri.....	92
<b>Şekil 4.19</b>	:Melas hidrolizati kullanıldığında zamana bağlı olarak elde edilen eğriler.....	92
<b>Şekil 4.20</b>	:0.05 M Na <sub>2</sub> EDTA çözeltisi ile ekstrakte edilmiş kompost numunelerine ait XRD spektrumu.....	95
<b>Şekil 4.21</b>	:0.05 M Na <sub>2</sub> EDTA çözeltisi ile ekstrakte edilmiş kompost numunelerinin Ca(OH) <sub>2</sub> ile yıkandıktan sonraki XRD spektrumu.....	95
<b>Şekil 4.22</b>	:0.1 M Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> çözeltisi ile ekstrakte edilmiş kompost numunelerine ait XRD spektrumu.....	96
<b>Şekil 4.23</b>	:0.1 M Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> çözeltisi ile ekstrakte edilmiş kompost numunelerinin Ca(OH) <sub>2</sub> ile yıkandıktan sonraki XRD spektrumu.....	96
<b>Şekil 4.24</b>	:0.01 M Na <sub>2</sub> EDTA ve 0.1 M Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompost numunelerine ait XRD spektrumu.....	97
<b>Şekil 4.25</b>	:0.01 M Na <sub>2</sub> EDTA ve 0.1 M Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompost numunelerinin Ca(OH) <sub>2</sub> ile yıkandıktan sonraki XRD spektrumu.....	97
<b>Şekil 4.26</b>	:Melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş kompost numunelerine ait XRD spektrumu.....	98
<b>Şekil 4.27</b>	:Melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş kompost numunelerinin Ca(OH) <sub>2</sub> ile yıkandıktan sonraki XRD spektrumu.....	98
<b>Şekil 4.28</b>	:Kompost numunesinin ekstraksiyondan önceki SEM fotoğrafları; (a) 50 kat büyütme, (b) 500 kat büyütme, (c) 1000 kat büyütme.....	101
<b>Şekil 4.29</b>	:0.05 M Na <sub>2</sub> EDTA çözeltisi ile ekstraksiyondan sonra kompost numunesinin SEM fotoğrafları; (a) 50 kat büyütme, (b) 500 kat büyütme, (c) 1000 kat büyütme.....	102
<b>Şekil 4.30</b>	:0.05 M Na <sub>2</sub> EDTA çözeltisi ile ekstrakte edildikten sonra Ca(OH) <sub>2</sub> ile muamele edilmiş kompost numunesinin SEM fotoğrafları; (a) 50 kat büyütme, (b) 500 kat büyütme, (c) 1000 kat büyütme.....	103
<b>Şekil 4.31</b>	:0.1 M Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> çözeltisi ile ekstrakte edilmiş kompost numunesinin SEM fotoğrafları; (a) 50 kat büyütme, (b) 500 kat büyütme, (c) 1000 kat büyütme.....	104
<b>Şekil 4.32</b>	:0.1 M Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> çözeltisi ile ekstrakte edilmiş ve Ca(OH) <sub>2</sub> ile muamele edilmiş kompost numunesinin SEM fotoğrafları; (a) 50 kat büyütme, (b) 500 kat büyütme, (c) 1000 kat büyütme.....	105
<b>Şekil 4.33</b>	:0.01 M Na <sub>2</sub> EDTA + 0.1 M Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompost numunesinin SEM fotoğrafları; (a) 50 kat büyütme, (b) 500 kat büyütme, (c) 1000 kat büyütme.....	106
<b>Şekil 4.34</b>	:0.01 M Na <sub>2</sub> EDTA+0.1 M Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş ve Ca(OH) <sub>2</sub> ile muamele edilmiş kompost numunesinin SEM fotoğrafları; (a) 50 kat büyütme, (b) 500 kat büyütme, (c) 1000 kat büyütme.....	107

<b>Şekil 4.35</b>	:Melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş kompost numunesinin SEM fotoğrafları; (a) 50 kat büyütme, (b) 500 kat büyütme, (c) 1000 kat büyütme.....	108
<b>Şekil 4.36</b>	:Melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş ve Ca(OH) <sub>2</sub> ile muamele görmüş kompost numunesinin SEM fotoğrafları; (a) 50 kat büyütme, (b) 500 kat büyütme, (c) 1000 kat büyütme.....	109
<b>Şekil 4.37</b>	:FTIR ile elde edilen spektrumlar.....	111
<b>Şekil 4.38</b>	:10 gün sonunda gelişmiş tere bitkileri .....	112
<b>Şekil 4.39</b>	:Bitkiye uygunluk deneyi sonuçlarının grafiksel gösterimi.....	115

## TABLO LİSTESİ

<b>Tablo 2.1</b>	:Kullanımına göre kompostun araziye uygulanma miktarları .....	5
<b>Tablo 2.2</b>	:Çeşitli ülkeler için kompost içindeki ağır metallerin maksimum kabul edilebilir değerleri (mg/kg-kuru kompost) .....	8
<b>Tablo 2.3</b>	:Toprakta müsaade edilen maksimum ağır metal muhtevaları (kuru toprakta mg/kg).....	9
<b>Tablo 2.4</b>	:Bir yılda araziye verilmesine müsaade edilecek ağır metal yükü (yılda hektar başına gram).....	9
<b>Tablo 2.5</b>	:Topraktaki ağır metal sınır değerleri.....	10
<b>Tablo 2.6</b>	:Toprakta on yıllık dönem esas alınarak bir yılda verilmesine müsaade edilecek ağır metal yükü.....	10
<b>Tablo 2.7</b>	:Melasın kimyasal özellikleri.....	33
<b>Tablo 3.1</b>	:Melasın kimyasal özellikleri.....	36
<b>Tablo 4.1</b>	:Çalışmada kullanılan kompost numunelerinin karakterizasyonu.....	50
<b>Tablo 4.2</b>	:Kompost 1 numunesi içerisindeki ağır metal bileşenleri.....	51
<b>Tablo 4.3</b>	:Kompost 2 numunesi içerisindeki ağır metal bileşenleri.....	52
<b>Tablo 4.4</b>	:Distile su ile ekstraksiyon sonrası elde edilen sonuçlar.....	53
<b>Tablo 4.5</b>	:Na <sub>2</sub> EDTA'nın kullanıldığı deneylerde çeşitli temas sürelerinde elde edilen sonuçlar (m =3 g; V=30 mL; C = 0.05 M).....	56
<b>Tablo 4.6</b>	:Çeşitli konsantrasyonlardaki Na <sub>2</sub> EDTA çözeltileri ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar (m=5 g; V = 30 mL; t=3 saat).....	58
<b>Tablo 4.7</b>	:Na <sub>2</sub> EDTA'nın kullanıldığı deneylerde çeşitli katı:sıvı oranları ile elde edilen sonuçlar ( t = 3 saat; C = 0.05 M).....	60
<b>Tablo 4.8</b>	:Çeşitli konsantrasyonlardaki Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> çözeltileri ile gerçekleştirilen ekstraksiyon çalışmalarında elde edilen sonuçlar (m=5 g; V = 30 mL; t= 3 saat).....	63
<b>Tablo 4.9</b>	:Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 'in kullanıldığı deneylerde çeşitli katı:sıvı oranları ile elde edilen sonuçlar (C= 0.1 M; t= 3 saat).....	65
<b>Tablo 4.10</b>	:Na <sub>2</sub> EDTA ve Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> içeren çözeltinin kullanıldığı deneylerde çeşitli katı:sıvı oranları ile elde edilen sonuçlar (C = 0.01 M Na <sub>2</sub> EDTA+0.1 M Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ; t= 3 saat).....	68
<b>Tablo 4.11</b>	:Çeşitli konsantrasyonlarda Na <sub>2</sub> EDTA ve Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> içeren çözeltiler ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar (m=5 g; V= 30 mL; t= 3 saat).....	70
<b>Tablo 4.12</b>	:Kolonda Na <sub>2</sub> EDTA ve Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> içeren çözelti ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar.....	73
<b>Tablo 4.13</b>	:Kapasite eğrisi için yapılan deneylerde 0.01 M Na <sub>2</sub> EDTA ve 0.1 M Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> içeren çözelti kullanıldığında elde edilen sonuçlar.....	75
<b>Tablo 4.14</b>	:Melas Hidrolizatı içerisinde belirlenen organik asit türleri ve miktarları.....	76

<b>Tablo 4.15</b>	:Çeşitli pH değerlerindeki melas hidrolizati ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar (m= 5 g; V = 30 mL; t= 15 dak., C= 10 kat seyreltilmiş).....	78
<b>Tablo 4.16</b>	:Melas hidrolizatının kullanıldığı deneylerde çeşitli temas süreleri ile elde edilen sonuçlar (m= 5 g; V = 30 mL; C= 10 kat seyreltilmiş, pH= 2).....	80
<b>Tablo 4.17</b>	:Çeşitli oranlarda seyreltilmiş melas hidrolizati ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar (m= 5 g; V = 30 mL;t=1 saat; pH= 2).....	82
<b>Tablo 4.18</b>	:Melas hidrolizatının seyreltilmeden kullanıldığı deneylerde çeşitli temas süreleri ile elde edilen sonuçlar (%) (m= 5 g; V = 30 mL; pH ≤1).....	84
<b>Tablo 4.19</b>	:Çeşitli katı:sıvı oranları için elde edilen sonuçlar (t= 30 dak.; pH ≤1)...	86
<b>Tablo 4.20</b>	:Çeşitli katı:sıvı oranları için elde edilen sonuçlar (t=1 saat.; pH ≤1)....	88
<b>Tablo 4.21</b>	:Melas hidrolizatının kullanıldığı kolon deneylerinde elde edilen sonuçlar.....	91
<b>Tablo. 4.22</b>	:Kapasite eğrileri için melas hidrolizati kullanılarak gerçekleştirilen kolon deneylerinde elde edilen giderim verimleri (%)...93	
<b>Tablo 4.23</b>	:Çeşitli çözeltiler ile ekstrakte edilmiş kompost numunelerinin ve ekstraksiyon sonrası Ca(OH) <sub>2</sub> ile yıkanmış kompost numunelerinin XRD analiz sonuçları.....	99
<b>Tablo 4.24</b>	:Bitkiye uygunluk deneyleri sonucunda büyüyen tere bitkilerinin ağırlıkları.....	113
<b>Tablo 4.25</b>	:Bitkiye uygunluk deneyi sonuçları.....	114
<b>Tablo 4.26</b>	:Na <sub>2</sub> EDTA ve Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> içeren çözelti ve melas hidrolizati ile ekstraksiyondan sonra kompost numunelerinin karakterizasyonu...117	

## SEMBOL LİSTESİ

<b>C</b>	: Çözelti Konsantrasyonu (M)
<b>C<sub>1</sub></b>	: Element Konsantrasyonu (mg/L),
<b>log K</b>	: Metal Komplekslerinin Oluşum Sabiti
<b>m</b>	: Numunenin Kütlesi (g veya kg)
<b>M</b>	: Molarite
<b>M<sub>1</sub></b>	: Kurutulmadan Önce Kompostun Ağırlığı (gram)
<b>M<sub>2</sub></b>	: Kurutulduktan Sonra Kompostun Ağırlığı (gram)
<b>M<sub>3</sub></b>	: Numunedeki Element Miktarı, mg/kg
<b>Q</b>	: Debi (mL/dakika)
<b>t</b>	: Temas Süresi (dakika veya saat)
<b>TK(%25;%50)</b>	: Bitkiye Uygunluk Yüzdesi (%)
<b>TK<sub>%25</sub></b>	: %25'lik Kompost Karışımında Yetişen Taze Tere Otunun Ağırlığı (gr)
<b>TK<sub>%50</sub></b>	: %50'lik Kompost Karışımında Yetişen Taze Tere Otunun Ağırlığı (gr)
<b>TK<sub>0BT</sub></b>	: Sıfır Birim Toprakta Yetişen Taze Tere Otunun Ağırlığı (gr)
<b>V</b>	: Numunenin (Çözeltinin) Hacmi (mL veya L)

## KISALTMALAR LİSTESİ

<b>AAS</b>	: Atomik Absorbsiyon Spektrometresi
<b>Ca(OH)<sub>2</sub></b>	: Kalsiyum Hidroksit
<b>C/N</b>	: Karbon/Azot oranı
<b>DTPA</b>	: Dietilen Triamin Penta Asetat
<b>EDTA</b>	: Etilen Diamin Tetraasetik Asit
<b>EGTA</b>	: Etilen Glikol-bis(2-aminoetilether)tetraasetik Asit
<b>FTIR</b>	: Fourier Transform Infrared Spektrophotometer
<b>GAK</b>	: Granül Aktif Karbon
<b>HEDTA</b>	: Hidroksietilendiamin-triasetik Asit
<b>HNO<sub>3</sub></b>	: Nitrik Asit
<b>HPLC</b>	: High (performance) Pressure Liquid Chromatography (Yüksek Basınç Sıvı Kromatografi)
<b>ICP-MS</b>	: Inductively Coupled Plasma- Mass Spektrometresi
<b>İAL</b>	: İleri Analizler Laboratuvarı
<b>KAKY</b>	: Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği
<b>KBr</b>	: Potasyum Bromür
<b>KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub></b>	: Orto Fosforik Asit
<b>KTB</b>	: Kütle Transfer Bölgesi
<b>MSW</b>	: Evsel Katı Atık (Municipal Solid Waste)
<b>Na<sub>2</sub>EDTA</b>	: EDTA'nın Di Sodyum Tuzu
<b>Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	: Sodyum Meta Bisüfit
<b>NH<sub>4</sub>OAc</b>	: Amonyum Asetat
<b>NaOH</b>	: Sodyum Hidroksit
<b>NTA</b>	: Nitriloasetik Asit
<b>PO<sub>4</sub>-P</b>	: Orto fosfat
<b>SCT metre</b>	:Salinity, Conductivity and Temperature (Tuzluluk, İletkenlik ve Sıcaklık) metre
<b>SEM</b>	: Taramalı elektron mikroskobu
<b>SM</b>	: Standart Method
<b>TKKY</b>	:Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği
<b>TKN</b>	: Toplam Kjeldahl Azotu
<b>TOK</b>	: Toplam Organik Karbon
<b>XRD</b>	: X-Ray Powder Diffractometer



## ÖZET

### TOPRAK ŞARTLANDIRILMASINDA KULLANILAN KOMPOSTTAN KATI-SIVI EKSTRAKSİYONU İLE AĞIR METALLERİN GİDERİLMESİ

Bu çalışmada ekstraksiyon yöntemi ile komposttan ağır metal giderimi amaçlanmıştır. Deneysel çalışmalar kapsamında, önce kompost numunelerinin karakterizasyonu yapılmış ve bu kapsamda ağır metal miktarları, ağır metal bileşiklerinin türleri belirlenmiştir. Kompost numuneleri içerisindeki ağır metal miktarları Türkiye'deki ve çeşitli ülkelerdeki yasal sınırlamalar ile karşılaştırılmış ve giderilmesi gereken ağır metal miktarları belirlenmiştir.

Katı-sıvı ekstraksiyonu yöntemi ile çeşitli kelatlayıcılar kullanılarak ( $\text{Na}_2\text{EDTA}$ ,  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  karışımı ve melas hidrolizati) deneyler yapılmış ve giderim verimleri belirlenmeye çalışılmıştır. EDTA'nın di sodyum tuzu ( $\text{Na}_2\text{EDTA}$ ) ve ekstraksiyona yardımcı madde olarak indirgeme özelliği olan sodyum metabisülfid ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) çözeltileri ve melas hidrolizati ile gerçekleştirilen kesikli deneylerde kompost içindeki ağır metallerin giderilmesinde optimum temas süresi, çözelti konsantrasyonları ve katı:sıvı oranı belirlenmiştir. Kesikli çalışmalardan sonra kolon çalışmaları (sürekli sistem deneyleri) gerçekleştirilmiştir. Ayrıca katı-sıvı ekstraksiyonu sonrasında bitkiye uygunluk deneyleri yapılarak kompost numunelerinin bitki yetiştirme özelliğinin belirlenmesine çalışılmış ve elde edilen deneysel veriler bitkiye uygunluk açısından değerlendirilmiştir.

Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, komposttan Cu, Ni, Zn, Pb ve Cd'un gideriminde 0.05 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  çözeltisinin ve 0.01 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve 0.1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  çözeltisinin kullanımının, Ni giderimi açısından hedeflenen giderim verimlerini sağlamadıkları, ancak diğer metallerin gideriminde 0.05 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  çözeltisi kullanıldığında Cu, Zn, Pb ve Cd için sırasıyla %99, %99, %98, %98, 0.01 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve 0.1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  çözeltisi kullanıldığında Cu, Zn, Pb ve Cd için sırasıyla %72, %77, %47 ve %86 oranlarında giderim verimleri elde edildiği belirlenmiştir. Melas hidrolizati ile yapılan deneylerde ise, çalışmada incelenen bütün ağır metallerin ekstraksiyon ile giderilmesinde melas hidrolizatının kullanılmasının uygun olduğu ve kompostta bulunan tüm metallerin standartlarda belirtilen değerlere getirilebildiği belirlenmiştir. Melas hidrolizati kullanıldığında Cu için maksimum %91, Ni için maksimum %93, Zn için maksimum %100, Pb için maksimum %62, Cd için maksimum %100 giderim verimlerinin elde edildiği görülmüştür.

## **SUMMARY**

### **REMOVAL OF HEAVY METALS FROM THE COMPOST USED AS SOIL CONDITIONER BY SOLID-LIQUID EXTRACTION**

This study is carried out to remove heavy metals from compost by extraction method. In the scope of the experimental studies; first of all, compost samples have been characterized to determine the amount of heavy metals and the types of heavy metal compounds. A comparison has been made between the heavy metal amounts of the compost samples and legal restrictions in Turkey and some other countries. Thus, heavy metal amounts which have to be removed have been calculated.

To determine the removal efficiencies, experiments have been carried out by solid liquid extraction method by using different chelating agents ( $\text{Na}_2\text{EDTA}$ ,  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  and  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  mixture and molasses hydrolysate). In the batch experiments carried out by EDTA disodium salt ( $\text{Na}_2\text{EDTA}$ ), sodium metabisulfite solutions ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) (which are used to facilitate extraction as they have reduction capacity) and molasses hydrolysate, the maximum contact time, the solution concentrations, and the solid/liquid ratio needed for the removal of heavy metals in the compost samples were determined. Following batch experiments, column studies (continuous system experiments) have been carried out. In addition, after the solid-liquid extraction experiments, the experiments of compliance with the plant (phytotoxicity experiments) have been conducted to determine the plant growing characteristic of the compost samples.

When the results obtained from experimental studies were evaluated, it was determined that the target heavy metal removal efficiencies were achieved for Cu, Zn, Pb and Cd except for Ni using 0.05 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  solution, and 0.01 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$ -0.1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  solution. Heavy metal removal efficiency values achieved using 0.05 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  and 0.01 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$ -0.1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  were 99% and 72% for Cu, 99% and 77% for Zn, 98% and 47% for Pb and 98% and 86% for Cd, respectively. The results indicate that it would be appropriate to use molasses hydrolysate for the removal of Cu, Ni, Zn, Pb and Cd present in compost, and these heavy metals' concentrations in compost were reduced to limit values at compost standards. It was seen that the maximum heavy metal removal efficiencies of 91 % for Cu, 93 % for Ni, 100 % for Zn, 62 % for Pb, and 100 % for Cd were obtained by using molasses hydrolysate.

## 1. GİRİŞ

Teknolojinin ilerlemesi, nüfusun ve buna bağlı olarak tüketimin artması nedeniyle günümüzde özellikle büyük şehirlerde kişi başına günlük olarak açığa çıkan katı atık miktarı da artmıştır. Türkiye’de yaygın olarak uygulanan katı atık bertaraf şekli düzenli depolamadır. Ancak, nüfusun ve buna bağlı olarak şehirleşmenin artması nedeniyle düzenli depo sahası olarak kullanılabilir alan miktarı özellikle düzensiz yapılaşmanın olduğu şehirlerde giderek azalmaktadır. Dünyanın birçok yerinde, benzer sebeplerle katı atıkların geri kazanımı önem kazanmıştır. Aynı zamanda atıkların fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler uygulanarak dönüştürülmesi de yaygın bir uygulama haline gelmiştir. Atığın dönüştürülmesi genelde deponi kapasite ihtiyacının azaltılmasını da sağlamaktadır. Atığın dönüştürülmesi denince akla ilk olarak kompostlama işlemi gelmektedir. Kompostlama işlemi, organik maddelerin bakteriler ve diğer mikroorganizmalar tarafından biyolojik olarak parçalanarak humus adı verilen toprak benzeri bir maddeye dönüştürülme prosesisidir.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi sınırları içerisinde ortaya çıkan katı atığın yaklaşık %10’luk kısmı, organik atıkların değerlendirilmesi amacıyla 2002 Mart ayından beri bir kompost tesisinde işlem görmektedir. Tesiste üretilen kompost ile ilgili başlıca sorunlar; üretilen kompost içerisinde bulunan cam kırıkları ve üretilen komposttaki ağır metal muhtevasının sınır değerlerin üzerine çıkmasıdır.

Kompost içeriğindeki ağır metal muhtevasının azaltılması amacıyla yapılan çeşitli çalışmaların sonucunda, kompost üretimi aşamasında komposta kil mineralleri ilave edilerek ağır metallerin stabilize hale getirilmesinin mümkün olabileceği öne sürülmüştür. Ancak, yine literatürde yer alan çeşitli çalışmalarda kil mineralleri ile bu şekilde stabilize hale getirilen kompostun kullanılması sırasında, ağır metallerin ortam

şartlarına bağılı olarak tekrar hareketli hale geçtikleri, bitkilere ve diğere canlılara ulaşabildikleri belirlenmiştir. Literatürde, toprak ile yapılan çalışmalarda toprak içerisindeki ağır metal giderim yöntemlerinde en çok kullanılan yöntemin, çeşitli ekstraksiyon çözeltileri ile toprağın yıkanması olduğu görülmüştür. Mevcut doktora tez çalışmasında da komposttan ağır metallerin giderilmesinde ekstraksiyon yöntemi kullanılmıştır.

Bu çalışmada, ekstraksiyon yöntemi kullanılarak komposttan ağır metal giderimi amaçlanmıştır. Çalışmada, İstanbul Katı Atık Geri Kazanma ve Kompostlaştırma Tesisi'nde üretilen kompost numuneleri kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar kapsamında, önce kompostun karakterizasyonu yapılmış ve kompost numuneleri içerisindeki ağır metal miktarları, ağır metal bileşiklerinin türleri belirlenmiştir. Kompost numunelerindeki ağır metal miktarları Türkiye'deki ve çeşitli ülkelerdeki yasal sınırlamalar ile karşılaştırılarak giderilmesi gereken ağır metal miktarları belirlenmiştir.

Çeşitli kelatlayıcılar kullanılarak ( $\text{Na}_2\text{EDTA}$ ,  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  karışımı ve melas hidrolizati) deneyler yapılmış ve katı-sıvı ekstraksiyonu yöntemi ile elde edilen giderim verimleri belirlenmeye çalışılmıştır. EDTA'nın di sodyum tuzu ( $\text{Na}_2\text{EDTA}$ ) ve ekstraksiyona yardımcı madde olarak indirgeme özelliği olan sodyum metabisülfid ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) çözeltileri ve melas hidrolizati ile gerçekleştirilen kesikli deneylerde kompost içindeki ağır metallerin giderilmesinde optimum deney şartları (temas süresi, çözelti konsantrasyonları ve katı:sıvı oranı) belirlenmiştir. Kesikli çalışmalardan sonra kolon çalışmaları (sürekli sistem deneyleri) gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, katı-sıvı ekstraksiyonu sonrasında kompost numunelerinin bitki yetiştirme özelliğinin belirlenmesi amacıyla bitkiye uygunluk deneyleri yapılmış, elde edilen sonuçlar bitkiye uygunluk açısından değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada, komposttan ağır metallerin giderilmesiyle, ağır metal içeriği sınır değerlerin üzerinde olan kompostun kullanımı sonucu oluşabilecek ve çevre sağlığını tehdit edebilecek sorunların önlenmesi hedeflenmiştir. Çalışma, hakkında çok fazla araştırmanın yapılmadığı bir konu olan kompost ürününden ağır metallerin giderimi ve bu amaçla ekstraksiyon yönteminin kullanıldığı bir çalışmadır.

## **2. GENEL KISIMLAR**

### **2.1. KOMPOSTUN TANIMI**

Kompostlaştırma, özellikle mutfak ve bahçe atıkları gibi katı atık içerisindeki organik bileşenlerin, kontrol edilen şartlar altında biyolojik olarak ayrıştırılması işlemidir. Bu işlem, organik maddelerin aerobik veya anaerobik şartlar altında sağlığa zararsız, humusa benzer bir maddeye dönüşmesi ile sonuçlanır (Bilgili ve diğ., 2003; TMMOB, 2005; Çelik ve diğ., 2004; Mazlum ve Mazlum, 2004).

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (KAKY) ve Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (TKKY)'nde "kompost: organik esaslı katı atıkların oksijenli ve oksijensiz ortamda ayrıştırılması suretiyle üretilen toprak iyileştirici madde" olarak tanımlanmıştır (KAKY, 2005; TKKY, 2005).

Kompost, bir toprak düzenleyicisi olup gübre değildir. Gübre olarak tanımlanabilmesi için daha fazla miktarda azot, fosfor ve potasyum içermesi gerekmektedir. Ayrıca kompostun içerdiği maddelerin çözünmesi, kimyasal gübrelerin aksine, ancak uzun bir süre içerisinde gerçekleşebilmekte ve ortama aktarımı zaman almaktadır (TMMOB, 2005).

### **2.2. KOMPOST ÜRÜNÜNÜN ÖZELLİKLERİ VE KULLANIMI**

Kompost, mikroorganizmaların metabolik faaliyetleri sonucunda sentezlenmiş hücre materyallerinin, ligninlerin, bitki ve mikrobiyal orijinli kısmen bozulmuş bileşenlerin karışımından ibarettir.

Kompostun, fiziksel ve biyolojik özellikleri; bozulmaya uğrayan maddelerin kökeni, bozulmanın gerçekleştiği şartlar ve bozulmanın derecesine bağlı olarak önemli ölçüde değişiklik gösterir (İpekoğlu,1990; Casado-Vela ve diğ., 2007).

Kompost daha çok toprağın fiziksel özelliklerini düzeltmek için kullanılır. Toprakta ayrıştıkça bitki besin maddesi olarak bitkiler tarafından kullanılır. Ağır killi toprakların gevşetilerek orta-iri çaplı ve gözenekli bir yapı kazanması, kaba-kumlu toprakların kompostun eklenmesi sonucu organik madde içeriğinin artması ile artan gözeneklere sahip olması, bu gözeneklerde bitkiler için gerekli suyun toplanması ve havanın bulunması dolayısıyla kompost ile bitki köklerinin kolayca gelişmesi sağlanır. Kompostun toprağa karıştırılması toprağın daha kısa sürede tava gelmesini ve daha uzun süre su tutabilmesini sağlar. Kompost uygulandığı toprağa organik madde ekler. Organik madde, killi toprakların geçirgenliğini artırır, kumlu toprağın maksimum su tutma kapasitesini arttırdığı için yüksek yağışlarda suyun toprak tarafından emilmesini sağlar ve toprakların erozyona uğramasını önler. Azotun tutulmasını sağlar ve yeraltı suyuna karışmasını önler. Humus açısından zengin topraklar, yetiştirilen bitkilerin, daha sağlıklı, hastalıklara ve zararlılara karşı daha dayanıklı olmasına olanak sağlar. Böylelikle kimyasal, zirai mücadele ilacı ihtiyacı azalır (Kantarıcı,1992; TMMOB, 2005).

İyi bir kompost; hijyenik olmalı, rahatsız edici koku içermemeli, patojenik mikroorganizma veya yabancı ot içermemelidir. Rengi kahverengiden siyaha değişen renkte olmalıdır (Brunt,1995; İpekoğlu,1990).

Kompostun kullanıldığı yerler şöyle sıralanabilir (Kantarıcı,1992):

1.Tarım sınıfı(kaba) olarak: (13-20 mm'lik elekten geçen)

- Ağır killi toprakların gevşetilip gözenekliliğini arttırarak biyolojik yapısının zenginleştirilmesinde
- Kurak veya erozyona maruz kalmış toprağın yeniden işlenmesinde (örneğin; tasfiye edilmiş bağlar ve otoyol kenarlarında )
- Tek tip ürün ekiminde
- Sıcak yastıklarda at gübresi yerine kullanımında

- Mineral gübreyeye ilave edilerek gübre verimini arttırmada
- Tavuk gübresiyle karıştırılıp hem ön bitki hem de sonraki bitkinin verimini arttırmada
- Deniz dolgusunda

2. Bahçivanlık sınıfı (ince) olarak: (6 mm'lik ve daha küçük elekten geçen)

- Bahçe düzenlemede
- Bağcılıkta
- İstenmeyen koku yayan havayı temizleyen filtrelerde
- Kuru yerlerin yeşillendirilmesinde
- Kullanılmayan açık hedeflerin (açık madenler, deponi alanları..) örtülüp yeşillendirilmesinde
- Golf alanlarının ve çim sahalarının yeşillendirilmesinde.

Kullanımına göre kompostun araziye uygulanma miktarları Tablo 2.1' de verilmiştir.

Tablo 2.1. Kullanımına göre kompostun araziye uygulanma miktarları (Brunt, 1985)

Uygulama Tipi	Miktar (kg/m <sup>2</sup> )
Köklü bitkiler	6-25
Tahıl	10
Arpa	20
Çim alanlar	3-5
Domuz besleme	3(kg/domuz)
Bağlar	8-30
Meyve bahçeleri	20-100
Sebze üretimi	20-50
Dekoratif bitki yetiştiriciliği	20-50
Fidanlık	30'a kadar
Bahçeler ve parklar	30-60
Oyun sahaları	40

Temel mineral elementlerle, patojenik ve indikatör organizmaların oranları, kompostun amaçlanan kullanımına göre belirlenir. Örneğin; yapraklı sebze yetiştirilmesinde kullanılması düşünülen kompostta, kadmiyum (Cd) düşük miktarda olmalıdır, fakat kompost kıraç toprakların yeniden yeşillendirilmesinde kullanılacaksa Cd içeriği pek önemli değildir (Brunt,1995).

Kompostun, gübre etkisi yaparak birincil olduğu kadar, toprağın fiziksel ve mikrobiyolojik özelliklerinde iyileştirmelere neden olarak ikincil olumlu etkileri de bulunmakta olup, Avrupa Birliği ülkelerinde çeşitli tarımsal ürünlerin (çim, mısır, taneli bitkiler ve brokoli vs. gibi sebzeler) yetiştirilmesinde başarı ile kullanıldığını belirten çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu olumlu özelliklerinden dolayı kompost, tarımsal uygulamalarda, diğer alternatifler (kimyasal gübreler) ile karşılaştırılabilmektedir. Her ne kadar şu anda kompostun kimyasal gübre için bir rakip olduğu söylenemese de, zaman içerisinde, organik üretimin yaygınlaşması ve pazar payı kazanması ile, bu olgunun değişmesinin söz konusu olması beklenmektedir (TMMOB, 2005).

### **2.3. İSTANBUL KATI ATIK GERİ KAZANMA VE KOMPOSTLAŞTIRMA TESİSİ**

Bu doktora tezi kapsamında yapılan çalışmalarda İstanbul Katı Atık Geri Kazanma ve Kompostlaştırma Tesisi'nde üretilen kompost kullanılmıştır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi sınırları içerisinde ortaya çıkan yaklaşık 10.000 ton/gün evsel katı atığın 1000 ton/gün'lük kısmı İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından organik atıkların değerlendirilmesi ve atıkların ekonomik değeri olan kısmının geri kazanılması amacıyla Eyüp ilçesi Kısırmandıra köyü sınırları içindeki bu tesiste değerlendirilmektedir. Tesisin yapımı 1998 yılında ihale edilmiş ve 2001 yılında bitirilerek 2002 Mart ayından itibaren işletmeye açılmıştır ([www.istac.com.tr](http://www.istac.com.tr); Kanat ve Bilgili, 2003).

İstanbul'da bulunan kompostlaştırma tesisi şu birimlerden oluşmuştur (Beba ve Röben, 1997):

- Yığın fermentasyon sahası/binası,
- Havalandırma tertibatı,
- Yığın taşıma/karıştırma makinası,
- Nemlendirme ve drenaj tertibatı,
- Kompost eleme ünitesi,
- Hazır kompost deposu



## **2.4. KOMPOSTUN AĞIR METAL İÇERİĞİ İLE İLGİLİ YASAL SINIRLAMALAR**

Geçen on yıl süresince Avrupa Birliği'nin çevre politikası içinde organik atıkların geri kazanılması önemli bir konu haline gelmiştir. Organik atıkların çeşitli bitki türleri için gerekli besin maddelerini içerdikleri düşünüldüğünde, organik atıkların tarım alanlarında şartlandırıcı veya gübre amaçlı kullanılması geri kazanım açısından tercih edilen bir yaklaşımdır. Ancak, organik atıklar çeşitli miktarlarda toksik elementler (örneğin; ağır metaller) ve organik bileşikler (örneğin; poliklorürlü bifeniller ve ester alkilfenoller) içerebileceklerinden, tarım alanlarındaki uygulamaları sınırlandırılmalıdır. Böylece bitkilerin ve yeraltı sularının organik atıklardan kaynaklanabilecek ağır metallerin birikimiyle kirlenmesinin önüne geçilebilir (Horn Andreas ve diğ., 2003).

Kompost birçok ülkede tarım toprakları için etkili bir organik şartlandırıcı olarak kullanılmaktadır. Kompost yüksek miktarda kararlı organik madde içermesinden ve nütrientlerin varlığından dolayı tercih edilmektedir. Ayrıca bir çok araştırma sonucunda kompost kullanımının toprağın fiziksel özelliklerini de (artan porozite, yapısal kararlılık, mevcut su içeriği ve erozyonun azalması gibi) iyileştirdiği gözlenmiştir. Kompostun fitonütrient kapasitesi çoğu zaman gübre ile benzer özellik gösterir. Ancak kompost içerisinde olabilecek organik ve inorganik kirleticilerin varlığı çevre için tehlikeli olabilmektedir. Kompostun ağır metal içeriği tarımsal kullanım için ana sınırlayıcı faktördür. Yapılan literatür çalışmalarında, kullanılan kompostun çevredeki ağır metal seviyelerine etkisinin toprağın tipine, bitki türlerine ve kompost kalitesine bağlı olarak farklılıklar gösterdiği görülmüştür (Pinamonti ve diğ., 1997).

Kompostlar, bitkilerin büyümesi için gerekli olan iz elementler gibi mikroelementlerden oluşurlar. İçerdikleri mikroelement miktarları, bitki ve diğer yaşayan organizmalar için besin zincirine girdiğinde toksik olabileceğinden izin verilen konsantrasyonları aşamaz. Kurşun (Pb), kadmiyum (Cd) ve civa (Hg) gibi toksik metallerle kirlenmiş kompostların toprağa uygulanması çevre için de çok zararlıdır (Ciba, 2003; Núñez ve diğ., 2007).

Bu nedenlerle Avrupa Birliği'ne bağlı birçok ülkede komposttaki ağır metaller için sınır değerleri (mg/kg kuru ağırlık bazında) verilmektedir. Tablo 2.2'de çeşitli ülkeler için kompost içerisindeki ağır metallerin maksimum kabul edilebilir değerleri (mg/kg-kuru kompost) sunulmuştur.

Tablo 2.2. Çeşitli ülkeler için kompost içindeki ağır metallerin maksimum kabul edilebilir değerleri (mg/kg-kuru kompost) (ECN, <http://www.compostnetwork.info/index.php?id=10> )

Ağır metal	Almanya	Belçika	Kanada	Fransa	İsveç
Cu	150	100	100	-	150
Zn	400	1000	500	-	500
Mo	-	-	5	-	5
Co	-	-	34	-	25
Cd	2	5	3	8	3
Ni	50	50	62	200	50
Pb	200	600	150	800	150
Hg	1	-	0.8	8	3
Cr	150	150	210	-	150
As	-	-	13	-	-
Se	-	-	2	-	-

Türkiye'de kompostun ağır metal içeriği ile ilgili Katı Atıkların Kontrolü ve Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliklerinde mg/kg-kuru kompost olarak sınır değerler verilmemiştir. Bu yönetmeliklerde sadece toprağa verilecek ağır metal yükü ile ilgili sınır yük değerleri yer almaktadır. Yönetmeliklerde kompost kullanımına, kompostun kullanılacağı arazideki ağır metal içerikleri yönünden de sınırlama getirilmiştir. Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nde kompostun ağır metal muhtevası ve sınır değerleri ile ilgili olarak, ağır metallerin yüksek konsantrasyonlarda canlılar üzerinde zehirlenme etkisi gösterebileceği, tarım alanlarında kontrollü olarak kullanılması ve şu hükümlerin yerine getirilmesi gerektiği belirtilmiştir;

- Üretilen kompostun ağır metal içerikleri, en fazla üçer aylık aralıklarla, ihtiva ettikleri Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg ve Zn yönünden incelenmelidir.
- Kompostun kullanılacağı arazi bir hektardan büyükse toprağın pH değeri, ihtiva ettiği Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg ve Zn yönünden analiz edilmelidir.
- Numuneler numune alma tekniğine ve usulüne uygun olarak alınmalı ve tüm kütleyi temsil edici olmalıdır.
- Toprak analizleri sonucu, topraktaki ağır metal içeriklerinin Yönetmelikte EK-IV/A'da belirtilen ve Tablo 2.3'de gösterilen değerleri aşması halinde söz konusu arazide kompostun kullanılmaması gerekmektedir.

- Kompostun arazide tekrarlanan bir şekilde kullanılması halinde, ağır metaller itibarı ile araziye verilen yükün Yönetmelikte EK-IV/B'de belirtilen ve Tablo 2.4'te verilen değerleri aşmaması gerekmektedir (KAKY, 2005).

Tablo 2.3. Toprakta müsaade edilen maksimum ağır metal muhtevaları (kuru toprakta mg/kg)

Ağır metal	Topraktaki sınır değerler (kuru toprakta mg/kg)
Kurşun	100
Kadmiyum	3
Krom	100
Bakır	100
Nikel	50
Civa	2
Çinko	300

Tablo 2.4. Bir yılda araziye verilmesine müsaade edilecek ağır metal yükü (yılda hektar başına gram)

Ağır metal	Sınır yük değeri (gram/hektar/yıl)
Kurşun	2000
Kadmiyum	33
Krom	2000
Bakır	2000
Nikel	330
Civa	42
Çinko	5000

Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nde kompostun toprakta kullanılması ile ilgili hükümler şunlardır:

- Kompostun, hijyenik yönden kusursuz olması, insan ve tüm canlı sağlığını tehdit etmemesi,
- C/N oranının 35'den daha büyük olması halinde kompost reaksiyonunun optimum şartlarda cereyan edebilmesi için reaktörde kompostta azot beslemesinin yapılması,
- Toprak ıslahı için kullanılacak kompostun, organik madde muhtevasının kuru maddenin en az %35'i oranında olması,
- Piyasaya sürülen kompostun su muhteva oranının %50'yi geçmemesi,
- Piyasaya sürülen kompost içinde, cam, cüruf, metal, plastik, lastik, deri gibi seçilebilir maddelerin toplam ağırlığın %2'yi geçmemesi,
- Üretilen kompostun ağır metal muhtevalarının, en fazla üçer aylık aralıklarla, ihtiva ettiği kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), krom (Cr), bakır (Cu), nikel (Ni), civa (Hg) ve çinko (Zn) yönünden analiz edilmesi,

- Kompostun kullanılacağı arazide toprağın pH değerinin, ihtiva ettiği Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg ve Zn yönünden analiz edilmesi,
- Numunelerin usulüne ve tekniğine uygun olarak alınması ve tüm kütleyi temsil edici olması,
- Toprak analizleri sonucu, topraktaki ağır metal içeriklerinin EK I-A'da (Tablo 2.5) yer alan değerleri aşması halinde söz konusu arazide kompostun kullanılmaması,
- Kompostun arazide 10 yıllık dönemde her yıl uygulanması halinde, ağır metal itibari ile araziye verilen yükün EK III'de (Tablo 2.6) verilen değerleri aşmaması, gerekir (TKKY, 2005).

Tablo 2.5. Topraktaki ağır metal sınır değerleri

Ağır Metal	PH≤6	pH>6
	mg/kg fırın kuru toprak	mg/kg fırın kuru toprak
Kurşun	50**	300**
Kadmiyum	1**	3**
Krom	100**	100**
Bakır*	50**	140**
Nikel*	30**	75**
Çinko*	150**	300**
Cıva	1**	1.5**

\*pH değeri 7'den büyük ise Bakanlık sınır değerleri %50'ye kadar arttırabilir.

\*\* Yem bitkileri yetiştirilen alanlarda çevre ve insan sağlığına zararı olmadığı bilimsel çalışmalarla kanıtlandığı durumlarda, bu sınır değerlerin aşılmasına izin verilebilir.

Tablo 2.6. Toprakta on yıllık dönem esas alınarak bir yılda verilmesine müsaade edilecek ağır metal yükü

Ağır metal	Sınır yük değeri (gr/da/yıl)**
Kurşun*	1500
Kadmiyum	15
Krom*	1500
Bakır*	1200
Nikel*	300
Çinko*	3000
Cıva	10

\* İşlenmiş arıtma çamurunun topraklarda kullanılması ile hasatın alınması arasında en az üç ay süre varsa ilgili kuruluşların görüşü alınarak Bakanlıkça cıva ve kadmiyum hariç olmak üzere bu değerler %5'e kadar arttırılabilir.

\*\* Yem bitkileri yetiştirilen alanlarda çevre ve insan sağlığına zararlı olmadığı bilimsel çalışmalarda kanıtlandığı durumlarda, bu sınır değerlerin aşılmasına izin verilebilir.

## 2.5. AĞIR METALLERİN BİTKİLER İÇİN KRİTİK VE TOKSİK DEĞERLERİ

Bitkilerin yaşaması için gerekli olan elementlere “bitki besin elementleri” denilmektedir. Bitki dokularının analizinde doğada bulunan tüm elementleri hemen hemen bulmak mümkündür. Her ne kadar bitkilerin besin iyonları alımı seçici ise de, yetiştirme ortamında yaygın formda bulunan besin elementleri oranı arttıkça, bitki bünyesine pasif yollarla geçen bazı ağır metaller besin zincirine dahil olmaktadır. Bunun sonucunda bitkilere ve bitkilerle beslenen insan ve hayvanlara toksik etki yapabilmektedirler. Çünkü bitkiler yetiştikleri ortamda bulunan elementleri, kendileri için gerekli olsun veya olmasın az da olsa bünyelerine almaktadırlar. Ancak bu elementlerden 16 tanesi (C, H, O, N, P, K, S, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, B, Cl ve Mo) bütün bitkiler için mutlak gerekli besin maddeleridir. Diğer 6 element (Co, Al, Na, Si, Ni ve V) ise sadece bazı bitkilere veya proseslere gerekli olduğu kabul edilen yararlı elementlerdir. Gümüş, kadmiyum, civa, kurşun, platin, talyum ve kalay metalleri ise bitkiler ve hayvanlar için gerekli olmadıkları gibi, ayrıca toksik ve kirletici metallerdir. Topraklarda ekstrakte edilebilir ağır metal konsantrasyonları; Cd 1 ppm, Co 10 ppm, Cu 0.1 ppm, Se 10 ppm, V 0.5 ppm, Ni 100 ppm’in üzerinde olduğu durumlarda bitkilerde toksik etkiler ortaya çıkabilmektedir (Yıldız, 2002).

Doğal çevrenin Pb, Cu ve Zn gibi toksik metallerle kirletilmesinin bitkilerin, mikroorganizmaların ve hayvanların yaşamı için toksik etki yaptığı bilinmektedir. Toprak göz önüne alındığında, bitkilerin toprak ortamından metalleri dominant olarak bitkilerin aldığı söylenebilmektedir (Ritchie ve diğ., 2001).

### 2.5.1. Çinko

Toprak içinde fazla miktarda bulunan çinko, bitkilere ve mikroorganizmalara toksik etki yapar. İnsanlarda, besin maddeleri ile çok miktarda Zn alınması durumunda kronik Zn zehirlenmesi olayına rastlanmamıştır. Toprakta pH 5.5’in altına düştüğünde Zn hareketliliği artmaktadır (Walker ve Clemente 2004; Elmacı, 1995).

Bitkilerde kuru madde ilkesine göre 150-200 ppm'in üzerindeki çinko miktarlarının toksik düzey olarak kabul edildiği belirtilmiştir (Yıldız, 2002).

### **2.5.2. Bakır**

Cu, bütün canlıların beslenmesi için mutlak gerekli bir elementtir. Fazlalığında bitkiler ve hayvanlarda (daha çok koyunlarda) Cu toksisitesi ortaya çıkabilir. Buna karşılık insanlarda kronik Cu zehirlenmesi pek bilinmemektedir.

Elmacı (1995) tarafından yapılan çalışmada, Mengel ve Kirkby (1987) tarafından yapılan çalışmaya atıf yapılarak, Cu'nun toprağa kuvvetle bağlandığı için toprakta çok az hareketli olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle Cu içeren tarım ilaçları ile veya gübrelerle toprağa uygulanan Cu'nun daha çok toprağın üst katmanlarında kaldığı ve dolayısıyla da birçok toprağın Cu içeriğinin toprak profili içinde derine inildikçe azaldığı belirtilmiştir.

Yıldız (2002) tarafından yapılan çalışmada, tarım topraklarında, toprak çözeltisinde Cu miktarı 0.1 ppm'i aştığı takdirde ters etkide bulunacağı bildirilmiştir. Bitkilerin Cu gereksiniminin çok düşük olduğu belirtilmiştir. Cu toksisitesine en çok, yüksek miktarda Cu içeren zirai mücadele ilaçları uygulanan narenciye bahçeleri ve bağlarda rastlandığı bildirilmiştir. Toksik seviyede Cu içeren bitkilerin Cu düzeyinin, 100 ppm'i bulduğu belirtilmiştir (Walker ve Clemente, 2004).

### **2.5.3. Nikel**

Ni, bazı hayvanlar için mutlak gerekli bir iz element olarak görülmekte, bitkiler ve mikroorganizmalar için de Ni'in düşük konsantrasyonunun olumlu etkisinin olduğu kabul edilmektedir (Elmacı, 1995).

Ni yarayışlılığı ve bitkilerce alınımı, toprağın reaksiyonu ve fosfat dozuna bağlıdır. Buğday için pH 5.1'de 20 ppm Ni'in büyümede zararlı olduğu, pH 7.5'de 160 ppm'e kadar Ni'in zararlı olmadığı gözlenmiştir. Toprak reaksiyonu pH 5.5'in altına düştüğünde Ni hareketliliğinin arttığı bildirilmektedir. Toprağın fosfor miktarının yükselişi ile Ni'in alınımının ve bitkideki Ni konsantrasyonunun yükseldiği belirtilmiştir (Elmacı, 1995).

Yıldız (2002) tarafından yapılan çalışmada, özellikle kanalizasyon artıklarının kullanıldığı alanlarda Ni toksisitesine sık ve yaygın olarak rastlandığı ve kritik toksik düzeyin, bitkilerde 10 ppm olduğu belirtilmiştir. Toksik Ni miktarları; 10-100 ppm'dir (Kabata-Pendias ve Pendias, 1992).

#### **2.5.4. Kurşun**

Çöp ve arıtma çamuru kompostunun uygulama dozunun artışı ile birlikte topraklardaki ve bitkilerdeki Pb miktarının arttığı, meyvelerdeki artışın kök ve yapraklara göre daha az olduğu gözlenmiştir (Elmacı, 1995; Pichtel ve Anderson, 1997).

Çinko, bakır ve kurşun kök hücre uzamasını ve sonuç olarak büyümeyi engellerler. Konsantrasyona bağlı olarak kök ve gövde gelişimini azaltırlar. Bitkiler için 30-300 ppm Pb'un toksik etki yapabileceği belirtilmiştir (Kırbağ Zengin ve Munzuroğlu, 2003). İnsanlarda akut kurşun zehirlenmesine nadiren rastlanır. Kronik etkileri arasında kansızlık, beyin ve böbrek faaliyetlerinde yavaşlama görülür ([www.inonu.edu.tr/tsahin/dokuman/toksikoloji](http://www.inonu.edu.tr/tsahin/dokuman/toksikoloji)).

#### **2.5.5. Kadmiyum**

Kadmiyum ve çinko kimyasal özellikleri yönünden birbirlerine benzeyen iki element olup, alım ve metabolik işlevlerinde Cd, Zn'nun davranışlarını taklit edebilmektedir (Elmacı, 1995).

Yıldız (2002) tarafından yapılan çalışmada, topraklarda bulunan kadmiyumun tolere edilebilir miktarının 5 ppm dolayında olduğu belirtilmiştir. Topraklara karışan Cd'un yaklaşık %55'inin fosforlu gübrelerden, %40'ının atmosferden ve %4'ünün kanalizasyon atıklarından kaynaklandığı bildirilmiştir. Kirlenmeyen alanlarda toprağın Cd kapsamının genellikle 1 ppm'in altında olduğu belirtilmiştir. Bitki beslenmesinde Cd'un mutlaka gerekli olmadığı, yüksek konsantrasyonlarda bitki, insan ve hayvanlara toksik etkisi olduğu bildirilmiştir (Kabata-Pendias ve Pendias, 1992).

## 2.6. LİTERATÜRDE KOMPOST İLE YAPILAN ÇALIŞMALARA ÖRNEKLER

Pichtel ve Anderson (1997) tarafından yapılan çalışmada kompost içerisinden iz metallerin biyoalınabilirliği incelenmiştir. Çalışmada, kompost içindeki ağır metal konsantrasyonlarının, çoğu tarım toprağındaki ağır metal konsantrasyonundan çok daha fazla olduğu, sonuç olarak, kompostların defalarca uygulandığı topraklarda, topraktaki çeşitli organik ve inorganik fazlarda ağır metallerin birikme eğiliminin olduğu belirtilmiştir. Organik olarak şartlandırılmış olan topraklarda ağır metallerin çeşitli formlarda bulunabilecekleri belirtilmiştir. Örneğin; değiştirilebilir (exchangeable), çözünebilir (soluble), organik-bağılı, karbonat-bağılı ve kalıntı (residual).

Metallerin topraktaki kimyasal formlarının, bu metallerin bitkiler tarafından alınmasını önemli ölçüde etkileyebileceği, topraktaki ağır metallerin sadece toplam konsantrasyonlarının bilinmesinin bitkiler tarafından absorblanabilecek metal miktarlarının belirlenmesinde tam anlamıyla yardımcı olmayacağı dile getirilmiştir. Kompost ile şartlandırılmış topraklardaki herhangi bir iz elementin toprak içindeki toplam konsantrasyonunun artmasının, bitkiler tarafından alınan miktarın artmasını zorunlu kılmayacağı belirtilmiştir. Kompost uygulaması sonucu iz metallerin besin zincirini kirletme potansiyelinin, bu metallerin topraktaki biyoalınabilirliği (bioavailability) ile belirlenebileceği söylenmiştir (Pichtel ve Anderson, 1997).

Kompost-toprak karışımındaki metal konsantrasyonu ile bitkiler tarafından metal alımı arasındaki ilişkinin belirlenmesinin, kompostun güvenli kullanımı için gerekli olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada, arıtma çamuru kompostu ve evsel atık kompostu ile şartlandırılmış topraklardaki metal aktivitesi incelenmiş ve metallerin biyolojik olarak alınabilirliğinin yulaf bitkisinin büyümesine etkisi gözlenmiştir. Kompost-toprak karışımındaki metallerin inkübasyondan sonra katı fazdaki kimyasal formları ardışık ekstraksiyon işlemi ile belirlenmiş ve metal fraksiyonlarının (kısmalarının) bitkiler tarafından alınabilirlik miktarları değerlendirilmiştir (Pichtel ve Anderson, 1997).



Bitkilerin hasatından sonra toplanan toprak numunelerindeki Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn fraksiyonlarına ayrılmıştır. Sonuçta, toprağın kompost ile şartlandırılmasının topraktaki Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn'nin toplam konsantrasyonlarını arttırdığı, fakat asıl artışın daha dayanıklı olan NaOH (sodyum hidroksit), EDTA (etilendiamintetraasetik asit) ve HNO<sub>3</sub> (nitrik asit) fraksiyonlarında olduğu görülmüştür. Yulaf bitkisine geçen metal konsantrasyonlarının tahmin edilmesinde, kısımlarına (fraksiyonlarına) ayırma prosedürünün toplam toprak metali içeriğinin kullanılmasından daha başarılı olduğu saptanmıştır (Pichtel ve Anderson, 1997).

Pinamonti ve diğ. (1997) tarafından yapılan çalışmalarda, kullanılan kompostun çevredeki ağır metal seviyelerine etkisinin toprağın tipine, bitki türlerine ve kompost kalitesine bağlı olarak farklılıklar gösterdiği belirtilmiştir. Toprakta ve bitkide Zn, Cu ve Pb miktarlarının önemli ölçüde arttığı, Cd, Ni ve Cr gibi diğer ağır metallerin daha az da olsa arttığı gözlenmiştir. Uzun süreli arıtma çamuru kullanımının da Zn, Cu, Pb, Ni ve Cd konsantrasyonlarını toprakta ve bitkide önemli miktarda arttırdığı belirlenmiştir. Avrupa'da yapılan kümülatif bir araştırmada kompostun tarımsal kullanımı sonucu ağır metallerin toprak ve bitkide şu sırayla arttığı görülmüştür: Zn > Cu > Pb = Cd > Ni > Cr.

Zorpas ve diğ. (2000) tarafından yapılan çalışmada, kompostlaşma süreci esnasında doğal zeolitlerin çamurlaştırma (bulking) materyali olarak kullanılarak metallerin tutulabilirliğinin incelenmesi amaçlanmıştır. Ham çamura ve 150 gün sonunda kompostlaşan çamura ardışık ekstraksiyon süreci uygulanmış ve böylece ağır metal içeriği 5 kısımda tanımlanmıştır; değiştirilebilir (exchangeable), karbonat, indirgenabilir (reducible), organik ve kalıntı (residual). Değiştirilebilir kısmın, suyun iyonik kompozisyonundaki değişikliklerden etkilendiği; karbonat kısmın, pH değişikliklerinden etkilendiği; indirgenebilir kısmın, demir ve mangan oksitler (termodinamik olarak anoksik şartlarda stabil olmayan)'den oluştuğu; organik kısmın, oksidasyon şartlarında çözünür metaller açığa çıkardığı; kalıntı kısımda, metallerin bunların kristal yapılarında tutulmuş olduğu belirtilmiştir. Kalıntı kısımda bulunan ağır metallerin büyük bir kısmının zeolit tarafından tutulamadığı görülmüştür. Bu kısım inert form olarak düşünülmüştür. Sonuçta eklenen zeolit miktarının elde edilen kompostun toplam fosfor ve TKN (Toplam Kjeldahl Azotu) miktarını etkilemediği görülmüştür. Zeolit miktarının artması, bütün ağır metal konsantrasyonlarını azaltırken sodyum ve

potasyum miktarlarının artmasına neden olmuştur. Maksimum metal tutulması Cd için %100, Cu için %28-45, Cr için %10-15, Fe için %41-47, Mn için %9-24, Ni ve Pb için %50-55 ve Zn için %40-46 olarak belirlenmiştir. Klinoptilolit daha kolay bir şekilde değiştirilebilir ve karbonat kısımlarındaki metalleri tutabileceği belirtilmiştir (Zorpas ve diğ., 2000).

Zorpas ve diğ. (2002) tarafından yapılan çalışmada kompostun, N, P ve K gibi ana bitki besinlerini içermesi, Cu, Fe ve Zn gibi mikro bitki nütrientlerini içermesi gibi özellikleri ve daha iyi toprak havalanması, daha iyi su tutma kapasitesi sağlaması gibi özelliklerinden dolayı bir toprak şartlandırıcısı olarak kullanılabilceği belirtilmiştir.

Çalışmada, iyon değiştirme prosesinde teorik olarak yüksek giderim verimlerinin küçük partikül boyutunun kullanılması ile sağlanabileceği, ancak bunun her zaman doğru olmadığı belirtilmiştir. Zeolit yapısındaki gözenek açıklıklarının ufalanma ile tıkanmasının, sulu ortamda  $Pb^{2+}/Na^{+}$  iyon değişiminde küçük partiküller üzerinde, büyük partiküller üzerindeki daha fazla olduğu ifade edilmiştir. Dahası, öğütme ile küçük partikül boyutlarının elde edilmesi sırasında daha küçük parçacıklarda yapı bozulmasının olduğu, bunun da iyon değiştirme kinetiğinin yavaşlamasına neden olduğu ifade edilmiştir.

Deneyle sırasında, başlangıçta klinoptilolit ve arıtma çamuru içindeki toplam ağır metal miktarları belirlenmiştir. Ağırlıkça %0-%25 oranında klinoptilolit ve arıtma çamuru karıştırılarak, partikül boyutu 0.160-4.0 mm arasında değişen kompost elde edilmiştir. Önce hangi karıştırma oranında en iyi verim sağlandığı araştırılmıştır. Ağırlıkça %25 zeolit eklenmesinin %12 Co, %27 Cu, %14 Cr, %30 Fe, %40 Zn, %55 Pb, %60 Ni giderimi sağladığı bulunmuştur. Daha sonra, farklı partikül boyutundaki klinoptilolitler ortama eklenerek ağır metal giderimi incelenmiştir. Partikül boyutu arttıkça, klinoptilolit tarafından tutulan ağır metal miktarının arttığı görülmüştür. Bu durumun yüzey tozlarının gözenekleri tıkanmasından ve küçük partiküllerde öğütmeden kaynaklanan yüzeysel hasardan kaynaklandığı düşünülmüştür (Zorpas ve diğ., 2002).

Whitte ve Dyson (2002) tarafından yapılan çalışmada, yeşil atıkta (green waste) ağır metallerin yeterince yüksek konsantrasyonda olduklarında fitotoksik ve zootoksik

potansiyeye sahip oldukları söylenmiştir. Yeşil atıkta, ağır metallerin sıklıkla kirletici olarak buldukları ifade edilmiştir. Bu çalışmada, Cd, Cu, Cr, Pb ve Zn konsantrasyonlarının 14 haftalık kompostlaşma süresi boyunca değişiminin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın sonucunda, Pb, Cu, Cr gideriminde ve bunlara göre daha küçük boyutta da Zn gideriminde genel bir artışın (son ürünün katı kısmındaki tüm konsantrasyonlarında sırayla %93, %49, %43 ve %20) olduğu görülmüştür.

Hollanda'da yapılan bir çalışmada da (Veeken ve Hamelers, 2003), toprağa sık sık kompost uygulanmasının toprakta ağır metal birikimine yol açtığı vurgulanmıştır. Bu nedenle kompostun faydalı kullanımı için kompostun ağır metal içeriğinin sınırlandırılması gerektiği belirtilmiştir. Kompostlaştırma işlemi esnasında biyoatık içerisinde bulunan ağır metallerin kompostun yapısında biriktiği belirlenmiştir. Bu nedenle kompostlaştırmadan önce biyoatığın ağır metal içeriğinin azaltılması yoluna gidilmesi önerilmiştir. Ağır metallerin katı organik atıklardan uzaklaştırılması için iki yaklaşım olabileceği belirtilmiştir. Bu yöntemler fiziksel ayırma ve kimyasal ekstraksiyon'dur. Bu amaçla çalışmada öncelikle biyoatığın partikül boyutu ve partikül yoğunluğuna göre ağır metallerin (Cd, Cu, Pb ve Zn) dağılımı belirlenmiş, daha sonra seçici kimyasal maddeler kullanılarak çeşitli fraksiyonlar için ağır metallerin kimyasal formları ekstraksiyon işlemi ile belirlenmiştir. Biyoatığın kütlece %40'ının 1 mm'den büyük boyuta sahip olduğu ve bu değer kompostlaştırma sonrası kompostta istenen partikül boyutu olduğu belirtilmiştir. Biyoatığın %28'inin kumdan oluştuğu görülmüştür ve bu kısmın ağır metal içeriğinin çok az olduğu söylenmiştir. 0.05-1 mm boyutundaki parçacıklarda ve 0.05 mm'den küçük organo-mineral kısımda ise ağır metallerin yoğun bir şekilde bulunduğu belirlenmiştir. Yapılan ardışık kimyasal ekstraksiyonlar sonrası, sitrik asidin katı organik atıktan ağır metallerin giderilmesi için en uygun seçenek olduğu görülmüştür.

Hseu (2004) tarafından yapılan çalışmada, kompostun üretimi ve kullanımının çevreyi ağır metallerle kirlettiği bildirilmiştir. Bu nedenle kompostların ağır metal içeriğinin mutlaka belirlenmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bu çalışmada kompostların ağır metal içeriğini belirlemek için kullanılacak en uygun parçalama yöntemi belirlenmeye çalışılmıştır. Farklı kaynaklardan alınan dokuz farklı kompost (domuz gübresi, kümes hayvanı atığı, yiyecek atığı, şehir kanalizasyon çamuru, soya fasulyesi atığı, ağaç

artıkları, vücut kemiği tozu, balık kılçığı atığı ve guano) numunesi içindeki Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb ve Zn miktarları 4 farklı parçalama yöntemiyle belirlenmiştir. Bu parçalama yöntemleri nitrik asit, kuru yakma, nitrik-perklorik asit ve sülfürik asit yöntemleridir. Analitik sonuçlar, nitrik asit ile muamele etmenin Cd, Mn ve Ni'in kompost numunelerinden geri kazanılmasında en etkili yöntem olduğunu, sülfürik asit ile muamele etme işleminin ise en düşük Pb gideriminin sağlandığı yöntem olduğunu göstermiştir. Nitrik asidin kullanımı, maliyet ve zaman açısından da tavsiye edilmektedir. Kuru yakma esnek (flexible) bir yöntem olarak tavsiye edilmektedir. Nitrik-perklorik asit kullanımı ise perklorik asitin parçalama esnasında tehlikeli olması ve göreceli olarak daha az ağır metalin geri kazanımını sağlaması nedeniyle tavsiye edilmemektedir.

Çalışmada, tarımsal ve endüstriyel atıklardan kompost üretiminin organik maddelerin geri kazanılması açısından önemli olduğu belirtilmiştir. Kompostun tarım alanlarında toprak özelliklerini geliştirmek ve bitki besin maddesi sağlamak amacıyla kullanıldığı ifade edilmiş, kompostlarda ağır metallerin varlığının hayvan ve insan sağlığı için olumsuz etkiler yaptığı dile getirilmiştir. Bu olumsuz etkilerin, ağır metallerin topraktan yeraltı suyuna ve bitkilere geçip besin zincirine katılmasıyla ortaya çıktığı belirtilmiştir (Hseu, 2004).

Karaca (2004) tarafından yapılan bir çalışmada, tütün tozu, mantar kompostu ve üzüm küspesi gibi yüksek organik madde içeriği olan atıkların kullanımının topraktaki ekstrakte edilebilir Cd, Cu, Ni ve Zn üzerine etkilerinin incelenmesi için 6 ay süren bir toprak inkübasyon deneyi yürütülmüştür. Kuru toprak kütlesi bazında toprağa %0, %2, %4 ve %8 oranlarında organik madde ilave edilmiştir. İnkübasyon periyodu süresince mantar kompostu ve üzüm küspesi eklenmiş topraklarda pH'nın önemli ölçüde düştüğü görülmüştür. Her üç organik atığın eklenmesinin, toprağın organik madde içeriğinin önemli miktarda artmasına neden olduğu belirlenmiştir. Tütün tozunun uygulandığı topraklarda DTPA-ekstrakte edilebilir (DTPA; dietilentriaminpentaasetat) Cd içeriğinin arttığı, buna karşın mantar kompostunun ve üzüm küspesinin eklendiği topraklarda ekstrakte edilebilir Cd içeriğinin azaldığı görülmüştür. Artan miktarda üzüm küspesi eklenmesi ile DTPA-ekstrakte edilebilir Cu miktarının belirli bir şekilde azaldığı ve artan miktarda tütün tozu eklenmesiyle ise arttığı görülmüştür, fakat mantar

kompostunun önemli bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Mantar kompostu eklenen topraklardaki DTPA-ekstrakte edilebilir Ni miktarının üzüm küspesi eklenen topraklardakinden daha fazla olduğu görülmüştür. DTPA-ekstrakte edilebilir Zn miktarının her üç organik atığın artan miktarlarda kullanılmasıyla arttığı gözlenmiştir.

Walker ve diğ. (2004) tarafından yapılan çalışmada, *Chenopodium album L.*'nin Güneybatı İspanya'daki ağır metal ile kirlenmiş alanlarda, sülfür açısından zengin atıklarla kirletilmiş topraklarda koloni halinde yaşayan birincil bitki türlerinden biri olduğu belirtilmiştir. Bir saksı deneyinde, *C. Album*, kirliliğinden alınmış ve zeytin yaprakları ve zeytin işleme atıksuyundan elde edilmiş kompost veya inek gübresinin eklenmesiyle ıslah edilmiş ve ıslah edilmemiş topraklara ekilmiştir. Böylece bu maddelerin ilavesinin toprak pH'ını ve ağır metallerin bitki tarafından alınabilirliğini etkileyip etkilemediği anlaşılmaya çalışılmıştır. İslah edilmemiş ve kompost ilavesi ile ıslah edilmiş topraklarda, sülfürün oksidasyonu ve hidrolizi ile sonuçlanması mümkün olan toprak asidifikasyonu çözünür sülfat konsantrasyonlarının ve topraktaki Cu, Zn ve Mn'nin bitkiler tarafından alınabilir (0.1 M CaCl<sub>2</sub> ile ekstrakte edilebilir) konsantrasyonlarının artmasına neden olmuştur. Bu şartlar altında *C. album* sürgünlerinin büyümesinin az olduğu görülmüştür. Zn (2420-5585 µg/g) ve Mn (5513-8994 µg/g)'in sürgünlerdeki konsantrasyonlarının fitotoksik olduğu belirtilmiştir. Gübre uygulaması sürgün büyümesini büyük ölçüde arttırmış, Cu, Zn ve Mn'nin sürgündeki konsantrasyonlarını ve topraktaki, bitki tarafından alınabilir konsantrasyonlarını ise azaltmıştır. Bu etkilerin toprak pH'ında ıslah edilmemiş toprağa göre artmaya (sülfür oksidasyon/hidroliz'inin inhibisyonu nedeniyle) bağlı olduğu belirtilmiştir. Metal sülfürleri ile kirlenmiş topraklarda, gübre kullanımının uygun olduğu söylenmiştir.

Kırbağ Zengin ve Munzuroğlu (2004) tarafından yapılan çalışmada kurşun ve bakırın fasulye fidelerinin kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine etkileri incelenmiştir. Ağır metaller arasında yer alan Mn, Cu, Zn, Mo ve Ni gibi elementlerin yüksek bitkiler için gerekli ve faydalı mikrobeyinler olduğu belirtilmiştir. Zn ve Cu gibi ağır metallerin normal konsantrasyonlarının bitkilerin büyüme ve gelişmesinde önemli rol oynayan protein ve enzimlerin yapısı için gerekli kofaktör olarak görev yaptıkları bildirilmiştir. Ağır metallerin bitki dokularında aşırı birikimleri durumunda hayati olaylarda değişime neden oldukları söylenmiştir. Bunlara örnek olarak, mineral beslenme, transpirasyon,

fotosentez, enzim aktivitesi, nükleik asit yapısı, klorofil biyosentezi ve çimlenme gibi bitkinin hayati olaylarındaki değişimler gösterilmiştir. Bunlara, membranlarda hasar, hormon dengesinin bozulması, su ilişkisinin değişmesi gibi fizyolojik olayların da eklenebileceği ifade edilmiştir. Ağır metallerin kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerinde önemli etkiler yaptığı çok sayıda çalışma ile tespit edilmiştir. Cu uygulanan fidelerin ağırlıklarının kontrolle karşılaştırıldığında %30 azaldığı rapor edilmiştir. 4000 µg/L Cu uygulanan *Lonicera tatarica* fidelerinin köklerinde ağır hasarlar meydana gelmiştir. Fidelerin ağırlıklarının kontrollerden yaklaşık %75 daha düşük olduğu görülmüştür. Daha düşük Cu seviyesinin *Lolium perenne* fidelerinde kök ve gövde uzamasını etkilediği görülmüştür. 20 µg/L Cu içeren besin solüsyonunda 14 gün bırakılan bu fidenin kök gelişiminin %50 azaldığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda Cu'ın bu düşük konsantrasyonu fidelerin gövde gelişimini de engellemiştir. Besin içeriğinde 104 µg/L Pb bulunan ortamda bırakılan *Picea abies* fidelerinin kök uzunluğunun kontrol grubuna göre %30 azaldığı tespit edilmiştir. Pb konsantrasyonunun 4 kat artırılması durumunda kök uzunluğu kontrol bitkilerinin yarısı kadar olmuştur. Çeşitli ağır metallere (Se, Cd, Pb, Cu ve Zn) maruz bırakılan *Sorghum bicolor* L. bitkilerinde çimlenmenin azaldığı, kök ve gövde gelişiminin engellendiği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak; Pb ve Cu'ın fasulye fidelerinin kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerinde önemli engelleyici etkilerinin olduğu görülmüştür. Bu ağır metallerin, çalışılan parametreler açısından toksik etkisinin Cu>Pb şeklinde olduğu tespit edilmiştir (Kırbağ Zengin ve Munzuroğlu, 2004).

Herwijen ve diğ. (2007) tarafından yapılan çalışmada, klinoptilolit veya bentonit ilave edilmiş olan iki kompost örneği kullanılarak (yeşil atık “green waste” ve evsel arıtma çamurundan elde edilmiş iki farklı kompost) toprakta metal kirliliğinin önlenebilirliği araştırılmıştır. Çalışmada, kil mineralleri, zeolit gibi maddeler eklenerek kompostun şartlandırılmasıyla ilgili literatürde pek çok çalışma bulunduğu belirtilmiştir. Ancak şartlandırılmış kompostun eklenmesi başlangıçta bitki büyümesini arttırmasına (topraktaki nutrient miktarlarını arttırarak ve metallerin hareketliliğini azaltarak) rağmen, komposttaki organik maddelerin bozulmaya başlamasıyla birlikte kompostun şartlandırılmasında kullanılan maddeler tarafından adsorbe edilmiş olan metallerin serbest hale geçtiği ve bitkiler tarafından alınabilecek hale geldiği belirtilmiştir.

Çalışmada, yüksek veya düşük seviyede metal kirliliği bulunan topraklara, farklı miktarlarda mineral eklenmiş kompostlar ilave edilerek *Lolium perenne L.* bitkisinin gelişimi ve bünyesinde metal birikimi incelenmiştir. Yeşil atıktan elde edilen kompost Cd ve Zn salınımını %48 azaltırken, evsel arıtma çamurundan elde edilen kompostun Zn konsantrasyonunu iki kat arttırdığı görülmüştür. Fakat, bitkiye geçen metal konsantrasyonlarına bakıldığında, evsel arıtma çamurundan elde edilen kompostun kullanılmasının bitkideki Cd, Cu, Pb ve Zn konsantrasyonlarını %80 azalttığı belirlenmiştir. Sonuçlara bakıldığında metallerin hareketsiz hale getirilmesinin ve bitkiler tarafından alınabilirliğinin, metaller ve organik kısım arasındaki komplekslerin yapısına bağlı olduğu ve minerallerle kompostun şartlandırılmasının çok sınırlı bir etkisinin olduğu belirtilmiştir.

Núñez ve diğ. (2007) tarafından yapılan çalışmada, PBET (physiologically extraction test) adı verilen bir ekstraksiyon yöntemi ile komposttaki ağır metallerin hayvanlara ve insanlara doğrudan oluşturacağı risk tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu test ile mide ortamının bir simülasyonu yapılmıştır. Bunun için pepsin, sitrik asit, asetik asit ve malik asidin pH 2 tamponu içerisinde çözeltisi hazırlanmış, bu çözelti ile katı:sıvı oranı 1:100 g/mL olmak üzere 37<sup>0</sup>C'de kompost numunesi 1 saat ekstraksiyon işlemine maruz tutulmuştur. Sonuçta PBET yöntemi ile ağır metallerin ekstrakte edilebilirliklerinin sırasıyla Zn> Cd> Pb> Cu = Ni >Cr olduğu görülmüştür.

Casado-Vela ve diğ. (2007) tarafından yapılan çalışmada; 3 farklı miktarda kompost (3, 6, 9 kg kompost/m<sup>2</sup> arıtma çamuru kompostu) uygulaması yapılarak kalkerli toprakta yeşil biber bitkisinin yetişmesine kompost ilavesinin etkisi incelenmiştir. Deneylerde, bitkiler açık havada ve serada olmak üzere iki farklı ortamda yetiştirilmişlerdir. 9 kg kompost/m<sup>2</sup> uygulamasının toprakta olumsuz etkilere (tuzlanma, elektrik iletkenliğinde artış ve ağır metallerde artış) neden olduğu belirlenmiştir. 6 kg kompost/m<sup>2</sup> uygulamasında ise bitki gelişiminin oldukça iyi olduğu görülmüştür. Serada büyüyen bitkilerin meyvelerinin, açık havada büyüyenlere oranla %60 daha fazla kütleye sahip oldukları belirlenmiştir.

Küçükgül ve Erdin (2008) tarafından yapılan çalışmada; Almanya, Avusturya ve İsviçre'de son yıllarda biyo-organik atıkların ayrı toplanması sonucunda çok sayıda

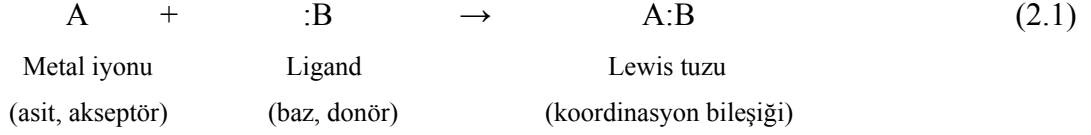
kompost tesisi kurulduğu, karışık olarak toplanan kentsel atıkların kompostlaştırılmasının ve tarımda kullanılmasının ise bu ülkelerde yasak olduğu belirtilmiştir. Çalışmada, Berlin’de arpa ekiminin yapıldığı 2 ha’lık arazide 3 yıl süreyle toplam 30 ton kuru madde/ha kompost uygulaması yapılarak arazi deneyleri yapılmıştır. Arazide gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda, kompost uygulaması ile 1. yılda 60 kg/ha üre, 350 kg/ha potasyum gübresinden tasarruf edildiği, bunun da %54 yapay gübre tasarrufu anlamına geldiği tespit edilmiştir.

## 2.7. EKSTRAKSİYON

Koordinasyon bileşikleri, bir metal iyonunun çevresinin buna kovalent bağlarla bağlı molekül veya iyonlar tarafından belirli bir geometrik düzene uygun biçimde sarılmasıyla oluşmuş bileşiklerdir. Merkezdeki metal iyonunu belirli bir geometrik düzen içinde saran iyon veya moleküllere ligand, metal iyonunun ligandlar ile oluşturduğu toplam kovalent bağ sayısına da metalin koordinasyon sayısı adı verilir. Koordinasyon bileşikleri merkezdeki metal iyonu ve onun çevresinde koordine olmuş ligandların taşıdıkları yüklere göre bir anyon; bir katyon veya bir nötral molekül olabilirler. Bu tür bileşiklere, koordinasyon bileşikleri, eğer bileşik elektrikçe yüklü bir iyon ise kompleks iyonlar, Werner kompleksleri, koordinasyon kompleksleri veya kısaca kompleksler adı verilir. Lewis, kompleks oluşumunu bir asit baz reaksiyonu olarak açıklamıştır. Bu kurama elektron çifti bağı kuramı denir. Buna göre, iki atom arasındaki kimyasal bağ bir elektron çiftinden oluşur. Kovalent bağ olarak adlandırılan bu elektron çifti bağı, her iki atomun birer elektronunun ortaklaşması sonucu ortaya çıkar. Lewis asit-baz kuramına göre, bir elektron çifti alabilen maddeler asit (elektron akseptör) ve bir elektron çifti verebilen maddeler baz (elektron donör) olarak tanımlanır. Böylece akseptör ve donör terimleri asit ve baz terimleri yerine kullanılır. Metal koordinasyon komplekslerinin oluşumu asit-baz reaksiyonları olarak düşünülerek kolayca anlaşılabilir (Baykut, 1993; Apak, 1997).



Ligandlar ortaklanmamış elektron çifti içerdiklerinden birer Lewis bazıdırlar. Buna göre kompleks oluşumu bir Lewis asit-baz reaksiyonu olarak,



biçiminde gösterilir.

Eğer ligand bir tane donör atoma sahipse, metal atomu ile oluşturduğu koordinasyon bileşiğine basit kompleks adı verilir. Eğer ligand iki veya daha fazla sayıda donör atoma sahipse, koordinasyon durumunda metal iyonu ile ligand atomları bir halka oluşturur. Bu tür koordinasyon bileşiklerine metal kelatı veya kısaca kelat adı verilir.

Kelatlar anyon, kation veya nötral durumda olabilirler. Kelat kompleksleri, benzerleri olan basit metal komplekslerinden daha sağlamdırlar. Bu durum kelatlaşmadan dolayı ortaya çıkar ve kelat halkasındaki atomların sayısına bağlıdır. Genellikle en sağlam kelat halkaları çifte bağ içermeyen beşli ve çifte bağ içeren altılı halkalardır. Yedili halkalara çok seyrek rastlanır ve bugün için daha büyük halkalar bilinmemektedir.

Bir kelat yapıcı ligandın belirli bir metal iyonu ile oluşturduğu beş veya altı üyeli halkaların sayısı arttıkça kelatın kararlılığı da artar. Kelat yapıcı ligandın dış sayısının artmasına bağlı olan bu kararlılık artışına kelat etkisi adı verilir. Kelat etkisi, geçiş metalleri için öteki metallere oranla daha büyüktür.

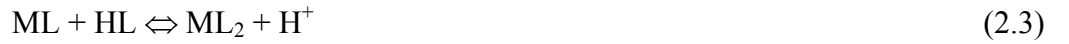
Metal komplekslerinin çeşitli organik çözücüler ile ekstrakte edilebilmeleri özellikle analitik kimya açısından önemlidir. Ekstraksiyon işlemi ekstraksiyonun duyarlılığını arttırmak ve kompleks oluşum reaksiyonunun seçiciliğini sağlamak amacıyla kullanılır.

Organik reaktiflerin büyük bir bölümü metal iyonları ile organik çözücülerde çözünen kompleksler oluştururlar. Bu kompleksler sulu çözeltiden su ile karışmayan organik çözücüler yardımıyla kolaylıkla ekstrakte edilebilirler. Bir organik ligandın bir metal

iyonu ile bütün koordinasyon yerlerini doldurarak veya su molekülerinin koordinasyonunu önleyen bir sterik engel yaratarak koordine olması sonucu oluşan metal kelatları çok sayıda organik çözücü tarafından bunların doğasına bağlı olmaksızın ekstrakte edilebilirler. Organik ligandların metalin bütün koordinasyon yerlerini doldurmadığı kompleksler, molekülleri metal iyonları ile koordine olabilen çözücüler ile ekstrakte edilebilirler.

Ekstraksiyon ayırma yöntemlerinin en iyilerinden biridir. Elementlerin ekstrakte edilebilirlikleri pH, sıcaklık, reaktif konsantrasyonu ve çözücünün türü gibi çeşitli etkenlere bağlıdır. Bu etkenlerin uygun bir biçimde denetlenmesiyle istenilen ayırmalar yapılabilir.

Genellikle kelat oluşumu pH değişmesiyle ilişkilidir. Bütün kelat verici maddeler asit veya baz özelliği gösterdiğinden ve kelat oluşumu asitten bir protonun ayrılması veya baz konsantrasyonunda bir azalma ile yürüdüğünden ortamın pH'ı kelat oluşumundan doğrudan etkilenir. Bir asit ligand için kelatlaşma aşağıdaki biçimde yürür (Dölen, 1991):



Kompleks oluşturucu maddeler çeşitli katı matrislerden kelatlama veya çözümlendirme yoluyla ağır metallerin çözelti içerisine geçmesini sağlarlar. Bununla ilgili yakın zamanda yapılmış bir çok çalışma vardır. Kompleksleştirici olarak çoğunlukla anyonlar kullanılır. Kompleksleştiricilerden bazıları karışık organik ve inorganik atıklardan kirliliklerin giderilmesi için uygun yüzey aktif özellikler sergilerler (Sengupta ve diğ., 1999).

Ekstraksiyon; bir karışımdan istenilen maddeyi seçimli olarak çözüdüğü bir çözücünden, onunla temas halindeki ikinci bir çözücü içerisine taşıyarak almaktır. Organik çözücüler, genelde metal iyonlarını sudan başka bir faza ekstrakte edilebilir hale dönüştürmekte önemlidirler. En basit katı-sıvı ekstraksiyonunda, katı sıvı ile

örtülür ve uygun bir süre çalkalandıktan sonra katı ve sıvı dekantasyon, santrifüjleme veya filtrasyon ile ayrılır (Güngör, 2000).

Kelatlayıcılar çoğunlukla organik moleküllerdir ve metal katyonlarıyla bağ oluşturarak kompleksleri meydana getirirler (Apak, 1997).

Ekstraksiyonda pH'ın önemli bir faktör olduğu birçok çalışmada belirtilmiştir (Apak, 1997; Abumaizar ve Smith, 1999; Peters 1999; Chaiyaraksa ve Sriwiriyanuphap, 2004). EDTA ile oluşan kelatların kararlılığı çözelti pH'ına bağlıdır; asitlik arttıkça ya da pH düştükçe metal-EDTA kompleksinin stabilitesi azalır. Genelde EDTA'nın üç veya dört değerlikli metal iyonlarıyla kompleksleri çok daha asitli çözeltilerde var olabilirken, iki değerlikli metal iyonlarıyla kompleksleri kalevi ve zayıf asidik çözeltilerde kararlıdır (Apak, 1997).

Çözelti pH'ı yüksekse metal iyonları hidroksit formuna geçerler ve Na<sub>2</sub>EDTA hidroksit formlarını kompleks içinde kararlı hale geçiremez. Metal iyonları metal hidroksit bileşikleri içinden tekrar suya geçse bile EDTA ile kompleks oluşturma reaksiyonu çok yavaş olur (Chaiyaraksa ve Sriwiriyanuphap, 2004). Örneğin, EDTA kullanıldığında pH 6'nın altında Cd gideriminin, pH 5'in altında Pb gideriminin arttığı belirtilmiştir (Peters, 1999; Chaiyaraksa ve Sriwiriyanuphap, 2004).

Ekstraksiyon işlemi kirli topraklardan çeşitli kirleticilerin giderilmesi için de kullanılmaktadır. Ekstraksiyon prosesi üç ana basamaktan oluşmaktadır: toprak ve ekstraksiyon çözeltilisinin karıştırılması, ekstraksiyon çözeltisi ve toprak partiküllerinin ayrılması ve ekstraksiyon çözeltilisinin arıtılması. Karıştırma işleminin amacı, topraktaki kirleticilerin ekstraksiyon çözeltisi içerisine geçmesini sağlamaktır. Prensipite, iki giderim mekanizmasının etkili olduğu düşünülebilir. İlki, kirleticilerin çözelti içinde çözünmesini sağlamaktır. Bu proses asitler, deterjanlar, kompleksleştiriciler veya sodyum hidroksit gibi kimyasalların eklenmesiyle sağlanabilir. İkinci mekanizma, kirletici partiküllerin ekstraksiyon çözeltisi içerisinde dağılımıdır. Ekstraksiyon işleminde, *leaching*'in baz alındığı durumlarda, genelde ağır metal giderimi amaçlanmaktadır. Ağır metallerin *leaching*'inde birçok *leaching* maddesi kullanılabilir.

Bunlar şu şekilde sıralanabilir (Salomons ve diğ., 1995; Kuo ve diğ., 2006; Gerven ve diğ., 2007);

- Hidroklorik asit ve sülfürik asit gibi inorganik asitler (pH<2).
- Asetik asit, laktik ve sitrik asitler gibi organik asitler (pH en az 4).
- Kompleks yapıcılar (EDTA, NTA).
- Organik asitler, kompleks yapıcılar ve inorganik asitlerin kombinasyonu.

Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, yapısındaki sodyumdan dolayı indirgen maddedir. Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>'in iki etkisi vardır:

- (+2 ) yüklü iyonlar (+1)'e indirgenir. +1 yüklü iyonlar kararlı halde değildir. Bu nedenle katı fazdan kolaylıkla ayrılırlar. Daha sonra (+1) yüklü iyonlar oksijen ile okside olarak (+2) yüklü iyonları oluştururlar. Bu iyon da EDTA ile kompleks oluşturur.
- Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, metal-katı madde (örneğin; toprak) bağını zayıflatır. Böylece metal kolayca katıdan ayrılır ve su fazında kalır. Böylece metal Na<sub>2</sub>EDTA ile daha kolay bir şekilde kompleks oluşturur. Ortamda organik madde içeriği fazla ise Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>'in metal-katı bağını zayıflatma olasılığı azalır (Peters, 1999; Chaiyaraksa ve Sriwiriyanuphap, 2004).

## **2.8. AĞIR METALLERİN EKSTRAKSİYONU İLE İLGİLİ LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALARA ÖRNEKLER**

Bipp ve diğ. (1998) tarafından yapılan çalışmada uçucu külden glukonik asit ve melas hidrolizati kullanılarak ağır metallerin alınabilirliği incelenmiş ve karbonhidratlar açısından zengin olan melasın asidik şartlar altında oksitlenmesi ile doğal kelatlayıcılar içeren hidrolizat elde edildiği belirtilmiştir. Çalışmalarda %0.5, %0.2 ve %5'lik konsantrasyonlarda glukonik asit ve yaklaşık %1.8 şeker asidi içeren melas hidrolizati kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda; şeker asidi içeriği %1.8 olan melas hidrolizati kullanılarak, başlangıç metal konsantrasyonları 230 mg/kg Cd, 250 mg/kg Cr, 950 mg/kg Cu, 50 mg/kg Ni, 4760 mg/kg Pb ve 1428 mg/kg Zn olan uçucu külden,

%32 oranında Cr, %66 oranında Cu, %7.98 oranında Pb ve %7.77 oranında Zn giderilebildiği görülmüştür.

Glukonik asit ile yapılan deneylerde, çözelti konsantrasyonu arttıkça (Ni hariç bütün metaller için) ağır metal giderim verimlerinin de arttığı görülmüştür. Ni için elde edilen giderim verimlerinin ise çok düşük olduğu (hatta %0 olduğu) belirtilmiştir. Bu durumun, pH 7-9 aralığında nikel-glukonat komplekslerinin çözünemez formlarının oluşmasından kaynaklanabileceği belirtilmiştir.

Arıtmadan sonra ikincil bir kirlenmeyi önlemek için, parçalanma sonucu toksik ürünler oluşturmayan kompleksleştiricilerin kullanılmasının hedeflendiği bu çalışmada, şeker asitleri ve hidroksikarboksilik asitler gibi doğal kelatlayıcıların bu ihtiyacı karşıladığı bildirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda, yakma artıklarından ağır metallerin gideriminde şeker asitlerinin ve şeker asidi içeren biyomas hidrolizatının etkili olduğu belirlenmiştir.

Kocialkowski ve diğ. (1999) tarafından yapılan çalışmada; 1 M NH<sub>4</sub>OAc (amonyum asetat)'a HEDTA (hidroksietilendiamin-triasetik asit), EDTA (etilen diamin tetraasetik asit), EGTA (etilen glikol-bis(2-aminoetilether)tetraasetik asit) ve NTA (nitrioloasetik asit) olmak üzere 4 farklı kelatlayıcının eklenmesinin, NH<sub>4</sub>OAc'nin tek başına kullanılmasına göre kirlenmiş topraktan Cu, Zn, Mn ve Pb'nin giderim etkinliğini arttırıp arttırmadığı incelenmiştir. EDTA ve HEDTA'nın eklenmesinin NH<sub>4</sub>OAc'nin etkinliğini önemli miktarda arttırdığı, EDTA'nın eklenmesi ile bütün metaller için giderim verimlerinin %13-%20 arttığı belirlenmiştir. Çalışmada, ağır metallerin giderilmesi amacıyla ekstraksiyon çözeltilerinin kullanılmasında çözelti konsantrasyonu, pH, katı:sıvı oranı, ekstraksiyon zamanı gibi değişkenlerin önemli etkilerinin olduğu ve farklı ekstraksiyon çözeltileri için bu şartların ayrı ayrı optimize edilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Hong ve diğ. (2000) tarafından yapılan çalışmada, ön işlemden geçirilmiş evsel atığın (MSW)'nin yakılması sonucu oluşan uçucu külden Cr, Cu, Pb ve Zn'nun giderilmesi için ekstraksiyon yöntemi kullanılmıştır. pH 2.5-10 aralığında HCl, nitriolo triasetik asit (NTA), EDTA veya DTPA kullanılan bir kesikli proses ile uçucu küller artırılmıştır.

Ağır metallerin HCl ile ekstraksiyonunun pH'a bağlı olduğu ve artan asit konsantrasyonu ile arttığı belirtilmiştir. Kelat maddelerinin etkinliğinin pH'tan bağımsız olduğu belirtilmiştir. %3'lük EDTA veya DTPA ile arıtma sonucu pH 3-9 aralığında %20-50 Cr, %60-95 Cu, %60-100 Pb ve %50-100 Zn ekstraksiyonu sağlanmıştır. NTA'nın da Cr, Cu ve Zn ekstraksiyonunda etkili olduğu ve %0.1 kadar dűřük bir konsantrasyondaki NTA'nın bile Pb ekstraksiyonunda etkili olduğu belirtilmiştir. %0.3-1'lük kelat konsantrasyonunda Cr, Cu, Pb ve Zn'nun maksimum ekstraksiyonu sağlanmıştır.

Fanguerio ve diđ. (2002) tarafından yapılan çalıřmada, EDTA'nın bir kompleksleřtirici olarak kullanılması ile sedimandan Cd, Cu, Pb ve Fe'in giderilebilirliđi incelenmiřtir. pH 6'da, 0.15 kg/L katı:sıvı oranında, 0.05 M EDTA kullanıldıđında en iyi giderim verimlerinin elde edilebildiđi gűrűlműřtir.

Kocaer ve Bařkaya (2003) tarafından yapılan çalışmada, toprak yıkamada ağır metallere kuvvetli kompleks oluşturma ve yeraltı suyu sistemlerindeki biyolojik parçalanabilirliğinin nispeten dűřük olması nedeniyle, ekstraksiyon ozeltisi olarak EDTA kullanımının daha çok tercih edildiği belirtilmiştir. Bu çalışmada, asidik yıkama sonucu toprak matriksinin bir kısmının ozűlerek ağırlık kaybına yol açabileceği dűřűncesiyle, toprak yıkama ozeltisi olarak EDTA kullanımının tercih edildiği belirtilmiştir.

Moutsatsou ve diđ. (2006) tarafından yapılan çalıřmada, madencilik çalıřmaları nedeniyle metallere kirlenmiř olan toprak numunelerinden Pb, As, Cu, Zn, Mn ve Fe'nin ekstraksiyon yűntemi ile giderilebilirliđi incelenmiřtir. Ekstraksiyonda 6, 3, 2 ve 1 M HCl, 6 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 6 M HNO<sub>3</sub> ve 0.1 M Na<sub>2</sub>EDTA ozelteleri kullanılmıřtır. En iyi giderim verimleri HCl ozeltisi kullanıldıđında elde edilmiřtir. 1 M HCl ile 4 saatlik temas sűresinde (Pb %44, Zn %82, Cu %61), 0.1 M Na<sub>2</sub>EDTA ile 1 saatlik temas sűresinde elde edilen sonuçlardan (Pb %42, Zn %38, Cu %41) daha iyi giderim verimleri elde edildiđi gűrűlműřtir.

Dahrazma ve Mulligan (2007) tarafından yapılan çalışmada, rhamnolipid kullanılarak Kanada'da bulunan Lachine Kanalı'ndan alınan sediman örneklerinden Cu, Zn ve Ni

giderimi incelenmiştir. Rhamnolipid çözeltisi, belirli bir debi ile kolon içine yerleştirilmiş olan sediman numunesinden geçirilmiştir. Başlangıçta 140 mg/kg Cu, 76 mg/kg Ni ve 4854 mg/kg Zn içeren sedimandan %37 oranında Cu, %13 oranında Zn ve %27 oranında Ni giderimi elde edilmiştir.

Van Gerven ve diğ. (2007) tarafından yapılan çalışmada katı atıkların yakılmasından elde edilen külden Cu'nun organik çözeltiler ile ekstraksiyonu araştırılmıştır. Asetik asit, amonyum sitrat, sitrik asit, oksalik asit, Na<sub>2</sub>EDTA ve tartarik asit çözeltileri olmak üzere altı farklı çözelti kullanılmıştır. Çalışmada, başlangıçta 375 mg/kg olan Cu konsantrasyonunun 0.5 mg/kg olan sınır değere düşürülmesi hedeflenmiştir. Yapılan kesikli çalışmalar sonucunda, kullanılan çözeltilerin ekstrakte etme verimlerinin amonyum sitrat> sitrik asit> asetik asit> oksalik asit = Na<sub>2</sub>EDTA> tartarik asit olduğu görülmüş ve 0.2 M'lık amonyum sitrat çözeltisi ile Cu konsantrasyonunun sınır değere çekilebildiği belirlenmiştir.

Yuan ve diğ. (2007) tarafından yapılan çalışmada, organik asitler ile kirli topraklardan Cu ve Cd giderimi incelenmiştir. Organik asit olarak, EDTA, sitrik asit, oksalik asit ve tartarik asit kullanılmıştır. Çalışmada, EDTA'nın Cu ve Cd'un desorpsiyonunda diğer organik asitlere göre mükemmel bir artış sağladığı, kullanılan EDTA dozunun artmasıyla topraktan Cu ve Cd desorpsiyonunun da arttığı görülmüştür. Sitrik asitin Cu'nun desorpsiyonunda büyük bir artış sağladığı, ama Cd için desorpsiyondaki artışın önemsiz bir miktarda olduğu belirlenmiştir. Oksalik asitin ise, Cu desorpsiyonunu sadece pH 6.4'te arttırdığı, Cd desorpsiyonunu ise pH 6.4- 10.7 aralığında arttırdığı görülmüştür. Tartarik asitin ise Cu desorpsiyonunu önemli bir şekilde arttırdığı, Cd desorpsiyonunda ise önemsiz bir artış sağladığı görülmüştür.

### **2.8.1. EDTA'nın Disodyum Tuzunun (Na<sub>2</sub>EDTA) ve Sodyum Meta Bisüfitin (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) Ekstraksiyon Çözeltisi Olarak Kullanılabilirliği ile İlgili Literatür Çalışmaları**

Abumaizar ve Khan (1996) tarafından yapılan çalışmada, topraktan Pb ve Zn'nun gideriminde Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> tek başına kullanılmış ve 0.2 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kullanılması ile Pb ve Zn gideriminde sırasıyla %48 ve %75 giderim verimleri elde edilmiştir.

Peters (1999) tarafından yapılan çalışmada topraktan Cu, Pb ve Zn ekstraksiyonu incelenmiştir. Kesikli çalışmaların tümünde EDTA, sitrik asit ve NTA'in topraktan Cu, Pb ve Zn gideriminde etkili olduğu görülmüştür. EDTA ve sitrik asidin toprak yıkamada kelatlayıcı madde olarak NTA'ya göre daha büyük bir potansiyele sahip olduğu görülmüştür.

Abumaizar ve Smith (1999) tarafından yapılan çalışmada Cd, Pb ve Zn ile kirlenmiş olan siltli kumlu topraktan ağır metallerin toprak yıkama ile giderilebilirliğinin fizibilitesi laboratuvar ölçeğinde kesikli ve sürekli sistemde incelenmiştir. Toprak numunelerine kelat ekstraksiyonu uygulanmıştır. Kullanılan çözeltiler: etilendiamin tetra asetik asit'in disodyum tuzu ( $\text{Na}_2\text{EDTA}$ ), ucuz bir indirgeme maddesi olan sodyum meta bisülfid ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ), ve bu iki maddenin karışımından oluşan bir çözeltidir. Kirli toprağın deiyonize su ile kesikli ve sürekli sistemde nötral pH'da yıkanması sonucunda Cd'un %70'inin, Zn'nun %25-30'unun, Cr'un %20-25'inin ve Pb'un sadece %10'unun sulu çözeltide zayıf bağlı ve mobilize olmaya hazır bir formda buldukları görülmüştür. Çalışmada 0.01 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  kullanılarak başlangıç metal konsantrasyonları 603 mg/kg Cd, 1231 mg/kg Cr, 742 mg/kg Pb ve 624 mg/kg Zn olarak belirlenen topraktan 1:5 ve 1:12.5 g/g katı:sıvı oranında oda sıcaklığında yapılan kesikli deneylerde, 1:5 g/g katı:sıvı oranında Cd için %81.9, Cr için %25.4, Pb için %47.6 ve Zn için %42.9 giderim verimleri, 1:12.5 g/g katı:sıvı oranında Cd için %83, Cr için %23.8, Pb için %54.4 ve Zn için %44.9 olmak üzere oldukça iyi giderim verimleri elde edildiği görülmüştür. Çalışmada, 0.1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  kullanılarak topraktan ağır metal gideriminin incelendiği deneylerde, 1:5 g/g katı:sıvı oranında Cd için %84.2, Cr için %10.3, Pb için %24.9 ve Zn için %54.5 giderim verimleri, 1:12.5 g/g katı:sıvı oranında Cd için %78.2, Cr için %25.4, Pb için %23.4 ve Zn için %57.3 olmak üzere oldukça iyi giderim verimleri elde edildiği görülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda,  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  çözeltisinin  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  çözeltisine göre topraktan ağır metallerin giderilmesinde daha etkili olduğu görülmüştür. Çalışmada, 0.1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  ve 0.01 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  bir arada kullanılarak 1:5 ve 1:12.5 g/g katı:sıvı oranlarında oda sıcaklığında yapılan kesikli deneylerde, 1:5 g/g katı:sıvı oranında Cd için %101.9, Cr için %15.9, Pb için %60.3 ve Zn için %70.1 giderim verimleri, 1:12.5 g/g katı:sıvı oranında Cd için



%92.3, Cr için %25.2, Pb için %56.1 ve Zn için %71 olmak üzere oldukça iyi giderim verimleri elde edildiği görülmüştür.

Na<sub>2</sub>EDTA'nun öncelikli olarak Pb'u, Zn'yu ve Cd'u ekstrakte ettiği, ancak Cr üzerinde çok az etkili olduğu belirlenmiştir. En iyi Cd ve özellikle Zn giderimi, 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> eklenmiş 0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA çözeltisi ile elde edilmiştir. Bu iki maddenin karışımının kullanılması ekonomik olarak optimum şartları sağlamasından dolayı tavsiye edilmektedir.

Sun ve diğ. (2001) tarafından yapılan çalışmada kesikli ve sürekli sistemde gerçekleştirilen deneylerde EDTA ile 4 farklı topraktan Zn, Cd, Cu ve Pb'nun ekstraksiyonu incelenmiştir. Kesikli deneylerde, ağır metaller 1:1 metal-EDTA kompleksleri şeklinde ekstrakte edilmişlerdir. Bütün topraklar için Zn, Cd, Cu ve Pb'nun ekstrakte edilme oranlarının benzer olduğu belirtilmiştir. Fakat, kolon deneylerinde 0.01 M EDTA'nın farklı ağır metalleri farklı şekilde ekstrakte ettiği görülmüştür. Ağır metaller arasında Pb'nun en hareketsiz, Cu'm ise en hareketli metal olduğu (kolay ekstrakte edilebildiği) görülmüştür. Zn ve Cd'un ise genellikle Cu'dan daha zor ekstrakte edilebildiği belirlenmiştir. Çalışmada, bu durumun sadece metal komplekslerinin oluşum sabitleriyle de açıklanamayacağı, çünkü Cu-EDTA ile Pb-EDTA'nın oluşum sabitleri ile, Zn-EDTA ve Cd-EDTA'nın oluşum sabitlerinin benzer olduğu belirtilmiştir (çalışmada, 0.01 iyonik şiddetinde, 1:1 metal-EDTA komplekslerinin oluşum sabitleri (log K) Cu, Ni, Zn, Pb ve Cd için sırasıyla.19.7, 19.5, 17.5, 19.0, 17.4 olarak verilmiştir).

Chaiyaraksa ve Sriwiriyanuphap (2004) tarafından yapılan çalışmada kirli toprak ve çamurdan kadmiyumun Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ve Na<sub>2</sub>EDTA karışımı ile ekstraksiyonu kesikli deneylerle incelenmiştir. Başlangıç Cd konsantrasyonu 500 mg/kg olarak belirlenmiştir. Topraktaki organik maddenin yıkama verimini etkileyen en önemli faktör olduğu, organik madde içeriği düşük olan toprakta Cd giderim yüzdesinin daha fazla olduğu görülmüştür. Daha fazla yıkama çözeltisi eklendiğinde, Cd giderim veriminin düştüğü görülmüştür. En yüksek giderim veriminin 1:2.5 g/mL toprak-yıkama çözeltisi oranı kullanıldığında elde edildiği (%67.83 ile %97.3 arasında) bildirilmiştir. Giderilen kadmiyumdaki baskın formun değiştirilebilir kısım olduğu belirlenmiştir. Toprak ile

yapılan çalışmaların aksine, çamur için 1:7.5 g/mL oranında çamur-yıkama çözeltisi kullanıldığında en yüksek Cd giderim verimi (%17.13) elde edilmiştir. Giderilen Cd'un çoğunun indirgenebilir özellikte olduğu belirlenmiştir.

Finzgar ve Lestan (2007) tarafından yapılan çalışmada Çek Cumhuriyeti'nde bulunan Mezica vadisinden alınan dört farklı kirlenmiş toprak örneğinden Na<sub>2</sub>EDTA çözeltisi (2.5 – 40 mmol/kg konsantrasyonlarında) kullanılarak Pb ve Zn giderimi incelenmiştir. Pb için başlangıç konsantrasyonları 1136-4424 mg/kg arasında değişirken, Zn konsantrasyonlarının 288-5489 mg/kg arasında değiştiği görülmüştür. 4 numunenin üçünde Pb gideriminin Zn gideriminden daha etkili olduğu görülmüştür. Çalışmada tek seferde yüksek EDTA konsantrasyonlarının kullanılması yerine, aynı konsantrasyondaki EDTA çözeltilerinin ardışık uygulanmasının Pb ve Zn gideriminde daha etkili olduğu görülmüştür. Zn için en yüksek giderim veriminin (%72), 40 mmol/kg EDTA'nın 8 basamakta uygulamasıyla elde edildiği, Pb için ise en yüksek giderim veriminin yine (%102), 40 mmol/kg EDTA'nın 8 basamakta uygulamasıyla elde edildiği görülmüştür.

## **2.9. MELASIN TANIMI VE BİLEŞİMİ**

Melas, pancarın işlenmesi sırasında ortaya çıkan, koyu kahverengi, koyu pekmez kıvamında, yapışkan, tatlı bir sıvıdır. İşlenen pancara göre yaklaşık %4-5 oranında elde edilmektedir. Ülkemizde şeker pancarından elde edilen ve hayvan beslemede kullanılan melas ile ilgili TS 6320 Melas Standardı mevcuttur.

Melas standardına göre, hayvan yemi olarak kullanılacak melas Tablo 2.7'de sunulan özelliklere sahip olmalıdır (GSÖİKR, 2001).

Tablo 2.7.Melasın kimyasal özellikleri

<b>Parametreler</b>	<b>Miktar</b>
Kuru madde %, en az	77.0
Sakkaroz %, en az	48.0
Özgül ağırlık, en az g/cm <sup>3</sup>	1.2
Ham Kül %, en çok	12.0
İnvert şeker %, en çok	0.60
Arsenik mg/kg, en çok	1.0
Bakır mg/kg, en çok	18.0
Çinko mg/kg, en çok	100.0
Demir mg/kg, en çok	100.0
Kalay mg/kg, en çok	100.0
Kurşun mg/kg, en çok	2.0

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada İstanbul Katı Atık Geri Kazanma ve Kompostlaştırma Tesisi'nde üretilen kompost kullanılmıştır.

#### 3.1. KOMPOSTUN pH'SININ BELİRLENMESİ

Kompost numunesine 2/5 oranında (örneğin; 4 gram numune / 10 mL destile su) destile su eklenir. 10 dakika magnetik karıştırıcıda karıştırıldıktan sonra, pH metre ile pH değeri okunur (Methodenbuch zur Analyse von Kompost, 1994). Bu çalışmada pH değerlerinin ölçümünde Jenway 3040 Ion Analyser kullanılmıştır.

#### 3.2. KOMPOSTUN NEM İÇERİĞİNİN BELİRLENMESİ

Kompostun nem içeriğinin belirlenmesi için 1 gram kompost numunesi etüvde 105<sup>0</sup>C'de 24 saat boyunca kurutulur. Kurutma işlemi öncesi ve sonrasında kompost numunelerinin tartımı alınır. Nem içeriği denklem 3.1 yardımıyla hesaplanır (Methodenbuch zur Analyse von Kompost, 1994):

$$\% \text{ Nem} = [(M_1 - M_2) / M_1] \times 100 \quad (3.1)$$

Burada;

M<sub>1</sub>: Kurutulmadan önce kompostun ağırlığı (gram)

M<sub>2</sub>: Kurutulduktan sonra kompostun ağırlığı (gram)

### 3.3. KOMPOSTUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞININ BELİRLENMESİ

Kompost numunelerinin birim hacim ağırlığının belirlenmesi için, 100 mL çizgisinden kesilmiş ve darası alınmış bir mezür kompost ile doldurularak tartılır. Dolu haldeki tartım sonuçlarından mezürün darası çıkartıldığında elde edilen sonuç ile, gram/100 mL olarak kompostun birim hacim ağırlığı hesaplanır (Methodenbuch zur Analyse von Kompost, 1994). Tartım işlemi her seferinde mezür içindeki kompost boşaltılıp yeniden doldurularak her bir numune için en az üç defa tekrarlanmıştır.

### 3.4. KOMPOST NUMUNELERİ İÇERİSİNDEKİ AĞIR METALLERİN VE BAZI ELEMENTLERİN MİKTARLARININ (Ca, Na, Mg, K, P) TAYİN YÖNTEMİ

Ağır metal analizi için elenmiş taze kompost numunesi 105 °C'de kurutulur ve 0.25 mm tane boyutuna gelecek şekilde öğütülür. Bu şekilde öğütülmüş olan kompost örneğinden yaklaşık 1-2 gr tartılarak erlene alınır. Numunenin üzerine 10 ml 1:1 (v/v) su nitrik asit karışımı ilave edilerek parçalama işlemi yapılır. Daha sonra numune soğutulur ve hidrojen peroksit ilave edildikten sonra, derişik hidroklorik asit ve su eklenerek tekrar ısıtılır. Numune soğuduktan sonra damıtık su ile seyreltilerek, uygun bir filtreden (0.45 µm membran filtre) süzölen çözeltilde Atomik Absorbsiyon Spektrometresi (AAS) veya Inductively Coupled Plasma- Mass Spektrometresi (ICP-MS) kullanılarak element analizleri yapılır. Numunedeki element miktarı (M<sub>3</sub>), mg/kg (kuru ağırlık olarak) denklem 3.2 kullanılarak hesaplanır (Methodenbuch zur Analyse von Kompost, 1994; AWWA, 1995):

$$M_3 = (C_1 \times V) / m \quad (3.2)$$

Bu denklemde:

C<sub>1</sub>: Element konsantrasyonu (mg/L),

V : Numunenin son hacmi (L)

m: Numunenin kütlesi (kg)'dır.

Kompost numuneleri içerisindeki Ca, Na, Mg, K, P miktarının belirlenmesi için yukarıda açıklanan yöntem kullanılarak ayrıştırılan numuneler ICP-MS'de analiz edilmiş ve denklem 3.2 kullanılarak kompost içindeki miktarları hesaplanmıştır. Bu çalışmada, AAS olarak UNICAM 929 AA Spectrometer, ICP-MS olarak ise Thermo-Elemental ICP-MS-X Series cihazları kullanılmıştır. ICP-MS kullanılarak gerçekleştirilen ölçümler, İstanbul Üniversitesi İleri Analizler Laboratuvarı (İAL)'nda yaptırılmıştır.

### 3.5. KOMPOST İÇERİSİNDEKİ AĞIR METAL BİLEŞİKLERİNİN TAYİN YÖNTEMİ

Kompost numuneleri içerisindeki ağır metal bileşiklerinin türlerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen analizler, İstanbul Üniversitesi İleri Analizler Laboratuvarında bulunan Rigaku D/Max-2200/PC XRD marka XRD (X-Ray powder Diffractometer) cihazında yaptırılmıştır. Numuneler analiz öncesinde 50<sup>0</sup>C'de 24 saat kurutulmuş ve çok ince toz haline gelene kadar kuvars havanda dövülmüştür.

### 3.6. DENEYLERDE KULLANILAN MELASIN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Melas hidrolizatını hazırlamak için kullanılan melas, İstanbul Silivri'de bulunan Eriş Yem Sanayi ve Tic. A.Ş'den temin edilmiştir. Melasın kimyasal analiz sonuçları Tablo 3.1'de verilmiştir. Bu analiz sonuçları, melasın temin edildiği firmadan sağlanmıştır.

Tablo 3.1. Melasın kimyasal özellikleri

Parametre	Değer
Ağırlık (kg)	1
Kuru madde (%)	80
Ham protein (%)	8
Kül (%)	10
Kalsiyum (%)	0.2
Toplam fosfor (%)	0.03
Yararlanılabilir fosfor (%)	0.01
Sodyum (%)	0.5

### 3.7. MELAS HİDROLİZATININ HAZIRLANMASI

Melas hidrolizatının hazırlanması için, 5 gr melas 20 ml HNO<sub>3</sub> (%30) içinde çözülür. Daha sonra çözelti 85 °C'de 4 saat boyunca ısıtılır. Soğuduktan sonra karışım filtre edilir (Bipp ve diğ., 1998). Melas hidrolizatının hazırlanma aşamalarını gösteren fotoğraflar Şekil 3.1'de verilmiştir.



(a) Melas



(b) %30'luk HNO<sub>3</sub> ile karıştırılmış melas



(c) Melas Hidrolizati

Şekil 3.1. Melas hidrolizatının hazırlanma aşamaları

### **3.8. MELAS HİDROLİZATI İÇERİSİNDEKİ ORGANİK ASİT TÜRLERİNİN TAYİNİ**

Melas hidrolizatı içerisindeki organik asit türlerinin tayini, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Gıda Enstitüsü'nde yaptırılmıştır. Organik asitlerin tayininde, SHIMADZU marka Class-Vp 5.0 (2000) model HPLC (High (performance) Pressure Liquid Chromatography (Yüksek Basınç Sıvı Kromatografi)) cihazı kullanılmış ve AOAC1995 yöntemi yardımıyla melas içerisindeki organik asitler belirlenmiştir. Cihaz ve kolon özellikleri şöyledir; dedektör: Shimadzu UV dedektör (214 nm), kolon: ACE C18, 250mmx 4.6mm iç çapa sahip, kolon sıcaklığı: 35<sup>0</sup> C, akış hızı : 0.8 mL/dak, enjeksiyon : 10 µL, mobil faz : 0.2 M KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (pH: 2.4 (Orto Fosforik asit ile)), analiz süresi: 30 dk.

### **3.9. METALLERİN ZAYIF BAĞLI KISIMLARININ TESPİTİ**

Metallerin zayıf bağlı kısımlarının tespit edilmesi için, 100 gram kompost numunesi üzerine 1 L destile su eklenir 24 saat boyunca 160 dev/dak.'da yatay orbitli çalkalayıcıda çalkalanır (Bipp ve diğ., 1998). Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, çalkalama işleminden sonra sıvı faz 0.45 µm membran filtre kullanılarak süzölmüş ve süzöntüdeki ağır metal miktarları AAS'de okunmuştur.

### **3.10. KOMPOSTTAN AĞIR METAL EKSTRAKSİYONU-KESİKLİ ÇALIŞMALAR**

Komposttan ağır metal ekstraksiyonu amacıyla gerçekleştirilen kesikli deneylerde belirli miktarlardaki kuru kompost bir erlen içerisinde konulmuş ve belirli hacimlerde ekstraksiyon çözeltisi (Na<sub>2</sub>EDTA, Na<sub>2</sub>EDTA+Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> veya melas hidrolizatı) eklenmiştir. Numune oda sıcaklığında belirtilen sürelerde yatay orbitli çalkalayıcıda 160 dev/dak.'da çalkalanmıştır. Çalkalama sonrası üst faz 0.45 µm membran filtre



kullanılarak süzölmüştür. Kompost ile temasından önce ekstraksiyon çözeltilisinin, kompost ile temas ettikten sonra da filtratın pH'ları ölçölmüştür. Filtrasyon işleminden sonra, ağır metal tayini için filtrata 1:1 (v/v) HNO<sub>3</sub> eklenmiş ve pH ≤2.0'ye ayarlanmıştır. Filtrat içindeki metal konsantrasyonlarının, komposttan giderilen metal konsantrasyonlarına eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

### 3.10.1. Na<sub>2</sub>EDTA ile Yapılan Deneysel Çalışmalar

Na<sub>2</sub>EDTA ile yapılan çalışmalarda, temas süresinin ağır metal giderim verimine etkisinin tespiti için yapılan deneylerde 0.05 M Na<sub>2</sub>EDTA çözeltilisi kullanılmıştır. 250'şer mL'lik erlenlere 5'er gram kompost numunesi ve 30'ar mL ekstraksiyon çözeltilisi eklenmiş, erlenler 15 dakika ile 24 saat (1440 dakika) arasında değişen temas sürelerinde 160 dev/dak.'da yatay orbitli çalkalayıcıda çalkalanmıştır.

Na<sub>2</sub>EDTA çözeltilisi konsantrasyonunun ağır metal giderim verimine etkisinin belirlenmesi için yapılan çalışmalarda temas süresi 3 saat alınmıştır. 250'şer mL erlenlere 5'er gram kompost numunesi ve 30'ar mL Na<sub>2</sub>EDTA çözeltilisi (0.001-0.2 M arasında değişen konsantrasyonlarda) ilave edilerek erlenler 3 saat boyunca 160 dev/dak.'da çalkalanmıştır.

Katı:sıvı oranının ağır metal giderim verimine etkisinin belirlenmesi için, kompost üzerine çeşitli miktarlarda 0.05 M Na<sub>2</sub>EDTA çözeltilisi eklenerek (1:2.5-1:25 g/mL arasında değişen katı:sıvı oranlarında) erlenler 160 dev/dak.'da 3 saat boyunca çalkalanmıştır.

### 3.10.2. Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ile Yapılan Deneysel Çalışmalar

Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Na<sub>2</sub>EDTA'ya yardımcı madde olarak kullanılacağı için, Na<sub>2</sub>EDTA ile yapılan deneylerde belirlenen temas süresi kullanılarak farklı konsantrasyonlardaki (0.001-0.1 M arasında değişen konsantrasyonlar) Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> çözeltilerinin ağır metal giderim verimine etkisi incelenmiştir. Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> konsantrasyonunun değişiminin giderim verimine etkisini belirlemek için yapılan çalışmalarda, 250'şer mL'lik erlenlere 5'er gram kompost ve 30'ar mL farklı konsantrasyonlardaki Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> çözeltilisi ilave edilmiş, erlenler 3 saat süreyle 160 dev/dak.'da çalkalanmıştır.

$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  çözeltisi kullanıldığında farklı katı:sıvı oranlarının ağır metal giderim verimine etkisinin belirlenmesi için yapılan çalışmalarda, bu kez kompost üzerine çeşitli miktarlarda (1:2.5–1:25 g/mL arasında değişen katı:sıvı oranlarında) 0.1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  çözeltisi eklenerek erlenler 160 dev/dak.'da 3 saat boyunca çalkalanmıştır.

### **3.10.3. $\text{Na}_2\text{EDTA}$ ve $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ İçeren Çözelti ile Yapılan Deneysel Çalışmalar**

$\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 'in birlikte kullanıldıkları kesikli deneylerde ilk önce 0.01 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve 0.1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  içeren çözelti karışımları kullanılarak 1:2.5-1:6 g/mL arasında değişen çeşitli katı:sıvı oranlarında kesikli deneyler yapılmış ve katı:sıvı oranının ağır metal giderim verimine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla; 250'şer mL'lik erlenlere kompost numuneleri ve çeşitli miktarlarda ekstraksiyon çözeltisi eklenerek erlenler 160 dev/dak.'da 3 saat boyunca çalkalanmıştır.

Kullanılan  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  içeren çözelti karışımının ekstraksiyon verimine etkisinin belirlenmesi ve en iyi giderim verimi sağlayan çözelti konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, 250'şer mL'lik erlenlere 5'er gram kompost ve 30'ar mL 0.001 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve 0.1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  içeren çözelti, 0.01 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve 0.05 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  içeren çözelti, 0.01 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve 0.1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  içeren çözelti olmak üzere çeşitli ekstraksiyon çözeltileri eklenmiştir. Daha sonra erlenler 160 dev/dak.'da 3 saat boyunca çalkalanmıştır.

### **3.10.4. Melas Hidrolizatının Kullanıldığı Deneysel Çalışmalar**

Melas hidrolizatının kullanıldığı çalışmalarda çözeltinin pH değerinin ağır metal giderim verimine etkisinin belirlenmesi için yapılan deneylerde, 10 kat seyreltilmiş melas hidrolizatının pH'ı NaOH kullanılarak (katı halde) 1 ile 5 arasında farklı pH değerlerine ayarlanmıştır. Daha sonra 250'şer mL'lik erlenlere 30'ar mL melas hidrolizatı ve 5'er gram kompost ilave edilerek erlenler yatay orbitli çalkalayıcıda 160 dev/dak.'da 15 dakika çalkalanmıştır.

Temas süresinin ağır metal giderim verimine etkisinin belirlenmesi için gerçekleştirilen deneylerde 250'şer mL'lik erlenlere 5'er gram kompost numunesi ve 30'ar mL 10 kat

seyreltilmiş melas hidrolizati (pH'ı 2'ye ayarlanmış) eklenmiştir. Erlenler 160 dev/dak. hızda 5 dakika- 24 saat arasındaki temas sürelerinde yatay orbitli çalkalayıcıda çalkalanmıştır.

Melas hidrolizati ile yapılan deneylerde, melas hidrolizatının farklı oranlarda seyreltilmesinin ağır metal giderim verimine etkisinin belirlenmesi için yapılan kesikli deneylerde 250'şer mL'lik erlenlere 5'er gram kompost ve 5-100 kat arasında değişen seyreltme oranlarında hazırlanan melas hidrolizatlarından 30'ar mL olmak üzere eklenmiştir. Erlenler 1 saat boyunca yatay orbitli çalkalayıcıda 160 dev/dak.'da çalkalanmıştır. Ekstraksiyondan önce NaOH ilave edilerek çözeltilerin pH'ları 2'ye ayarlanmıştır.

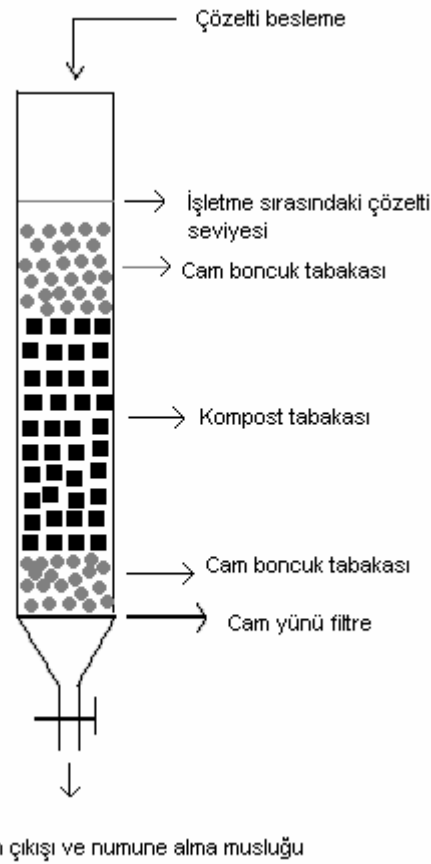
Melas hidrolizatının seyreltilmeden ve pH ayarı yapılmadan (kendi pH'sında,  $pH \leq 1$ ) kullanıldığı kesikli deneylerde, temas süresinin ağır metal giderim verimine etkisinin belirlenmesi için 250'şer mL'lik erlenlere 5'er gram kompost ve 30 mL melas hidrolizati eklenmiştir. Daha sonra erlenler 160 dev/dak. hızda 5 dakika- 24 saat arasındaki temas sürelerinde yatay orbitli çalkalayıcıda çalkalanmıştır.

Katı:sıvı oranının ağır metal giderim verimine etkisinin belirlenmesi için gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, 250 mL'lik erlenlere kompost numuneleri ve 1:2.5-1:75 g/mL arasındaki katı:sıvı oranlarını sağlayacak miktarlarda melas hidrolizati eklenmiş ve erlenler 160 dev/dak.'da çalkalanmıştır. Temas süresi olarak 30 dakika ve 1 saatlik temas süreleri kullanılmıştır. Bu deneysel çalışmalarda melas hidrolizati seyreltilmeden kullanılmıştır.

### **3.11. KOMPOSTTAN AĞIR METAL EKSTRAKSİYONU- SÜREKLİ SİSTEM ÇALIŞMALARI**

Deneysel çalışmalarda iç çapı 4.5 cm, yüksekliği 45 cm olan bir cam kolon kullanılmıştır. Kolonun alt kısmında 0.45  $\mu$ m cam yünüden filtre bulunmaktadır. Sıvının kolon içerisinde uniform dağılımını sağlamak amacıyla kompostun üst kısmına 4 cm yüksekliğinde bir tabaka halinde çapı 5 mm olan cam boncuklar yerleştirilmiş,

cam yünü filtrenin kompost ile temas edip tıkanmasını önlemek amacıyla da kompost tabakasının alt kısmına 3 cm yüksekliğinde bir tabaka halinde yine çapı 5 mm olan cam boncuklar yerleştirilmiştir. Ekstraksiyon çözeltilerinin ( $\text{Na}_2\text{EDTA}+\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  veya melas hidrolizati) üniform dağılımı için kolonun üst kısmında bir miktar sıvı yüksekliğinin olmasına dikkat edilmiştir. Kolonun şematik gösterimi Şekil 3.2’de, kolona ait fotoğraflar Şekil 3.3’de verilmiştir. Alt kısmı musluklu olan kolona çözeltiler üstten Watson Marlow 505 DI marka peristaltik pompa ile beslenmiştir.



Şekil 3.2. Deneylerde kullanılan kolonun şematik gösterimi



(a) Boş



(b) Kompost ile doldurulmuş

Şekil 3.3. Deneylerde kullanılan kolona ait fotoğraflar

### 3.11.1. Kapasite Eğrilerinin Çizilmesi için Yapılan Sürekli Çalışmalar

Kesikli deneyler sonucunda elde edilen verilerden yararlanılarak, kolon içerisine 200 mL (67.06 gram) kompost doldurulmuş ve 400 mL 0.01 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve 0.1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  içeren çözelti (katı:sıvı oranı 1:6 g/mL) sırasıyla 3 saatlik temas süresinde, 1.1 mL/dak. debi; 5 saatlik temas süresinde 0.66 mL/dak. debi ve 6 saatlik temas süresinde 0.55 mL/dak. debi ile kolondan geçirilmiştir. Her deneysel çalışma sonrasında kolon içindeki kompost boşaltılarak, deneyler öncesinde kolon kullanılmamış kompost numunesi ile doldurulmuştur.

Kolonda 3 saatlik temas süresinde (0.55 mL/dak. debi ile) 1:10 (33.53 gr kompost, 330 mL 0.01 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve 0.1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  içeren çözelti), 1:12.5 (33.53 gr kompost, 420

mL 0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA ve 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti) ve 1:15 (28 gram kompost, 400 mL 0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA ve 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti) g/mL olmak üzere farklı katı:sıvı oranları kullanılarak da deneyler gerçekleştirilmiştir.

Kesikli deneyler sonucunda elde edilen verilerden yararlanılarak, kolon içerisine 100 mL (33.530 gr) kompost doldurulmuş 1:12.5 g/mL katı:sıvı oranı olacak şekilde 420 mL melas hidrolizati çözeltisi sırasıyla 1 saatlik temas süresinde (1.66 mL/dak. debi) ve 3 saat'lik temas süresinde (0.55 mL/dak. debi) kolondan geçirilmiştir. Ayrıca 3 saatlik temas süresi (0.55 mL/dak. debi) ve 1:10 katı:sıvı oranı için de (33.53 gr kompost, 330 mL melas hidrolizati kullanılarak) kolon çalışmaları yapılmıştır.

Kesikli deneyler sonucunda elde edilen optimum deney şartları kullanılarak kolonda yapılan ön denemelerde, kesikli deneylerde elde edilen sonuçların elde edilemediği görülmüştür. Bu nedenle, kolonda yapılan ön denemelerle hedeflenen ağır metal giderim verimlerini sağlayacak sürekli sistem şartları tespit edilmiş ve bu deneysel şartlarda elde edilen verilerden yararlanılarak kapasite eğrileri çizilmiştir.

Kapasite eğrilerinin çizilmesi için, kolon çıkışından periyodik aralıklarla numune alınarak ağır metal ölçümleri yapılmış ve kolondan geçirilen ekstraksiyon çözeltisi hacmine karşı ağır metal giderim verimleri (%) grafiğe yerleştirilerek kapasite eğrileri çizilmiştir (Türkman ve diğ., 1986).

0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA ve 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti ile yapılan sürekli sistem çalışmalarında, kapasite eğrilerinin çizilmesi için 1:15 g/mL katı:sıvı oranında 0.55 mL/dak. debi ile; 28 gram kompost, 400 mL ekstraksiyon çözeltisi kullanılarak, 3 saatlik temas süresinde çalışılmıştır. Çalışma esnasında 40'ar mL numune hacimleri toplanmıştır.

Melas hidrolizati ile yapılan sürekli sistem çalışmalarında, kapasite eğrilerinin çizilmesi için 1:12.5 g/mL katı:sıvı oranında 0.55 mL/dak. debi ile, 33.58 gram kompost, 400 mL melas hidrolizati, 3 saatlik temas süresinde çalışılmıştır. Çalışma esnasında 40'ar mL numune hacimleri toplanmıştır.

Sürekli sistemde, kompost ile temastan önce ve kolon çıkışında ekstraksiyon çözeltisinin pH'sı ölçülmüştür. Kolon çıkışından alınan numuneler 0.45 µm membran filtre kullanılarak filtre edilmiştir. Filtrasyonun ardından, ağır metal tayini için filtratlara 1:1 HNO<sub>3</sub> eklenerek pH ≤2.0'ye ayarlanmıştır.

### **3.12. ÇEŞİTLİ ÇÖZELTİLER İLE İŞLEM GÖREN KOMPOSTUN pH'SININ UYGUN pH'YA GETİRİLMESİ**

Ekstraksiyon çözeltileri ile yıkama sonrası kompost numunelerinin pH'larının orijinal kompost numunelerinin pH'larına getirilmesi amacıyla, ekstrakte edilmiş olan kompost numuneleri çeşitli konsantrasyonlardaki Ca(OH)<sub>2</sub> çözeltisi ile yıkanmıştır. 0.05 M Na<sub>2</sub>EDTA çözeltisi ile işlem görmüş olan kompost numuneleri 1:3 g/mL katı:sıvı oranında 0.01 M Ca(OH)<sub>2</sub> çözeltisi ile, 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> çözeltisi ile işlem görmüş olan kompost numuneleri 1:3 g/mL katı:sıvı oranında 0.01 M Ca(OH)<sub>2</sub> çözeltisi ile, 0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA ve 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> çözeltisi ile işlem görmüş olan kompost numuneleri 1:2.5 g/mL katı:sıvı oranında 0.01 M Ca(OH)<sub>2</sub> çözeltisi ile ve melas hidrolizatı ile işlem görmüş kompost numuneleri ise 1:6 g/mL katı:sıvı oranında 2 M Ca(OH)<sub>2</sub> çözeltisi ile yıkanmıştır.

### **3.13. ELEMENTEL ANALİZ (C, H, N, S)**

Kompost numunelerinin (ekstraksiyon öncesi numuneler ve çeşitli çözeltiler ile ekstrakte edilmiş numuneler) C, H, N, S içerikleri (%) İstanbul Üniversitesi İleri Analizler Laboratuvarı (İAL)'nda analiz edilmiştir. Kompost numunelerinin elementel analizi Thermo Finnigan Flash marka EA 1112 Series model Elementel Analiz Cihazı kullanılarak yapılmıştır. Bu cihaz, yaklaşık 2 mg ağırlığında katı veya sıvı organik bileşiği 950-1000 °C'lik yüksek sıcaklıkta yakarak örnekteki element yüzdelerini tayin etmektedir. Cihazda taşıyıcı gaz olarak helyum gazı (He), yakıcı gaz olarak ise oksijen gazı kullanılmaktadır. Elementel analize gönderilmeden önce numuneler 50 °C'de 24 saat kurutulmuş ve kuvars havanda öğütülerek ince toz haline getirilmiştir.

### **3.14. TOPLAM ORGANİK KARBON (TOK) MİKTARLARININ TAYİNİ**

Kompost numunelerindeki (ekstrakte edilmemiş ve ekstrakte edilmiş) Toplam Organik Karbon (TOK) miktarlarının tayini, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Kimya ve Çevre Enstitüsü'nde yaptırılmıştır. Analiz için Shimadzu marka, TOC-V CSH model cihaz, katı numune hazırlama modülü olarak da SSM -5000 (Solid Sample :Modul for Total Organic Carbon Analyzer; USER'S MANUEL SSM-5000 A) kullanılmıştır.

### **3.15. KOMPOST NUMUNELERİNİN İLETKENLİK, ORTO FOSFAT VE TKN (TOPLAM KJELDAHL AZOTU) MİKTARLARININ TAYİNİ**

Kompost (ekstrakte edilmemiş ve ekstrakte edilmiş) numunelerinin iletkenlik, orto fosfat ( $PO_4$ -P) ve TKN (toplam kjeldahl azotu) içerikleri Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Analiz Laboratuvarlarında tayin edilmiştir. İletkenlik tayini, SCT (Salinity, Conductivity and Temperature) metre ile SM 2510B:2005 yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Orto fosfat tayini, spektrofotometrik olarak, SM 4500-P E:2005 (Askorbik asit metodu ile orto fosfat tayini) yöntemi kullanılarak yapılmıştır. TKN tayini, Kjeldahl, SM 4500-N<sub>org</sub> B:2005 (Makro-Kjeldahl metodu ile organik asit tayini) yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

### **3.16. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) ANALİZLERİ**

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile kompost numunelerinin (ekstrakte edilmemiş ve ekstrakte edilmiş) fotoğrafları çekilmiştir. Bu analiz İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde bulunan JSM 5600 marka SEM cihazı ile yapılmıştır.



### 3.17. FTIR SPEKTROMETRESİ İLE YAPI ANALİZİ

Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) ile kompost numunelerinin (ekstrakte edilmemiş ve ekstrakte edilmiş) yapı incelemesi yapılmıştır. Bu analiz için İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Digilab Excalibur FTX 3000 marka, speküler reflektans değişken açılı ekipmanı ve KBr tablet ünitelerini içeren cihaz kullanılmıştır. Numuneleri analize hazırlamak için, numuneler akik havanda dövülerek çok ince toz haline getirilmiş, daha sonra spektroskopik saflıktaki KBr ile 1/200 (numune/KBr) oranında karıştırılarak her bir numune için 50-100 mg karışım elde edilmiş ve tablet haline getirilerek FTIR'de analiz edilmiştir.

### 3.18. BİTKİYE UYGUNLUK DENEYLERİ

Kompost numunelerinde yapılan fiziksel ve kimyasal analizler onun sadece kalite değerleri hakkında bir ön bilgiye sahip olunmasına imkan vermekle birlikte kompostun bitki yetiştirme özelliği hakkında yeterli bilgi vermez. Bu nedenle, üretilen kompostlarda bu konunun aydınlanması için, bitkiye uygunluk testleri de yapılmalıdır. Bitkiye uygunluk deneyleri kompost üretimi sırasında, üretilen kompostun kalitesini belirlemek için kullanılan parametrelerden biridir ve rutin olarak yapılmaktadır.

Bitkiye uygunluk deneylerinde kompost numunesi sıfır birim (0BT) toprakla; %25 ve %50 oranlarında (hacimsel olarak) karıştırılır ve bu karışımlardan 500 mL'lik saksılara 400'er mL konulur. Tere tohumu (*Lepidium sativum*) sıfır birim toprakla beraber, iki ayrı oranda hazırlanan kompost örneklerine ekilir ve saksılar seraya yerleştirilir. 7-10 gün sonunda büyümüş olan tere bitkisi hasat edilerek tartılır. İki ayrı kompost karışım oranına göre bitkiye uygunluk yüzdeleri denklem 3.4 kullanılarak belirlenir (Methodenbuch zur Analyse von Kompost, 1994).

$$TK(\%25;\%50)=[TK_{(\%25;\%50)}/TK_{0BT}]x100 \quad (3.4)$$

Bu denklemde;

$TK_{(25;50)}$ : Bitkiye uygunluk yüzdesi (%)

$TK_{25}$ : %25'lik kompost karışımında yetişen taze tere otunun ağırlığı (gr)

$TK_{50}$ : %50'lik kompost karışımında yetişen taze tere otunun ağırlığı (gr)

$TK_{0BT}$ : Sıfır birim toprakta yetişen taze tere otunun ağırlığı (gr)

olarak tanımlanmıştır.

Bitkiye uygunluk deneylerine ait fotoğraflar Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



(a) sera



(b) tere tohumları



(c) tere tohumu ekildikten sonra seraya yerleştirilen saksılar

Şekil 3.4. Bitkiye uygunluk deneyine ait fotoğraflar

## **4. BULGULAR**

### **4.1. DENEYLERDE KULLANILAN KOMPOST NUMUNELERİNİN KARAKTERİZASYONU**

İstanbul Katı Atık Geri Kazanma ve Kompostlaştırma Tesisi'nden farklı zamanlarda alınan iki kompost numunesinde (Kompost 1: 14.11.2003 tarihinde tesisten alınan kompost numunesi, Kompost 2: 21.12.2004 tarihinde tesisten alınan kompost numunesi) pH, nem, C, H, N, S, iletkenlik, TKN (toplam kjeldahl azotu), ortofosfat, toplam fosfor, Ca, Na, Mg, K, TOK (toplam organik karbon), Cu, Ni, Zn, Pb, Cd analizleri yapılmıştır. Kompost numunelerinin karakterizasyonunda elde edilen sonuçlar Tablo 4.1'de verilmiştir.

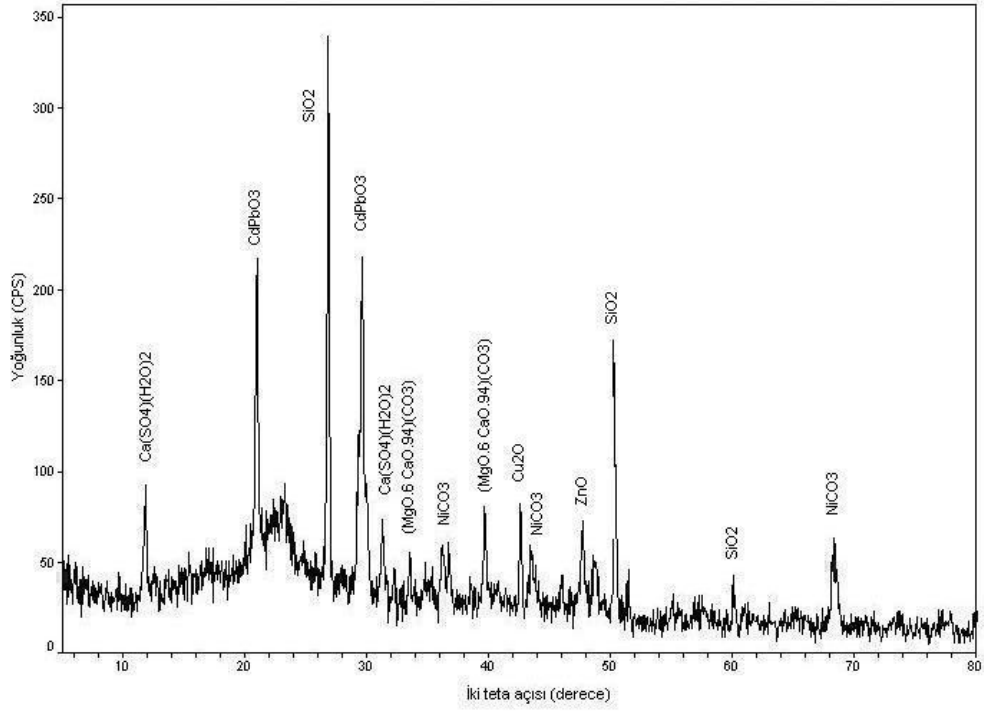
Tablo 4.1. Çalışmada kullanılan kompost numunelerinin karakterizasyonu

Parametre	Kompost 1 numunesindeki değer	Kompost 2 numunesindeki değer
pH	7.5	8
Nem (%)	17	15
Birim hacim ağırlık (g/100 mL)	32.753	33.530
C (%)	15.79	19.75
H (%)	1.51	2.485
N (%)	1.66	1.84
S (%)	Tespit edilmedi	Tespit edilmedi
C/N	9.5	10.73
İletkenlik (ms/cm)	4.62	4.61
TKN (%)	1.23	1.34
Toplam P (mg/kg kuru kompost)	0.006	0.007
Ortofosfat (PO <sub>4</sub> -P) (mg/L)	18.5	22.6
Ca (mg/kg kuru kompost)	0.046	0.088
Na (mg/kg kuru kompost)	0.008	0.004
Mg (mg/kg kuru kompost)	0.004	0.007
K (mg/kg kuru kompost)	0.008	0.015
TOK (mg/kg kuru kompost)	17776	197012
Cu (mg/kg kuru kompost)	348.6	440
Ni (mg/kg kuru kompost)	521.2	83.22
Zn (mg/kg kuru kompost)	907.5	903
Pb (mg/kg kuru kompost)	130.9	151.8
Cd (mg/kg kuru kompost)	3.05	0.695

Tablo 4.1'deki değerler, komposttaki ağır metaller için maksimum kabul edilebilir değerler (Tablo 2.2) ile karşılaştırıldığında (karşılaştırmada en düşük limit değerlere sahip olduğu için Almanya standartları kullanılmıştır) deneylerde kullanılan kompost numunelerinden; Kompost 1 numunesinden Cu'nun %57, Ni'nin %90, Zn'nun %56, Cd'un %35 oranında, Kompost 2 numunesinden Cu'nun %66, Ni'nin %40, Zn'nun %56 oranında giderilmesi gerektiği görülmüştür. Pb miktarlarının her iki numunede de sınır değerinin altında kaldığı (<200 mg/kg), Cd miktarının ise Kompost 2 numunesinde sınır değerinin altında kaldığı (< 2 mg/kg) görülmüştür.

#### 4.1.1. Kompost İçerisindeki Ağır Metal Bileşikleri

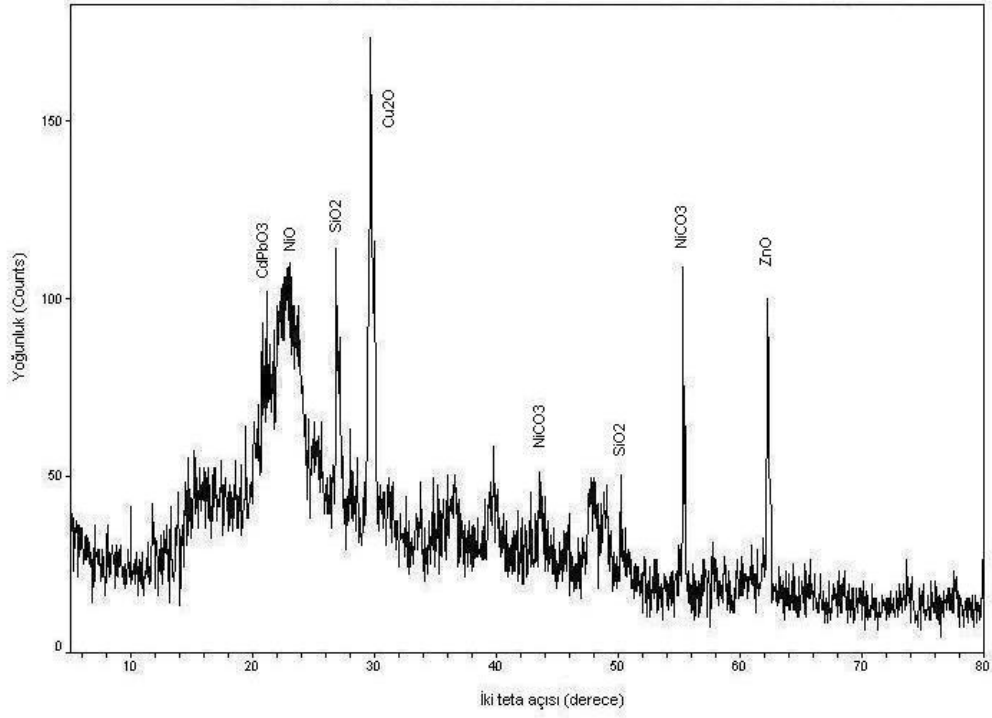
Kompost numuneleri içerisindeki ağır metal bileşiklerinin türlerinin belirlenmesi için XRD cihazında yapılan analizlere ait spektrumlar Şekil 4.1 ve 4.2'de verilmiştir. Kompost numuneleri içerisinde tespit edilen ağır metal bileşikleri Tablo 4.2 ve 4.3'de sunulmuştur.



Şekil 4.1. Kompost 1 numunesine ait XRD spektrumu

Tablo 4.2. Kompost 1 numunesi içerisindeki ağır metal bileşenleri

Bileşik adı	Formülü
Kadmiyum Kurşun Oksit	$CdPbO_3$
Cuprit	$Cu_2O$
Gypsum	$Ca(SO_4)(H_2O)_2$
Magnezyum Kalsit	$(MgO.6CaO.94)(CO_3)$
Quartz	$SiO_2$
Çinko Oksit	$ZnO$
Gaspeite	$NiCO_3$



Şekil 4.2. Kompost 2 numunesine ait XRD spektrumu

Tablo 4.3. Kompost 2 numunesi içerisindeki ağır metal bileşenleri

Bileşik adı	Formülü
Kadmiyum Kurşun Oksit	CdPbO <sub>3</sub>
Cuprit	Cu <sub>2</sub> O
Quartz	SiO <sub>2</sub>
Çinko Oksit	ZnO
Gaspeite	NiCO <sub>3</sub>
Nikel Oksit	NiO

Zorpas ve diğ. (2000) tarafından yapılan kompost ile ilgili bir çalışmada, kompostun yapısındaki değiştirilebilir kısmın, suyun iyonik kompozisyonundaki değişikliklerden etkilendiği; karbonat kısmın, pH değişikliklerinden etkilendiği; indirgenebilir kısmın, demir ve mangan oksitler (termodinamik olarak anoksik şartlarda stabil olmayan)'den oluştuğu; organik kısmın, oksidasyon şartlarında çözünür metaller açığa çıkardığı; kalıntı kısımdaki metallerin ise bunların kristal yapılarında tutulmuş olduğu belirtilmiştir.

Peters (1999) tarafından yapılan çalışmada, ekstraksiyon yöntemleriyle katı ortamlardan ağır metal gideriminin sağlanması için, ortamda bulunan metal bileşiklerinin değiştirilebilir, karbonat veya indirgenebilir oksitler formlarında olmaları gerektiği belirtilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan kompost numunelerinin XRD analizi sonuçları incelendiğinde, ağır metallerin indirgenebilir oksitler ve karbonatlar formlarında oldukları ve mevcut formları nedeniyle ekstraksiyon yöntemine uygun numuneler oldukları görülmüştür.

#### 4.2. ZAYIF BAĞLI AĞIR METAL MİKTARLARI

Sadece destile su ile kompost numunelerindeki ağır metallerin ne kadarının ekstrakte edildiğini belirlemek için, destile su kullanılarak ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deneysel veriler Tablo 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.4. Destile su ile ekstraksiyon sonrası elde edilen sonuçlar

		Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	Ekstraksiyon öncesi pH	Ekstraksiyon sonrası pH
<b>Kompost 1</b>	<b>Giderilen miktar (mg/kg-kuru kompost)</b>	7.021 ±0.02	1.10 ±0.01	13.26 ±2.13	2.7 ±0.023	0.99 ±0.08	5	7.64
	<b>Verim (%)</b>	2 ±0.01	0.21 ±0.04	1.46 ±0.02	2.06 ±0.12	32.45 ±2.21		
<b>Kompost 2</b>	<b>Giderilen miktar (mg/kg-kuru kompost)</b>	13.2 ±0.01	0.332 ±0.03	10.15 ±1.1	3.26 ±0.01	0.195 ±0.01	5	7.45
	<b>Verim (%)</b>	3 ±0.01	0.40 ±0.02	1.12 ±0.01	2.15 ±0.12	28.13 ±2.11		

±SD (standart sapma)

Destile su ile yapılan bu deney, kompost bünyesinde bulunan ve kısa zamanda çözünerek ortama geçebilecek zayıf bağlı metal bileşiklerinin miktarı hakkında bilgi vermektedir (Bipp ve diğ., 1998; Moutsatsou ve diğ., 2006; Abumaizar ve Smith, 1999; Sun ve diğ., 2001). Komposttan su ile ekstrakte edilebilen kısım; en kolay ekstrakte

edilebilen, ve biyolojik olarak alınabilen en aktif ve en yüksek toksisite potansiyeline sahip kısımdır (Núñez ve diğ., 2007). Tablo 4.5 incelendiğinde Cd hariç, diğer metallerin kompost içerisindeki zayıf bağlı miktarlarının %3'ü geçmediği görülmüştür. Cd'un ise %30'luk kısmının zayıf bağlı olduğu görülmüştür.

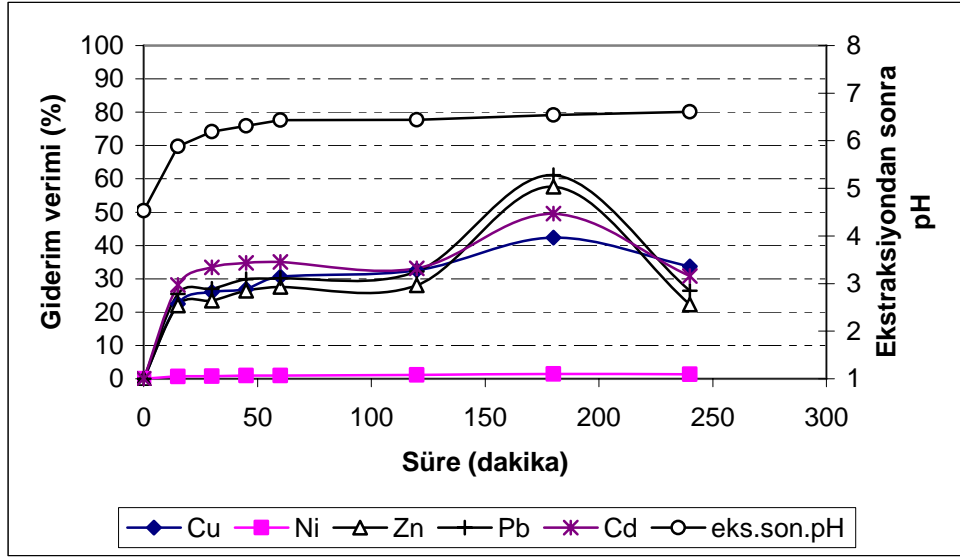
### **4.3. Na<sub>2</sub>EDTA İLE YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

Literatür araştırmaları sonucunda Na<sub>2</sub>EDTA (EDTA'nın di sodyum tuzu)'nun özellikle topraktaki Cd, Pb, Cr, Cu ve Zn gibi ağır metallerin ekstraksiyonu için sıklıkla kullanılan kompleks yapıcı bir madde olduğu görülmüştür (Peters, 1999; Abumaizar ve Smith, 1999; Hong ve diğ., 2000; Sun ve diğ., 2001; Fanguerio ve diğ., 2002; Chaiyaraksa ve Sriwiriyanuphap, 2004; Moutsatsou ve diğ., 2006). Bu nedenle, komposttan ağır metallerin gideriminde Na<sub>2</sub>EDTA çözeltisinin ekstrakte edici madde olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Na<sub>2</sub>EDTA çözeltisi ile önce kesikli deneyler gerçekleştirilmiş ve bu deneyler ile çözelti konsantrasyonu, temas süresi, katı:sıvı oranı gibi deneysel koşulların komposttan ağır metal ekstraksiyonuna etkisi incelenmiştir. Çalışmanın bu kısmında Kompost 1 olarak tanımlanan kompost numunesi kullanılmıştır.

#### **4.3.1. Temas Süresinin Ağır Metal Ekstraksiyonuna Etkisinin Belirlenmesi**

Komposttan ağır metal giderimine temas süresinin etkisine ait deneysel veriler Tablo 4.5'de ve Şekil 4.3'de gösterilmiştir.





Şekil 4.3. Na<sub>2</sub>EDTA çözeltisi ile ekstraksiyonda zamana bağlı olarak elde edilen ağır metal giderim verimleri (%) (kullanılan kompost miktarı, m =3 g; çözelti hacmi, V=30 mL; çözelti derişimi, C= 0.05 M)

Şekil 4.3 incelendiğinde, deneylerde ekstraksiyondan önce 4.5 olarak ölçülen çözelti pH'sının, ekstraksiyon işleminden sonra arttığı, temas süresi arttıkça pH değerinin daha da yükseldiği ve 24 saat sonunda pH 7'ye yaklaştığı görülmüştür. En yüksek giderim verimlerinin 180 dakikalık temas süresinde elde edildiği (Cu, Ni, Zn, Pb, Cd için sırasıyla %42, %1.5, %58, %61, %50), daha uzun temas sürelerinde ise komposttan metal giderim veriminin giderek azaldığı görülmüştür. Bu nedenle uygun temas süresi 3 saat olarak seçilmiştir. 24 saatlik (1440 dakika) temas süresi için elde edilen giderim verimleri sadece Tablo 4.5'de verilmiş, Şekil 4.3'de gösterilmemiştir.

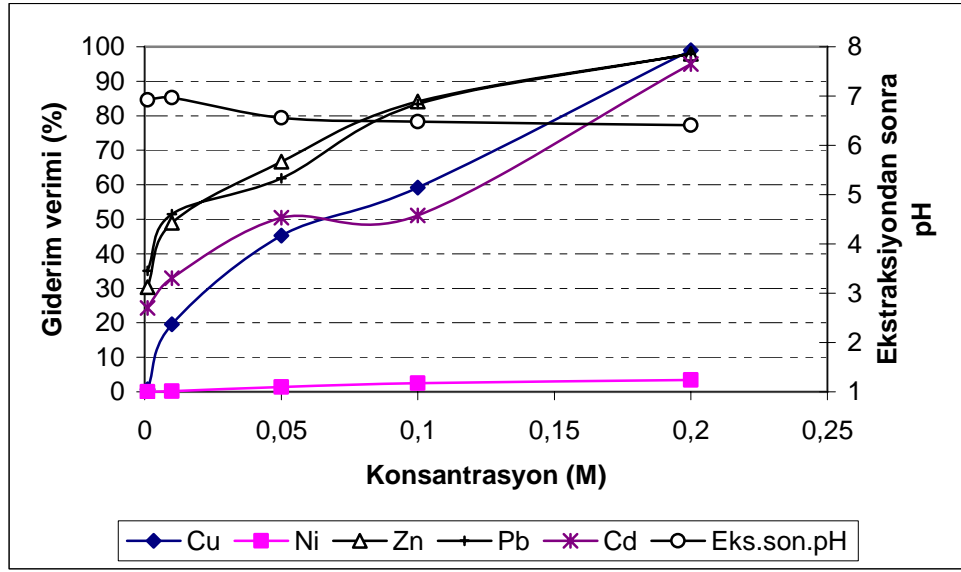
Tablo 4.5. Na<sub>2</sub>EDTA'nın kullanıldığı deneylerde çeşitli temas sürelerinde elde edilen sonuçlar (m =3 g; V=30 mL; C = 0.05 M)

Süre	Komposttan ağır metal giderimi (mg/kg-kuru kompost)					Komposttan ağır metal giderimi (%)					Eks.önce pH	Eks.son.pH
	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd		
15 dak	78.4 ±2.14	3.7 ±0.23	198.8 ±2.61	33.37 ±1.53	0.858 ±0.005	22.48 ±2.72	0.7 ±0.005	22 ±1.04	25.5 ±0.23	28.13 ±0.043	4.53	5.88
30 dak	90.7 ±2.01	4.2 ±0.14	211.9 ±2.52	35.29 ±1.28	1.009 ±0.31	26 ±2.54	0.8 ±0.007	23.46 ±1.04	26.96 ±0.83	33.39 ±0.082	4.53	6.19
45 dak	93.9 ±2.71	5.06 ±0.22	238.6 ±2.49	39.07 ±1.10	1.06 ±0.003	26.9 ±2.73	0.97 ±0.008	26.42 ±1.23	29.85 ±0.63	34.75 ±0.057	4.53	6.31
1 saat (60 dak)	107 ±1.15	5.16 ±0.13	249.3 ±2.27	39.50 ±1.43	1.07 ±0.005	30.6 ±2.43	0.99 ±0.009	27.6 ±1.44	30.18 ±0.13	35.08 ±0.042	4.53	6.43
2 saat (120 dak)	113.6 ±1.43	6.41 ±0.23	296.2 ±2.11	42.07 ±1.03	1.01 ±0.007	32.58 ±2.32	1.2 ±0.005	28.02 ±1.03	32.14 ±0.24	33.11 ±0.091	4.53	6.44
3 saat (180 dak)	148 ±2.14	7.58 ±0.21	520.2 ±10.11	79.91 ±1.87	1.51 ±0.004	42.4 ±2.01	1.45 ±0.006	57.6 ±1.04	61.05 ±0.34	49.54 ±0.043	4.53	6.54
4 saat (240 dak)	117.7 ±1.53	6.86 ±0.26	200.9 ±2.54	34.59 ±1.42	0.94 ±0.008	33.76 ±2.48	1.31 ±0.004	22.24 ±1.13	26.43 ±0.25	30.8 ±0.043	4.53	6.61
24 saat (1440 dak)	149.6 ±2.33	10.06 ±0.31	549.6 ±10.54	42.25 ±1.19	1.12 ±0.010	42.9 ±2.63	1.93 ±0.007	60.86 ±1.62	32.28 ±0.13	36.55 ±0.054	4.53	6.83

±SD (standart sapma)

### 4.3.2. Na<sub>2</sub>EDTA Çözeltisi Konsantrasyonunun Ağır Metal Ekstraksiyonuna Etkisinin Belirlenmesi

Komposttan ağır metal ekstraksiyonuna farklı derişimlerdeki Na<sub>2</sub>EDTA konsantrasyonlarının etkisinin araştırılması için gerçekleştirilen deneysel çalışma sonuçları Tablo 4.6’da ve Şekil 4.4’de sunulmuştur.



Şekil 4.4. Na<sub>2</sub>EDTA çözeltisi ile ekstraksiyonda konsantrasyona bağlı olarak elde edilen ağır metal giderim verimleri (%) (m=5 g; V= 30 mL; temas süresi, t=3 saat)

Deneysel çalışmalarda, ekstraksiyon işleminden sonra pH değerlerinde kullanılan Na<sub>2</sub>EDTA çözelti konsantrasyonundaki artışa paralel olarak azalma gözlemlendiği belirlenmiştir (Tablo 4.6, Şekil 4.4). Örneğin; 0.001 M Na<sub>2</sub>EDTA çözeltisi ile ekstraksiyon sonrası pH yaklaşık 7 iken, 0.2 M Na<sub>2</sub>EDTA çözeltisi ile ekstraksiyondan sonra yaklaşık 6.5’a düşmüştür. Şekil 4.4 incelendiğinde, Na<sub>2</sub>EDTA çözeltisinin konsantrasyonu arttıkça komposttan ağır metal giderim verimlerinin de arttığı görülmüş, en yüksek giderim veriminin ise 0.2 M Na<sub>2</sub>EDTA konsantrasyonunda (Cu, Ni, Zn, Pb ve Cd için sırasıyla %99, %3.45, %98, %98, %95 ) elde edildiği belirlenmiştir.

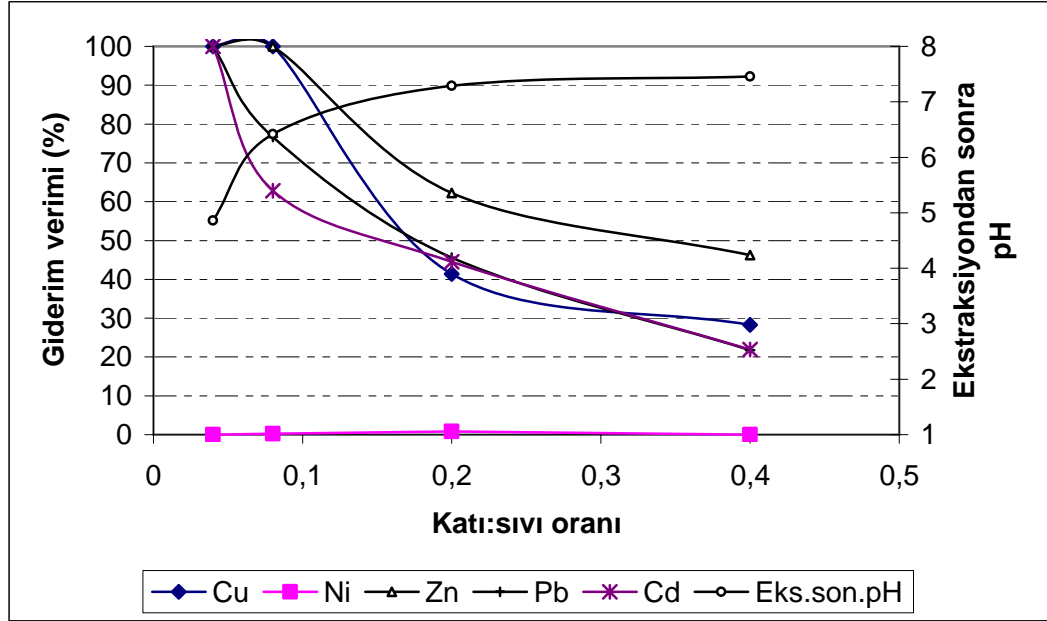
Tablo 4.6. Çeşitli konsantrasyonlardaki Na<sub>2</sub>EDTA çözeltileri ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar (m=5 g; V = 30 mL; t=3 saat)

Konsantrasyon (M)	Komposttan ağır metal giderimi (mg/kg-kuru kompost)					Komposttan ağır metal giderimi (%)					Eks.ön.pH	Eks.son.pH
	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd		
0.001	20.8 ±1.51	<0.12	274 ±2.11	45.53 ±1.02	0.74 ±0.005	5.9 ±1.31	<0.023	30.34 ±0.03	35.02 ±0.134	24.26 ±0.013	4.64	6.92
0.01	68.6 ±2.14	1.2 ±0.005	442.2 ±9.11	67.34 ±1.13	1.01 ±0.004	19.6 ±1.01	0.2 ±0.003	48.97 ±1.03	51.45 ±0.252	32.9 ±0.054	4.6	6.97
0.05	158.2 ±2.11	7.25 ±0.011	602.7 ±10.22	80.96 ±1.84	1.54 ±0.009	45.3 ±1.04	1.39 ±0.005	66.74 ±1.11	61.85 ±0.435	50.49 ±0.061	4.45	6.56
0.1	206.4 ±2.14	12.9 ±0.014	597 ±10.14	109.22 ±1.03	1.56 ±0.008	59.2 ±1.12	2.47 ±0.006	84.13 ±1.03	83.44 ±0.095	51.14 ±0.051	4.41	6.48
0.2	345.1 ±2.19	18.01 ±0.011	888.86 ±10.75	128.19 ±1.08	2.89 ±0.006	99 ±0.98	3.45 ±0.005	98 ±1.54	98 ±1.38	95 ±1.51	4.40	6.41

±SD (standart sapma)

### 4.3.3. Katı:Sıvı Oranının Ağır Metal Ekstraksiyonuna Etkisinin Belirlenmesi

Katı:sıvı oranının ağır metal ekstraksiyonuna etkisinin belirlenmesi için gerçekleştirilen deneysel çalışmaların sonuçları Tablo 4.7’de ve Şekil 4.5’de sunulmuştur.



Şekil 4.5. Na<sub>2</sub>EDTA çözeltisi ile ekstraksiyonda katı:sıvı oranına bağlı olarak elde edilen ağır metal giderim verimleri (%) (  $t = 3$  saat;  $C = 0.05$  M)

Ekstraksiyondan önce Na<sub>2</sub>EDTA çözeltisinin pH'ı yaklaşık 4.5 olarak tespit edilmiştir (Tablo 4.7). Ekstraksiyondan sonraki pH değerlerine bakıldığında ise (Tablo 4.7, Şekil 4.5) katı:sıvı oranı küçüldükçe (kullanılan çözelti miktarı arttıkça) pH değerlerinin de azaldığı, örneğin; 1:2.5 g/mL katı:sıvı oranı için pH yaklaşık 7.5 iken, 1:25 g/mL katı:sıvı oranında pH'nın yaklaşık 5'e düştüğü belirlenmiştir. Katı:sıvı oranına bağlı olarak ekstraksiyon ile komposttan ağır metal giderimine ait veriler incelendiğinde, katı:sıvı oranı azaldıkça (Na<sub>2</sub>EDTA çözeltisinin miktarı arttıkça) daha yüksek giderim verimleri elde edildiği, en yüksek giderim verimlerine ise 1:25 g/mL katı:sıvı oranında ulaşıldığı (Cu, Zn, Pb ve Cd için sırasıyla %99, %99, %98, %98) belirlenmiştir. Nikel için elde edilen giderim verimlerinin ise, bütün katı:sıvı oranlarında oldukça düşük olduğu (en yüksek %0.8) görülmüştür (Şekil 4.5, Tablo 4.7).

Tablo 4.7. Na<sub>2</sub>EDTA'nın kullanıldığı deneylerde çeşitli katı:sıvı oranları ile elde edilen sonuçlar ( t= 3 saat; C= 0.05 M)

Katı:sıvı oranı (g/mL)	Komposttan ağır metal giderimi (mg/kg-kuru kompost)					Komposttan ağır metal giderimi (%)					Eks.ön.pH	Eks.son.pH
	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd		
1:2.5 (0.4)	98.5 ±2.43	<0.12	417.5 ±9.11	28.51 ±1.43	0.669 ±0.009	28.25 ±1.01	<0.023	46.23 ±1.03	21.78 ±0.634	21.93 ±0.023	4.45	7.46
1:5 (0.2)	144.14 ±2.03	4.58 ±0.041	562.38 ±10.04	59.70 ±1.02	1.358 ±0.006	41.35 ±1.03	0.8 ±0.006	62.28 ±1.19	45.61 ±0.521	44.52 ±0.042	4.45	7.29
1:12.5 (0.08)	341.4 ±2.21	1.2 ±0.005	902.4 ±0.394	100.30 ±1.30	1.915 ±0.009	98 ±0.57	0.23 ±0.002	99 ±0.98	62.78 ±0.134	62.78 ±0.067	4.45	6.42
1:25 (0.04)	343.5 ±2.48	<0.12	902 ±0.981	128.87 ±1.62	3.002 ±0.009	99 ±0.259	<0.023	99 ±0.96	98.44 ±1.16	98.42 ±0.035	4.45	4.86

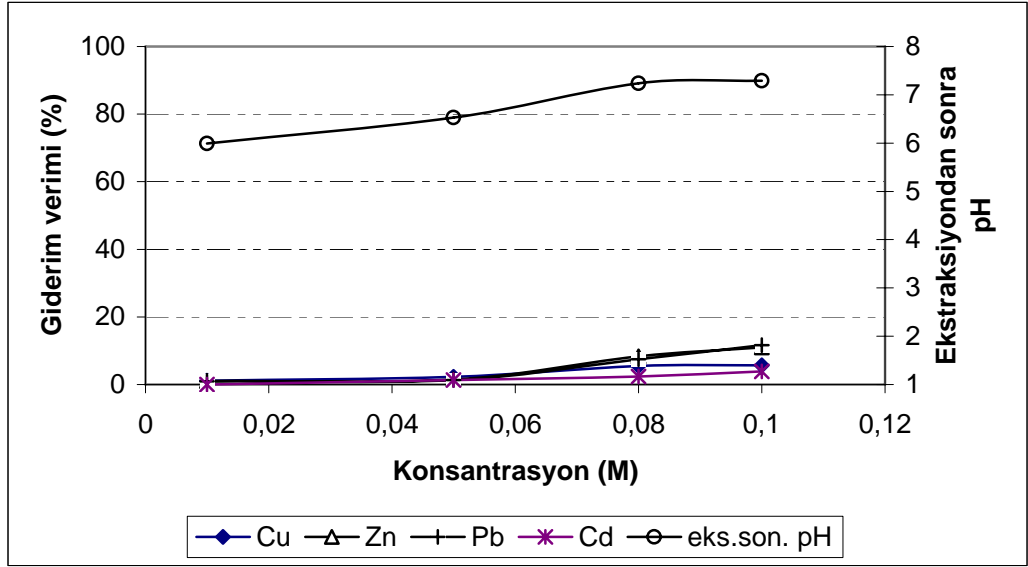
±SD (standart sapma)

#### **4.4. Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (SODYUM METABİSÜLFİT) İLE YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

Çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda, Na<sub>2</sub>EDTA'nın iyi bir kompleks yapıcı madde olmasına rağmen, ticari olarak pahalı olduğu ifade edilmekte, ticari olarak daha ucuz, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> gibi indirgeme özelliği olan ekstraksiyona yardımcı bir madde kullanıldığında da oldukça iyi giderim verimleri elde edildiği belirtilmektedir (Peters, 1999; Abumaizar ve Smith, 1999; Chaiyaraksa ve Sriwiriyanuphap, 2004). Bundan dolayı, deneysel çalışmalarda Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>'in ekstraksiyona yardımcı madde olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Bu amaçla da önce Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> tek başına kullanılarak hazırlanan çözeltiler ile kesikli deneyler yapılmış ve çözelti konsantrasyonu, katı:sıvı oranı gibi değişkenlerin ağır metal ekstraksiyonuna etkisi incelenmiştir. Çalışmanın bu kısmında Kompost 1 olarak tanımlanan kompost numunesi kullanılmıştır.

##### **4.4.1. Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Konsantrasyonunun Değişiminin Ağır Metal Ekstraksiyonuna Etkisinin Belirlenmesi**

Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Na<sub>2</sub>EDTA'ya yardımcı madde olarak kullanılacağı için, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> çözeltisinin farklı konsantrasyonlarının ağır metal giderim verimine etkisi Na<sub>2</sub>EDTA ile yapılan deneylerde belirlenen temas süresi (3 saat) kullanılarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalara ait sonuçlar Tablo 4.8 ve Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> çözeltileri ile ekstraksiyonda konsantrasyona bağlı olarak elde edilen ağır metal giderim verimleri (%) (m=5 g; V= 30 mL; t= 3 saat)

Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ile yapılan deneylerde, çözelti konsantrasyonu arttıkça çözelti pH'sının da arttığı (örneğin; 0,01M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> için pH 5.15, 0.1 M için pH 5.49), buna paralel olarak ekstraksiyon sonrası pH'nın da yüksek konsantrasyondaki çözeltilerde daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.8, Şekil 4.6). Na<sub>2</sub>EDTA ile yapılan deneylerde elde edilen sonuçlara benzer olarak, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> çözeltilerinin molaritesinin artmasıyla, ağır metal giderim verimlerinin arttığı görülmüştür. Ancak Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> tek başına kullanıldığında elde edilen ağır metal giderim verimlerinin, Na<sub>2</sub>EDTA'nın tek başına kullanıldığında elde edilen verimlere göre oldukça düşük olduğu belirlenmiştir. Tablo 4.8 ve Şekil 4.6'da da görüldüğü gibi 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> çözeltisi kullanıldığında Cu, Ni, Zn, Pb ve Cd için elde edilen giderim verimleri sırasıyla % 6, <0.023, %11, % 12 ve % 4'tür.



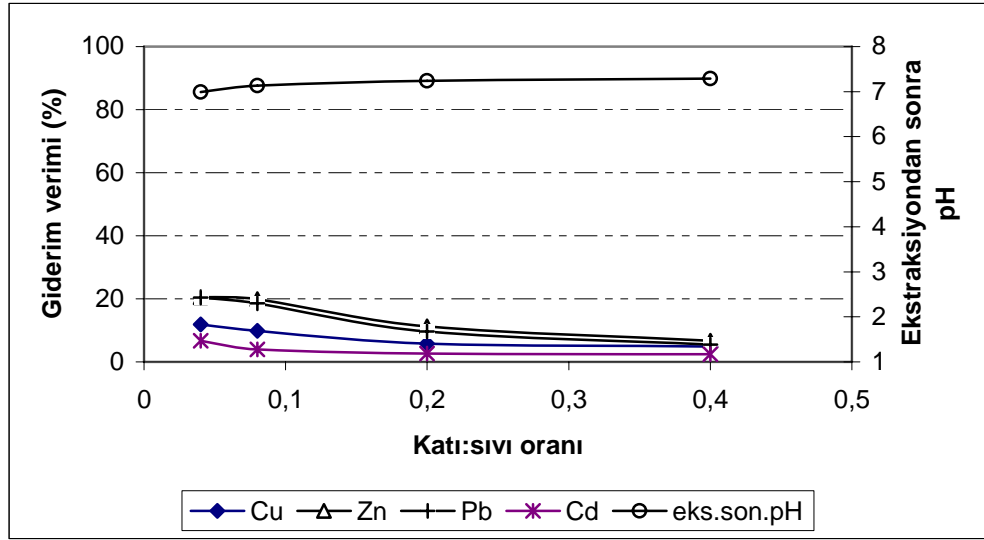
Tablo 4.8. Çeşitli konsantrasyonlardaki Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> çözeltileri ile gerçekleştirilen ekstraksiyon çalışmalarında elde edilen deneysel veriler (m=5 g; V= 30 mL; t= 3 saat)

Konsantrasyon (M)	Komposttan ağır metal giderimi (mg/kg-kuru kompost)					Komposttan ağır metal giderimi (%)					Eks. Önce pH	Eks. Sonra pH
	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd		
0.01	3.84 ±0.121	<0.12	9.11 ±0.017	1.24 ±0.043	<0.0168	1.1 ±0.076	<0.023	1 ±0.001	0.95 ±0.002	<0.55	5.15	5.99
0.05	8.04 ±0.035	<0.12	14.15 ±0.135	1.71 ±0.014	0.042 ±0.002	2.3 ±0.009	<0.023	1.56 ±0.016	1.31 ±0.023	1.37 ±0.074	5.23	6.53
0.08	19.06 ±1.04	<0.12	75.8 ±1.61	9.75 ±0.634	0.073 ±0.006	5.46 ±0.056	<0.023	8.3 ±0.284	7.45 ±0.324	2.39 ±0.081	5.32	7.24
0.1	19.68 ±1.57	0.49 ±0.005	100.77 ±1.70	15.29 ±0.234	0.17 ±0.009	5.64 ±0.059	<0.023	11 ±0.334	11.68 ±0.089	3.84 ±0.036	5.49	7.29

±SD (standart sapma)

#### 4.4.2. Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Çözeltisi Kullanıldığında Katı:Sıvı Oranının Ağır Metal Ekstraksiyonuna Etkisinin Belirlenmesi

Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> çözeltisi kullanıldığında farklı katı:sıvı oranlarının ağır metal ekstraksiyonuna etkisinin belirlenmesi için yapılan çalışmalarda elde edilen deneysel veriler Tablo 4.9'da ve Şekil 4.7'de sunulmuştur.



Şekil 4.7. Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> çözeltisi ile ekstraksiyonda katı:sıvı oranına bağlı olarak elde edilen ağır metal giderim verimleri (%) (C = 0.1 M; t = 3 saat)

Ekstraksiyondan önce 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> çözeltisinin pH'ı yaklaşık 5.5 olarak belirlenmiştir (Tablo 4.9). Çözeltinin pH'sının, katı:sıvı oranı azaldıkça azaldığı görülmüştür (Tablo 4.9, Şekil 4.7). Katı:sıvı oranına bağlı olarak ekstraksiyonla komposttan ağır metal giderim verimlerinin ise, katı:sıvı oranındaki azalmaya bağlı olarak (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> çözeltisinin miktarı arttıkça) artış gösterdiği tespit edilmiştir. En yüksek giderim verimlerinin 1:25 g/mL katı:sıvı oranında elde edildiği (Cu, Ni, Zn, Pb ve Cd için sırasıyla; %12, <%0.023, %21, %20, %7) görülmüştür.

Tablo 4.9. Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>'in kullanıldığı deneylerde çeşitli katı:sıvı oranları ile elde edilen sonuçlar (C= 0.1 M; t= 3 saat)

Katı:sıvı oranı (g/mL)	Komposttan ağır metal giderimi (mg/kg-kuru kompost)					Komposttan ağır metal giderimi (%)					Eks. pH	Önce Eks. Sonra pH
	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd		
1:2.5 (0.4)	16.96 ±1.56	1.08 ±0.005	60.73 ±1.62	7.17 ±0.13	0.061 ±0.005	4.86 ±0.06	<0.023	6.72 ±0.384	5.48 ±0.038	2.42 ±0.072	5.49	7.29
1:5 (0.2)	20.1 ±1.07	0.9 ±0.002	101.9 ±1.61	12.58 ±0.334	0.081 ±0.007	5.76 ±0.06	<0.023	11.28 ±0.238	9.61 ±0.053	2.65 ±0.039	5.49	7.24
1:12.5 (0.08)	34.47 ±1.36	<0.12	179.3 ±1.30	24.27 ±1.23	0.12 ±0.009	9.8 ±0.09	<0.023	19.85 ±0.671	18.54 ±0.49	3.93 ±0.097	5.49	7.13
1:25 (0.04)	41.64 ±1.43	<0.12	185.4 ±1.31	26.72 ±1.52	0.204 ±0.008	11.9 ±0.09	<0.023	20.53 ±0.419	20.41 ±0.37	6.68 ±0.089	5.49	6.99

±SD (standart sapma)

## 4.5. Na<sub>2</sub>EDTA VE Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> KARIŞIMI İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR

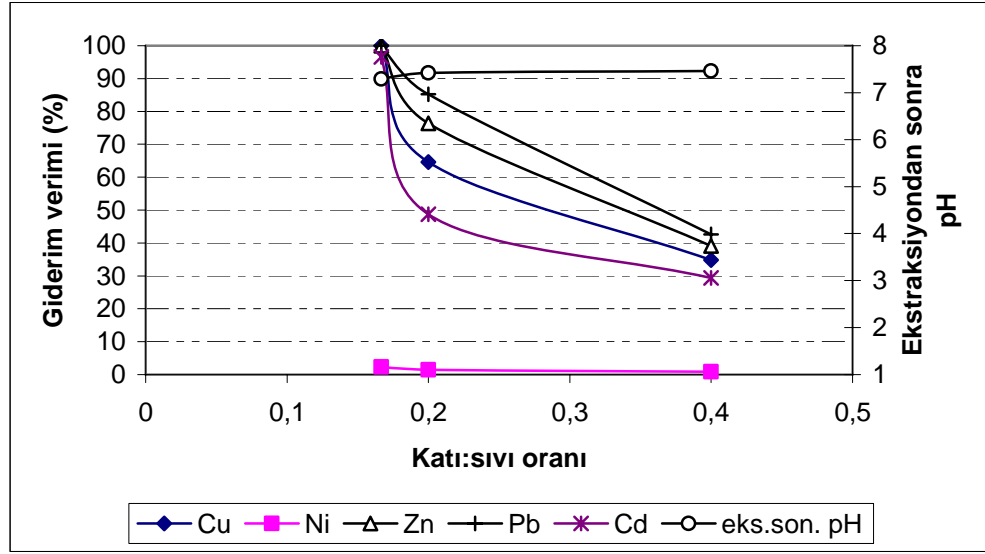
### 4.5.1. Na<sub>2</sub>EDTA ve Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> İçeren Çözelti ile Yapılan Deneysel Çalışmalar – Kesikli Deneyler

Yapılan literatür araştırmasında, birçok çalışmada Na<sub>2</sub>EDTA'nın tek başına veya Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ile kullanılması halinde topraktan Pb, Zn, Cr, Cu ve Cd gibi metallerin gideriminde oldukça iyi giderim verimleri elde edildiği belirtilmiştir (Chaiyaraksa ve Sriwiriyanuphap, 2004; Peters, 1999; Abumaizar ve Smith, 1999). Bu çalışmalarda, Na<sub>2</sub>EDTA'nın ticari açıdan Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>'e göre pahalı bir madde olmasından dolayı, kullanılan Na<sub>2</sub>EDTA miktarını mümkün olduğunca azaltmak için bu iki maddenin karışımının kullanıldığı da ifade edilmiştir.

Bu tez çalışmasında, kesikli deneylerde Na<sub>2</sub>EDTA ve Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>'in ayrı ayrı kullanılması ile komposttan ağır metal giderimleri incelendikten sonra, bu iki madde bir arada kullanılarak da deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın bu kısmında Kompost 1 olarak tanımlanan kompost numunesi kullanılmıştır.

#### 4.5.1.1. Katı:Sıvı Oranının Ağır Metal Giderim Verimlerine Etkisinin Belirlenmesi

0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA ve 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti ile çeşitli katı:sıvı oranlarında kesikli deneyler yapılarak, katı:sıvı oranının ağır metal ekstraksiyonuna etkisi incelenmiştir. Bu çalışmaların sonuçları Tablo 4.10'da ve Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Na<sub>2</sub>EDTA ve Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözeltinin kullanıldığı deneylerde farklı katı:sıvı oranları için elde edilen ağır metal giderim verimleri (C= 0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA+0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ; t= 3 saat)

Ekstraksiyondan önce 0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA ve 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözeltinin pH'sı yaklaşık 4.5 olarak belirlenmiştir (Tablo 4.10). Farklı katı:sıvı oranlarının kullanıldığı deneylerde, katı:sıvı oranı azaldıkça (kullanılan çözelti miktarı arttıkça) ekstraksiyondan sonraki çözelti pH'larının da azaldığı belirlenmiştir (Tablo 4.10, Şekil 4.8). 0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA ve 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti ile yapılan deneyler sonucunda, katı:sıvı oranı azaldıkça (kullanılan çözelti miktarı arttıkça) komposttan ağır metal gideriminin arttığı görülmüştür. Ni haricindeki diğer metaller için en iyi giderim verimlerinin 1:6 g/mL katı:sıvı oranında elde edildiği belirlenmiştir (Cu: %100, Zn: %100, Cd: %96.6). Ni için elde edilen giderim verimlerinin ise, diğer metallerin giderim verimlerine göre oldukça düşük (en yüksek % 2.36) olduğu belirlenmiştir.

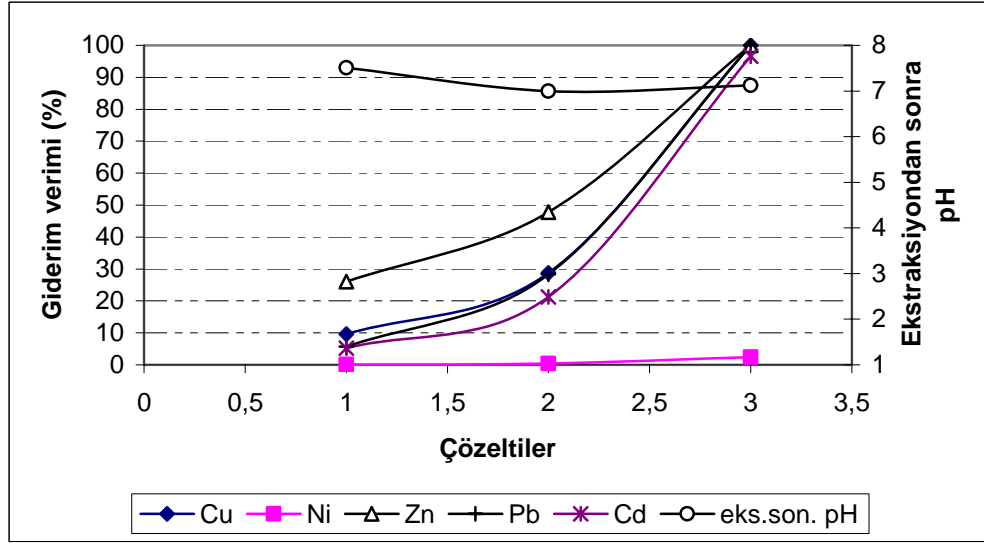
Tablo 4.10. Na<sub>2</sub>EDTA ve Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözeltinin kullanıldığı deneylerde çeşitli katı:sıvı oranları ile elde edilen sonuçlar (C = 0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA+0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ; t= 3 saat)

Katı:sıvı oranı (g/mL)	Komposttan ağır metal giderimi (mg/kg-kuru kompost)					Komposttan ağır metal giderimi (%)					Ekst. önce pH	Ekst. sonra pH
	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd		
1:2.5 (0.4)	121.44 ±1.15	4.54 ±0.23	353.4 ±11.11	55.49 ±3.01	0.896 ±0.004	34.8 ±2.72	0.87 ±0.007	39.13 ±2.04	42.63 ±1.53	29.37 ±2.12	4.45	7.46
1:5 (0.2)	225.2 ±1.13	7.53 ±0.25	689.5 ±12.47	110.84 ±1.15	1.49 ±0.003	64.6 ±2.01	1.44 ±0.005	76.35 ±2.08	85.26 ±3.14	48.72 ±1.57	4.45	7.42
1:6 (0.1666)	336.5 ±12.11	12.308 ±0.31	901.40 ±2.15	128.28 ±2.11	2.95 ±0.009	99 ±0.18	2.36 ±0.01	99 ±0.45	98 ±1.53	96.6 ±2.65	4.45	7.29

±SD (standart sapma)

#### 4.5.1.2. $\text{Na}_2\text{EDTA}$ ve $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ İçeren Farklı Çözelti Konsantrasyonlarının Ağır Metal Ekstraksiyonuna Etkisinin Belirlenmesi

Farklı  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  konsantrasyonu içeren çözeltilerin ağır metal ekstraksiyonuna etkisinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen deneysel çalışmaların sonuçları Tablo 4.11’de ve Şekil 4.9’da sunulmuştur.



Şekil 4.9. Çeşitli konsantrasyonlardaki  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  içeren çözeltiler ile yapılan deneyler sonucu elde edilen giderim verimleri (%) (m=5 g; V= 30 mL; t= 3 saat; Çözelti 1: 0.001 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve 0.1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  karışımı; Çözelti 2: 0.01 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve 0.05 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  karışımı; Çözelti 3: 0.01 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve 0.1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  karışımı)

Çeşitli konsantrasyonlardaki  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  içeren çözeltiler ile yapılan deneylerde, ekstraksiyondan sonra bu çözeltilerin pH değerlerinde artış olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.11). Deneysel çalışmalar sonucunda, en yüksek giderim veriminin 0.01 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve 0.1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  karışımı (çözelti 3)’nin kullanılması ile elde edildiği ve katı:sıvı oranı azaldıkça ağır metal giderim verimlerinin arttığı görülmüştür. Bu karışım ile elde edilen giderim verimleri; Cu için %100, Zn için %100, Pb için 100 ve Cd için %96.6’dır (Şekil 4.9).

Tablo 4.11. Çeşitli konsantrasyonlarda Na<sub>2</sub>EDTA ve Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözeltiler ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar (m=5 g; V= 30 mL; t= 3 saat)

Çözeltiler	Komposttan ağır metal giderimi (mg/kg-kuru kompost)					Komposttan ağır metal giderimi (%)					Eks.önce pH	Eks. Sonra pH
	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd		
Çözelti 1	33.56 ±2.42	0.51 ±0.007	235.6 ±2.12	5.61 ±0.01	0.16 ±0.004	9.6 ±0.010	0.09 ±0.002	26.09 ±2.05	5.67 ±0.008	5.21 ±0.002	5	7.51
Çözelti 2	100.35 ±1.15	2.21 ±0.008	431.7 ±10.01	43.04 ±1.53	0.65 ±0.005	28.78 ±2.15	0.4 ±0.01	47.8 ±1.54	28.35 ±2.04	21.27 ±1.18	4	7
Çözelti 3	346.3 ±2.11	12.31 ±0.302	901.9 ±2.00	128.29 ±2.114	2.95 ±0.006	98 ±1.59	2.36 ±0.010	99 ±1.68	98 ±1.16	96.6 ±1.03	4.05	7.12

±SD (standart sapma)

Çözelti 1: 0.001 M Na<sub>2</sub>EDTA ve 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> karışımıÇözelti 2: 0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA ve 0.05 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> karışımıÇözelti 3: 0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA ve 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> karışımı



0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA ve 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti ile yapılan deneylerde, 0.05 M Na<sub>2</sub>EDTA'nın tek başına kullanıldığı deneylere göre daha yüksek giderim verimlerinin daha yüksek katı:sıvı oranlarında (yani daha az çözelti hacmi kullanılarak) elde edildiği belirlenmiştir. 0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA ve 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti kullanıldığında 1:6 g/mL katı:sıvı oranında Ni hariç incelenen bütün ağır metaller için yaklaşık %100'e ulaşan giderim verimleri elde edilmiştir. Bu durumda, komposttan ağır metallerin giderilmesinde 0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA ve 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> çözeltisinin 1:6 g/mL katı:sıvı oranında ve 3 saatlik temas süresinde kullanılmasının uygun olacağı düşünülmüştür.

#### **4.5.2. Na<sub>2</sub>EDTA ve Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> İçeren Çözelti ile Yapılan Deneysel Çalışmalar – Sürekli Sistem**

Kesikli deneyler sonucunda komposttan ağır metallerin gideriminde en yüksek verimin 0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA ve 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> karışımı kullanılarak 3 saatlik temas süresinde, 1:6 g/mL katı:sıvı oranı ile elde edileceği görülmüştür. Bu deneysel veriler doğrultusunda kolon deneyleri tasarlanmıştır. Çalışmanın bu kısmında Kompost 2 olarak tanımlanan kompost numunesi kullanılmıştır.

Kolon çalışmalarında 0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA ve 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> karışımı kullanılarak 1:6 g/mL katı:sıvı oranında ve 3 saatlik temas süresinde (1.1 mL/dak. debi) deneyler yapılmış, ancak hedeflenen ağır metal giderim verimleri elde edilememiştir. Bu nedenle temas süresi arttırılarak, 5 saatlik temas süresi (0.66 mL/dak. debi) ve 6 saatlik temas süresi (0.55 mL/dak. debi) için deneyler tekrarlanmıştır. Ancak yine hedeflenen giderim verimlerinin elde edilemediği görülmüştür. Daha önce Na<sub>2</sub>EDTA ve Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> karışımının kullanıldığı kesikli deneylerde çözeltilerin katı:sıvı oranı arttıkça giderim verimlerinin de arttığı belirlenmiştir. Bu nedenle hedeflenen giderim verimlerinin elde edilebilmesi için, katı:sıvı oranları azaltılarak (kullanılan çözelti miktarı arttırılarak) deneyler tekrar edilmiştir. Farklı katı:sıvı oranlarında yapılan deneyler sonucunda, 3 saatlik temas süresi (0.55 mL/dak. debi) ve 1:15 g/mL katı:sıvı oranı kullanıldığında istenen giderim verimlerinin (Ni hariç) elde edildiği görülmüştür. Kolon çalışmalarında elde edilen sonuçlar Tablo 4.12'de verilmiştir. Deneylerde ekstraksiyondan önce çözelti pH'ı 4 olarak ölçülürken, ekstraksiyondan sonra çözelti pH'larının 7 olduğu görülmüştür.

Kolon deneyleri ile ilgili kapasite eğrilerinin çizilmesi için 1:15 g/mL katı:sıvı oranında 0.55 mL/dak. debi ile; 28 gram kompost, 400 mL ekstraksiyon çözeltisi (0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA + 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> karışımı) kullanılarak, 3 saatlik temas süresinde çalışılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar Tablo 4.13'de verilmiştir. Şekil 4.10'da 0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA ve 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> için kolon çalışmalarında elde edilen kapasite eğrileri verilmiştir. Şekil 4.11'de ise, 0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA ve 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti kullanıldığında kolonda zamana bağlı olarak elde edilen giderim verimleri grafik halinde verilmiştir.

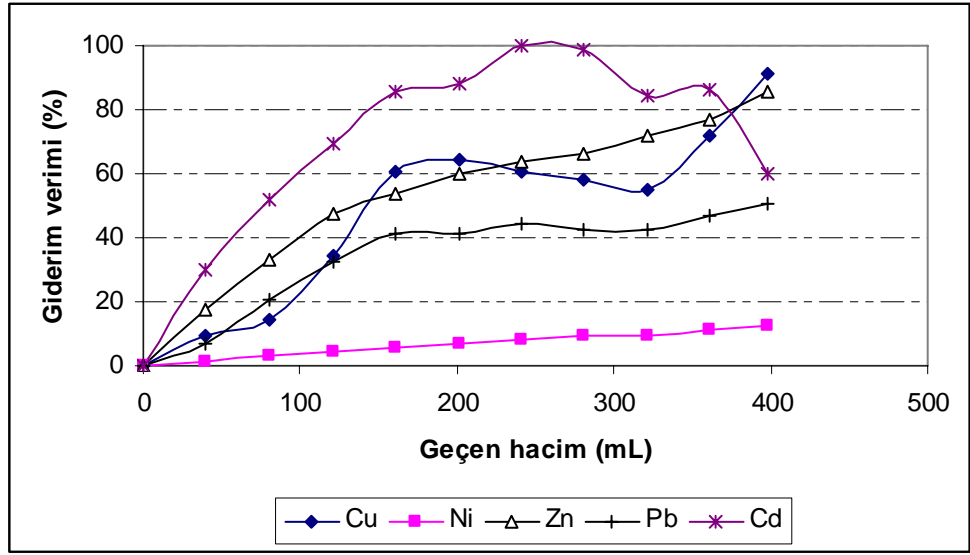
Kapasite eğrileri incelendiğinde, 0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA ve 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> çözeltisinin öncelikle Cd ve Cu'ı tuttuğu, sonra Zn ve Pb üzerinde etkili olduğu, Ni'i ekstrakte etme oranının çok düşük değerlerde kaldığı görülmüştür. Cu için hedeflenen %66'lık giderim veriminin üzerinde bir verimin (%71.91) 361 mL çözelti hacmi geçirildiğinde (162 dakikalık temas süresinde) elde edildiği görülmüştür (Tablo 4.13, Şekil 4.10). Zn için hedeflenen %56'lık giderim verimine yakın bir verimin (%60) 201 mL çözelti hacmi geçirildiğinde (90 dakikalık temas süresinde) elde edildiği görülmüştür. Cd için en yüksek giderim veriminin (%100) 241 mL çözelti hacmi geçirildiğinde (108 dakikalık temas süresinde) elde edildiği görülmüştür. Ni için elde edilen giderim verimlerinin oldukça düşük olduğu (maksimum %12.22) görülmüştür (Tablo 4.13, Şekil 4.10). pH değerlerinin kolon çalışması esnasında değişimi incelendiğinde ekstraksiyondan önce 4 olan pH değerinin, çözelti kolondan geçtikten sonra gittikçe arttığı ve pH 6'ya ulaştığı görülmüştür (Tablo 4.13, Şekil 4.11).

0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA ve 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti ile yapılan kapasite deneylerinde 1:15 g/mL katı:sıvı oranında 361 mL çözelti hacmi 162 dakika temas süresinde geçirildiğinde hedeflenenin üzerinde (Cu, Zn, Pb ve Cd için sırasıyla %72, %77, %47 ve %86) ağır metal giderim verimlerinin elde edildiği tespit edilmiştir.

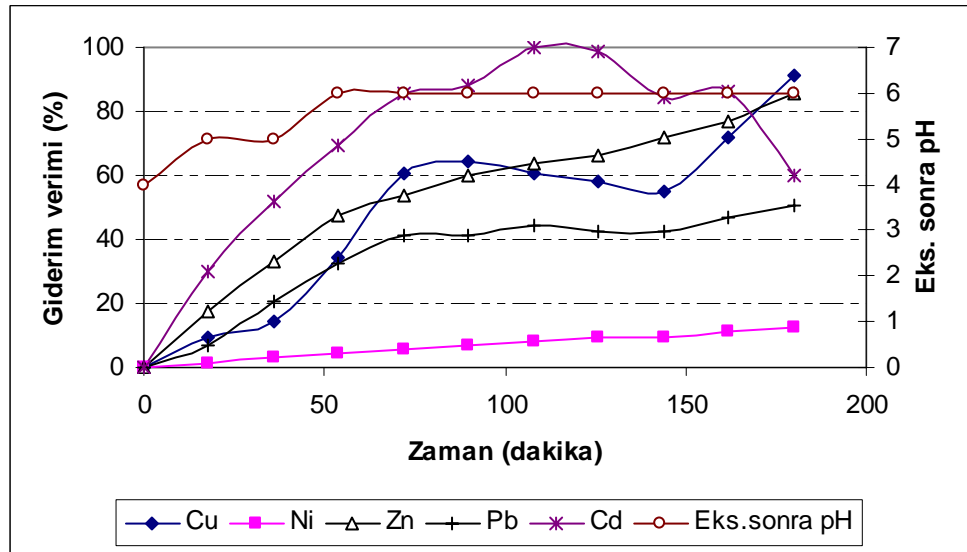
Tablo 4.12. Kolonda Na<sub>2</sub>EDTA ve Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar

Kolon şartları	Komposttan ağır metal giderimi (mg/kg-kuru kompost)					Komposttan ağır metal giderimi (%)				
	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd
3 saatlik temas süresi (1.1 mL/dak. debi); 1:6 g/mL katı:sıvı oranı	105.6 ±2.13	2.58 ±0.052	430.46 ±11.11	52.37 ±2.34	0.149 ±0.052	24 ±1.13	3.1 ±0.062	47.46 ±1.32	34.5 ±2.32	21.48 ±1.43
5 saatlik temas süresi (0.66 mL/dak. debi); 1:6 g/mL katı:sıvı oranı	126.94 ±2.15	3.41 ±0.034	515.09 ±10.12	55.68 ±2.04	0.161 ±0.009	28.85 ±1.64	4.1 ±0.015	56.79 ±1.53	36.68 ±2.25	23.17 ±1.02
6 saatlik temas süresi (0.55 mL/dak. debi); 1:6 g/mL katı:sıvı oranı	128.83 ±2.01	4.49 ±0.071	587.83 ±10.01	69.65 ±2.05	0.183 ±0.065	29.28 ±1.04	5.4 ±0.064	64.81 ±1.61	45.88 ±2.75	26.32 ±1.22
3 saatlik temas süresi (0.55 mL/dak. debi); 1:10 g/mL katı:sıvı oranı	119.7 ±2.00	5.58 ±0.037	430.95 ±10.47	53.67 ±2.01	0.680 ±0.009	27.2 ±1.02	6.7 ±0.034	47.51 ±1.41	35.35 ±2.12	97.8 ±1.61
3 saatlik temas süresi (0.55 mL/dak. debi); 1:12.5 g/mL katı:sıvı oranı	210.32 ±3.21	6.99 ±0.08	590.47 ±11.23	65.6 ±2.44	0.682 ±0.005	47.8 ±1.07	8.4 ±0.035	65.1 ±1.01	43.44 ±2.15	98.1 ±1.09
3 saatlik temas süresi (0.55 mL/dak. debi); 1:15 g/mL katı:sıvı oranı	306.68 ±3.41	9.15 ±0.065	610.35 ±9.01	74.74 ±2.61	0.690 ±0.002	69.7 ±1.51	11 ±0.012	67.3 ±1.23	49.5 ±2.41	99.3 ±0.52

±SD (standart sapma)



Şekil 4.10. 0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA ve 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti kullanıldığında elde edilen kapasite eğrileri



Şekil 4.11. 0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA ve 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti kullanıldığında zamana bağlı elde edilen eğriler

Tablo 4.13. Kapasite eğrisi için yapılan deneylerde 0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA ve 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti kullanıldığında elde edilen sonuçlar

Kümülatif numune hacmi (mL)	Kümülatif süre (dakika)	Komposttan ağır metal giderimi (mg/kg-kuru kompost)					Komposttan ağır metal giderimi (%)					Eks.sonra pH
		Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
40	18	40.99	1.13	160.87	10.30	0.21	9.32	1.36	17.73	6.78	29.73	5
80	36	62.53	2.60	299.21	31.50	0.36	14.21	3.13	32.98	20.75	51.67	5
121	54	150.48	3.75	429.41	49.11	0.48	34.2	4.50	47.33	32.35	69.33	6
161	72	267.3	4.74	485.56	62.90	0.60	60.75	5.70	53.52	41.44	85.82	6
201	90	283.14	5.98	543.34	62.86	0.61	64.35	7.18	59.89	41.41	88.36	6
241	108	266.11	6.66	579.27	67.35	0.70	60.48	8.00	63.85	44.37	100.0	6
281	126	256.21	7.83	601.24	64.68	0.69	58.23	9.41	66.27	42.61	98.84	6
321	144	242.55	8.03	652.26	64.32	0.59	55.13	9.66	71.89	42.37	84.52	6
361	162	316.40	9.40	696.70	71.13	0.60	71.91	11.30	76.79	46.859	86.28	6
398	180	401.94	10.17	774.32	76.99	0.42	91.35	12.22	85.35	50.72	59.88	6

#### 4.6. MELAS HİDROLİZATI KULLANILARAK GERÇEKLEŞTİRİLEN EKSTRAKSİYON DENEYLERİ

Yapılan literatür araştırmasında, arıtmadan sonra ikincil bir kirlenmeyi önlemek için, parçalanma sonucu toksik ürünler oluşturmayan kompleksleştiricilerin kullanılmasının gerektiğini, şeker asitleri ve hidroksikarboksilik asitler gibi doğal kelatlayıcıların bu ihtiyacı karşıladığını belirten çalışmalara rastlanmıştır (Bipp ve diğ.,1998). Bu çalışmalarda, melasın karbonhidratlar açısından zengin olduğu, şeker üretiminden ortaya çıkan bir yan ürün olması dolayısı ile ucuz olduğu, toksik olmadığı için hayvan yemi olarak kullanılabilirdiği de ifade edilmiştir. Melas asidik şartlar altında okside olduğunda doğal kelatlayıcıları içeren bir hidrolizat elde edildiği belirtilmiştir. Bu nedenlerle mevcut çalışmada komposttan ağır metallerin ekstrakte edilmesinde melas hidrolizati kullanılmıştır.

##### 4.6.1. Melas Hidrolizati İçerisinde Mevcut Organik Asit Türleri

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Gıda Enstitüsünde HPLC cihazında yapılan analiz sonucunda, melas hidrolizati içerisinde tayin edilen organik asitler ve miktarları Tablo 4.14’de gösterilmiştir.

Tablo 4.14. Melas Hidrolizati içerisinde belirlenen organik asit türleri ve miktarları

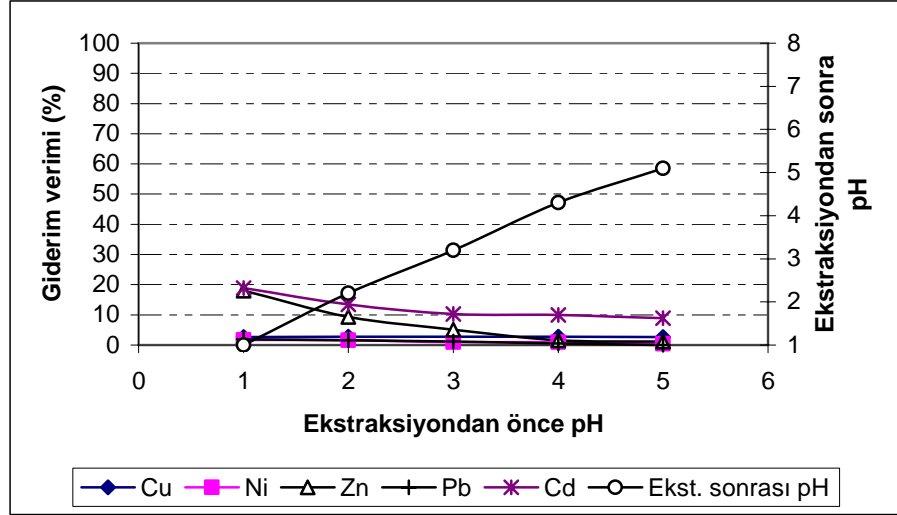
Organik asit	Miktarı (g/L)
Laktik asit	3.85
Malik asit	1.12
Sitrik asit	0.09
Fumarik asit	0.02
Quinik asit	Tespit edilmedi

##### 4.6.2. Melas Hidrolizatının Kullanıldığı Kesikli Deneyler

Melas hidrolizati ile yapılan deneylerde ilk önce literatür çalışmalarında belirtildiği gibi melas hidrolizati çeşitli oranlarda seyreltilerek ve pH’ı 1 ile 5 arasında farklı değerlere ayarlanarak kullanılmıştır. Çalışmanın bu kısmında Kompost 1 olarak tanımlanan kompost numunesi kullanılmıştır.

#### 4.6.2.1. pH'nın Ağır Metal Ekstraksiyonuna Etkisinin Belirlenmesi

Melas hidrolizatının kullanıldığı çalışmalarda çözeltinin pH değerinin komposttan ağır metal ekstraksiyonuna etkisinin belirlenmesi için gerçekleştirilen deneylere ait veriler Tablo 4.15 ve Şekil 4.12'de sunulmuştur.



Şekil 4.12. Çeşitli pH değerlerinde elde edilen ağır metal giderim verimleri (%) (m= 5 g; V= 30 mL; t= 15 dak., C= 10 kat seyreltilmiş)

Farklı pH değerlerine (pH 1-5) sahip melas hidrolizatlarının kullanıldığı deneyler sonucunda, melas hidrolizatının başlangıç pH'sı arttıkça ekstraksiyondan sonraki çözelti pH'sının da arttığı görülmüştür (Tablo 4.15). Yapılan deneyler sonucunda en iyi giderim verimlerinin Cu hariç diğer metaller için pH 1'de elde edildiği görülmüştür. Cu için ise en iyi giderim verimlerinin pH 2-4 arasında elde edildiği görülmüştür. Zn dışındaki diğer metallerde pH değerinin 1'den 2'ye yükselmesinin çok fazla değişikliğe neden olmadığı, Zn gideriminde ise, giderim veriminin pH'daki bu değişime bağlı olarak %18'den %9.3'e düştüğü görülmüştür (Şekil 4.12, Tablo 4.15).

Tablo 4.15. Çeşitli pH değerlerindeki melas hidrolizati ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar (m= 5 g; V= 30 mL; t= 15 dak., C= 10 kat seyreltilmiş)

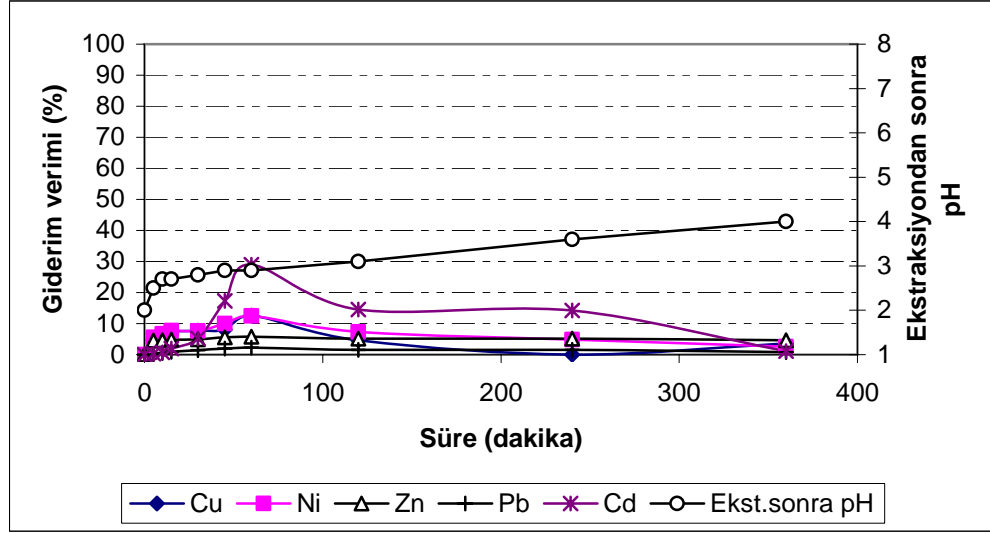
pH	Komposttan ağır metal giderimi (mg/kg-kuru kompost)					Komposttan ağır metal giderimi (%)					Ekst. sonrası pH
	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	
1	9.06 ±0.09	8.76 ±0.01	169.4 ±1.15	2.43 ±0.23	0.576 ±0.052	2.6 ±0.052	1.68 ±0.13	18 ±0.01	1.86 ±0.52	18.9 ±0.058	≈1
2	9.76 ±0.09	8.34 ±0.012	85.5 ±2.01	3.59 ±0.23	0.411 ±0.12	2.8 ±0.054	1.6 ±0.11	9.3 ±0.09	1.59 ±0.32	13.5 ±0.067	2.2
3	9.77 ±0.08	5.23 ±0.023	47.2 ±1.54	2.08 ±0.25	0.314 ±0.025	2.8 ±0.053	1.003 ±0.11	5.1 ±0.04	1.19 ±0.11	10.3 ±0.029	3.2
4	9.77 ±0.08	4.80 ±0.028	14.6 ±0.09	0.65 ±0.12	0.305 ±0.015	2.8 ±0.055	0.92 ±0.13	1.59 ±0.15	0.5 ±0.11	10 ±0.01	4.3
5	9.07 ±0.1	2.33 ±0.024	11.4 ±0.09	<0.3	0.271 ±0.025	2.6 ±0.052	0.447 ±0.15	1.2 ±0.11	<0.2	8.9 ±0.076	5.1

±SD (standart sapma)



#### 4.6.2.2. Temas Süresinin Ağır Metal Ekstraksiyonuna Etkisinin Belirlenmesi

Melas hidrolizati ile komposttan ağır metal ekstraksiyonuna temas süresinin etkisinin belirlenmesi için gerçekleştirilen çalışmalar sonucu elde edilen veriler Tablo 4.16'da ve Şekil 4.13'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Farklı temas sürelerinde elde edilen ağır metal giderim verimleri (%) (m= 5 g; V= 30 mL; C= 10 kat seyreltilmiş, pH= 2)

Melas hidrolizatının seyreltilerek kullanıldığı deneylerde, farklı temas süreleriyle yapılan deneyler sonucunda, temas süresi arttıkça ekstraksiyondan sonraki çözeltinin pH değerlerinin de arttığı görülmüştür. Ekstraksiyondan sonraki pH değerleri 3'ün üzerine çıktığında ise temas süresindeki artışa rağmen ağır metal giderim verimlerinin azaldığı belirlenmiştir (Tablo 4.16). Yapılan deneyler sonucu melas hidrolizati ile ağır metallerin ekstraksiyonunda en iyi giderim verimlerinin 1 saat (60 dakika) temas süresinde elde edildiği belirlenmiştir. 1 saatlik temas süresinde elde edilen giderim verimleri Cu, Ni, Zn, Pb ve Cd için sırasıyla %12.57, %12.48, %5.8, %2.28, %29'dur (Tablo 4.16, Şekil 4.13).

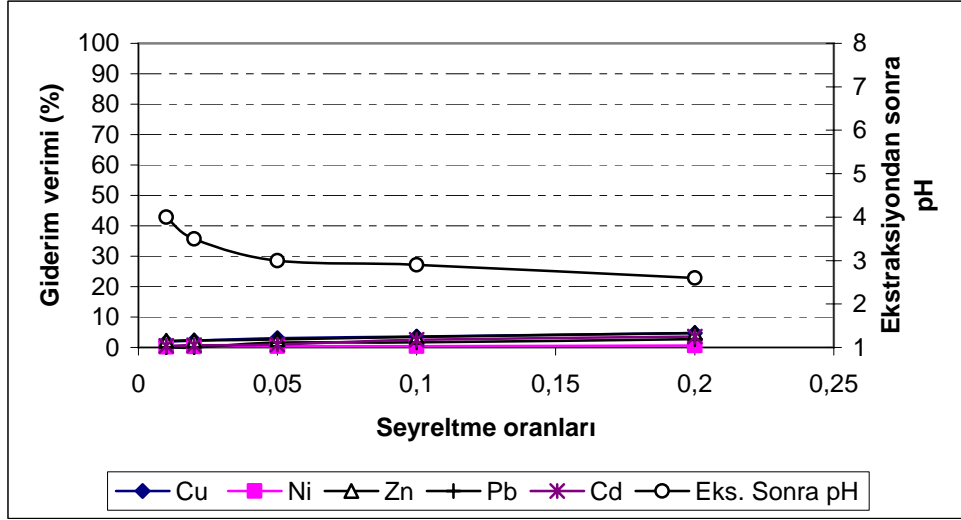
Tablo 4.16. Melas hidrolizatının kullanıldığı deneylerde çeşitli temas süreleri ile elde edilen sonuçlar (m= 5 g; V= 30 mL; C= 10 kat seyreltilmiş, pH= 2)

Süre (dakika)	Komposttan ağır metal giderimi (mg/kg-kuru kompost)					Komposttan ağır metal giderimi (%)					Ekst.sonra pH
	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	
5	16.56 ±0.086	28.93 ±0.13	40.91 ±1.21	<0.3	0.0085 ±0.005	4.75 ±0.002	5.55 ±0.043	4.53 ±1.53	<0.2	0.28 ±0.058	2.5
10	21.62 ±2.13	35.18 ±0.20	41.53 ±1.001	0.64 ±0.07	0.023 ±0.006	6.2 ±0.067	6.75 ±0.064	4.6 ±1.66	0.49 ±0.05	0.75 ±0.068	2.7
15	25.41 ±2.23	40.18 ±0.25	43.34 ±1.022	1.22 ±0.11	0.061 ±0.135	7.29 ±0.037	7.71 ±0.068	4.8 ±1.64	0.93 ±0.07	2 ±0.052	2.7
30	26.84 ±2.53	39.77 ±0.28	44.87 ±1.034	1.92 ±0.13	0.162 ±0.052	7.7 ±0.045	7.63 ±0.059	4.97 ±1.52	1.47 ±0.32	5.3 ±0.042	2.8
45	27.88 ±2.68	52.12 ±0.23	50.56 ±0.68	2.54 ±0.25	0.529 ±0.064	8 ±0.086	10 ±0.074	5.6 ±1.51	1.94 ±0.36	17.34 ±0.057	2.9
60	43.81 ±3.11	65.045 ±0.03	52.37 ±2.03	2.98 ±0.037	0.885 ±0.032	12.57 ±0.060	12.48 ±0.037	5.8 ±1.52	2.28 ±0.05	29 ±2.11	2.9
120	16.03 ±2.34	38.10 ±0.21	46.96 ±1.00	2.04 ±0.21	0.442 ±0.11	4.6 ±0.064	7.31 ±0.046	5.2 ±1.42	1.56 ±0.42	14.5 ±0.05	3.1
240	15.33 ±2.12	25.49 ±0.23	46.23 ±1.0	1.96 ±0.24	0.434 ±0.12	4.4 ±0.061	4.89 ±0.034	5.12 ±1.40	1.5 ±0.42	14.25 ±0.02	3.6
360	12.61 ±2.28	13.66 ±0.11	41.53 ±1.03	1.09 ±0.23	0.033 ±0.05	3.62 ±0.054	2.62 ±0.021	4.6 ±1.31	0.83 ±0.06	1.1 ±0.02	4
1440	11.29 ±0.073	3.18 ±0.028	30.06 ±1.01	0.56 ±0.065	0.026 ±0.006	3.24 ±0.021	0.61 ±0.002	3.33 ±2.11	0.43 ±0.05	0.85 ±0.025	4.5

±SD (standart sapma)

#### 4.6.2.3. Farklı Seyreltme Oranlarının Ağır Metal Ekstraksiyonuna Etkisinin Belirlenmesi

Farklı seyreltme oranlarının ağır metal giderim verimine etkisine ait deneysel çalışmaların sonuçları Tablo 4.17 ve Şekil 4.14’de sunulmuştur.



Şekil 4.14. Ekstraksiyon ile elde edilen ağır metal giderim verimleri (%) (m= 5 g; V= 30 mL; t=1 saat; pH= 2)

Başlangıç pH'ları 2'ye ayarlanmış ve çeşitli oranlarda seyreltilmiş melas hidrolizatu kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde, seyreltme oranındaki artışa paralel olarak ekstraksiyon sonrasında çözelti pH'larının arttığı ve pH 4'e kadar yükseldiği görülmüştür. Melas hidrolizatının seyrelme oranı arttıkça ağır metal giderim verimlerinin azaldığı ve elde edilen giderim verimlerinin de çok düşük olduğu (maksimum %5) belirlenmiştir (Şekil 4.14, Tablo 4.17). Melas hidrolizatu ile yapılan deneyler sonucunda, melas hidrolizatının pH'ı ayarlanarak ve seyreltilerek kullanılması ile elde edilen giderim verimlerinin beklenilenin çok altında olmasından dolayı, bundan sonraki deneylerde melas hidrolizatının seyreltilmeden ve pH ayarı yapılmadan (kendi pH'sında,  $\text{pH} \leq 1$ ) kullanılmasına karar verilmiştir. Bundan sonra yapılan ekstraksiyon deneylerinde Kompost 2 olarak tanımlanan kompost numunesi kullanılmıştır.

Tablo 4.17. Çeşitli oranlarda seyreltilmiş melas hidrolizati ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar (m= 5 g; V= 30 mL; t=1 saat; pH= 2)

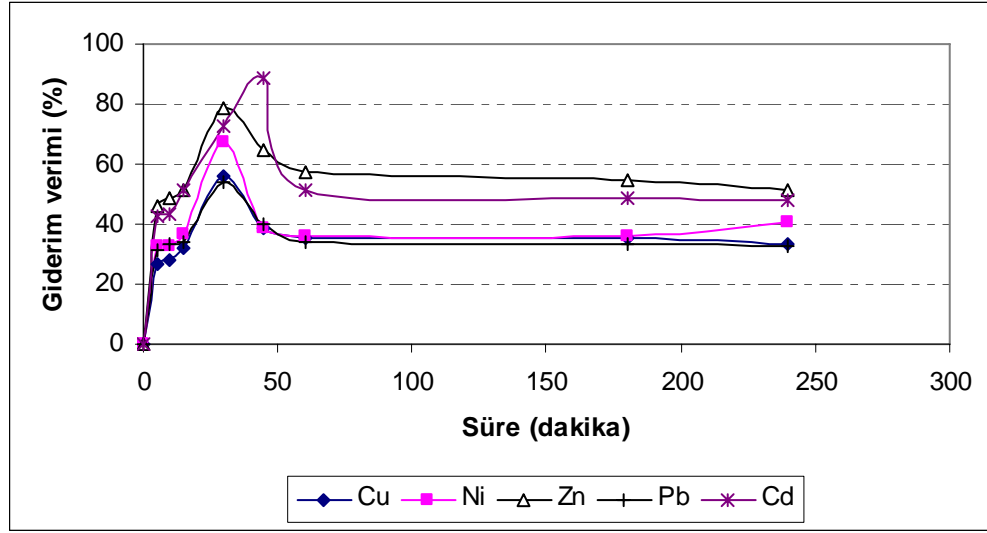
Seyreltme oranları	Komposttan ağır metal giderimi (mg/kg-kuru kompost)					Komposttan ağır metal giderimi (%)					Eks. Sonra pH
	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	
5 kat seyreltme	16.4 ±0.04	2.4 ±0.03	42.4 ±1.54	3.65 ±0.05	0.07 ±0.005	4.7 ±0.05	0.46 ±0.02	4.7 ±0.002	2.78 ±0.32	2.52 ±0.04	2.6
10 kat seyreltme	12.5 ±0.04	2.1 ±0.01	31.16 ±2.12	2.60 ±0.03	0.02 ±0.003	3.58 ±0.06	0.40 ±0.02	3.45 ±0.003	1.73 ±0.51	0.92 ±0.06	2.9
20 kat seyreltme	10.54 ±0.07	1.78 ±0.04	23.5 ±2.38	2.27 ±0.02	<0.012	3.02 ±0.01	0.34 ±0.03	2.6 ±0.006	1.55 ±0.32	0.52 ±0.04	3
50 kat seyreltme	7.82 ±0.07	1.38 ±0.04	20.5 ±2.22	2.04 ±0.03	<0.012	2.24 ±0.06	0.6 ±0.04	2.27 ±0.003	<0.39	3.6 ±0.04	3.5
100 kat seyreltme	6.68 ±0.05	1.27 ±0.03	19.62 ±2.41	1.74 ±0.17	0.024 ±0.006	1.91 ±0.02	0.24 ±0.02	2.17 ±0.005	<0.39	0.78 ±0.05	4

±SD (standart sapma)

### 4.6.3. Melas Hidrolizatının Seyreltilmeden Kullanıldığı Kesikli Deneyler

#### 4.6.3.1. Temas Süresinin Ağır Metal Ekstraksiyonuna Etkisinin Belirlenmesi

Seyreltilmemiş melas hidrolizatı kullanılarak temas süresinin giderim verimine etkisini incelemek amacıyla deneyler yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda ekstraksiyondan sonra ölçülen pH değerlerinin bütün temas sürelerinin sonunda 2 civarında olduğu görülmüştür (Tablo 4.18). Deneysel çalışmalara ait veriler Tablo 4.18’de ve Şekil 4.15’de sunulmuştur.



Şekil 4.15. Farklı temas süreleri için elde edilen ağır metal giderim verimleri (%) (m= 5 g; V = 30 mL; pH ≤1)

Tablo 4.18 ve Şekil 4.15’teki değerler incelendiğinde, Cd hariç kompostta bulunan tüm ağır metaller için en yüksek giderim verimlerinin 30 dakikalık temas sürelerinde elde edildiği görülmüştür (Cu, Ni, Zn, Pb için sırasıyla %56, %67, %79, %54). Cd için en yüksek giderim verimi 45 dakikalık temas süresinde (% 88) elde edilmiştir.

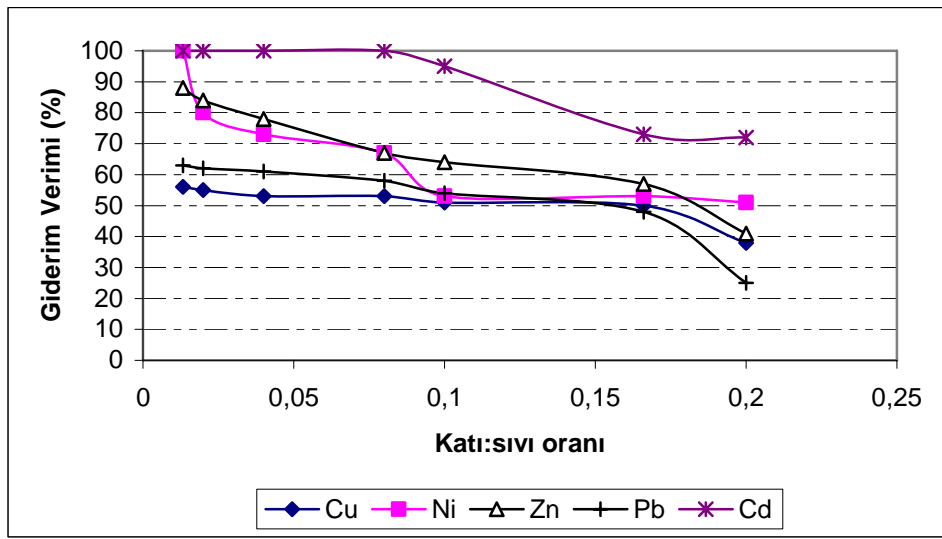
Tablo 4.18. Melas hidrolizatının seyreltilmeden kullanıldığı deneylerde çeşitli temas süreleri için elde edilen sonuçlar (%) (m= 5 g; V = 30 mL; pH ≤1)

Süre (dakika)	Komposttan ağır metal giderimi (mg/kg-kuru kompost)					Komposttan ağır metal giderimi (%)				
	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd
5	117.7 ±2.53	26.92 ±2.11	418.75 ±10.01	46.83 ±2.32	0.30 ±0.004	26.75 ±2.12	32.34 ±2.12	46.25 ±2.13	31.25 ±1.14	43 ±2.33
10	121.83 ±1.15	27.41 ±2.11	442.0 ±11.01	50.46 ±1.54	0.301 ±0.005	27.68 ±2.11	32.875 ±2.00	48.75 ±2.42	33.13 ±2.12	43.22 ±2.23
15	139.46 ±2.15	30.44 ±2.12	463.76 ±10.15	51.77 ±1.64	0.359 ±0.007	31.69 ±1.58	36.5 ±2.44	51.25 ±1.22	33.75 ±2.16	51.62 ±1.12
30	247.5 ±1.42	55.82 ±1.54	713.92 ±12.67	82.45 ±2.32	0.506 ±0.007	56.25 ±1.22	67.06 ±2.00	78.75 ±2.56	54.31 ±1.32	72.81 ±1.25
45	171.33 ±1.17	32.42 ±2.13	584.88 ±9.67	60.32 ±3.01	0.615 ±0.061	38.9 ±2.44	38.93 ±2.44	64.38 ±2.01	39.72 ±2.43	88.38 ±3.06
60	156.33 ±2.21	30.26 ±2.15	519.26 ±9.68	52.04 ±2.04	0.355 ±0.007	35.5 ±2.13	36.25 ±2.24	57.13 ±1.54	34.28 ±2.12	51.11 ±1.11
180	155.58 ±2.11	30.18 ±2.12	500.13 ±9.13	50.43 ±1.34	0.337 ±0.005	35.35 ±2.34	36.25 ±2.23	55 ±1.34	33.23 ±2.14	48.5 ±2.50
240	146.95 ±2.21	33.76 ±2.24	466.0 ±10.0	49.27 ±2.26	0.335 ±0.004	33.39 ±2.24	40.56 ±1.16	51.25 ±1.12	32.5 ±2.13	48.12 ±2.12
1440	186.3 ±1.43	34.37 ±2.20	575.88 ±9.68	45.56 ±2.54	0.319 ±0.008	42.34 ±1.23	41.5 ±1.16	63.38 ±2.02	30 ±1.14	45.83 ±2.16

±SD (standart sapma)

#### 4.6.3.2. Katı:Sıvı Oranının Ağır Metal Ekstraksiyonuna Etkisinin Belirlenmesi

Katı:sıvı oranının ağır metal ekstraksiyonuna etkisinin belirlenmesi ile ilgili deneylerde, temas süresi olarak 30 ve 60 dakika kullanılmıştır. Seyreltilmeden kullanılan melas hidrolizatı ile 30 dakikalık temas süresi sonunda çeşitli katı:sıvı oranlarında komposttan giderilen ağır metal miktarları ve elde edilen giderim verimleri Tablo 4.19 ve Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16. Çeşitli katı:sıvı oranları için elde edilen giderim verimleri (%) ( $t=30$  dak.;  $pH \leq 1$ )

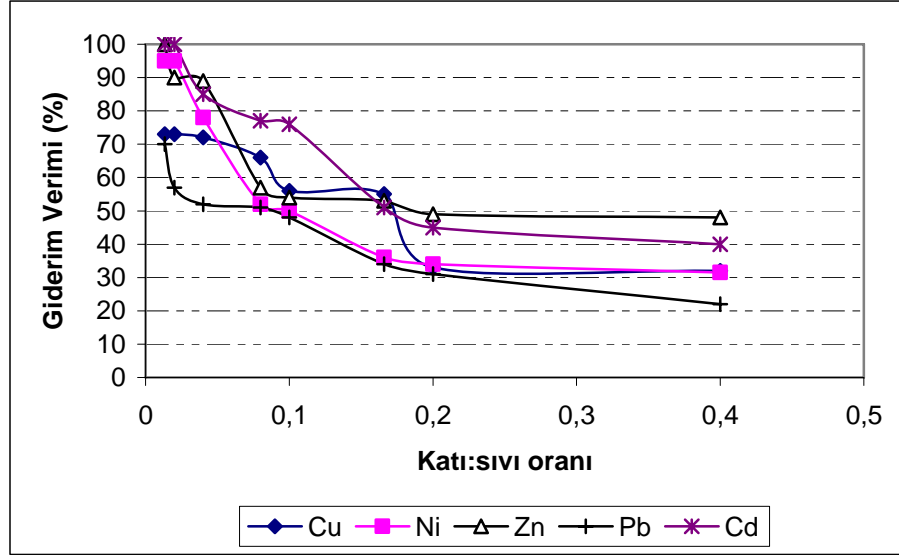
Tablo 4.19. Çeşitli katı:sıvı oranları için elde edilen sonuçlar (t= 30 dak.; pH ≤1)

Katı:sıvı oranı (g/mL)	Komposttan ağır metal giderimi (mg/kg-kuru kompost)					Komposttan ağır metal giderimi (%)					Eks.sonra pH
	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	
1:5 (0.2)	167.78 ±2.17	42.43 ±2.39	370.72 ±12.11	37.75 ±2.63	0.501 ±0.004	38 ±2.62	51 ±1.52	41 ±1.53	25 ±2.11	72 ±1.20	2
1:6 (0.166)	220.66 ±1.43	43.86 ±2.56	490.04 ±10.01	73.26 ±2.15	0.506 ±0.007	50 ±1.41	53 ±1.54	57 ±1.51	48 ±1.57	73 ±1.25	2
1:10 (0.1)	224 ±1.03	43.86 ±2.56	580.8 ±9.68	82.45 ±2.45	0.661 ±0.03	51 ±1.53	53 ±1.54	64 ±1.82	54 ±1.34	95 ±1.16	2
1:12.5 (0.08)	233.15 ±2.04	55.82 ±4.67	610.2 ±9.15	87.52 ±2.33	0.691 ±0.006	53 ±1.54	67 ±2.00	67 ±2.00	58 ±1.64	98 ±2.54	2
1:25 (0.04)	233.41 ±2.12	61.05 ±3.02	713.92 ±12.67	92.84 ±1.47	0.692 ±0.005	53 ±1.54	73 ±2.65	78 ±2.56	61 ±1.16	99 ±0.03	1
1:50 (0.02)	240 ±3.09	66.91 ±3.46	764.78 ±12.49	94.58 ±2.25	0.693 ±0.003	55 ±1.62	80 ±3.06	84 ±3.14	62 ±1.15	99 ±0.03	1
1:75 (0.0133)	247.5 ±1.41	82.53 ±2.45	796.45 ±16.34	96.03 ±2.0	0.694 ±0.003	56 ±1.62	97 ±2.65	88 ±3.04	63 ±2.16	99 ±0.03	1

±SD (standart sapma)



60 dakikalık temas süresi sonunda çeşitli katı:sıvı oranlarında melas hidrolizati kullanılarak komposttan giderilen ağır metal miktarları ve elde edilen giderim verimleri Tablo 4.20 ve Şekil 4.17’de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Çeşitli katı:sıvı oranları için elde edilen giderim verimleri (%) (t=1 saat.; pH ≤1)

Katı:sıvı oranlarının ağır metal giderim verimine etkisinin incelendiği çalışmalarda, kullanılan melas hidrolizati miktarı arttıkça (katı:sıvı oranı azaldıkça) daha iyi giderim verimlerinin elde edildiği görülmüştür. Çeşitli katı:sıvı oranları için 30 ve 60 dakikalık temas sürelerinde elde edilen ağır metal giderim verimleri karşılaştırıldığında, 60 dakikalık temas süresinde ve katı:sıvı oranı 1:12.5 g/mL olduğunda istenen giderim verimlerinin elde edildiği görülmüştür. Cu, Ni, Zn, Pb ve Cd için sırasıyla %66, %52, %57, %51 ve %77 giderim verimleri elde edilmiştir (Şekil 4.17, Tablo 4.20).

Tablo 4.20. Çeşitli katı:sıvı oranları için elde edilen sonuçlar (t=1 saat.; pH≤1)

Katı:sıvı oranı (g/mL)	Komposttan ağır metal giderimi (mg/kg-kuru kompost)					Komposttan ağır metal giderimi (%)					Eks.sonra pH
	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	
1:2.5 (0.4)	140.53 ±2.15	26.3 ±2.11	433.43 ±10.01	33.36 ±2.13	0.28 ±0.004	32 ±2.0	31.5 ±2.42	48 ±1.57	22 ±2.11	40 ±1.02	2
1:5 (0.2)	146.83 ±2.21	28.59 ±2.12	446.77 ±10.11	47.37 ±2.33	0.31 ±0.005	33 ±2.62	34 ±2.13	49 ±1.65	31 ±1.11	45 ±2.42	2
1:6 (0.166)	241.02 ±1.02	30.26 ±2.12	480.05 ±10.02	52.04 ±1.54	0.35 ±0.007	55 ±1.54	36 ±2.44	53 ±1.24	34 ±2.12	51 ±1.12	2
1:10 (0.1)	247.61 ±1.43	41.28 ±1.16	490.04 ±9.0	72.65 ±1.25	0.53 ±0.03	56 ±1.22	50 ±1.028	54 ±1.34	48 ±2.52	76 ±2.08	1
1:12.5 (0.08)	290.62 ±1.51	43.05 ±2.0	519.26 ±9.68	77.13 ±1.06	0.54 ±0.04	66 ±2.00	52 ±1.28	57 ±1.54	51 ±1.11	77 ±2.54	1
1:25 (0.04)	317.04 ±10.01	64.82 ±3.11	811.45 ±11.08	79.41 ±1.26	0.59 ±0.05	72 ±2.15	78 ±2.56	89 ±3.06	52 ±1.28	85 ±3.06	1
1:50 (0.02)	321.44 ±12.11	78.81 ±3.21	816.5 ±11.53	85.92 ±2.33	0.68 ±0.06	73 ±2.08	95 ±1.16	90 ±3.06	57 ±1.48	98 ±0.06	1
1:75 (0.0133)	321.45 ±12.11	79.02 ±3.01	905.6 ±2.07	105.86 ±2.53	0.68 ±0.07	73 ±2.0	95 ±1.15	98 ±1.06	70 ±2.08	99 ±0.18	1

±SD (standart sapma)

#### 4.6.4. Melas Hidrolizati ile Yapılan Sürekli Sistem Deneyleri

Kesikli deneyler sonucunda, komposttan ağır metallerin gideriminde en yüksek ağır metal giderim veriminin temas süresi 60 dakika (1 saat) ve katı:sıvı oranı 1:12.5 g/mL olduğunda elde edildiği tespit edilmiştir. Bu durumda kolona 100 mL (33.530 gr) kompost doldurulmuş ve 420 mL melas hidrolizati çözeltisi 1 saat süresince, 1.66 mL/dak debi ile geçirilmiştir. Ekstraksiyon sonrası çözelti (melas hidrolizati) pH'ı 2 olarak ölçülmüştür. 1 saatlik temas süresi (1.66 mL/dak. debi) ve 1:12.5 g/mL katı:sıvı oranı ile melas hidrolizati kullanılarak yapılan kolon çalışmalarında Cd hariç diğer metallerde istenilen giderim verimleri elde edilememiştir. Bu nedenle temas süresi arttırılmış ve 3 saat'lik temas süresinde (0.55 mL/dak. debi) ve 1:12.5 g/mL katı:sıvı oranı için kolon çalışmaları yapılmıştır. Ekstraksiyon sonrası çözelti pH'ı 1 olarak ölçülmüştür. 3 saatlik temas süresi (0.55 mL/dak. debi) ve 1:12.5 g/mL katı:sıvı oranı ile melas hidrolizati kullanılarak yapılan kolon çalışmalarında hedeflenen giderim verimlerine (Cu %66, Ni %40, Zn %56 ) ulaşıldığı görülmüştür. Çalışmalar sonucunda Cu için %91, Ni için %86, Zn için %99, Pb için %61 ve Cd için %99 giderim verimleri elde edilmiştir. Ancak daha az çözelti kullanılması amacıyla katı:sıvı oranı arttırılmış, temas süresi 3 saat ve 1:10 g/mL katı:sıvı oranı için kolon çalışmaları yapılmıştır. Fakat istenen ağır metal giderim verimlerinin sağlanamadığı görülmüştür. Ekstraksiyon sonrası çözelti pH'ı 1 olarak ölçülmüştür. Melas hidrolizati ile kolonda yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 4.21'de gösterilmiştir. Melas hidrolizatının kullanıldığı kolon deneylerinde 3 saatlik temas süresi (0.55 mL/dak. debi) ve 1:12.5 g/mL katı:sıvı oranının kullanılmasının ağır metal giderimi için uygun şartları sağladığı tespit edilmiştir.

Kapasite eğrilerinin çizilmesi için 1:12.5 g/mL katı:sıvı oranında 0.55 mL/dak. debi ile (33.58 gram kompost, 400 mL melas hidrolizati, 3 saatlik temas süresi kullanılarak) çalışılmıştır. Çalışma esnasında 40'ar mL numune hacimleri toplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.22'de verilmiştir. Şekil 4.18'de melas hidrolizati için kolonda elde edilen kapasite eğrileri gösterilmiştir. Şekil 4.19'da ise, melas hidrolizati kullanıldığında kolonda zamana bağlı olarak elde edilen giderim verimleri grafik halinde sunulmuştur.

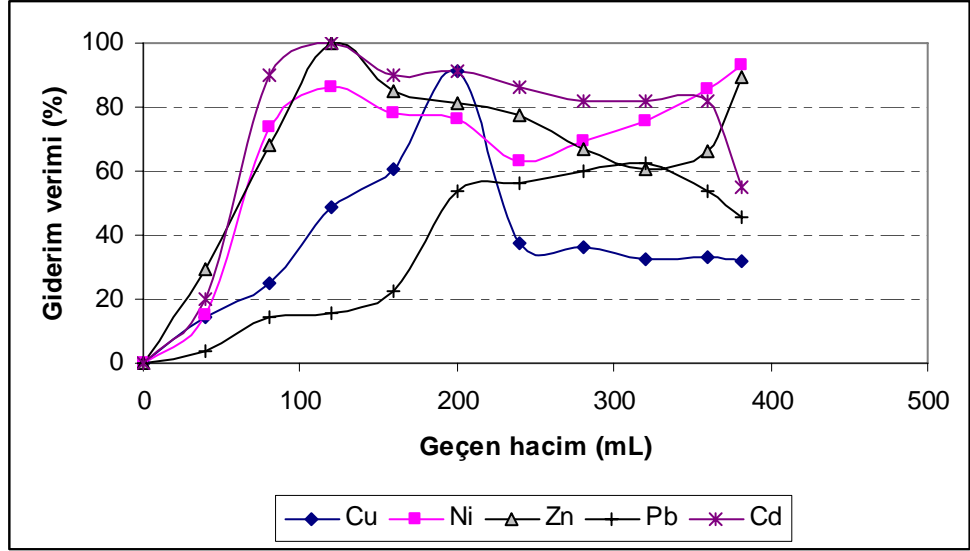
Kapasite eğrileri incelendiğinde, melas hidrolizatının öncelikle Cd, Zn ve Ni’i tuttuğu, sonra Cu ve Pb üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Cu için hedeflenen %66’lık giderim veriminden daha yüksek bir verimin (%91.17) 200 mL çözelti hacmi geçirildiğinde (90 dakikalık temas süresinde) elde edildiği görülmüştür (Tablo 4.22, Şekil 4.18). Zn için hedeflenen %56’lık giderim veriminin çok üzerinde bir verimin (%100) ise 120 mL çözelti hacmi geçirildiğinde (54 dakikalık temas süresinde) elde edildiği görülmüştür. Cd için en yüksek giderim veriminin ( $\approx$  %100) 120 mL çözelti hacmi geçirildiğinde (54 dakikalık temas süresinde) elde edildiği görülmüştür. Ni için hedeflenen %40’lık giderim veriminin yaklaşık iki katı verimin (%86.23) 120 mL çözelti hacmi geçirildiğinde (54 dakikalık temas süresinde) elde edildiği görülmüştür (Tablo 4.22, Şekil 4.18). pH değerlerinin kolon çalışması esnasında değişimi incelendiğinde ekstraksiyondan önce  $\approx$ 1 olan pH değerinin, çözelti kolondan geçtikçe arttığı, 240 mL çözelti geçirildiğinde (108 dakikalık temas süresi) pH’nın 3’e ulaştığı, daha sonra ise azalarak pH 1’e düştüğü görülmüştür (Tablo 4.22, Şekil 4.19).

Melas hidrolizatı ile yapılan kapasite deneylerinde 1:12.5 g/mL katı:sıvı oranında 200 mL çözelti hacmi 90 dakika temas süresinde geçirildiğinde hedeflenenin üzerinde (Cu, Ni, Zn, Pb ve Cd için sırasıyla %91, %76, %82, %54 ve %91) ağır metal giderim verimlerinin elde edildiği tespit edilmiştir.

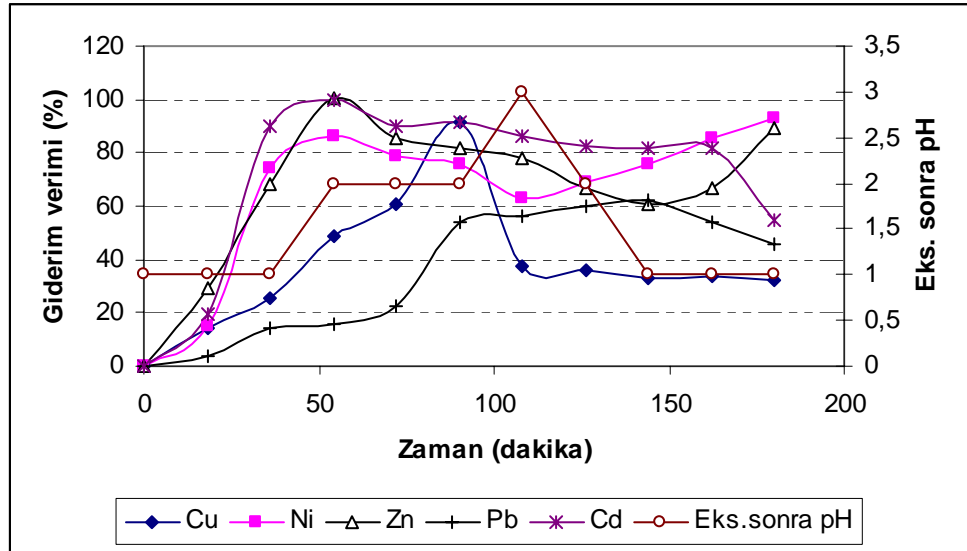
Tablo 4.21. Melas hidrolizatının kullanıldığı kolon deneylerinde elde edilen sonuçlar

Kolon şartları	Komposttan ağır metal giderimi (mg/kg-kuru kompost)					Komposttan ağır metal giderimi (%)				
	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd
1 saatlik temas süresi (1.66 mL/dak. debi), 1:12.5 g/mL katı:sıvı oranı	161 ±2.15	27.83 ±2.52	450 ±10.12	67.03 ±10.12	0.692 ±0.005	37 ±2.44	33 ±2.62	50 ±1.24	44 ±2.24	99 ±0.028
3 saatlik temas süresi (0.55 mL/dak. debi), 1:10 g/mL katı:sıvı oranı	193.45 ±2.17	34.75 ±2.12	457.89 ±10.12	97.53 ±2.01	0.537 ±0.038	44 ±1.57	42 ±1.57	51 ±1.24	64 ±1.82	77 ±2.54
3 saatlik temas süresi (0.55 mL/dak. debi), 1:12.5 g/mL katı:sıvı oranı	404.92 ±10.01	71.86 ±3.21	906.90 ±2.08	92.30 ±1.47	0.683 ±0.068	91 ±2.5	86 ±1.336	99 ±0.29	61 ±0.16	99 ±0.18

±SD (standart sapma)



Şekil 4.18. Melas hidrolizati kullanıldığında elde edilen kapasite eğrileri



Şekil 4.19. Melas hidrolizati kullanıldığında zamana bağlı olarak elde edilen eğriler

Tablo. 4.22. Kapasite eğrileri için melas hidrolizati kullanılarak gerçekleştirilen kolon deneylerinde elde edilen giderim verimleri (%)

Kümülatif numune hacmi (mL)	Kümülatif süre (dakika)	Komposttan ağır metal giderimi (mg/kg-kuru kompost)					Komposttan ağır metal giderimi (%)					Eks.sonra pH
		Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
40	18	64.14	12.65	267.79	5.75	0.14	14.58	15.20	29.51	3.79	19.87	1
80	36	111.28	61.60	620.36	21.44	0.63	25.29	74.02	68.36	14.12	90.22	1
120	54	215.51	71.76	909.71	24.02	0.69	48.98	86.23	100.0	15.82	99.88	2
160	72	267.12	65.24	773.83	33.83	0.63	60.71	78.40	85.27	22.29	90.22	2
200	90	401.16	63.34	739.20	81.68	0.63	91.17	76.11	81.45	53.81	91.29	2
240	108	164.04	52.73	705.94	85.23	0.60	37.28	63.36	77.79	56.15	86.46	3
280	126	158.32	57.61	608.65	90.85	0.57	35.98	69.23	67.07	59.85	82.16	2
320	144	144.08	62.76	550.28	94.53	0.57	32.75	75.41	60.64	62.27	82.06	1
360	162	146.97	71.18	603.80	81.94	0.57	33.40	85.53	66.54	53.98	81.63	1
382	180	140.34	77.37	811.10	69.06	0.38	31.90	92.97	89.38	45.50	54.77	1

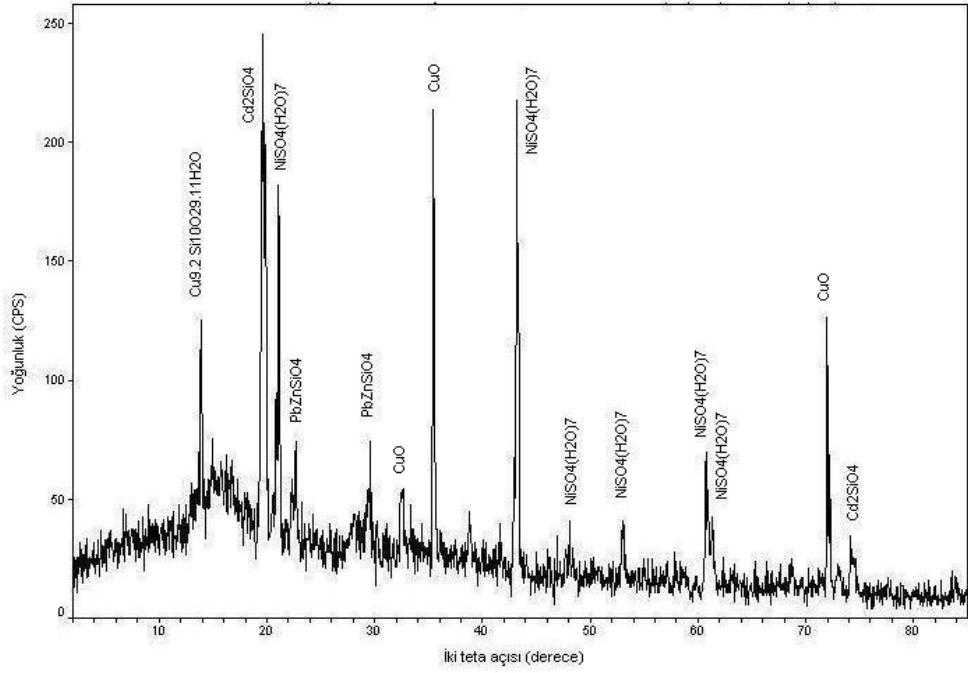
#### **4.7. ÇEŞİTLİ EKSTRAKSİYON ÇÖZELTİLERİ İLE İŞLEM GÖREN KOMPOSTUN pH'SININ UYGUN pH'YA GETİRİLMESİ**

Komposttan ağır metallerin giderilmesi için yapılan çalışmalarda, ekstraksiyon işleminde 0.05 M Na<sub>2</sub>EDTA, 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA + 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ve melas hidrolizati kullanılmıştır. Bu çözeltiler ile kompostun yıkanması sonucunda çözeltilerin pH'larının sırasıyla 5, 6, 7 ve 1 olduğu görülmüştür. Bu çözeltiler ile ekstraksiyon sonrasında kompostun pH'ının kompost standartlarında belirtilen değere (pH 8'e) getirilmesi amacıyla, numuneler çeşitli konsantrasyonlardaki Ca(OH)<sub>2</sub> çözeltileri ile yıkanmıştır. 0.05 M Na<sub>2</sub>EDTA çözeltisi ile işlem görmüş olan kompost numuneleri 1:3 katı:sıvı oranında 0.01 M Ca(OH)<sub>2</sub> çözeltisi ile, 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> çözeltisi ile işlem görmüş olan kompost numuneleri 1:3 katı:sıvı oranında 0.01 M Ca(OH)<sub>2</sub> çözeltisi ile, 0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA ve 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti ile işlem görmüş olan kompost numuneleri 1:2.5 katı:sıvı oranında 0.01 M Ca(OH)<sub>2</sub> çözeltisi ile ve melas hidrolizati ile işlem görmüş kompost numuneleri ise 1:6 katı:sıvı oranında 2 M Ca(OH)<sub>2</sub> çözeltisi ile yıkanmıştır.

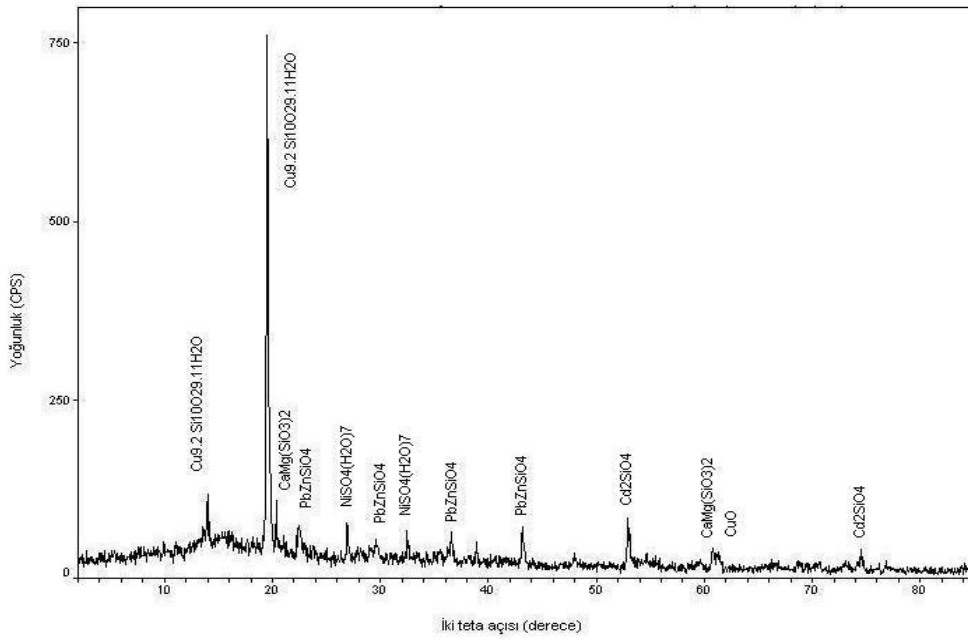
#### **4.8. KOMPOST NUMUNELERİNE AİT XRD ANALİZLERİ**

Ekstraksiyon işlemi sonrasında, kompost numuneleri içerisinde kalan ağır metal bileşiklerinin türlerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen XRD spektrumları Şekil 4.20, 4.21, 4.22, 4.23, 4.24, 4.25, 4.26 ve 4.27'de gösterilmiştir ve Tablo 4.23'de XRD sonuçları sunulmuştur.

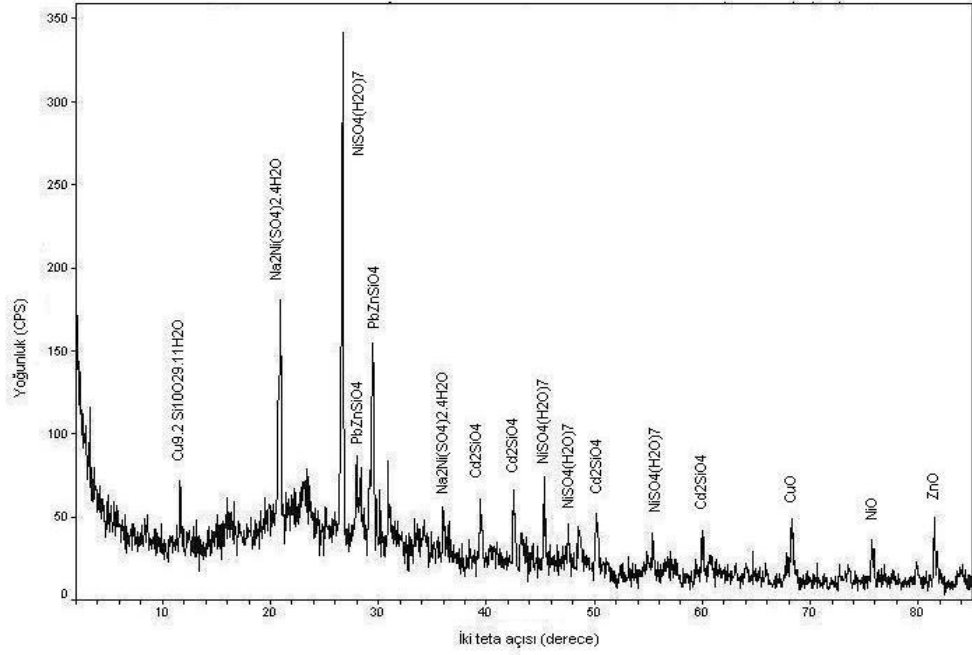




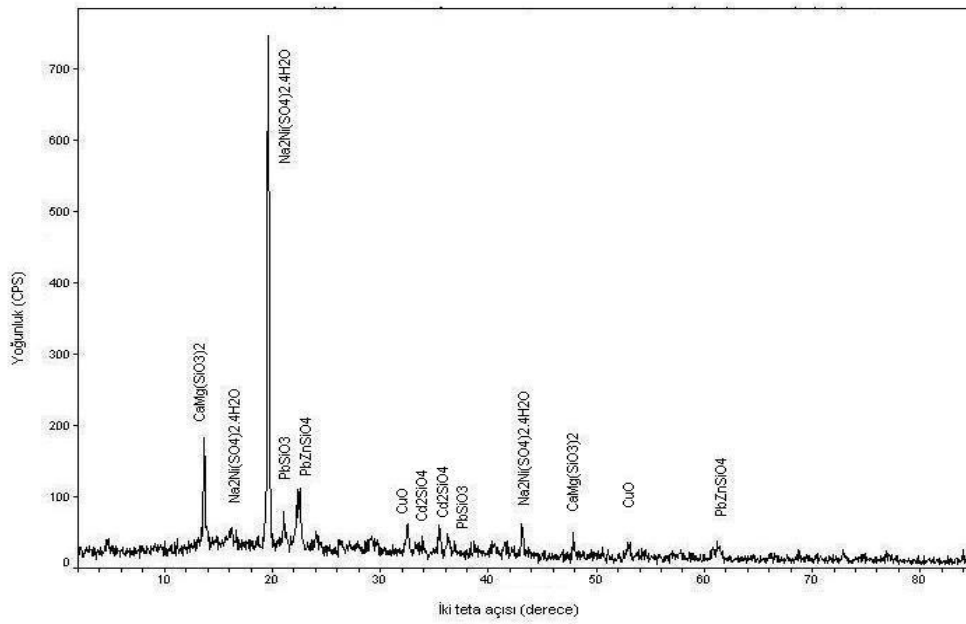
Şekil 4.20. 0.05 M Na<sub>2</sub>EDTA çözeltisi ile ekstrakte edilmiş kompost numunelerine ait XRD spektrumu



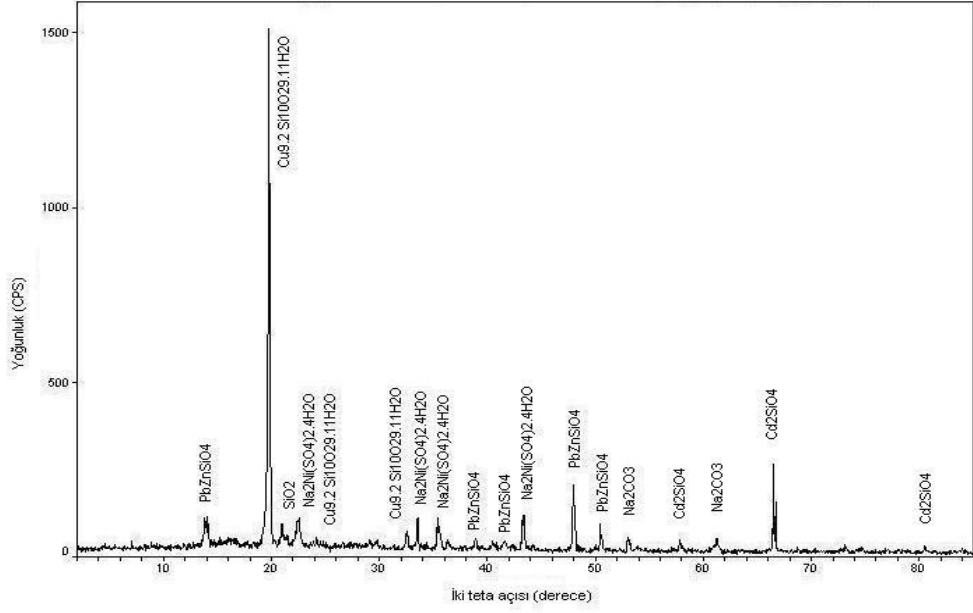
Şekil 4.21. 0.05 M Na<sub>2</sub>EDTA çözeltisi ile ekstrakte edilmiş kompost numunelerinin Ca(OH)<sub>2</sub> ile yıkandıktan sonraki XRD spektrumu



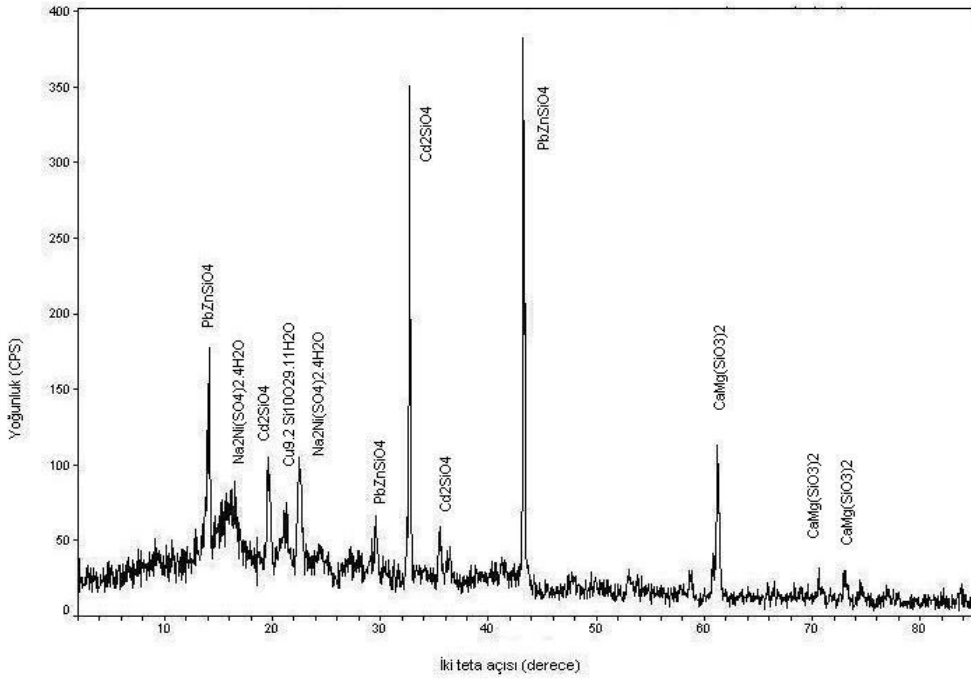
Şekil 4.22. 0.1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  çözeltilisi ile ekstrakte edilmiş kompost numunelerine ait XRD spektrumu



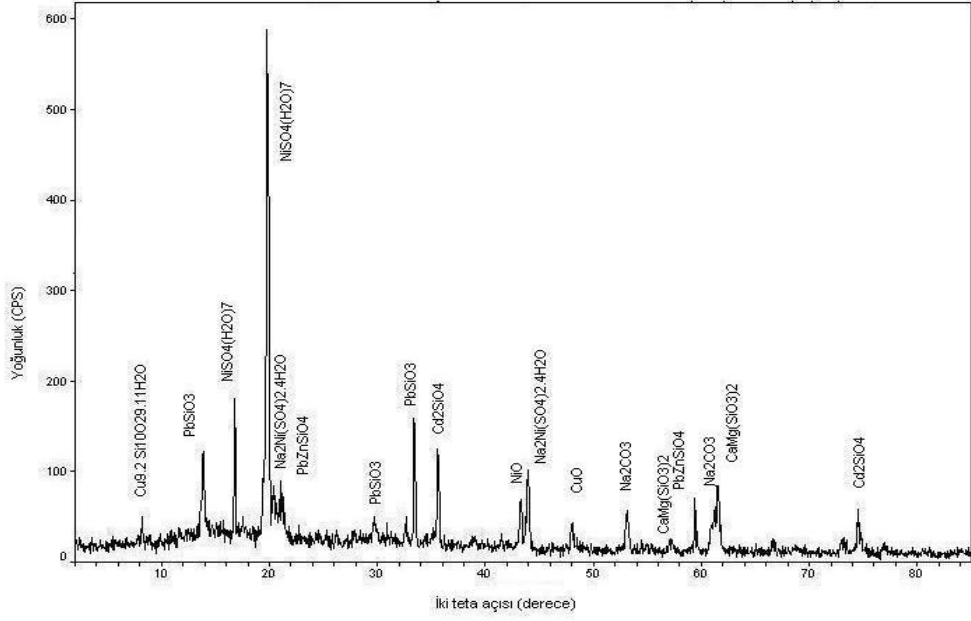
Şekil 4.23. 0.1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  çözeltilisi ile ekstrakte edilmiş kompost numunelerinin  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ile yıkandıktan sonraki XRD spektrumu



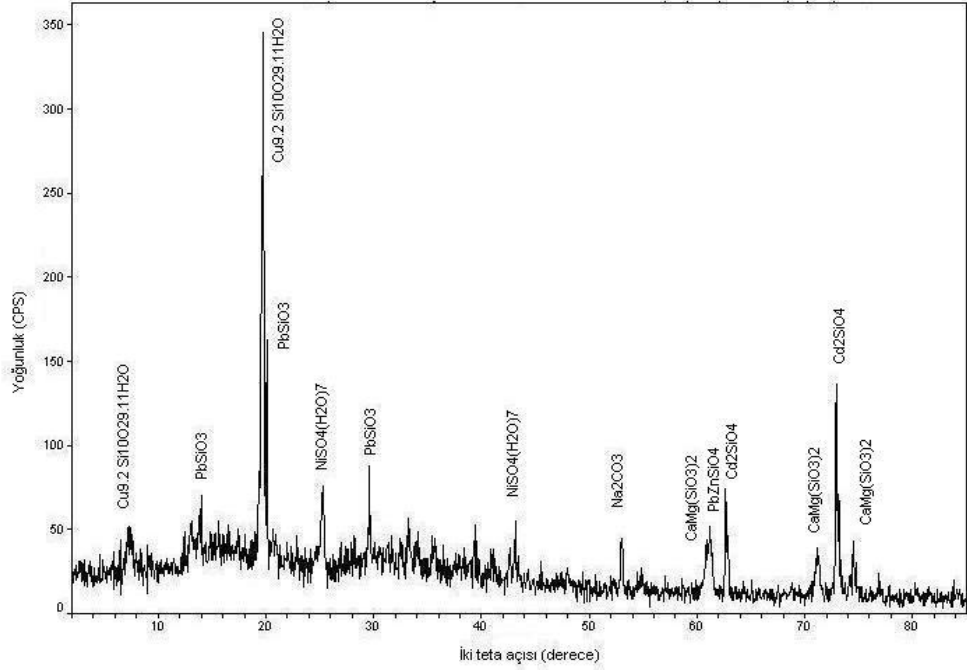
Şekil 4.24. 0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA ve 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompost numunelerine ait XRD spektrumu



Şekil 4.25. 0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA ve 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompost numunelerinin Ca(OH)<sub>2</sub> ile yıkandıktan sonraki XRD spektrumu



Şekil 4.26. Melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş kompost numunelerine ait XRD spektrumu



Şekil 4.27. Melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş kompost numunelerinin  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ile yıkandıktan sonraki XRD spektrumu

Tablo 4.23. Çeşitli çözeltiler ile ekstrakte edilmiş kompost numunelerinin ve ekstraksiyon sonrası  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ile yıkanmış kompost numunelerinin XRD analiz sonuçları

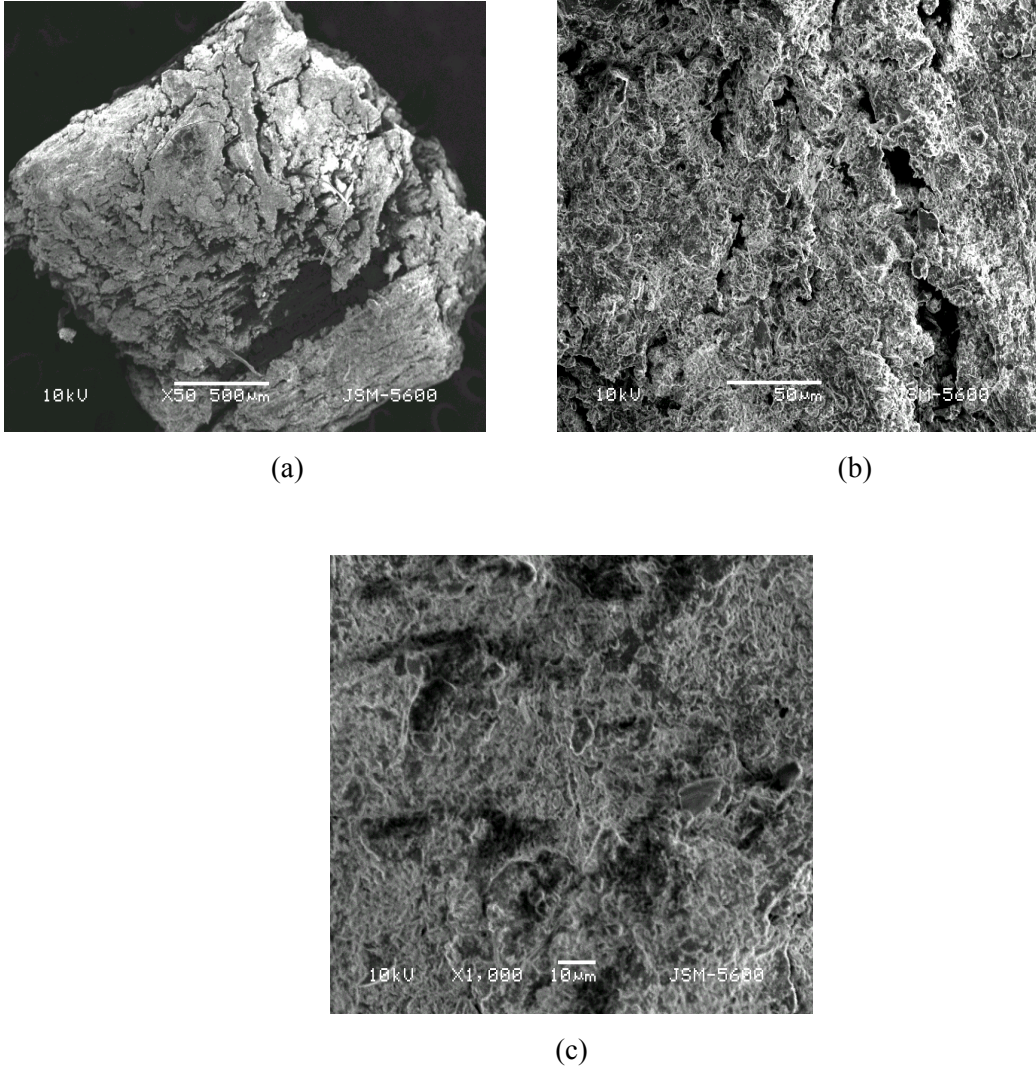
Kullanılan Ekstraksiyon Çözeltisi	Kompost numunelerinde tespit edilen bileşikler
0.05 M $\text{Na}_2\text{EDTA}$ ile ekstrakte edilmiş kompost numunesi	$\text{Cu}_9.2\text{Si}_{10}\text{O}_{29}.11\text{H}_2\text{O}$ , $\text{Cd}_2\text{SiO}_4$ , $\text{NiSO}_4(\text{H}_2\text{O})_7$ , $\text{PbZnSiO}_4$ , $\text{CuO}$
0.05 M $\text{Na}_2\text{EDTA}$ ile ekstrakte edilmiş ve ardından $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile yıkanmış kompost numunesi	$\text{Cu}_9.2\text{Si}_{10}\text{O}_{29}.11\text{H}_2\text{O}$ , $\text{Cd}_2\text{SiO}_4$ , $\text{NiSO}_4(\text{H}_2\text{O})_7$ , $\text{PbZnSiO}_4$ , $\text{CuO}$ , $\text{CaMg}(\text{SiO}_3)_2$
0.1 M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ile ekstrakte edilmiş kompost numunesi	$\text{Cu}_9.2\text{Si}_{10}\text{O}_{29}.11\text{H}_2\text{O}$ , $\text{Cd}_2\text{SiO}_4$ , $\text{NiSO}_4(\text{H}_2\text{O})_7$ , $\text{PbZnSiO}_4$ , $\text{CuO}$ , $\text{Na}_2\text{Ni}(\text{SO}_4)_2.4\text{H}_2\text{O}$ , $\text{NiO}$ , $\text{ZnO}$
0.1 M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ile ekstrakte edilmiş ve ardından $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile yıkanmış kompost numunesi	$\text{Cd}_2\text{SiO}_4$ , $\text{PbZnSiO}_4$ , $\text{CuO}$ , $\text{Na}_2\text{Ni}(\text{SO}_4)_2.4\text{H}_2\text{O}$ , $\text{PbSiO}_3$ , $\text{CaMg}(\text{SiO}_3)_2$
0.01 M $\text{Na}_2\text{EDTA}$ ve 0.1 M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompost numunesi	$\text{Cu}_9.2\text{Si}_{10}\text{O}_{29}.11\text{H}_2\text{O}$ , $\text{Cd}_2\text{SiO}_4$ , $\text{PbZnSiO}_4$ , $\text{Na}_2\text{Ni}(\text{SO}_4)_2.4\text{H}_2\text{O}$ , $\text{SiO}_2$ , $\text{Na}_2\text{CO}_3$
0.01 M $\text{Na}_2\text{EDTA}$ , 0.1 M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş ve ardından $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile yıkanmış kompost numunesi	$\text{Cu}_9.2\text{Si}_{10}\text{O}_{29}.11\text{H}_2\text{O}$ , $\text{Cd}_2\text{SiO}_4$ , $\text{PbZnSiO}_4$ , $\text{Na}_2\text{Ni}(\text{SO}_4)_2.4\text{H}_2\text{O}$ , $\text{CaMg}(\text{SiO}_3)_2$
Melas Hidrolizati ile ekstrakte edilmiş kompost numunesi	$\text{Cu}_9.2\text{Si}_{10}\text{O}_{29}.11\text{H}_2\text{O}$ , $\text{Cd}_2\text{SiO}_4$ , $\text{NiSO}_4(\text{H}_2\text{O})_7$ , $\text{PbZnSiO}_4$ , $\text{CuO}$ , $\text{Na}_2\text{Ni}(\text{SO}_4)_2.4\text{H}_2\text{O}$ , $\text{NiO}$ , $\text{PbSiO}_3$ , $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , $\text{CaMg}(\text{SiO}_3)_2$
Melas Hidrolizati ile ekstrakte edilmiş ve ardından $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile yıkanmış kompost numunesi	$\text{Cu}_9.2\text{Si}_{10}\text{O}_{29}.11\text{H}_2\text{O}$ , $\text{Cd}_2\text{SiO}_4$ , $\text{NiSO}_4(\text{H}_2\text{O})_7$ , $\text{PbZnSiO}_4$ , $\text{PbSiO}_3$ , $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , $\text{CaMg}(\text{SiO}_3)_2$

Deneysel çalışmalarda kullanılan ekstraksiyon çözeltileri ile gerçekleştirilen ekstraksiyon işlemi ve  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ile muamele sonrasında elde edilen kompost numunelerinin XRD analiz sonuçları, başlangıçta (ekstrakte edilmemiş kompost numunelerinde) indirgenebilir oksitler ve karbonatlar halinde olan metal bileşiklerinin (Tablo 4.2 ve Tablo 4.3), ekstraksiyon sonrasında genellikle silisyum oksitler formuna

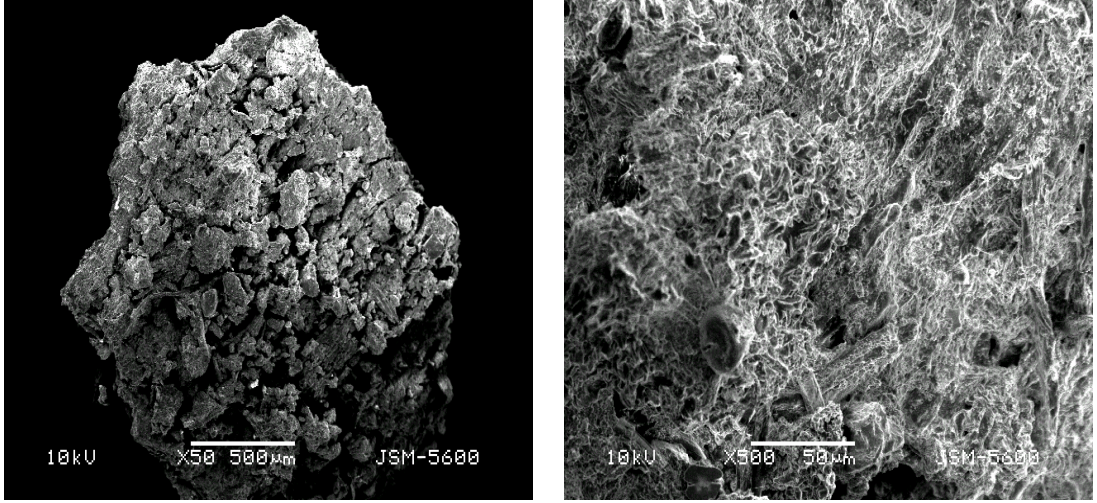
dönüşüklerini ortaya çıkarmıştır (Tablo 4.23). Literatürde, silisyum oksitli (SiO içeren) bileşikler kalıntı olarak tanımlanan ve ekstraksiyon yöntemi ile ortamdan alınamayan metal formları olarak belirtilmiştir (Peters, 1999; Mulligan ve diğ., 2001). Ayrıca, deneylerde kullanılan bütün çözeltiler için ekstraksiyondan sonra kompostta kalan Ni'in  $SO_4^{2-}$ (sülfat)'lı bileşikler haline dönüştüğü, ve  $Ca(OH)_2$  ile muamele edildikten sonra ise kompost numuneleri içerisinde  $CaMg(SiO_3)$  bileşiklerinin oluştuğu görülmüştür (Tablo 4.23).

#### **4.9. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOPU (SEM) ANALİZLERİ**

Taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile kompostun ekstraksiyon öncesindeki SEM fotoğrafları, 0.05 M  $Na_2EDTA$  çözeltisi, 0.1 M  $Na_2S_2O_5$  çözeltisi, 0.01 M  $Na_2EDTA+0.1$  M  $Na_2S_2O_5$  içeren çözelti ve melas hidrolizati ile ekstrakte edildikten sonra ve ekstraksiyondan sonra  $Ca(OH)_2$  ile muamele edildikten sonra SEM fotoğrafları çekilmiştir. Kompostun morfolojik yapısının belirlenmesi için SEM ile elde edilen görüntüler Şekil 4.28, 4.29, 4.30, 4.31, 4.32, 4.33, 4.34, 4.35 ve 4.36'da sunulmuştur.

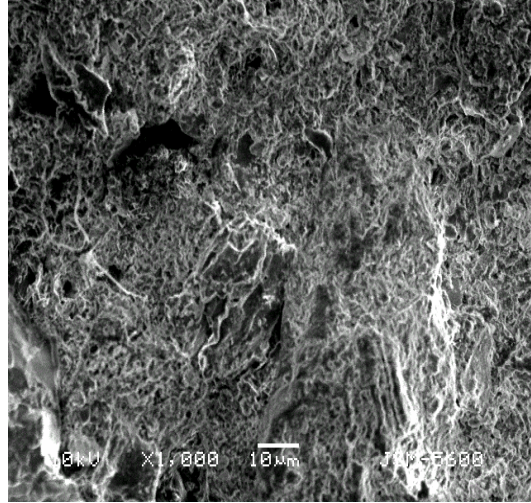


Şekil 4.28. Kompost numunesinin ekstraksiyondan önceki SEM fotoğrafları; (a) 50 kat büyütme, (b) 500 kat büyütme, (c) 1000 kat büyütme



(a)

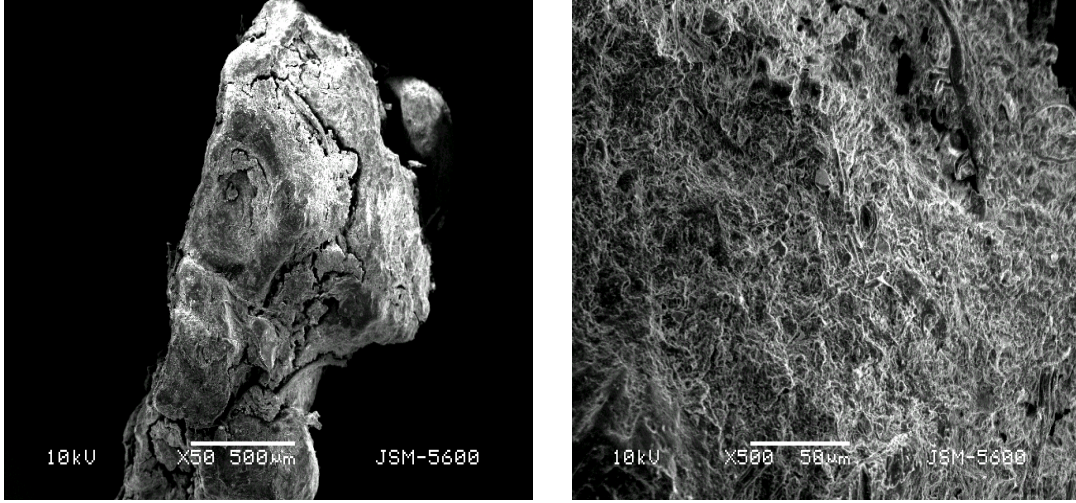
(b)



(c)

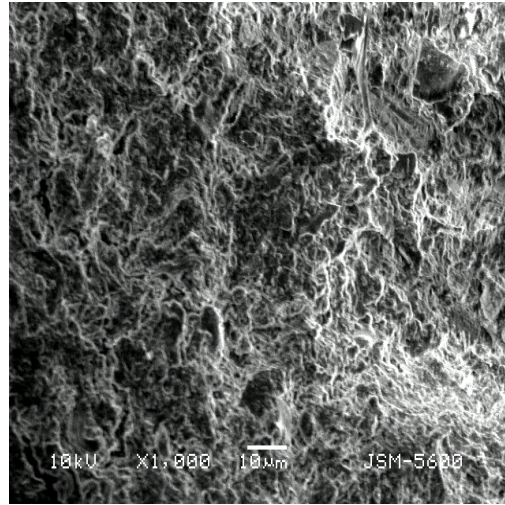
Şekil 4.29. 0.05 M Na<sub>2</sub>EDTA çözeltisi ile ekstraksiyondan sonra kompost numunesinin SEM fotoğrafları; (a) 50 kat büyütme, (b) 500 kat büyütme, (c) 1000 kat büyütme





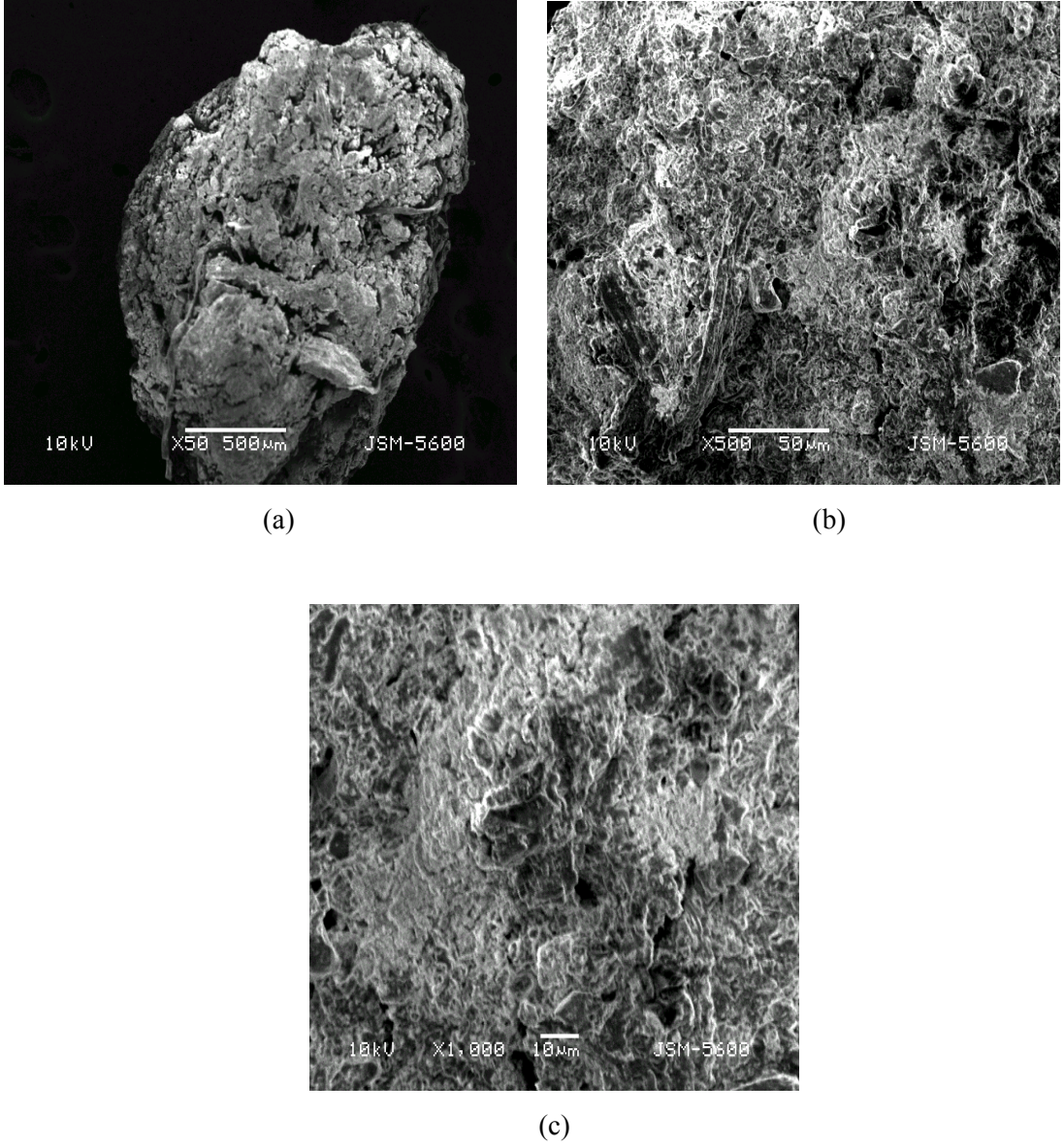
(a)

(b)

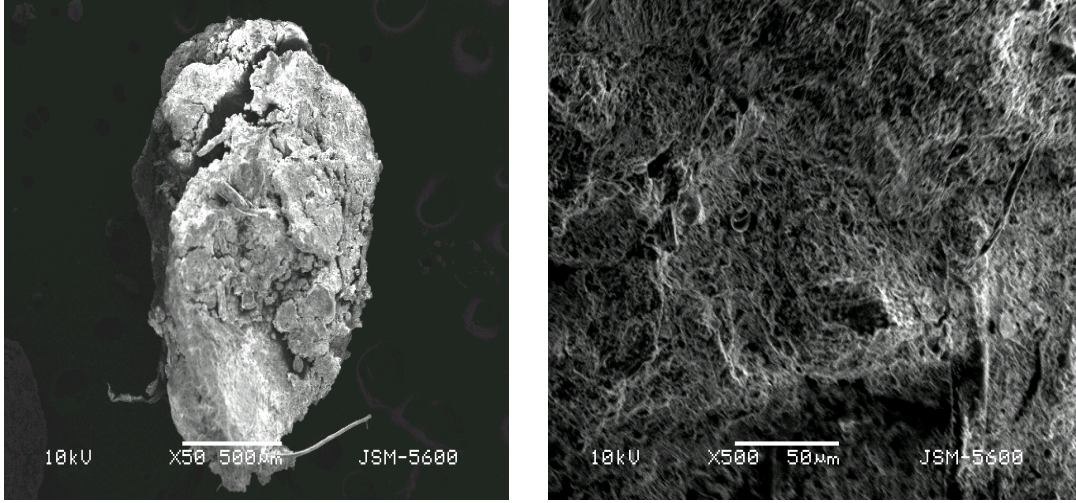


(c)

Şekil 4.30. 0.05 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  çözeltisi ile ekstrakte edildikten sonra  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ile muamele edilmiş kompost numunesinin SEM fotoğrafları; (a) 50 kat büyütme, (b) 500 kat büyütme, (c) 1000 kat büyütme

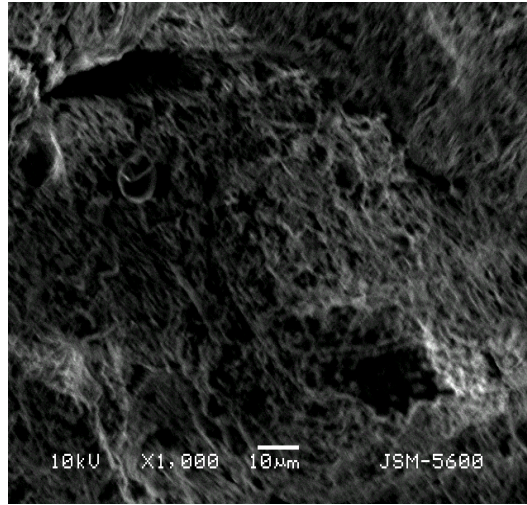


Şekil 4.31. 0.1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  çözeltisi ile ekstrakte edilmiş kompost numunesinin SEM fotoğrafları; (a) 50 kat büyütme, (b) 500 kat büyütme, (c) 1000 kat büyütme



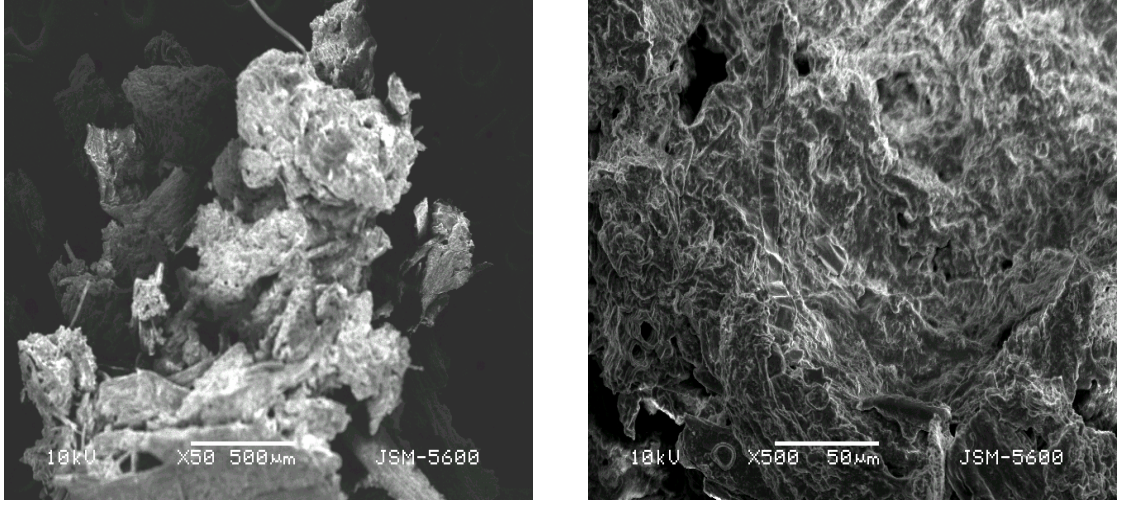
(a)

(b)



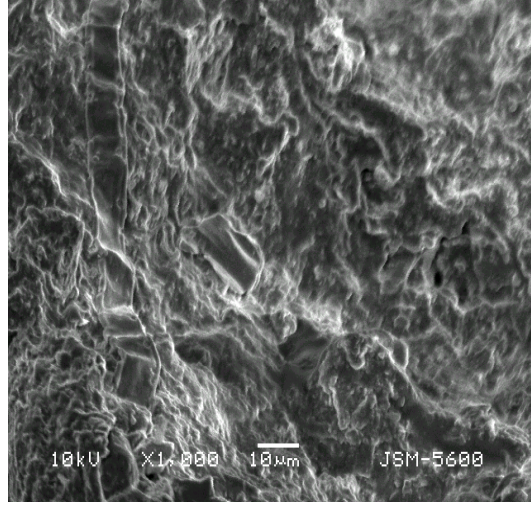
(c)

Şekil 4.32. 0.1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  çözeltisi ile ekstrakte edilmiş ve  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ile muamele edilmiş kompost numunesinin SEM fotoğrafları; (a) 50 kat büyütme, (b) 500 kat büyütme, (c) 1000 kat büyütme



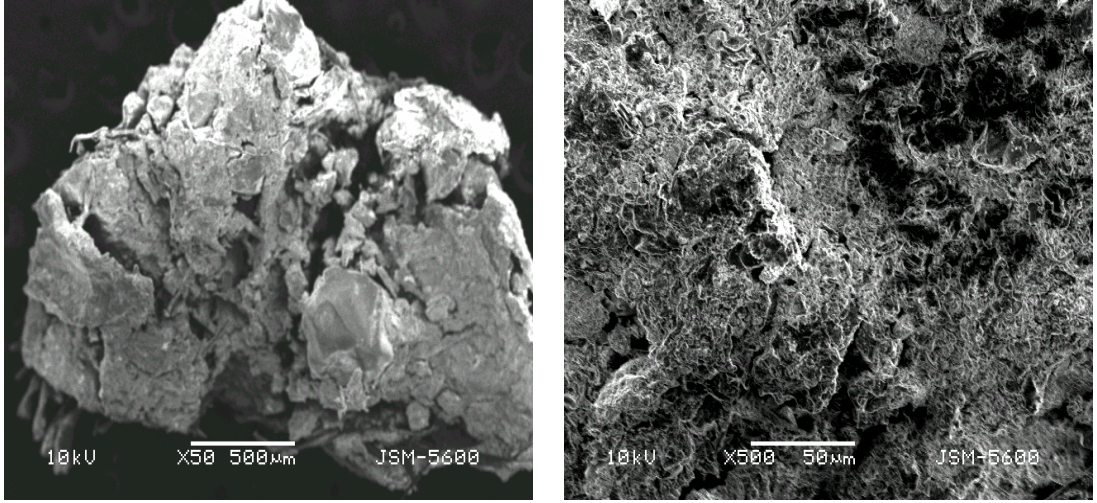
(a)

(b)



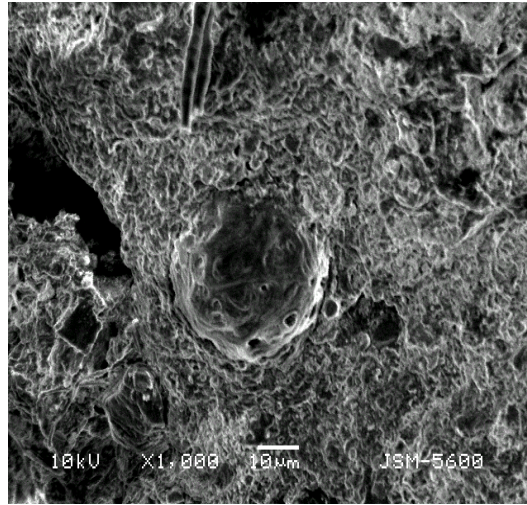
(c)

Şekil 4.33. 0.01 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  + 0.1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompost numunesinin SEM fotoğrafları; (a) 50 kat büyütme, (b) 500 kat büyütme, (c) 1000 kat büyütme



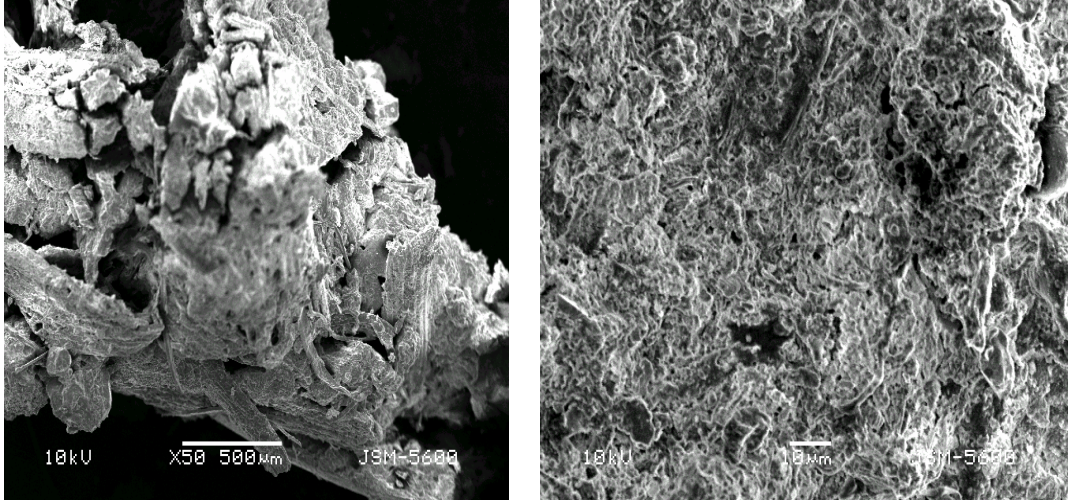
(a)

(b)



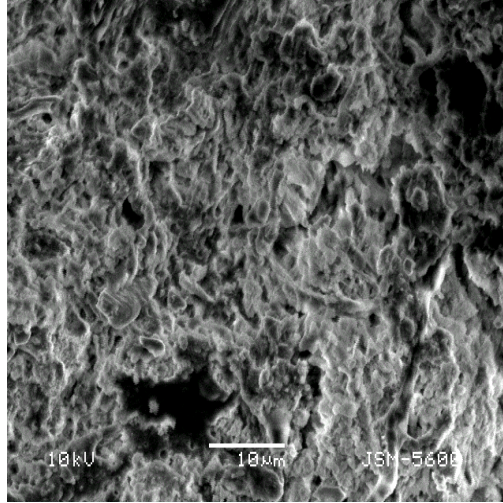
(c)

Şekil 4.34. 0.01 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$ +0.1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş ve  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ile muamele edilmiş kompost numunesinin SEM fotoğrafları; (a) 50 kat büyütme, (b) 500 kat büyütme, (c) 1000 kat büyütme



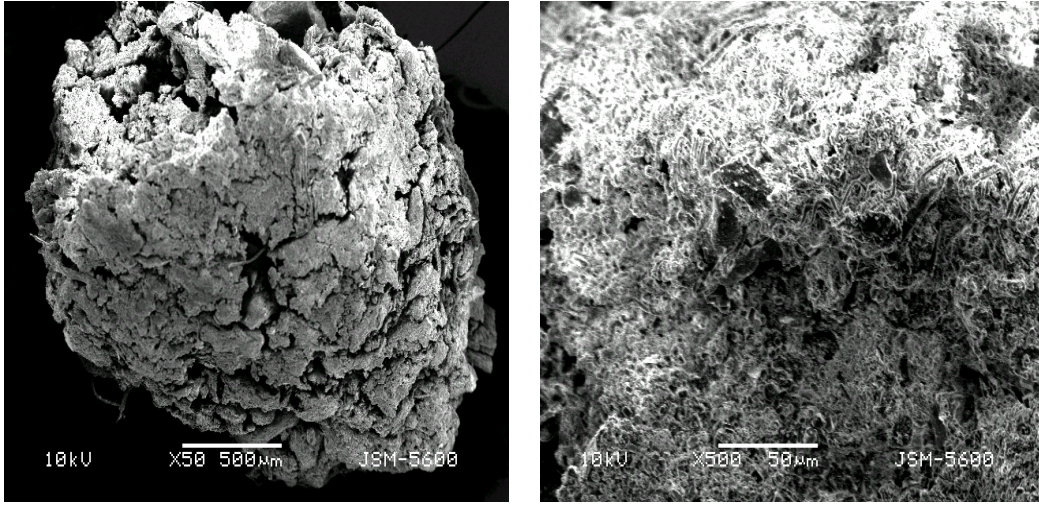
(a)

(b)



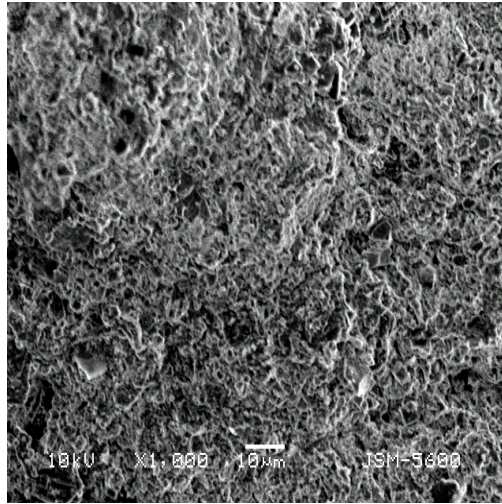
(c)

Şekil 4.35. Melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş kompost numunesinin SEM fotoğrafları; (a) 50 kat büyütme, (b) 500 kat büyütme, (c) 1000 kat büyütme



(a)

(b)



(c)

Şekil 4.36. Melas hidrolizatı ile ekstrakte edilmiş ve  $\text{Ca(OH)}_2$  ile muamele görmüş kompost numunesinin SEM fotoğrafları; (a) 50 kat büyütme, (b) 500 kat büyütme, (c) 1000 kat büyütme

SEM ile yapılan incelemelerde, ekstraksiyon öncesi ve sonrasında alınan SEM fotoğrafları karşılaştırıldığında ( $\text{Ca(OH)}_2$  ile yıkanmış numuneler için de geçerli olmak üzere) yüzeysel görünüşleri açısından önemli bir fark olmadığı görülmüştür.  $\text{Ca(OH)}_2$  ile işlem görmüş numunelere ait bazı fotoğraflarda ise, yüzeyde bazı kısımlarda beyaz bölgeler gözlenmiştir ve bunun da kullanılan  $\text{Ca(OH)}_2$ 'den kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Şekil 4.34 ve 4.36).

#### 4.10. FTIR SPEKTROMETRESİ İLE ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Fourier Transform Infrared Spektrophotometer (FTIR) ile; ekstrakte edilmemiş kompost, 0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA ve 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti ve melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş kompost numunelerinin yapı incelemesi yapılmıştır. Sonuçlar Şekil 4.37'de verilmiştir.

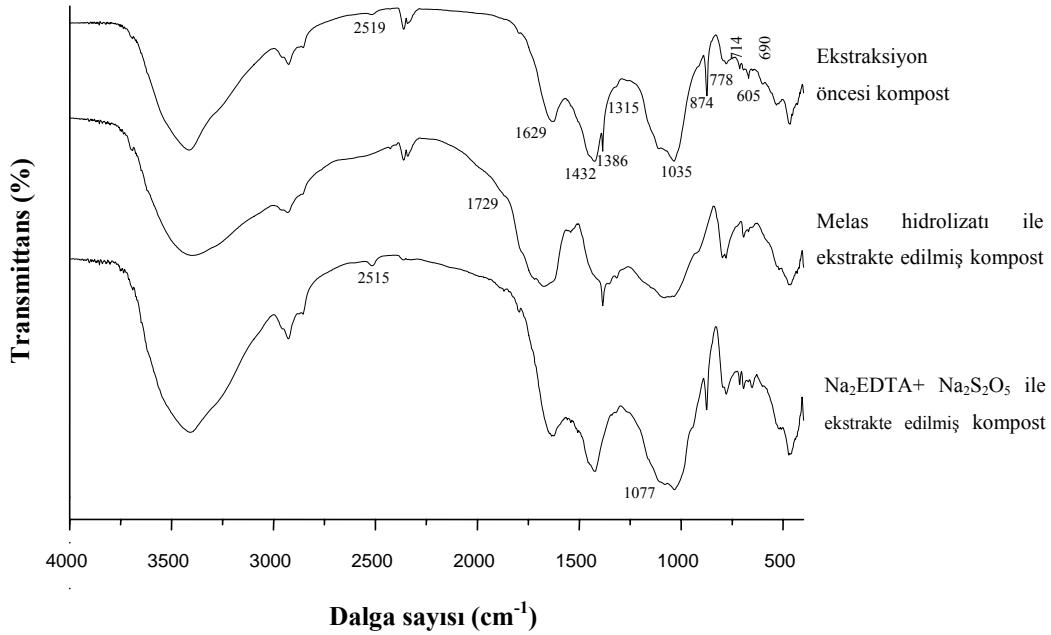
Kompostun yapısında bulunan CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> grubuna ait 2 adet pik, 1425 ve 874 cm<sup>-1</sup>, sırasıyla CO<sub>3</sub> asimetrik gerilme ve CO<sub>3</sub> düzlem dışı eğilme hareketlerinden kaynaklanmaktadır (Komadel, 1996). Yine kompost yapısında bulunan NO<sub>3</sub><sup>-</sup> gruplarına ait titreşimler, 1629 cm<sup>-1</sup>'de NO<sub>2</sub> asimetrik gerilme, ~1320 cm<sup>-1</sup>'de NO<sub>2</sub> simetrik gerilme, 875 cm<sup>-1</sup>'de N-O gerilmesi ve ~690 cm<sup>-1</sup>'de NO<sub>2</sub> gerilmesi şeklindedir. 1386 ve 1035 cm<sup>-1</sup>'deki pikler ise organik kökenli bileşenlerdeki CH<sub>2</sub> gruplarının düzlem içi eğilme ve C-O gerilmelerinden kaynaklanmaktadır (Erdik, 1993; Bellamy, 1975; Yohannan Panicker ve diğ., 2006). Kompost için yapılan TKN analizinin sonucunun %1.34 çıkması yapıda organik azot bileşiklerinin olduğunu göstermektedir ve bu sonuca bağlı olarak 2519 cm<sup>-1</sup>'de görülen pikin amin kökenli bileşiklerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kompost yapısındaki diğer pikler incelendiğinde, 778 cm<sup>-1</sup>'deki tepe SiO<sub>2</sub> gruplarının titreşimlerine, 714 cm<sup>-1</sup>'deki pik ise ZnO moleküllerinin titreşimlerine atfedilmiştir. 605 cm<sup>-1</sup>'deki pik ise Cu<sub>2</sub>O moleküllerine aittir (Bentley ve diğ., 1968).

Kompostun melas hidrolizati ile ekstrakte edilmesiyle, nitrat formundaki azot türlerinin sulu ortamda çözünerek uzaklaşmış olması, amin v.b. organik azot türlerinin ise (FTIR pikleri NO<sub>3</sub> ve diğer organik bileşiklerle çakıştığından FTIR analizlerinde kesin olarak varlığı gösterilemeyen) düşük pH'larda suda çözünür forma dönüşerek ortamdan ayrılmış olmaları nedeniyle melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş örnekte bu piklere rastlanmamıştır. Bu durum, XRD ve TKN sonuçları ile uyumludur. CO<sub>3</sub> yapısındaki türler oksit formuna dönmekte ve tuz yapıları değişmektedir. FTIR sonuçlarında da, CO<sub>3</sub> gruplarının yok olduğu 1425 ve 874 cm<sup>-1</sup> deki karakteristik piklerin kaybolmasıyla kolaylıkla izlenebilmektedir. Melas hidrolizatının organik bir yapı olmasından dolayı melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş örneğin FTIR spektrumunda 1386 cm<sup>-1</sup>'deki pikte



(CH<sub>2</sub> düzlem içi eğilme) belirgin bir şiddet (intensite) artışı izlenmiştir. Yine melas hidrolizatının yapısında bulunan C=O gruplarından kaynaklanan titreşimlerin 1729 cm<sup>-1</sup>'de bir omuz olarak oluştuğu görülmektedir. Hem Zn ve Cu türlerinin çoğunun uzaklaştırılmış olması hem de kalan maddelerin ZnO ve Cu<sub>2</sub>O yapılarının farklı tuz yapılarına dönmesinden dolayı 714 ve 605 cm<sup>-1</sup> deki pikler yok olmuştur. Silikat yapısının form değiştirmesinden dolayı 778 cm<sup>-1</sup>'de görünen pikin dalga boyu az da olsa değişmiş ve maksimumları 780 ve 797 cm<sup>-1</sup> olan ikili bir bant olarak izlenmiştir (Şekil 4.37).

Kompostun Na<sub>2</sub>EDTA ve Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti ile ekstrakte edilmesi durumunda ise 2515, 1629, 1425 ve 875 cm<sup>-1</sup> de bulunan NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> ve organik azot içeren grupların varlığından kaynaklanan piklerde intensite düşüşü dışında bir değişiklik izlenmemektedir. TKN sonuçlarına göre organik azot miktarının çok az değişmiş olması da göz önüne alındığında NO<sub>3</sub> ve organik azot içeren türlerin bu ekstraksiyon ile ortamda kaldığı fikri ağır basmaktadır. Ayrıca, 1077 cm<sup>-1</sup>'de oluşan yeni pikin yapıda kalmış kükürt türlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir ve bu durum elementel analiz sonuçları ile de uyum içindedir (Şekil 4.37).



Şekil 4.37. FTIR ile elde edilen spektrumlar

#### 4.11. BİTKİYE UYGUNLUK (FİTOTOKSİTİTE) DENEYİ SONUÇLARI

Kompost numunelerinde yapılan fiziksel ve kimyasal analizler onun sadece kalite değerleri hakkında bir ön bilgiye sahip olmamıza imkan vermektedir. Bu şekilde elde edilen sonuçlar kompostun bitki yetiştirme özelliği hakkında yeterli bilgi vermemektedir. Bu nedenle, üretilen kompostlarda bu konunun aydınlanması için, bitkiye uygunluk deneyleri de yapılmaktadır.

$\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş,  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  içeren çözelti ile ekstrakte edildikten sonra  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ile muamele edilmiş, melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş ve melas hidrolizati ile ekstraksiyondan sonra  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ile muamele edilmiş kompost numuneleri kullanılarak bitkiye uygunluk deneyleri yapılmıştır. Bitkiye uygunluk deneyleri sonunda, melas hidrolizati ile ekstraksiyonun ardından  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ile yıkanmış olan kompost numunelerinin bulunduğu saksılarda tere bitkisi tohumlarının çimlenmediği gözlenmiştir. Tere bitkilerinin gelişiminin gözlemlendiği diğer saksılarda, hasat edilen tere bitkilerinin tartım sonuçları Tablo 4.24’de verilmiştir. Bitkiye uygunluk deneyinde bitkinin yetiştirme aşamalarını gösteren fotoğraflar Şekil 4.38’de verilmiştir.



Şekil 4.38. 10 gün sonunda gelişmiş tere bitkileri

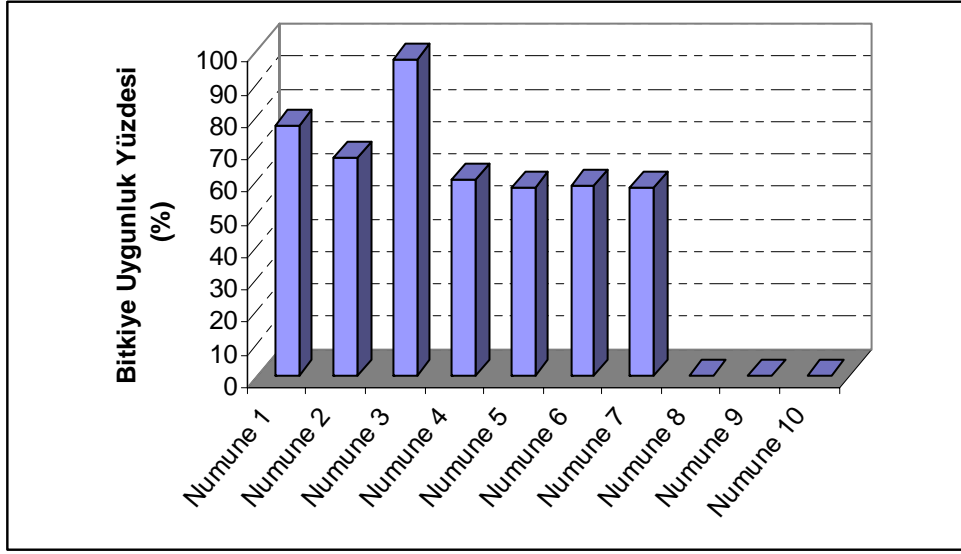
Tablo 4.24. Bitkiye uygunluk deneyleri sonucunda büyüyen tere bitkilerinin ağırlıkları

Deneyde kullanılan materyal	Tartım sonucu (g)	Ortalama (g)	Deneyde kullanılan materyal	Tartım sonucu (g)	Ortalama (g)
Toprak 1	0.1446	0.1438	Toprak 1	0.1123	0.1173
Toprak 2	0.1430		Toprak 2	0.1224	
Na <sub>2</sub> EDTA ve Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %50 (1)	0.0923	0.08716	Ekstraksiyon öncesi kompost %50 (1)	0.0860	0.07895
Na <sub>2</sub> EDTA ve Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %50 (2)	0.0846		Ekstraksiyon öncesi kompost %50 (2)	0.0719	
Na <sub>2</sub> EDTA ve Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %25 (1)	0.1408	0.13976	Ekstraksiyon öncesi kompost %25 (1)	0.0997	0.09045
Na <sub>2</sub> EDTA ve Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %25 (2)	0.1392		Ekstraksiyon öncesi kompost %25 (2)	0.0812	
Melas hidrolizatı, %50 (1)	Büyüme olmadı		Na <sub>2</sub> EDTA, Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ve Ca(OH) <sub>2</sub> , %50 (1)	0.0854	0.068
Melas hidrolizatı, %50 (2)	Büyüme olmadı		Na <sub>2</sub> EDTA, Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ve Ca(OH) <sub>2</sub> , %50 (2)	0.0506	
Melas hidrolizatı, %25 (1)	0.0607	0.08342	Na <sub>2</sub> EDTA, Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ve Ca(OH) <sub>2</sub> , %25 (1)	0.0857	0.0687
Melas hidrolizatı, %25 (2)	0.10615		Na <sub>2</sub> EDTA+Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ve Ca(OH) <sub>2</sub> , %25 (2)	0.0517	
			Melas hidrolizatı ve Ca(OH) <sub>2</sub> , %50 (1)	Büyüme olmadı	
			Melas hidrolizatı ve Ca(OH) <sub>2</sub> , %50 (2)	Büyüme olmadı	
			Melas hidrolizatı ve Ca(OH) <sub>2</sub> , %25 (1)	Büyüme olmadı	
			Melas hidrolizatı ve Ca(OH) <sub>2</sub> , %25 (2)	Büyüme olmadı	

%25 ve %50'lik kompost karışımları ( $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  içeren çözelti ve melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş kompost numuneleri ve bu çözeltiler ile yıkandıktan sonra  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ile yıkanmış kompost numuneleri) ile yapılan fitotoksisite deneyi sonuçları Tablo 4.25'de verilmiştir. Tablo 4.25'de verilen değerler Şekil 4.39'da grafik olarak sunulmuştur. Şekil 4.39'da, Numune 1: Ekstraksiyon öncesi kompost için %25'lik kompost karışımını; Numune 2: Ekstraksiyon öncesi kompost için %50'lik kompost karışımını; Numune 3:  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompost için %25'lik kompost karışımını; Numune 4:  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompost için %50'lik kompost karışımını; Numune 5:  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş ve ardından  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ile muamele edilmiş kompost için %25'lik kompost karışımını; Numune 6:  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş ve ardından  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ile muamele edilmiş kompost için %50'lik kompost karışımını, Numune 7: Melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş kompost için %25'lik kompost karışımını; Numune 8: Melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş kompost için %50'lik kompost karışımını, Numune 9: Melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş ve ardından  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ile muamele edilmiş kompost için %25'lik kompost karışımını; Numune 10: Melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş ve ardından  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ile muamele edilmiş kompost için %50'lik kompost karışımını ifade etmektedir.

Tablo 4.25. Bitkiye uygunluk deneyi sonuçları

Bitkiye Uygunluk Testi Yapılan Kompost Numuneleri	Bitkiye Uygunluk Yüzdesi	
	%25'lik kompost karışımı	%50'lik kompost karışımı
Ekstraksiyon öncesi kompost	77.1	67.3
$\text{Na}_2\text{EDTA}$ ve $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompost	97.19	60.61
$\text{Na}_2\text{EDTA}$ ve $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş ve ardından $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile muamele görmüş kompost	57.97	58.57
Melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş kompost	58	Büyüme gözlenmedi
Melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş ve ardından $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile muamele görmüş kompost	Büyüme gözlenmedi	Büyüme gözlenmedi



Şekil 4.39. Bitkiye uygunluk deneyi sonuçlarının grafiksel gösterimi

Ekstraksiyon işlemi ile ağır metal giderimi sonrasında kompostun bitkiye uygunluğunun (fitotoksisite) belirlenmesi amacıyla 5 kompost numunesi için %25'lik ve %50'lik kompost karışımları kullanılarak gerçekleştirilen deneyler sonucunda kompost numunelerinin %25'lik karışımında bitkiye uygunluk yüzdelerinin %58-%97 arasında değiştiği belirlenmiştir (Tablo 4.25 ve Şekil 4.39). %50'lik kompost karışımlarında ise; bitkiye uygunluk oranının minimum %58, maksimum %67 olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.25 ve Şekil 4.39).

0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA ve 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompostun %25'lik karışım oranında bitkiye uygunluğu %97 olarak tespit edilmiştir. Bu durum 0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA ve 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompostun çiçek toprağında veya kültür substratlarında karışım elemanı olarak kullanılabilceğini göstermektedir. 0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA ve 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş ve sonrasında Ca(OH)<sub>2</sub> ile muamele edilmiş kompostun bitkiye uygunluk değerlerinin %90'dan düşük olması ise bu kompost karışımının toprak düzenleyicisi ve gübre amacı ile kullanılabilceğini göstermektedir.

Melas hidrolizatı ile ekstrakte edilmiş kompost numuneleri için %25'lik karışım oranında bitkiye uygunluk değeri %58 olarak belirlenmiştir. Bu sonuç bize melas hidrolizatı ile ekstrakte edilmiş kompostun toprak düzenleyicisi ve gübre amacı ile kullanılabilceğini göstermektedir. Ancak melas hidrolizatı ile ekstrakte edilmiş

kompost numuneleri için %50'lik karışım oranında bitkilerde bir gelişme gözlenmemiştir. Melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş ve sonrasında  $\text{Ca(OH)}_2$  ile muamele edilmiş kompost numuneleri ile yapılan bitkiye uygunluk deneyleri sonucunda, bu kompost numunelerinin toprak özelliklerini iyileştirici bir etkisi olmadığı ve bu nedenle toprak şartlandırmasında kullanılamayacağı belirlenmiştir. Ayrıca bu sonuç, melas hidrolizati ile ekstraksiyon sonrasında  $\text{Ca(OH)}_2$  ile kompostun pH'sının ayarlanmasına gerek olmadığını da göstermektedir.

#### 4.12. KOMPOST NUMUNELERİNİN KARAKTERİZASYONU

Ekstraksiyon işleminden geçirilmiş kompostun bitkiye uygunluğu konusunda bilgi sağlayacağı düşüncesiyle ekstrakte edilmemiş ve çeşitli çözeltiler ile ekstrakte edilmiş kompost numunelerinin elementel analiz, toplam organik karbon tayini, TKN, ortofosfat gibi parametreler incelenerek karakterizasyonu yapılmıştır. Bu analizlerle elde edilen sonuçlar Tablo 4.26'da verilmiştir.

Tablo 4.26 incelendiğinde, 0.01 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve 0.1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompost numunesi haricinde diğer örneklerde kükürte (S) rastlanmadığı görülmektedir. Her iki çözelti ile işlem görmüş numunelerde işlem görmemiş numunelere göre ekstraksiyon sonrasında komposttaki C, H, N %'lerinin azaldığı gözlenmiştir. Bu durumun ekstraksiyon çözeltileri ile kompost numunelerinin yıkanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Literatürde, C/N oranı büyük olan bir kompost toprağa verilirse mikroorganizmaların çoğalmaları için gerekli azotu topraktan alarak onu azot yönünden fakirleştirdiği, C/N oranı küçük ise fazla azot amonyak halinde kaybolduğundan toprakta azot yönünden yine fakirleşme ortaya çıktığı belirtilmiştir. Ayrıca azotun bol bulunması halinde topraktaki azot bakterilerinin topraktan azotu alıp bağlayabilme niteliklerini kaybettikleri ve fazla azotun bitkiler üzerinde olumsuz etki yaptığı belirtilmiştir (Borat, 2002; TMMOB, 2005; Erdin, 2008). Ayrıca literatürde, olgun kompost için istenen C/N oranınının 10-15 arasında olduğu ifade edilmiştir (Bernal ve diğ., 1996; Turan, 2003; TMMOB, 2005).

Tablo 4.26 incelendiğinde bütün kompost numunelerinde C/N oranının 10 civarında olduğu gözlenmiştir. Ortofosfat kolay çözünen, bu nedenle gübre olarak kullanılan bir maddedir. Organik fosfatlar ve poli fosfatlar parçalanıp orto fosfatlara dönüşmektedirler (Şengül ve Müezzinoğlu, 2005). Na<sub>2</sub>EDTA ve Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ile ekstrakte edilmiş olan kompost örneğinde toplam fosfor değerinin çok değişmediği ancak orto fosfat miktarının arttığı ve 22.6 mg/L'den 29.5 mg/L'ye yükseldiği görülmüştür. Melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş olan numunede ise; toplam fosfat miktarı oldukça azalmış ve 0.007 mg/kg'dan 0.0026 mg/kg'a düşmüş, buna karşın ortofosfat miktarı 22.6 mg/L'den 47 mg/L'ye yükselmiştir (Tablo 4.26). Bu durumun yukarıda bahsedilen asidik özellikteki ekstraksiyon çözeltileri ile kompostun işlem görmesi sırasında organik fosfatlar ve polifosfatların ortofosfatlara dönüşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 4.26. Na<sub>2</sub>EDTA ve Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti ve melas hidrolizati ile ekstraksiyondan sonra kompost numunelerinin karakterizasyonu

Parametreler	Ekstraksiyon öncesi kompost	Na <sub>2</sub> EDTA ve Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ile ekstrakte edilmiş kompost	Melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş kompost
C (%)	19.75	13.6	12.95
H (%)	2.485	2.105	2.14
N (%)	1.84	1.41	1.29
S (%)		0.12	
C/N	10.73	9.64	10.04
C/N/P	100 /9.31/ 0.35	100 /10.36/ 0.6	100/ 9.95/ 0.2
İletkenlik (ms/cm)	4.61	5.12	6.31
TKN (%)	1.34	1.10	0.3
Toplam P (mg/kg kuru kompost)	0.007	0.0081	0.0026
Ortofosfat (PO <sub>4</sub> -P) (mg/L)	22.6	29.5	47
Ca (mg/kg kuru kompost)	0.088	0.0848	0.0181
Na (mg/kg kuru kompost)	0.004	0.021	0.0045
Mg (mg/kg kuru kompost)	0.007	0.0068	0.0039
K (mg/kg kuru kompost)	0.015	0.0076	0.0155
TOK (mg/kg kuru kompost)	197012	170598	85547

Kompost numuneleri içerisindeki Ca miktarlarının her iki çözelti ile işlem görmüş kompost numunelerinde başlangıca göre azaldığı, özellikle melas hidrolizati ile işlem görmüş numunede önemli miktarda düşüş gösterdiği belirlenmiştir. Ekstraksiyon öncesi kompost numunesinde 0.088 mg/kg olan Ca miktarının, Na<sub>2</sub>EDTA ve Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompost numunesinde 0.0848 mg/kg'a, melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş olan numunede ise 0.0181 mg/kg'a düştüğü görülmüştür. Melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş kompost numunesindeki Ca miktarındaki belirgin azalmanın, melas hidrolizatının pH'sının çok düşük olması ve bu asidik çözelti ile ekstraksiyon sonrasında kolay çözünür Ca tuzlarının ortamdaki uzaklaşması sonucu ortaya çıktığı düşünülmektedir. Na değerlerinin, Na<sub>2</sub>EDTA ve Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompost numunesinde başlangıca göre oldukça arttığı gözlenmiştir. İşlem görmemiş kompost numunesinde Na miktarı 0.004 mg/kg iken, Na<sub>2</sub>EDTA ve Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompost numunesinde bu değer 0.021 mg/kg'a yükselmiştir. Bu durumun çözeltilerdeki yüksek miktardaki sodyumdan kaynaklandığı düşünülmektedir. Na<sub>2</sub>EDTA ve Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompost numunesindeki Mg, K ve TOK değerlerinin başlangıca göre azaldıkları, melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş kompost numunesinde ise Mg ve TOK değerlerindeki azalmanın Na<sub>2</sub>EDTA ve Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompost numunesindeki azalmaya göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Mg ve TOK değerlerindeki azalmanın, melas hidrolizatının asitliğinin yüksek olmasıyla bu maddelerin yıkanıp kompostun yapısından uzaklaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş numunede Na miktarının başlangıca göre çok değişmediği görülmüştür. Melasın yapısında %0.5 oranında Na bulunduğu Malzeme ve Yöntem bölümünde belirtilmiştir. Bu nedenle melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş komposttaki Na miktarının fazla değişmediği düşünülmektedir. Ayrıca Na<sub>2</sub>EDTA ve Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti ve melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş numunelerin XRD analizleri sonucunda, işlem görmüş kompost numunelerinde sodyumun Na<sub>2</sub>Ni(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O ve Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> formlarında ortamda mevcut oldukları da görülmüştür.



## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada yapılan literatür incelemeleri sonucunda komposttan ağır metallerin giderilmesi için ekstraksiyon yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Kesikli çalışmalarda önce destile su ile ekstraksiyon deneyi yapılarak kompost numunelerindeki ağır metallerin zayıf bağlı yani kısa zamanda çözünerek sıvı ortamına geçebilen kısımları belirlenmiştir. Bu deneyler sonucunda kompost numunelerinde Cd'un %30'luk kısmının zayıf bağlı olduğu, diğer metallerin ise zayıf bağlı kısımlarının %3'ü geçmediği görülmüştür.

Literatür çalışmalarının incelenmesi sonrasında, ekstraksiyon maddesi olarak Na<sub>2</sub>EDTA'nın kullanılmasına karar verilmiş ve bu amaçla kesikli deneyler gerçekleştirilmiştir. Na<sub>2</sub>EDTA ile yapılan deneyler sonucunda, 0.05 M Na<sub>2</sub>EDTA çözeltisi kullanılarak 1:25 g/mL katı:sıvı oranında 3 saatlik temas süresi sonucunda Ni hariç incelenen diğer ağır metallerde %100'e varan giderim verimleri elde edilmiştir. Bu değerler sırasıyla Cu için %99, Zn için %99, Pb için %98, Cd için %98 ve Ni için %0.8 olarak bulunmuştur.

Birçok araştırmacı, Na<sub>2</sub>EDTA'nın pahalı bir madde olduğunu ve bu maddeye ekstraksiyonda yardımcı madde olarak Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>'in kullanılmasının maliyeti azaltacağını belirtmiştir (Peters, 1999; Abumaizar ve Smith, 1999; Chaiyaraksa ve Sriwiriyanuphap, 2004). Bu bilgiden yola çıkarak Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ile kesikli deneyler yapılmış ve bu deneylerde Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>'in tek başına kullanıldığında Na<sub>2</sub>EDTA'nın tek başına kullanıldığı deneylerde elde edilen sonuçlara göre çok düşük ağır metal giderim verimlerinin elde edildiği görülmüştür. Bu çalışmalarda 1:25 g/mL katı sıvı oranında, 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kullanıldığında 3 saatlik temas süresi sonunda Cu için %12, Ni için <%0.023, Zn için %21, Pb için %20 ve Cd için %7 giderim verimine ulaşılmıştır. Literatürdeki

çalışmalarda da  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 'in tek başına kullanıldığı deneylerde, aynı şartlarda  $\text{Na}_2\text{EDTA}$ 'nın tek başına kullanıldığı deneylere göre daha düşük ağır metal giderim verimleri elde edildiği görülmüştür (Abumaizar ve Khan, 1996; Abumaizar ve Smith, 1999).

Bu çalışmada,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 'in tek başına kullanıldığı deneylerde elde edilen ağır metal giderim verimlerinin hedeflenen giderim verimlerinin çok altında olmasından dolayı ve  $\text{Na}_2\text{EDTA}$ 'nın sarf miktarını azaltmak amacıyla,  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 'in bir arada kullanıldığı kesikli deneyler yapılmıştır. 0.01 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve 0.1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  içeren çözelti ile yapılan deneylerde, 0.05 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$ 'nın tek başına kullanıldığı deneylere göre daha yüksek giderim verimlerinin daha yüksek katı:sıvı oranlarında, yani daha az ekstraksiyon çözeltisi kullanılarak elde edildiği görülmüştür. 0.05 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$ , 3 saatlik temas süresi ve 1:25 g/mL katı:sıvı oranı kullanıldığında Cu, Zn, Pb ve Cd için sırasıyla %99, %99, %98, %98 giderim verimleri elde edilirken, 0.01 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve 0.1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  zeltisi ile 3 saatlik temas süresinde 1:6 g/mL katı sıvı oranında Cu, Zn, Pb ve Cd için sırasıyla %100, %100, %100 ve %96.6 giderim verimleri elde edilmiştir. Benzer şekilde, literatürdeki çalışmalarda da bu iki maddenin bir arada bulunduğu çözelti ile yapılan deneylerde,  $\text{Na}_2\text{EDTA}$ 'nın tek başına kullanıldığı deneylere göre çok daha iyi ağır metal giderim verimlerinin elde edildiği belirtilmiştir (Abumaizar ve Smith, 1999; Chaiyaraksa ve Sriwiriyanuphap, 2004). Tez çalışmasının bu kısmında,  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  içeren çözeltinin kullanılması gereken optimum deney şartları tespit edilmiş ve daha sonra kolon çalışmalarına geçilmiştir.

Kolon deneylerinde, kapasite eğrilerinin çizilmesi için 1:15 g/mL katı:sıvı oranında 0.55 mL/dak. debi ile (28 gram kompost, 400 mL 0.01 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve 0.1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  içeren çözelti, 3 saatlik temas süresi) alışılmıştır. Kapasite eğrilerinin çizilmesi sonucunda, 0.01 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve 0.1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  içeren çözeltinin öncelikle Cd ve Cu'ı tuttuğu, sonra Zn ve Pb üzerinde etkili olduğu, Ni'i ekstrakte etme oranının çok düşük değerlerde kaldığı görülmüştür. Cu için maksimum %91, Zn için maksimum %85, Pb için maksimum %51 ve Cd için maksimum %100 giderim verimlerinin elde edildiği, böylece hedeflenen giderim verimlerinin de sağlandığı görülmüştür. Ni için ise elde edilen giderim verimlerinin oldukça düşük olduğu (maksimum %12) görülmüştür. 0.01 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve 0.1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  içeren çözelti ile yapılan kapasite deneylerinde 1:15

g/mL katı:sıvı oranında 361 mL çözelti hacminde 162 dakika temas süresi için Cu, Zn, Pb ve Cd için sırasıyla %72, %77, %47 ve %86 ağır metal giderim verimlerinin elde edildiği tespit edilmiştir. Bu değerler ise hedeflenen giderim verimlerinden daha yüksektir.

Na<sub>2</sub>EDTA ve Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti ile yapılan deneylerde, ekstraksiyondan sonra çözeltinin pH değerlerinin 7 civarında olduğu belirlenmiştir. Ekstraksiyonda pH'ın önemli bir faktör olduğu birçok çalışmada belirtilmiştir (Apak, 1997; Abumaizar ve Smith, 1999; Peters, 1999; Chaiyaraksa ve Sriwiriyanuphap, 2004). Çözelti pH'larının yüksek olması durumunda metal iyonlarının hidroksit formuna geçeceği ve Na<sub>2</sub>EDTA'nın hidroksit formlarını ekstrakte edemeyeceği literatürdeki çalışmalarda belirtilmiştir (Elmacı, 1995; Peters, 1999; Chaiyaraksa ve Sriwiriyanuphap, 2004). Na<sub>2</sub>EDTA ve Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti ile yapılan deneylerde düşük Ni giderim verimleri elde edilmesinin nedeninin ortamın pH'sının yüksek olmasından (yaklaşık 7) kaynaklandığı söylenebilir.

Na<sub>2</sub>EDTA çözeltisinin tek başına veya Na<sub>2</sub>EDTA ve Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>'in bir arada kullanıldığı durumlarda, Na<sub>2</sub>EDTA'nın ortamdaki metallere ilgisi farklı olabilmektedir. Na<sub>2</sub>EDTA, ortam şartlarına göre bazı metalleri kolay ekstrakte edebilirken, bazılarını zor ekstrakte edebilmektedir (Kociałkowski ve diğ., 1999; Abumaizar ve Smith, 1999; Sun ve diğ., 2001).

Metal katyonlarının iyonik çapları metal adsorpsiyonunu etkilemektedir. Daha küçük çapa sahip olan iyonların adsorpsiyonu daha güçlü olmaktadır (Saeed ve diğ., 2005; Tüzün ve diğ., 2005; Ko ve diğ., 2004). Atıksuda metal karışımlarının adsorpsiyonunun incelendiği çalışmalarda, aynı elementel grupta bulunan metal iyonlarının adsorpsiyon kapasitelerinin çok yakın olduğu, farklı sınıflarda bulunan metal iyonlarının adsorpsiyon kapasitelerinin ise farklı olduğu belirtilmiştir (Tüzün ve diğ., 2005). Mevcut çalışmada ekstraksiyon ile komposttan giderilmesi hedeflenen metal iyonlarının atomik çapları sırasıyla; Cu<sup>2+</sup>:0.72 Å, Ni<sup>2+</sup>: 0.72 Å, Zn<sup>2+</sup>: 0.74 Å, Pb<sup>2+</sup>: 1.2 Å, Cd<sup>2+</sup>: 0.97 Å'dur. Metal iyonlarının atomik çapları incelendiğinde Ni ile Cu'nun aynı iyonik çapa sahip oldukları görülmüştür. Fakat, mevcut çalışmada, Na<sub>2</sub>EDTA ve Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti kullanıldığında Ni'in ekstraksiyon ile gideriminde elde edilen verimler çok

düşük değerlerde kalırken Cu için %100'e varan giderim verimleri elde edildiği görülmüştür. Bu durumda Na<sub>2</sub>EDTA ve Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti kullanıldığında ekstraksiyon ile komposttan Ni'in giderilememesinin sebebi olarak iyonik çapların gösterilemeyeceği düşünülmektedir. Cu IB, Ni VIII B, Zn ve Cd IIB, Pb IVA grubundandır. Mevcut çalışmada Na<sub>2</sub>EDTA ve Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti ile gerçekleştirilen sürekli deneylerde Cu, Ni, Zn, Pb ve Cd için sırasıyla %72, %11, %77, %47 ve %86 giderim verimleri elde edilmiştir. Bu durumun farklı gruplarda bulunan metallerin farklı oranlarda ekstrakte edilmesi ile açıklanabileceği düşünülmüştür.

Bütün bu bilgiler değerlendirildiğinde, Na<sub>2</sub>EDTA ve Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti kullanıldığında, kompostta bulunan metallerden öncelikle Cu, Zn, Pb ve Cd'nin ekstrakte edildiği sonrasında ise Ni'in ekstrakte edildiği düşünülmektedir. Ancak bu durumda ortam pH'sının yükselip nötrale yaklaşmasından dolayı da hedeflenen Ni gideriminin sağlanamadığı düşünülmektedir. Bilindiği gibi Ni hareketliliği için gereken pH 5.5'in altındadır.

Melas hidrolizatının kullanıldığı çalışmalardan önce, hazırlanan melas hidrolizatı içerisindeki organik asit türleri HPLC'de yapılan analizler ile belirlenmiştir. Melas hidrolizatı eldesi aşamasında elde edilen ürünün melas hidrolizatı olup olmadığının (ağır metal giderimi için hidrolizat içerisinde organik asitlerin oluşması hedeflenmiştir) anlaşılması için bu analiz yapılmıştır. Sonuçta literatürdeki çalışmalardakine (Bipp ve diğ., 1998) benzer organik asitleri (laktik asit, malik asit, sitrik asit, fumarik asit) içeren bir çözeltinin elde edildiği görülmüştür.

Ekstraksiyon çözeltisi olarak melas hidrolizatının kullanıldığı çalışmalarda, şeker endüstrisinin yan ürünü olan melasın da çevre teknolojisi alanında değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda çeşitli oranlarda seyreltilmiş ve farklı pH değerlerinde melas hidrolizatları ile ağır metallerin kompost içerisinde ekstrakte edilebilirliği (uygun pH, uygun temas süresi v.b. tespit edilmesi) ile ilgili deneyler yapılmıştır. Ancak çok düşük ağır metal giderim verimleri elde edilmiştir. Bu nedenle melas hidrolizatının seyreltilmeden ve pH ayarı yapılmadan (kendi pH değerinde) kullanılmasına karar verilmiştir.

Melas hidrolizatının seyreltilmeden kullanıldığı ve pH ayarlamasının yapılmadığı (orijinal çözelti pH'ı olan  $pH \leq 1$ 'de çalışıldığı) deneylerde oldukça iyi giderim verimlerinin elde edilebildiği görülmüştür. Yapılan kesikli deneylerde elde edilen sonuçlara dayanılarak bütün ağır metaller için istenen giderim verimlerinin elde edilebileceği şartların 1:12.5 g/mL katı:sıvı oranı kullanılarak 1 saatlik temas süresinde sağlanacağı görülmüştür. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen giderim verimleri Cu, Ni, Zn, Pb, Cd için sırasıyla %66, %52, %57, %51 ve %77'dir.

Melas hidrolizatının kullanıldığı kolon deneylerinde 1:12.5 g/mL katı:sıvı oranında 0.55 mL/dak. debi ile (33.58 gram kompost, 400 mL melas hidrolizatı, 3 saatlik temas süresi kullanılarak) çalışılmıştır. Kapasite eğrileri incelendiğinde, melas hidrolizatının öncelikle Cd, Zn ve Ni'i tuttuğu, sonra Cu ve Pb üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Cu için maksimum %91, Ni için maksimum %93, Zn için maksimum %100, Pb için maksimum %62, Cd için maksimum %100 giderim verimlerinin elde edildiği görülmüştür.

Melas hidrolizatının kullanıldığı deneylerde, melas hidrolizatının kendi pH'sı ile çalışıldığında, Ni dahil çalışmada incelenen bütün ağır metaller için hedeflenen giderim verimlerinin elde edildiği ve ekstraksiyon sonrasında çözelti pH'sının en fazla 3'e ulaştığı görülmüştür. Bu durum  $Na_2EDTA$  ve  $Na_2S_2O_5$  içeren çözelti ile yapılan deneylerde Ni için istenen giderim verimlerinin elde edilememesine getirilen açıklamayı da desteklemektedir.

Kesikli deneyler ile kolon deneylerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında;  $Na_2EDTA$  ve  $Na_2S_2O_5$  içeren çözelti ile yapılan kolon deneylerinde kesikli deneylere göre Cu, Zn ve Pb için daha düşük giderim verimleri elde edildiği görülmüştür. Melas hidrolizatının kullanıldığı kolon deneylerinde ise kompostun yapısında bulunan tüm metaller için kesikli deneylere göre daha yüksek giderim verimleri elde edildiği görülmüştür. Literatürde bir çok çalışmada (Abumaizar ve Smith, 1999; Sun ve diğ., 2001; Mulligan ve Wang, 2006; Tiwari ve diğ., 2007; Löser ve diğ., 2007) kesikli deneyler ile kolon deneylerinde farklı ağır metaller için giderim verimlerinin değişiminin farklı olabileceği belirtilmiştir. Bu durumun komplekslerin oluşum sabitlerinin farklı olması, ağır metallerin ortamdaki diğer metaller ile rekabet halinde

olmaları veya metallerin buldukları materyalde organik olarak bağlı olmaları gibi nedenlerle açıklanabileceği belirtilmiştir. Ancak, Sun ve diğ. (2001) tarafından yapılan çalışmada, bu durumun sadece metal komplekslerinin oluşum sabitleriyle de açıklanamayacağı, çünkü Cu-EDTA ile Pb-EDTA'nın oluşum sabitleri ile, Zn-EDTA ve Cd-EDTA'nın oluşum sabitlerinin benzer olduğu belirtilmiştir. Çalışmada, 0.01 iyonik şiddette, 1:1 metal-EDTA komplekslerinin oluşum sabitleri ( $\log K$ ) Cu, Ni, Zn, Pb ve Cd için sırasıyla 19.7, 19.5, 17.5, 19.0 ve 17.4 olarak verilmiştir.

Ekstraksiyon deneyleri sonrasında kompost içerisinde kalan metal bileşikleri XRD analizleri ile belirlenmiştir. XRD analizleri sonucu, ekstraksiyon çözeltileri ile yıkama sonrası kompost içerisinde kalan metallerin genellikle silikatlar formunda oldukları belirlenmiştir. FTIR ile yapılan inceleme sonucunda da, Na<sub>2</sub>EDTA ve Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti ve melas hidrolizati ile ekstraksiyon sonucunda başlangıçta oksitler ve karbonatlar halinde bulunan metal formlarının ekstraksiyon ile giderilemeyen (ortamda kalan) kısımlarının SiO<sub>2</sub>'li bileşikler haline dönüştükleri görülmüştür. Bu sonuçlar XRD ile elde edilen sonuçları desteklemektedir. SEM fotoğrafları incelendiğinde ise, orijinal (ekstrakte edilmemiş) kompost numunesi ile çeşitli çözeltiler ile ekstrakte edilmiş kompost numuneleri arasında morfolojik açıdan önemli bir fark olmadığı gözlenmiştir.

Kolon deneylerinden sonra, Na<sub>2</sub>EDTA ve Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çözelti veya melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş olan kompost numuneleri ve bu ekstraksiyon çözeltileri ile yıkandıktan sonra Ca(OH)<sub>2</sub> ile muamele edilmiş kompost numuneleri kullanılarak bitkiye uygunluk deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar kapsamında orijinal kompost numuneleri ve çeşitli çözeltiler ile ekstrakte edilmiş kompost numuneleri içerisindeki C, N, H, S yüzde (%)'leri, Ca, Na, Mg, K, P miktarları (mg/kg-kuru kompost) da belirlenmiştir.

Literatürde, bitkilerin topraktaki fosfordan yararlanmasının düşük olduğu, kuvvetli asit topraklarda demir ve alüminyum iyonlarının fosfat ile birleşerek suda zor çözünen alüminyum ve demir fosfatları meydana getirdikleri belirtilmiştir. Ayrıca, kirecin fazla olduğu yerlerde, yani yüksek pH'lı toprak koşullarında ise fosforun, kalsiyum fosfat şekline dönüşerek yeniden yararlı fosfor haline geçtiği söylenmiştir (Toksöz, 1998; Mechri ve diğ., 2007; El-Tarabily ve diğ., 2008; Nishanth ve Biswas, 2008). Bitkiye

uygunluk deneylerinde melas hidrolizatı ile ekstrakte edilmiş ve ardından  $\text{Ca(OH)}_2$  ile muamele edilmiş kompost numunelerinden iyi sonuç alınamamasının ortamdaki Ca fazlalığı ve P eksikliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ekstrakte edilmiş kompost numunelerinin karakterizasyonu incelendiğinde melas hidrolizatı ile ekstrakte edilen kompost numunelerinde fosfor miktarının oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bitkiye uygunluk deneyleri sonucunda ekstraksiyon işleminden geçmiş kompostlar kullanıldığında,  $\text{Ca(OH)}_2$  ile kompost numunelerinin nötralize edilmesinin bitki gelişimi açısından bir avantaj sağlamadığı, aksine  $\text{Ca(OH)}_2$  ile muamele edilmiş kompost numunelerinin kullanıldığı saksılarda bitki gelişmesinin daha az olduğu, bitkilerin Ca fazlalığından olumsuz yönde etkilendiği görülmüştür. En iyi gelişmenin 0.01 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve 0.1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompost kullanıldığında elde edildiği belirlenmiştir. %25'lik kompost karışımı için %97 bitkiye uygunluk yüzdesi elde edilmiştir. Bu sonuç ise 0.01 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve 0.1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompostun çiçek toprağında veya kültür substratlarında karışım elemanı olarak kullanılabilceğini göstermektedir. Melas hidrolizatı ile ekstrakte edilmiş kompost numunelerinde %25'lik karışım oranı için bitkiye uygunluk değeri %58 olarak belirlenmiştir. Bu sonuç melas hidrolizatı ile ekstrakte edilmiş kompostun toprak düzenleyicisi olarak ve gübre amacıyla daha uygun olarak kullanılabilceğini göstermektedir.

Literatürde, fosfor içeriği düşük olan kompostlar organik tarımda kullanılacaksa, ticari gübrelerin kullanımı söz konusu olmadığından fosfor içeriği yüksek atıklarla, bitkilerin fosfor gereksinmesinin karşılanmasının söz konusu olabileceği belirtilmiştir. Bazı organik atıkların fosfor ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) içeriklerinin sırasıyla; işlenmemiş kemikte %20-25, balık ununda %3-9, tavuk gübresinde %2-9 düzeyinde olduğu bildirilmiştir (Toksöz, 1998). Ayrıca özellikle organik veya ekolojik tarımda toprağa fosfor kazandırmanın bir diğer yolunun da ham fosfat kayalarının öğütülerek ortama ilave edilmesi olduğu belirtilmiştir (Toksöz, 1998; Mechri ve diğ., 2007; Nishanth ve Biswas, 2008). Yine literatürde, elde edilen kompostun bitkilere uygun hale getirilmesi için son komposta (kompost ürününe) kimyasal gübrelerin eklenebileceğinden bahsedilmektedir (Erdin, 2008). Bu durumda, melas hidrolizatı ile ekstrakte edilmiş komposttan daha iyi verim alınabilmesi için tavuk gübresi gibi organik gübrelerle, ham fosfat kayasının öğütülerek komposta ilavesi ile veya fosfat yönünden zengin yapay gübrelerle karıştırılarak kullanılmasının uygun

olacağı düşünülmektedir. Bu uygulama ile melas hidrolizati ile işlem görmüş kompostun, çiçek toprağında veya kültür substratlarında karışım elemanı olarak da kullanılabilceği ifade edilebilir.

Bütün bu sonuçlar değerlendirildiğinde, komposttan ağır metallerin (Cu, Ni, Zn, Pb ve Cd'un) giderilmesinde 0.01 M Na<sub>2</sub>EDTA ve 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> çözeltisinin kullanımının, Ni giderimi açısından hedeflenen giderim verimlerini sağlamadığından, uygun olmadığı söylenebilir. Melas hidrolizati ile ekstraksiyonda ise, çalışmada incelenen bütün ağır metallerin komposttan giderilebilmesi sağlandığından komposttan ağır metal gideriminde kullanılabilcek en uygun yöntem olduğu belirlenmiştir. Ekstraksiyon çözeltileri ile yıkanmış kompost numuneleri ile yapılan karakterizasyon deneyleri, bitkiye uygunluk deneyleri ve diğer analizler de melas hidrolizati ile işlem görmüş kompostun P ilavesi ile çiçek toprağında veya kültür substratlarında karışım elemanı olarak kullanılabilceği yönündeki görüşü desteklemektedir.

Bu tez çalışmasından sonra gerçekleştirilmesi planlanan çalışmalarda; ekstraksiyon çözeltilerinin bir defa kullanıldıktan sonra arıtmaya tabi tutulmaksızın tekrar kullanılabilirlikleri ve metallerin geri kazanılarak ekstraksiyon çözeltilerinin yeniden değerlendirilebilirliğinin araştırılması düşünülmektedir.



## KAYNAKLAR

ABUMAIZAR R. J., KHAN, L.I., 1996, Laboratory investigation of heavy metal removal by soil washing, *Journal of Air and Waste Management Association*, 46, 765-768.

ABUMAIZAR R. J., SMITH E. H., 1999, Heavy metal contaminants removal by soil washing, *Journal of Hazardous Materials*, B70, 71-86.

ALLOWAY, B.J., 1990, *Heavy metals in soils*, (Ed) Blackie and Sou Ltd., Glasgow and London, GB, 339 Foper.

ANONİM, 2002, *İleri Atıksu Arıtımı*, [www.osbuk.org/Atıksu/Bolum06.pdf](http://www.osbuk.org/Atıksu/Bolum06.pdf), [Ziyaret Tarihi:28.12.2007].

APAK, R., 1997, *Temel Analitik Kimya*, ISBN 975-404-372-8, pp.461-503.

AWWA, 1995, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19<sup>th</sup> Edition.

BAYKUT, F., 1993, *Modern Genel Anorganik Kimya*, İstanbul Üniversitesi Yayınları, Sayı: 3770, Mühendislik Fakültesi, No:90, ISBN: 975-404-354-X.

BEBA, A., RÖBEN, E. ,1997, İstanbul Katı Atık İşleme (Kompostlaştırma ve Geri Kazanma) Tesisi, *TMMOB Çevre Mühendisleri Odası 2. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, 4-5 Aralık İstanbul.

BELLAMY, L.J., 1975, *The Infra-red Spectra of Complex Molecules*, Chapman and Hall, London.

BENTLEY, F.F., SMITHSON, L.D., ROZEK, A.L., 1968, *Infrared Spectra and Characteristic Frequencies ~700-300 cm<sup>-1</sup>*, Interscience Publishers, John Wiley & Sons, Newyork, USA.

BERNAL, M. P., NAVARRO, A. F., ROIG, A., CEGARRA, J. AND GARCIA, D., 1996, Carbon and nitrogen composting of Sweet Sorghum Bagasse, *Biology and Fertility of Soils*, 22, 141-148.

BİLGİLİ, M. S., ÖZKAYA, B., DEMİR, A., 2003, İstanbul Katı Atık Geri Kazanma ve Kompost Tesisi'nde ürün kalitesinin izlenmesi, *Türkiye'de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu IV*, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze.

BIPP, H. -P. , WUNSCH, P., FISCHER, K., BIENIEK, D. AND KETTRUP, A., 1998, Heavy metal leaching of fly ash from waste incineration with gluconic acid and a molasses hydrolysate, *Chemosphere*, 36 (11), 2523-2533.

BORAT, M., 2002, *Katı Atık Yönetimi Ders Notları*, İstanbul.

BRUNT, L. P., DEAN, B. R., PATRICK , K. P., 1995, *Kompostlama*, WHO Katı Atık Yönetimi.

CASADO-VELA, J., SELLÉS, S., DÍAZ-CRESPO, C., NAVARRO-PEDREÑO, J., MATAIX-BENEYTO, G. I., 2007, Effect of composted sewage sludge application to soil on sweet pepper crop (*Capsicum annuum var. annuum*) grown under two exploitation regimes, *Waste Management*, 27, 1509-1518.

CIBA, J., ZOLOTAJKIN, M., KLUCZKA, J., LOSKA, K., CEBULA, J., 2003, Comparison of methods for leaching heavy metals from composts, *Waste Management*, 23, 897-905.

CHAIYARAKSA, C., SRIWIRIYANUPHAP, N., 2004, Batch washing of cadmium from soil and sludge by a mixture of Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and Na<sub>2</sub>EDTA, *Chemosphere*, 56, 1129-1135.

ÇELİK, E., BAHÇECİ, İ., YILMAZ, V., KÜLCÜ, R., 2004, Katı atıkların biyolojik yöntemlerle bertarafında Türk Çevre Mevzuatının AB Mevzuatı ile karşılaştırılması, *Katı Atık ve Çevre*, 54, 15-21.

DAHRAZMA, B., MULLIGAN, C.N., 2007, Investigation of the removal of heavy metals from sediments using rhamnolipid in a continuous flow configuration, *Chemosphere*, 69, 705-711.

DEMİR, A., TOSUN, İ., ÖZKAYA, B., BİLGİLİ, M. S., GÜNAY, A., AVŞAR, F., KARAASLAN, Y., 2002, Aerobic composting of municipal solid wastes in Istanbul: Start-up and operational experiences, *ISWA 2002 World Congress & Exhibition, Appropriate Environmental and Solid Waste Management and Technologies for Developing Countries*, Istanbul, TURKEY.

DÖLEN, E., 1991, *Analitik Kimyaya Giriş (Sulu Çözeltilerde Denge)*, , Marmara Üniversitesi Yayın No:500, Eczacılık Fakültesi Yayın No:6, ISBN-975-400-044-1.

ECN, European Compost Network, <http://www.compostnetwork.info/index.php?id=10>; [Ziyaret tarihi: 15.10.2008].

ELMACI, Ö. L., 1995, *Güney Marmara Bölgesi sanayi domatesi alanlarındaki toprak, sulama suyu ve domates (Lycopersicum Esculentum) meyvelerinde ağır metal içeriklerinin belirlenmesi*, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı.

EL-TARABILY, K. A., NASSAR, A. H., SIVASITHAMPARAM, K., 2008, Promotion of growth of bean (*Phaseolus vulgaris L.*) in a calcareous soil by a phosphate-solubilizing, rhizosphere-compenent isolate of *Micromonospora endolithica*, *Applied Soil Ecology*, 39, 161-171.

ERDİK, E., 1993, *Organik Kimyada Spektroskopik Yöntemler*, Gazi Büro Kitabevi, Ankara, TÜRKİYE, ISBN: 9757313041.

ERDİN, E., 2008, *Kompostlaştırma*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Katı Atık Web sitesi; [http://web.deu.edu.tr/erdin/ders/kati\\_atik/ders\\_not/kompost.pdf](http://web.deu.edu.tr/erdin/ders/kati_atik/ders_not/kompost.pdf); [Ziyaret tarihi: 08.04.2008].

FANGUERIO, D., BERMOND, A., SANTOS, E., CARAPUÇA, H., DUARTE, A., 2002, Heavy metal mobility assessment in sediments based on a kinetic approach of the EDTA extraction: search for optimal experimental conditions, *Analytica Chimica Acta*, 459, 245-256.

FINZGAR, N., LESTAN, D., 2007, Multi-step leaching of Pb and Zn contaminated soils with EDTA, *Chemosphere*, 66, 824-832.

FUENTES, A., LIORÉNS, M., SAÉZ, J., SOLER, A., AGULIAR, M. I., ORTUÑO, J. F., MESEGUER, V. F., 2004, Simple and sequential extractions of heavy metals from different sewage sludges, *Chemosphere*, 54, 1039-1047.

GSÖİKR, 2001, *Gıda Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Şeker Sanayi Alt Komisyon Raporu*, Ankara.

GÜNGÖR, A., 2000, *Bazı metal katyonlarının katı-sıvı ekstraksiyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı.

HERWIJNEN, R. V., HUTCHINGS, T. R., ALTABBAA, A., MOFFAT, A. J., JOHNS, M. L., OUKI, S. K., 2007, Remediation of metal contaminated soil with mineral-amended composts, *Environmental Pollution*, 150, 347-354.

HONG, K.-J., TOKUNAGA, S., KAJIUCHI, T., 2000, Extraction of Heavy Metals From MSW Incinerator Fly Ashes by Chelating Agents, *Journal of Hazardous Materials*, B75, 57-73.

HORN ANDREAS, L., DÜRING, R.-A., GÄTH, S., 2003, Comparison of decision support systems for an optimised application of compost and sewage sludge on agricultural land based heavy metal accumulation in soil, *The Science of Total Environment*, 311, 35-48.

HSEU, Z.-Y., 2004, Evaluating heavy metal contents in nine composts using four digestion methods, *Bioresource Technology*, 95, 53-59, 2004.

İPEKOĞLU, N., 1990, *Katı Atıların Kompost Yapılarak Değerlendirilmesi*, Katı Atık, Tanımı, Toplanması ve Uzaklaştırılması Kurs Notları. Katı Atık Kirlenmesi Araştırma ve Denetimi Türk Milli Komitesi, Boğaziçi Üniversitesi, İSTANBUL.

KABATA-PENDIAS, A. and PENDIAS, H., 1992, *Trace elements in soils and plants*, 2nd Edition CRC Pres, Boca Raton, Ann Arbor London.

KANAT, G., BİLGİLİ, M. S., 2003, Katı atıkların değerlendirilmesi ve İstanbul'daki uygulamalar, GEBZE Sempozyumu.

KANTARCI, D., 1992, Marmara Bölgesinde Tarım Yapılan Alan ve Tarım Topraklarında Kullanılabilecek Kompost Miktarı Üzerine Bir İnceleme, *Katı Atık ve Çevre*, 5/92, 4-6, İSTANBUL.

KARACA A., 2004, Effect of organic wastes on the extractability of cadmium, copper, nickel and zinc in soil, *Geoderma*, 122 (2-4), 297-303.

KAKY, 1991, *Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği*, 05.04.2005 tarih ve 25777 sayılı Resmi Gazete.

KIRBAĞ ZENGİN, F., MUNZUROĞLU, Ö., 2003, Fasulye fidelerinin (*Phaseolus vulgaris L.*) kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine kadmiyum ( $Cd^{++}$ ) ve civa ( $Hg^{++}$ )'nin etkileri, *C.Ü. Fen Edebiyat Fakültesi, Fen Bilimleri Dergisi*, 24(1), 64-75.

KIRBAĞ ZENGİN, F., MUNZUROĞLU, Ö., 2004, Effects of lead ( $Pb^{++}$ ) and Copper ( $Cu^{++}$ ) on the growth of root, shoot and leaf of bean (*Phaseolus vulgaris L.*) seedlings, *G.U. Journal of Science (G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi)*, 17(3), 1-10.

KO, D. C. K., CHEUNG, C. W., CHOY, K. K. H., PORTER, J. F., McKAY, G., 2004, Sorption equilibria of metal ions on bone char, *Chemosphere*, 54, 273-281.

KOCAER, F.O., BAŞKAYA, H.S., 2003, Metallerle kirlenmiş toprakların temizlenmesinde uygulanan teknolojiler, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 8 (1), 121-131.

KOCIALKOWSKI, W. Z., DIATTA, J. B., GRZEBISZ, W., 1999, Evaluation of chelating agents as heavy metals extractants in agricultural soils under threat of contamination, *Polish Journal of Environmental Studies*, 8 (3), 149-154.

KOMADEL, P., MADEJOVA, J, JANEK, M., GATES, W. P., KIRKPATRICK, R. J. AND STUCKI, J. W., 1996, Dissolution of hectorite in inorganic acids, *Clays and Clay Minerals*, 44 (2), 228-236.

KUO, S., LAI, M. S., LIN, C. W., 2006, Influence of solution acidity and  $CaCl_2$  concentration on the removal of heavy metals from metal- contaminated rice soils, *Environmental Pollution*, 144, 918-925.

KÜÇÜKGÜL, E., ERDİN, E., 2008, Kompostun tarımda kullanılması: Berlin örneği, *Ekoloji Teknik*, 1, 14-15.

LÖSER, C., ZEHNSDORF, A., HOFFMANN, P., SEIDEL, H., 2007, Remediation of heavy metal polluted sediment by suspension and solid-bed leaching: Estimate of metal removal efficiency, *Chemosphere*, 66, 1699-1705.

MAZLUM, N., MAZLUM, S., 2004, Kentsel organik katı atıkların kompostlaştırılması, *Katı Atık ve Çevre*, 55, 23-30.

MECHRI, B., ATTIA, F., BRAHAM, M., ELHADJ, S. B., HAMMAMI, M., 2007, Agronomic application of olive mill wastewaters with phosphate rock in a semi-arid Mediterranean soil modifies the soil properties and decreases the extractable soil phosphorus, *Journal of Environmental Management*, 85, 1088-1093.

Methodenbuch zur Analyse von Kompost, 1994, Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V., ( Murat Kubatoğlu tarafından tercüme, İSTAÇ A.Ş.).

MOUTSATSOU, A., GREGOU, M., MATSAS, D., PROTONOTARIOS, V., 2006, Washing as a remediation technology applicable in soils heavily polluted by mining-metallurgical activities, *Chemosphere*, 63 (10), 1632-1640.

MULLIGAN, C. N., YONG, R. N., GIBBS, B. F., 2001, An evaluation of technologies for the heavy metal remediation of dredged sediments, *Journal of Hazardous Materials*, 85, 145-163.

MULLIGAN, C. N., WANG, S., 2006, Remediation of heavy metal-contaminated soil by a rhamnolipid foam, *Engineering Geology*, 85, 75-81.

NISHANTH, D., BISWAS, D. R., 2008, Kinetics of phosphorus and potassium release from rock phosphate and waste mica enriched compost and their effect on yield and nutrient uptake by wheat (*Triticum aestivum*), *Bioresource Technology*, 99, 3342-3353.

NÚÑEZ, R. P., REY, R. D., MENDUÍÑA, A. B. M., SILVA, M. T. B., 2007, Physiologically based extraction of heavy metals in compost: Preliminary results, *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 21 (1), 83-85.

ÖZBEK, H., KAYA, Z., GÖK, M., KAPTAN, H., 1993, *Toprak Bilimi*, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Genel Yayın No.73, Ders Kitapları Yayını No:16 Adana.

PETERS, R. W., 1999, Chelant extraction of heavy metals from contaminated soils, *Journal of Hazardous Materials*, 66,151-210.

PICHTEL, J., ANDERSON, M., 1997, Trace metal bioavailability in municipal solid waste and sewage sludge composts, *Bioresource Technology*, 60, 223-229.

PINAMONTI F., STRINGARI G., GASPERI F., ZORZI G., 1997, The Use of Compost: its effects on heavy metal levels in soil and plants, 21, 129-143.

RITCHIE, J.M., CRESSER, M., COTTER-HOWELLS, J., 2001, Toxicological response of a bioluminescent microbial assay to Zn, Pb ve Cu in an artificial soil solution: relationship with total metal concentrations and free ion activities, *Environmental Pollution*, 114, 129-136.

SAEED, A., IQBAL, M., AKHTAR, M. W., 2005, Removal and recovery of lead (II) from single and multimetal (Cd, Cu, Ni, Zn) solutions by crop milling waste (black gram husk), *Journal of Hazardous Materials*, B117, 65-73.

SALOMONS, W., FÖRSTNER, U., MADER, P., 1995, *Heavy metals: Problems and solutions*, Springer Edt., ISBN: 3-530-58508-7, 169-173.

SENGUPTA T., YATES M., PAPADOPOULOS K. D., 1999, Metal complexation with surface-active kemp's triacid, *Colloids and Surfaces A*, 148, 259-270.

SIMS, J.T., KLINE, J.S., 1991, Chemical fractionation and plant uptake of heavy metals in soils amended with co-composted sewage sludge, *Journal of Environmental Quality*, 20,387-395.

SUN, B., ZHAO, F.J., LOMBI, E., MCGRATH, S.P., 2001, Leaching of heavy metals from contaminated soils using EDTA, *Environmental Pollution*, 113, 111-120.

ŞENGÜL, F., MÜEZZİNOĞLU, A., 2005, *Çevre Kimyası*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No.228, ISBN:975-441-114-X, 206-207.

TCHOBANOGLIOUS, G., BURTON, F.L., 1991, *Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse*, Metcalf & Eddy Inc., 3 rd edition, ISBN: 0-07-100824-1, 321-322.

TIWARI, D., KIM, H.-U., SEUNG-MOK, L., 2007, Removal behavior of sericite for Cu(II) and Pb(II) from aqueous solutions: Batch and column studies, *Separation and Purification Technology*, 57, 11-16.

TKKY, 2001, *Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği*, 31.05.2005 tarih ve 25831 sayılı Resmi Gazete.

TMMOB, Çevre Mühendisleri Odası, 2005, *Katı atıkların yönetimi*, Bölüm 7, Katı atıkların kompostlanması ve yakma (Prof.Dr. Bülent Topkaya ), ISBN: 975-395-988-5.

TOKSÖZ, S., 1998, *Kompost kullanımının organik sera domates yetiştiriciliğinde toprak özellikleri, verim ve meyve kalitesi üzerine etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi; Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı.

TURAN, N. G., 2003, *Samsun kentsel katı atıklarının kompostlaştırılmasında geliştirilmiş perlit ve doğal zeolitnin etkilerinin incelenmesi*, Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun.

TÜRKMAN, A., TOPÇU, N., MORDOĞAN, H., KÜÇÜKGÜL, E. Y., 1986, *Fizikokimya laboratuvar deneyleri*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınları, MM/ÇEV-86 EY 126, İzmir.

TÜZÜN, İ., BAYRAMOĞLU, G., YALÇIN, E., BAŞARAN, G., ÇELİK, G., ARICA, M. Y., 2005, Equilibrium and kinetic studies on biosorption of Hg(II), Cd(II) and Pb(II) ions onto microalga *Chlamydomonas reinhardtii*, *Journal of Environmental Management*, 77, 85-92.

WALKER, D. J., CLEMENTE, R., BERNAL, M. P., 2004, Contrasting effects of manure and compost on soil pH, heavy metal availability and growth of *Chenopodium album* L. in a soil contaminated by pyritic mine waste, *Chemosphere*, 57, 215-224.

WHITTE, A.J. and DYSON, A.J., 2002, The fate of heavy metals in green waste composting, *The Environmentalist*, 22, 13-21.

[www.inonu.edu.tr/tsahin/dokuman/toksikoloji](http://www.inonu.edu.tr/tsahin/dokuman/toksikoloji); [Ziyaret tarihi: 08.10.2008].

[www.istac.com.tr](http://www.istac.com.tr) ; [Ziyaret tarihi: 15.10.2008].

VAN GERVEN, T., COOREMAN, H., IMBRECHTS, K., HINDRIKS, K., VANDECASTEELE, C., 2007, Extraction of heavy metals from municipal solid waste incinerator (MSWI) bottom ash with organic solutions, *Journal of Hazardous Materials*, 140, 376-381.

VEEKEN, A., HAMELERS, B., 2003, Assessment of heavy metal removal Technologies for biowaste by physico-chemical fractionation, *Environmental Technology*, 24, 329-337.

YILDIZ, N., 2002, Toprak kirletici ağır metaller ve toprak-bitki ilişkileri, *1. Ulusal Çevre Sorunları Sempozyumu*, Ekim 2002.

YOHANNAN PANICKER, C., VARGHESE, H.T., PHILIP, D., 2006, FT-IR, FT-RAMAN and SERS spectra of Vitamin C, *Spectrochimica Acta Part A*, 65, 802-804.

YUAN, S., XI, Z., JIANG, Y., WAN, J., WU, C., ZHENG, Z., LU, X., 2007, Desorption of copper and cadmium from soils enhanced by organic acids, *Chemosphere*, 68, 1289-1297.

ZORPAS, A. A., CONSTANTINIDES, T., VLYSSIDES, A. G., HARALAMBOUS, I., LOIZIDOU, M., 2000, Heavy metal uptake by natural zeolite and metals partitioning in sewage sludge compost, *Bioresource Technology*, 72, 113-119.

ZORPAS, A. A., VASSILIS, I., LOIZIDOU, M. and GRIGOROPOULOU, H., 2002, Particle size effects on uptake of heavy metals from sewage sludge compost using natural zeolite clinoptilolite, *Journal of Colloid and Interface Science*, 250, 1-4.

## ÖZGEÇMİŞ

Emine Elmaslar Özbaş 1978’de İstanbul’da doğdu. Liseyi Bahçelievler Kemal Hasoğlu Lisesi’nde tamamladı. 1995 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimine başladı ve 1999’da mezun oldu. Yüksek Lisans eğitimine 1999 yılında İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında başladı. Ekim 2001 tarihinde Araştırma Görevlisi olarak Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında çalışmaya başladı. “Meyve Suyu Endüstrisi Atıksularının Ardışık Kesikli Reaktör Sistemi ile Arıtılabilirliği” başlıklı Yüksek Lisans Tezini Haziran 2002’de teslim etti. Eylül 2002 tarihinde İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında doktora başladı.

Araştırma Görevlisi olarak; Çevre Mühendisliğine Giriş, Hava Kirlenmesi, Su Temini, Kanalizasyon, Çevre Kimyası, Temel İşlemler, Suların Arıtılması ve Atıksuların Arıtılması derslerinde uygulama, proje ve laboratuvar çalışmalarını yürüttü.