



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



**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TOPRAK İYİLEŞTİRİCİLER ile YÜKSEK MİKTARLARDA AĞIR  
METAL İÇEREN TOPRAĞIN ISLAHI**

**Ahsen ÇATALBAŞ**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Çevre Mühendisliği Programı**

**DANIŞMAN**

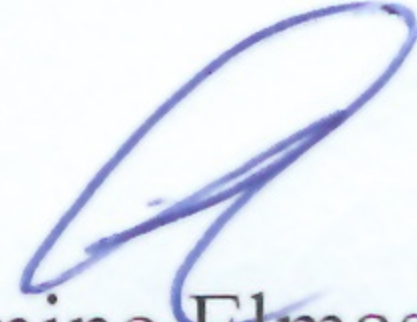
**Doç. Dr. Emine ELMASLAR ÖZBAŞ**

**Haziran, 2018**

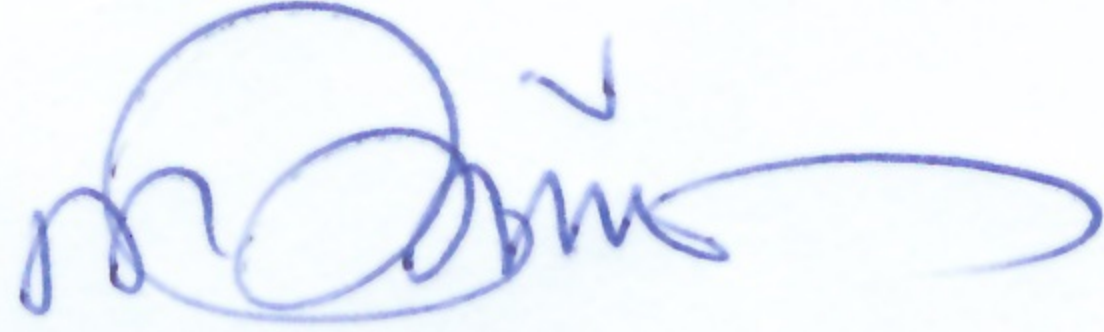
**İSTANBUL**

Bu çalışma 18.06.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Çevre Mühendisliği Programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

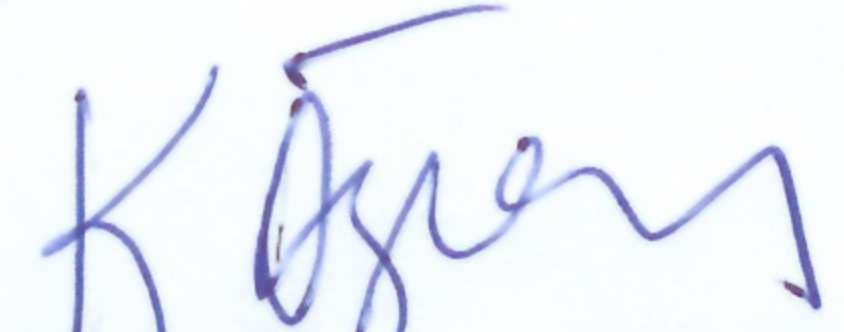
**Tez Jürisi:**



Doç. Dr. Emine Elmaslar ÖZBAŞ(Danışman)  
İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa  
Mühendislik Fakültesi



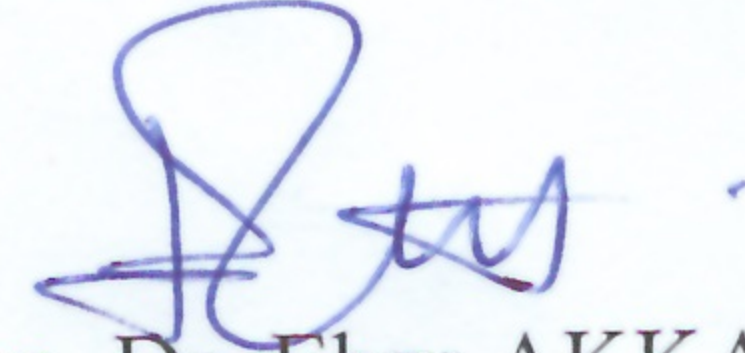
Prof. Dr. Nüket SİVRİ  
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa  
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. H. Kurtuluş ÖZCAN  
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa  
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Z. Beril ÖZCELEP  
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa  
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Ebru AKKAYA  
Yıldız Teknik Üniversitesi  
İnşaat Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim süresince ve bu çalışmanın ortaya çıkmasında bana başından sonuna kadar yardımcı olan, hem fikir hem doküman yardımında bulunan, ilgi ve desteğini hiç eksiltmeyen, laboratuvar çalışmalarımda yardımcı ve yol gösterici olan, engin bilgi ve tecrübesiyle beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Emine ELMASLAR ÖZBAŞ'a sonsuz teşekkür ederim.

Deney sonuçlarımın okunmasında bana yardımcı olan Yıldız Teknik Üniversitesi'nden Doç. Dr. Ebru AKKAYA'ya teşekkür ederim.

Elementel Analiz çalışmalarımın yürütülmesinde bana yardımcı olan Yüksek Çevre Mühendisi Emirhan KAYA'ya teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sürecinde benden manevi desteklerini ve sabırlarını esirgemeyen çok değerli dostlarım Çevre Mühendisi Zehra TOPAL ve Çevre Mühendisi Betül KAMA'ya her zaman yanımda oldukları için sonsuz teşekkür ederim.

Hayatımın her anında varlığı ile bana güç veren; maddi, manevi desteğiyle her zaman yoluma ışık tutan çok değerli aileme teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2018

Ahsen ÇATALBAŞ

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ .....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ .....	viii
TABLO LİSTESİ.....	x
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ .....	xi
ÖZET .....	xiii
SUMMARY .....	xv
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. GENEL KISIMLAR.....</b>	<b>3</b>
2.1. TOPRAK KİRLİLİĞİ .....	3
2.1.1. Ağır Metaller .....	3
2.1.2. Toprak Kimyası ve Ağır Metallerin Potansiyel Riskleri .....	3
2.1.2.1. Kurşun (Pb) .....	4
2.1.2.2. Çinko (Zn).....	4
2.1.2.3. Kadmiyum (Cd).....	5
2.1.2.4. Bakır (Cu) .....	5
2.1.2.5. Nikel (Ni) .....	6
2.2. TOPRAK KİRLİLİĞİ GİDERİM YÖNTEMLERİ .....	6
2.2.1. In-situ Remediasyon Yöntemleri.....	6
2.2.1.1. Yüzey kaplama .....	6
2.2.1.2. Kapsülleme .....	7
2.2.1.3. Elektrokinetik Arıtım.....	7
2.2.1.4. Toprak Yıkama.....	7
2.2.1.5. Kimyasal immobilizasyon .....	7
2.2.1.6. Fitoremediasyon .....	7
2.2.1.7. Biyoremediasyon.....	8
2.2.2. Ex-situ Remediasyon Yöntemleri.....	8
2.2.2.1. Depolama (Landfilling) .....	8
2.2.2.2. Toprak Yıkama.....	8
2.2.2.3. Katılaştırma .....	8

2.2.2.4. Vitrifikasyon (Camlaştırma) .....	9
2.3. TOPRAK İYİLEŞTİRİCİLERİ .....	9
2.3.1. Kireç .....	10
2.3.2. Kompost .....	10
2.4. LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALARDAN ÖRNEKLER .....	11
<b>3. MALZEME VE YÖNTEM.....</b>	<b>13</b>
3.1. MALZEME .....	13
3.1.1. Çalışmada Kullanılan Toprak Örneğinin Alındığı Yere İlişkin Genel Bilgiler.....	13
3.1.2. Evsel Katı Atık Kompostu.....	13
3.1.2.1. Kompost Tesisi.....	13
3.1.3. Terra B (A2) ve ViroBind (T50) .....	14
3.1.4. Kireç (CaCO <sub>3</sub> ) .....	14
3.2. YÖNTEM.....	15
3.2.1. pH Tayini.....	15
3.2.2. Elementel Analiz .....	15
3.2.3. Organik Madde Tayin Yöntemi.....	16
3.2.4. Deney Setlerinin Hazırlanması.....	16
3.2.4.1. Birinci Deney Setleri.....	17
3.2.4.2. İkinci Deney Setleri.....	19
3.2.5. Toplam Ağır Metal ve Bazı Element (Mg, Ca, Na ve K) Konsantrasyonlarının Tayin Yöntemi .....	20
3.2.6. Hemen Ulaşılabilir (Immediately Available) Element Konsantrasyonlarının Tayin Yöntemi .....	21
3.2.7. Potansiyel Olarak Ulaşılabilir (Potentially Available) Element Konsantrasyonlarının Tayin Yöntemi.....	21
3.2.8. TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) Yöntemi.....	21
3.2.9. Ardışık Ekstraksiyon Yöntemi .....	21
<b>4. BULGULAR.....</b>	<b>23</b>
4.1. ÇALIŞMADA KULLANILAN TOPRAĞIN KARAKTERİZASYONU.....	23
4.2. ÇALIŞMADA YAPILAN ANALİZLERİN SONUÇLARI.....	25
4.2.1. Ardışık Ekstraksiyon Sonuçları.....	25
4.2.2. TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) Test Sonuçları.....	36
4.2.3. Hemen Ulaşılabilir (Immediately Available) ve Potansiyel Olarak Ulaşılabilir (Potentially Available) Element Miktarları .....	38
4.2.4. Bitki Kök ve Gövdelerindeki Metal ve Diğer Elementlerin Miktarları .....	41

<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>	<b>49</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>53</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>59</b>
EK 1. Hasat Sonrası Bitki Gelişimleri.....	59
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>63</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 3.1: Toprak numunesinin alındığı yeri gösterir harita (Google, 2005).....	13
Şekil 3.2: Organik elementel analiz cihazı (FLASH 2000 Organic Elemental Analyzer).....	16
Şekil 3.3: Ekim yapıldıktan 10 gün sonra mısırların gelişimi (1. Set).....	17
Şekil 3.4: Ekim yapıldıktan 20 gün sonra mısırların gelişimi (1. Set).....	18
Şekil 3.5: 40. günün sonunda mısırların gelişimi (1. Set).....	18
Şekil 3.6: Ekim yapıldıktan 10 gün sonra mısırların gelişimi (2. Set).....	19
Şekil 3.7: Ekim yapıldıktan 20 gün sonra mısırların gelişimi (2. Set).....	19
Şekil 3.8: 40. günün sonunda mısırların gelişimi (2. Set).....	20
Şekil 4.1: Pb için elde edilen ardışık ekstraksiyon sonuçlarının grafiği (mg/kg-kuru madde).....	25
Şekil 4.2: Cd için elde edilen ardışık ekstraksiyon sonuçlarının grafiği (mg/kg-kuru madde).....	27
Şekil 4.3: Ni için elde edilen ardışık ekstraksiyon sonuçlarının grafiği (mg/kg-kuru madde).....	29
Şekil 4.4: Cu için elde edilen ardışık ekstraksiyon sonuçlarının grafiği (mg/kg-kuru madde).....	30
Şekil 4.5: Zn için elde edilen ardışık ekstraksiyon sonuçlarının grafiği (mg/kg-kuru madde).....	32
Şekil 4.6: Fe için elde edilen ardışık ekstraksiyon sonuçlarının grafiği (mg/kg-kuru madde).....	33
Şekil 4.7: Mn için elde edilen ardışık ekstraksiyon sonuçlarının grafiği (mg/kg-kuru madde).....	34
Şekil 4.8: TCLP test sonuçlarının grafiği (mg/kg-kuru madde).....	36
Şekil 4.9: Hemen ulaşılabilir (immediately available) element miktarlarının grafiği.....	38
Şekil 4.10: Potansiyel olarak ulaşılabilir (potentially available) element miktarlarının grafiği.....	40



<b>Şekil 4.11:</b> Bitki köklerindeki metal miktarlarının grafiği (mg/kg-kuru ağırlık).....	42
<b>Şekil 4.12:</b> Bitki köklerindeki diğer element miktarlarının grafiği (mg/kg-kuru ağırlık).....	43
<b>Şekil 4.13:</b> Bitki gövdelerindeki metal miktarlarının grafiği (mg/kg-kuru ağırlık).....	44
<b>Şekil 4.14:</b> Bitki gövdelerindeki diğer element miktarlarının grafiği (mg/kg-kuru ağırlık).....	45



## TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
<b>Tablo 3.1:</b> Saksılara konulan toprak ve toprak iyileştiricilerin hacimsel oranları.....	17
<b>Tablo 4.1:</b> Çalışmada kullanılan toprak ve kompostun karakterizasyonu.....	23
<b>Tablo 4.2:</b> Çalışma süresince saksılardaki toprak ve toprak karışımlarının pH değerlerinin değişimi.....	24
<b>Tablo 4.3:</b> Pb için elde edilen ardışık ekstraksiyon sonuçları (mg/kg-kuru madde).....	25
<b>Tablo 4.4:</b> Cd için elde edilen ardışık ekstraksiyon sonuçları (mg/kg-kuru madde).....	27
<b>Tablo 4.5:</b> Ni için elde edilen ardışık ekstraksiyon sonuçları (mg/kg-kuru madde).....	28
<b>Tablo 4.6:</b> Cu için elde edilen ardışık ekstraksiyon sonuçları (mg/kg-kuru madde).....	30
<b>Tablo 4.7:</b> Zn için elde edilen ardışık ekstraksiyon sonuçları (mg/kg-kuru madde).....	31
<b>Tablo 4.8:</b> Fe için elde edilen ardışık ekstraksiyon sonuçları (mg/kg-kuru madde).....	33
<b>Tablo 4.9:</b> Mn için elde edilen ardışık ekstraksiyon sonuçları (mg/kg-kuru madde).....	34
<b>Tablo 4.10:</b> TCLP test sonuçları (mg/kg-kuru madde).....	36
<b>Tablo 4.11:</b> Hemen ulaşılabilir (Immediately available) element miktarları (mg/kg-kuru madde).....	38
<b>Tablo 4.12:</b> Potansiyel olarak ulaşılabilir (Potentially available) element miktarları (mg/kg-kuru madde).....	40
<b>Tablo 4.13:</b> Bitki köklerindeki metal miktarları (mg/kg-kuru ağırlık).....	42
<b>Tablo 4.14:</b> Bitki köklerindeki diğer element miktarları (mg/kg-kuru ağırlık).....	43
<b>Tablo 4.15:</b> Bitki gövdelerindeki metal miktarları (mg/kg-kuru ağırlık).....	44
<b>Tablo 4.16:</b> Bitki gövdelerindeki diğer element miktarları (mg/kg-kuru ağırlık).....	45
<b>Tablo 4.17:</b> Bitki boyları ve ağırlıkları (cm).....	48

## SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>A<sub>2</sub></b>	: Terra B
<b>As</b>	: Arsenik
<b>C</b>	: Karbon
<b>Ca</b>	: Kalsiyum
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	: İyonize Kalsiyum
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	: Kalsiyum Klorür
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	: Kalsiyum Karbonat (tarım kireci)
<b>Cd</b>	: Kadmiyum
<b>Cd<sup>2+</sup></b>	: İyonize Kadmiyum
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Karbondioksit
<b>Cr</b>	: Krom
<b>Cr(III)</b>	: Krom (III)
<b>Cr(VI)</b>	: Krom (VI)
<b>CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	: Dikromat
<b>Cu</b>	: Bakır
<b>Fe</b>	: Demir
<b>H<sup>+</sup></b>	: Hidrojen İyonu
<b>H<sub>2</sub>O</b>	: Su
<b>HCl</b>	: Hidrojen Klorür
<b>HF</b>	: Hidrojen Florür
<b>Hg</b>	: Cıva
<b>HNO<sub>3</sub></b>	: Nitrik Asit
<b>K</b>	: Potasyum
<b>KCl</b>	: Potasyum Klorür
<b>M</b>	: Molarite
<b>Mg</b>	: Magnezyum
<b>Mn</b>	: Mangan
<b>N</b>	: Azot
<b>N<sub>2</sub></b>	: Azot Gazı
<b>Na</b>	: Sodyum

<b>Na<sub>2</sub>EDTA</b>	: Disodyum EDTA
<b>NaOH</b>	: Sodyum Hidroksit
<b>Ni</b>	: Nikel
<b>NO<sub>x</sub></b>	: Azot Oksit
<b>°C</b>	: Sıcaklık (santigrat derece)
<b>Pb</b>	: Kurşun
<b>T50</b>	: ViroBind
<b>Zn</b>	: Çinko
<b>Zn<sup>2+</sup></b>	: Çinko İyonu
<b>ZnCrO<sub>4</sub></b>	: Çinko Kromat

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>(v/v)</b>	: Hacim/Hacim
<b>µm</b>	: Mikrometre
<b>ATY</b>	: Atıktan Türetilmiş Yakıt
<b>cm</b>	: Santimetre
<b>cm<sup>3</sup></b>	: Santimetreküp
<b>DC</b>	: Düşük Yoğunluklu Doğru Akım
<b>EDTA</b>	: Etilen Diamin Tetraasetik Asit
<b>EPA</b>	: European Parliamentary Association (Avrupa Parlamenterler Örgütü)
<b>FRTR</b>	: Federal Remediation Technologies Roundtable
<b>g/cm<sup>3</sup></b>	: Gram/Santimetreküp
<b>HDPE</b>	: High Density Polyethylene
<b>ICP-OES</b>	: İndüktif Eşleşmiş Plazma/Optik Emisyon Spektrometresi
<b>İSTAÇ</b>	: İstanbul Çevre Koruma ve Atık Maddeleri Değerlendirme San. Ve Tic. A.Ş.
<b>mg/kg</b>	: Miligram/Kilogram
<b>mg/L</b>	: Miligram/Litre
<b>mL</b>	: Mililitre
<b>mm</b>	: Milimetre
<b>Mm</b>	: Milimol
<b>MSW</b>	: Kentsel Katı Atık
<b>OM</b>	: Organik Madde
<b>S/S</b>	: Solidification/Stabilization

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### TOPRAK İYİLEŞTİRİCİLER ile YÜKSEK MİKTARLARDA AĞIR METAL İÇEREN TOPRAĞIN ISLAHI

Ahsen ÇATALBAŞ

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Emine ELMASLAR ÖZBAŞ

Bu çalışma ile Trabzon ili sınırları içerisinde bulunan Baştımar Köyü Küme evleri mevkiindeki, tarımın gerçekleştirilemediği (toprağın yapısından dolayı) alandan toprak örnekleri alınıp, kullanılabilir hale gelmesinin sağlanması amaçlanmaktadır. Bu durum çevresel ve ekonomik açıdan bir önem arz etmektedir. Bu çalışmada yüksek konsantrasyonlarda ağır metal (Cu, Zn, Pb, Cd, Ni) içeren toprağın evsel katı atık kompostu, kireç ve bazı ticari toprak iyileştiriciler (Virobind (T50) ve Terra B (A2)) kullanılarak bitki yetiştirilebilir hale getirilmesi amaçlanmıştır.

Deneysel çalışmalar kapsamında kompost ve toprak numunelerinin karakterizasyonu yapılmış ve içindeki ağır metal miktarları belirlenmiştir. Toprak numuneleri %10 (v/v) kompost, %25 (v/v) kompost, %50 (v/v) kompost, %1,5 (v/v) kireç, %2,5 (v/v) kireç, %1,5 kireç ve %10 kompost, %1,5 (v/v) A2, %2,5 (v/v) A2, %5 (v/v) A2, %2,5 (v/v) A2 ve %10 (v/v) kompost, %0,5 (v/v) T50, %1,5 (v/v) T50, %2,5 (v/v) T50, %1,5 (v/v) T50 ve %10 (v/v) kompost ile karıştırılmıştır. Toprağa ilave edilen maddelerin toprak ile tepkimeye girmesi için süre tanınması amacıyla bir hafta boyunca saksılara sadece sulama işlemi uygulanmıştır. Bir hafta sonunda her saksıya bir adet olacak şekilde mısır (Zea mays) tohumu ekilmiştir. Hazırlanan saksılar 16 saat gündüz, 8 saat gece olacak şekilde gün ışığına maruz bırakılmak üzere ayarlanmış otomatik zamanlayıcı kontrollü aydınlatma altına yerleştirilmiştir. Saksılarda gerçekleştirilen deneylerde, mısır tohumlarının (Zea mays) bahsi geçen toprak ve iyileştiricilerden oluşan

karışımlarda gelişmesi 40 gün süresince gözlenmiştir. 40 günlük periyod sonunda bitkiler hasat edilip kök ve gövde uzunlukları ölçülmüştür. Ağırlıkları tartılmıştır. Bitki kök ve gövdelerindeki ağır metallerin, metallerin ve bazı elementlerin (Mg, Ca, Na ve K) konsantrasyonları tayin edilmiştir. Hiçbir iyileştirmenin yapılmadığı asidik karakterdeki toprakta bitki gelişmediği görülmüştür.

Toprak, kompost ve hazırlanan saksılardaki topraklara Elementel Analiz, Immediately Available Element Konsantrasyonlarının Tayin Yöntemi, Potentially Available Element Konsantrasyonlarının Tayin Yöntemi, TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) Yöntemi ve Ardışık Ekstraksiyon Yöntemi uygulanarak iyileştirmeden önce ve iyileştirdikten sonra topraktaki ağır metallerin hareketliliği ve formlarının değişimi tespit edilmiştir.

Deney başlangıcında ve sonunda saksılardaki karışımların pH değerleri ölçülmüştür. pH değerlerine bakıldığında, çalışmada kullanılan orijinal toprağın pH değerinin 3 (asidik) olduğu görülmüştür. Bu toprağa kompost ilave edildiğinde eklenen kompost miktarı arttıkça toprağın pH değerinin arttığı ve %50 kompost ilavesi ile pH 6'ya yükseldiği görülmüştür. Kireç ilavesi ile de ilave edilen kireç miktarı arttıkça toprağın pH değerinin arttığı, %2,5 kireç ilavesi ile başlangıçta pH'ın 6,5'e yükseldiği, çalışma sonunda pH 6'da kaldığı görülmüştür. A2 olarak tanımlanan ticari toprak iyileştiricinin eklenmesi de pH'ı arttırmıştır, ancak en yüksek pH 5 değerine ulaşılabilmiştir. T50 olarak tanımlanan ticari toprak iyileştirici ile (%2,5 T50 ilave edildiğinde) pH 7 değerine ulaşıldığı görülmüştür.

Ardışık ekstraksiyon sonuçları değerlendirildiğinde kompost ve kireç ilavesi ile genel olarak metallerin kolaylıkla taşınabilir formdan organik madde ile bağlı forma geçtiği görülmektedir. Bitki kök ve gövdelerindeki ağır metal miktarları incelendiğinde genel olarak bitki köklerinde tespit edilen ağır metal miktarlarının bitki gövdelerinde tespit edilen konsantrasyonlardan daha yüksek olduğu görülmüştür. Toprağa %50 (v/v) kompost ilavesi ile elde edilen karışımlarda büyüyen bitkilerin köklerinde çalışmada ölçümü yapılan bütün ağır metal türleri için diğer kompost karışımlarına oranla daha düşük ağır metal konsantrasyonları tespit edilmiştir ve bitki büyümesinin de bu kompost-toprak karışımında diğer kompost karışımlarına göre daha iyi olduğu görülmüştür. Bitki boy, ağırlıkları ve bitkilerin kök gelişimleri incelendiğinde %1,5 (v/v) kireç ilave edilmiş olan toprakta bitki gelişiminin daha iyi olduğu görülmüştür.

Sonuçlar değerlendirildiğinde, çalışmada kullanılan ticari toprak iyileştiricilerden T50 ile A2'ye göre daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Bitkilerin kök ve gövdelerinde ölçülen ağır metal miktarlarına bakıldığında, bitki kök ve gövdelerindeki ağır metal konsantrasyonlarının genel olarak %1,5 (v/v) T50 ve %10 (v/v) kompostun bir arada kullanıldığı toprak karışımlarında diğer karışımlara göre daha düşük konsantrasyonlarda olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda, T50 kullanımının topraktan bitkiye ağır metal geçişini azalttığı söylenebilir. Nihayetinde, %1,5 (v/v) kireç ve %10 (v/v) kompost ilave edilmiş toprakta en iyi bitki gelişiminin gözlenmiş olmasına rağmen, bitki kök ve gövdelerinde tespit edilen ağır metal miktarları ile birlikte değerlendirildiğinde, ikinci en iyi bitki gelişiminin gözlendiği %1,5 (v/v) T50 ve %10 (v/v) kompost ilave edilmiş toprağın kullanılmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir.

Haziran 2018, 79 sayfa.

**Anahtar kelimeler:** Toprak, toprak iyileştirme, ağır metal, kompost, Zea mays.

## **SUMMARY**

### **M.Sc. THESIS**

#### **THE REMEDIATION OF SOIL CONTAINED HIGH HEAVY METAL BY SOIL IMPROVERS**

**Ahsen ÇATALBAŞ**

**İstanbul University**

**Institute of Graduate Studies in Science and Engineering**

**Department of Environmental Engineering**

**Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Emine ELMASLAR ÖZBAŞ**

With this study, it is aimed to obtain soil samples from the area (due to the structure of soil) which can not be realized in the area of the Küme Evleri in the village of Baştımar in the Trabzon province borders and to make them available. This situation is of environmental and economic importance. In this thesis, it aims to turn the soil containing high concentrations of heavy metals (Cu, Zn, Pb, Cd, Ni) into a soil where plants can be grown by using domestic solid waste compost, lime and some commercial soil remedials (ViroBind (T50) and Terra B (A2)).

Within the scope of experimental studies, it is planned to conduct characterization of compost and soil samples and determine the amounts of heavy metals within. In this thesis, it is aimed to make the soil available for plantation by adding remedials one by one or with different combinations 10% (v/v) compost, 25% (v/v) compost, 50% (v/v) compost, 1.5% (v/v) lime, 2.5% (v/v) lime, 1.5% lime and 10% compost, 1.5% (v/v) A2, 2.5% (v/v) A2, 5% (v/v) A2, 2.5% (v/v) A2 and 10% (v/v) compost, 0.5% (v/v) T50, 1.5 % (v/v) T50, 2.5% (v/v) T50, 1.5% (v/v) T50 and 10% (v/v) compost. Only irrigation was applied to the pot for one week in order to allow time for the substances added to the soil to react with the soil. At the end of the week, seeds of maize (*Zea mays*) were planted, one for each pot. The prepared pots were placed under automatic timer-controlled lighting, which was set to expose to daylight, 16 hours a day, 8 hours

a night. In the pot experiments, the development of the maize seeds (*Zea mays*) in the mixture of the soil and the healers was observed for 40 days. After 40 days period, plants were harvested and root and stem lengths were measured. Their weights are weighed. Concentrations of heavy metals, metals and some elements (Mg, Ca, Na and K) in plant roots and bodies were determined. It has been seen that the plant does not develop in the soil in the acidic character where no improvement is made.

Determination of mobility and forms of heavy metals in the soil before and after remediation by applying Elemental Analysis to soil, compost and prepared pots soil, Immediately Available Element Concentration Determination Method, Potentially Available Element Concentration Determination Method, TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) Method and Sequential Extraction Method It was.

At the beginning and at the end of the experiment, the pH values of the mixture in the pots were measured. When the pH values are taken into consideration, it is seen that the pH value of the original soil used in the study is 3 (acidic). When this compost was added to the soil, the pH value of the soil increased and the pH increased to 6 with 50% compost addition as the amount of added compost increased. As the amount of lime added with lime addition increased, the pH value of the soil increased and the pH increased to 6.5 at the beginning with the addition of 2.5% lime and it remained at pH 6 at the end of the study. The addition of a commercial soil conditioner, designated A2, also increased the pH, but the highest pH value of 5 was achieved. A commercial soil conditioner (defined as T50) (with the addition of 2.5% T50) achieved a pH of 7.

When the results of consecutive extraction are evaluated, it is seen that metals are easily transferred from mobile form to organic bounded form by compost and lime addition. When the amounts of heavy metals in plant roots and bodies are examined, it has been found that the amounts of heavy metals detected in plant roots in general are higher than the concentrations detected in plant bodies. Lower heavy metal concentrations were found for all the heavy metal species studied in the roots of plants growing on the plants grown in the soil with 50% (v/v) compost addition, and plant growth was higher in this compost-soil mixture than in the other compost mixtures it seems to be good. Plant height, weights and root growth of the plants were found to be better than 1.5% (v/v) lime added plant growth.

When the results are evaluated, it can be said that commercial soil improvers used in the study have better results than T50 and A2. It has been found that heavy metal concentrations in plant roots and hulls are generally lower than those of other mixtures in soil mixtures where 1.5% (v/v) T50 and 10% (v/v) compost are used together when the heavy metals measured in the root and hulls of plants are taken into account. In the light of these results, it can be said that the use of T50 reduces the heavy metal transition from the soil to the plant. Finally, when evaluated together with the amount of heavy metals detected in plant roots and hulls, although the best plant growth was observed in the soil with 1.5% (v/v) lime and 10% (v/v). It is considered more convenient to use soil supplemented with 1.5% (v/v) T50 and 10% (v/v) compost.

June 2018, 79 pages.

**Keywords:** Soil, soil remediation, heavy metal, compost, *Zea mays*.



## 1. GİRİŞ

Toprak kirliliği, insan faaliyetlerinden, endüstriyel ve kentsel atıkların dağılmasından kaynaklanan büyük bir çevresel sorundur (Ghost ve Singh, 2005). Son yıllarda endüstriyel ilerlemeden ve antropojenik faaliyetlerden dolayı, endüstriyel atıkların salınımı artmıştır. Yüzlerce farklı maddeyi içeren muazzam miktardaki endüstriyel kirleticiler yıllarca çevreye yayılmıştır ve birçoğu zehirlidir, tarımsal ekosistemlerde ciddi kirlilik meydana getirmektedir (Kumar ve diğ., 2013).

Çok çeşitli inorganik ve organik bileşikler kontaminasyona neden olurlar. İnorganik kontaminatların ana bileşeni ağır metallerdir. Organik kirleticilerden farklı bir problem oluştururlar (Ghost ve Singh, 2005).

Ağır metaller, genel olarak 5 g/cm<sup>3</sup>'ten daha büyük bir özgül yoğunluğa sahip olanlar olarak tanımlanır. Ağır metallere insan sağlığına yönelik başlıca tehditler, kurşun, kadmiyum, cıva ve arsenik maruziyetiyle ilişkilidir (arsenik bir metaloitir, ancak genellikle ağır metal olarak sınıflandırılır) (Van Eerd ve diğ., 2003).

Ağır metallerin dozları ve konsantrasyonu ile bunların fiziksel ve kimyasal formları, onları mobil veya biyolojik olarak kullanılabilir hale getirmektedir. Çevreye ağır metallerin yayılımı, hava (örneğin yanma, ekstraksiyon ve işleme sırasında), yüzey suları (kanala akma ve depodan yayılım ve taşıma) ve toprağı (yeraltı suları ve ekinlerden dolayı) içeren geniş bir yelpazedeki süreçler ve yollar vasıtasıyla meydana gelebilir (Khalvati ve Dincer, 2013).

Ağır metallerin bitkiler ve hayvanlardaki biyolojik birikiminin toksik etkileri olduğu kanıtlanmıştır. Bu nedenle, ağır metallere kirlenmiş alanlara iyileştirme önlemleri uygulamak çok önemlidir (Tunalı, 2015).

Bu çalışma ile tarımın gerçekleştirilemediği (toprağın yapısından dolayı) alandaki toprağın kullanılabilir hale gelmesinin sağlanması amaçlanmaktadır. Bu durum çevresel ve ekonomik açıdan bir önem arz etmektedir. Bunun yanında, çevre ve halk sağlığı açısından önemli bir kirletici olan ağır metallerin bitkiye geçişleri ile ilgili yeni bir bakış açısı oluşturulacağı düşünölmektedir.

Bu çalışmada yüksek konsantrasyonlarda ağır metal (Cu, Zn, Pb, Cd, Ni) içeren toprağın evsel katı atık kompostu, kireç ve bazı ticari toprak iyileştiriciler (Virobind (T50) ve Terra B (A2)) kullanılarak bitki yetiştirilebilir hale getirilmesi amaçlanmıştır.

Deneysel çalışmalar kapsamında kompost ve toprak numunelerinin karakterizasyonu yapılmış ve içindeki ağır metal miktarları belirlenmiştir. Toprak numuneleri %10 (v/v) kompost, %25 (v/v) kompost, %50 (v/v) kompost, %1,5 (v/v) kireç, %2,5 (v/v) kireç, %1,5 kireç ve %10 kompost, %1,5 (v/v) A2, %2,5 (v/v) A2, %5 (v/v) A2, %2,5 (v/v) A2 ve %10 (v/v) kompost, %0,5 (v/v) T50, %1,5 (v/v) T50, %2,5 (v/v) T50, %1,5 (v/v) T50 ve %10 (v/v) kompost ile karıştırılmıştır. Toprağa ilave edilen maddelerin toprak ile tepkimeye girmesi için süre tanınması amacıyla bir hafta boyunca saksılara sadece sulama işlemi uygulanmıştır. Bir hafta sonunda her saksıya bir adet olacak şekilde mısır (*Zea mays*) tohumu ekilmiştir. Hazırlanan saksılar 16 saat gündüz, 8 saat gece olacak şekilde gün ışığına maruz bırakılmak üzere ayarlanmış otomatik zamanlayıcı kontrollü aydınlatma altına yerleştirilmiştir. Saksılarda gerçekleştirilen deneylerde, mısır tohumlarının (*Zea mays*) bahsi geçen toprak ve iyileştiricilerden oluşan karışımlarda gelişmesi 40 gün süresince gözlenmiştir. 40 günlük periyod sonunda bitkiler hasat edilip kök ve gövde uzunlukları ölçülmüştür. Ağırlıkları tartılmıştır. Bitki kök ve gövdelerindeki ağır metallerin, metallerin ve bazı elementlerin (Mg, Ca, Na ve K) konsantrasyonları tayin edilmiştir.

## 2. GENEL KISIMLAR

### 2.1. TOPRAK KİRLİLİĞİ

Toprak kirliliği, bitkiler, yaban hayatı, insanlar ve tabii ki toprağın kendisi için risk oluşturacak kadar yüksek konsantrasyonlarda, toprakta zehirli kimyasalların, kirleticilerin veya atıkların var olmasıyla meydana gelir. Tarıma elverişli arazi, kısmen küresel ısınmaya, tarımsal gübrelere ve pestisitlere bağlı olarak artan oranlarda çöle dönüşmektedir ve tarıma elverişsiz hale gelmektedir. Böylelikle giderek artan nüfusu besleyebileceğimiz imkânlar azalmaktadır. Bununla birlikte, üretim yapılabilecek yeni araziler mevcut değildir ve mevcut araziler kaybolmakta ve bozulmaktadır (Tsiattalos, 2013).

Kirlenmiş toprakla temas, parklar, okullar vb. yerlerin kullanımından dolayı doğrudan veya buharlaşan toprak kirleticilerinin solunumuyla veya büyük miktarda toprak kirleticileri biriktiren bitkiler veya hayvanların tüketimi yoluyla dolaylı yoldan olabilir ve ayrıca su kaynaklarının ikincil kirliliğinden ve hava kirleticilerinin birikiminden kaynaklanabilir (Tsiattalos, 2013).

#### 2.1.1. Ağır Metaller

Ağır metal, metaller grubuna uygulanan genel bir toplu terimdir ve  $4 \pm 1$  g/cm<sup>3</sup>'den daha büyük yoğunluktaki metaloitler ağır metal olarak tanımlanırlar. Bu metaller doğal olarak oluşur. Yerkabuğunda, toprakta, kayalarda, dip çamurlarında ve sularda bulunur. Antropojenik salınımlar, çevredeki metal konsantrasyonunun artmasına neden olabilir. Ağır metaller parçalanamaz ya da yok edilemedikleri için çevrede kalırlar (Mohammed ve diğ., 2011).

Ağır metallerin bitkiler ve hayvanlardaki biyolojik birikiminin toksik etkileri olduğu kanıtlanmıştır. Bu nedenle, ağır metallerle kirlenmiş alanlara iyileştirme önlemleri uygulamak çok önemlidir (Tunalı, 2015).

#### 2.1.2. Toprak Kimyası ve Ağır Metallerin Potansiyel Riskleri

Kirlenmiş alanlarda bulunan en yaygın ağır metaller, çokluk sırasına göre Pb, Cr, As, Zn, Cd, Cu ve Hg'dir. Bu metaller, besin zincirinde biyoakümülyasyon ve biyomagnifikasyon riski nedeniyle ürün üretimini azaltabildikleri için önemlidir. Yüzeysel ve yeraltı suyu kirliliği riski de vardır. Bu ağır metallerin temel kimyası, çevre ve ortak sağlık etkileri, onların türleşme,

biyoyararlanım ve iyileştirme seçeneklerinin anlaşılmasında gereklidir. Topraktaki bir ağır metalin akıbeti ve taşınması, metalin kimyasal formuna ve türleşmesine önemli ölçüde bağlıdır. Toprakta bir kere ağır metaller, ilk hızlı reaksiyonlar (dakikalar, saatler), ardından yavaş adsorpsiyon reaksiyonları (günler, yıllar) tarafından adsorbe edilir ve bu nedenle, değişen biyoyararlanım, hareketlilik ve toksisite ile farklı kimyasal formlara yeniden dağıtılırlar. (Wuana ve Okieimen, 2011).

#### **2.1.2.1. Kurşun (Pb)**

Solunma ve ağız yoluyla alınma olarak iki maruz kalma şekli var ve her ikisinde de etkileri aynıdır. Kurşun, vücut organlarında (yani beyin) birikir. O zehirlenmeye (kurşun zehirlenmesi) veya ölüme bile yol açabilir. Sindirim sistemi, böbrekler ve merkezi sinir sistemi de kurşun varlığından etkilenir. Kurşuna maruz kalan çocuklar, gelişim bozukluğu, düşük IQ, kısaltılmış dikkat süresi, hiperaktivite ve zihinsel bozulma riski altındadır; altı yaşın altındaki çocuklar daha ciddi bir risk altındadır. Yetişkinlerde genellikle, kurşuna maruz kalındığında reaksiyon süresinin azalması, hafıza kaybı, bulantı, uykusuzluk, iştahsızlık ve eklemlerin zayıflığı görülür. Kurşun gerekli bir element değildir. Toksik olduğu iyi bilinmektedir ve etkileri diğer eser metallerin etkilerinden daha kapsamlı olarak gözden geçirilmiştir. Kurşun, beyin, sinir sistemi, kırmızı kan hücreleri ve böbreklerde ciddi zarara neden olabilir. Kurşuna maruz kalmak, maruz kalma düzeyine ve süresine bağlı olarak çok çeşitli biyolojik etkilere neden olabilir (Wuana ve Okieimen, 2011).

#### **2.1.2.2. Çinko (Zn)**

Çinko, toprakta doğal olarak oluşur (kabuklu kayalarda yaklaşık 70 mg/kg), fakat çinko konsantrasyonları, antropojenik eklemeler nedeniyle doğal olmayan bir biçimde yükselmektedir. Çoğu Zn, madencilik, kömür ve atık yakma ve çelik işleme gibi endüstriyel faaliyetler sırasında eklenir. Birçok gıda maddesi belirli konsantrasyonlarda Zn içerir. İçme suyu ayrıca, metal tanklarda depolandığında daha yüksek olabilen belirli miktarlarda Zn içerir. Endüstriyel kaynaklar veya zehirli atık sahaları, içme suyundaki Zn konsantrasyonlarının sağlık sorunlarına yol açabilecek seviyelere ulaşmasına neden olabilir. Çinko, insan sağlığı için gerekli olan bir eser elementtir. Çinko eksikliği doğum kusurlarına (erken doğum, düşük, görme kusuru vb.) neden olabilir. (Wuana ve Okieimen, 2011).

Diğer ağır metallerle karşılaştırıldığında, çinko metali ve birçok bileşiği düşük zehirlilik etkisi gösterirler. Çinko tuzlarının toksikliği çinkodan daha fazladır ve bu zehirlilik bağlı olduğu

anyondan kaynaklanmaktadır. Örneğin; çinko kromatın ( $ZnCrO_4$ ) yüksek zehirleyici ve kanserojen özelliği  $Zn^{2+}$  yüzünden değil anyonik  $CrO_4^{2-}$  bileşeni sebebiyledir. Çinko ve çinko tuzlarından zehirlenme nadir görülmektedir. Çinko insanlar ve diğer canlılar için önemli ve yaşamsal elementlerden biridir. Çinko eksikliğinde, gelişim bozuklukları, cinsiyet ve iskeletin gelişmemesi, kol ve bacak gibi uzuvlarda ve açık yerlerde deri iltihabı, ishal, kellik, iştah azalması ve davranışlarda değişiklikler ortaya çıkmaktadır (Kartal ve diğ., 2004).

#### **2.1.2.3. Kadmiyum (Cd)**

Kirlenmemiş toprakların kadmiyum konsantrasyonları genellikle 0,5 mg/kg'ın altındadır, ancak toprak ana materyaline bağlı olarak 3 mg/kg'a kadar ulaşabilir (Schachtschabel ve diğ., 1984). Kadmiyum, yüksek toksisitesi ve sudaki çözünürlüğü nedeniyle özellikle zararlı bir kirleticidir (Lockwood, 1976). Düşük konsantrasyonlarda Cd bitkiler için toksik değildir, ancak daha yüksek konsantrasyonlarda toksiktir ve karakteristik olarak kök gelişimini ve hücre bölünmesini engeller (Jiang ve diğ., 2001; Liu ve diğ., 2001; 2003/2004).

Modern sanayi ve tarımın gelişmesiyle birlikte Cd kirliliğinin sorunlarına daha fazla ağırlık verilmektedir. Çoğu konvansiyonel iyileştirme yaklaşımları, metal kirliliğinden kaynaklanan toksisiteye kabul edilebilir bir çözüm sağlamamaktadır (Wang ve diğ., 2006).

#### **2.1.2.4. Bakır (Cu)**

Atmosfer koşullarında metalik gri tonunda bulunmayan bakır, adını ilk bulunduğu yer olan Kıbrıs'ın latinesinden (aes cyprium=Kıbrıs cevheri, cyprium ve daha sonra Cuprum) almıştır. Bakır yüksek elektrik ve ısı iletkenliğine sahiptir, aşınmaya ve korozyona dirençlidir, çekilebilme ve dövülebilme özelliklerine sahiptir. Çok çeşitli alaşımlara sahiptir ve bu nedenle endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır (ASM International,, 1979).

Bakırın canlılar üzerindeki etkisi, kimyasal formuna ve canlının özelliklerine göre değişebilmektedir. Bakır doğada pek çok sebze ve meyvede bulunur. Bakır eksikliğine bağlı olarak hayvanlarda ve insanlarda çeşitli hastalıklara neden olur. Büyümede gecikme, solunum sisteminde enfeksiyonlar, sinir sisteminde bozukluklar, kemik erimesi, anemi, saç ve deride renk kaybı, örnekler verilebilir. Bakır için içme sularında Dünya Sağlık Örgütü tarafından açıklanan sınır değeri 2 mg/L'dir (Kartal ve diğ., 2004).

### 2.1.2.5. *Nikel (Ni)*

Nikel, toprakta eser element olarak bulunmaktadır. Nikelin korozyon ve ısı direnci yüksek, sertliği ve dayanımı iyidir. Bu nedenlerle, nikelin büyük bir çoğunluğu alaşım üretiminde kullanılmaktadır. Nikelin bilinen biyolojik fonksiyonu yoktur ve orta seviyede zehirleyici özelliği vardır. Nikelin organik formu, inorganik formundan daha zehirleyicidir. Deriyi tahriş edebilir, kalp-damar sistemine çok zararlıdır ve kanserojen bir metaldir. Bazı bitki türleri, örneğin; baklagiller, için yararlı bir element olan nikel, yüksek konsantrasyonlarda zehirleyici olmaktadır (National Toxicology Programme, 2016).

## 2.2. TOPRAK KİRLİLİĞİ GİDERİM YÖNTEMLERİ

Toprak kirliliği problemini çözmek için çok çaba harcanmıştır. Kirlilik azaltımı ve kontrolü için birçok strateji ve yöntem benimsenmiştir. Genel olarak, iyileştirme teknolojileri iki ana stratejiye ayrılabilir: in-situ (yerinde) iyileştirme ve ex-situ (yerinde olmayan) iyileştirme. Yerinde iyileştirme, kirleticinin orijinal yerinde işlenmesidir. Bu strateji, toprağın kendisini hareket ettirmeden kirleticinin topraktan uzaklaştırılmasını hedefler. Ex-situ iyileştirme, kazı ve kontamine toprak veya sedimentin sahadan başka bir yerden uzaklaştırılması ile gerçekteştirilir. (Song ve diğ., 2017).

Ağır metallerden kaynaklanan toprak kirliliği, ağır metallerin sahip olduğu yüksek toksisite, uzun süreli kalıcı olmaları, daha sonra çevresel ve sağlık açasından zararlı etkileri olacak şekilde besin zincirine dahil edilebilmeleri nedeniyle dünya çapında bir sorundur. Fitoremediasyon, toprak yıkama, stabilizasyon, katılaştırma, elektromediasyon ve kazı gibi çeşitli yöntemler ile metallere kirlenmiş toprakların iyileştirilmesi mümkün olabilmektedir (Mulligan ve diğ., 2001; Kumpiene ve diğ., 2008).

### 2.2.1. In-situ Remediasyon Yöntemleri

#### 2.2.1.1. *Yüzey kaplama*

Yüzey kaplaması, kirlenmiş alanı bir tabaka ile kaplamaktır. Yüzeyden herhangi bir taşınma olmaması için toprak yüzeyi su geçirmez bir malzeme ile kaplanır. Ancak, bu yöntem gerçek bir "iyileştirme" yöntemi değildir. Çünkü, kirletici ağır metallerin ortamdaki uzaklaştırılması sağlanmaz, sadece hareketlilikleri azaltılır (NJDEP, 2014).

### **2.2.1.2. Kapsülleme**

Kapsülleme, aynı zamanda "bariyer duvarı", "kesme duvarı" veya "astar" olarak adlandırılır. Yöntem, yüzey kaplamasına paralel bir iyileştirici alternatiftir. Teknik, düzgün tasarlanmış bir fiziksel bariyerde kirli toprağı izole eder. Kirleticilerin yayılması engellenmiş olur (Khan ve diğ., 2004; Meuser, 2013).

### **2.2.1.3. Elektrokinetik Arıtım**

Elektrokinetik ekstraksiyon, kontamine olmuş topraklardan ağır metalleri elektriksel adsorpsiyon ile uzaklaştırmak olarak tanımlanabilir. Düşük yoğunluklu doğru akım (DC) zemine yerleştirilen elektrotlar aracılığıyla uygulanır, kationlar kirlenmiş toprağın çözelti fazında katoda göç eder, anyonlar elektrik alanının oluşturduğu çekici kuvvetle anoda göç eder (FRTR, 2012).

### **2.2.1.4. Toprak Yıkama**

Toprak yıkama, kirletici maddelerin topraktan bir ekstraksiyon sıvısı enjeksiyonu sonucu, yıkanarak uzaklaştırılmasıdır. Ekstraksiyon sıvısı daha sonra geri kazanılır, yeniden kullanılır, arıtılır veya sonunda imha edilir. Teknik, yüksek geçirgenliğe sahip homojen, kaba dokulu topraklara uygulanabilir (CLU-IN, 2017).

### **2.2.1.5. Kimyasal immobilizasyon**

In-situ kimyasal immobilizasyon, bazen yerinde katılaştırma/stabilizasyon olarak da adlandırılır. (S/S), kimyasal ajanları orijinal ortama yerleştirilerek kirleticileri tutmak veya hareketsiz kılmaktır. Toprağı katılaştırmak veya mobil kirletici fraksiyonları (yani, çözünür ve değiştirilebilir formlar) hareketsiz formlara dönüştürmek olarak ifade edilebilir. Kimyasal immobilizasyon ile kirleticiler topraktan kaldırılmaz. Bunun yerine, ağır metallerin hareketliliği/çözünürlüğü ve toprak gözeneklerindeki konsantrasyonları büyük ölçüde azalır. Böylece bitkilere, mikroorganizmalara ve yeraltısuyuna potansiyel ulaşımı en aza indirgenmiş olur (Tajudin ve diğ., 2016; Liu ve diğ., 2018).

### **2.2.1.6. Fitoremediasyon**

Fitoremediasyon, kirlenmiş topraklarda bitkilerin yetiştirilmesidir. Ağır metalleri bitkilerle gidermek (bitki ekstraksiyonu veya fitovolatilizasyon) veya onları zararsız duruma getirmek (fitoimmobilizasyon ve fitostabilizasyon) şeklinde uygulanabilmektedir. Bu bitki tabanlı teknoloji, uygulaması kolay, ekonomik bir yöntem olduğu için kabul görmektedir. Toprak

özelliklerinde geri dönüşü olmayan fiziksel ve kimyasal arıtım yöntemlerinin yerine, kirlenmiş toprakların kimyasal ve biyolojik kalitesini geliştirdiği için de tercih edilmektedir (Mahmood ve diğ., 2015).

#### **2.1.1.7. Biyoremediasyon**

Bioremediasyon, bitkiler yerine mikroorganizmaları kullanarak toprağı dekontamine etmektir. Mikroorganizmalar, ayrıca ağır metallerin değerliğini değiştirerek (Örneğin; Cr(VI) Cr(III)), hücre dışı kimyasal çöktürme veya uçucu hale getirme gibi işlemlerle ağır metallerin toksisitesini giderebilirler. Ağır metalle kirlenmiş toprakları temizlerken, biyoremediasyon genel olarak diğer tekniklerle birlikte kullanılır (Liu ve diğ., 2018).

### **2.2.2. Ex-situ Remediasyon Yöntemleri**

#### **2.2.2.1. Depolama (Landfilling)**

Kirlenmiş olan toprak, bulunduğu yerden kazılıp çıkarılarak bertaraf için güvenli bir depolama alanına taşınır. Güvenli bir depolama alanı geçirimsiz tabakalar, sızıntı suyu tahliyelerini ve izleme sistemlerini içermektedir (FRTR, 2012).

#### **2.2.2.2. Toprak Yıkama**

Toprak yıkaması karışık bir fiziksel ve kimyasal işlemdir. Kirlenmiş topraktan ağır metaller, özel olarak formüle edilmiş çözeltilerle toprak ex-situ yıkayarak giderilir. İlk olarak topraktan kaba materyaller (plastik kalıntılar ve taşlar gibi) giderilir. Manyetik malzemeler topraktan mıknatıslar kullanılarak kaldırılır. Elenmiş toprak bir yıkama çözeltisi ile karıştırılır. Yıkama çözeltisindeki süspanse katılar çökeltme ile ayrılır. Atık yıkama çözeltisi tekrar kullanılır, geri dönüştürülür veya bir atıksu arıtma tesisine aktarılır (Liu ve diğ., 2018).

#### **2.2.2.3. Katılaştırma**

Ex-situ toprak katılaştırmada, metalle kirlenmiş toprak sahadan kaldırılır, bir arıtma tesisine taşınır, içindeki kaba parçalar giderilir. Daha sonra bir bağlayıcı madde ile karıştırılır. Bu bağlayıcı madde toprakta dağılan ve su geçirmez bir maddedir. Bu teknoloji bazen, kirletici immolizasyonu için bağlayıcı madde yerine stabilize edici bir ajan kullanıldığında "mikro kapsülleme" veya "ex-situ stabilizasyon" olarak adlandırılır (FRTR, 2012).



#### 2.2.2.4. Vitrifikasyon (Camlaştırma)

Vitrifikasyon, ısının kullanıldığı termal bir ıslah tekniğidir. Kirlenmiş toprağı camsı katılara dönüştürür. Pratikte yoğun enerji yüksek sıcaklık bölgesi oluşturmak için kirlenmiş topraklara uygulanır. Yüksek sıcaklıkta toprak eriyerek lav haline gelir ve soğuduktan sonra camsı malzeme oluşur. Ağır metaller bu camsı yapı içinde hapsedilmiş olur. Elde edilen vitrifikasyon ürünü, dayanıklı, kimyasal olarak inert, leachinge karşı dayanıklı bir yapıdadır (Khan ve diğ., 2004; Meuser, 2013).

Bu yöntemler arasında, kirlenmiş topraklara çeşitli maddeler eklenmesiyle kirletici maddelerin yerinde hareketsizleştirilmesini sağlayan iyileştirme stratejileri, oldukça etkilidir ve geniş alanlara da uygulanabilmeleri mümkündür. Toprak iyileştirme üzerindeki olumlu etkilerine ek olarak, bu maddelerin kullanımı da atıkların faydalı bir şekilde yeniden kullanılması için bir alternatif olarak düşünülmektedir (Venegas ve diğ., 2015).

Modern iyileştirme yaklaşımları, toprak iyileştiricilerin eklenmesiyle doğal indirgenme ve fitostabilizasyon gibi çevre dostu tekniklere giderek daha fazla odaklanmaktadır (Gong ve diğ., 2009; Karami ve diğ., 2011).

### 2.3. TOPRAK İYİLEŞTİRİCİLERİ

Evsel atıklar, gıda sanayi atıkları ve hayvan gübrelereinden elde edilen kompostlar gibi farklı kökenlere sahip organik maddeler, ağır metallerle kirlenmiş toprakların iyileştirilmesi için kullanılabilir (Clemente ve diğ., 2007; Nwachukwu ve Pulford, 2008).

Toprağı ilave edilen organik kökenli iyileştiricilerin potansiyel yararlı etkisi değişebilmektedir. Organik maddeler, toprak pH'ını ve metallerin spesifik etkileşimini artırarak ağır metallerin mevcudiyetini azaltabilir, çünkü organik madde içindeki reaktif gruplar, toprakta bulunan ağır metalleri hareketsiz formlara dönüştürebilir ve sorblayabilirler (Lee ve diğ., 2004; Karlsson ve diğ., 2007).

Bununla birlikte, bazı araştırma sonuçları, topraktaki pH değerindeki potansiyel azalmaya, sonuçtaki karışımlarda çözülmüş organik maddede artışa ve metal-organik madde çözünebilir komplekslerdeki ilgili artışa bağlı olarak organik materyallerin de topraktaki metal

hareketliliğini arttırabildiğini göstermektedir (Clemente ve diğ., 2007; Khokhotva ve Waara, 2010).

Kirlenmiş topraklara organik maddelerin eklenmesi, malzemenin ve alıcı toprağın özelliklerine (örneğin; toprak pH'ı, organik madde ve kil muhtevası) bağlı olarak metallerin hareketliliği üzerinde olumlu veya olumsuz etkilere neden olur (Farrell ve Jones, 2010).

### **2.3.1. Kireç**

Tarım kireci, asidik özellikli toprağı bazikleştirip toprak verimliliğini ve kalitesini arttıran, ürünlerin topraktan fosfor alma oranını arttıran, su tutma özelliği ile kurak topraklarda ürün verimliliğini arttıran, doğal toprak düzenleyicidir (Nur Kireç, 2015).

Toprağına kireç eklenmesi, en yaygın iyileştirme yöntemlerinden biridir ve metal-karbonatlar olarak ağır metallerin çökmesine yol açabilir ve topraklar içindeki ağır metallerin değiştirilebilir (exchangeable) kısımlarını önemli ölçüde azaltır (Lee ve diğ., 2004).

Kireç, toprak pH'ını arttırır ve kirlenmiş topraklarda pH değerini sabitler. Özellikle bitkiler tarafından topraktan Cd'un emilimini ve birikmesini engellemesi ile ilgili yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır (Maier ve diğ., 2002; Tsadilas ve diğ., 2005; Hong ve diğ., 2007; Tsadilas, 2008; Zhu ve diğ., 2016).

### **2.3.2. Kompost**

Ülkemizde yayınlanan kompost tebliğine göre, kompost, organik esaslı atıkların oksijenli veya oksijensiz ortamda ayrıştırılması suretiyle üretilen ürün olarak tanımlanmıştır (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2015). Kompost kullanımının toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirdiği bilinmektedir (Carbonell ve diğ., 2011).

Kompostlaştırma, evsel nitelikli katı atıkların hacim ve ağırlıkça yaklaşık %50 azalmasına neden olması ve elde edilen kompostun tarımsal alanlarda toprak iyileştirici bir malzeme olarak kullanılması açısından çevresel açıdan etkili bir katı atık berteraf metodudur (Zhang ve diğ., 2013). Kompostlaştırma işlemi, organik maddelerin aerobik veya anaerobik şartlar altında sağlığa zararsız, humusa benzer bir maddeye dönüşmesi ile sonuçlanır (Bilgili ve diğ., 2003; Çelik ve diğ., 2004; Mazlum ve Mazlum, 2004).

Kompost, gübre değildir, bir toprak düzenleyicisidir. Gübre olarak tanımlanamamaktadır, çünkü gübre olarak ifade edilmesi için daha fazla miktarda azot, fosfor ve potasyum içermesi gerekmektedir. Ayrıca, kompostun içerdiği maddeler kimyasal gübrelerin aksine, ancak uzun bir süre içerisinde çözünebilmekte ve ortama aktarımı zaman almaktadır (TMMOB, 2005).

Eğer kompost yüksek miktarda organik madde içeriyorsa, toprakta bulunan metalleri içerdiği humik maddeler ile bağlayarak kompleksler oluşturduğu ve böylece metallerin biyoalınabilirliğini azalttığını belirten çalışmalar mevcuttur (Liu ve diğ., 2009). Organik ve inorganik kirleticilerin her ikisi de kompost kullanılarak ıslah edilebilmektedir. Kompost içindeki ağır metallerin konsantrasyonu yüksek olsa bile bu kompostun ilavesi ile toprağın ıslahı mümkün olabilmektedir (Paradelo ve Barral, 2012).

#### 2.4. LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALARDAN ÖRNEKLER

Yakın zamanda yapılan bir çalışmada, Zhu ve diğ. (2016) kireç varlığının toprağın pH değerini ortalama olarak 0,50 ünite arttırmasının, pirinç tanelerindeki Cd konsantrasyonlarını %35,3 azalttığını bildirmiştir.

pH 7'de toprakta yetiştirilen meşe fidanlarında ve bu bitkilerin yapraklarında Cd konsantrasyonlarının, toprağa kireç eklenmesiyle toprak pH değerinin 4'den 7'ye yükseltilmesinin gövde kısımlarına geçen Cd miktarını 1'e 6 oranında, yapraklara geçen Cd miktarını ise 1'e 12 oranında azalttığını gösteren çalışma da literatürde mevcuttur (Blake ve Goulding, 2002).

Kireç uygulamasının bazı sebzelerin, tütünün (Tsadilas ve diğ., 2005) ve patatesin (Maier ve diğ., 2002) Cd alımını azaltabildiğini bildiren çalışmalar da literatürde vardır (Tsadilas ve diğ., 2005).

Yang ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışma, orta derecede asidik olan topraklarda kireç uygulaması ile toprak pH'nın yükseltilmesinin Cd'un pirinç bitkisi tarafından alınabilirliğini azalttığının tespit edildiği belirtilmiştir.

Galdames ve diğ. (2017) tarafından yapılan çalışmada, sıfır değerlikli demir nanopartikülleri ve bahçe atıklarından elde edilen kompostun bir arada veya ayrı ayrı kullanılmasının kirlenmiş toprağa etkileri incelenmiştir. Çalışmada, nanopartiküllerin tek başına veya kompost ile

toğrağın biyoremediasyonunda kullanılmasının, topraktaki poliaromatik hidrokarbonların toprak suyuna geçişlerinin azalttığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda, Cr'un da hareketliliğinin azaldığı belirlenmiştir. Ancak, kompost ilave edilen topraklarda Pb hareketliliğinin ve toprak suyuna geçişinin arttığı görülmüştür.

Farrell ve Jones (2010) tarafından yapılan çalışmada, yüksek derecede asidik olan toprağa evsel katı atık kompostu ilave edilerek, kireç ilavesi ile birlikte ve kireç ilave edilmeden ağır metallerin (As, Cu, Pb, Zn) hareketliliğinin değişimi incelenmiştir. Çalışma sonucunda, kompost kullanımının bitkilere ağır metal geçişini azalttığı görülmüştür. Ancak, kireç ilavesinin bitkilerin toprak üstü kısımlarının gelişimini olumsuz yönde etkilediği ve daha düşük biyokütleli bitkilerin geliştiği görülmüştür. Kireç ve kompostun bir arada kullanıldığı topraklarda ağır metallerin hareketliliğinin kireç ilave edilmeden sadece kompostun ilave edildiği topraklara göre daha da azaldığı görülmüştür. Bununla birlikte, bitki büyümesini optimize etmek için doğru pH değerinin sağlanmasının (pH 5-6) önemli olduğu ifade edilmiştir.

Zhou ve diğ. (2017) tarafından yapılan çalışmada, kompostun tek başına veya kırmızı çamur ile karıştırılarak toprağa eklenmesinin topraktaki ağır metallerin (Cu, Pb, Zn ve Cd) bitkiler tarafından alınabilir konsantrasyonlarını azalttığı tespit edildiği belirtilmiştir.

Wu ve diğ. (2011) tarafından yapılan çalışmada, sera şartlarında saksılarda gerçekleştirilen deneylerle topraktan pirinç bitkisine Cd ve Pb geçişine kompost kullanımının ve kolza bitkisi ile dönüşümlü ekiminin etkisi incelenmiştir. Kolza bitkisinin ekiminden ve hasatından sonra yetiştirilen pirinçlerde Cd ve Pb miktarlarının (hem tanelerde hem de gövde kısmında biriken) önemli miktarda azaldığı görülmüştür. Aynı zamanda kompost ile şartlandırılmış topraktan bitkiye Cd ve Pb'nin geçişinin azaldığı tespit edilmiştir.

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

#### 3.1. MALZEME

##### 3.1.1. Çalışmada Kullanılan Toprak Örneğinin Alındığı Yere İlişkin Genel Bilgiler

Çalışma kapsamında kullanılan toprak numunesi Trabzon ili sınırları içerisinde bulunan Baştımar Köyü Küme evleri mevkiindeki, tarımın gerçekleştirilemediği (toprağın yapısından dolayı) bir sahadan alınmıştır. Saha çevresinde herhangi bir endüstri tesisi, trafiğe açık alan veya gelişmiş bir yerleşim alanı bulunmamaktadır. Çalışma sahasının etrafında fındık bahçeleri yer almaktadır. Herhangi bir atıksu deşarjı ile kirlenebilecek bir mevki de bulunmamaktadır. Şekil 3.1’de çalışmada kullanılan toprak numunelerinin alındığı yeri gösteren harita verilmiştir.



Şekil 3.1: Toprak numunesinin alındığı yeri gösterir harita (Google, 2005).

##### 3.1.2. Evsel Katı Atık Kompostu

Evsel katı atık Kompostu, İSTAÇ Kemerburgaz Geri Kazanım ve Kompost Tesisinden temin edilmiştir.

###### 3.1.2.1. Kompost Tesisi

İSTAÇ bünyesindeki, Kemerburgaz Geri Kazanım ve Kompost Tesisi 2001 yılında hizmet vermeye başlamıştır. İstanbul genelinde toplanan organik içerikli evsel atıklar, kontrollü şartlar altında mikroorganizmalar aracılığı ile doğal olarak işlenmektedir. Tesis günlük 1000 ton evsel

atık işleme kapasitesine sahiptir. Yılda ortalama 20.000 ton organik değeri yüksek kompost üretilmektedir (İSTAÇ, 2015a).

Söz konusu tesiste, atıklar, tünel kompostlaştırma tekniğine dayalı olarak aerobik fermentasyon ile işlenmektedir. Kompost ve Geri Kazanım Tesisi şu ünitelerden oluşmaktadır;

- Kompost Ünitesi
- Geri Kazanım Ünitesi
- Granül, Pet-Çapak Ünitesi
- ATY (Atıktan Türetilmiş Yakıt) Ünitesi.

İstanbul genelinde her yıl atık karakterizasyon çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmalar ile ilçelerden ne tür atık çıktığı analiz edilmektedir. Buna göre organik içeriği ve ambalaj atığı oranı yüksek buna karşın tekstil atığı oranı düşük bölgelerin atıkları kompost tesisine yönlendirilmektedir. Ayrıca; Bayrampaşa Hal Müdürlüğü'nden sebze ve meyve atıkları, Büyükşehir Belediyesi Mezarlıklar Müdürlüğü ve Park ve Bahçeler Müdürlüğü, diğer resmi kurum ve kuruluşlar ile özel kişilerden gelen dal-budak atıkları, karışık belediye atıklarından ayrı olarak tesise gelmektedir. Büyük hacimli atıklar (yatak, koltuk, tekstil atığı, inşaat-tadilat atığı, otomobil lastiği vb. atıklar) ayrıştırıldıktan sonra uygun atıklar 80 mm delik çaplı 2 eleğe beslenmektedir. 80 mm altı atıklar, içindeki metal ve benzeri malzemeler manyetik bantta ayrıştırıldıktan sonra fermentasyon bölümüne gönderilmektedir. 80 mm'den büyük atıklar ise Geri Kazanım Ünitesine gönderilmektedir (İSTAÇ, 2015b).

### **3.1.3. Terra B (A2) ve ViroBind (T50)**

A2 ve T50 adlarıyla belirtilen ticari toprak iyileştiriciler Virotec adlı uluslararası firmadan temin edilmiştir.

### **3.1.4. Kireç (CaCO<sub>3</sub>)**

Kireç olarak CaCO<sub>3</sub> (tarım kireci) kullanılmıştır.

## 3.2. YÖNTEM

### 3.2.1. pH Tayini

Toprak numunesinin ve saksılara konulan karışımların pH'larının ölçümü için 0,1 N KCl hazırlanmıştır. 0,1 N KCl ve numune 1:2,5 (w/v) (1 gr toprak, 2,5 mL çözelti) oranında karıştırılmış ve 10 dakika sonra bu karışımın pH'ı ölçülmüştür (Jenway 3040 Ion Analyzer ile) (Paradelo ve diğ., 2011).

Kompostun pH'ının ölçülmesi için kompost numuneleri ile distile su 2:5 (w/v) (2 gr kompost, 5 mL distile su) oranında karıştırılmıştır. 10 dakika sonra bu karışımın pH'ı ölçülmüştür (Jenway 3040 Ion Analyzer ile) (Page ve diğ., 1982).

### 3.2.2. Elementel Analiz

Çalışmada kullanılan kompost ve toprak numunelerinin elementel analizi, İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan, İstanbul Kalkınma Ajansı TR10/14/EVK/0022 numaralı proje kapsamında temin edilmiş, Thermo-Flash 2000 CHN-S elementel analiz cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

Elementel analizin çalışma prensibinde, karbon, azot ve hidrojen 900-1150°C aralığındaki sıcaklıklarda çalışan bir fırın kullanılarak tek bir enstrümantal prosedür ile eş zamanlı olarak tespit edilir. Karbon, azot ve hidrojenin ilgili gazlardan (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>) kantitatif dönüşümü, numunenin yüksek sıcaklıkta oksijenli ortamda yanma esnasında meydana gelir. Bir sonraki analizi etkileyebileceğinden dolayı, yanma ürünleri ortamdaki giderilir. Azot oksitler (NO<sub>x</sub>), N<sub>2</sub>'ye indirgenir. Karbondioksit, su buharı ve gaz akımı içerisindeki elementel azot uygun enstrümantal saptama prosedürü ile belirlenir (ASTM, 2016).



Şekil 3.2: Organik elementel analiz cihazı (FLASH 2000 Organic Elemental Analyzer).

### 3.2.3. Organik Madde Tayin Yöntemi

Çalışmada kullanılan toprak ve kompost numunelerinin organik madde (%) tayini Haliç Çevre Laboratuvarında yaptırılmıştır.

### 3.2.4. Deney Setlerinin Hazırlanması

Deney düzeneğinin hazırlanması amacıyla, çalışma sahasından alınan toprak numuneleri porselen havanda dövülerek homojen hale getirilmiştir. Daha sonra Tablo 3.1’de belirtilen oranlarda (karışımlar hacim/hacim (v/v) esasına göre hazırlanmıştır) hazırlanan karışımlar, ikişer olacak şekilde saksılara (150 mL hacmindeki) yerleştirilmiştir. Toprağa ilave edilen maddelerin toprak ile tepkimeye girmesi için süre tanınması amacıyla bir hafta boyunca saksılara sadece sulama işlemi uygulanmıştır (distile su ile sulama yapılmıştır). Bir hafta sonunda her saksıya bir adet olacak şekilde mısır (*Zea mays*) tohumu ekilmiştir. Mısır tohumları saksılara ekilmeden önce distile su ile yıkanmıştır. Daha sonra saksılar 16 saat gündüz, 8 saat gece olacak şekilde gün ışığına maruz bırakılmak üzere ayarlanmış otomatik zamanlayıcı kontrollü aydınlatma altına yerleştirilmiştir. 40 gün süresince mısır bitkilerinin gelişimi gözlenmiştir.

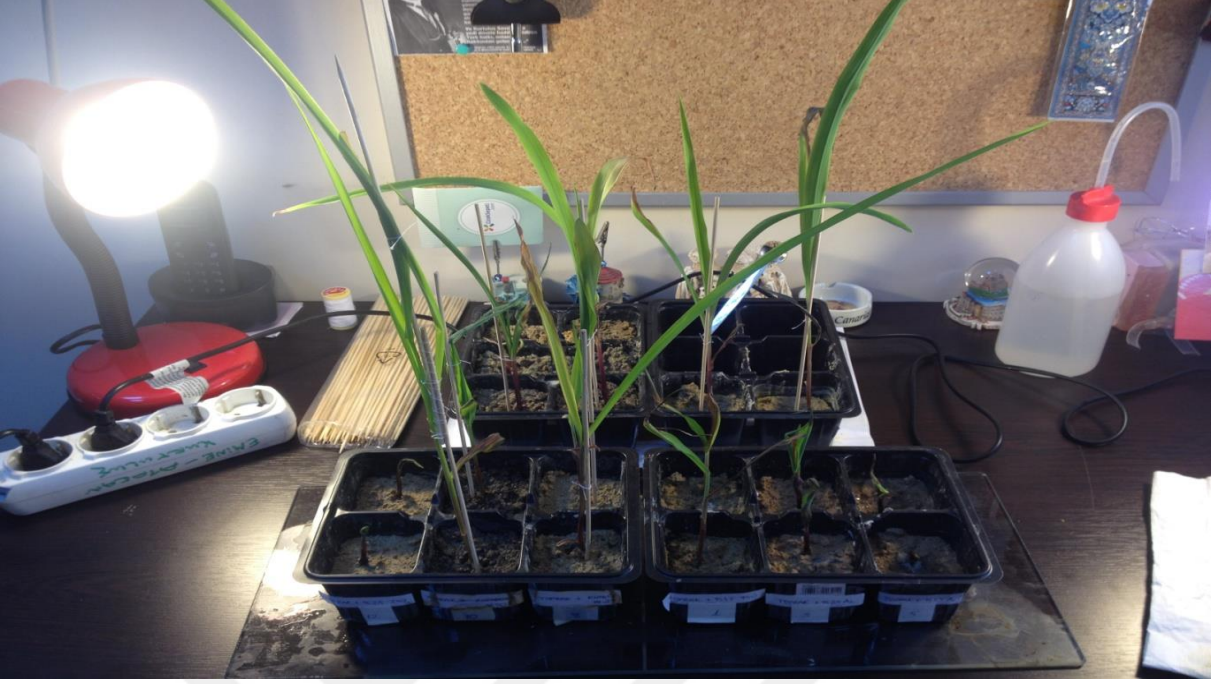


**Tablo 3.1:** Saksılara konulan toprak ve toprak iyileştiricilerin hacimsel oranları.

Toprak
Toprak + %10 Kompost
Toprak + %25 Kompost
Toprak + %50 Kompost
Toprak + %1,5 Kireç
Toprak + %2,5 Kireç
Toprak + %1,5 Kireç +%10 Kompost
Toprak + %1,5 A2
Toprak + %2,5 A2
Toprak + %5 A2
Toprak + %2,5 A2 + %10 Kompost
Toprak + %0,5 T50
Toprak + %1,5 T50
Toprak + %2,5 T50
Toprak + %1,5 T50 + %10 Kompost

### 3.2.4.1. Birinci Deney Setleri

**Şekil 3.3:** Ekim yapıldıktan 10 gün sonra mısırların gelişimi (1. Set).



Şekil 3.4: Ekim yapıldıktan 20 gün sonra mısırların gelişimi (1. Set).



Şekil 3.5: 40. günün sonunda mısırların gelişimi (1. Set).

### 3.2.4.2. İkinci Deney Setleri



Şekil 3.6: Ekim yapıldıktan 10 gün sonra mısırların gelişimi (2. Set).



Şekil 3.7: Ekim yapıldıktan 20 gün sonra mısırların gelişimi (2. Set).



Şekil 3.8: 40. günün sonunda mısırların gelişimi (2. Set).

### 3.2.5. Toplam Ağır Metal ve Bazı Element (Mg, Ca, Na ve K) Konsantrasyonlarının Tayin Yöntemi

Toplam metal konsantrasyonlarının ve bazı elementlerin (Mg, Ca, Na ve K) tayini için topraktan, saksılardaki karışımlar ve komposttan alınan numuneler porselen havan ile iyice öğütülüp hazırlanmıştır. 0,5 gr kuru örnek mikrodalga tüpleri içine konulup üzerlerine 9 mL derişik  $\text{HNO}_3$ , 3 mL derişik  $\text{HCl}$ , 2 mL derişik  $\text{HF}$  eklenip mikrodalgada parçalanmıştır (Berghof MWS-2 microwave-system) (EPA Method 3051A, 2013). Mikrodalgada parçalama sırasında kademeli olarak sıcaklık arttırılmış ve  $185\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 10 dakika kalınması sağlanmıştır. Parçalama işleminden sonra teflon kaplardaki numuneler filtre edilmiş (MN 640 de, 125 mm Macherey-Nagel filter paper) ve süzüntü HDPE kaplara alınarak, hacimleri 50 mL'ye tamamlanmıştır. Metallerin ve bazı elementlerin konsantrasyonlarının tayini Bahçeşehir Üniversitesi Çevre Mühendisliği laboratuvarında bulunan, otosampler (Perkin Elmer S10 Autosampler) ile kombine haldeki ICP Optical Emission Spectrometer (Perkin Elmer Optima 7000 DV) kullanılarak ölçülmüştür. Bu tez kapsamında, toplam konsantrasyonların haricindeki metal ve element konsantrasyonlarının ölçümü de yine aynı cihaz ile yapılmıştır. Referans toprak kullanılarak, ölçüm sonuçlarının doğruluğu kontrol edilmiştir. Referans toprak olarak NCS Sertifikalı Referans Materyal, NCS ZC73002 kullanılmıştır. Kontaminasyonu ve hassaslığı

değerlendirmek için kullanılmıştır. Bağlı standart sapma olarak ölçülen analitik kesinliğin, genel olarak %5 - %6 arasında olduğu tespit edilmiştir.

### **3.2.6. Hemen Ulaşılabilir (Immediately Available) Element Konsantrasyonlarının Tayin Yöntemi**

Toprağın, saksılardaki karışımların ve kompostun “Immediately Available Elements” miktarlarının tayini için, 2’şer gr numune tartılıp üzerlerine 20 mL 0,01 N CaCl<sub>2</sub> çözeltisi eklenmiştir. 3 saat çalkalanıp santrifüj ardından filtrasyon (0,45 µm membrane filtre ile) yapılmıştır (Paradelo ve diğ., 2011). Süzüntüde metal ve diğer elementlerin konsantrasyonları ICP-OES ile tayin edilmiştir.

### **3.2.7. Potansiyel Olarak Ulaşılabilir (Potentially Available) Element Konsantrasyonlarının Tayin Yöntemi**

Toprağın, saksılardaki karışımların ve kompostun “Potentially Available Elements” miktarlarının tayini için, pH’ı 0,5 M amonyum asetat ile 4,95’e ayarlanmış olan 0,02 M EDTA çözeltisinden 50’şer mL 5’er gr toprak veya kompost numuneleri üzerine eklenmiştir. 1 saat çalkalanıp santrifüj edilmiştir (700 rpm 15 dakika). Sonra filtre (0,45 µm membrane filtre ile) edilip süzüntüde elementlerin tayini ICP-OES ile yapılmıştır (Paradelo ve diğ., 2011).

### **3.2.8. TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) Yöntemi**

pH’ı asetik asit ile 4,93’e ayarlanmış distile su ile toprak, saksılardaki karışım veya kompost örnekleri 1:10 oranında karıştırılmıştır (1gr numune, 10 mL distile su). 18 saat boyunca 25 °C’de 30 rpm’de çalkalanmıştır. Sonra 15 dakika 2000 rpm’de santrifüj edilip, 0,45 µm membrane filtre ile filtre edilmiştir. Filtratlarda element tayini (ICP-OES ile) yapılmıştır (Paradelo ve diğ., 2011).

### **3.2.9. Ardışık Ekstraksiyon Yöntemi**

3 gram numune ardışık ekstraksiyon için 50 cm<sup>3</sup>’lük polypropilen santrifüj tüplerine konur. Böylece katı madde kaybı minimize edilir. Başlangıçta katı numunelerin konulacağı tüpler kapakları ile birlikte tartılır. Sonra darası alınarak tüp içinde tartılan toprak madde miktarı kayıt edilir.

1. *Ekstraksiyon basamağı (değiştirilebilir (exchangeable) formların tayini)*

Katı numunenin (air dried) üzerine 0,1 M CaCl<sub>2</sub> eklenir. 16 saat boyunca çalkalayıcıda çalkalanır. 10 dakika 7500 rpm'de santrifüj edilir. Sonra numuneler tüp ile tartılır. Sonra süpernatant filtre edilerek alınır. Süpernatantlara 1'er damla HCl eklenir (saklamak için). Tüpte kalan ıslak numune tekrar tartılır.

2. *Ekstraksiyon basamağı (organik madde ile bağlı metallerin tayini)*

Önceki basamaktan gelen ıslak numunelere 30'ar mL 0,5 M NaOH eklenir ve 16 saat çalkalanır. Santrifüj edilir. Sonrasında numuneler tartılır. Sonra supernatant filtre edilerek alınır. Toprak numunesinin kaldığı tüpler tekrar tartılır. Sıvı numuneler (supernatant) digestion tüplerine alınır, çeker ocak içinde numune miktarı yaklaşık 5 mL kalana kadar digest edilir (85-95 °C'de). Sonra her birine 5'er mL aqua regia (3 HCl:1 HNO<sub>3</sub>) eklenir ve parçalama yapılır (60 °C'de 1 saat, 105 °C'de 1 saat, 120 °C'de 2 saat).

3. *Ekstraksiyon basamağı (karbonat fraksiyonu)*

Önceki basamaktan gelen ıslak numunelere 30'ar mL 0,05 M Na<sub>2</sub>EDTA eklenir. 1 saat çalkalanır. Santrifüj edilir. Sonra supernatant filtre edilerek alınır. Toprak numunesinin kaldığı tüpler tekrar tartılır.

4. *Ekstraksiyon Basamağı (hareketsiz (residual) metallerin tayini)*

Bir önceki basamaktan alınan toprak numuneleri kurutulur (maksimum 40 °C'de). Yaklaşık 1'er gram tartılır (tartımlar tam olarak kayıt edilir). Aqua regia ile micro dalgada parçalanır [(10'ar mL aqua regia (3 HCl:1 HNO<sub>3</sub>) eklenir ve parçalama yapılır (190 °C'de 15 dakika)]. Numuneler süzülerek 25 mL'lik balon jodelere alınır ve 25 mL'ye milli-Q water ile tamamlanır (Clemente ve Bernal, 2006).

Hazırlanan numunelerde ICP-OES kullanılarak metal miktarları (Cu, Ni, Zn, Pb, Cd, Fe, Mn) tayin edilmiştir.

Bir referans toprak (NCS ZC73002 Toprak) kullanılarak tekrarlı ölçümler yapılmış, sonuçların kesinliği ve olası kontaminasyonu değerlendirmek için kullanılmıştır. Analitik hassasiyeti gösteren standart sapmanın %5 - 6 arasında değiştiği görülmüştür.

## 4. BULGULAR

### 4.1. ÇALIŞMADA KULLANILAN TOPRAĞIN KARAKTERİZASYONU

Çalışmada kullanılan toprak ve kompostun karakterizasyonu Tablo 4.1’de verilmiştir.

Toprağın karakterizasyonuna bakıldığında, asidik karakterde olduğu (pH 3) görülmektedir (Tablo 4.1). Toprağın C ve N içeriğinin çok düşük olduğu, buna karşın ağır metaller (Pb, Cd, Ni, Cu, Zn), metaller (Fe, Mn) ve diğer elementler (Ca, Na, Mg, K) değerlerinin ise oldukça yüksek miktarlarda olduğu görülmüştür (Tablo 4.1).

**Tablo 4.1:** Çalışmada kullanılan toprak ve kompostun karakterizasyonu.

Parametreler	Kompost	Toprak
pH	7,9	3
OM (%)	1,36	28,4
C (%)	11,07	0,1
H (%)	TE <sup>1</sup>	0,76
N (%)	0,28	TE <sup>1</sup>
S (%)	0,17	0,09
Ca (mg/kg - kuru ağırlık)	22727	4045
Na (mg/kg - kuru ağırlık)	17525	1002
Mg (mg/kg - kuru ağırlık)	5100	6705
K (mg/kg - kuru ağırlık)	7995	19022
Pb (mg/kg - kuru ağırlık)	98	5984
Cd (mg/kg - kuru ağırlık)	0,01	367
Ni (mg/kg - kuru ağırlık)	39	11,5
Cu (mg/kg - kuru ağırlık)	244	11206
Zn (mg/kg - kuru ağırlık)	455	70024
Fe (mg/kg - kuru ağırlık)	16498	27043
Mn (mg/kg - kuru ağırlık)	356	389

<sup>1</sup>Tespit edilemedi.

Tablo 4.2’de çalışma süresince saksılardaki karışımların pH değerlerinin değişimi sunulmuştur. Karışımlar hazırlanıp saksılara doldurulduğunda, mısır bitkileri ekilmeden hemen önce ve hasatın yapıldığı tarihte saksılardaki toprak ve toprak karışımlarında pH ölçümleri yapılmıştır. Mısır bitkisi pH 5,5-8 arasında olan topraklarda yetişen bir bitkidir (Babaoğlu, 2014).

Saksılardaki toprak karışımlarına ait pH değerleri incelendiğinde Toprak + %50 kompost (v/v), Toprak + %1,5 kireç (v/v), Toprak + %2,5 kireç (v/v), Toprak + %2,5 T50 (v/v) karışımlarının pH değerlerinin nötral pH seviyesinde olduğu görülmektedir. Yapılan literatür araştırmasında toprağa kompost gibi organik iyileştiricilerin ilave edilmesinin toprağın pH değerini arttırdığı belirtilmiştir (Lee ve diğ., 2004; Karlsson ve diğ., 2007; Venegas ve diğ., 2015).

Diğer taraftan toprağa kireç ilave edilmesinin de toprak pH’ını arttırdığı yine literatürde belirtilmiştir (Krebs ve diğ., 1998; Maier ve diğ., 2002; Lee ve diğ., 2004; Tsadilas ve diğ., 2005; Hong ve diğ., 2007; Tsadilas, 2008; Zhu ve diğ., 2016). Bu tez çalışmasında ölçülen pH değerlerine bakıldığında da aynı eğilim görülmektedir (Tablo 4.2).

**Tablo 4.2:** Çalışma süresince saksılardaki toprak ve toprak karışımlarının pH değerlerinin değişimi.

Numune Ad	Numune No	Başlangıç pH	1. hafta sonunda pH	Deneylerin sonunda pH
Toprak	1	3	3	3
Top. + %10 Kompost	2	5	4	4
Top. + %25 Kompost	3	5	5	5
Top. + %50 Kompost	4	6	6	6
Top. + %1,5 Kireç	5	5,5	6	6
Top. + %2,5 Kireç	6	6,5	6	6
Top. + %1,5 Kireç +%10 Kompost	7	5	5	5
Top. + %1,5 A2	8	5	4	4
Top. + %2,5 A2	9	5	4,5	4
Top. + %5 A2	10	4	4	4
Top. + %2,5 A2 + %10 Kompost	11	4	4	4
Top. + %0,5 T50	12	4	4	4
Top. + %1,5 T50	13	5,5	5,5	5,5
Top. + %2,5 T50	14	7	7	7
Top. + %1,5 T50 + %10 Kompost	15	5	5	5



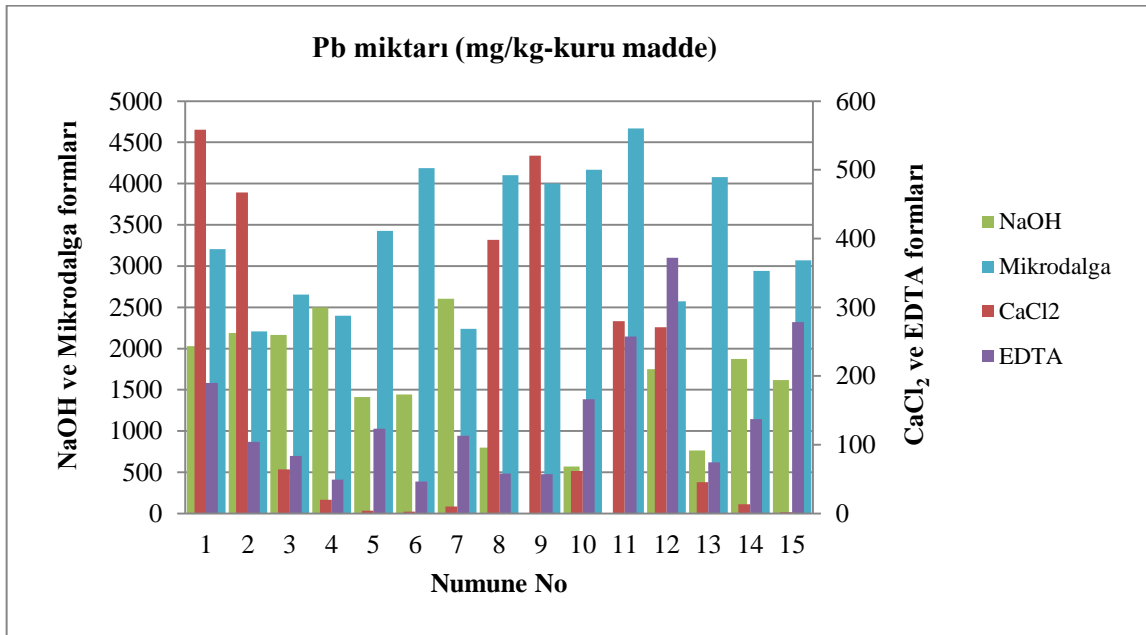
## 4.2. ÇALIŞMADA YAPILAN ANALİZLERİN SONUÇLARI

### 4.2.1. Ardışık Ekstraksiyon Sonuçları

**Tablo 4.3:** Pb için elde edilen ardışık ekstraksiyon sonuçları (mg/kg-kuru madde).

Numune Ad	Numune No	CaCl <sub>2</sub>	NaOH	EDTA	Mikrodalga
Toprak	1	558	2028	190	3207
Top. + %10 Kompost	2	467	2187	104	2206
Top. + %25 Kompost	3	64,13	2164	84	2653
Top. + %50 Kompost	4	20,17	2499	49,18	2396
Top. + %1,5 Kireç	5	3,88	1411	124	3427
Top. + %2,5 Kireç	6	2,84	1442	46,62	4186
Top. + %1,5 Kireç +%10 Kompost	7	10,35	2604	113	2238
Top. + %1,5 A2	8	398	797	58,02	4104
Top. + %2,5 A2	9	521	TE <sup>1</sup>	57,12	4000
Top. + %5 A2	10	62,09	569	166	4168
Top. + %2,5 A2 + %10 Kompost	11	280	TE <sup>1</sup>	257	4670
Top. + %0,5 T50	12	271	1751	372	2571
Top. + %1,5 T50	13	45,43	765	74,38	4080
Top. + %2,5 T50	14	13,32	1874	138	2941
Top. + %1,5 T50 + %10 Kompost	15	1,88	1617	279	3068

<sup>1</sup>Tespit edilemedi.



**Şekil 4.1:** Pb için elde edilen ardışık ekstraksiyon sonuçlarının grafiği (mg/kg-kuru madde).

Tablo 4.3'deki ve Şekil 4.1'deki sonuçlar incelendiğinde Pb için, orijinal toprak numunesindeki Pb'un residual, yani daha çok silikatlar şeklinde bağlı formda ve NaOH ile ekstrakte edilebilir, yani organik madde ile bağlı formda olduğu görülmüştür. Toprağa kompost ilave edilmesiyle, toprak çözeltisinde bulunan ve kolaylıkla taşınabilir ( $\text{CaCl}_2$  ile ekstrakte edilebilen) formdaki Pb miktarının eklenen kompost miktarı ile önemli oranda azaldığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde güçlü bir şelatlayıcı ile ekstrakte edilebilir (EDTA ile ekstrakte edilebilen) formdaki Pb miktarının da ilave edilen kompost miktarının artması ile azaldığı görülmüştür (Tablo 4.3 ve Şekil 4.1).

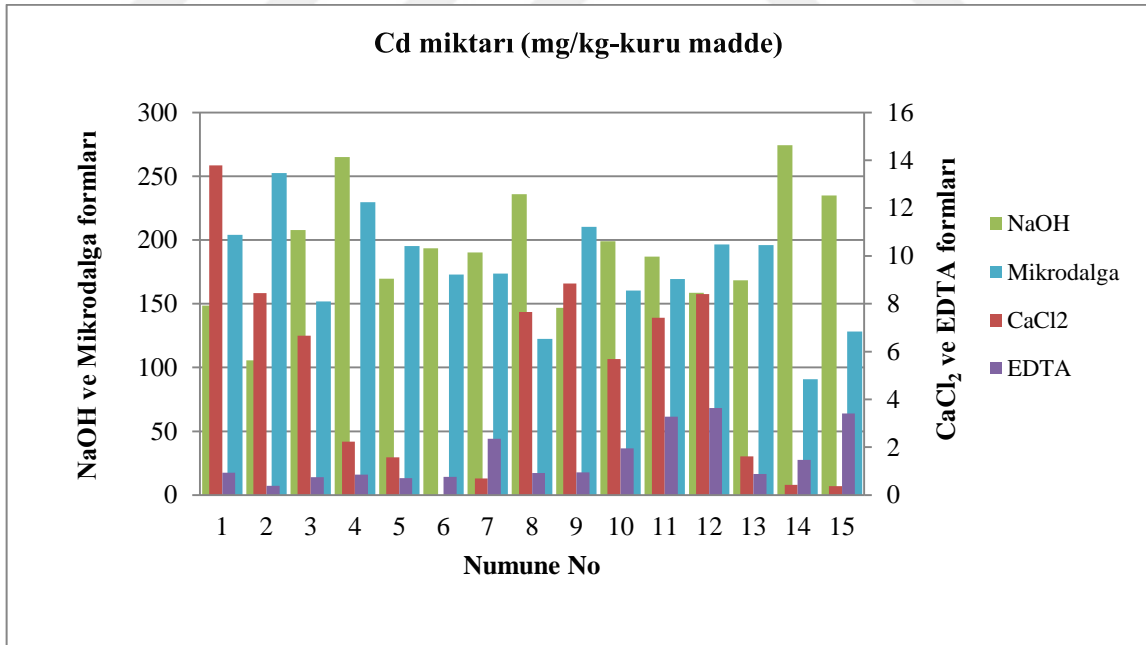
Toprağa kireç ilavesinde, eklenen kireç miktarı artınca, Pb'un residual formdaki konsantrasyonunun arttığı görülmüştür (Tablo 4.3 ve Şekil 4.1). Kireç ve kompostun bir arada kullanılması durumunda Pb'un kolaylıkla taşınabilir formdan organik madde ile bağlı forma geçtiği belirlenmiştir.

Ticari toprak iyileştiriciler olan A2 ve T50 kullanımı sonucu Pb'un toprakta bulunduğu formlar incelendiğinde, %5 (v/v) A2 ve %1,5 (v/v) T50 ilavesi ile Pb'un büyük kısmının en hareketsiz form olan residual forma geçtiği tespit edilmiştir (Tablo 4.3 ve Şekil 4.1). Bu maddeler ile kompostun bir arada kullanılması sonucunda, %2,5 (v/v) oranında A2'nin toprağa ilave edilmesine göre hareketli formların miktarının yaklaşık %50 oranında azaldığı, %1,5 (v/v) T50'nin kompost eklenmeden kullanıldığı durumdaki hareketli formlarının yok denecek kadar azaldığı ancak kompost eklenmesiyle Pb'un organik bağlı formunun konsantrasyonunda önemli bir artış olduğu görülmüştür (Tablo 4.3 ve Şekil 4.1).

**Tablo 4.4:** Cd için elde edilen ardışık ekstraksiyon sonuçları (mg/kg-kuru madde).

Numune Ad	Numune No	CaCl <sub>2</sub>	NaOH	EDTA	Mikrodalga
Toprak	1	13,78	148	0,93	204
Top. + %10 Kompost	2	8,44	106	0,38	253
Top. + %25 Kompost	3	6,66	208	0,75	152
Top. + %50 Kompost	4	2,23	265	0,85	230
Top. + %1,5 Kireç	5	1,58	170	0,7	195
Top. + %2,5 Kireç	6	TE <sup>1</sup>	193	0,76	173
Top. + %1,5 Kireç +%10 Kompost	7	0,69	190	2,35	174
Top. + %1,5 A2	8	7,65	236	0,92	122
Top. + %2,5 A2	9	8,85	147	0,94	210
Top. + %5 A2	10	5,69	199	1,95	160
Top. + %2,5 A2 + %10 Kompost	11	7,41	187	3,27	169
Top. + %0,5 T50	12	8,4	159	3,64	196
Top. + %1,5 T50	13	1,62	168	0,88	196
Top. + %2,5 T50	14	0,43	274	1,47	90,85
Top. + %1,5 T50 + %10 Kompost	15	0,37	235	3,41	128

<sup>1</sup>Tespit edilemedi.

**Şekil 4.2:** Cd için elde edilen ardışık ekstraksiyon sonuçlarının grafiği (mg/kg-kuru madde).

Çalışmada kullanılan toprak numunesinin ardışık ekstraksiyon sonuçlarına bakıldığında orijinal toprak numunesindeki Cd'un residual ve organik madde ile bağlı formda olduğu görülmüştür. Toprağa kompost ilave edilmesiyle, toprak çözeltisinde bulunan ve kolaylıkla taşınabilir (CaCl<sub>2</sub>

ile ekstrakte edilebilen) formdaki Cd miktarının eklenen kompost miktarı ile önemli oranda azaldığı, OM ile bağlı formdaki Cd konsantrasyonunun eklenen kompost miktarının artmasıyla arttığı tespit edilmiştir (Tablo 4.4 ve Şekil 4.2).

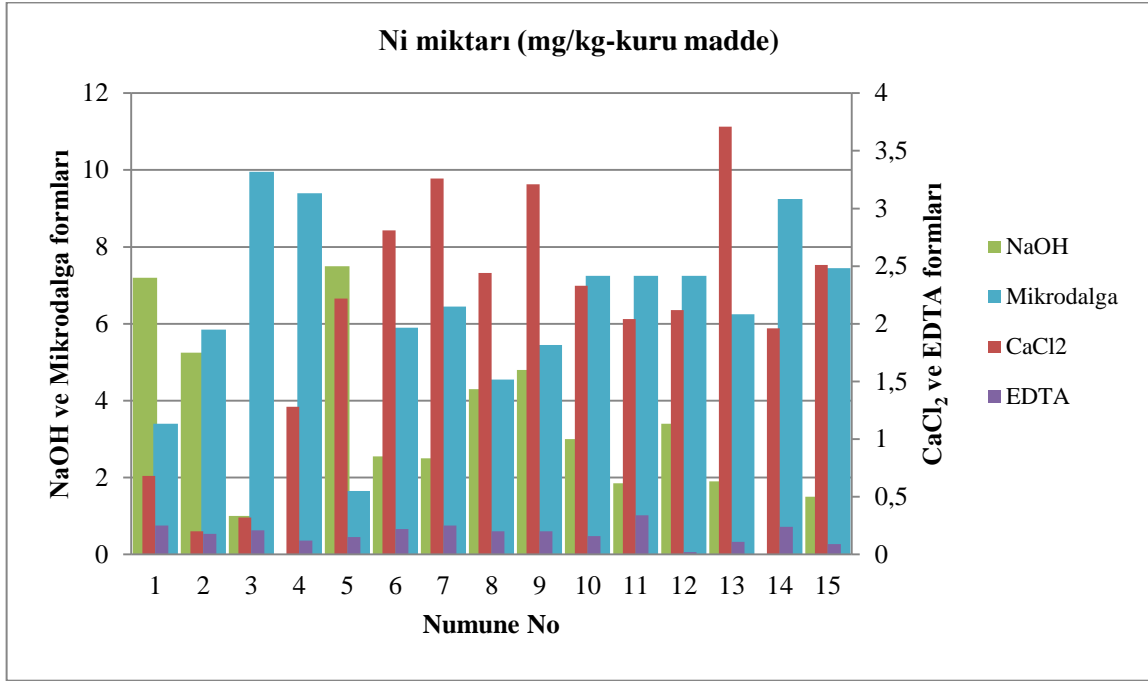
Toprağa kireç ilavesinde, eklenen kireç miktarı artınca, Cd'un OM ile bağlı formdaki konsantrasyonunun arttığı görülmüştür (Tablo 4.4 ve Şekil 4.2). Kireç ve kompostun bir arada kullanılması durumunda Cd'un kolaylıkla taşınabilir formdan organik madde ile bağlı forma geçtiği belirlenmiştir.

Ticari toprak iyileştiriciler olan A2 ve T50 kullanımı sonucu Cd'un toprakta bulunduğu formlar incelendiğinde, Cd'un yine daha çok OM ile bağlı ve residual formlarda buldukları görülmüştür (Tablo 4.4 ve Şekil 4.2). Bu maddeler ile kompostun bir arada kullanılması sonucunda, yine Cd'un OM ve residual formlarda bulunduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.4 ve Şekil 4.2).

**Tablo 4.5:** Ni için elde edilen ardışık ekstraksiyon sonuçları (mg/kg-kuru madde).

Numune Ad	Numune No	CaCl <sub>2</sub>	NaOH	EDTA	Mikrodalga
Toprak	1	0,68	7,2	0,25	3,4
Top. + %10 Kompost	2	0,2	5,25	0,18	5,85
Top. + %25 Kompost	3	0,32	1	0,21	9,95
Top. + %50 Kompost	4	1,28	TE <sup>1</sup>	0,12	9,4
Top. + %1,5 Kireç	5	2,22	7,5	0,15	1,65
Top. + %2,5 Kireç	6	2,81	2,55	0,22	5,9
Top. + %1,5 Kireç +%10 Kompost	7	3,26	2,5	0,25	6,45
Top. + %1,5 A2	8	2,44	4,3	0,2	4,55
Top. + %2,5 A2	9	3,21	4,8	0,2	5,45
Top. + %5 A2	10	2,33	3	0,16	7,25
Top. + %2,5 A2 + %10 Kompost	11	2,04	1,85	0,34	7,25
Top. + %0,5 T50	12	2,12	3,4	0,02	7,25
Top. + %1,5 T50	13	3,71	1,9	0,11	6,25
Top. + %2,5 T50	14	1,96	TE <sup>1</sup>	0,24	9,25
Top. + %1,5 T50 + %10 Kompost	15	2,51	1,5	0,09	7,45

<sup>1</sup>Tespit edilemedi.



**Şekil 4.3:** Ni için elde edilen ardışık ekstraksiyon sonuçlarının grafiği (mg/kg-kuru madde).

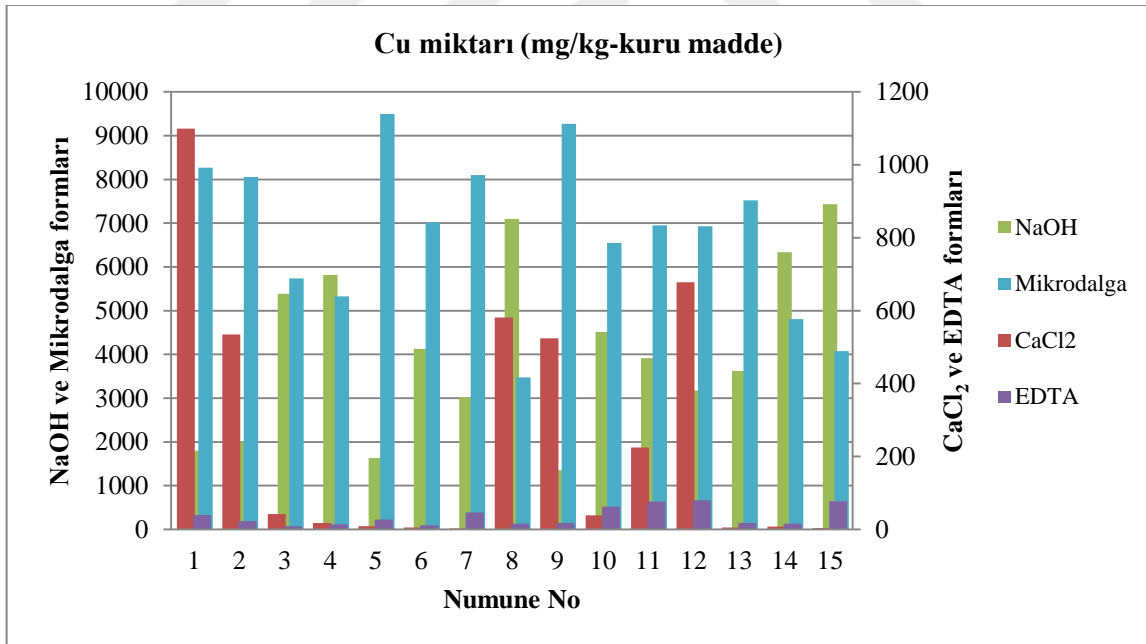
Tablo 4.5'deki ve Şekil 4.3'deki sonuçlar incelendiğinde, orijinal toprak numunesindeki Ni'in organik madde ile bağlı ve residual formda olduğu görülmüştür. Toprağa kompost ilave edilmesiyle, toprak OM ile bağlı formda bulunan Ni konsantrasyonunun artan kompost miktarı ile önemli ölçüde azaldığı, bu durumda residual formdaki Ni konsantrasyonlarının arttığı belirlenmiştir (Tablo 4.5 ve Şekil 4.3).

Toprağa kireç ilavesiyle, eklenen kireç miktarı artınca, Ni'in hareketli formdaki konsantrasyonunun arttığı görülmüştür. Kireç ve kompostun bir arada kullanılması durumunda Ni'in organik madde ile bağlı formdan kolaylıkla taşınabilir forma geçtiği belirlenmiştir.

Ticari toprak iyileştiriciler olan A2 ve T50 kullanımı sonucu Ni'in toprakta bulunduğu formlar incelendiğinde, OM ile bağlı formdan kolaylıkla taşınabilir ve residual formlara geçtiği tespit edilmiştir (Tablo 4.5 ve Şekil 4.3). Bu maddeler ile kompostun bir arada kullanılması sonucunda da benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür (Tablo 4.5 ve Şekil 4.3).

**Tablo 4.6:** Cu için elde edilen ardışık ekstraksiyon sonuçları (mg/kg-kuru madde).

Numune Ad	Numune No	CaCl <sub>2</sub>	NaOH	EDTA	Mikrodalga
Toprak	1	1099	1798	39,22	8270
Top. + %10 Kompost	2	534	2006	22,57	8057
Top. + %25 Kompost	3	42	5381	8,61	5733
Top. + %50 Kompost	4	17,74	5813	13,64	5327
Top. + %1,5 Kireç	5	8,98	1633	27,28	9495
Top. + %2,5 Kireç	6	5,56	4126	11,55	7022
Top. + %1,5 Kireç +%10 Kompost	7	2,35	3019	46,97	8097
Top. + %1,5 A2	8	582	7094	15,92	3473
Top. + %2,5 A2	9	525	1356	17,89	9267
Top. + %5 A2	10	39,02	4518	62,29	6546
Top. + %2,5 A2 + %10 Kompost	11	225	3913	76,34	6951
Top. + %0,5 T50	12	678	3172	80,31	6932
Top. + %1,5 T50	13	5,67	3624	17,32	7519
Top. + %2,5 T50	14	8,3	6333	15,72	4808
Top. + %1,5 T50 + %10 Kompost	15	3,93	7435	77,07	4076

**Şekil 4.4:** Cu için elde edilen ardışık ekstraksiyon sonuçlarının grafiği (mg/kg-kuru madde).

Orijinal toprak numunesinde Cu'nun büyük bir kısmının residual formda bulunduğu görülmüştür. Ayrıca yine Cu'nun orijinal toprak numunesinde CaCl<sub>2</sub> ile ekstrakte edilebilir, yani kolaylıkla taşınabilir (%9,8) ve NaOH ile ekstrakte edilebilir, yani organik madde ile bağlı formda (%16) olduğu belirlenmiştir.

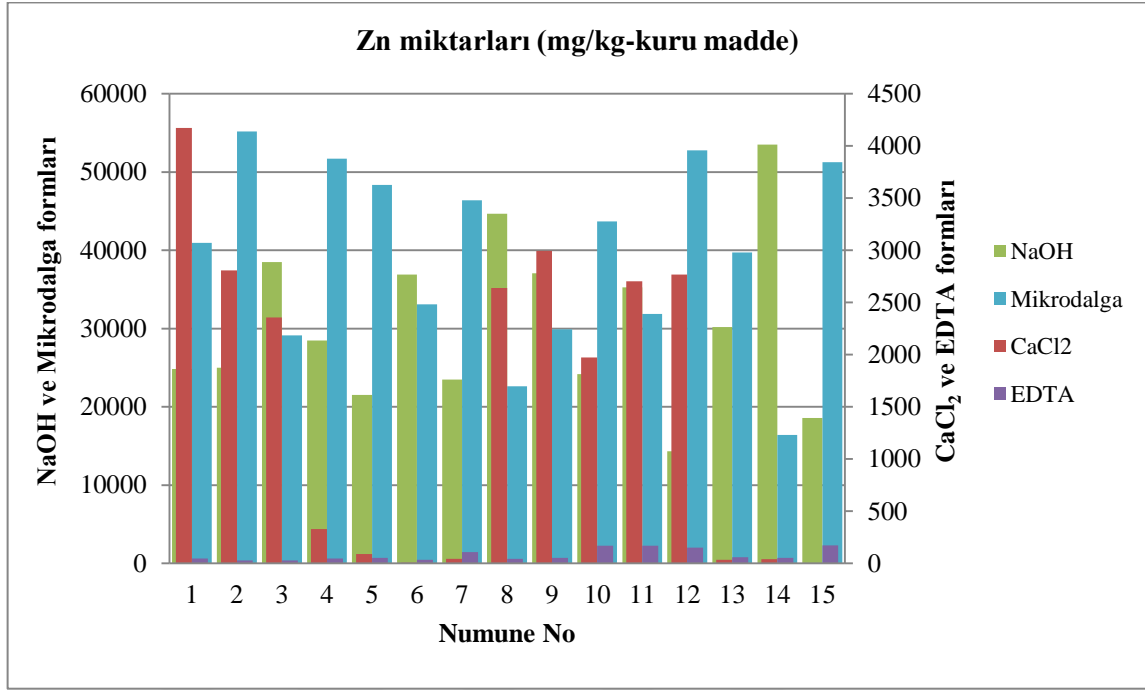
Toprağa kompost ilave edilmesiyle, toprak çözeltilisinde bulunan ve kolaylıkla taşınabilir ( $\text{CaCl}_2$  ile ekstrakte edilebilen) formdaki ve residual formdaki Cu miktarlarının eklenen kompost miktarı ile önemli oranda azaldığı tespit edilmiştir. OM ile bağlı formdaki Cu konsantrasyonlarının eklenen kompost miktarının artmasıyla önemli oranda arttığı görülmüştür.

Toprağa kireç ilavesinde, eklenen kireç miktarı artınca, Cu'nun OM ile bağlı formdaki konsantrasyonunun arttığı, kolaylıkla taşınabilir formdaki Cu konsantrasyonunun ise önemli miktarda azaldığı görülmüştür (Tablo 4.6 ve Şekil 4.4). Kireç ve kompostun bir arada kullanılması durumunda Cu'nun kolaylıkla taşınabilir formdan organik madde ile bağlı forma geçtiği belirlenmiştir.

Ticari toprak iyileştiriciler olan A2 ve T50 kullanımı sonucu Cu'nun toprakta büyük kısmının OM madde ile bağlı form ve en hareketsiz form olan residual forma geçtiği tespit edilmiştir (Tablo 4.6 ve Şekil 4.4). Bu maddeler ile kompostun bir arada kullanılması sonucunda, %1,5 (v/v) T50'nin kompost eklenmeden kullanıldığı durumdaki hareketli formlarının yok denecek kadar azaldığı ancak kompost eklenmesiyle Cu'nun organik bağlı formunun konsantrasyonunda önemli bir artış olduğu görülmüştür (Tablo 4.6 ve Şekil 4.4).

**Tablo 4.7:** Zn için elde edilen ardışık ekstraksiyon sonuçları (mg/kg-kuru madde).

Numune Ad	Numune No	$\text{CaCl}_2$	$\text{NaOH}$	EDTA	Mikrodalga
Toprak	1	4174	24858	48,55	40943
Top. + %10 Kompost	2	2809	25024	29,1	55207
Top. + %25 Kompost	3	2358	38487	27,4	29150
Top. + %50 Kompost	4	329	28490	48,5	51716
Top. + %1,5 Kireç	5	89	21527	54,8	48353
Top. + %2,5 Kireç	6	8	36892	36	33088
Top. + %1,5 Kireç +%10 Kompost	7	43,5	23488	109	46383
Top. + %1,5 A2	8	2640	44693	43	22646
Top. + %2,5 A2	9	2995	37065	53	29910
Top. + %5 A2	10	1974	24194	169	43688
Top. + %2,5 A2 + %10 Kompost	11	2703	35288	171	31862
Top. + %0,5 T50	12	2769	14333	153	52767
Top. + %1,5 T50	13	33,5	30199	59	39732
Top. + %2,5 T50	14	42,5	53504	52	16426
Top. + %1,5 T50 + %10 Kompost	15	3,2	18588	172	51261



**Şekil 4.5:** Zn için elde edilen ardışık ekstraksiyon sonuçlarının grafiği (mg/kg-kuru madde).

Orijinal toprak numunesinde Zn'nun büyük bir kısmının residual formda (%6) bulunduğu görülmüştür. Ayrıca yine Zn'nun orijinal toprak numunesinde NaOH ile ekstrakte edilebilir, yani organik madde ile bağlı formda (%35) olduğu belirlenmiştir.

Toprağa kompost ilave edilmesiyle, toprak çözeltisinde bulunan ve kolaylıkla taşınabilir (CaCl<sub>2</sub> ile ekstrakte edilebilen) formdaki Zn miktarlarının eklenen kompost miktarı ile önemli oranda azaldığı tespit edilmiştir. OM ile bağlı formdaki Zn konsantrasyonlarının eklenen kompost miktarının artmasıyla arttığı görülmüştür.

Toprağa kireç ilavesinde, eklenen kireç miktarı artınca, Zn'nun OM ile bağlı formdaki konsantrasyonunun arttığı, kolaylıkla taşınabilir formdaki Zn konsantrasyonunun ise önemli miktarda azaldığı görülmüştür (Tablo 4.7 ve Şekil 4.5).

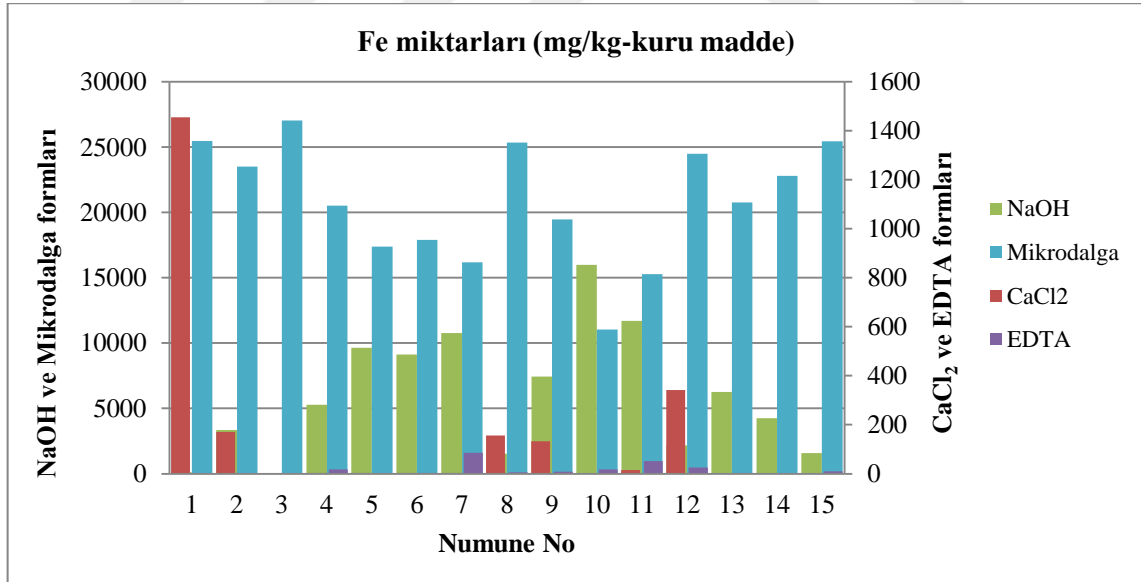
Ticari toprak iyileştiriciler olan A2 ve T50 kullanımı sonucu Zn'nun toprakta büyük kısmının OM madde ile bağlı form ve en hareketsiz form olan residual forma geçtiği tespit edilmiştir (Tablo 4.7 ve Şekil 4.5). Bu maddeler ile kompostun bir arada kullanılması sonucunda, %1,5 (v/v) T50'nin kompost eklenmeden kullanıldığı durumdaki hareketli formlarının yok denecek kadar azaldığı ancak kompost eklenmesiyle Zn'nun EDTA gibi güçlü bir ekstraktantla ekstrakte edilebilir formunda önemli bir artış olduğu görülmüştür (Tablo 4.7 ve Şekil 4.5).



**Tablo 4.8:** Fe için elde edilen ardışık ekstraksiyon sonuçları (mg/kg-kuru madde).

Numune Ad	Numune No	CaCl <sub>2</sub>	NaOH	EDTA	Mikrodalga
Toprak	1	1456	112	0,76	25475
Top. + %10 Kompost	2	170	3349	1,41	23522
Top. + %25 Kompost	3	1,19	TE <sup>1</sup>	1,19	27040
Top. + %50 Kompost	4	3,55	5272	18,08	20526
Top. + %1,5 Kireç	5	2,68	9646	0,55	17393
Top. + %2,5 Kireç	6	2,88	9137	2,93	17900
Top. + %1,5 Kireç +%10 Kompost	7	3,9	10767	85,7	16186
Top. + %1,5 A2	8	156	1527	5,54	25355
Top. + %2,5 A2	9	133	7426	8,74	19475
Top. + %5 A2	10	2,13	15991	17,35	11033
Top. + %2,5 A2 + %10 Kompost	11	14,46	11699	51,63	15278
Top. + %0,5 T50	12	342	2178	26,03	24497
Top. + %1,5 T50	13	1,34	6262	3,4	20766
Top. + %2,5 T50	14	2,51	4241	0,53	22799
Top. + %1,5 T50 + %10 Kompost	15	1,21	1578	10,09	25453

<sup>1</sup>Tespit edilemedi.

**Şekil 4.6:** Fe için elde edilen ardışık ekstraksiyon sonuçlarının grafiği (mg/kg-kuru madde).

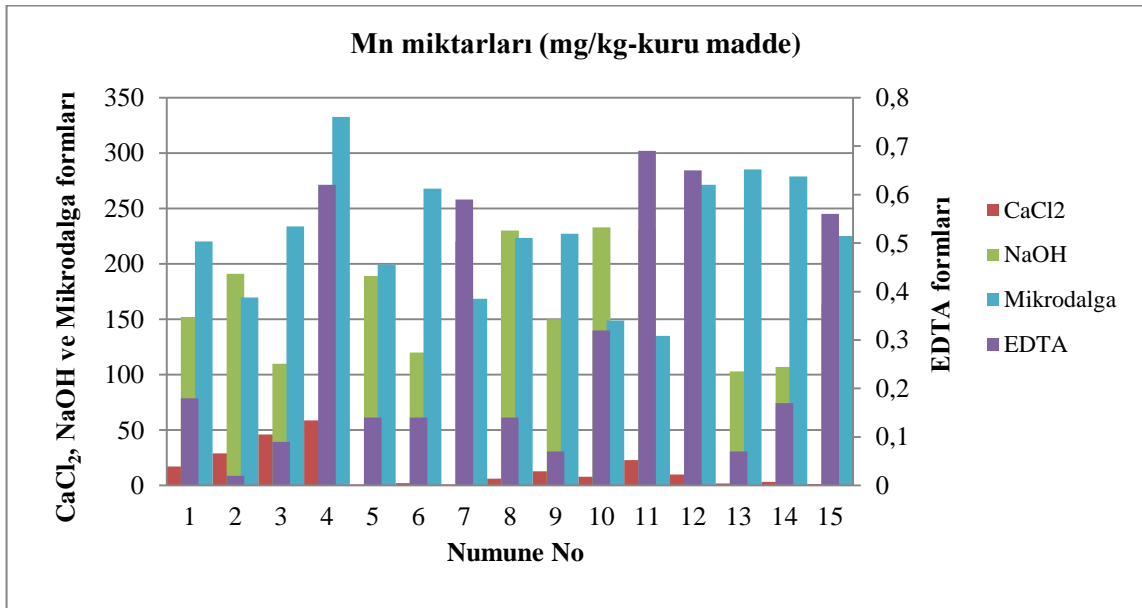
Tablo 4.8 ve Şekil 4.6'da görüldüğü gibi Fe için ardışık ekstraksiyon sonuçlarına bakıldığında, hiçbir iyileştirmenin yapılmadığı toprakta Fe'in daha çok residual form (silikatlar ile bağlı) ve sonrasında CaCl<sub>2</sub> ile ekstrakte edilebilir (kolaylıkla taşınabilir, hareketli) formda bulunduğu tespit edilmiştir. Toprak iyileştiricilerin ilave edilmesiyle CaCl<sub>2</sub> ile ekstrakte edilebilir

miktarların oldukça azaldığı ve OM ile bağlı forma geçtiği görülmüştür. Kireç ve A2'nin ilave edildiği karışımlarda ayrıca, residual formdaki Fe'in büyük bir kısmının da yine organik bağlı forma geçtiği görülmüştür.

**Tablo 4.9:** Mn için elde edilen ardışık ekstraksiyon sonuçları (mg/kg-kuru madde).

Numune Ad	Numune No	CaCl <sub>2</sub>	NaOH	EDTA	Mikrodalga
Toprak	1	17,02	152	0,18	220
Top. + %10 Kompost	2	28,92	191	0,02	170
Top. + %25 Kompost	3	45,92	110	0,09	234
Top. + %50 Kompost	4	58,85	TE <sup>1</sup>	0,62	332
Top. + %1,5 Kireç	5	0,94	189	0,14	199
Top. + %2,5 Kireç	6	2,04	120	0,14	268
Top. + %1,5 Kireç +%10 Kompost	7	0,94	220	0,59	169
Top. + %1,5 A2	8	6,25	230	0,14	223
Top. + %2,5 A2	9	12,71	150	0,07	227
Top. + %5 A2	10	7,83	233	0,32	149
Top. + %2,5 A2 + %10 Kompost	11	22,98	231	0,69	135
Top. + %0,5 T50	12	9,97	108	0,65	271
Top. + %1,5 T50	13	1,7	103	0,07	285
Top. + %2,5 T50	14	3,37	107	0,17	279
Top. + %1,5 T50 + %10 Kompost	15	1,31	163	0,56	225

<sup>1</sup>Tespit edilemedi.



**Şekil 4.7:** Mn için elde edilen ardışık ekstraksiyon sonuçlarının grafiği (mg/kg-kuru madde).

Tablo 4.9 ve Şekil 4.7 incelendiğinde, çalışmada kullanılan topraktaki Mn'in residual ve OM ile bağlı formlarda olduğu görülmektedir. Toprak iyileştiricilerin ilave edilmesiyle, kompost miktarı arttıkça OM ile bağlı Mn'in azaldığı, %50 kompost ilavesinde OM ile Mn'in tespit edilemediği, residual ve CaCl<sub>2</sub> ile ekstrakte edilebilir formlara geçtiği görülmüştür. Diğer toprak iyileştiricilerin ilave edilmesi sonucu Mn'in toprakta bulunan formlarında çok fazla değişiklik olmadığı görülmektedir.

Ardışık ekstraksiyon sonuçları değerlendirildiğinde kompost ve kireç ilavesi ile genel olarak metallerin kolaylıkla taşınabilir formdan organik madde ile bağlı forma geçtiği görülmektedir. Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında toprağa kompost gibi bir organik madde eklenmesi sonucunda, metallerin bitkiler tarafından alınabilir formlarının konsantrasyonlarının azaldığı, bu durumun da pH'ın artması ve organik maddedeki reaktif grupların metallerle kompleks oluşturarak metalleri hareketsiz hale getirmesinden kaynaklandığı belirtilmiştir (Lee ve diğ., 2004; Clemente ve Bernal, 2006; Karlsson ve diğ., 2007; Farrell ve Jones, 2010; Venegas ve diğ., 2015; Zeng ve diğ., 2015).

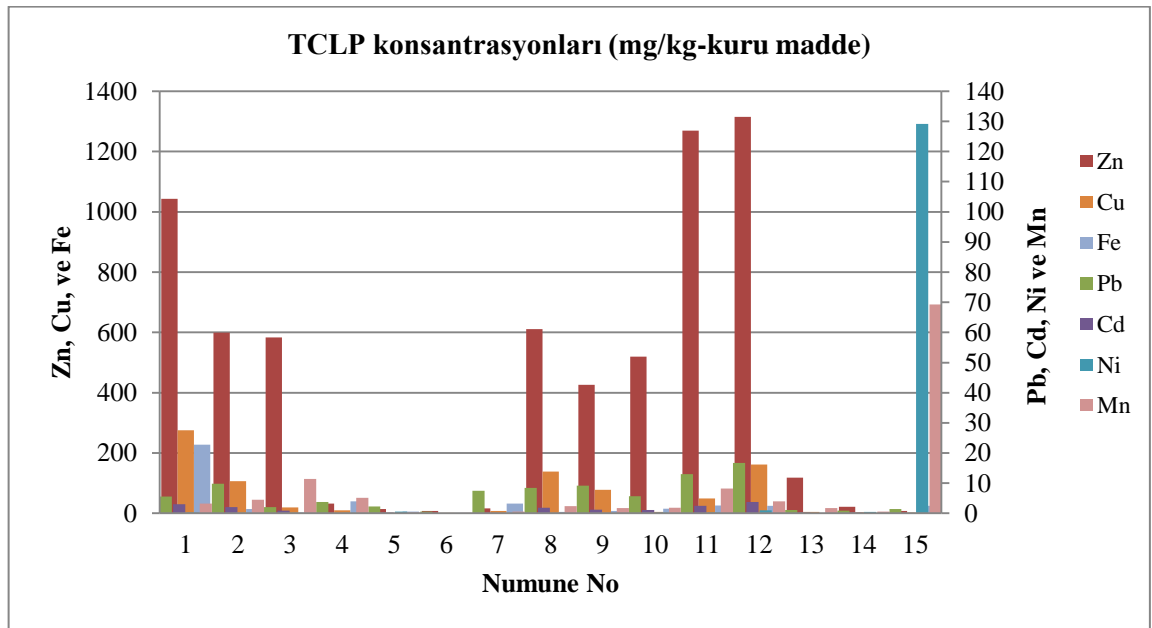
Literatürde kireç ile yapılan çalışmalarda da, bizim çalışmamızdakine benzer şekilde toprağa kireç ilave edilmesi ile topraktaki metallerin hareketli formlarında azalma olduğu belirtilmiştir (Krebs ve diğ., 1998; Maier ve diğ., 2002; Lee ve diğ., 2004; Tsadilas ve diğ., 2005; Hong ve diğ., 2007; Tsadilas, 2008; Zhu ve diğ., 2016). Örneğin, Rao ve diğ. (2013) tarafından yapılan çalışmada, pH'ın 1 ünite artmasının, asidik (pH 4,7-6,7) topraktaki ekstrakte edilebilir Cd'u %35-37 azalttığı görülmüştür (Rao ve diğ., 2013).

#### 4.2.2. TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) Test Sonuçları

Tablo 4.10: TCLP test sonuçları (mg/kg-kuru madde).

Numune Ad	Numune No	Zn	Pb	Cd	Ni	Cu	Fe	Mn
Toprak	1	1043	5,61	2,98	0,23	276	227	3,26
Top. + %10 Kompost	2	600	9,76	2,02	0,1	107	14,06	4,53
Top. + %25 Kompost	3	584	2,02	0,9	0,08	19,58	2,77	11,37
Top. + %50 Kompost	4	32,17	3,73	TE <sup>1</sup>	0,02	9,79	39,6	5,17
Top. + %1,5 Kireç	5	14,52	2,28	0,21	0,54	1,53	5,48	0,29
Top. + %2,5 Kireç	6	7,36	0,54	TE <sup>1</sup>	TE <sup>1</sup>	1,58	0,15	0,11
Top. + %1,5 Kireç +%10 Kompost	7	16,26	7,5	0,11	TE <sup>1</sup>	7,46	31,91	0,55
Top. + %1,5 A2	8	611	8,46	1,9	TE <sup>1</sup>	139	5,19	2,37
Top. + %2,5 A2	9	426	9,2	1,2	TE <sup>1</sup>	77,48	7,41	1,76
Top. + %5 A2	10	520	5,71	1,12	0,29	4,27	15,57	1,9
Top. + %2,5 A2 + %10 Kompost	11	1270	13,02	2,46	0,21	48,77	26,28	8,19
Top. + %0,5 T50	12	1315	16,72	3,8	1,05	162	24,45	4,02
Top. + %1,5 T50	13	118	1,06	0,21	TE <sup>1</sup>	4,2	0,47	1,75
Top. + %2,5 T50	14	21,38	0,86	0,23	0,49	4,04	1,99	0,54
Top. + %1,5 T50 + %10 Kompost	15	8,29	1,4	0,02	129	2,3	24,45	69,26

<sup>1</sup>Tespit edilemedi.



Şekil 4.8: TCLP test sonuçlarının grafiği (mg/kg-kuru madde).

TCLP test sonuçları (Tablo 4.10 ve Şekil 4.8) incelendiğinde, toprağa kompost eklenmesiyle kompost miktarı arttıkça ağır metaller için toksik sayılabilecek konsantrasyonlarının azaldığı görülmüştür. Paradelo ve diğ. (2011) tarafından yapılan çalışmada, toprağa MSW kompost eklenmesiyle Cu, Pb ve Zn'nun toksik konsantrasyonlarının azaldığının tespit edildiği belirtilmiştir. Kirecin toprağa ilave edilen miktarı arttıkça, Cu dışındaki ağır metallerin TCLP test ile ölçülen konsantrasyonlarının da azaldığı (%50 ve daha yüksek oranlarda azaldığı) tespit edilmiştir.

Kireç ve kompostun bir arada toprak iyileştirici olarak kullanılması halinde, bütün ağır metaller için TCLP test sonucunda ölçülen konsantrasyonların orijinal toprağa göre oldukça azaldığı görülmüştür, ancak %1,5 (v/v) kireç ilavesiyle elde edilen sonuçlara göre (Cd ve Ni hariç) biraz yüksek değerler elde edilmiştir. A2 ilavesinin, Cu, Ni, Cd ve Zn'nun TCLP test ile ölçülen konsantrasyonlarının azalmasına neden olduğu belirlenmiştir. Pb için ise herhangi bir azalma söz konusu değildir.

A2 ve kompostun bir arada kullanılması durumunda ise A2'nin tek başına kullanıldığı duruma göre ağır metallerin TCLP test ile ölçülen konsantrasyonlarının daha yüksek olduğu görülmüştür. T50'nin toprağa ilavesinde, eklenen T50 miktarı arttıkça TCLP test ile tespit edilen ağır metal konsantrasyonlarının önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. T50 ve kompostun bir arada kullanılması sonucu Ni hariç diğer ağır metallerin TCLP test ile ölçülen konsantrasyonlarının azaldığı belirlenmiştir. Fe ve Mn için TCLP ile tespit edilen konsantrasyonlar incelendiğinde, toprak iyileştiricilerin toprağa eklenmesinin TCLP ile tespit edilen Fe konsantrasyonlarını azalttığı görülmüştür. Ancak, Mn ile ilgili TCLP sonuçlarına bakıldığında, Mn değerinin bazı toprak karışımlarında orijinal topraktan daha yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Fe ve Mn için en düşük TCLP değerinin %2,5 (v/v) kireç eklendiğinde ölçüldüğü görülmüştür.

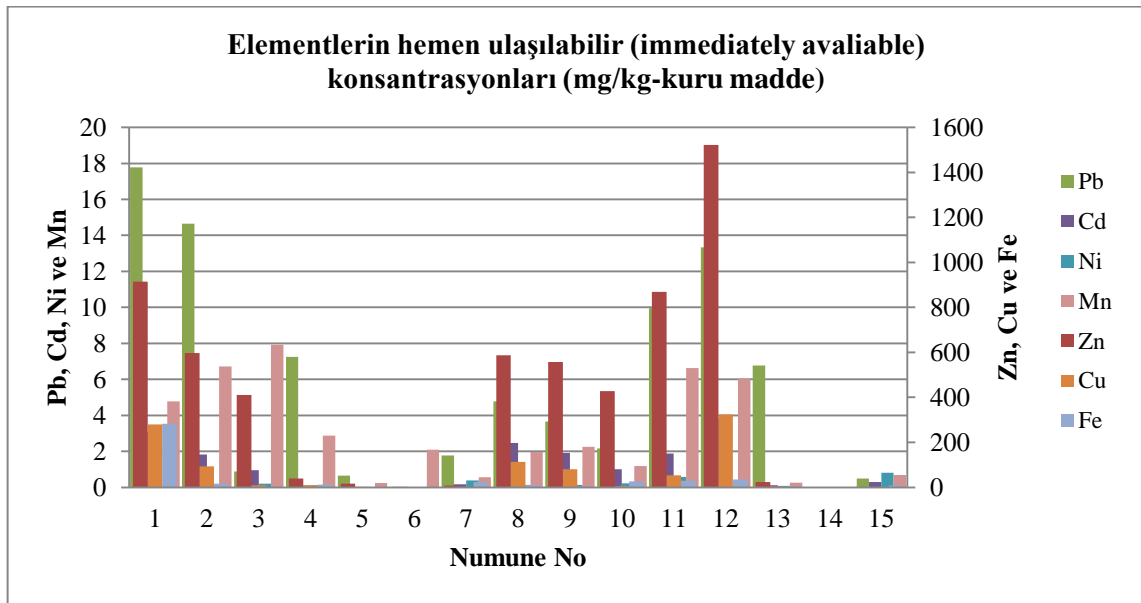
Literatürde, Tsang ve diğ. (2013) tarafından yapılan çalışmada, toprağa kompost ilave edilmesi ile Cu'nun toprakta stabilizasyonu sağlanırken, Arseniğin stabilizasyonun sağlanamadığı belirtilmiştir. Çalışmada, Cu'nun stabilizasyonunun kompostun yapısındaki organik kısımlar ile Cu arasında kompleks oluşumundan kaynaklandığının tahmin edildiği belirtilmiştir (Tsang ve diğ., 2013).

#### 4.2.3. Hemen Ulaşılabilir (Immediately Available) ve Potansiyel Olarak Ulaşılabilir (Potentially Available) Element Miktarları

**Tablo 4.11:** Hemen ulaşılabilir (Immediately available) element miktarları (mg/kg-kuru madde).

Numune Ad	Numune No	Zn	Pb	Cd	Ni	Cu	Fe	Mn
Toprak	1	914	17,78	3,09	TE <sup>1</sup>	280	282	4,78
Top. + %10 Kompost	2	597	14,64	1,82	0,1	92,83	16,17	6,72
Top. + %25 Kompost	3	410	0,88	0,96	0,21	9,02	0,86	7,92
Top. + %50 Kompost	4	39,33	7,25	0,1	0,12	8,99	12,91	2,87
Top. + %1,5 Kireç	5	16,19	0,65	TE <sup>1</sup>	TE <sup>1</sup>	2,86	0,79	0,24
Top. + %2,5 Kireç	6	2,24	TE <sup>1</sup>	TE <sup>1</sup>	0,01	0,84	0,18	2,09
Top. + %1,5 Kireç + %10 Kompost	7	7,43	1,77	0,17	0,38	1,01	22,97	0,57
Top. + %1,5 A2	8	588	4,78	2,47	0,14	113	8,9	1,96
Top. + %2,5 A2	9	557	3,65	1,91	0,13	81,23	3,99	2,25
Top. + %5 A2	10	428	2,16	1,01	0,22	5,13	26,08	1,18
Top. + %2,5 A2 + %10 Kompost	11	869	9,95	1,88	0,58	52,95	29,9	6,62
Top. + %0,5 T50	12	1522	13,34	3,86	0,06	324	35,66	6,04
Top. + %1,5 T50	13	24,13	6,77	0,12	0,08	3,97	3,72	0,26
Top. + %2,5 T50	14	1,38	TE <sup>1</sup>	TE <sup>1</sup>	TE <sup>1</sup>	0,36	0,54	TE <sup>1</sup>
Top. + %1,5 T50 + %10 Kompost	15	0,99	0,49	0,29	0,81	1,39	7,95	0,68

<sup>1</sup>Tespit edilemedi.



**Şekil 4.9:** Hemen ulaşılabilir (immediately available) element miktarlarının grafiği.

Hemen ulaşılabilir (immediately available) element konsantrasyonlarının gösterildiği Tablo 4.11 ve Şekil 4.9'a bakıldığında ilave edilen kompost miktarı arttıka Ni dışındaki diğer ağır metaller için bu formdaki konsantrasyonlarında azalma olduğu görülmektedir. Ni'in hemen ulaşılabilir (immediately available) miktarında ise çok az da olsa bir artma olduğu tespit edilmiştir. Paradelo ve diğer., (2011) tarafından yapılan çalışmada, toprağa kompost ilave edilmesiyle Cu, Pb ve Zn için hemen ulaşılabilir (immediately available) konsantrasyonlarının azaldığının görüldüğü belirtilmiştir.

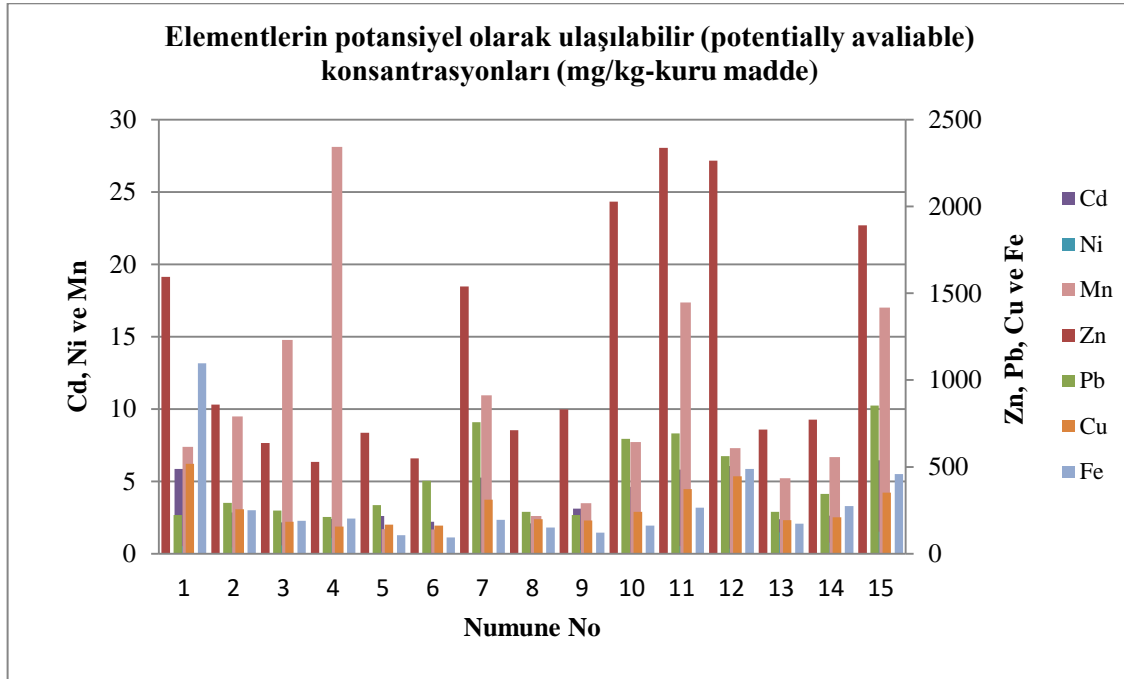
Kireç ilavesi yapıldığında eklenen kireç miktarı arttıka çalışmada incelenen Ni dışındaki tüm ağır metallerin hemen ulaşılabilir (immediately available) miktarlarının önemli oranda azaldığı, kompost ilavesine göre daha iyi sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir. Kireç ve kompostun bir arada kullanılması halinde ise Zn ve Cu için %1,5 (v/v) kirecin tek başına kullanıldığı duruma göre daha iyi sonuçlar elde edilirken, diğer ağır metallerin hemen ulaşılabilir (immediately available) miktarlarında hafif bir artış belirlenmiştir (Tablo 4.11 ve Şekil 4.9).

A2 ilave edildiğinde, ağır metallerin hemen ulaşılabilir (immediately available) miktarlarında kompost veya kireç ilavesi kadar iyi bir azalma söz konusu olmasa da, bir azalma gözlenmiştir. A2 ve kompostun bir arada kullanılması durumunda %2,5 (v/v) A2'nin tek başına kullanıldığı duruma göre Zn için daha kötü sonuçlar elde edilirken, diğer ağır metaller için benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür (Tablo 4.11 ve Şekil 4.9).

T50 ilave edilmesiyle, eklenen T50 miktarıyla ağır metallerin hemen ulaşılabilir (immediately available) miktarlarının azaldığı tespit edilmiştir ve ağır metallerin topraktaki hemen ulaşılabilir (immediately available) miktarlarının azaltılması konusunda en iyi sonuçların %2,5 (v/v) T50 ilavesi ile elde edildiği belirlenmiştir (Tablo 4.11 ve Şekil 4.9). Fe ve Mn için hemen ulaşılabilir (immediately available) konsantrasyonlarına bakıldığında, toprak iyileştiricilerin eklenmesinin orijinal toprakta bulunan Fe ve Mn'in hemen ulaşılabilir (immediately available) konsantrasyonlarının azaldığı görülmüştür. Fe için en düşük konsantrasyonun %2,5 (v/v) kireç eklendiğinde elde edildiği görülmüştür. Mn için ise en düşük konsantrasyonun %2,5 (v/v) T50 ilave edilmiş toprakta olduğu görülmüştür.

**Tablo 4.12:** Potansiyel olarak ulaşılabilir (Potentially available) element miktarları (mg/kg-kuru madde).

Numune Ad	Numune No	Zn	Pb	Cd	Ni	Cu	Fe	Mn
Toprak	1	1595	223	5,86	0,53	517	1096	7,39
Top. + %10 Kompost	2	858	292	2,84	0,44	255	250	9,48
Top. + %25 Kompost	3	638	248	2,16	0,58	185	190	14,77
Top. + %50 Kompost	4	529	212	2,41	1,08	156	202	28,12
Top. + %1,5 Kireç	5	697	280	2,61	0,14	167	107	1,7
Top. + %2,5 Kireç	6	550	419	2,21	TE <sup>1</sup>	161	93,98	1,68
Top. + %1,5 Kireç + %10 Kompost	7	1540	757	5,25	0,13	312	196	10,95
Top. + %1,5 A2	8	711	240	2,1	0,05	199	151	2,61
Top. + %2,5 A2	9	831	223	3,12	0,24	192	120	3,49
Top. + %5 A2	10	2027	662	4,62	0,13	241	162	7,72
Top. + %2,5 A2 + %10 Kompost	11	2337	694	5,82	0,53	372	265	17,36
Top. + %0,5 T50	12	2264	563	6,05	0,34	445	488	7,3
Top. + %1,5 T50	13	715	240	2,39	1,48	193	173	5,21
Top. + %2,5 T50	14	772	344	2,63	0,78	210	274	6,67
Top. + %1,5 T50 + %10 Kompost	15	1891	853	6,45	1,52	352	459	17,01

<sup>1</sup>Tespit edilemedi.**Şekil 4.10:** Potansiyel olarak ulaşılabilir (potentially available) element miktarlarının grafiği.



Tablo 4.12 ve Şekil 4.10'a bakıldığında ilave edilen kompost miktarı arttıkça Zn, Cd ve Cu potansiyel olarak ulaşılabilir (potentially available) miktarlarının önemli oranda azaldığı görülmektedir. Ni'in potansiyel olarak ulaşılabilir (potentially available) miktarında ise çok az da olsa bir artma olduğu, Pb'un potansiyel olarak ulaşılabilir (potentially available) miktarının önce azaldığı, sonra eklenen kompost miktarının artmasıyla tekrar arttığı tespit edilmiştir. Literatürde, toprağa MSW kompost ilavesi ile potansiyel olarak ulaşılabilir (potentially available) metal konsantrasyonlarında bir azalmanın gözlemlenmediği belirtilmiştir (Paradelo ve diğ., 2011).

Kireç ilavesi yapıldığında eklenen kireç miktarı arttıkça çalışmada incelenen tüm ağır metallerin potansiyel olarak ulaşılabilir (potentially available) miktarlarının önemli oranda azaldığı, kompost ilavesine göre daha iyi sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir. Kireç ve kompostun bir arada kullanılması halinde ise Zn ve Cu için %1,5 (v/v) kirecin tek başına kullanıldığı duruma göre daha iyi sonuçlar elde edilirken, diğer ağır metallerin potansiyel olarak ulaşılabilir (potentially available) miktarlarında hafif bir artış belirlenmiştir.

A2 ilave edildiğinde, ağır metallerin potansiyel olarak ulaşılabilir (potentially available) miktarlarında kompost veya kireç ilavesi kadar iyi bir azalma söz konusu olmasa da, bir azalma gözlenmiştir. A2 ve kompostun bir arada kullanılması durumunda %2,5 (v/v) A2'nin tek başına kullanıldığı duruma göre Zn için daha kötü sonuçlar elde edilirken, diğer ağır metaller için benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür (Tablo 4.12, Şekil 4.10).

T50 ilave edilmesiyle, eklenen T50 miktarıyla ağır metallerin potansiyel olarak ulaşılabilir (potentially available) miktarlarının azaldığı tespit edilmiştir (Tablo 4.12, Şekil 4.10). Fe ve Mn için %2,5 (v/v) kireç ilavesi ile potentially available konsantrasyonlarının en düşük seviyede olduğu görülmüştür.

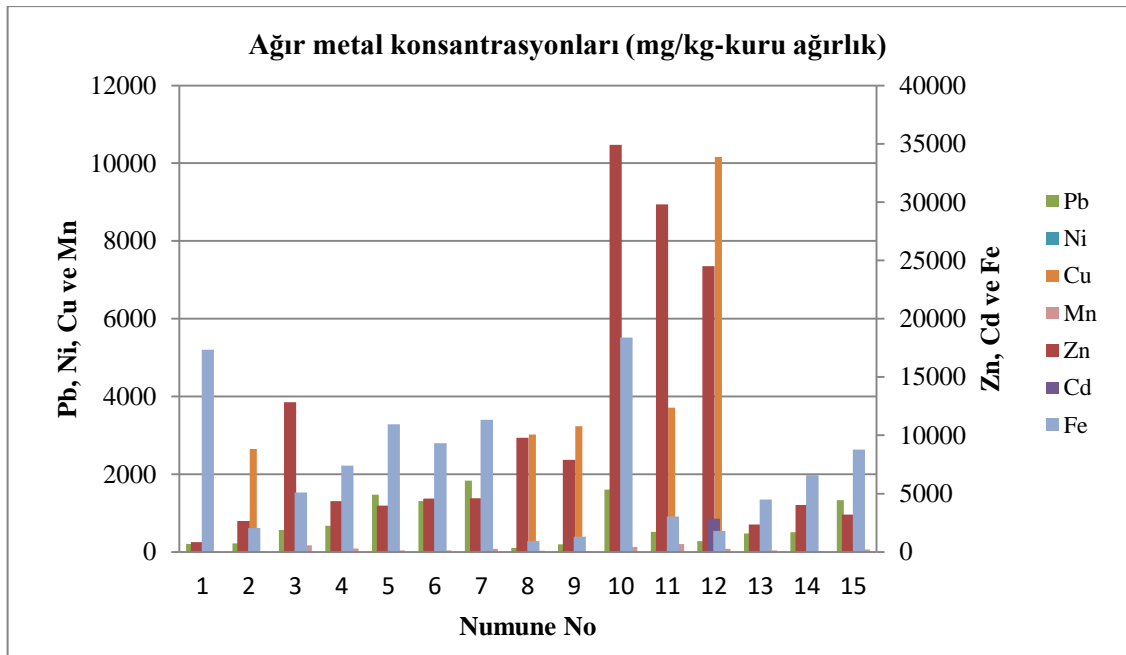
#### **4.2.4. Bitki Kök ve Gövdelerindeki Metal ve Diğer Elementlerin Miktarları**

Tablo 4.13'de ve Şekil 4.11'de bitki köklerindeki metal miktarları mg/kg-kuru ağırlık bazında sunulmuştur. Tablo 4.14'de ve Şekil 4.12'de bitki köklerindeki metaller dışında tespit edilen element miktarları (mg/kg-kuru ağırlık) verilmiştir. Tablo 4.15'de ve Şekil 4.13'de bitki gövdelerindeki metal konsantrasyonları (mg/kg-kuru ağırlık), Tablo 4.16'da ve Şekil 4.14'de ise bitki gövdelerindeki diğer element konsantrasyonları (mg/kg-kuru ağırlık) sunulmuştur.

**Tablo 4.13:** Bitki köklerindeki metal miktarları (mg/kg-kuru ağırlık).

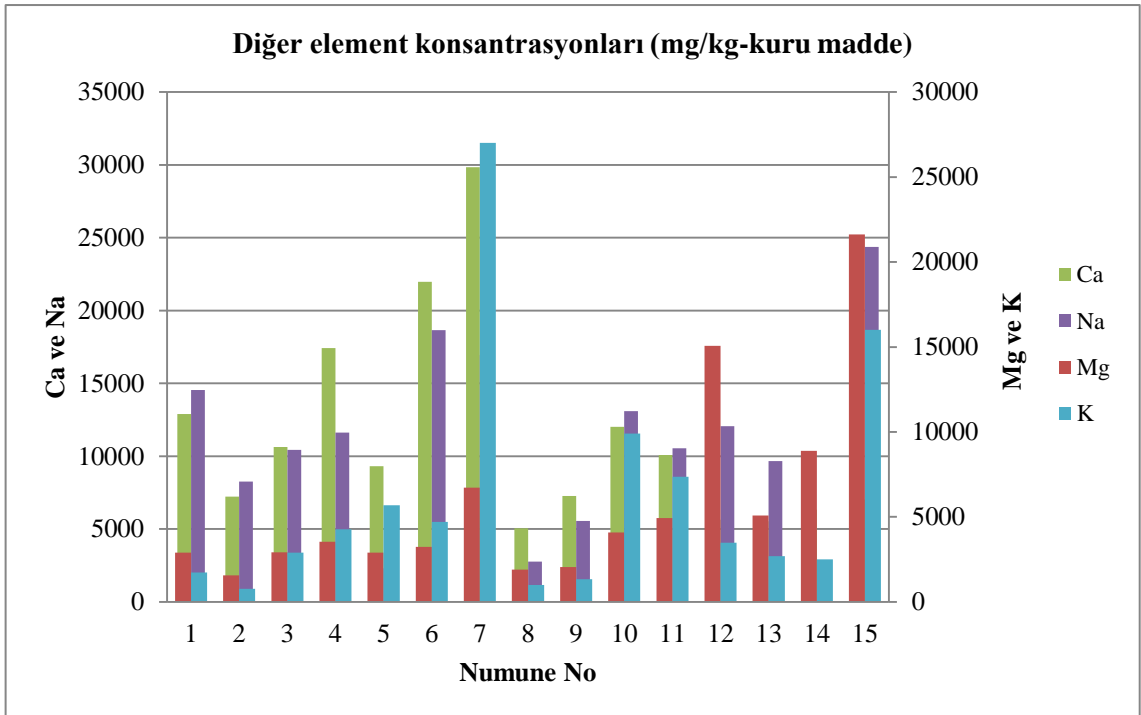
Numune Ad	Numune No	Zn	Pb	Cd	Ni	Cu	Fe	Mn
Toprak	1	833	206	9,34	TE <sup>1</sup>	1241	17338	12,23
Top. + %10 Kompost	2	2653	222	13,01	0,09	2647	2045	20,25
Top. + %25 Kompost	3	12852	565	43,85	3,77	1253	5093	169
Top. + %50 Kompost	4	4345	673	25,35	1,69	837	7406	89,21
Top. + %1,5 Kireç	5	3972	1472	33,55	1,58	791	10936	36,73
Top. + %2,5 Kireç	6	4573	1308	33,32	TE <sup>1</sup>	989	9331	38,87
Top. + %1,5 Kireç + %10 Kompost	7	4605	1837	36,66	4,85	1325	11322	76,7
Top. + %1,5 A2	8	9802	108	38,58	1,66	3022	934	27,66
Top. + %2,5 A2	9	7903	195	35,68	1,17	3231	1310	22,78
Top. + %5 A2	10	34904	1603	111	4,41	3198	18380	131
Top. + %2,5 A2 + %10 Kompost	11	29807	518	105	7,72	3713	3040	202
Top. + %0,5 T50	12	24515	281	2835	4,66	10163	1812	77,59
Top. + %1,5 T50	13	2339	475	13,58	4,34	920	4486	38,3
Top. + %2,5 T50	14	4035	512	23,05	15,28	1750	6588	25,79
Top. + %1,5 T50 + %10 Kompost	15	3204	1327	27,81	3,7	813	8782	60,13

<sup>1</sup>Tespit edilemedi.

**Şekil 4.11:** Bitki köklerindeki metal miktarlarının grafiği (mg/kg-kuru ağırlık).

**Tablo 4.14:** Bitki köklerindeki diğer element miktarları (mg/kg-kuru ağırlık).

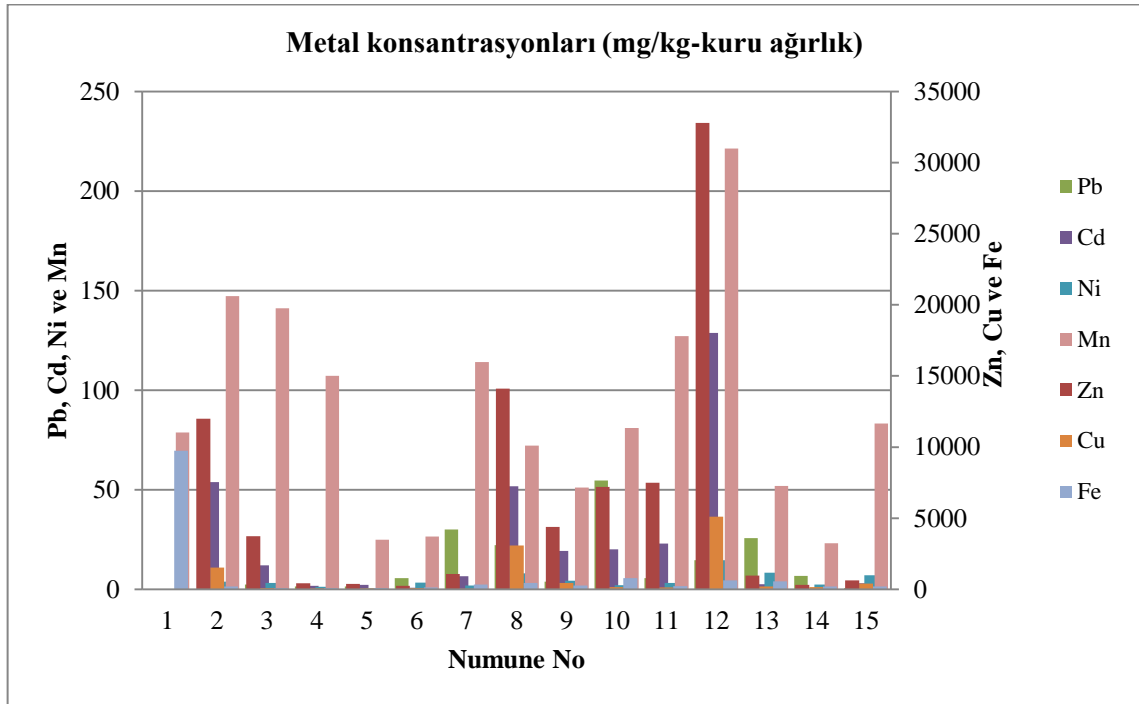
Numune Ad	Numune No	Mg	Ca	Na	K
Toprak	1	2903	12900	14538	1738
Top. + %10 Kompost	2	1559	7230	8263	769
Top. + %25 Kompost	3	2926	10628	10445	2902
Top. + %50 Kompost	4	3547	17422	11629	4276
Top. + %1,5 Kireç	5	2893	9309	2307	5686
Top. + %2,5 Kireç	6	3242	21977	18648	4711
Top. + %1,5 Kireç +%10 Kompost	7	6714	29847	16950	27004
Top. + %1,5 A2	8	1896	5041	2773	990
Top. + %2,5 A2	9	2050	7277	5549	1336
Top. + %5 A2	10	4087	12018	13102	9916
Top. + %2,5 A2 + %10 Kompost	11	4933	10088	10538	7368
Top. + %0,5 T50	12	15068	5654	12059	3484
Top. + %1,5 T50	13	5092	5533	9662	2692
Top. + %2,5 T50	14	8889	6330	805	2493
Top. + %1,5 T50 + %10 Kompost	15	21623	7038	24363	16014

**Şekil 4.12:** Bitki köklerindeki diğer element miktarlarının grafiği (mg/kg-kuru ağırlık).

**Tablo 4.15:** Bitki gövdelerindeki metal miktarları (mg/kg-kuru ağırlık).

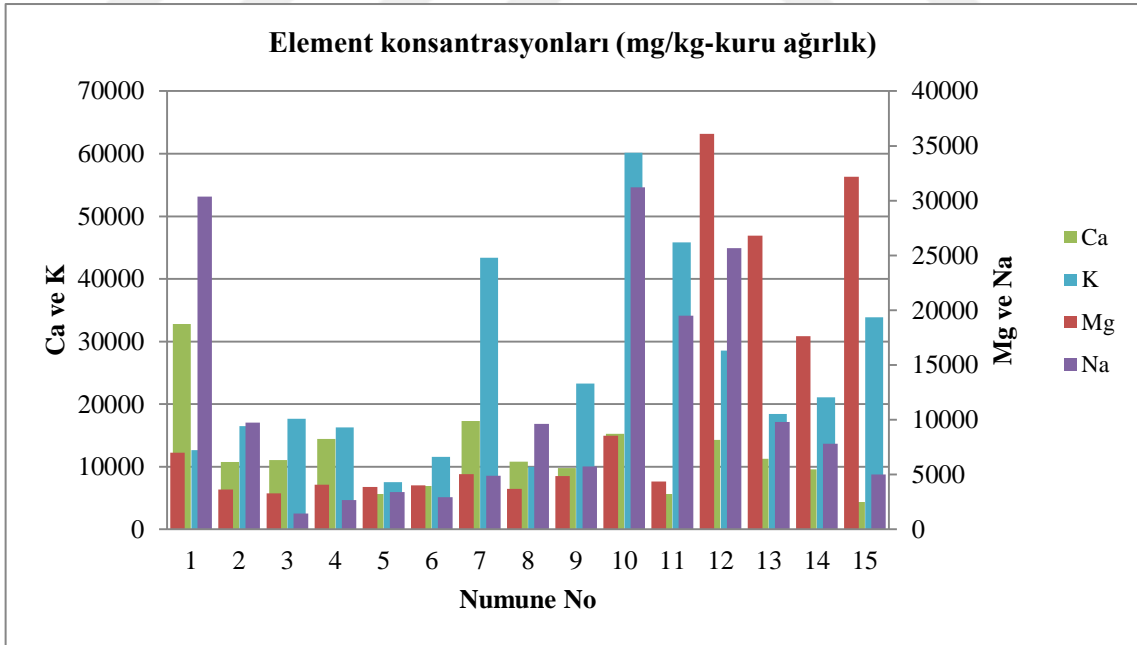
Numune Ad	Numune No	Zn	Pb	Cd	Ni	Cu	Fe	Mn
Toprak	1	TE <sup>1</sup>	TE <sup>1</sup>	TE <sup>1</sup>	TE <sup>1</sup>	TE <sup>1</sup>	9750	78,72
Top. + %10 Kompost	2	12000	TE <sup>1</sup>	53,76	3,85	1533	194	147
Top. + %25 Kompost	3	3725	2,42	12,01	3,16	80,29	82,91	141
Top. + %50 Kompost	4	416	1,49	1,78	1,22	64,39	83,86	107
Top. + %1,5 Kireç	5	374	1,4	2,29	0,5	54,29	85,72	24,83
Top. + %2,5 Kireç	6	244	5,62	0,85	3,35	79,63	129	26,48
Top. + %1,5 Kireç + %10 Kompost	7	1073	30,03	6,64	1,84	50,97	326	114,2
Top. + %1,5 A2	8	14109	22,15	51,74	8,01	3088	452	72,23
Top. + %2,5 A2	9	4384	3,8	19,29	4,35	436	264	51,08
Top. + %5 A2	10	7203	54,62	20,07	2,01	155	781	80,97
Top. + %2,5 A2 + %10 Kompost	11	7485	5,68	23,04	3,21	126	222	127
Top. + %0,5 T50	12	32797	14,54	129	14,57	5109	635	221
Top. + %1,5 T50	13	964	25,65	2,56	8,32	205	566	51,97
Top. + %2,5 T50	14	304	6,74	0,19	2,36	165	204	23,19
Top. + %1,5 T50 + %10 Kompost	15	617	0,65	3,07	7,11	409	204	83,32

<sup>1</sup>Tespit edilemedi.

**Şekil 4.13:** Bitki gövdelerindeki metal miktarlarının grafiği (mg/kg-kuru ağırlık).

**Tablo 4.16:** Bitki gövdelerindeki diğer element miktarları (mg/kg-kuru ağırlık).

Numune Ad	Numune No	Mg	Ca	Na	K
Toprak	1	6992	32806	30361	12625
Top. + %10 Kompost	2	3635	10725	9733	16492
Top. + %25 Kompost	3	3285	11080	1435	17634
Top. + %50 Kompost	4	4079	14455	2651	16250
Top. + %1,5 Kireç	5	3873	5650	3381	7504
Top. + %2,5 Kireç	6	4002	6888	2923	11568
Top. + %1,5 Kireç +%10 Kompost	7	5044	17274	4888	43375
Top. + %1,5 A2	8	3674	10805	9606	9972
Top. + %2,5 A2	9	4853	9753	5721	23263
Top. + %5 A2	10	8541	15261	31205	60129
Top. + %2,5 A2 + %10 Kompost	11	4351	5613	19492	45839
Top. + %0,5 T50	12	36088	14285	25669	28543
Top. + %1,5 T50	13	26804	11263	9784	18432
Top. + %2,5 T50	14	17613	9548	7804	21069
Top. + %1,5 T50 + %10 Kompost	15	32188	4346	5005	33863

**Şekil 4.14:** Bitki gövdelerindeki diğer element miktarlarının grafiği (mg/kg-kuru ağırlık).

Bitki kök ve gövdelerindeki ağır metal miktarlarını gösteren tablolar incelendiğinde (Tablo 4.13, Şekil 4.11 ve Tablo 4.15, Şekil 4.13) genel olarak bitki köklerinde tespit edilen ağır metal

miktarlarının bitki gövdelerinde tespit edilen konsantrasyonlardan daha yüksek olduğu görülmüştür.

Toprağa %50 (v/v) kompost ilavesi ile elde edilen karışımlarda büyüyen bitkilerin köklerinde çalışmada ölçümü yapılan bütün ağır metal türleri için diğer kompost karışımlarına oranla daha düşük ağır metal konsantrasyonları tespit edilmiştir (Tablo 4.13, Şekil 4.11). Aynı zamanda bitki büyümesinin de bu kompost-toprak karışımında diğer kompost karışımlarına göre daha iyi olduğu görülmüştür (45 cm bitki boyu, 3,55 cm kök uzunluğu ve 0,75 gr bitki ağırlığı) (Tablo 4.17).

Kireç ilave edilen toprakta büyüyen bitkilerde bitki gövdelerindeki ağır metal miktarlarının eklenen kireç miktarı ile azaldığı (Pb ve Ni hariç), köklerde ise Zn ve Cu değerlerinin kireç miktarının artmasıyla artarken diğer ağır metallerin köklerdeki konsantrasyonlarında az da olsa bir azalma olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.13, Şekil 4.11 ve Tablo 4.15, Şekil 4.13).

Bitki boy ve ağırlıkları incelendiğinde %1,5 (v/v) kireç ilave edilmiş olan toprakta bitki gelişiminin daha iyi olduğu görülmüştür (46,35 cm bitki boyu, 0,705 gr bitki ağırlığı). Aynı zamanda bitki kök gelişiminin yine %1,5 (v/v) kireç ilavesinin yapıldığı toprakta daha iyi olduğu (9,2 cm) belirlenmiştir. %10 (v/v) kompost ve %1,5 (v/v) kirecin bir arada ilave edildiği toprakta 55,35 cm bitki boyu, 1,245 gr bitki ağırlığı ve 11,85 cm kök uzunluğu ile en iyi bitki gelişiminin elde edildiği gözlenmiştir (Tablo 4.17). Ancak bu karışımda yetişen bitkilerde bitki kök ve gövdelerinde biriken ağır metal miktarlarının kompostun (%50 v/v) veya kirecin (%1,5 v/v) tek başına toprağa eklendiği durumlardakinden daha fazla olduğu görülmüştür (Tablo 4.13, Şekil 4.11 ve Tablo 4.15, Şekil 4.13).

Tablo 4.14, Şekil 4.12 ve Tablo 4.16, Şekil 4.14'deki sonuçlara göre, bitki kök ve gövdelerindeki diğer element konsantrasyonları incelendiğinde kireç ilavesinin olduğu toprak karışımlarında bitki köklerindeki Ca konsantrasyonlarının diğer karışımlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Ancak bitki gövdelerinde bu artış görülmemiştir. Ca'un bitki kökleri tarafından tutulduğu düşünülmektedir.

Toprağa T50 ilavesi ile bitkilerin hem kökünde hem de gövdesindeki Mg konsantrasyonlarının arttığı görülmektedir. Toprağa toprak iyileştiricilerin ilave edilmesiyle kök ve gövdelerde genel olarak K konsantrasyonlarının arttığı görülmektedir. Bitkilerin hem köklerinde hem de

gövdelerinde tespit edilen Na konsantrasyonlarının ise iyileştiricilerin ilavesi ile azaldığı görülmektedir.

Ticari toprak iyileştiricilerden A2 kullanıldığında, toprağa eklenen A2 miktarı arttıkça bitki kök ve gövde uzunluklarının da arttığı görülmüştür. Ancak, büyüyen bitkilere ait uzunluk ve ağırlık değerleri kompost ve/veya kireç kullanılan topraklarda büyüyen bitkilere göre oldukça düşüktür (Tablo 4.17). A2 ile yürütülen deneylerde, bitki gelişimi ile ilgili en iyi sonuçların A2'nin (%2,5 v/v) kompost (%10 v/v) ile birlikte eklendiği topraklarda elde edildiği görülmüştür (16,6 cm bitki boyu, 3,4 cm kök uzunluğu ve 0,12 gr ağırlık) (Tablo 4.17).

Diğer bir ticari toprak iyileştirici olan T50'nin kullanıldığı çalışmalarda, en iyi sonucun %1,5 (v/v) T50 ve %10 (v/v) kompostun bir arada kullanıldığı toprak karışımlarında elde edildiği belirlenmiştir (47,25 cm uzunluk, 8,85 cm kök uzunluğu, 1,515 gr ağırlık) (Tablo 4.17). Bu sonuçlar değerlendirildiğinde, çalışmada kullanılan ticari toprak iyileştiricilerden T50 ile A2'ye göre daha iyi sonuçlar elde edildiği söylenebilir. Ancak, iyi sonuç alınması için T50'nin de kompost ile birlikte kullanılması gerektiği düşünülmektedir.

Bitkilerin kök ve gövdelerinde ölçülen ağır metal miktarlarına bakıldığında, bitki kök ve gövdelerindeki ağır metal konsantrasyonlarının genel olarak %1,5 (v/v) T50 ve %10 (v/v) kompostun bir arada kullanıldığı toprak karışımlarında %1,5 (v/v) kireç ve %10 (v/v) kompostun kullanıldığı veya %2,5 (v/v) A2 ve %10 (v/v) kompostun kullanıldığı karışımlara göre daha düşük konsantrasyonlarda olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda, T50 kullanımının topraktan bitkiye ağır metal geçişini azalttığı söylenebilir.

Toprağa kireç eklenmesiyle metallerin hareketsiz hale geçmesinde 3 sebebin olabileceği düşünülmektedir. Bu sebepler;

(1) Yüksek  $H^+$  iyonu konsantrasyonu (düşük pH) toprağın metalleri adsorblama kapasitesini azaltabilir, buna karşılık topraktan metal emilimini ve metal ile bağlantılı karbonatların çözünürlüğünü arttırarak bitkiler tarafından metal alımını arttırır (Blake and Goulding, 2002; Wang ve diğ., 2006; Yang ve diğ., 2018); kireç ilave edildiğinde ise  $H^+$  iyonları nötralize edilmiş olur ve metallerin bitkiler tarafından alınabilirliği azaltılmış olur (Ardestani ve van Gestel, 2013; Yang ve diğ., 2018).

(2) Kireç eklenmesi, topraktaki yüzey negatif yükünü ve  $Ca^{2+}$ 'yi artırabilir. Artan yüzey negatif yük, topraktaki metallerin çökmesine neden olabilir ve  $Ca^{2+}$ , kök yüzeyinde  $Cd^{2+}$  gibi metallerle rekabet edebilir (Bolan ve diğ., 2003; Hong ve diğ., 2007; Yang ve diğ., 2018).

(3) Kireç eklenmesinin, metal-karbonat formunda metallerin çökmesine ve metallerin hidroksil türlerinin oluşumuna veya ( $2^+$ ) değerlikli metallerin (0) değerliğe düşmesine neden olabileceği ve bu da kontamine toprakta metallerin değiştirilebilir fraksiyonunda önemli azalmalara neden olabileceği birçok çalışmada belirtilmiştir (Yang ve diğ., 2007; Khaokaew ve diğ., 2011; Yang ve diğ., 2018).

Bu sonuçlar, kireçlemenin bir sonucu olarak daha yüksek toprak pH'ının, orta derecede asidik topraklarda metallerin hareketliliğinin azaltılmasında önemli bir rol oynadığını açıkça ortaya koymuştur.

**Tablo 4.17:** Bitki boyları ve ağırlıkları (cm).

Numune Ad	Numune No	Bitki Ağırlık (gr)	Gövde Uzunluk (cm)	Kök Uzunluk (cm)
Toprak	1	0,235	2,5	1,5
Top. + %10 Kompost	2	0,295	6	2,5
Top. + %25 Kompost	3	0,72	31	4,6
Top. + %50 Kompost	4	0,75	45	3,55
Top. + %1,5 Kireç	5	0,705	46,35	9,2
Top. + %2,5 Kireç	6	0,255	36,35	4,4
Top. + %1,5 Kireç +%10 Kompost	7	1,245	55,35	11,85
Top. + %1,5 A2	8	0,22	3,6	1
Top. + %2,5 A2	9	0,36	8,4	1,4
Top. + %5 A2	10	0,13	12,7	2,65
Top. + %2,5 A2 + %10 Kompost	11	0,12	16,6	3,4
Top. + %0,5 T50	12	0,1	5	1,85
Top. + %1,5 T50	13	0,27	15,25	3,3
Top. + %2,5 T50	14	0,2	3,85	3,5
Top. + %1,5 T50 + %10 Kompost	15	1,515	47,25	8,85



## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

pH değerlerine bakıldığında, çalışmada kullanılan orijinal toprağın pH değerinin 3 (asidik) olduğu görülmüştür. Bu toprağa kompost ilave edildiğinde eklenen kompost miktarı arttıkça toprağın pH değerinin arttığı ve %50 kompost ilavesi ile pH 6'ya yükseldiği görülmüştür. Kireç ilavesi ile de ilave edilen kireç miktarı arttıkça toprağın pH değerinin arttığı, %2,5 kireç ilavesi ile başlangıçta pH'ın 6,5'e yükseldiği, çalışma sonunda pH 6'da kaldığı görülmüştür. A2 olarak tanımlanan ticari toprak iyileştiricinin eklenmesi de pH'ı arttırmıştır, ancak en yüksek pH 5 değerine ulaşılabilmiştir. T50 olarak tanımlanan ticari toprak iyileştirici ile (%2,5 T50 ilave edildiğinde) pH 7 değerine ulaşıldığı görülmüştür.

Ardışık ekstraksiyon sonuçları incelendiğinde, Pb'un daha çok residual formda (en hareketsiz formda) bulunduğu görülmüştür. Kompost, kireç, A2 ve T50 ilaveleri ile hareketli halde bulunan Pb'un büyük bir kısmının da residual forma geçtiği görülmüştür. Orijinal toprak numunesindeki Cd'un residual, yani daha çok silikatlar şeklinde bağlı formda ve organik madde ile bağlı formda olduğu görülmüştür. Toprağa kompost veya kireç ilave edilmesiyle, CaCl<sub>2</sub> ile ekstrakte edilebilen formdaki Cd miktarının eklenen kompost miktarı ile önemli oranda azaldığı, OM ile bağlı formdaki Cd konsantrasyonunun ise arttığı tespit edilmiştir. Kireç ve kompostun bir arada kullanılması durumunda Cd'un kolaylıkla taşınabilir formdan organik madde ile bağlı forma geçtiği belirlenmiştir. Ticari toprak iyileştiriciler olan A2 ve T50 kullanımı sonucu ise Cd'un daha çok OM ile bağlı ve residual formlarda buldukları görülmüştür. Orijinal toprak numunesindeki Ni'in organik madde ile bağlı formda ve residual formda olduğu görülmüştür. Toprağa kompost ilavesiyle, Ni'in residual formdaki konsantrasyonlarının arttığı belirlenmiştir. Kireç ilave edildiğinde ise tersine, eklenen kireç miktarı artınca, Ni'in hareketli formdaki konsantrasyonunun arttığı görülmüştür. Kireç ve kompostun bir arada kullanılması durumunda ve ayrıca A2 ve T50 ile iyileştirme yapıldığı durumlarda da Ni'in organik madde ile bağlı formdan kolaylıkla taşınabilir forma geçtiği belirlenmiştir. Orijinal toprak numunesinde Cu'nun büyük bir kısmının residual formda bulunduğu görülmüştür. Toprağa kompost veya kireç ilave edilmesiyle, OM ile bağlı formdaki Cu konsantrasyonlarının eklenen kompost veya kireç miktarının artmasıyla önemli oranda arttığı görülmüştür. Kireç ve kompostun bir arada kullanılması durumunda Cu'nun kolaylıkla taşınabilir formdan organik madde ile bağlı forma geçtiği belirlenmiştir. A2 ve T50 kullanımı sonucu Cu'nun OM madde ile bağlı form ve en hareketsiz form olan residual forma geçtiği tespit

edilmiştir. Orijinal toprak numunesinde Zn'nun büyük bir kısmının residual formda, ayrıca organik madde ile bağlı formda olduğu belirlenmiştir. OM ile bağlı formdaki Zn konsantrasyonlarının eklenen kompost miktarının artmasıyla arttığı görülmüştür. Benzer şekilde, toprağa kireç ilavesinde, eklenen kireç miktarı artınca, Zn'nun OM ile bağlı formdaki konsantrasyonunun arttığı, kolaylıkla taşınabilir formdaki Zn konsantrasyonunun ise önemli miktarda azaldığı görülmüştür. A2 ve T50 kullanımı sonucu Zn'nun büyük kısmının OM madde ile bağlı form ve residual forma geçtiği tespit edilmiştir. Fe için ardışık ekstraksiyon sonuçlarına bakıldığında orijinal toprakta Fe'in daha çok residual form (silikatlar ile bağlı) ve sonrasında  $\text{CaCl}_2$  ile ekstrakte edilebilir (kolaylıkla taşınabilir, hareketli) formda bulunduğu tespit edilmiştir. Toprak iyileştiricilerin ilave edilmesiyle  $\text{CaCl}_2$  ile ekstrakte edilebilir miktarların oldukça azaldığı ve OM ile bağlı forma geçtiği görülmüştür. Kireç ve A2'nin ilave edildiği karışımlarda ayrıca, residual formdaki Fe'in büyük bir kısmının da yine organik bağlı forma geçtiği görülmüştür. Orijinal topraktaki Mn'in residual ve OM ile bağlı formlarda olduğu görülmektedir. Toprak iyileştiricilerin ilave edilmesiyle, kompost miktarı arttıkça OM ile bağlı Mn'in azaldığı, residual ve  $\text{CaCl}_2$  ile ekstrakte edilebilir formlara geçtiği görülmüştür. Ardışık ekstraksiyon sonuçları değerlendirildiğinde kompost ve kireç ilavesi ile genel olarak metallerin kolaylıkla taşınabilir formdan organik madde ile bağlı forma geçtiği görülmektedir.

TCLP test sonuçlarına göre, toprağa eklenen kompost miktarı arttıkça ağır metaller için toksik sayılabilecek konsantrasyonlarının azaldığı görülmüştür. Kirecin toprağa ilave edilen miktarı arttıkça, Cu dışındaki ağır metallerin TCLP test ile ölçülen konsantrasyonlarının da azaldığı belirlenmiştir. Kireç ve kompostun bir arada toprak iyileştirici olarak kullanılması halinde, bütün ağır metaller için TCLP test sonucunda ölçülen konsantrasyonların orijinal toprağa göre oldukça azaldığı görülmüştür, ancak %1,5 (v/v) kireç ilavesiyle elde edilen sonuçlara göre (Cd ve Ni hariç) biraz yüksek değerler elde edilmiştir. A2 ve T50 ilavesinin, Cu, Ni, Cd ve Zn'nun TCLP test ile ölçülen konsantrasyonlarının azalmasına neden olduğu belirlenmiştir. A2 kullanıldığında, Pb için ise herhangi bir azalma söz konusu değildir. T50 ve kompostun bir arada kullanılması sonucu Ni ve Pb hariç diğer ağır metallerin TCLP test ile ölçülen konsantrasyonlarının azaldığı belirlenmiştir. Fe ve Mn için TCLP ile tespit edilen konsantrasyonlar incelendiğinde, toprak iyileştiricilerin toprağa eklenmesinin TCLP ile tespit edilen Fe konsantrasyonlarını azalttığı görülmüştür. Mn için, Mn TCLP değerinin bazı toprak karışımlarında orijinal topraktan daha yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Fe ve Mn için en düşük TCLP değerinin %2,5 (v/v) kireç eklendiğinde ölçüldüğü görülmüştür.

İmmmediately available element konsantrasyonlarına bakıldığında, ilave edilen kompost miktarı arttıkça Ni dışındaki diğer ağır metaller için bu formdaki konsantrasyonlarında azalma olduğu görülmektedir. Ni'in immmediately available miktarında ise çok az da olsa bir artma olduğu tespit edilmiştir. Kireç ilavesi yapıldığında da benzer sonuçlar gözlenmiştir. A2 ilave edildiğinde, ağır metallerin immmediately available miktarlarında kompost veya kireç ilavesi kadar iyi bir azalma söz konusu olmasa da, bir azalma gözlenmiştir. T50 ilave edilmesiyle, eklenen T50 miktarıyla ağır metallerin immmediately available miktarlarının azaldığı tespit edilmiştir. Ağır metallerin topraktaki immmediately available miktarlarının azaltılması konusunda en iyi sonuçların %2,5 (v/v) T50 ilavesi ile elde edildiği belirlenmiştir. Fe ve Mn için immmediately available konsantrasyonlarına bakıldığında, toprak iyileştiricilerin eklenmesiyle orijinal toprakta bulunan Fe ve Mn'nin immmediately available konsantrasyonlarının azaldığı görülmüştür.

Potentially available metal miktarları incelendiğinde, kompost miktarı arttıkça Zn, Cd ve Cu için potentially available miktarlarının önemli oranda azaldığı görülmektedir. Ni'in potentially available miktarında ise çok az da olsa bir artma olduğu, Pb'un potentially available miktarının önce azaldığı, sonra eklenen kompost miktarının artmasıyla tekrar arttığı tespit edilmiştir. Kireç ilavesi yapıldığında eklenen kireç miktarı arttıkça çalışmada incelenen tüm ağır metallerin potentially available miktarlarının önemli oranda azaldığı, kompost ilavesine göre daha iyi sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir. A2 ve T50 ilave edildiğinde, ağır metallerin potentially available miktarlarında azalma gözlenmiştir. Fe ve Mn için %2,5 (v/v) kireç ilavesi ile potentially available konsantrasyonlarının en düşük seviyede olduğu görülmüştür.

Bitki kök ve gövdelerindeki ağır metal miktarları incelendiğinde genel olarak bitki köklerinde tespit edilen ağır metal miktarlarının bitki gövdelerinde tespit edilen konsantrasyonlardan daha yüksek olduğu görülmüştür. Toprağa %50 (v/v) kompost ilavesi ile elde edilen karışımlarda büyüyen bitkilerin köklerinde çalışmada ölçümü yapılan bütün ağır metal türleri için diğer kompost karışımlarına oranla daha düşük ağır metal konsantrasyonları tespit edilmiştir ve bitki büyümesinin de bu kompost-toprak karışımında diğer kompost karışımlarına göre daha iyi olduğu görülmüştür. Kireç ilave edilen toprakta büyüyen bitkilerde bitki gövdelerindeki ağır metal miktarlarının eklenen kireç miktarı ile azaldığı (Pb ve Ni hariç), köklerde ise Zn ve Cu değerlerinin kireç miktarının artmasıyla artarken diğer ağır metallerin köklerdeki konsantrasyonlarında az da olsa bir azalma olduğu tespit edilmiştir. Bitki boy, ağırlıkları ve

bitkilerin kök gelişimleri incelendiğinde %1,5 (v/v) kireç ilave edilmiş olan toprakta bitki gelişiminin daha iyi olduğu görülmüştür. Kompost (%50 v/v) ve kireç (%1,5 v/v)'in tek başına kullanılmaları halinde bir arada kullanılmaları durumuna göre bitki kök ve gövde gelişiminin daha iyi olmasına rağmen bitki kök ve gövdelerinde tespit edilen metal konsantrasyonlarının daha yüksek olmasından dolayı bahsi geçen toprak iyileştiricilerin tek başına kullanılmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir.

Bitki kök ve gövdelerindeki diğer element konsantrasyonları incelendiğinde, kireç ilavesinin olduğu toprak karışımlarında bitki köklerindeki Ca konsantrasyonlarının diğer karışımlara göre daha yüksek olduğu, ancak bitki gövdelerinde böyle bir durumun olmadığı gözlenmiştir. Toprağa T50 ilavesi ile bitkilerin hem kökünde hem de gövdesindeki Mg konsantrasyonlarının arttığı görülmektedir. K konsantrasyonlarının, toprağa toprak iyileştiricilerin ilave edilmesiyle kök ve gövdelerde genel olarak arttığı görülmektedir. Kök ve gövdelerdeki Na konsantrasyonlarının ise iyileştiricilerin ilavesi ile azaldığı görülmektedir. A2 ile yürütülen deneylerde, bitki gelişimi ile ilgili en iyi sonuçların A2'nin (%2,5 v/v) kompost (%10 v/v) ile birlikte eklendiği topraklarda elde edildiği görülmüştür. T50'nin kullanıldığı çalışmalarda, en iyi sonucun %1,5 (v/v) T50 ve %10 (v/v) kompostun bir arada kullanıldığı toprak karışımlarında elde edildiği belirlenmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, çalışmada kullanılan ticari toprak iyileştiricilerden T50 ile A2'ye göre daha iyi sonuçlar elde edildiği söylenebilir. Bitkilerin kök ve gövdelerinde ölçülen ağır metal miktarlarına bakıldığında, bitki kök ve gövdelerindeki ağır metal konsantrasyonlarının genel olarak %1,5 (v/v) T50 ve %10 (v/v) kompostun bir arada kullanıldığı toprak karışımlarında diğer karışımlara göre daha düşük konsantrasyonlarda olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda, T50 kullanımının topraktan bitkiye ağır metal geçişini azalttığına söylenebileceği düşünülmektedir.

Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde %1,5 (v/v) kireç ve %10 (v/v) kompost ilave edilmiş toprakta en iyi bitki gelişiminin gözlenmiş olmasına rağmen, bitki kök ve gövdelerinde tespit edilen ağır metal miktarları ile birlikte değerlendirildiğinde, ikinci en iyi bitki gelişiminin gözlendiği %1,5 (v/v) T50 ve %10 (v/v) kompost ilave edilmiş toprağın kullanılmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- ASM International, 1979, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Pure Metals, Books on Demand, Metals Handbook, 9th Edition, 2, 239-248.
- Ardestani, M.M., van Gestel, C.A., 2013, Using a toxicokinetics approach to explain the effect of soil pH on cadmium bioavailability to *Folsomia candida*, Environmental Pollution, 180, 122-130.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), 2016, Standard Test Methods for Determination of Carbon, Hydrogen and Nitrogen in Analysis Samples of Coal and Carbon in Analysis Samples of Coal and Coke, ASTM-D5373, ASTM International, 11.
- Blakel, L., Goulding, K.W.T., 2002, Effects of atmospheric deposition, soil pH and acidification on heavy metal contents in soils and vegetation of semi-natural ecosystems at Rothamsted Experimental Station, UK, Plant and Soil, 240 (2), 235-251.
- Bilgili, M.S., Özkaya, B., Demir, 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, 9-10 Ekim.
- Bolan, N.S., Adriano, D.C., Mani, P.A., Duraisamy, A., 2003, Immobilization and phytoavailability of cadmium in variable charge soils. II. Effect of lime addition, Plant and Soil, 251 (2), 187-198.
- Babaoğlu, M., 2014, Mısır Tarımı, <https://arastirma.tarim.gov.tr/ttae/Sayfalar/Detay.aspx?SayfaId=89>, [Ziyaret tarihi: 26 Ocak 2018].
- Clemente, R., Bernal, M.P., 2006, Fractionation of heavy metals and distribution of organic carbon in two contaminated soils amended with humic acids, Chemosphere, 64 (8), 1264-1273
- Clemente, R., Paredes, C., Bernal, M.P., 2007, A field experiment investigating the effects of olive husk and cow manure on heavy metal availability in a contaminated calcareous soil from Murcia (Spain), Agriculture, Ecosystems & Environment, 118 (1-4), 319-326.
- Carbonell, G., de Imperial, R.M., Torrijos, M., Delgado, M., Rodriguez, J.A., 2011, Effects of municipal solid waste compost and mineral fertilizer amendments on soil properties and heavy metals distribution in maize plants (*Zea mays* L.), Chemosphere, 85, 1614-1623.
- CLU-IN, 2017, In-situ flushing: overview, contaminated site clean-up information, U.S., Environmental Protection Agency, Washington, D.C, [https://clu-in.org/techfocus/default.focus/sec/In\\_Situ\\_Flushing/cat/Overview/](https://clu-in.org/techfocus/default.focus/sec/In_Situ_Flushing/cat/Overview/), [Ziyaret tarihi: 31 Ocak 2018].
- Çelik, E., Bahçeci, İ., Yılmaz, V., Külcü, R., 2004, Katı atıkların biyolojik yöntemlerle bertarafında Türk Çevre Mevzuatının AB Mevzuatı ile karşılaştırılması, Katı Atık ve Çevre, 54, 15-21.

- EPA Method 3051A, 2013, Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils, <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf>, [Ziyaret Tarihi: 8 Ocak 2018].
- Farrell, M., Jones, D.L., 2010, Use of composts in the remediation of heavy metal contaminated soil, *Journal of Hazardous Materials*, 175 (1-3), 575-582.
- FRTR, 2012, Remediation technologies screening matrix and reference guide, version 4.0, federal remediation technologies roundtable, Washington, DC.
- Ghosh, M., Singh, S.P., 2005, A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of it's by products, *Asian Journal on Energy and Environment*, 6 (4), 214-231.
- Google, 2005, Google Maps, <https://www.google.com/maps/search/trabzon+ba%C5%9Ft%C4%B1mar+k%C3%B6y%C3%BC+k%C3%BCme+evleri/@40.9930498,39.6612194,12z/data=!3m1!4b1>, [Ziyaret Tarihi: 5 Şubat 2018].
- Gong, J., Wang, B., Zeng, G., Yang, C., Niu, C., Niu, Q., Zhou, W., Liang, Y., 2009, Removal of cationic dyes from aqueous solution using magnetic multi-wall carbon nanotube nanocomposite as adsorbent, *Journal of Hazardous Materials*, 164 (2-3), 1517-1522.
- Galdames, A., Mendoza, A., Orueta, M., de Soto-Garcia, I.S., Virto, I., Vilas, J.L., 2017, Development of new remediation technologies for contaminated soils based on the application of zero-valent iron nanoparticles and bioremediation with compost, *Resource-Efficient Technologies*, 3 (2), 166-176.
- Hong, C.O., Lee, D.K., Chung, D.Y., Kim, P.J., 2007, Liming effects on cadmium stabilization in upland soil affected by gold mining activity, *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 52 (4), 496-502.
- İSTAÇ, 2015a, Kompost geri kazanımı, <http://www.istac.istanbul/tr/temiz-istanbul/evsel-atiklar/kompost-geri-kazanimi>, [Ziyaret Tarihi: 5 Şubat 2018].
- İSTAÇ, 2015b, Geri kazanım ve kompost üretimi, [http://istac.com.tr/contents/59/kompost-geri-kazanimi\\_130996718365022853.pdf](http://istac.com.tr/contents/59/kompost-geri-kazanimi_130996718365022853.pdf), [Ziyaret Tarihi: 5 Şubat 2018].
- Jiang, W., Liu, D., Hou, W., 2001, Hyperaccumulation of cadmium by roots, bulbs and shoots of garlic (*Allium sativum* L.), *Bioresour Technology*, 76 (1), 9-13.
- Krebs, R., Gupta, S.K., Furrer, G., Schulin, R., 1998, Solubility and plant uptake of metals with and without liming of sludge-amended soils, *Journal of Environmental Quality*, 27 (1), 18-23.
- Kartal, G., Güven, A., Kahvecioğlu, Ö., Timur, S., 2004, Metallerin Çevresel Etkileri –II, [https://metalurji.org.tr/dergi/dergi137/d137\\_4651.pdf](https://metalurji.org.tr/dergi/dergi137/d137_4651.pdf), [Ziyaret tarihi: 7 Şubat 2018].
- Khan, F.I., Husian, T., Hejazi, R., 2004, An overview and analysis of site remediation technologies, *Journal of Environmental Management*, 71 (2), 95-122.

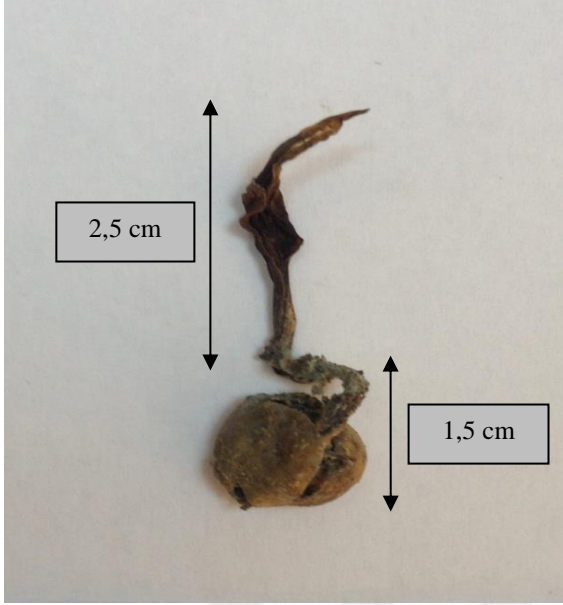
- Karlsson, T., Elgh-Dalgren, K., Björn, E., Skyllberg, U., 2007, Complexation of cadmium to sulfur and oxygen functional groups in an organic soil, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71 (3), 604-614.
- Kumpiene, J., Lagerkvist, A., Maurice, C., 2008, Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments - a review, *Waste Management*, 28 (1), 215-225.
- Khokhotva, O., Waara, S., 2010, The influence of dissolved organic carbon on sorption of heavy metals on urea-treated pine bark, *Journal of Hazardous Materials*, 173 (1-3), 689-696.
- Karami, N., Clemente, R., Moreno-Jimenez, E., Lepp, N.W., Beesley, L., 2011, Efficiency of green waste compost and biochar soil amendments for reducing lead and copper mobility and uptake to ryegrass, *Journal of Hazardous Materials*, 191 (1-3), 41-48.
- Khaokaew, S., Chaney, R.L., Landrot, G., Ginder-Vogel, M., Sparks, D.L., 2011, Speciation and release kinetics of cadmium in an alkaline paddy soil under various flooding periods and draining conditions, *Environmental Science and Technology*, 45 (10), 4249-4255.
- Khalvati, M., Dincer, I., 2013, Environmental impact of soil microorganisms on global change, Causes, impacts and solutions to global warming, In: Dincer, I., Colpan, C.O., Kadiroglu, F. (ed.), Chapter 15, Springer, New York, ISBN 978-1-4614-7587-3, 233-250.
- Kumar, N., Baudh, K., Kumar, S., Dwivedi, N., Singh, D.P., Barman, S.C., 2013, Accumulation of metals in weed species grown on the soil contaminated with industrial waste and their phytoremediation potential, *Ecological Engineering*, 61, 491-495.
- Lockwood, A.P.M., 1976, Effects of pollutants on aquatic organisms, Cambridge University Press, New York, ISBN 0 521 21103 4.
- Liu, D., Jiang, W., Hou, W., 2001, Uptake and accumulation of copper by roots and shoots of maize (*Zea mays* L.), *Journal of Environmental Sciences*, 13 (2), 228-232.
- Liu, D., Jiang, W., Gao, X., 2003/2004, Effects of cadmium on root growth, cell division and nucleoli in root tip cells of garlic. *Biologia Plantarum*, 47 (1), 79-83.
- Lee, T., Lai, H., Chen, Z., 2004, Effect of chemical amendments on the concentration of cadmium and lead in long-term contaminated soils, *Chemosphere*, 57 (10), 1459-1471.
- Liua, L., Chena, H., Caia, P., Lianga, W., Huang, Q., 2009, Immobilization and phytotoxicity of cd in contaminated soil amended with chicken manure compost, *Journal of Hazardous Materials*, 163, 563-567.
- Liu, L., Li, W., Song, W., Guo, M., 2018, Remediation techniques for heavy metal-contaminated soils: principles and applicability, *Science of The Total Environment*, 633, 206-219.

- Mulligan, C.N., Yong, R.N., Gibbs, B.F., 2001, Remediation technologies for metal-contaminated soils and groundwater: an evaluation, *Engineering Geology*, 60 (1-4), 193-207.
- Maier, N.A., McLaughlin, M.J., Heap, M., Butt, M.I., Smart, M.K., 2002, Effect of nitrogen source and calcium lime on soil pH and potato yield, leaf chemical composition, and tuber cadmium concentrations, *Journal of Plant Nutrition*, 25 (3), 523-544.
- Mazlum, N., Mazlum, S., 2004, Kentsel organik katı atıkların kompostlaştırılması, *Katı Atık ve Çevre*, 55, 23-30.
- Mohammed A.S., Kapri A., Goel R., 2011, Heavy metal pollution: Source, impact, and remedies, Bimanagement of metal-contaminated soils, In: Khan, M.S., Zaidi, A., Goel, R., Musarrat. (ed.), Chapter 1, Springer, Netherlands, ISBN 978-94-007-1913-2, 1-2.
- Meuser, H., 2013, Soil remediation and rehabilitation: treatment of contaminated and disturbed land, Springer, Dordrecht, The Netherlands, ISBN: 978-94-007-5751-6.
- Mahmood, Q., Mirza, N., Shaheen, S., 2015, Phytoremediation using algae and macrophytes: I, Phyto-remediation: Management of environmental contaminants, Volume 2, In: Ansari, A.A., Gill, S.S., Gill, R., Lanza, G.R., Newman, L.(ed.), Bölüm 2, Springer International Publishing, Switzerland, ISBN 978-3-319-10968-8, 265-289.
- Nwachukwu, O.I., Pulford, I.D., 2008, Comparative effectiveness of selected adsorbant materials as potential amendments for the remediation of lead-, copper- and zinc-contaminated soil, *Soil Use and Management*, 24 (2), 199-207.
- NJDEP, 2014, Technical guidance on the capping of sites undergoing remediation, New Jersey Department of Environmental Protection, Trenton, NJ.
- National Toxicology Programme; U.S. Department of Health and Human Services, 2016, 14th Report on carcinogens; nickel compounds and metallic nickel, <https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/roc/content/profiles/nickel.pdf>, [Ziyaret Tarihi: 1 Şubat 2018].
- Nur Kireç San. Tic. ve Paz. Ltd. Şti., 2015, Tarım kireci, <http://nurkirec.com.tr/nur-kirec/tarim-kireci.html>, [Ziyaret Tarihi: 28.05.2018].
- Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R., 1982, Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Series no. 9, In: Methods of soil analysis part 2 second edition, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin USA, ISBN 0-89118-072-9.
- Paradelo, R., Villada, A., Barral, M.T., 2011, Reduction of the short-term availability of copper, lead and zinc in a contaminated soil amended with municipal solid waste compost, *Journal of hazardous materials*, 188 (1-3), 98-104.
- Paradelo, R., Barral, M.T., 2012, Evaluation of the potential capacity as biosorbents of two MSW composts with different Cu, Pb and Zn concentrations, *Bioresource Technology*, 104, 810-813.

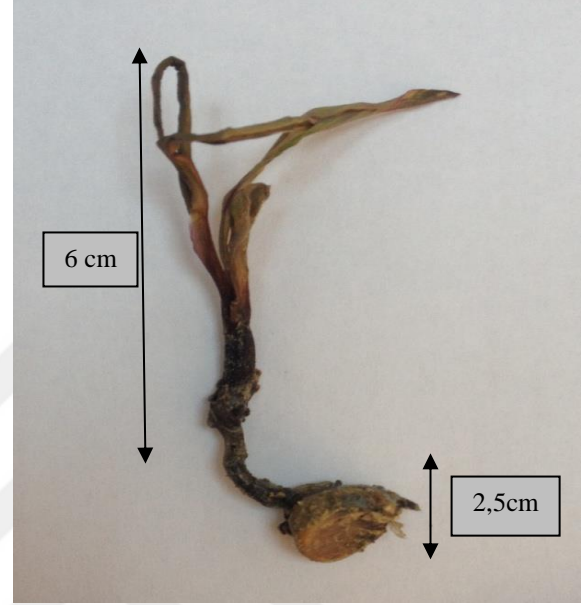


- Rao, Z., Huang, D., Zhu, Q., Liu, S., Luo, Z., Cao, X., Ren, X., Wang, J., Wang, S., 2013, Effects of amendments on the availability of Cd in contaminated paddy soil: a three-year field experiment, *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 11 (3-4), 2009-2014.
- Schachtschabel, P., Blume, H.P., Hartge, K.H., Schwertmann, U., 1984, *Lehrbuch der Bodenkunde*, Enke, Stuttgart.
- Song, B., Zeng, G., Gong, J., Liang, J., Xu, P., Liu, Z., Zhang, Y., Zhang, C., Cheng, M., Liu, Y., Ye, S., Yi, H., Ren, X., 2017, Evaluation methods for assessing effectiveness of in situ remediation of soil and sediment contaminated with organic pollutants and heavy metals, *Environmet International*, 105, 43-55.
- TMMOB; Çevre Mühendisleri Odası, 2005, Katı atıkların yönetimi, Bölüm 7, Katı atıkların kompostlanması ve yakma (Prof.Dr. Bülent Topkaya), ISBN: 975-395-988-5.
- Tsadilas, C.D., Karaivazoglou, N.A., Tsotsolis, N.C., Stamatiadis, S., Samaras, V., 2005, Cadmium uptake by tobacco as affected by liming, N form, and year of cultivation, *Environmental Pollution*, 134 (2), 239-246.
- Tsadilas, C.D., 2008, Soil pH influence on cadmium uptake by tobacco in high cadmium exposure, *Journal of Plant Nutrition*, 23 (8), 1167-1178.
- Tsang, D., Olds, W.E., Weber, P.A., Yip, A.C.K., 2013, Soil stabilisation using AMD sludge, compost and lignite: TCLP leachability and continuous acid leaching, *Chemosphere*, 93, 2839-2847.
- Tsiattalos, G., 2013, Soil pollution, <http://www.everythingconnects.org/soil-pollution.html>, [Ziyaret tarihi: 2 Şubat 2018].
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 5 Mart 2015, Kompost Tebliği, Resmî Gazete, Sayı:29286.
- Tunalı, M.M., 2015, Plant and microbe interactions in the phytoremediation of heavy contaminated soils, Yüksek Lisans Tezi, Çevre Bilimleri Enstitüsü.
- Tajudin, S.A.A., Azmi, M.A.M., Nabila, A.T.A., 2016, Stabilization/Solidification remediation method for contaminated soil: a review, IOP Conference Series Materials Science and Engineering, 27-29 October 2015, Langkawi, Malaysia, IOP Publishing, 136 (1), 012043.
- Van Eerd, L.L., Hoagland, R.E., Zablotowicz, R. M., Hall, J.C., 2003, Pesticide metabolism in plants and microorganisms, *Weed Science*, 51 (4), 472-495.
- Venegas, A., Rigol, A., Vidal, M., 2015, Viability of organic wastes and biochars as amendments for the remediation of heavy metal-contaminated soils, *Chemosphere*, 119, 190-198.
- Wang, A.S., Angle, J.S., Chaney, R.L., Delorme, T.A., Reeves, R.D., 2006, Soil pH effects on uptake of Cd and Zn by *Thlaspi caerulescens*, *Plant Soil*, 281 (1-2), 325-337.
- Wang, M., Zou, J., Duan, X., Jiang, W., Liu, D., 2006, Cadmium accumulation and its effects on metal uptake in maize (*Zea mays* L.), *Bioresource Technology*, 98 (1), 82-88.

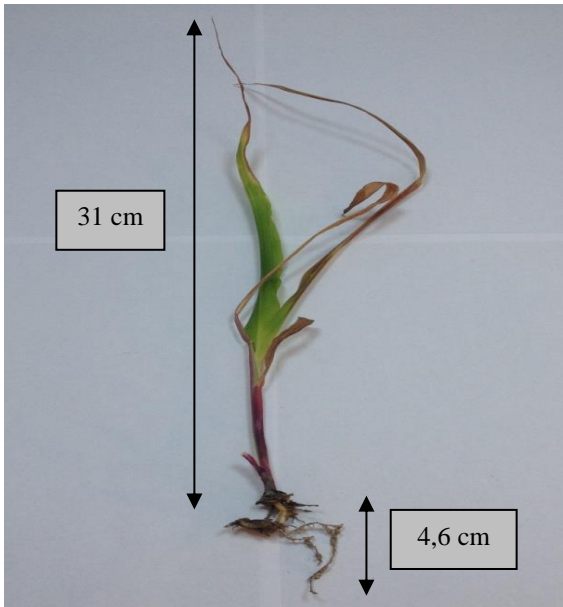
- Wu, L., Lin, D.Y., Su, D.C., 2011, The effect of planting oilseed rape and compost application on heavy metal forms in soil and Cd and Pb uptake in rice, *Agriculture Science China*, 10 (2), 267-274.
- Wuana, R.A. and Okieimen, F.E., 2011, Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation, *International Scholarly Research Network (ISRN) Ecology*, 2011, 1-20.
- Yang, J.E., Kim, H.J., Ok, Y., Lee, J., Park, J., 2007, Treatment of abandoned coal mine discharged waters using lime wastes, *Geosciences Journal*, 11 (2), 111-114.
- Yang, Y., Chen, J., Huang, Q., Tang, S., Wang, J., Hu, P., Shao, G., 2018, Can liming reduce cadmium (Cd) accumulation in rice (*Oryza sativa*) in slightly acidic soils? A contradictory dynamic equilibrium between Cd uptake capacity of roots and Cd immobilisation in soils, *Chemosphere*, 193, 547-556.
- Zhang, H., Schuchardt, F., Li, G., Yang, J., Yang, Q., 2013, Emission of volatile sulfur compounds during composting of municipal solid waste (MSW), *Waste Management*, 33, 957-963.
- Zeng, G., Wu, H., Liang, J., Guo, S., Huang, L., Xu, P., Liu, Y., Yuan, Y., He, X., He, Y., 2015, Efficiency of biochar and compost (or composting) combined amendments for reducing Cd, Cu, Zn and Pb bioavailability, mobility and ecological risk in wetland soil, *RSC Advances*, 5, 34541-34548.
- Zhu, H., Chen, C., Xu, C., Zhu, Q., Huang, D., 2016, Effects of soil acidification and liming on the phytoavailability of cadmium in paddy soils of central subtropical China, *Environmental Pollution*, 219, 99-106.
- Zhou, R., Liu, X., Luo, L., Zhou, Y., Wei, J., Chen, A., Tang, L., Wu, H., Deng, Y., Zhang, F., Wang, Y., 2017, Remediation of Cu, Pb, Zn and Cd-contaminated agricultural soil using a combined red mud and compost amendment, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 118, 73-81.

**EKLER****EK 1. Hasat Sonrası Bitki Gelişimleri.**

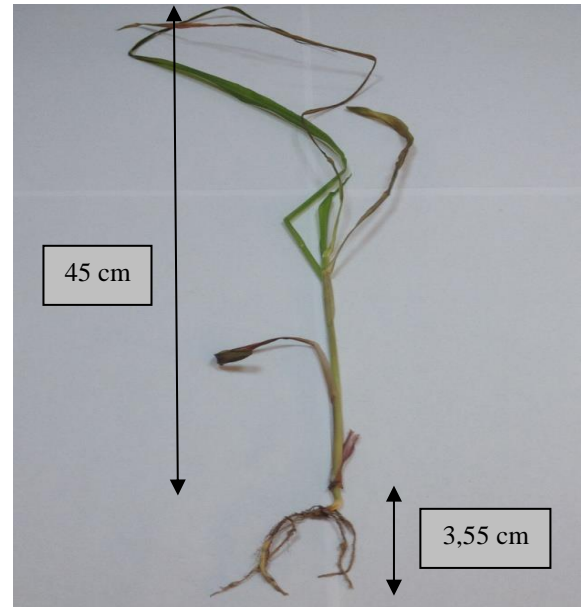
(1) Toprak



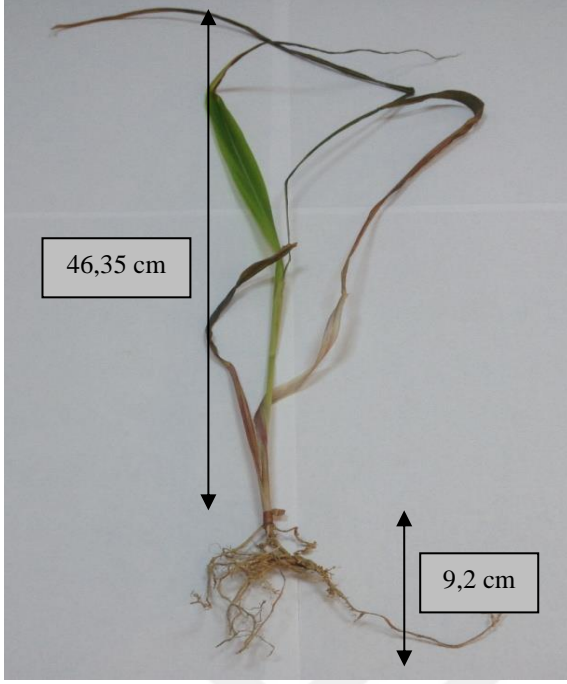
(2) Toprak + %10 Kompost



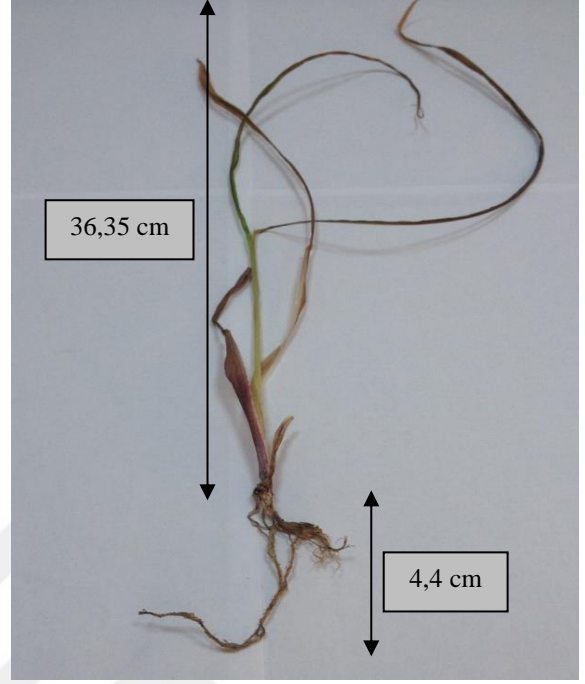
(3) Kompost + %25 Kompost



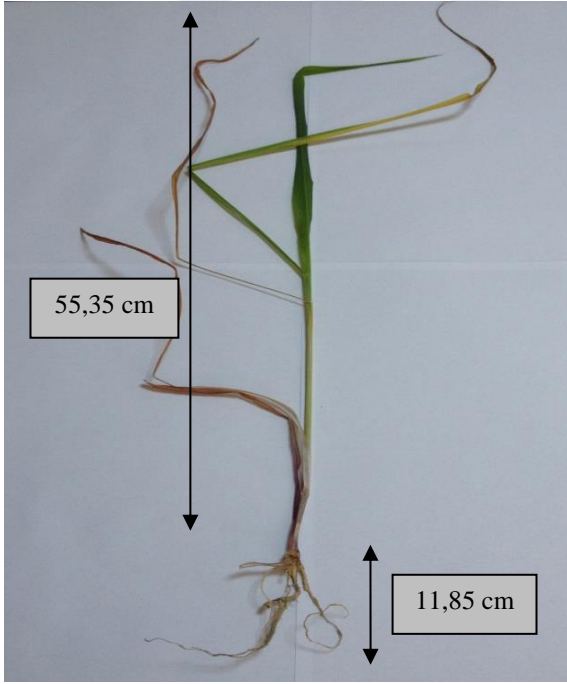
(4) Toprak + %50 Kompost



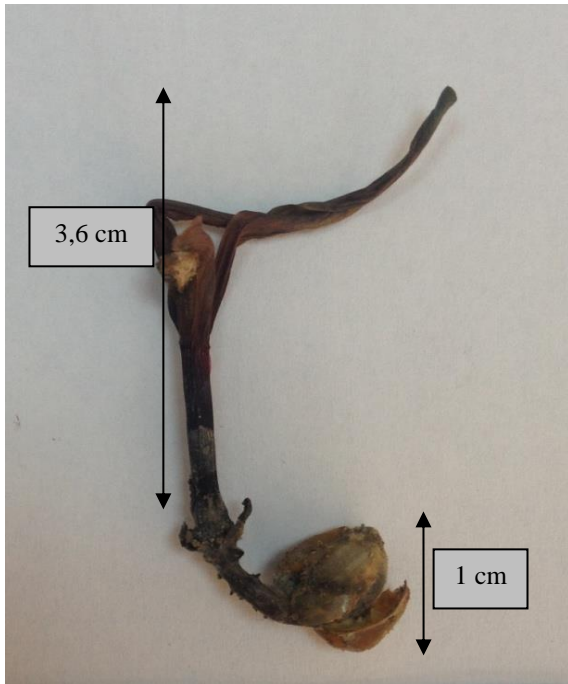
(5) Toprak + %1,5 Kireç



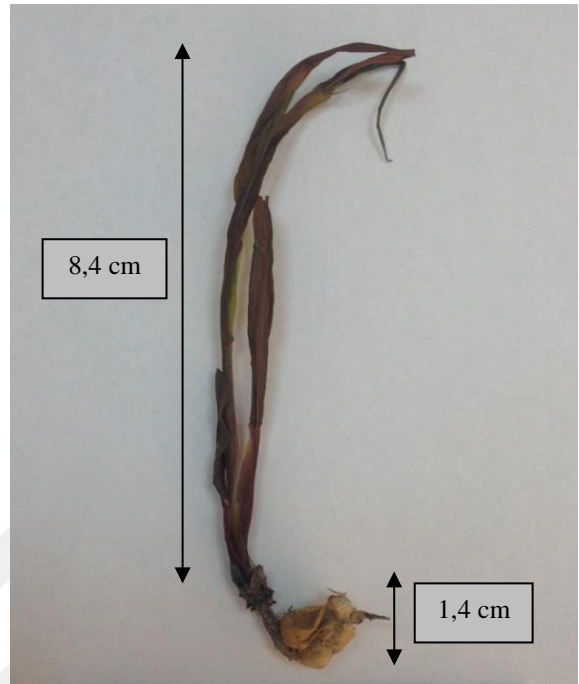
(6) Toprak + %2,5 Kireç



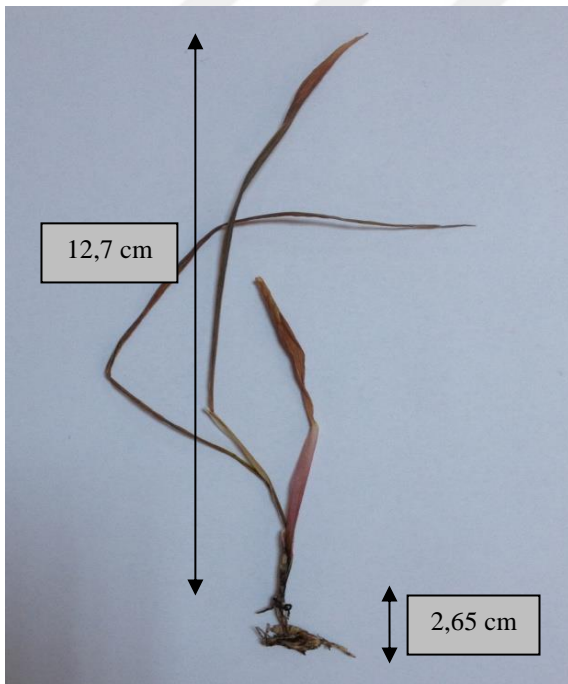
(7) Toprak + %1,5 Kireç + %10 Kompost



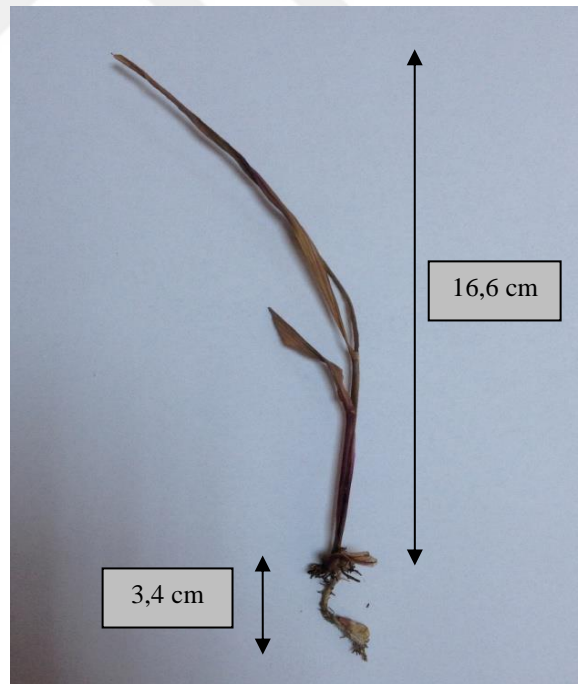
(8) Toprak + %1,5 A2



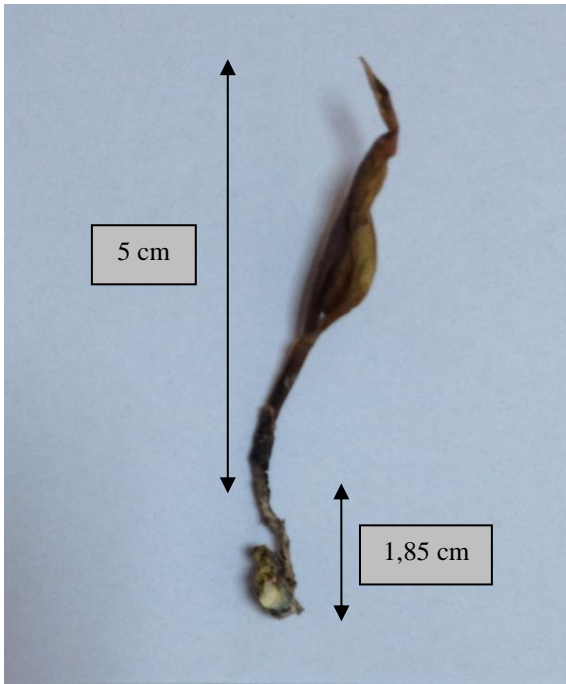
(9) Toprak + %2,5 A2



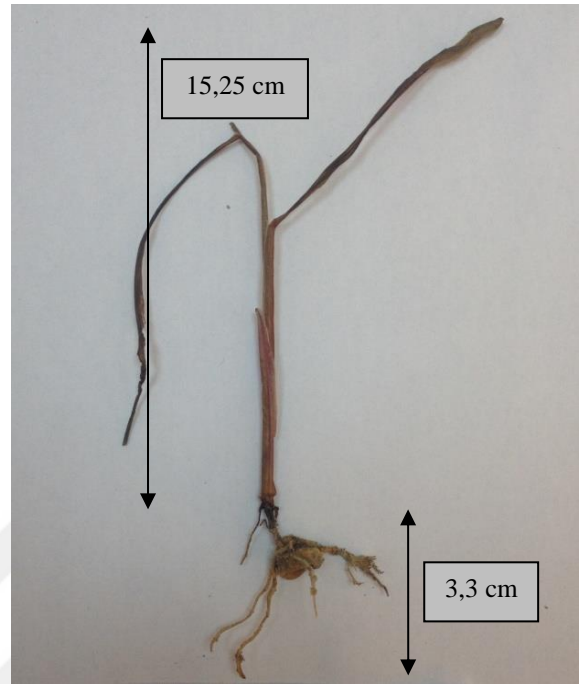
(10) Toprak + %5 A2



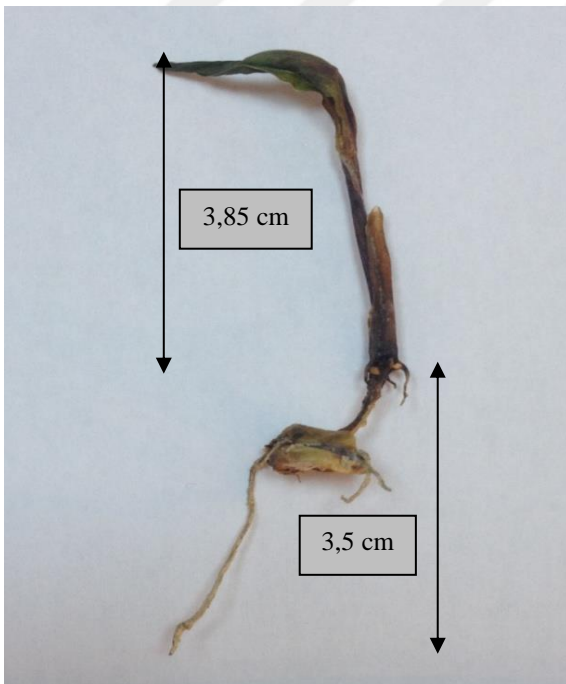
(11) Toprak + %2,5 A2 + %10 Kompost



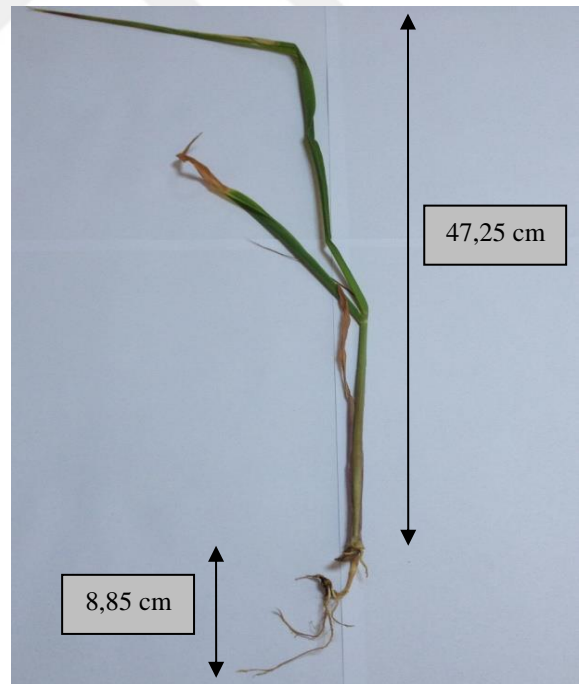
(12) Toprak + %0,5 T50



(13) Toprak + %1,5 T50



(14) Toprak + %2,5 T50



(15) Toprak + %1,5 T50 + %10 Kompost

## ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Ahsen ÇATALBAŞ
Doğum Yeri	Sakarya
Doğum Tarihi	07.01.1991
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	0535 481 33 93
E-Posta Adresi	ahsen_catalbas@windowslive.com
Web Adresi	-



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Sakarya Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Çevre Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	14.06.2013

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Çevre Mühendisliği Programı