

**TC  
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME  
ANABİLİM DALI**

**ELMA BAHÇESİ TOPRAKLARINA ARITMA ÇAMURU  
UYGULAMASINDAN YEDİ YIL SONRA TOPRAKTA VE YAPRAKTA  
AĞIR METALLERİN KALINTI ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tezin Yürütücüsü: Bulut SARGIN**

**Danışman: Doç. Dr. Mehmet Ali BOZKURT**

**VAN 2011**

TC  
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME  
ANABİLİM DALI

ELMA BAHÇESİ TOPRAKLARINA ARITMA ÇAMURU  
UYGULAMASINDAN YEDİ YIL SONRA TOPRAKTA VE YAPRAKTA  
AĞIR METALLERİN KALINTI ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tezin Yürütücüsü: Bulut SARGIN

VAN 2011

## KABUL VE ONAY SAYFASI

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bilimi Anabilim Dalı'nda Doç.Dr Mehmet Ali BOZKURT danışmanlığında, Bulut SARĞIN tarafından sunulan **“Elma Bahçesi Topraklarına Arıtma Çamuru Uygulamasından Yedi Yıl Sonra Toprakta ve Yaprakta Ağır Metallerin Kalıntı Etkisinin Belirlenmesi ”** isimli bu çalışma “Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği” ve “Fen Bilimleri Enstitüsü Yönergesi”nin ilgili hükümleri gereğince ...../...../..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Ahmet KAZANKAYA

İmza:

Üye: Doç. Dr. Mehmet Ali BOZKURT

İmza:

Üye: Doç. Dr. Füsun GÜLSER

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..../...../..... tarih ve ..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza

.....  
Enstitü Müdürü

## ÖZET

### ELMA BAHÇESİ TOPRAKLARINA ARITMA ÇAMURU UYGULAMASINDAN YEDİ YIL SONRA TOPRAKTA VE YAPRAKTA AĞIR METALLERİN KALINTI ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

SARĞIN, Bulut

Yüksek Lisans Tezi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet Ali BOZKURT

Eylül 2011, 55 sayfa

Bu çalışmada, 1999-2003 yılları arasında arıtma çamuru uygulanmış elma ağaçlarında yedi yıl sonra besin elementleri ve ağır metaller üzerine olan kalıntı etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Deneme bahçesine dört yıl süreyle artan oranlarda arıtma çamuru uygulanmış ve uygulama bittikten yedi yıl sonra toprak ve bitki örnekleri alınarak bakiye etki incelemiştir. Arıtma çamuru 0-10-20-40-60 kg/ağaç düzeylerinde 0-20 cm derinlikteki toprağa her yıl karıştırılarak uygulanmıştır. Ayrıca, gübrelili kontrol uygulaması olarak ağaç başına 25 kg düzeyinde ahır gübresi verilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, arıtma çamuru ve ahır gübresi uygulamalarından yedi yıl sonra toprağın pH'sı ve toprakta alınabilir mikro besin elementlerinin (Zn, Fe, Mn ve Cu) bakiye konsantrasyonları istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Alınabilir ağır metallere Ni ve Pb'nin bakiye etkileri istatistiksel olarak önemli görülmüştür. Toprakta toplam Zn, Cu, Ni ve Pb istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Çamur uygulamaları ile elma ağacı yaprağındaki mikro elementler (Zn ve Cu) ile yaprak ağır metal (Ni ve Pb) içeriklerinin bakiye etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Toprakta ve yapraktaki Cd'nin bakiye etkileri ise istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Bu durum, arıtma çamuru uygulamasından yedi yıl sonra bile ağır metallerin kalıntı etkilerinin devam ettiğini göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Arıtma çamuru, ahır gübresi, ağır metal, kalıntı etki

## **ABSTRACT**

### **DETERMINATION OF HEAVY METAL THE RESIDUAL EFFECT IN THE SOIL AND LEAVES OF THE APPLE ORCHARD AFTER SEVEN YEARS OF THE SEWAGE SLUDGE APPLICATION**

SARĖIN, Bulut

Master Thesis, Soil Science and Plant Nutrition

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet Ali BOZKURT

September 2011, 55 pages

In this investigation, sewage sludge was applied to apple orchard in the period between 1999-2003 and the residual effect on the nutrients and heavy metals seven years after the application was studied. Increasing amounts of sewage sludge on a gradual basis and continuing for four years were applied to the orchard and seven years after the application was completed, soil samples were analysed in terms of residual effect. The sewage sludge was applied on a 0-10-20-40-60 kg/ tree level and a 0-20 cm depth to the soil. In addition, manure in a proportion of 25 kg per tree was applied as a control application.

Based on the results obtained, seven years after the applications of sewage sludge and manure, the residual concentration of micro nutrients (Zn, Fe, Mn and Cu) and the pH to be obtained from the soil were found to be statistically significant. The residual effects of heavy metals such as Ni and Pb were found to be statistically significant. The total Zn, Cu, Ni and Pb in the soil were found to be significant. The residual effect of the micro elements in apple tree leaves (Zn and Cu) and the heavy metals in the leaves (Ni and Pb) were found to be statistically significant. The residual effects of Cd in the soil and the leaves were not statistically significant. This results shows us that even seven years after the sewage sludge application, the residual effects of heavy metals still continue.

Key words: Sewage sludge, manure, heavy metal, residual effect

## ÖN SÖZ

Günümüzde, sanayileşme ve teknolojik gelişmelerin hızlı değişimi bir yandan yaşam kalitesinin artmasında büyük rol oynarken diğer taraftan oluşan kirlilik sonucu yaşam kaynaklarımızın kirletilmesine neden olmaktadır. Artan dünya nüfusu ile oluşan atık miktarı da artmaktadır.

Çıkan bu atıkların çevreye zarar vermeden elden çıkarılması dünyanın bir çok ülkesinde güncelliğini halen korumaktadır. Bu konuda yapılan uygulamalar genelde yakma, denize boşaltma, düzenli depolama ve son olarakta tarım alanlarında kullanma şeklindedir. Bu materyalin önemli miktarda organik madde ve bitki besin elementlerini içermesi, tarım alanlarında gübre materyali olarak değerlendirilmesi olanaklarının araştırılmasını gerekli kılmaktadır.

Ülkemiz topraklarının organik madde içeriğinin oldukça düşük oluşu, açığa çıkan bu arıtma çamurunun tarım alanlarında kullanılabilirliği konusuna önem kazandırmaktadır. Birçok şehrimizde kurulan atık su işleme tesislerinden çıkan arıtma çamurlarının ilerde sorun oluşturmaması için bu atıkların tarım alanlarında kullanımı ile ne gibi sorunlar ve kazançlar sağlayabileceğinin araştırılması gerekmektedir.

Bu araştırmada, uygulamalara bağlı olarak elma ağaçlarına uygulanan arıtma çamurunun yedi yıl sonra toprakta ve yaprakta olan kalıntı etkileri araştırılmıştır.

Bu tez çalışmasında konunun belirlenmesi, çalışmanın yürütülmesi ve yazım aşamasında beni yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Mehmet Ali BOZKURT'a bölümün ve laboratuvarın tüm imkânlarından faydalanmamı sağlayan bölüm başkanımız Prof. Dr. Sayın Şefik TÜFENKÇİ'ye yardımlarını gördüğüm bölüm hocamız Doç. Dr. Sayın Füsun GÜLSER'e, laboratuvar çalışmaları sırasında yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Sayın Siyami KARACA, Araştırma Görevlisi Sayın Ferit SÖNMEZ, Araştırma Görevlisi Sayın Sibel BOYSAN, Ziraat Yüksek Mühendisi Sayın Cüneyt CAN ve Ziraat Mühendisi Sayın Fırat KURTYE'ye, çalışmalarım sırasında ve tüm hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini her zaman gördüğüm aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖN SÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM	13
3.1. Materyal	13
3.1.1 Araştırma yerinin genel tanıtımı ve iklim özellikleri	13
3.1.2. Araştırma yerinin toprak özellikleri	13
3.2. Yöntem	15
3.2.1. Toprak örneklerinin analize hazırlanması	15
3.2.2. Toprak örneklerinde yapılan bazı fiziksel ve kimyasal analizler	15
3.2.2.1. Tekstür	15
3.2.2.2. Toprak reaksiyonu	16
3.2.2.3. Total tuz	16
3.2.2.4. Kireç	16
3.2.2.5. Organik madde	16
3.2.2.6. Yarayışlı fosfor	16
3.2.2.7. Toplam azot	16
3.2.2.8. Değişebilir Potasyum, Kalsiyum ve Magnezyum	16
3.2.2.9. Toplam mikro besin ve ağır metal analizleri	17
3.2.2.10. DTPA ile ekstrakte edilebilir metaller	17
3.2.3. Yaprak örneklerinde yapılan kimyasal analizler	17
3.2.4. İstatistiksel analizler	17

4. BULGULAR VE TARTIŞMA	18
4.1. Uygulamaların Bazı Toprak Özelliklerine Etkisi	21
4.1.1. Toprağın tuz içeriğine etkisi	21
4.1.2. Toprağın pH'ına etkisi	22
4.2. Uygulamaların Toprakta DTPA ile Ekstrakte Edilebilir Mikro Besin Elementi ve Ağır Metal İçeriklerine Etkisi	24
4.2.1. DTPA ile ekstrakte edilebilir mikro besin elementi içeriklerine etkisi	24
4.2.2. DTPA ile ekstrakte edilebilir ağır metal içeriklerine etkisi	29
4.3. Uygulamaların Toprakta Toplam Mikro Besin Elementi ve Ağır Metal İçeriklerine Etkisi	31
4.3.1. Toplam mikro besin elementi içeriklerine etkisi	31
4.3.2. Toplam ağır metal içeriklerine etkisi	33
4.4. Uygulamaların Bitkinin Mikro Besin Elementi ve Ağır Metal İçeriklerine Etkisi	36
4.4.1. Bitkinin mikro besin elementi içeriklerine etkisi	36
4.4.2. Bitkinin ağır metal içeriklerine etkisi	38
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	40
KAYNAKLAR	43
ÖZ GEÇMİŞ	55



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>sayfa</b>
Şekil 4.1. Elma bahçesinin genel görünümü	18
Şekil 4.2. Elma bahçesindeki kontrol deneme ağacı	18
Şekil 4.3. Elma bahçesindeki 10 kg arıtma çamuru uygulanmış deneme ağacı	19
Şekil 4.4. Elma bahçesindeki 20 kg arıtma çamuru uygulanmış deneme ağacı	19
Şekil 4.5. Elma bahçesindeki 40 kg arıtma çamuru uygulanmış deneme ağacı	20
Şekil 4.6. Elma bahçesindeki 60 kg arıtma çamuru uygulanmış deneme ağacı	20
Şekil 4.7. Elma bahçesindeki 25 kg ahır gübresi uygulanmış deneme ağacı	21

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>sayfa</b>
Çizelge 3.1. Deneme bahçesi toprağının bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları	14
Çizelge 3.2. Deneme bahçesine uygulanan arıtma çamuru ve ahır gübresinin bazı kimyasal analiz sonuçları	15
Çizelge 4.1. Uygulamaların farklı toprak derinliklerinde tuz içeriğine etkisine ait varyans analiz sonuçları	21
Çizelge 4.2. Arıtma çamuru (AÇ) ve ahır gübresi (AG) uygulamalarının farklı toprak derinliklerinde tuz içeriklerine etkisine ait duncan testi sonuçları	22
Çizelge 4.3. Uygulamaların farklı toprak derinliklerinde pH'ya etkisine ait varyans analiz sonuçları	23
Çizelge 4.4. Arıtma çamuru (AÇ) ve ahır gübresi (AG) uygulamalarının farklı toprak derinliklerinde pH'ya etkisine ait Duncan testi sonuçları	24
Çizelge 4.5. Uygulamaların farklı toprak derinliklerinde çinko (Zn) içeriğine etkisine ait varyans analiz sonuçları	24
Çizelge 4.6. Uygulamaların farklı toprak derinliklerinde bakır (Cu) içeriğine etkisine ait varyans analiz sonuçları	25
Çizelge 4.7. Uygulamaların farklı toprak derinliklerinde demir (Fe) içeriğine etkisine ait varyans analiz sonuçları	26
Çizelge 4.8. Uygulamaların farklı toprak derinliklerinde mangan (Mn) içeriğine etkisine ait varyans analiz sonuçları	26
Çizelge 4.9. Uygulamaların toprağın DTPA ile ekstrakte edilebilir mikro element içeriklerine etkisine ait Duncan testi sonuçları (ppm)	28
Çizelge 4.10. Uygulamaların farklı toprak derinliklerinde kurşun (Pb) içeriğine etkisine ait varyans analiz sonuçları	29
Çizelge 4.11. Uygulamaların farklı toprak derinliklerinde nikel (Ni) içeriğine etkisine ait varyans analiz sonuçları	29
Çizelge 4.12. Uygulamaların farklı toprak derinliklerinde kadmiyum (Cd) içeriğine etkisine ait varyans analiz sonuçları	30

Çizelge 4.13.	Uygulamaların toprağın DTPA ile ekstrakte edilebilir ağır metal içeriklerine etkisine ait Duncan testi sonuçları (ppm)	31
Çizelge 4.14.	Uygulamaların farklı toprak derinliklerinde toplam çinko (Zn) içeriğine etkisine ait varyans analiz sonuçları	32
Çizelge 4.15.	Uygulamaların farklı toprak derinliklerinde toplam bakır (Cu) içeriğine etkisine ait varyans analiz sonuçları	32
Çizelge 4.16.	Uygulamaların toprağın derinliğine bağlı olarak toplam mikro element içeriklerine etkisine ait Duncan testi sonuçları (ppm)	33
Çizelge 4.17.	Uygulamaların farklı toprak derinliklerinde toplam kurşun (Pb) içeriğine etkisine ait varyans analiz sonuçları	34
Çizelge 4.18.	Uygulamaların farklı toprak derinliklerinde toplam nikel (Ni) içeriğine etkisine ait varyans analiz sonuçları	34
Çizelge 4.19.	Uygulamaların farklı toprak derinliklerinde toplam kadmiyum (Cd) içeriğine etkisine ait varyans analiz sonuçları	35
Çizelge 4.20.	Uygulamaların toprağın derinliğine bağlı olarak toplam ağır metal içeriklerine etkisine ait Duncan tablosu (ppm)	36
Çizelge 4.21.	Uygulamaların bitkide mikro element içeriklerine etkisine ait varyans analiz sonuçları	36
Çizelge 4.22.	Aritma çamuru ve ahır gübresi uygulamsından yedi yıl sonra elma yapraklarında mikro element içeriklerine etkisine ait Duncan testi sonuçları (ppm)	37
Çizelge 4.23.	Uygulamaların bitkide ağır metal içeriklerine etkisine ait varyans analiz sonuçları	38
Çizelge 4.24.	Aritma çamuru ve ahır gübresi uygulamsından yedi yıl sonra elma yapraklarında ağır metal içeriklerine etkisine ait Duncan testi sonuçları (ppm)	39

## *SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ*

### **Simgeler**

%	Yüzde
da	Dekar
Mg	Mega gram
w/w	Ağırlık / Ağırlık
kg	Kilogram
kg/da	Kilogram/dekar
cm	Santimetre
ppm	Milyonda bir kısım
EC	Elektriksel İletkenlik
N	Azot
P	Fosfor
K	Potasyum
Ca	Kalsiyum
Mg	Magnezyum
Fe	Demir
Zn	Çinko
Cu	Bakır
Mn	Mangan
Cr	Krom
Ni	Nikel
Cd	Kadmiyum
Pb	Kurşun

## **Kısaltmalar**

F	F değeri
K.O.	Kareler Ortalaması
S.D.	Serbestlik Derecesi
V.K.	Varyasyon Kaynakları
DTPA	Dietilen Triamin Penta Asetik Asit
A.Ç.	Arıtma Çamuru
A.G.	Ahır Gübresi

## 1. GİRİŞ

Tarımda üretimin sürdürülebilirliği ve bitkiden yüksek verimliliğin elde edilmesinde, toprak verimliliğinin korunması ve geliştirilmesi en önemli etmenler arasında kabul görmektedir. Bitkilerin besin kaynağı olarak toprak ve atmosfer kabul edilmekle beraber bitkiler, beslenmeleri için gerekli olan besin maddelerinin büyük kısmını topraktan alırlar. Bunun içindirki, bitkinin gelişme ortamı olarak toprak, bitki besin maddelerince fakir olduğu oranda bitkilerin gelişmesi geriler. Bu nedenle organik gübreler çok yönlü etkiye sahiptir (Kacar ve Katkat, 1999).

Doğal kaynakların hızla tüketildiği günümüzde, atıksu arıtma tesislerinin artışına paralel olarak artan arıtma çamurlarının sebep olduğu çevre kirliliğini azaltmak, geriye kazanılabilir atıklardan yeniden yararlanmayı daha da önemli hale getirmiştir. Arıtma çamurlarının yüksek organik madde içermesinden dolayı, toprağın organik madde ve bitki besin elementleri miktarını arttırması, toprağın toplam porozite, su tutma kapasitesi, havalanma gibi fiziksel özelliklerini iyileştirmesi, mikrobiyal aktiviteyi arttırması, içeriğindeki N, P, K gibi makro ve Fe, Cu, Zn, Mn, B ve Mo gibi mikro besin elementlerinin atığa faydalı bir gübre özelliği vermesinden dolayı tarım alanlarında kullanımı tercih edilir olmuş ve ABD Çevre Koruma Örgütü (EPA) başta olmak üzere birçok ülkedeki yetkili kuruluş arıtma çamuru gibi biyolojik katıların tarımda kullanımını desteklemeye başlamışlardır (Öbek ve ark. 2004).

Arıtma çamurları yaklaşık olarak kuru maddede % 50-70 oranında organik madde ve önemli derecede bitki besinleri içerdiklerinden son yıllarda toprak organik maddesi ve organik gübre kaynağı olarak değerlendirilmektedirler. Arıtma çamurunun bitki besin değerinin ahır gübresi ve organik komposta benzer olduğu (Tabatabai ve Frankerberger, 1979; Sommers 1977) ve bitkilerin gelişimi için gerekli elementleri içerdiği (Linden ve ark. 1983) bildirilmiştir.

Uzun yıllar işlenen topraklarda Zn ve Cu gibi iz elementlerin sık sık eksikliğinin ortaya çıkabileceği (Martens ve Westermann 1991) ve arıtma çamuru uygulamalarının bu metallerin eksikliğini gidermede yardımcı olabileceği (Logan ve Chaney 1983) bildirilmiştir. N ve P için arıtma çamuru agronomik oranlarda uygulandığında gerekli diğer besin elementlerinin çoğunun (potasyumun istisnasıyla) bitkinin ihtiyacını yeterince karşılayabileceği (Chaney 1990) bildirilmiştir.

Aritma çamurları organik, biyolojik kirleticileri ve parazitik organizma yumurtalarını da içermektedirler (Arden 1977, Anonim 1996).

Aritma çamurlarının özellikleri; arıtma şekline, ülkelere, şehirlere, mevsimlere ve beslenme alışkanlıklarına göre de değişmektedir. Arıtma çamurlarının değişken bir yapı sergilemesi çevre açısından çoğunlukla bertarafını gerektirmektedir. Arıtma çamurları dünyada; düzenli depolama, kompostlama, yakma, araziye uygulama, tarım alanlarında kullanım gibi birçok şekilde bertaraf edilmektedir. Ülkemizde arıtma çamurlarının tarım alanlarında kullanımı konusunda çok dikkatli olunması; hangi tip çamur atığının, hangi toprağa, ne kadar, ne şekilde ve hangi kriterlere göre verilebileceği sorularına bilimsel yanıtların bulunması gerekmektedir.

Aritma çamurunun toprağa uygulanması, hem toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirmekte hem de bitkisel verimi arttırmaktadır (Hakerler, 1980; Kyle ve McClintock, 1995; Bozkurt ve ark. 2000b; Arcak ve ark. 2000). Sık dokulu killi toprağın gözeneklerini arttırarak toprağa hava ve su girişini, bu sayede bitkilerin kök gelişimini rahatlatır. Gevşek dokulu kumlu topraklara eklenen çamur ise bu toprakların su tutma kapasitesini arttırır ve besleyici ve adsorpsiyon için gerekli kimyasal yapıyı sağlar.

Son yıllarda kentsel ve endüstriyel artıkların toprak verimliliği için kullanımına ilgi giderek artmaktadır. Arıtma çamuru miktarları Anonim (2007)'e göre, Amerika Birleşik Devletleri'nin tüm eyaletlerinde yaklaşık 7.180 000 ton olarak belirtilmiştir. Oluşan bu çamurların % 49'u tarımsal amaçlı değerlendirilmekte, % 45'i arazide depo edilmekte, % 6'sı ise diğer şekillerde bertaraf edilmektedir.

Laternus ve ark. (2007)'e göre, Avrupa Birliğine üye 25 ülkede ortalama yıllık 10 400 000 ton atık çamur oluşmaktadır. Türkiye'de 2004 yılı itibariyle ortaya çıkan arıtma çamuru miktarı ortalama 2 300 000 ton civarındadır (Anonim., 2004). Arıtma çamurunun tarımsal kullanımı ile her yıl ülkemizde, 816.000 -1.224.000 ton organik gübre, 136.000 – 205.000 ton azot, 31.200 – 46.800 ton P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ve 64.800 – 97.200 ton K<sub>2</sub>O kazancı olabileceği tahmin edilebilmektedir (Kacar ve Katkat, 1999).

Topraklardaki ağır metal kirliliği, günümüzde evrensel bir sorun haline gelmiştir. Ağır metal kirliliği tarımsal alanları giderek tehdit etmekte ve besin zinciri ile insan sağlığına önemli düzeyde zarar vermektedir (Schicker ve Haddar, 1999).

Topraklar, modern toprak kullanım teknolojileri, pestisitler ve besin elementleri gibi maddelerle kirletilmektedir (Radthe 1993, Mull ve Nordmeyer 1994). Topraklardaki ağır metaller bitkilerin hem yeşil aksamında hem de köklerinde birikmektedir. İnsan sağlığı için önemli olan ağır metaller ve bunların yarattığı toksik etkiler üzerine birçok çalışma yapılmıştır (Reeves ve Baker, 2000; Abou-Arab ve Abou Donia, 2000).

Ağır metaller bitkilerde çeşitli konsantrasyonlarda bulunabilirler, fakat bazı hallerde öngörülen sınırın üzerine çıkarlar. Bitki metabolizması üzerine ağır metal toksitesinin araştırılması uzun süreler devam etmiştir (Markert, 1993). Ürünü etkileyerek yada besin zincirine girerek insan sağlığını tehdit ettiği için bu durum, tarımsal üretimin yapıldığı yerlerde önem kazanmaktadır (Spona ve Baum, 1993).

Ege Bölgesi zeytinliklerinde, yağ fabrikası arıtma tesisi atıklarının organik gübre alternatifi olarak kullanımı ve ağır metal toksitesinin belirlenmesi amacıyla yapılan araştırmada, arıtma çamurunun ağır metal toksitesine neden olmadığı, incelenen ağır metallerden, Fe, Zn, Mn, Cu, Mo, Cr, Co, Cd, Ni, Tl ve Al'un bitkide toksisite sınırına ulaşmadığı ve tarımda gübre olarak kullanılabileceği belirlenmiştir ( Anaç ve ark. 1993).

Arıtma çamuru uygulaması toprakta pH'nın değişmesine neden olmakta ve buna bağlı olarak bitkilerde ağır metal artışı belirlenirken bazen azalma olduğu da gözlenmektedir. pH, kil, demir oksit ve organik maddenin yüksek oluşu arıtma çamuru ile toprağa ulaşan ağır metallerin yararışlılığını azaltmaktadır.

Corger ve ark., 2001, arıtma çamurunu önemli miktarda azot ve fosfor içerdiğini, potasyum içeriğinin düşük miktarlarda bulunduğunu, ancak bunun yanı sıra değişen miktarlarda Ca, Mg, S ve mikro besin elementler ile düşük miktarlarda Cd ve Ni gibi metalleri içerebileceğini, artan arıtma çamuru uygulamaları ile toprağın 0-15 cm derinliğinde organik karbon içeriğinin artırdığını bildirmişlerdir. Korboulevsky ve ark.(2002), üzüm bağlarına değişen dozlarda arıtma çamuru uygulaması sonucu toprakta C, N, P ve ağır metal içeriklerinin arttığını belirlemişlerdir. Ayrıca alınabilir P miktarının da yükseldiğini bildirmişlerdir.

Bu çalışmada, elma bahçesine arıtma çamuru uygulamasından yedi yıl sonra, toprak ve yaprakta ağır metallerin kalıntı etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.



## 2. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ

Arıtma çamurunun tarımsal kullanımı ile bitki ve toprakta besin elementi ve ağır metal birikimi ile ilgili bazı araştırmalar şöyledir.

Hinesley ve ark. (1972), artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile yaptıkları çalışma sonucunda, hektara 140 ton arıtma çamuru uygulanmasının mısır veriminde herhangi bir düşüğe sebep olmadığı ayrıca, topraktan ekstrakte edilebilir çinko ve kadmiyum miktarlarının arttığını ve mısır bitkisinin taneleri ile yapraklarında yüksek düzeyde çinko ve kadmiyum biriktiğini öne sürmüşlerdir.

Hakerler (1980), arıtma çamurunun içeriği bölgeden bölgeye ve arıtma biçimine bağlı olarak değişmekle birlikte genellikle organik madde, azot ve fosforca zengin olduğu ve kontrollü olarak toprağa verilebileceğini bildirmiştir.

Kırımhan ve ark. (1983), Erzurum'da kentsel atık sular ile sulanan topraklarda yetiştirilen lahanada bitkisinde ağır metal birikimini incelemişler, Fe, Mn, Zn ve Cu gibi metallerin toprak ve bitkide biriktiğini ancak bu miktarların toksik sınırların altında olduğunu bildirmişlerdir.

Mandal ve ark. (1988)'a göre, topraklara organik madde, atık çamur, gübre ya da bitki materyali ilavesi, genellikle toprakta Zn' nun dağılımında değişikliğe yol açmaktadır. Organik madde ilavesi ile, uygulanan Zn' nun biyolojik yararı artmaktadır.

Berthet ve ark. (1989), arıtma çamuru uygulamasına bağlı olarak toprak ve bitkilerde ağır metal (Cd, Pb, Cu, Zn) birikiminin düşük olduğunu ve bu durumun muhtemelen ağır metallerin biyoyararlılığının düşük olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

El-Dawwey (1993), artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurunun bitkinin kuru madde ağırlığını ve N, P, K alımını arttırdığını vurgulamışlardır.

Hernandez ve ark. (1991), kireçli bir toprakta arıtma çamuru ile tavuk gübresini kıyaslamak amacıyla yaptıkları araştırmada, arıtma çamurlarının mısır ve buğdayda bitki verimini arttırdığını, topraktaki ağır metallerden toplam Zn, Cu ve Pb, ekstrakte edilebilirlerden Fe, Cu, Zn, Mn ve Pb konsantrasyonlarını arttırdığını, toplam demiri ise

azalttığını ifade etmişlerdir. Aynı araştırmada Cd alımının bitkilerin türüne bağlı olarak değişim gösterdiği de belirtilmiştir.

Reed ve ark. (1991), arıtma çamurunun azot kaynağı olarak mısırdaki kullanımı üzerine yaptıkları tarla denemesinde, verim bakımından arıtma çamurunun etkisinin inorganik azotlu gübre kadar olduğunu belirlemişlerdir. Araştırmacılar arıtma çamuru uygulaması sonrası deneme toprağında, ekstrakte edilebilir kadmiyumun 2-5 misli, kurşunun 2-3 misli, bakırın 3-7 misli ve çinkonun 7-31 misli yükseldiğini bildirmişlerdir.

Menelik ve ark. (1991) kışlık buğdayın azotlu gübre ihtiyacını kimyasal gübre ve arıtma çamuru vererek karşılaştırmışlar, arıtma çamuru uygulamasının buğday verimini ve buğday tanesinin N, P, Zn ve Cu içeriğini arttırdığını bildirmişlerdir.

Navarro Pedreno ve ark. (1996), kireçli topraklara arıtma çamuru ve badem artığı uygulamışlardır. Arıtma çamuru uygulaması ile toprakta N, P, Fe, Cu ve Zn düzeylerinin ve bu toprakta yetiştirilen domates bitkisinin veriminin arttığını belirtmişlerdir.

Rechigil (1995), arıtma çamurunun uzun dönemde etkili organik bir gübre olduğunu ve çamurdaki toplam azotun ilk yıl %40'nın, sonraki yıl %60'ının üzerinde bitkiye yararlı olduğunu bildirmişlerdir.

Bragato ve ark. (1997), arıtma çamuru uygulamasının DTPA ile ekstrakte edilebilir metaller, toprağın organik madde içeriği, mikrobiyal yoğunluk ve topraktaki toplam metal içeriği ile arasındaki ilişkiye etkisini araştırmışlardır. Araştırmacılar, arıtma çamuru dozlarına bağlı olarak toprağın mikrobiyal yoğunluğunun uygulama yapılmayan kontrol toprağına göre arttığını bildirmişlerdir. Toplam Zn, Cu, Ni ve Pb içeriklerinin kontrol uygulamasından farklı olmadığını fakat DTPA ile ekstrakte edilebilir metal içeriklerinin arttığını belirtmişlerdir. Arıtma çamuru uygulamasının bitki örneklerinde yalnızca Pb ve Cd içeriklerini yükselttiğini bildirmişlerdir.

Sommers (1997), arıtma çamurunun önemli fakat değişken miktarlarda Ca, Mg, S ve mikro besin elementlerini ve ayrıca düşük miktarlarda da Cd ve Ni gibi metalleri içerdiğini bildirilmiştir .

Wong ve Su (1997), alkalın kömür külü ve arıtma çamuru uygulamasının sürgün dokularında Ca, Mg ve B miktarını arttırırken, gelişme döneminde K, Fe, Mn ve Zn'yu

azalttığını bildirmişlerdir. Ayrıca kökün Fe, Mn, Cu ve Zn içeriğinin toprak üstü organlarından önemli düzeyde daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Krebs ve ark. (1998), sekiz yıl süreyle yürüttükleri tarla denemesinde bezelye bitkisine hektara 5 ton düzeyinde arıtma çamuru ilavesinin toprak pH'sını düşürdüğünü, Cd ve Zn konsantrasyonlarını arttırdığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar, arıtma çamuru verilen topraklara kireç ilavesinin, ağır metallerin çözünürlüğünü azalttığını ve bitkide Cu, Zn ve Cd konsantrasyonlarını düşürdüğünü belirlemişlerdir.

Lombi ve ark. (1998), saksılarda arıtma çamuru ilavesi ile kolza bitkisi yetiştirmişler ve bitkilerde sadece Zn alımının hafifçe arttığını bildirmişlerdir.

Bozkurt ve ark. (2000<sub>a</sub>), kentsel arıtma çamurunun kışlık arpada azot kaynağı olarak kullanımı üzerine azot gübresi ile karşılaştırmalı olarak yaptıkları araştırmada, arıtma çamuru uygulamaları ile bitkinin azot içeriğinin inorganik azotlu gübre uygulamalarına göre daha fazla arttığını bildirmişlerdir.

Bozkurt ve ark. (2000<sub>b</sub>), kireçli bir toprağa uyguladıkları humik asit ve arıtma çamurunun, mısır bitkisinde besin maddesi ve ağır metal kapsamına etkisini araştırmışlardır. Deneme sonunda, artan arıtma çamuru uygulamasına bağlı olarak mısır bitkisinin kuru madde içeriğinin, kök kuru ağırlığının arttığını, yine uygulamaya bağlı olarak toprak üstü aksamalarının N, P, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu ve Co içeriklerinin istatistiksel olarak önemli düzeyde arttığını belirlemişlerdir. Arıtma çamuru ve humik asitin birlikte uygulandığı saksılardan elde edilen bitkilerde yaptıkları analizlerde ise Cu, Co, Ni, Cr ve Cd içeriklerinde hafif bir azalma olduğunu bildirmişlerdir.

Brofas ve ark. (2000), değişik düzeylerde arıtma çamuru uygulamasının toprakta toplam N, yarayırlı P, değişebilir Mg ve DTPA ile ekstrakte edilebilir Cu, Mn, Zn ve Pb konsantrasyonlarını önemli düzeyde arttırdığını belirlemişlerdir. Ayrıca çamur uygulamasının bitkide Mn miktarını azalttığını bildirmişlerdir.

Frost ve Ketchum (2000), buğday bitkisinde yaptıkları araştırmada arıtma çamuru ile kimyasal ticari gübreleri karşılaştırarak, bitkinin farklı organlarında (kök, yaprak ve tane) ağır metal birikimine etkisi incelenmişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre, arıtma çamuru verilen uygulamalarda yaprakta Cd, Cr, Cu ve Pb konsantrasyonlarının daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir.

Keller ve ark. (2002), arıtma çamuru uygulamasından sonra çayır- toprak sisteminde ağır metallerin yıkanabilirliğini araştırmışlardır. Uzun süreli uygulamalar sonucunda toprak üst katmanında (0-20 cm) ağır metal konsantrasyonunun yükseldiğini belirlemişlerdir.

Topçuoğlu ve ark. (2003), sera denemesinde iki yıl yinelemeli olarak toprağa uygulanan farklı kentsel arıtma çamurlarının, domates bitkisinin bitki besin elementleri ve ağır metal içerikleri üzerine etkilerini incelemişler ve toprağa artan miktarlarda uygulanan arıtma çamuru ile domates bitkisinin N, P, K, Ca, Mg, Zn, Mn, Cu, Pb, Ni ve Cd içeriklerinde bir artış gözlemlemişlerdir.

Wang ve ark. (2003), yaptıkları saksı çalışmasında, 4 farklı düzeyde ağır metal içeren topraklarda ürün yetiştirmişlerdir. Toprak ve ürünlerdeki ağır metalleri belirli periyotlarla ölçmüşlerdir. Çalışmalarının sonucunda ürünün farklı aksamındaki ağır metal konsantrasyonlarının farklı ve sıralamanın kök>gövde>tohum, yaprak olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca ağır metal alımlarında sıralamanın Zn, Cr> Cd, Cu> Pb şeklinde olduğunu gözlemlemişlerdir.

Türkmen (2004), kireçli bir toprağa farklı düzeylerde uygulanan kentsel arıtma çamurunun, arpa bitkisinin gelişimi ve bazı ağır metallerin alımı üzerine etkisini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada, arıtma çamuru uygulamalarının toprakta toplam ve alınabilir Cu, Zn, Cd, Ni, ve Pb miktarlarını arttırdığını, tanede N, P, Cu, Zn, Cd, Ni, Pb'nun ve Cu, Zn, Cd, Ni, Pb'nun biyolojik alınabilirliklerinin de arttığını, azot ve arıtma çamurunun birlikte uygulanmasıyla ise topraktan ekstrakte edilebilir Cd ve Pb'nun arttığını, verim ve bitki sapındaki Pb miktarının da önemli düzeylerde artış gösterdiğini belirlemişlerdir.

Mantovi ve ark. (2005), üç farklı bitkide artan dozlarda arıtma çamuru (0, 4. 5 ve 9 ton/ha) uygulamalarının toprak ve bitkilere etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, uygulamaların toprağın organik madde, toplam azot ve yarayışlı fosfor içeriklerini artırırken, toprak pH' ını düşürdüğünü ayrıca, buğday tanesinin N, P, Zn ve Cu; şeker pancarının N ve Cu; mısırın ise yalnızca Cu içeriğini arttırdığını bildirmişlerdir.

Yürük (2005), nohut ve fasulye bitkilerinde arıtma çamuru düzeylerinin, bitkinin farklı organlarında (yaprak, sap, tane ve kök) besin elementi ve ağır metal birikimine etkisini araştırmıştır. Araştırma sonuçlarına göre; arıtma çamuru nohut ve fasulyenin farklı organlarında Cd, Cu, Pb ve Zn miktarlarını önemli düzeyde artırmıştır.

Bañuelos ve ark. (2007), kayısı üretiminde uzun yıllar arıtma çamur kullanımının toprakta ve bitkide etkilerini araştırmışlardır. Deneme sonuçlarına göre çamur uygulamaları toprakta tuzluluk ve Ca, Mg, S, P, Zn ve Cu içeriklerini önemli düzeyde arttırmıştır. Çamur uygulamaları meyve veriminde önemli azalmaya neden olmazken, meyve olgunlaşması çoğunlukla geçikmiştir. İlave olarak meyve suyu pH'sı, toplam asitlik ve meyve rengi, çamur uygulamalarından önemli düzeyde etkilenmemiştir.

Wang ve ark. (2008), arıtma çamuru uygulanan topraklarda yetiştirilen lahana bitkisinde ağır metal içeriğini belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlara, göre arıtma çamurundaki artışa bağlı olarak lahana bitkisinde ağır metal içeriği artış göstermiştir.

Arıtma çamurunun ilavesinden yıllar sonra, toprakta oluşan bakiye etki ile ilgili bazı araştırma özetleri aşağıda verilmiştir.

Gardiner ve ark. (1995), arıtma çamuru uygulamalarının, kireçli toprakta yetiştirilen arpa ve ıspanak bitkilerinde ağır metal birikimine etkilerini incelemek amacıyla, beş yıl süreyle hektara 20 ton düzeyinde arıtma çamuru uygulamışlardır. Her iki bitkide de Cd içeriğinin altı kat artarak toksik sınırı geçtiğini, Cu, Zn ve Ni içeriğinin ise Cd kadar artmadığını ve toksik düzeylerin altında kaldığını belirlemişlerdir.

Misra ve ark. (1995), kentsel arıtma çamurunun 0-10-20-30 ton ha<sup>-1</sup>, % 19.4 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren kaya fosfatın 0-120-140-160 kg ha<sup>-1</sup> dozlarını hem tek tek, hem de birlikte ilave ederek ve sulamada atıksu kullanarak bir tarla denemesi yürütmüşlerdir. Araştırma sonucunda marul bitkisinin verim ve gelişiminin önemli miktarda arttığını, Cd, Cr ve Pb alımının çamurun artan uygulama miktarına bağlı olarak arttığını, ancak kaya fosfatın artan uygulama miktarına bağlı olarak azaldığını belirlemişlerdir. Araştırmacılar Zn alımının, çamurun yüksek Zn içermesinden dolayı çamur ilavesiyle arttığını bildirmişlerdir.

Breslin (1997), yürüttüğü denemede uygulanan kentsel katı atık -arıtma çamuru kompostunun 16. ve 52. aylarda alt toprak horizonlarındaki, As, Cu, Fe ve Zn taşınmasına etkilerini belirlemek istemiştir. 16 ve 52'ci aylarda alınan toprak örneklerinde Cu, Zn ve Pb'un 5 cm'lik üst toprak tabakasında sınırlı kaldığını fakat bu üç elementin aksine Cd'un 52 aylık çalışmanın sonucunda 0-5 ve 5-10 cmlik toprak tabakasında artış gösterdiğini belirlenmiştir. Bunun nedeni olarak da, uygulanan fosforlu gübrelerin etkisini ileri sürmüştür.

Pinamonti ve ark. (1997), altı yıl boyunca 3 ayrı organik madde uygulanan meyve bahçelerinden alınan bitki ve toprak örneklerinde yaptıkları araştırma sonucunda toprak örneklerinde toplam ve ekstrakte edilebilir Zn, Cu, Ni, Cr, Pb ve Cd miktarlarının arttığını, bitki örneklerinde ise yalnızca Pb ve Cd içeriklerinin yükseldiğini bildirmişlerdir.

Arıtma çamuru ilavesinden sonra uzun dönem yarayışlılığının nasıl devam ettiği merak edilmektedir. Sloan ve ark. (1997), yürüttükleri bir araştırmada arıtma çamuru ilavesi bittikten sonra toprakta ağır metallerin yarayışlılığını belirlemek için marul bitkisi yetiştirmişler ve ağır metallerin toprakta fraksiyonlarını belirlemişlerdir. Arıtma çamuru ilavesinden 15 yıl sonra toprakta ağır metallerin oransal biyo-yarayışlılığının şöyle olduğu belirlenmiştir;  $Cd \gg Zn \geq Ni > Cu \gg Cr > Pb$

Barbarick ve ark. (1998), Amerika Birleşik Devletlerinde 11 yıl süren bir tarla denemesinde kışlık buğday bitkisine arıtma çamuru ilavesinin toprakta ekstrakte edilebilir ağır metal içeriklerine etkisini incelemişlerdir. Araştırmada, 0-20, 20-60, 60-100, 100-150 cm toprak derinliklerinde Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb ve Zn değişimleri belirlenmiştir. Deneme sonunda sadece toprakta ekstrakte edilebilir Zn miktarında önemli bir artış olduğu bulunmuştur.

Sloan ve ark. (1998), yürüttükleri tarla denemesinde 3 yıl süreyle toprağa 0,60,120 ve 180 Mg/ha düzeylerinde arıtma çamuru uygulamışlar ve farklı toprak derinliklerinde ağır metallerin değişimini incelemişlerdir. Araştırma sonunda toprakta ekstrakte edilebilir Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonları 0-30 cm toprak derinliğinde önemli miktarda artarken, 30-45 cm toprak derinlikte önemli değişim görülmemiştir. Toprakta organik karbon konsantrasyonu çamur uygulamalarıyla önemli düzeyde artmıştır.

Nyamangara ve Mzezewa (1999), Zimbabwe'de 19 yıl süreyle arıtma çamuru uygulamasının mera örtüsü altındaki toprakların ağır metal içeriklerine olan etkisini incelemişlerdir. Farklı derinliklerde ağır metal birikimlerinin incelendiği araştırmada 0-5 cm toprak derinliğinde ekstrakte edilebilir Cu, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonlarının en yüksek düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ekstrakte edilebilir Zn miktarı üst toprakta (0-5 cm) 196 ppm'de iken 15-20 cm derinlikte 5 ppm'e düşmüştür.

Badawy ve El-Motaium (2000), arıtma çamurunu farklı oranlarda (0, 20, 40, 60, 80 t/ha) kumlu toprağa karıştırarak hazırladıkları yetiştirme ortamlarında, domates bitkisinde ve toprakta Cu, Zn, Cd, Pb'nin birikimini ve yayılımını belirlemek için farklı (0, 3, 6, 9 ve 12 ay) zamanlarda örnekler alınmışlardır. Toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir metataller (Cu, Zn, Cd, Pb) ile domatesin yaprak ve meyvelerindeki Cu, Zn, Cd, Pb konsantrasyonlarının çamur uygulama oranının artmasına bağlı olarak arttığını belirlemişlerdir. Ekstrakte edilebilir metallerin en yüksek konsantrasyonlarını denemenin başlamasından 6 ay sonra bulmuşlardır.

Lopez-Mosquera ve ark. (2000) dört yıl süreyle yürüttükleri denemede, çayır alanlarına arıtma çamuru uygulamışlar toprak ve bitkide ağır metal düzeylerindeki değişimleri incelemişlerdir. Araştırmacılar deneme sonunda, toprak ve bitkide ağır metal düzeylerinin toksik düzeylerin altında kaldığını, sadece toprakta Cr içeriğinin çamur ilavesiyle yükseldiğini belirlemişlerdir.

Mcgrath ve ark. (2000), 1942' de başlayan çalışmalarında, arıtma çamuru uygulanan alanlarda Cd ve Zn' nun bitkiler tarafından topraktan alımını araştırmışlardır. Çalışmada, çiftlik gübresi ve ticari gübrelerle gübrenmiş alanlar da izlenmiş ve bu alanlara kıyasla, çamur uygulanmış alanlarda Zn ve Cd' un ekstrakte edilebilir miktarlarının çok daha yüksek olduğu, çamur uygulamasının durdurulduğu 1961' den sonraki 23 yıllık dönem boyunca ise Cd ve Zn' nun ekstrakte edilebilir miktarında bir azalma olmadığını ve bu ağır metallerin bitki bünyesine alınabilirliklerinin 23 yıldan fazla izlenmesine rağmen azalmadığını belirlemişlerdir.

Chaudri ve ark. (2001), 1994, 1996 ve 1999 yıllarında deneme arazisine uygulanan arıtma çamurunun buğday tohumundaki Cd içeriğine etkisini araştırmışlardır. Tohumdaki Cd konsantrasyonlarının topraktaki total Cd, toprak çözeltisinde bulunan Cd ve serbest Cd<sup>+2</sup> ile önemli bir ilişkisi olduğu belirlenmiştir. Sırasıyla gözlenen buğday tohumundaki Cd konsantrasyonları 1994>1996>1999 şeklinde yıllara göre değişiklik göstermiştir.

Cogger ve ark. (2001), kentsel arıtma çamurunun yedi yıl süre ile çayır bitkilerine uygulanmasının toprak ve bitkideki etkilerini araştırmışlardır. Buna göre, arıtma çamuru uygulaması toprakta organik madde ve yarıyıllı fosfor miktarını arttırmış, toprakta ekstrakte edilebilir metaller 0-8 cm toprak derinliğinde

yoğunlaşmıştır. Ayrıca, bitki dokularının Zn konsantrasyonu ise yaklaşık üç kat artmıştır.

Türkmen ve ark. (2001), sera şartlarında arıtma çamuru uygulanmış topraklarda yetiştirilen arpa bitkisinin bazı ağır metalleri alabilirliğine etkileri konusunda yaptıkları çalışmalarında, arıtma çamuru uygulamalarının toprakta toplam ve alınabilir Cu, Zn, Ni, ve Pb miktarlarını arttırdığını, Mn'in alınabilir miktarlarını azalttığını, Fe' in toplam ve alınabilir miktarları arasında bir fark olmadığını, yüksek çamur dozu uygulamalarında ise bitkideki Fe, Zn, Mn ve Ni' in toprakta izin verilen ağır metal sınır değerlerinin altında kaldığını belirlemişlerdir.

Walter ve ark. (2001), Madrid'teki arıtma tesisinden alınan 2 arıtma çamuru örneğinin 1983'den 1990 yılına kadar tarım topraklarına uygulanmasının kesilmesiyle topraktaki ekstrakte edilebilir ağır metal içeriklerini araştırmışlardır. Organik madde ve toplam ağır metal (Zn, Pb, Cd, Ni, Cr ve Cu) konsantrasyonlarının başlangıçta artmasına rağmen fakat sonraki 5 yılda çoğunlukla azalmış daha sonraki 9'uncu yılda ise hafif bir artış gösterdiği belirlenmiştir.

Bilgin ve ark. (2003), üç ayrı tesisten alınan arıtma çamurlarını üç yıl süreyle toprağa uygulamış ve üçüncü yılın sonunda toprağın Mn ve yarayışlı Cu miktarında önemli bir değişiklik olmadığını belirlemişlerdir. Fe miktarında az bir artış sağlanırken bu artış Zn miktarında daha fazla olmuştur.

Önal ve ark. (2003), kentsel arıtma çamurunun domates bitkisine etkisini incelemek amacıyla yaptıkları sera çalışmasında, toprağa 0, 75, 150, 300, 600 ve 1200 g çamur/15 kg oranlarında arıtma çamuru uygulamışlardır. Çalışma sonucunda, artan arıtma çamuru uygulamaları ile her iki yılda domates bitkisinin kuru madde, meyve ürün miktarları ve meyvede N, P, K, Mg, Fe, içeriklerinin arttığını belirtmişlerdir.

Granato ve ark. (2004), tarafından arıtma çamuru uygulamalarının kesilmesinden sonra mısır tohumunda, yaprağında ve toprakta element konsantrasyonlarının incelenmesi amacıyla yaptıkları çalışmada mısır bitkisinde hektara 543 Mg (ton) düzeyinde arıtma çamuru uygulanmış ve deneme sonunda toprakta, yaprakta ve tanede ağır metal içerikleri belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre çamur uygulamaları toprakta organik karbon miktarını arttırmış, buna karşılık ağır metal içeriklerinde önemli değişim görülmemiştir. Uygulamalar mısır tanesinde Cu, Zn,



Cd ve Ni konsantrasyonlarında önemli bir artış oluşturmazken, yaprak Cd, Ni ve Zn konsantrasyonları önemli düzeyde artmıştır.

Işık ve ark. (2004), arıtma çamuru uygulamasına bağlı olarak, toprakta organik madde, elektriksel iletkenlik, yarayışlı potasyum ile ekstrakte edilebilir Fe, Cu, Zn, Mg, Cd, Pb ve Ni miktarlarının arttığını bildirmişlerdir. Ayrıca arıtma çamurunun uygulamasının denemeye alınan fasulye, patates ve buğday bitkilerinde bazı ağır metal metallerin artmasına sebep olduğunu, fakat beraber bu değerlerin normal sınırları aşmadığını ve insan sağlığını tehdit eder seviyelere ulaşmadığını belirtmişlerdir.

Türkmen ve ark. (2004), Arıtma çamuru uygulamalarıyla toprakta toplam Cd, Cu, Pb, Zn ve alınabilir Cd, Cu, Ni, Pb, Zn konsantrasyonlarında artış olduğunu ve bu artışların istatistiksel olarak önemli olduğunu belirlemişlerdir ( $p<0.01$ ). Bitkide ise; bitki boyu, başak boyu, başakta tane sayısı, metrekaresindeki başak sayısı, başakta tane verimi, bin tane ağırlığı, dekara verim ile bitki sap ve tanesinde; N, P, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn konsantrasyonları ve incelenen ağır metallerin biyolojik alınabilirlik indekslerinin arttığını, bu artışların da istatistiksel olarak önemli ( $p<0.01$ ) olduğunu bildirilmişlerdir.

Göksu ve ark. (2008), uygulanan arıtma çamurunun buğdayın verim ve potansiyel toksik element kapsamı üzerine dört yıllık bakiye etkilerini araştırmışlardır. Uygulanan arıtma çamuru miktarına bağlı olarak, toprakta organik madde, elektriksel iletkenlik, yarayışlı fosfor ve potasyum ile ekstrakte edilebilir Fe, Cu, Zn, Mn, Cd, Pb ve Ni miktarlarının arttığını bildirmişlerdir. Uygulama yılını takip eden I. ve II. bakiye yıllarında toprakların ağır metal kapsamında bariz bir azalma görülmediğini, uygulamanın denemeye alınan buğday bitkisinde bazı ağır metallerin artmasına sebep olmakla beraber, bu değerler normal sınırları aşmadığını ve insan sağlığını tehdit eder seviyelere ulaşmadığını belirlemişlerdir.

Bozkurt ve ark. (2010), 1999-2003 yılları arasında kireçli bir toprakta kurulmuş olan elma bahçesinde, arıtma çamurunun farklı dozlarının uygulanmasının ardından , ağır metal birikimi, bitkinin gelişimi, beslenmesi ve meyve verimine olan etkilerini araştırmışlardır. Arıtma çamurunun elma yapraklarının N, Mg, Fe, Mn, Zn ve Cu içeriklerini önemli düzeyde arttırdığını bildirmişlerdir.

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **3.1 Materyal**

##### **3.1.1. Araştırma yerinin genel tanımı**

Araştırma Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkilerine ait araştırma ve uygulama bahçesinde, Bozkurt ve ark (2010), tarafından dört yıl süreyle arıtma çamuru uygulaması yapılan (1999-2003) elma bahçesinden alınan toprak ve yaprak örneklerinde, besin elementi ve ağır metallerin bakiye etkisini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. 1999-2003 yıllarında, denemeye alınan 24 elma ağacına artan düzeylerde arıtma çamuru uygulanmıştır. Arıtma çamuru 0-10-20-40-60 kg/ağaç düzeylerinde dört yıl süreyle her yıl uygulanmış ve 0-20 cm derinlikte toprakla karıştırılmıştır. Ayrıca, gübreli kontrol uygulaması olarak ağaç başına 25 kg düzeyinde ahır gübresi verilmiştir. Çamur uygulamalarından yedi yıl sonra denemeye alınan her bir ağaç için yaprak ve toprak örnekleri alınarak, uygulamaların bakiye etkileri belirlenmiştir. Bu amaçla her bir parsel toprağından 0-30, 30-60, 60-100 cm derinliklerden toprak örnekleri alınmıştır.

##### **3.1.2. Araştırma yerinin toprak özellikleri**

Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü laboratuvarında yapılan analizlerde denemeye ait toprak örneklerinin bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge.3.1. Deneme bahçesi toprağının bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

Özellikler	Kumlu-Killi Tın
Toprak Tekstürü	
Organik Madde%	1.19
Toplam N %	0.064
Kireç %	13.6
pH	9.42
Yarayışlı P (ppm)	12.09
Değişebilir K (ppm)	490
Değişebilir Ca (ppm)	2702
Değişebilir Mg (ppm)	409
EC (dS /cm)	0.157
DTPA Fe (ppm)	2.42
DTPA Mn (ppm)	12.21
DTPA Zn (ppm)	0.26
DTPA Cu (ppm)	0.70
DTPA Pb (ppm)	0.31
DTPA Ni (ppm)	0.37
DTPA Cr (ppm)	0.018
DTPA Cd (ppm)	0.02

Çizelge 3.1'nin incelenmesinden görüleceği üzere, bildirilen sınır değerlerine göre deneme alanı toprağı kumlu-killi-tınlı bünyeli, alkali reaksiyonlu, tuzsuz, orta düzeyde kireçli, organik madde, toplam azot içeriğı düşük, fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyum içeriğı yeterli düzeyde, demir ve çinko içerikleri düşük, mangan ve bakır içerikleri ise yeterli düzeyde belirlenmiştir (Anonim 1982).

Denemede kullanılan arıtma çamuru ve ahır gübresinin bazı özellikleri çizelge 3.2'de verilmiştir (Bozkurt ve Çimrin, 2003).

Çizelge 3.2. Deneme bahçesine uygulanan arıtma çamuru ve ahır gübresinin bazı kimyasal analiz sonuçları

Özellikler	Aritma Çamuru	Ahır Gübresi
Organik Madde%	47.3	55.0
Toplam N %	2.82	1.50
pH	6.1	
Toplam P (%)	0.76	0.34
Toplam K (%)	0.44	1.1
Toplam Fe (%)	1.50	0.065
Toplam Mn (ppm)	270	236
Toplam Zn (ppm)	1807	69
Toplam Cu (ppm)	271	38
Toplam Ni (ppm)	64	56
Toplam Cr (ppm)	99.4	34.1
Toplam Cd (ppm)	2.1	0.41

### 3.2. Yöntem

#### 3.2.1. Toprak örneklerinin analize hazırlanması

Deneme alanından Jackson (1958)'ın belirttiği şekilde alınan toprak örnekleri bez torbalara konulmuş ve laboratuara getirilmiştir. Laboratuarda uygun koşullarda kurutulduktan sonra ağaç tokmak ile dövülmüş ve 2 mm'lik elekten geçirilerek analiz süresince kapaklı plastik kutularda muhafaza edilmiştir.

#### 3.2.2. Toprak örneklerinde yapılan bazı fiziksel ve kimyasal analizler

##### 3.2.2.1. Tekstür

Bouyoucus (1951) tarafından bildirildiği şekilde hidrometre yöntemine göre belirlenmiştir.

### **3.2.2.2. Toprak reaksiyonu**

Jakson (1958) tarafından bildirilen 1:2.5 toprak-su karışımında belirlenmiştir.

### **3.2.2.3. Total Tuz**

Richards (1954)'ın bildirdiği şekilde saturasyon çamurunda elektriksel iletkenlik, elektriki kondaktivitimetre aleti ile ( $k=1$ ) ölçülerek toplam eriyebilir tuz içeriği hesaplanmıştır.

### **3.2.2.4. Kireç**

Hızalan ve Ünal (1966) tarafından belirtildiği gibi, Scheibler kalsimetresi kullanılarak saptanmıştır.

### **3.2.2.5. Organik madde**

Modifiye edilmiş Walkey Black yöntemine göre belirlenmiştir (Walkley, 1947).

### **3.2.2.6. Yarayırlı fosfor**

Sodyum bikarbonat yöntemine göre belirlenmiştir (Olsen ve ark., 1954).

### **3.2.2.7. Toplam azot (%)**

Kjeldahl yöntemine göre belirlenmiştir (Kacar, 1994).

### **3.2.2.8. Değişebilir Potasyum, Kalsiyum ve Magnezyum**

Jackson (1969) tarafından bildirildiği gibi, 10 gr toprak örneği 100 ml 1N  $\text{NH}_4\text{OAC}$  (pH 7) ile ekstrakte edilmiş çözeltiliye geçen Ca, Mg ve K düzeyleri atomik absorpsiyon spektrofotometresiyle belirlenmiştir.

### **3.2.2.9. Toplam mikro besin ve ağır metal analizleri**

Yaş yakmayla Khan ve Frankland (1983)'a göre, kral suyu ekstraktında atomik absorpsiyon spektrofotometresinde ölçülmüştür.

### **3.2.2.10. DTPA ile ekstakte edilebilir metaller**

DTPA ile çalkalanarak Güzel ve ark. (1990)'ın belirttiği şekilde yapılmıştır.

### **3.2.3. Yaprak örneklerinde yapılan kimyasal analizler**

Bitki yapraklarının yarayışlı mikro besin ve ağır metal içerikleri, yaş yakma ile elde edilen ekstraktlarda atomik absorpsiyon spektrofotometresinde belirlenmiştir (İbrikçi ve ark.1994).

### **3.2.4. İstatistiksel analizler**

Denemede elde edilen veriler 'Costat' istatistik paket programından yararlanılarak analiz edilmiş, etkileri önemli bulunan uygulamalara ait tüm ortalamalar "Duncan çoklu karşılaştırma" testine göre gruplandırılmıştır (Düzgüneş ve ark., 1987).

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Deneme alanındaki meyve ağaçlarına ait bazı fotoğraflar Şekil 4.1 – 4.7 arasında gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Elma bahçesinin genel görünümü



Şekil 4.2. Elma bahçesindeki kontrol deneme ağacı



Şekil 4.3. Elma bahçesindeki 10 kg arıtma çamuru uygulanmış deneme ağacı



Şekil 4.4. Elma bahçesindeki 20 kg arıtma çamuru uygulanmış deneme ağacı





Şekil 4. 5. Elma bahçesindeki 40 kg arıtma çamuru uygulanmış deneme ağacı



Şekil 4. 6. Elma bahçesindeki 60 kg arıtma çamuru uygulanmış deneme ağacı



Şekil 4. 7. Elma bahçesindeki 25 kg ahır gübresi uygulanmış deneme ağacı

Araştırmada ele alınan bitki ve toprak örnekleri için materyal ve yöntem bölümünde belirtilen analizlere ait değerler aşağıda belirtilmiştir:

#### 4.1. Uygulamaların Bazı Toprak Özelliklerine Etkileri

##### 4.1.1. Toprağın tuz içeriğine etkisi

Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi, uygulamaların derinliğe bağlı olarak tuz içeriklerine etkisi istatistiki yönden önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.1. Uygulamaların farklı toprak derinliklerinde tuz içeriği etkisine ait varyans analiz sonuçları

V.K.	S.D.	0-30 cm		30-60 cm		60-100 cm	
		K.O.	F değeri	K.O.	F değeri	K.O.	F değeri
Uygulamalar	5	0.0013	1.12 <sup>öd</sup>	0.0036	1.28 <sup>öd</sup>	0.0024	0.63 <sup>öd</sup>
Hata	18	0.0012		0.0028		0.0038	
Genel	23						

<sup>öd</sup> ile gösterilenler önemli değildir.

Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi uygulamaların derinliğe bağlı olarak, tuz içeriklerine etkisi istatistiksel olarak 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-100 cm toprak derinliklerinde önemli bulunmamıştır.

Elde edilen sonuç uygulamaların tuz içeriğinde önemli bir değişim oluşturmadığını göstermektedir. Arıtma çamuru uygulamalarının tamamlandığı 2003 yılında yapılan toprak analiz sonuçlarına göre, çamur uygulamalarının toprakta tuz içeriğini önemli miktarda arttırdığı belirlenmiştir (Bozkurt, 2011). Buna göre geçen yedi yıllık sürede çamurdan gelen tuzların yıkanarak uzaklaştığı söylenebilir. Benzer olarak Angın ve Yağanoğlu (2009)’da yaptıkları çalışma sonucunda arıtma çamuru uygulamasını takip eden yıllarda tuz içeriğinde önce artış daha sonraki yıllarda azalış olduğunu belirlemişlerdir.

Çizelge 4.2. Arıtma çamuru (AÇ) ve ahır gübresi (AG) uygulamalarının farklı toprak derinliklerinde tuz içeriklerine ait Duncan testi sonuçları

Uygulamalar	Tuz(dS/m)		
	0-30 cm	30-60 cm	60-100 cm
Kontrol	0.199	0.321	0.346
10 kg AÇ / Ağaç	0.190	0.302	0.334
20 kg AÇ / Ağaç	0.167	0.249	0.319
40 kg AÇ / Ağaç	0.193	0.250	0.287
60 kg AÇ / Ağaç	0.225	0.257	0.288
25 kg AG / Ağaç	0.196	0.282	0.329

#### 4.1.2. Toprağın pH’sına etkisi

Çizelge 4.3’de görüldüğü gibi uygulamaların derinliğe bağlı olarak pH içerikleri istatistiksel olarak 0-30 cm’de önemsiz iken, 30-60 cm ve 60-100 cm toprak derinliklerinde ( $p<0.01$ ) önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.3. Uygulamaların farklı toprak derinliklerinde pH'ya etkisine ait varyans analiz sonuçları

V.K.	S.D.	0-30 cm		30-60 cm		60-100 cm	
		K.O.	F değeri	K.O.	F değeri	K.O.	F değeri
Uygulamalar	5	0.030	1.13 <sup>od</sup>	0.122	6.136**	0.198	5.50**
Hata	18	0.026		0.020		0.036	
Genel	23						

<sup>od</sup> ile gösterilenler önemli değil,\*\* ile gösterilen F değerleri %1 düzeyinde önemlidir.

Çizelge 4.4'de görüldüğü gibi, 0-30 cm toprak derinliğinde, arıtma çamuru ve ahır gübresi uygulamaları toprak pH'sında azalmaya neden olmuş fakat bu azalış istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. 30-60 cm ve 60-100 cm toprak derinliklerinde uygulanan arıtma çamuru miktarının artmasıyla toprak pH 'sı azalmıştır. En düşük pH değerleri 60 kg arıtma çamuru uygulanmış topraklarda edilmiş iken, en yüksek pH değerleri ise 20 kg arıtma çamuru uygulanmış topraklarda elde edilmiştir.

Arıtma çamuru uygulamasının yapıldığı yıllarda yapılan toprak analiz sonuçlarına göre, arıtma çamuru uygulamaları üst toprak (0-30 cm) pH'sında önemli bir değişim oluşturarak yaklaşık 0.8 birimlik bir düşüşe neden olmuştur (Bozkurt ve Çimrin, 2003).

Arıtma çamuru uygulanmış topraklarda ağır metallerin biyoalınabilirliğinin kontrolünde pH hızlı ve en etkili toprak parametresidir (Jackson ve Alloway 1992). Bozkurt ve ark. (2000a, 2000b), Lopez-Mosquera ve ark., (2000) arıtma çamuru uygulamalarının toprağın pH'sı üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğunu bildirmişlerdir. Jackson ve Alloway (1991), Alloway ve Jackson (1991), Basta ve Tabatabai (1992), Alloway (1995), Krebs ve ark. (1998), Henning ve ark (2001), Mantovi ve ark. (2005), farklı ekolojik şartlarda yaptıkları denemelerde arıtma çamuru uygulaması ile toprak pH'sının düştüğünü belirlemişlerdir.

Çizelge 4.4. Arıtma çamuru (AÇ) ve ahır gübresi (AG) uygulamalarının farklı toprak derinliklerinde pH'ya etkisine ait Duncan testi sonuçları

Uygulamalar	pH		
	0-30 cm	30-60 cm	60-100 cm
Kontrol	9.47	10.00ab	10.16ab
10 kg AÇ / Ağaç	9.47	10.04ab	10.06ab
20 kg AÇ / Ağaç	9.36	10.15a	10.26a
40 kg AÇ / Ağaç	9.33	9.88bc	9.91b
60 kg AÇ / Ağaç	9.25	9.66c	9.62c
25 kg AG / Ağaç	9.37	9.82bc	10.00ab

a, b, c: Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark Duncan testine göre, kendi grubunda önemlidir(p<0.05).

## 4.2. Uygulamaların Toprakta DTPA ile Ekstrakte Edilebilir Mikro Besin Elementi ve Ağır Metal İçeriklerine Etkisi

### 4.2.1. DTPA ile ekstrakte edilebilir mikro besin elementi içeriklerine etkisi

Arıtma çamuru ve ahır gübresi uygulamalarından yedi yıl sonra toprakta yarayışlı Zn içeriğine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.5'de verilmiştir. Farklı toprak derinliklerinde, uygulamaların yarayışlı çinko içeriğine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.5. Uygulamaların farklı toprak derinliklerinde yarayışlı çinko (Zn) içeriğine etkisine ait varyans analiz sonuçları

V.K.	S.D.	0-30 cm		30-60 cm		60-100 cm	
		K.O.	F değeri	K.O.	F değeri	K.O.	F değeri
Uygulamalar	5	207.70	113.02***	160.28	18.21***	1.058	5.18**
Hata	18	1.84		0.56		0.204	
Genel	23						

\*\* ve \*\*\* ile gösterilen F değerleri sırasıyla % 1 ve % 0.1 düzeylerinde önemlidir

Yarayışlı Zn içeriği için 0-30 cm'de en düşük değerler kontrol ve 25 kg ahır gübresi uygulanmış topraklarda sırasıyla 0.53 ve 0.64 ppm olarak elde edilmiştir. En yüksek Zn değeri ise 40 ve 60 kg arıtma çamuru uygulanmış topraklarda sırasıyla 16.39 ve 15.90 ppm olarak belirlenmiştir. Ağaç başına 40 ve 60 kg arıtma çamuru verilmesiyle elde edilen yarayışlı Zn miktarları, diğer uygulamalardan istatistiki olarak yüksek bulunmuştur. 30-60 cm'de en düşük Zn değerler kontrol, 10, 20 kg arıtma çamuru ve 25 kg ahır gübresi uygulanmış topraklarda sırasıyla 0.32, 0.62, 1.15 ve 0.42 ppm olarak elde edilmiş iken, en yüksek Zn değerleri 40 kg arıtma çamuru uygulanmış toprakta 4.38 ppm olarak elde edilmiştir. 60-100 cm 'de en düşük Zn değerleri kontrol, 10 kg arıtma çamuru ve 25 kg ahır gübresi uygulanmış topraklarda sırasıyla 0.51, 0.55 ve 0.58 ppm olarak elde edilmiş iken, en yüksek yarayışlı Zn değeri 60 kg arıtma çamuru uygulanmış toprakta 1.64 ppm olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.9.).

Çizelge 4.6'da görüldüğü gibi uygulamaların derinliğe bağlı olarak yarayışlı bakır içerikleri istatistiki olarak 0-30 cm toprak derinliğinde önemsiz iken, 30-60 cm ve 60-100 cm toprak derinliklerinde ( $p<0.05$ ) önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.6. Uygulamaların farklı toprak derinliklerinde yarayışlı bakır (Cu) içeriğine etkisine ait varyans analiz sonuçları

V.K.	S.D.	0-30 cm		30-60 cm		60-100 cm	
		K.O.	F değeri	K.O.	F değeri	K.O.	F değeri
Uygulamalar	5	0.049	1.22 <sup>öd</sup>	0.491	3.96*	0.365	3.11*
Hata	18	0.048		0.124		1.172	
Genel	23						

<sup>öd</sup> ile gösterilenler önemli değil,\* ile gösterilen F değeri % 5 düzeyinde önemlidir.

Yarayışlı Cu içeriği 0-30 cm toprak derinliğinde önemsiz bulunmuştur. 30-60 cm ve 60-100 cm toprak derinliklerinde en düşük Cu değerleri 25 kg ahır gübresi uygulanmış topraklarda elde edilmiş iken, en yüksek Cu değerleri ise 40 ve 60 kg arıtma çamuru uygulanmış topraklarda elde edilmiştir (Çizelge 4.9.).

Çizelge 4.7'de görüldüğü gibi uygulamaların derinliğe bağlı olarak yarayışlı demir içeriklerine istatistiki olarak 0-30 cm ve 30-60 cm toprak derinliklerinde ( $p<0.001$ ) önemli bulunmuş iken, 60-100 cm toprak derinliğinde ise önemli bulunmamıştır.

Çizelge 4.7. Uygulamaların farklı toprak derinliklerinde yarayışlı demir (Fe) içeriğine etkisine ait varyans analiz sonuçları

V.K.	S.D.	0-30 cm		30-60 cm		60-100 cm	
		K.O.	F değeri	K.O.	F değeri	K.O.	F değeri
Uygulamalar	5	35.83	50.46***	1.87	7.08***	0.69	1.169 <sup>öd</sup>
Hata	18	0.71		0.26		0.59	
Genel	23						

<sup>öd</sup> ile gösterilen önemli değil, \*\*\* ile gösterilenler F değerleri % 0.1 düzeyinde önemlidir.

Yarayışlı Fe içeriği 0-30 cm toprak derinliği için en düşük değerleri kontrol, 10 kg arıtma çamuru ve 25 kg ahır gübresi uygulanmış topraklarda sırasıyla 2.57, 3.36 ve 2.36 ppm olarak belirlenmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre 40 ve 60 kg arıtma çamuru uygulamalarında elde edilen yarayışlı Fe miktarları diğer uygulamalardan farklı ve yüksek bulunmuştur. 30-60 cm'de en düşük Fe değerleri kontrol ve 25 kg ahır gübresi uygulanmış topraklarda sırasıyla 2.48 ve 2.62 ppm olarak elde edilmiş iken, en yüksek Fe değeri ise 40 kg arıtma çamuru uygulanmış toprakta 4.26 ppm olarak belirlenmiştir. 60-100 cm'de uygulamaların Fe içeriğine etkisi önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.9.).

Çizelge 4.8'de görüldüğü gibi uygulamaların derinliğe bağlı olarak yarayışlı mangan içeriklerine etkisi istatistik olarak 0-30 cm ( $p<0.001$ ), 30-60 cm ( $p<0.01$ ) ve 60-100 cm toprak derinliklerinde ( $p<0.05$ ) önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.8. Uygulamaların farklı toprak derinliklerinde yarayışlı mangan (Mn) içeriğine etkisine ait varyans analiz sonuçları

V.K.	S.D.	0-30 cm		30-60 cm		60-100 cm	
		K.O.	F değeri	K.O.	F değeri	K.O.	F değeri
Uygulamalar	5	25.87	7.47***	38.20	5.93**	9.02	3.67*
Hata	18	3.46		6.43		2.46	
Genel	23						

\*, \*\* ve \*\*\* ile gösterilen F değerleri sırasıyla %5, % 1 ve % 0.1 düzeylerinde önemlidir.

Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre, her üç derinlik için en düşük DTPA-Mn içerikleri kontrol, 10, 20 kg arıtma çamuru ve 25 kg ahır gübresi uygulamalarında elde edilirken, 40 ve 60 kg arıtma çamuru düzeylerinde ulaşılan Mn miktarları istatistiksel olarak daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.9.).

Toprak organik maddesi tüm topraklarda ağır metaller için çok önemli bağlayıcı bir ortamdır. Ağır metal içeren diğer kirleticilerden farklı olarak arıtma çamurları çok önemli bağlayıcı materyallerdir (organik madde, Fe ve Mn). Fe ve Mn'in bağlayıcı özelliği hidrosoksitlere dönüşümlerine bağlıyken, çamurla beraber organik madde toprağa ulaştığı anda yüksek bağlama kapasitesine sahiptir (Türkmen., 2004). Çamur içinde Zn diğer elementlerden daha fazladır. Çamur uygulaması özellikle düşük pH' lı topraklarda Zn içeriğine büyük ölçüde etki eder. Mays ve ark. (1973), kentsel katı atıklar ve atık çamurlarla oluşturulan kompostun, birkaç yıl boyunca, toplam birkaç yüz Mg/ha oranlarında uygulandığı takdirde, Zn' nun potansiyel toksik miktarı toprakta akümüle edilebileceğini ifade etmişlerdir.

Benzer olarak Kırımhan ve ark. (1983), Gravnaska (1994), Pedrano ve ark. (1996), Pinamonti ve ark. (1997), Bragato ve ark. (1997), Badawy ve El-Motaium. (2000) yaptıkları araştırmalarda arıtma çamuru uygulamalarının artan dozlarına bağlı olarak toprakta mikro besin elementi içeriklerinin arttığını belirlemişlerdir. Bozkurt ve Çimrin., (2003) tarafından yapılan çalışmada da benzer sonuçlar bulunmuştur. Bu durum denemede kullanılan arıtma çamuru ve ahır gübresinin mikro element içeriğinin yüksek oluşu ile açıklanabilir.

Yakupoğlu ve Özdemir (2007), %0, 2, 4 ve 6 (w/w) oranında saksılara artan arıtma çamuru uygulamalarının, erozyona uğramış toprakların mikro element içeriklerini, kontrol uygulamasına göre önemli derecede artırdığını belirtmişlerdir.

Dört yıllık arıtma çamuru uygulamasının bitirildiği yıl alınan toprak örneklerinde DTPA Zn, Cu, Fe ve Mn içerikleri ağaç başına 60 kg A.Ç uygulaması ve 0-30 cm toprak derinliği için sırasıyla 64, 4.0, 19 ve 24 ppm olarak bulunmuştur (Bozkurt, 2011). Bu değerler çamur uygulamasından yedi yıl sonraki sonuçlarla karşılaştırıldığında, 60 kg arıtma çamuru uygulaması için yaklaşık olarak DTPA-Zn ve Cu miktarlarının 4-5 kat, Fe miktarının iki kat azaldığı, DTPA-Mn miktarında ise yüksek bir değişim olmadığı belirlenmiştir.





Çizelge 4.9. Uygulamaların toprağın DTPA ile ekstrakte edilebilir mikro element içeriklerine etkisine ait Duncan testi sonuçları (ppm)

Uygulamalar (Kg/ ağaç)	Çinko			Bakır			Demir			Mangan		
	0-30 cm	30-60 cm	60-100 cm	0-30 cm	30-60 cm	60-100 cm	0-30 cm	30-60 cm	60-100 cm	0-30 cm	30-60 cm	60-100 cm
Kontrol	0.53d	0.32c	0.51c	0.80	1.02bc	1.03bc	2.57c	2.48c	3.31	15.61b	8.38b	5.33b
10 kg AÇ / Ağaç	7.22 c	0.62c	0.55c	0.86	1.16bc	0.94bc	3.36c	3.64ab	3.47	13.73b	8.39b	4.94b
20 kg AÇ / Ağaç	12.58b	1.15c	0.93bc	0.95	1.23bc	1.02bc	5.62b	3.24bc	2.97	15.20b	8.73b	5.48b
40 kg AÇ / Ağaç	16.39a	4.38a	1.54ab	0.88	1.73a	1.46ab	9.28a	4.26a	4.10	19.30a	14.66a	6.96ab
60 kg AÇ / Ağaç	15.90a	2.56b	1.64 a	0.85	1.54ab	1.57a	8.31a	3.71ab	3.41	19.45a	14.65a	8.88a
25 kg AG / Ağaç	0.64 d	0.42c	0.58 c	0.83	0.76c	0.83c	2.36c	2.62c	2.98	14.03b	9.32b	5.39b

a, b, c, d: Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark kendi grubunda önemlidir ( $p < 0,05$ ).

#### 4.2.2. DTPA ile ekstrakte edilebilir ağır metal içeriklerine etkisi

Çizelge 4.10'de görüldüğü gibi uygulamaların derinliğe bağlı olarak yarayışlı kurşun içerikleri istatistiki olarak 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-100 cm toprak derinliklerinde ( $p<0.001$ ) düzeylerinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.10. Uygulamaların farklı toprak derinliklerinde kurşun (Pb) içeriğine etkisine ait varyans analiz sonuçları

V.K.	S.D.	0-30 cm		30-60 cm		60-100 cm	
		K.O.	F değeri	K.O.	F değeri	K.O.	F değeri
Uygulamalar	5	0.166	24.87***	0.125	12.14***	0.091	33.01***
Hata	18	0.0067		0.0102		0.0028	
Genel	23						

\*\*\* ile gösterilen F değeri % 0.1 düzeyinde önemlidir.

Alınabilir Pb içeriği 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-100 cm toprak derinliklerinde en düşük değerleri kontrol ve 10 kg arıtma çamuru uygulanmış topraklarda elde edilmiştir (Çizelge 4.13.).

Çizelge 4.11'de görüldüğü gibi uygulamaların derinliğe bağlı olarak yarayışlı nikel içerikleri istatistiki olarak 0-30 cm toprak derinliğinde ( $p<0.001$ ), 30-60 cm toprak derinliğinde ( $p<0.01$ ) önemli bulunmuş iken, 60-100 cm toprak derinliğinde ise önemli bulunmamıştır.

Çizelge 4.11. Uygulamaların farklı toprak derinliklerinde nikel (Ni) içeriğine etkisine ait varyans analiz sonuçları

V.K.	S.D.	0-30 cm		30-60 cm		60-100 cm	
		K.O.	F değeri	K.O.	F değeri	K.O.	F değeri
Uygulamalar	5	0.170	13.89***	0.0998	5.06**	0.0127	1.99 <sup>öd</sup>
Hata	18	0.0123		0.019		0.0064	
Genel	23						

<sup>öd</sup> ile gösterilen önemli değil, \*\* ve \*\*\* ile gösterilen F değerleri sırasıyla % 1 ve % 0.1 düzeylerinde önemlidir.

DTPA ile ekstrakte edilebilir Ni içeriği 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-100 cm toprak derinliklerinde en yüksek Ni değerleri 40 ve 60 kg arıtma çamuru uygulanmış topraklarda elde edilmiştir (Çizelge 4.13.).

Çizelge 4.12’de görüldüğü gibi uygulamaların derinliğe bağlı olarak yarayışlı kadmiyum içerikleri istatistiki olarak 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-100 cm toprak derinliklerinde önemli bulunmamıştır.

Çizelge 4.12. Uygulamaların farklı toprak derinliklerinde kadmiyum (Cd) içeriğine etkisine ait varyans analiz sonuçları

V.K.	S.D.	0-30 cm		30-60 cm		60-100 cm	
		K.O.	F değeri	K.O.	F değeri	K.O.	F değeri
Uygulamalar	5	0.0021	0.876 <sup>0d</sup>	1.21	1.99 <sup>0d</sup>	1.306	0.76 <sup>0d</sup>
Hata	18	0.0024		6.05		1.702	
Genel	23						

<sup>0d</sup> ile gösterilenler kendi grupları arasında önemli değildir.

DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd içeriği 0-30 cm ve 60-100 cm’de önemli bulunmamıştır. 30-60 cm’de en yüksek Cd değeri 10 kg arıtma çamuru uygulanmış toprakta 0.032 ppm olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.13.).

Ağır metallerin toprakta yarayışlılığını etkileyen önemli bir faktör toprakların kireç içeriği ve toprak pH’sıdır. Ülkemiz ve Dogu Anadolu yöresi topraklarının kireç içeriğinin ve pH’sının yüksek olması (7.5-8.5), arıtma çamurunun bu yöre topraklarında kullanımı konusunda doğal bir avantaj oluşturmaktadır. Arıtma çamuru uygulamasının yapıldığı son yıl toprakta DTPA Ni konsantrasyonu 2 ppm civarında iken, üst toprak derinliği için yedi yıl sonra bu miktar 1 ppm düzeyine gerilemiştir. DTPA-Cd içeriği çamur ilavesiyle, uygulamaların yapıldığı yıllar için ve uygulamadan yedi yıl sonrası için önemli değişimler görülmemiştir (Bozkurt ve Çimrin. 2003, Bozkurt, 2011).

White ve ark.(1997), Bragato ve ark. (1997), Krebs ve ark. (1998), Baveye ve ark. (1999) yaptıkları çalışmalar sonucunda arıtma çamuru ilavesi ile toprakların ekstrakte edilebilir ağır metal içeriklerinin arttığını bildirmişlerdir. Badawy ve El-Motaium (2000) yaptıkları araştırmada toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir Pb, Cd konsantrasyonlarının çamur uygulama oranının artmasına bağlı olarak arttığını belirlemişlerdir.

Haan (1975), uzun yıllar çamur uygulaması ile Cd'nin biyoalınabilirliğinin de diğer metaller gibi arttığını belirtmiştir. Araştırmacı bunun nedeninin, azotun nitrifikasyonuna bağlı olarak substratın asidifikasyonu ve çamurdaki kirecin hızlı yıkanması olduğunu ifade etmiştir.

Topraktaki organik madde aracılığıyla ağır metaller metal organik kompleksler oluştururlar (Yuan ve Lavkulich., 1997; Arnesen ve ark., 1999; Karaca 2004). Ağır metallerin çözünürlükleri ve yarıyışlıkları da ortamda bulunan organik substratlar tarafından arttırılabilir. Organik maddenin toprakta mineralizasyonu ile organik madde tarafından tutulmuş bulunan ağır metaller toprak çözeltisine geçmektedir.

Çizelge 4.13. Uygulamaların toprağın DTPA ile ekstrakte edilebilir ağır metal içeriklerine etkisine ait Duncan testi sonuçları (ppm)

Uygulamalar (Kg/ ağaç)	Kurşun			Nikel			Kadmiyum		
	0-30 cm	30-60 cm	60-100 cm	0-30 cm	30-60 cm	60-100 cm	0-30 cm	30-60 cm	60-100 cm
Kontrol	0.32d	0.28b	0.27b	0.78b	0.57c	0.47ab	0.028	0.024	0.012
10 kg A.Ç / Ağaç	0.34d	0.31b	0.32b	0.74b	0.64bc	0.48ab	0.034	0.032	0.014
20 kg A.Ç / Ağaç	0.56c	0.56a	0.60a	0.74b	0.60c	0.49ab	0.031	0.018	0.015
40 kg A.Ç / Ağaç	0.82a	0.61a	0.59a	1.14 a	0.82ab	0.51a	0.044	0.019	0.014
60 kg A.Ç / Ağaç	0.71ab	0.72a	0.59a	1.05a	0.89a	0.52a	0.042	0.023	0.016
25 kg A.G /Ağaç	0.68bc	0.60a	0.57a	0.60b	0.47c	0.36b	0.022	0.017	0.011

a, b, c : Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark kendi grubunda önemlidir (p<0,05).

### 4.3. Uygulamaların Toplam Mikro Besin Elementi ve Ağır Metal İçeriklerine Etkisi

#### 4.3.1. Toplam mikro besin elementi içeriklerine etkisi

Arıtma çamuru ve ahır gübresi uygulamalarından yedi yıl sonra toprağın derinliğine bağlı olarak kral suyu ile ekstrakte edilen ağır metallere ait varyans analiz sonuçları çizelgeler de aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.14'de görüldüğü gibi uygulamaların derinliğe bağlı olarak toplam çinko içerikleri istatistiki olarak 0-30 cm ve 30-60 cm toprak derinliklerinde ( $p<0.001$ ) önemli iken, 60-100 cm toprak derinliğinde önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.14. Uygulamaların farklı toprak derinliklerinde toplam çinko (Zn) içeriğine etkisine ait varyans analiz sonuçları

V.K.	S.D.	0-30 cm		30-60 cm		60-100 cm	
		K.O.	F değeri	K.O.	F değeri	K.O.	F değeri
Uygulamalar	5	6345.39	35.92***	63.03	6.85***	6.21	0.43 <sup>öd</sup>
Hata	18	176.66		9.20		14.42	
Genel	23						

<sup>öd</sup> ile gösterilenler kendi grupları arasında önemli değil, \*\*\* ile gösterilen F değeri % 0.1 düzeyinde önemlidir.

Toplam Zn içeriği 0-30 cm'de en düşük değerleri kontrolde ve 25 kg ahır gübresi uygulanmış topraklarda sırasıyla 48.82 ve 53.23 ppm olarak elde edilmiş iken, en yüksek Zn değerleri 40 kg ve 60 kg arıtma çamuru uygulanmış topraklarda sırasıyla 138.74 ppm ve 137.89 ppm olarak elde edilmiştir. 30-60 cm derinlikte en düşük Zn değeri 25 kg ahır gübresi uygulanmış toprakta 44.75 ppm olarak elde edilmiş iken, en yüksek Zn değeri ise 40 kg arıtma çamuru uygulanmış toprakta 55.94 ppm olarak elde edilmiştir. 60-100 cm'de uygulamaların Zn içeriğine etkisi önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.16.).

Çizelge 4.15'de görüldüğü gibi uygulamaların derinliğe bağlı olarak toplam bakır içerikleri istatistiki olarak 0-30 cm derinlikte ( $p<0.05$ ) önemli iken, 30-60cm ve 60-100 cm toprak derinliklerinde önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.15. Uygulamaların farklı toprak derinliklerinde toplam bakır (Cu) içeriğine etkisine ait varyans analiz sonuçları

V.K.	S.D.	0-30 cm		30-60 cm		60-100 cm	
		K.O.	F değeri	K.O.	F değeri	K.O.	F değeri
Uygulamalar	5	5.15	3.54*	5.47	2.30 <sup>öd</sup>	0.894	0.37 <sup>öd</sup>
Hata	18	1.45		2.37		2.373	
Genel	23						

<sup>öd</sup> ile gösterilenler kendi grupları arasında önemli değil, \* ile gösterilen F değeri % 5 düzeyinde önemlidir.

En düşük toplam Cu değeri, 0-30 cm'de 40 kg arıtma çamuru uygulanmış toprakta 21.11 ppm olarak elde edilmiş iken, en yüksek Cu değeri ise 10 kg arıtma çamuru uygulanmış toprakta 23.94 ppm olarak elde edilmiştir. 30-60 cm ve 60-100 cm toprak derinliklerinde toplam Cu içeriği değişimi önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.16.).

Çamur ilavesinin yapıldığı yıllarda toprakta toplam Zn ve Cu miktarları, uygulamadan yedi yıl sonraki elde edilen değerlerle karşılaştırıldığında her iki metal için de büyük düşüşlerin olduğu görülmektedir (Bozkurt, 2011). Arıtma çamurlarının topraktaki çinko içeriğini arttırma nedenlerinden en önemlisi içerdiği yüksek Zn miktarının doğrudan topraktaki konsantrasyonu artırmasıdır. Bu artışın miktarlarının büyük olması nedeniyle yıllar arasında da Zn içeriği bakımından önemli farklılıklar ortaya çıkmıştır.

Araştırmamızda elde edilen sonuçlar Chang ve ark. (1982), Hernandez ve ark. (1991), Pinamonti ve ark. (1999), Arcak ve ark. (2000) ile uyumludur.

Çizelge 4.16. Uygulamaların toprağın derinliğine bağlı olarak toplam mikro element içeriklerine etkisine ait Duncan testi sonuçları (ppm)

Uygulamalar	Çinko			Bakır		
	0-30 cm	30-60 cm	60-100 cm	0-30 cm	30-60 cm	60-100 cm
Kontrol	53.23 d	48.95bc	45.15	23.08ab	23.55	20.93
10 kg A.Ç / Ağaç	85.23 c	50.23b	45.07	23.94a	21.63	19.92
20 kg A.Ç / Ağaç	109.44b	45.69bc	43.70	22.11abc	23.48	20.44
40 kg A.Ç / Ağaç	138.74a	55.94a	44.98	21.11c	24.61	20.63
60 kg A.Ç / Ağaç	137.89a	48.81bc	45.08	21.22bc	23.37	21.43
25 kg A.G / Ağaç	48.82d	44.75c	42.05	21.50bc	21.70	20.18
Sınır Değerler*(pH<7)		150.00			50.00	

a, b, c, d: Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark kendi grubunda önemlidir (p<0,05)

\*: Lopez-Mosguera ve ark.(2000)

#### 4.3.2. Toplam ağır metal içeriklerine etkisi

Çizelge 4.17'de görüldüğü gibi uygulamaların derinliğe bağlı olarak toplam kurşun içeriklerine etkisi istatistiki olarak 0-30 cm ve 30-60 cm toprak derinliklerinde (p<0.001) önemli iken, 60-100 cm toprak derinliğinde (p<0.05) önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.17. Uygulamaların farklı toprak derinliklerinde toplam kurşun (Pb) içeriğine etkisine ait varyans analiz sonuçları

V.K.	S.D.	0-30 cm		30-60 cm		60-100 cm	
		K.O.	F değeri	K.O.	F değeri	K.O.	F değeri
Uygulamalar	5	2.044	26.02***	2.959	9.37***	1.247	3.97*
Hata	18	0.078		0.315		0.314	
Genel	23						

\* ve \*\*\* ile gösterilen F değerleri sırasıyla % 5 ve % 0.1 düzeylerinde önemlidir.

0-30 cm toprak derinliğinde, en yüksek toplam Pb içeriği kontrol, 10 kg ve 20 kg arıtma çamuru uygulanmış topraklarda elde edilmiştir. 30-60 cm toprak derinliğinde kontrol ve 10 kg arıtma çamuru uygulanmış topraklarda elde edilmiştir. 60-100 cm'de en düşük Pb değeri 25 kg ahır gübresi uygulanmış toprakta 6.20 ppm olarak elde edilmiş iken, en yüksek Pb değeri ise kontrolde 7.79 ppm olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.20.).

Çizelge 4.18'de görüldüğü gibi uygulamaların derinliğe bağlı olarak toplam nikel içeriklerine etkisi istatistiki olarak 0-30 cm ( $p<0.001$ ) ve 30-60 cm ( $p<0.01$ ) toprak derinliklerinde önemli iken, 60-100 cm toprak derinliğinde önemli bulunmamıştır.

Çizelge 4.18. Uygulamaların farklı toprak derinliklerinde toplam nikel (Ni) içeriğine etkisine ait varyans analiz sonuçları

V.K.	S.D.	0-30 cm		30-60 cm		60-100 cm	
		K.O.	F değeri	K.O.	F değeri	K.O.	F değeri
Uygulamalar	5	436.27	23.94***	73.07	5.48**	140.64	0.35 <sup>bd</sup>
Hata	18	18.22		13.33		397.76	
Genel	23						

\*\* ve \*\*\* ile gösterilen F değerleri sırasıyla % 1 ve % 0.1 düzeylerinde önemlidir.

Toplam Ni içeriği 0-30 cm'de en düşük değer 40 kg arıtma çamuru uygulanmış toprakta 13.2 ppm iken, en yüksek Ni değerleri ise kontrolde ve 10 kg arıtma çamuru uygulanmış toprakta sırasıyla 16.0 ve 15.7 ppm olarak elde edilmiştir. 30-60 cm'de en düşük Ni değeri 20 kg arıtma çamuru ve 25 kg ahır gübresi uygulanmış topraklarda 13.9 ppm olarak elde edilmişken, en yüksek Ni değeri ise kontrolde 15 ppm olarak elde



edilmiştir. 60-100 cm toprak derinliklerinde toplam Ni değeri değişimi önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.20.).

Çizelge 4.19’da görüldüğü gibi uygulamaların derinliğe bağlı olarak toplam kadmiyum içeriklerine etkileri istatistik olarak 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-100 cm toprak derinliklerinde önemli bulunmamıştır.

Çizelge 4.19. Uygulamaların farklı toprak derinliklerinde toplam kadmiyum (Cd) içeriğine etkisine ait varyans analiz sonuçları

V.K.	S.D.	0-30 cm		30-60 cm		60-100 cm	
		K.O.	F değeri	K.O.	F değeri	K.O.	F değeri
Uygulamalar	5	0.0214	2.20 <sup>öd</sup>	0.0071	2.72 <sup>öd</sup>	0.0069	1.28 <sup>öd</sup>
Hata	18	0.0097		0.0026		0.0054	
Genel	23						

<sup>öd</sup> ile gösterilenler kendi grupları arasında önemli değildir.

Topraktaki ağır metal birikimleri yedi yıl önceki değerlerle karşılaştırıldığında, uygulamaların yapıldığı yıllarda toplam Pb ve Cd miktarlarında büyük artışlar görülürken, yedi yıl sonra bu farkın kaybolduğu belirlenmiştir. Toprakta toplam Ni içeriği uygulama yıllarında da yedi yıl sonra da önemli bir değişim göstermemiştir (Bozkurt, 2011).

Arıtma çamuru uygulanan topraklarda metallerin biyoalınabilirliği üzerinde çalışan araştırmacılar metallerin önemli bir miktarda alınabilir formda kaldığını rapor etmişlerdir. Chang ve ark. (1982), McGrath (1987), metallerin üst üste çamur uygulaması ile artış gösterdiğini belirtirken, Bidwell ve Dowdy (1987), ise üst üste çamur uygulamaları ile metallerin alınabilirliklerinin azaldığını belirtmişlerdir.

Topraktaki ağır metal miktarlarını izin verilen sınır değerlerle karşılaştırıldığında, tüm toprak derinlikleri için Zn, Cu, Pb, Ni ve Cd miktarları sınır değerlerin altında bulunmuştur. Verilen sınır değerlerin altında bulunmuştur. Verilen sınır değerlerin pH’sı 7’den küçük olan topraklar için olduğu düşünülürse ülkemiz ve Van yöresi topraklarında kısa ve orta vadede toksite riski bulunmadığı rahatlıkla söylenebilir (Lopez-Mosguera ark.(2000)).

Çizelge 4.20. Uygulamaların toprağın derinliğine bağlı olarak toplam ağır metal içeriklerine etkisine ait Duncan testi sonuçları (ppm)

Uygulamalar (Kg/ ağaç)	Kurşun			Nikel			Kadmiyum		
	0-30 cm	30-60 cm	60-100 cm	0-30 cm	30-60 cm	60-100 cm	0-30 cm	30-60 cm	60-100 cm
Kontrol	7.46ab	8.18a	7.79a	16.0a	15.0a	14.2	0.74	0.74	0.80
10 kg A.Ç / Ağaç	7.77a	7.98a	7.21ab	15.7a	14.2bc	15.2	0.86	0.71	0.78
20 kg A.Ç / Ağaç	7.45ab	6.53b	7.37ab	14.0c	13.9c	14.0	0.85	0.62	0.70
40 kg A.Ç / Ağaç	6.98c	6.42b	7.02abc	13.2d	14.4bc	13.7	0.90	0.66	0.81
60 kg A.Ç / Ağaç	5.88e	6.45b	6.65bc	14.8b	14.6ab	15.0	0.90	0.69	0.74
25 kg A.G /Ağaç	6.30d	6.30b	6.20c	14.9b	13.9c	14.9	0.75	0.72	0.74
Sınır Değerler*(pH<7)	50.00			30.00			1.00		

a, b, c, d: Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark kendi grubunda önemlidir (p<0,05).

\*: Lopez-Mosguerave ark. (2000)

#### 4.4. Uygulamaların Bitkinin Mikro Besin Elementi ve Ağır Metal İçeriklerine Etkisi

##### 4.4.1. Bitkinin mikro besin elementi içeriklerine etkisi

Çizelge 4.21'de görüldüğü gibi uygulamalara bağlı olarak bitkide Fe ve Mn içeriğinde istatistiki olarak önemli değişim meydana getirmemiştir. Zn ve Cu içeriklerine etkisi istatistiki olarak (p<0.001) önemli bulunmuştur:

Çizelge 4.21. Uygulamaların bitkide mikro element içeriklerine etkisine ait varyans analiz sonuçları

V.K	S.D	Demir		Mangan		Çinko		Bakır	
		K. O	Fdeğeri.	K. O	F değeri.	K. O.	F değeri	K. O.	F değeri
Uygulamalar	5	687.2	1.33 <sup>öd</sup>	96.7	1.00 <sup>öd</sup>	4.61	4.33.61***	0.90	7.10***
Hata	18	515.9		96		0.01		0.126	
Genel	23								

<sup>öd</sup> ile gösterilenler kendi grupları arasında önemli değil, \*\*\* ile gösterilen F değeri % 0.1 düzeyinde önemlidir.

Çizelge 4.22' de görüldüğü gibi uygulamalara bağlı olarak bitkinin Fe ve Mn içeriklerindeki değişim önemli bulunmamıştır. Bitkinin en düşük Zn değeri 25 kg ahır gübresi uygulamasında 5.62 ppm olarak elde edilmiş iken, en yüksek Zn değeri ise 40 kg arıtma çamuru uygulamasıyla 8.54 ppm olarak elde edilmiştir. Bitkinin en yüksek Cu değerleri 40 ve 60 kg arıtma çamuru uygulamalarıyla sırasıyla 4.39 ve 4.58 ppm olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.22. Arıtma çamuru ve ahır gübresi uygulamasından yedi yıl sonra elma yapraklarında mikro element içeriklerine etkisine ait Duncan testi sonuçları (ppm)

Uygulamalar (kg/ ağaç)	Demir	Mangan	Çinko	Bakır
Kontrol	122	31.00	6.37 b	3.83 b
10 kg A.Ç / Ağaç	129	26.50	5.63 c	3.35 b
20 kg A.Ç / Ağaç	158	24.00	6.29 b	3.57 b
40 kg A.Ç / Ağaç	158	36.00	8.54 a	4.39 a
60 kg A.Ç / Ağaç	136	30.80	6.38 b	4.58 a
25 kg A.G / Ağaç	154	36.50	5.62 c	3.81 b
Normal Değer*	50-300	25-200	20-100	6-50

a, b, c: Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark kendi grubunda önemlidir ( $p < 0.05$ )

\*: Jones Jr. ve ark. (1991)

Gomez ve ark. (1993) tarafından domates bitkisine yinelemeli olarak uygulanan arıtma çamurunun domates bitkisinin mikro element (Fe, Mn, Cu ve Zn) içeriklerini artırdığını belirlemişlerdir. Gardiner ve ark. (1995), yapmış oldukları çalışmada arıtma çamuru ilavesi ile arpa bitkisinin Zn ve Cu içeriğinin kontrole göre artış göstermediğini bildirirken, benzer konuda farklı bitkilerle yapılan çalışmalarda Murolli ve ark. (1997), Pinamonti ve ark. (1997), Krebs ve ark. (1998), Benitez ve ark. (2000), Brofas ve ark. (2000), Warman (2001), Yürük ve Bozkurt (2006), artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile bitkinin mikro element miktarlarının arttığını bildirmişlerdir.

Gökmen ve ark. (2008) yaptıkları araştırmada, elma ağaçlarına kompost uygulaması ile yapraktaki mikro besin elementi özellikle demir içeriğinin arttığı belirlemişlerdir. Göksu ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada, arıtma çamuru

uygulamasının buğday yapraklarında bakır kapsamını artırmış olmakla beraber tarafından belirlenen toksik seviyelere ulaşmadığını belirtmişlerdir.

Arıtma çamuru uygulamasının yapıldığı yıllardaki yaprak mikro besin elementi değerleri ile yedi yıl sonraki sonuçlar karşılaştırıldığında, genel olarak mikro besin elementi içeriklerinin düştüğü fakat yinede yaprakta çinko ve bakırın elementinin etkilerinin hala devam ettiği görülmektedir (Bozkurt ve ark. 2010).

#### 4.4.2. Bitkinin ağır metal içeriklerine etkisi

Çizelge 4.23’de görüldüğü gibi, uygulamaların bitkide Ni ve Pb içeriklerine etkileri ( $p < 0.001$ ) istatistiki olarak önemli bulunurken, Cd içeriği istatistiki olarak önemli bulunmamıştır.

Çizelge 4.23. Uygulamaların bitkide ağır metal içeriklerine etkisine ait varyans analiz sonuçları

V.K	Nikel		Kurşun		Kadmiyum	
	K. O	F değeri.	K. O.	F değeri	K. O.	F değeri
Uygulamalar	1.21	21.74***	0.28	6.86***	0.025	0.78 <sup>6d</sup>
Hata	0.056		0.041		0.032	
Genel						

\*\* ve \*\*\* ile gösterilen F değerleri sırasıyla % 1 ve % 0.1 düzeylerinde önemlidir.

Çizelge 4.24’ de görüldüğü gibi, uygulamalara bağlı olarak bitkinin en düşük Ni değeri 25 kg ahır gübresi uygulamasında 1.64 ppm olarak elde edilmiş iken, en yüksek Ni değeri ise 40 kg arıtma çamuru uygulamasıyla 2.74 ppm olarak elde edilmiştir. Bitkinin en yüksek Pb değeri 60 kg arıtma çamuru uygulamasıyla 1.22 ppm olarak elde edilmiştir.

Bitkinin Cd değeri ise, uygulamalara bağlı olarak değişmekle birlikte bu değişim istatistiksel anlamda önemli bulunmamıştır. Granato ve ak. (2004) uzun yıllar yapılan arıtma çamuru uygulaması sonlandırıldıktan 13 yıl sonra mısır bitkisinde tane ve yaprakta ağır metallerin (Cd, Cu, Ni ve Zn) konsantrasyonunun sonuçlarımızla uyumlu olarak zamanla azalmasına rağmen, 13 yıl sonra bile hala yüksek olduğunu belirlemişler. Bitkide Ni ve Cd miktarları için uygulamanın kesildiği yıl ile yedi yıl sonraki durum kıyaslandığında, yaprak Ni konsantrasyonunun düşmekle birlikte hala kontrole göre yüksek olduğu, Cd içeriğindeki değişimlerin önemli olmadığı belirlenmiştir (Bozkurt ve ark. 2010).

Villarroel ve ark. (1993) toprağa sekiz yıl süre ile arıtma çamuru uygulanması sonucu bitkide ağır metal içeriklerinin birkaç katı arttığını bildirmişlerdir. Gardiner ve ark. (1995), beş yıl süreyle yaptıkları araştırmada, arpa ve ıspanak bitkilerine hektara 20 ton düzeyinde arıtma çamuru ilave ederek ağır metal birikimine etkilerini araştırmışlardır. Deneme sonunda, her iki bitkide de Cd içeriğinin 6 kat arttığı ve toksik sınır düzeyini aştığı belirlenmiştir. Topçuoğlu ve ark. (2003), farklı özelliklere sahip iki kentsel arıtma çamurunun iki yıl artan oranlarda uygulanması ile domates bitkisinin ağır metal içeriklerinin (Ni, Pb, Cd) arttırdığını bildirmişlerdir. Göksu ve ark. (2008), yaptıkları çalışmada arıtma çamuru uygulamasının buğday yapraklarının kadmiyum içeriğini arttırmadığını bildirmişlerdir.

Çizelge 4.24. Arıtma çamuru ve ahır gübresi uygulamasından yedi yıl sonra elma yapraklarında ağır metal içeriklerine etkisine ait Duncan testi sonuçları (ppm)

Uygulamalar (kg/ ağaç)	Nikel	Kurşun	Kadmiyum
Kontrol	1.90 b	0.56 b	0.07
10 kg A.Ç / Ağaç	2.04 b	0.57 b	0.06
20 kg A.Ç / Ağaç	2.09 b	0.57 b	0.08
40 kg A.Ç / Ağaç	2.74 a	0.59 b	0.10
60 kg A.Ç / Ağaç	2.08 b	1.22 a	0.12
25 kg A.G / Ağaç	1.64 c	0.59 b	0.06
Toksik Sınır Değerler*	10-100	30-300	5-30

a, b, c: Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark kendi grubunda önemlidir (p<0,05)

\*: Lopez-Mosguerave ark.(2000)

Arıtma çamuru ilavesinden yedi yıl sonra bitkide belirlenen ağır metal düzeyleri toksik sınır değerler ile karşılaştırıldığında, incelenen tüm ağır metallerin toksik düzeyin oldukça altında olduğu görülmektedir (Lopez-Mosguerave ark.,2000).

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde giderek önem kazanan doğal çevrenin korunması, atıkların büyük ölçüde çevre ile uyumlu hale getirilerek bilinçli bir şekilde ortadan kaldırılması veya arazide kullanımı ile olasıdır. Atıkların yeni kirliliklere yol açmadan değerlendirilmesi, ekosistemin işlevselliğinin ön koşuludur.

Aritma çamurunun farklı oranlarda (0, 10, 20, 40, 60 kg) ve 25 kg ahır gübresinin kumlu-tınlı bünyeye sahip kireçli bir toprağa dört yıl süreyle (1999-2003) uygulanmasından yedi yıl sonra toprakta ve yaprakta olan kalıntı etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, arıtma çamuru ve ahır gübresi uygulamalarından yedi yıl sonra topraktaki tuz içeriğindeki değişim önemli bulunmazken, arıtma çamuru uygulamaları tüm toprak derinlikleri için toprak pH'sını azaltmış ancak bu azalış 30-60 cm ve 60-100 cm toprak derinliklerinde  $p < 0.01$  önemli bulunmuştur.

Toprakların ekstrakte edilebilir mikro element içerikleri, artan uygulama dozlarına bağlı olarak istatistiksel olarak Zn ve Fe için, 0-30 cm ve 30-60 cm toprak derinliklerinde ( $p < 0.001$ ), Mn için; 0-30 cm'de ( $p < 0.05$ ), 30-60 cm ( $p < 0.01$ ) ve 60-100 cm'de ( $p < 0.001$ ), Cu için; 30-60 cm ve 60-100 cm toprak derinliklerinde  $p < 0.05$  düzeyinde önemli bulunmuştur. Ekstrakte edilebilir ağır metal içeriklerinin kalıntı etkileri ise artan arıtma çamuru ve ahır gübresi uygulamaları ile Pb için tüm toprak derinliklerinde istatistiksel olarak ( $p < 0.001$ ), Ni için 0-30 cm'de ( $p < 0.001$ ) ve 60-100 cm toprak derinliğinde ( $p < 0.01$ ) önemli bulunurken, Cd içeriğinin ise kalıntı etkisi önemli bulunmamıştır.

Toprakların toplam mikro besin elementi içerikleri istatistiksel olarak Zn 0-30 cm ve 30-60 cm için ( $p < 0.01$ ) ve Cu 0-30 cm için ( $p < 0.05$ ) önemli bulunmuştur. Toplam ağır metal içeriklerinin kalıntı etkileri ise istatistiksel olarak Pb için; 0-30 cm ve 30-60 cm ( $p < 0.001$ ), 60-100 cm ( $p < 0.01$ ), Ni için; 0-30 cm ( $p < 0.001$ ) ve 30-60 cm ( $p < 0.01$ ) önemli bulunurken, Cd ise tüm toprak derinliklerinde önemsiz bulunmuştur. Toplam Zn, Pb, Ni, Cu ve Cd içerikleri ise sınır değerlerin altında bulunduğu için risk taşımamaktadır.

Yaprakların mikro element içeriği artan arıtma çamuru ve ahır gübresi uygulamaları ile yedi yıl sonraki analizler bile Fe ve Mn içerikleri kontrole göre fazla

olmasına rağmen, Duncan çoklu karşılaştırma testine göre önemli bulunmamıştır. Zn ve Cu içerikleri ise istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Araştırma sonuçlarına göre, arıtma çamuru ve ahır gübresi uygulamalarının kalıntı etkilerinin elma ağacının yaprak ağır metal içeriği üzerine etkileri farklı şekillerde olmuştur. İstatistiksel olarak; Ni ve Pb  $p < 0.001$  düzeyinde önemli bulunmuşken, Cd içeriği ise önemli bulunmamıştır. Topraklara uygulanan arıtma çamuru miktarlarına bağlı olarak bitki tarafından alınan ağır metal miktarı artabilmektedir. Bu artış toprak ve bitki arasındaki interaksiyona bağlı olarak değişmektedir. Yaprakların ağır metal içerikleri toksik sınır değerlerinin altında bulunduğu için her hangi bir toksik bir etki göstermemektedir.

Arıtma çamuru uygulamasının kesildiği yıl toprakta tuz içeriğinde artış ve pH' da beligin düşüşler görülürken bu değişim yedi yıl sonra hafiflemiştir. Toprakta ekstrakte edilebilir Fe, Zn, Cu, Ni ve Pb miktarları ile toplam Cu, Zn, Ni ve Pb miktarlarının bakiye etkisinin yedi yıl sonra bile azalmasına rağmen önemli olduğu görülmüştür. Benzer olarak, elma yapraklarında Zn, Cu, Ni ve Pb içeriklerine arıtma çamuru uygulamalarının kalıntı etkisi önemli bulunmuştur

Sonuç olarak, arıtma çamuru uygulamaları sonrasında gerek topraklarda gerekse yetişen bitkilerde ağır metaller açısından risk devam edebilmektedir. Burada uygulanan arıtma çamurunun ağır metal içerikleri de büyük önem taşımaktadır. Yinelemeli arıtma çamuru uygulamalarında toprakta ve bitkide tuz, mineral maddeler ve daha önemlisi ağır metal birikimleri, sürdürülebilir toprak idaresi ve tarımda güvenli geri kazanımı üzerindeki endişelere örnek teşkil etmektedir.

## KAYNAKLAR

- Abou-Arab, A.A.K., Abou Doma, M. A. 2000. Heavy Metals in Egyptian Spices and Medicinal Plants and the Effect of Processing. *Journal of Agricultural Food Chemistry. Vol:48*.p: 2300-2304.
- Alloway B.J., and Jackson A.P. 1991. The behaviour of heavy metals in sewage sludge amended soils. *The science of the total environment, 100; 151-176. Elsevier Science Publishers B.V.Amsterdam.*
- Alloway B.J. 1995. Heavy metals in soils. *Blackie, London*.pp; 122-152.
- Anaç, D. A., H. Hakerlerler ve M.E. İrget, 1993. Yağ fabrikası arıtma tesisi atıklarının zeytinliklerde organik gübre olarak kullanılması. *E.Ü.Z.F.Derg.*, 30 (3): 25-32.
- Angın, İ., Yağanoğlu, V. A., 2009. Arıtma Çamurlarının Fiziksel ve Kimyasal Toprak Düzenleyicisi olarak Kullanımı. *Ekoloji Dergisi.19, 73*, 39-47.
- Anonim, 1982. *Toprak ve Su Analiz Laboratuvarları El Kitabı*. Tarım Orman Ve Köyişleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü. Ankara.
- Anonim, 1996. The use of reclaimed water and sludge in food crop production. *Environmental Protection Agency. NRC, National Academy Press, Washington, D.C.*
- Anonim, 2001. *Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği*. No:24609. Ankara
- Anonim. 2004. *Türkiye İstatistik Kurumu*, Çevre İstatistikleri, Ankara.
- Anonim 2007. *A National Biosolids Regulation, Quality, and Use and Disposal Survey, Preliminary Report*, April 14, 2007. pp. 148
- Arcak, S., C. Türkmen, A. Karaca ve E. Erdoğan, 2000. A Study on potential agricultural use of sewage sludge of Ankara wastewater treatment plant. *Proceeding of International Symposium on Desertification*, 13-17 June 2000, Konya.
- Arden, D. A., 1977. The agricultural use of sewage sludge in: R. C. Loehr (ed.). Land as a Waste Management Alternative. *Springer Verlag. Berlin*, pp; 583-603.
- Arnesen, A. K. M., Singh, B.R. 1999. Plant uptake and DTPA- Ekstractabilty of Cd, Cu and Ni in a Norwegian alum shale soil as effected by previous addition of diary and pig manures and peat. *Can.J. Soil Sci*, 531-539.



- Badawy, S.H. and El-Motaium, R.A., 2000 Fate of some heavy metals in sandy soil amended with sewage sludge and their accumulation in plants ICEHM, *Cairo University, Egypt, September, 2000*, page 483- 494
- Bañuelos, Gary S., Pasakdee, Sajeemas, Benes, Sharon E. and Ledbetter, Craig A.(2007)'Long-Term Application of Biosolids on Apricot Production', *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **38:11**, 1533 — 1549
- Barbarick, K.A., J.A. Ippolito, and D.G. Westfall, 1998. Extractable trace elements in soil profile after years of biosolids application. *J. Environ. Qual.* **27**: 801-805.
- Basta, N.T. and Tabatabai M.A. 1992. Effect of cropping systems on adsorption of metals by soils. I. Single – metal adsorption. *Soil Sci.*, **153 (2)**: 108-114.
- Baveye, P., M. B. McBride, D. Bouldin, T. Hinesly, M. S. A Dahdoh, 1999. Mass Balance and Distribution of Sludge-Borne Trace Elements in a Silt Loam Soil Following Long-Term Application of Sewage Sludge. *The Science of the Total Environment*. **227**:13-28.
- Benitez, E., E. Romero, M. Gomez, R. Nogalez, 2000. Biosolid and Biosolid-Ash as Sources of Heavy Metals in a Plant-Soil System. *Water, Air and soil Pollution* **132**: 75-87
- Berthet, B., J.C. Amiard, C.A.Triquet, C. Maillet, C. Metayer, J.L. Bahec, M. Letard and J. Pelletier, 1989. Fate of metals linked with sewage sludge or municipal refuses used as improvements in market gardening. *Wat. Sci. Tech.*, **21(12)**: 1917-1920.
- Bidwell A.M. and Dowdy, R. H. 1987. Cadmium and zinc availability to corn following termination of sewage sludge applications. *Journal of Environmental Quality* **4**; **207-211**.
- Bilgin. N., Eyüpođlu H., Üstün H., 2003.İkinci Kademe Arıtım Yapan Kentsel Nitelikli Atıksu Arıtma Tesislerinden Çıkan Arıtma Çamurlarının Tarım Alanlarında Kullanılma Olanakları. Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Sonuç Raporları, *Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Şube Müdürlüğü. Yayın No: 124, Ankara*, 202-220
- Bouyoucous, G.D., 1951. A Recalibration of the Hydrometer Method for Making Mechanical Analysis of the soil. *Agronomy J.*, **43**: 434-438.

- Bozkurt, M. A., İ. Yılmaz, K. M. Çimrin, 2000a. Kentsel Arıtma Çamurunun Kışlık Arpada Azot Kaynağı Olarak Kullanılması. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 7(1), 105-110.
- Bozkurt, M.A., İ. Erdal, K.M. Çimrin, S. Karaca ve M. Sağlam, 2000b. Kentsel arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının mısır bitkisinde besin elementi ve ağır metal kapsamına etkisi. *Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*,6(4), 35-43.
- Bozkurt, M.A., K. M. Çimrin, 2003. The Effects of Sewage Sludge Applications on Nutrients and Heavy Metal Concentration in a Calcareous Soil. *Fresenius Environmental Bulletin*, 12, (11), 1354-1360.
- Bozkurt, M.A., Yarılgaç, T., 2003. The effects of sewage sludge applications on the yield, growth, nutrition and heavy metal accumulation in apple trees growing in dry condition. *J. Agric. For. Tübitak*
- Bozkurt, M.A., Yarılgaç, T., Yazıcı, A., 2010. The Use of Sewage Sludge as an Organic Matter Source in Apple Trees. *Polish J.of Environ. Stud. Vol. 19*, 267-274
- Bozkurt, M.A. 2011. Arıtma Çamuru ilavesinin toprakta besin elementi ve ağır metal içeriklerine etkisi. Yayınlanmamış Araştırma Sonuçları.
- Bragato, G., Leita, L., Figliolia, A.,De Nobili,M., 1997.Effects of Sewage Sludge Pre Treatment on Microbial Biomass and Bioavaibility of Heavy Metals. *Soil and Tillage Research*, 49:129-134.
- Breslin,V. T.1997. Retention of Metals in Agricultural Soils After Amending with MSW and MSW-Biosolids Compost Waste. *Reduction and Management Institute, Marine Sciences Research Center, State University of New York at Stony Brook, Stony Brook, NY 11794-5000, U.S.A.*
- Brofas, G., Michopoulos, P., Alifragis, D., 2000. Sewage Sludge as on Amendment for Calcareous Bauxite Mine Spolis Reclamation. *Journal of Environmental Quality*.29: 811- 816
- Chaney, R.L. 1990. Twenty years of land application research. *Biocycle*, september 54-59.
- Chang, A.C, A.L. and Bingham, F.T.1982. Heavy metal absorption by winter wheat following termination of cropland sludge applications. *J.Environ. Qual.*, 11: 705-708.

- Chaudri, M. A., Allain, C. M., Badawy, S. H., Adams, L. M., McGrath, P. S., Chambers, B. J., 2001. Cadmium Content Of Wheat Grain from a Long-Term Field Experiment with Sewage Sludge. **J. Environ. Qual**, 30:1575-1580.
- Cogger, C.G., A.I. Bary, S.C. Fransen and D.M. Sullivan, 2001. Seven years of biosolids versus inorganic nitrogen applications to tall fescue. **J. Environ. Qual**. 30: 2188-2194.
- Delgado Arroyo, M. M., M. Á. Porcel Cots, R. Miralles De Imperial Hornedo, E. M. Beltrán Rodríguez, L. Beringola Beringola, J. V. Martín Sánchez, 2002. Sewage Sludge Compost Fertilizer Effect on Maize Yield and Soil Heavy *Metal Concentration*. **Departamento de Medio Ambiente ,INIA. Apdo.8111**. 28080.
- Düzgüneş, A., O. T. Kesici, O. Kavuncu, F. Gürbüz, 1987. **Arastırma ve Deneme Metodları (İstatistik Metodları-II)**. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları: 1021, Ankara, 381 s.
- El Dawwey, G.M., 1993. Effectiveness of sewage sludges and basic slag wheat plants grown in sandy calcareous and loamy soils. **Assuit Journal of Agricultural Sciences**, 24: 171-184.
- Frost, H., L. Ketchum, L. H., 2000. Trace Metal Concentration in Durum wheat from Application of Sewage Sludge and Commercial Fertilizer. **Advances in Environmental Research**, 4:347-355
- Gardiner, D. T., R.W.Miller, B.Badamchian, A.S.Azzari and D. R. Sinson, 1995. Effects of repeated sewage sludge applications on plant accumulation of heavy metal. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 55 (1) 1-6.
- Gedikoğlu İ, Kalınbacak K, Yurdakul İ ve Yalçıklı A (1998) Bazı ağır metallerin topraktan ekstraksiyon yöntemlerinin karşılaştırılması ve buğday yetiştirilerek kalibrasyonu. **T.C Başbakanlık Köy hizmetleri Genel Müdürlüğü. Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü. Ankara**
- Gomez, I., Navarro-Pedreno, J., Mataix, J., Frago, M.A.C. and Beusichem, M.L. 1993. Effects of organic waste fertilization and saline irrigation on mineral composition of tomato leaves and fruits. **Eighth International Colloquium for the Optimization of Plant Nutrition, 31 August-8 September, Lisbon, Portugal**, 333-337.

- Göksu, N. Işık, Y. Atçeken, T. Okur, O. Tongarlık, Ş. 2008. Arıtma Çamuru Uygulamasının Buğdayın Verim ve Potansiyel Toksik Element Kapsamı Üzerine Etkileri **Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Konya Devlet Su İşleri IV. Bölge Müdürlüğü, Konya.**
- Gökmen, F. Zengin, M. Şekerci, Y. Gezgin, S. Çakmak, İ. 2008. Elma Ağaçlarına Uygulanan Kompostun Toprak ve Bitkide Ağır Metal Birikimine Etkileri. **4. Ulusal Bitki Besleme ve Gübreleme Kongresi Sayfa No 428-441**
- Granato, T.C., Richardson, R.I. Pietz, George J. Knafl, Carl R. Carlson, Jr., Prakasam Tata and Cecil Lue-Hing, (2004). Trace Element Concentrations in Soil, Corn Leaves, and Grain after Cessation of Biosolids Applications: **Journal of Environmental Quality;; 33, 6; ProQuest Agriculture Journals pg. 2078.**
- Gravnaska, S. M., 1994. Determination of the Effect of the Sludge from Waste Water Treatment Station Near Sofia-City Fertilizer. **N. Pousarov Institue of Soil Science and Agro-Ecology , 1080, Sofia, Bulgaria.**
- Güzel, N., Gülüt, Y. K., İ. Orta, H. İbrikçi, 1990. **Toprakta Verimlilik Analiz Yöntemleri. Laboratuvar El Kitabı.** Ç. Ü. Z. F. Ders Kitabı, No: 117, Adana.
- Haan, S., 1975. Land Application of Liquid Municipal Wastewater Sludges. **Journal (Water Pollution Control Federation) Vol. 47, No. 11, pp. 2707-2710.**
- Hakerler, H., 1980. Kentsel atıkların gübre olarak değerlendirilmeleri. **E.Ü.Z.F.Derg., 17:3, 113-131.**
- Henning, B.J., Snyman, H.G. and Aveling, T.A.S. 2001.Plant – soil interactions of sludge borne heavy metals and the effect on maize (Zea mays L.) seedling growth. **Water S.A. Vol. 27, No. 1, P, 71-78. ISSN 0378-4738**
- Hernandez, T., Moreno, J.I. and Costa, F. 1991. Influence of sewage sludge application on crop yields and heavy metal availability. **Soil Sci. Plant Nutr., 37: 201-210**
- Hızalan, E., E. Ünal, 1966. **Topraklarda Önemli Analizler.** Ank. Üniv. Zir. Fak. Yayın no: 278.
- Hinesley, T. D., R. L. Jonesand, E. L. Zigler, 1972. Effects on Corn by Applications of Heated Anaerobical Digested Sludge. **Compost. Sci. 13: 26.**
- Işık Y., Tongarlık, Ş.,Göksu, N., 2004. Arıtma Çamuru Uygulamasının Bitki Gelişimi ve Tarım Alanlarının Kirlenmesi Üzerine Etkileri. **Türkiye 3. Ulusal gübre Kongresi, Tarım-Sanayi-Çevre, 11-13 Ekim 2004, Toprak 609-616**

- İbrikçi, H., K. Y. Güllüt ve N. Güzel, 1994. *Gübrelemede Bitki Analiz Teknikleri*. Ç.Ü. Ziraat Fak. Genel Yay. No: 95, Ders Kitab ı Yay. No:8, Adana, 81 s.
- Jackson, A.P., and Alloway, B.J. 1991. The bioavailability of cadmium to lettuce and cabbage in soils previously treated with sewage sludges. *Plant and Soil*, 132; 179 – 186
- Jackson, A.P., and Alloway, B.J. 1992. The transfer of cadmium from agricultural soils to the human food.
- Jakson, M. 1958. *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall, Inc. New Jersey, USA.
- Jackson, M.L. 1969. Soil Chemical Analysis. Advanced Course. 2nd ed. Published by the Author. University of Wisconsin. Madison. USA p: 8955.
- Jones, J.B., Jr., B.Wolf and H.A.Mills (1991). Plant Analysis Handbook. P.1-213. Micro-Makro Publishing, Inc., USA.
- Kacar, B., 1994. Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri: *III. Toprak Analizleri*. A.Ü.Z.F. Eğitim Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları No:3, Ankara, 705s.
- Kacar, B., Katkat, V. N., 1999. Kimyasal Gübrelerin Tepkimeleri, Bölüm 5 Gübreler ve Gübreleme Tekniği, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı, 144, Bursa. 531.
- Kacar, B. ve İnal, A. 2008. Bitki Analizleri . *Nobel Yayın No:1241*, 892 s.
- Karaca, A 2004. Effect of organic wastes on the extractability of cadmium, copper, nickel and zinc in soil. *Geoderma an International J. of Soil Science (Special Issue)*, 122, 297-303.
- Keller, C., S.P. McGrath and S.J. Dunham, 2002. Trace metal leaching through a soil grassland system after sewage sludge application. *J. Environ. Qual.* 31: 1550-1560.
- Khan, K.D. and B. Frankland, 1983. Chemical forms of Cd and Pb in some contaminated soils. *Environmental Pollution*, 6: 15-31.
- Kırımhan, S., M.T. Sağlam ve S. Karakaplan, 1983. Erzurum'da kentsel atık sular ile sulanan tarım topraklarında kimyasal kirlenme II. Toprakta ve bitkide ağır metal birikimi. *Atatürk Ü.Z.F.Derg.* 14:3-2,13-22.
- Korboulewsky, N.,S.Dupouyet, G.Bonin, 2002. Environmental Risks of Applying Sewage Sludge Compost to Vineyards: Carbon, Heavy Metal Nitrogen and Phosporus Accumulation. *J. Environ.Qual.* 31:1522-1527

- Krebs, R., S.K. Gupta, G. Furrer, ve R. Schulin, 1998. Solubility and plant uptake of metals with and without liming of sludge amended soils. *J. Environ. Qual.* **27**, 18-23.
- Kyle, M.A. and S.A. McClintock, 1995. The availability of phosphorus in municipal wastewater sludge as a function of the phosphorus removal process and sludge treatment method. *Water Enviroment Research*, **67:3**, 282-289.
- Laternus, F., von Arnold, K. and Gron, C. 2007. Organic Contaminants from Sewage Sludge Applied to Agricultural Soils. *Env. Sci. Pollut. Res. 1:*, 53-60.
- Linden, D.R., Clap, C.E. and Dowdy, R.H. 1983. Hydrologic management: nutrients. pp 79-103 in Proceedings of the workshop on utilization of municipal wastewater and sludge on land. *Riverside, University of California*.
- Lindsay, W.L. and W.N. Norvel, 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* **42**: 421-428.
- Logan, T.J. and Chaney, L. 1983. Metals. pp In utilization of municipal wastewater and sludge on land. A.L. Page, T.L. Gleason, J.E., Smith, I.K., Iskender and C.E. Sommers, eds. Riverside.
- Lombi, E. and M.H. Gerzabek, 1998. Determination of mobile heavy metal fraction in soil: Results of a pot experiment with sewage sludge. Communications in Soil *Sci. and Plant Analysis.* **29:17-18**, 2545-2556.
- Lopez-Mosquera, M.E., Moiron, C., Carral, E., 2000. Use of dairy industry sludge as fertilizer for grasslands in northwest Spain: heavy metal levels in the soil and plants. *Resources, Conservation and Recycling* **30**, 95-109.
- Mandal, B., Hazra, G.C. and Pal, A.K. 1988. Transformation of zinc in soils under submerged conditions and its relation with zinc nutrition of rice. *Plant and Soil*, **106**;121-126.
- Mantovi, P., G. Baldoni, G. Toderi, W. Research, 2005. Reuse of liquid, dewatered, and composted sewage sludge on agricultural land: effects of long-term application on soil and crop. *Water Research*, **39**; 289-296.
- Markert, B., 1993. Plants as Biomonitors: Indicators for Heavy Metals in Terrestrial Environmetal. *VCH Verlaglesellschaft, Weinheim*.

- Martens, D.C. and Westermann, D.T. 1991. Fertilizer applications for correcting micronutrient deficiencies in micronutrients in agriculture. Mortvedt, J.J. et al., eds., *Soil Sci. Soc. of Amer. Book Series, No. 4, Madison, Wisconsin, Amer. Soc. of Agronomy*.
- Mays, D.A., Terman, G.L., and Duggan, J.C. 1973. *J. Environ. Qual.*, 89-92.
- Mcgrath, S.P., Brookes, P.C. and Giller, K. E. 1988. Effects of potentially toxic metals in soil derived from past applications of sewage sludge on nitrogenfixation by *Trifolium repens* L.S. *Soil Biol. Biochem.* **20**,415-424.
- Mcgrath, S.P., Zhao, F.J. and Dunham, S.J. 2000. Long term changes in the extractability and bioavailability of zinc and cadmium after sludge application. *J. Environ. Qual.*, **29**: 875-883.
- Menelik, G., R.B. Reneau, Jr.D.C. Martens and T.W. Simpson, 1991. Yield and elemental composition of wheat grain as influenced by source and rate of nitrogen. *Journal of Plant Nutrition*, **14**:2, 205-217.
- Miah, M. Y., Chiu, ChihYu., Hayashi, H., Chino, M, (1999). Barley growth in response to potassium fertilization of soil with long term application of sewage sludge. *Department of Applied Biological Chemistry, Faculty of Agricultural Life Sciences, The University of Tokyo, 113-8657, Japan*.
- Misra, S.G., Dinesh, M. and Mani, D. 1995. Uptake of pollutants from sewage sludge as affected by phosphate addition. *Environ and Ecology*, **13**: 2, 297-299
- Murillo J. M., Lopez R., Cabrera F. and Martin O., 1997. P. Testing low-quality urban compost as a fertilizer for arable farming. *CSIC, inst. recourses naturals agrobiología, 41080 Seville, Espagne*
- Mull R., Nordmeyer., H. (1994). *Pflanzenschutzmittel im Grundwasser*. Springer, Berlin.
- Navarro Pedreno, J., I. Gomez, R. Moral and J. Mataix, 1996. Improving the agricultural value of a semiarid soil by addition of sewage sludge and almond residue. *Agriculture, Ecosystems and Environment Vol. 58*:2-3,115-119.
- Nyamangara, J., Mzezewa., J, (1999). The effect of long-term sewage sludge application on Zn, Cu, Ni and Pb levels in a clay loam soil under pasture grass in Zimbabwe. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **73**, 199–204.

- Olsen, S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe and L.A. Dean, 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *US. Dept. Of Agric. Cric.* 939.
- Öbek, E., Tatar, Ş.Y., Hasar, H., Arslan, E.I. ve İpek, U. 2004. Kentsel ve Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi Arıtma Çamurlarındaki Ağır Metal Düzeylerinin Değerlendirilmesi. *F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **16(1)**, 31-38.
- Önal, M. K., B. Topcuoğlu, N. Arı, 2003. Toprağa Uygulanan Kentsel Arıtma Çamurunun Domates Bitkisine Etkisi. II. Gelişme ve meyve özellikleri ile meyvede mineral içerikleri. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, **16(1)**; 97-106.
- Pedrano, N. J., J. Gomez, M. R. Moral, L. Mataix, 1996. Improving the Agricultural Value of Semiarid Soil by Addition of Sewage Sludge and Almond Residue. *Agriculture, Ecosystem & Environment*, **58(2-3)**:1-6.
- Pinamonti, F., G. Stringari, F. Gasperi and G. Zorzi, 1997. The use of compost: its effects on heavy metal levels in soil and plants. *Resources, Conservation and Recycling*, **21**: 129-143.
- Pinamonti, F., Nicolini, G., Dalpiaz, A., Stringari, G. and Zorzi, G., 1999. Compost use in viticulture: effects on heavy metal levels in soil and plants. *Commun. Soil Sci. Plan.* **30 (9-10)**, 1531-1549.
- Radthe, U. 1993. Schwermetalle. Untersuchungen zur Schwermetallverteilung und Dynamik in Rezenten Boeden, Palaoboden, Flugsedimenten, Mooren und Kinderspielplätzen. *Duseldorf Geographische Schriften, Vol:31*.
- Rechigil, J.E., 1995. Use of Sludges on Pastures. *The Florida Cattleman and Livestock Journal . March 1995. One Reports*
- Reed, B.E., P.E. Carriere and M.R. Matsumoto, 1991 Applying sludge on agricultural land. *Biocycle*, **32:7**, 58-60.
- Reeves, R., Baker, A.J.M. 2000. Metal- accumulating Plants. In:Raskin, I., Ensley, B.D. Phytoremediation of Toxic Metals: *Using Plants to Celan Up the Environment. John Wiley*, 193-229.
- Richards, L.A., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils. *Handbook: 60, U.S. Dept. Of Agriculture*



- Schiccker, H., Haddar, C. 1999. Response of Antioxidative Enzymes to Nickel and Cadmium Stress in Hyperaccumulator Plants of Genus Alyssum, *Physiol. Plant* **105**: 39–44.
- Sloan, J.J., R.H. Dowdy, M.S. Dolan , Linden, D. R, (1997). Long-Term Effects of Biosolids Applications on Heavy Metal Bioavailability in Agricultural Soils. *J.Environmental Quality*; **26**: 966-974.
- Sloan, J.J., R.H. Dowdy, M.S. Dolan .1998 Recovery of Biosolids- Applied Heavy Metals Sixteen Years After Application. *J.Environmental Quality*; **Nov/Dec 1998 ; 27,6; ProQuest Science Journals**
- Sommers, L. E. 1977. Chemical composition of sewage and analysis of their potential use fertilizers. *J.Environmental Quality* , **6**: 225-232
- Spona, K. D., Baum, G. 1993. Untersuchungen zur Pflanzverfolgbarkeit von Blei, Cadmium, Kupfer und Zink auf kontaminierten Böden in einem industriellen Ballungsgebiet. *Duseldorfer Geographische Schriften*, 203–222.
- Şener., S, Gedikoğlu İ, Bilgin N, Güngör H ve Üstün H (1994) Çeşitli Etkenlerle Kirlenen Sulama Sularının Toprak Özelliklerine ve Bitki Verimine Etkisi. *KHGM. APK. Dairesi Başkanlığı Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Şube Müdürlüğü Yayınları no: 80 Ankara*.
- Tabatabai, M.A. and Frankberger, W.T. 1979. Chemical composition of sewage sludges in Iowa. Agriculture and Home Economics Experimental Station, Iowa State University of Sci. and Technology Research Bulletin, 586.
- Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations. P . 159-165. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Monography No:9, A.S.A- S.S.S.A., Madison, Wisconsin, USA.
- Topçuoğlu, B. Önal, M.K., Arı, N., 2003. Toprağa Uygulanan Kentsel Arıtma Çamurunun Domates Bitkisine Etkisi I. Bitki Besinleri Ve Ağır Metal İçerikleri. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. **16(1)**: 87–96.
- Türkmen, C. *Kireçli Toprak Sisteminde Kentsel Arıtma Çamurunun Arpa Bitkisinin Gelişimi Bazı Ağır Metallerin Alımı Üzerine Etkisi*. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi (2004).

- Türkmen, C., Karaca, A. ve Arcak, S. 2001. Influence of sewage sludge application on heavy metal availability of soil and barley crop. *Soil Sci. Agrochemistry and Ecology Vol. 36*, No: 4-6, Sofia.
- Türkmen, C. Arcak, S. 2004 Kentsel Arıtma Çamuru ve Azot Uygulamalarının Kireçli Topraklarda Arpa Bitkisinin Verimi ve Ağır Metal Kirliliğine Etkileri. *IV Ulusal Bitki Besleme Kongresi (2008) Bildiriler Kitabı*; 871-885
- Yakupoğlu, T. N. Özdemir. 2007. Erozyona Uğramış Topraklara Uygulanan Arıtma Çamuru ve Çay Endüstrisi Atığının Toprakların Mikro Element İçeriklerine Etkileri. *OMÜ Zir. Fak. Dergisi*, 22(2);207-213
- Villarroel De, J.R., Chang, A.C. and Amrhein, C. 1993. Cd and Zn Phytoavailability of a field-stabilized sludge treated soil. *Soil Science*, 155(3):197-205.
- Walkley, A., 1947. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and inorganic soil constituent. *Soil. Sci.* 63: 251-263.
- Walter, I., Martínez, F., Alonso, L., Gracia, J., Cuevas, G., (2001) Extractable soil heavy metals following the cessation of biosolids application to agricultural soil. *Environmental Pollution* 117 (2002), 315–321
- Warman, P.R., 2001. Municipal solid waste compost effects tomato leaf tissue: essential plant nutrients and trace elements. *In Proceedings of the 6th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements*, Guelph, ON, p. 167.
- Wang, P., Zang, S., Wang, C., Hou, J., Guo, P., Lin, Z., (2008). Study of heavy metal in sewage sludge and in Chinese cabbage grown in soil amended with sewage sludge. *African Journal of Biotechnology* (7).p.p. 1329-1334.
- Wang, C.X., MO, Z., Wang H., Wang, Z.J., CAO, Z.H. 2003. The Transportation, Time-Dependent Distribution of Heavy Metals in Paddy Crops. *Chemosphere*. 50: 717–723.
- White, C.S., S.R. Loftin and R. Aguilar, 1997 Application of biosolid to degraded semiarid rangeland: Nine-year responses. *J. Environ. Qual.* 26: 1663-1671.
- Wong, J. W.C., Su, D.C., 1997. The Growth of *Agropyron Elongatum* in an Artificial Soil Mix from Coal Fly Ash and Sewage Sludge. *Bioresource Technology*, 59: 57-62

- Yuan, G., and Lavkulich, L.M. 1997. Sorption behaviour of C, Zn, Cd in respons to stimulated changes in soil proproperties. Commun. *Soil Sci. Plant Anal.* **28**: 571-587.
- Yürük, A., 2005. *Arıtma Çamuru Uygulamalarının Nohut ve Fasulyenin Farklı Organlarında Ağır Metal Birikimine Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi). Y.Y.Ü. Fen Bilimleri Ens. Van.
- Yürük, A., Bozkurt, M. A., 2006. Heavy Metal Accumulation in Different Organs of Plants Grown Under High Sewage Sludge Doses. *Frensenius Environmental Bulletin* **15**:107-112.

## ÖZ GEÇMİŞ

28.09.1985 yılında Van doğdu. İlkokulu İnönü ilk öğretim okulunda, ortaokulu Kazım Karabekir Lisesinde, lise öğrenimini Özel Serhat Lisesi'nde tamamladı. 2004 yılında Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ziraat Mühendisliğini kazandı. 2008 yılında mezun oldu. Aynı yıl Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim dalında yüksek lisansa başladı. Halen Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olarak devam etmektedir.