

**FARKLI KÖKENLİ ARITMA ÇAMURLARININ
TARIMSAL AMAÇLI KULLANIM
OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI**

Barış Bülent AŞIK



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI KÖKENLİ ARITMA ÇAMURLARININ TARIMSAL AMAÇLI
KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI**

Barış Bülent AŞIK

Prof.Dr. A. Vahap KATKAT
(Danışman)

DOKTORA TEZİ

TOPRAK BİLİMİ ve BİTKİ BESLEME
ANABİLİM DALI

BURSA-2011
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Barış Bülent AŞIK tarafından hazırlanan “Farklı Kökenli Arıtma Çamurlarının Tarımsal Amaçlı Kullanım Olanaklarının Araştırılması” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. A. Vahap KATKAT

Başkan Prof.Dr. A. Vahap KATKAT
Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Üye Prof. Dr. Hüseyin Savaş BAŞKAYA
Uludağ Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye Prof.Dr. Cumhuriyet AYDINALP
Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Üye Prof.Dr. Şenay AYDIN
Celal Bayar Üni. Alaşehir Mes. Yük. Okulu
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Üye Doç.Dr. Ertuğrul AKSOY
Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Kadri ARSLAN
Enstitü Müdürü
08/07/2011

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

08.07.2011

Bariş Bülent AŞIK

ÖZET

Doktora Tezi

FARKLI KÖKENLİ ARITMA ÇAMURLARININ TARIMSAL AMAÇLI
KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI**Barış Bülent AŞIK**Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. A. Vahap KATKAT

Çalışma kapsamında Bursa ilinde 10 farklı kanalizasyon, organize sanayi bölgesi ve gıda sanayi atıksu arıtma çamurları, bir yıl süresince kimi tarımsal özellikler ve ağır metal içerikleri açısından değerlendirilmiştir. Arıtma çamurlarının pH'sı Mauri maya arıtma çamuru haricinde (9,74-10,12) hafif asit ve nötr (5,73-7,54) özellikte olduğu belirlenmiştir. Arıtma çamurlarının EC değerleri 1,41-5,56 mS cm⁻¹ arasında bulunmuştur. Anaerobik arıtım yapan Mauri maya arıtma çamuru EC değerleri ise 19,23-37,17 mS cm⁻¹ arasında değişim göstermiştir. Arıtma çamurlarının organik madde içerikleri %17,30-74,76 arasında değişim göstermiştir. Arıtma çamurlarının toplam N, NH₄-N, toplam P, alınabilir P içerikleri kanalizasyon kökenli Buski ve Yenice belediyesi çamurunda yüksek bulunmuştur. Toplam N % 1,36-7,71, NH₄-N iz-1673,8 mg kg⁻¹, toplam P %0,10-2,79, alınabilir P 30,66-4416,8 mg kg⁻¹ arasında değişim göstermiştir. Arıtma çamurlarının K, Ca, Mg ve Na içerikleri sırası ile %0,01-6,43, %0,54-22,92, %0,06-1,81, %0,08-4,94 arasında değişim göstermiştir.

Arıtma çamurlarının toplam ve DTPA (diethylene triamine pentaacetic acid) ile ekstrakte edilebilir ağır metal içerikleri belirlenmiş ve yönetmelikte belirtilen sınır değerlerle karşılaştırılmıştır. BISO arıtma çamuru Cr, Ni, ve Zn, Yenice Belediyesi'ne ait arıtma çamuru ise Ni içeriği bakımından sınır değerlerin üzerinde bulunmuştur. Diğer arıtma çamurları ise ağır metaller bakımından sınır değerlerin altında belirlenmiştir. DTPA ile ekstrakte edilebilir ağır metallerin toplam miktara oranları açısından metaller Zn>Cu>Ni>Pb>Mn>Fe>Cd>Cr şeklinde sıralanmıştır.

Arıtma çamurları, uygulama düzeylerine bağlı olarak Mauri Gıda arıtma çamuru haricinde toprakların pH değerini düşürmüş, EC değerini yükseltmiştir. Uygulama düzeylerine bağlı olarak toprakların NH₄-N, NO₃-N, alınabilir P, değişebilir katyonlar ve DTPA ile ekstrakte edilebilir ağır metal içerikleri artış göstermiştir. İnkübasyon zamanına bağlı olarak NO₃-N içeriği artarken NH₄-N içeriği azalmıştır. İncelenen diğer parametreler çamur ve toprak özelliklerine bağlı olarak değişim göstermiştir.

Arıtma çamurları, mısır bitkisinin gelişimi, bitki besin elementleri ve ağır metal içeriklerini artırmıştır. Çamurların yüksek uygulamaları (8, 12 ve 16 ton da⁻¹) bitki kuru ağırlığını önceki uygulamalara göre azaltmıştır. Çamur uygulamaları ile kireç içeriği yüksek Görükle serisi toprakta Mauri arıtma çamuru uygulamasında Fe içeriği sınır

değerin altında bulunmuştur. Bitkilerin Cu, Mn, Cd, Cr, Ni ve Pb içerikleri ęamur uygulamaları ile sınır değerler arasında belirlenirken, Buski arıtma ęamuru uygulamalarında Zn içerikleri sınır değerlerin üzerinde bulunmuştur. Değerlendirilen parametreler ęamur ve toprak özelliklerine göre değişim göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Arıtma ęamuru, tarımsal kullanım, bitki besin elementi, ağır metal, toprak, bitki

2011, xi+129 sayfa

ABSTRACT

PhD Thesis

EVALUATION OF DIFFERENT WASTEWATER SLUDGES FOR POSSIBLE
AGRICULTURAL USE**Barış Bülent AŞIK**

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Soil Science and Plant Nutrition

Supervisor: Prof. Dr. A. Vahap KATKAT

The some agricultural properties and heavy metal contents of ten different wastewater treatment sludges from industrial area and the food industry of the Bursa province were evaluated for one years in this project. The sludge pH was determined mild acid and neutral (5,73-7,54) except Mauri yeast sludge (9,74-10,12). EC values of sewage sludge were found between 1,41 and 5,56 mS cm⁻¹. EC values have changed between 19,23-37,17 mS cm⁻¹ in the anaerobic digestion of Mauri yeast sewage sludge. The organic matter contents of sewage sludges were changed between 17,30-74,76%. The total N, NH₄-N, total P, available P contents of sewage sludges were found high level in municipal sewage of Buski and Yenice. The value of total N from 1,36-7,71%, NH₄-N from trace-1673,8 mg kg⁻¹, total P from 0,10 to 2,79%, available P from 30,66 to 4416,8 mg kg⁻¹ was changed. The contents of K, Ca, Mg and Na in sewage sludge were ranged from 0,01 to 6,43%, 0,54-22,92%, 0,06-1,81%, 0,08-4,94% respectively.

The total and DTPA (diethylene triamine pentaacetic acid) extractable heavy metal contents of sewage sludge were determined and compared according to regulations with the limit values. The contents of Cr, Ni and Zn in the BTSO sewage sludge and also Ni in the sludge of the Yenice municipality were found above the limit values. Other sewage sludges were examined in terms of heavy metals and found below the limit values during for two years investigation. The DTPA extractable heavy metals with the total amount of metals in terms of relative rates of Zn>Cu>Ni>Pb>Mn>Fe>Cd>Cr were found in this order.

The soil pH reduced and EC value increased according to the level of sludge application except Mauri yeast. In addition soil NH₄-N, NO₃-N, available P, exchangeable cations, and DTPA extractable heavy metal amounts increased with application rate of sewage sludge. NO₃-N content increased according to time of incubation while NH₄-N content decreased. Other examined parameters varied according to soil and sludge properties.

The plant growth, nutrient and heavy metal contents in the experimental plants of maize and colza have increased according to sludge application. Plant dry weight decreased with high sludge application rates (8, 12 and 16 tons⁻¹). Fe content was below the limit

value in the soil series of Görükle with a high content of lime that Mauri sewage sludge application done. The Cu, Mn, Cd, Cr, Ni and Pb content of plants were determined in limit values, therefore Zn content was above the limit values. Assessed parameters were changed according to the sludge and soil properties.

Key words: Wastewater sludge, agricultural use, plant nutrient, heavy metal, soil, plant

2011, xi+129 pages.

TEŞEKKÜR

Bana bu konuda çalışma olanağı sağlayan ve çalışmalarımın her aşamasında yardımını gördüğüm, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım danışmanım Prof. Dr. A. Vahap KATKAT'a, araştırma süresince ilgi ve yardımlarını esirgemeyen bölümümüz öğretim üyelerinden Prof. Dr. Cumhuriyet AYDINALP'e ve U.Ü. Çevre Mühendisliği öğretim üyesi Prof. Dr. H. Savaş BAŞKAYA'ya, toprak örneklerinin alımı aşamasında desteklerini gördüğüm Araş. Gör. Dr. Hakan ÇELİK ve Araş. Gör. Dr. Gökhan ÖZSOY'a, arazi ve laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Zir. Yüksek Müh. Mustafa BIYIKLI'ya, denemelerin hasatında yardımcı olan Araş. Gör. Dr. Murat Ali TURAN ve Serhat GÜREL'e, en son olarak her zaman yanımda olan eşim Ziraat Yüksek Mühendisi Ferrin Ferda AŞIK'a teşekkür ederim.

Barış Bülent AŞIK

08.07.2011

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
1.GİRİŞ	1
2.KAYNAK ÖZETLERİ	4
2.1. Arıtma Çamurlarının Tarımsal Amaçlı Topraklara Uygulanmasına İlişkin Yönetmelikler	4
2.2. Arıtma Çamurlarının Kimyasal Karakterizasyonu ve Tarımsal Özelliklerinin Belirlenmesine Yönelik Çalışmalar	11
2.3. Arıtma Çamurlarının Bitki Gelişimi ve Toprak Özellikleri Üzerine Etkisine İlişkin Çalışmalar	21
2.4. ABD, Avrupa Birliği ve Ülkemizde Arıtma Çamurlarının Değerlendirilmesi	34
3. MATERYAL ve YÖNTEM	38
3.1. Arıtma Çamurlarının Tarımsal Özelliklerinin Belirlenmesi	38
3.1.1. Arıtma çamurlarının alındığı arıtma tesisleri	38
3.1.2. Arıtma çamurlarından örnek alınması, analize hazırlanması ve yapılan analizler	39
3.2. Arıtma Çamurlarının Toprak Özellikleri ve Bitki Gelişimi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi	41
3.2.1. İnkübasyon denemesi	41
3.2.2. Sera Denemesinin Kurulması ve Yürütülmesi	45
3.3 İstatistiksel Analizler	46
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	47
4.1. Arıtma Çamurlarının Kimi Tarımsal Özellikleri	47
4.2. Arıtma Çamurlarının Toplam ve DTPA ile Ekstrakte Edilebilir Ağır Metal İçerikleri	50
4.3. İnkübasyon Denemesi	56
4.3.1. Arıtma çamurlarının toprak özellikleri üzerine etkisi	56
4.3.1.1. Arıtma çamurlarının toprakların pH ve EC değeri üzerine etkisi	56
4.3.1.2. Arıtma çamurlarının toprakların NH ₄ -N ve NO ₃ -N miktarı üzerine etkisi	61
4.3.1.3. Arıtma çamurlarının toprakların alınabilir P miktarı üzerine etkisi	66
4.3.1.4. Arıtma Çamurlarının Toprakların değişebilir K, Ca, Mg ve Na Miktarı Üzerine Etkisi	68
4.3.1.5. Arıtma çamurlarının toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir kimi ağır metal miktarları üzerine etkisi	76
4.4. Arıtma Çamurlarının Bitki Gelişimi Üzerine Etkisinin Belirlenmesi	92
4.4.1. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi gelişimi ve kimi besin elementi içeriği üzerine etkisi	92
4.4.2. Mısır bitkisi kimi ağır metal içeriği üzerine arıtma çamurlarının etkisi	100
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	112
KAYNAKLAR	114
ÖZGEÇMİŞ	128

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
°C	Santigrat derece
%	Yüzde
p<0.01	Yüzde bir önem seviyesi
p<0.05	Yüzde beş önem seviyesi
öd	Önemli değil
kg	Kilogram
g	Gram
da	Dekar
ha	Hektar
mg	Miligram
pH	Hidrojen iyonu konsantasyonu (asitlik derecesi)
EC	Elektiriksel iletkenlik (tuzluluk)
t	Ton

Kısaltmalar	Açıklama
US EPA	United States Environmental Protection Agency
MPN	Most Probable Number
DTPA	Diethylene triamine pentaacetic acid
EDTA	Ethylene diamine tetraacetic acid
BCR	Community Bureau of Reference
PAH	Polycyclic aromatic hydrocarbons
EU	European Union
KDK	Katyon değişim kapasitesi
BUSKİ	Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi
FAO	Food and Agriculture Organization
APHA	American Public Health Association
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Avrupa Birliği arıtma çamuru ağır metal sınır değerleri	4
Çizelge 2.2. ABD’de arıtma çamuru ağır metal sınır değerleri	5
Çizelge 2.3. Ülkemizde toprak ve arıtma çamuru ağır metal sınır değerleri	5
Çizelge 2.4. Kimi ülkelerde arıtma çamurlarında izin verilen ağır metal miktarları	6
Çizelge 2.5 . Arıtma çamurlarının patojen organizma içerikleri	7
Çizelge 2.6. A ve B sınıfı arıtma çamurlarının toprağa uygulama sınırlandırmaları	10
Çizelge 2.7. Arıtma çamurlarındaki patojen organizmalar ve bunları topraktaki yaşam süreleri	10
Çizelge 2.8. Yüksek ve Geleneksel Standart sınıfı arıtma çamurlarının toprağa uygulama sınırlandırmaları	11
Çizelge 2.9. Arıtma çamurlarının kimyasal özelliklerindeki değişimler	12
Çizelge 2.10. Arıtma çamurlarının kimyasal karakterizasyonu	13
Çizelge 2.11. Malezya arıtma çamurlarının kimi özellikleri	15
Çizelge 2.12. Maine Bölgesi B sınıfı arıtma çamurlarının bitki besin elementi içerikleri	16
Çizelge 2.13. Arıtma çamurlarının tarımsal özelliklerinin değişimi	16
Çizelge 2.14. Arıtma çamurlarının ağır metal içeriklerinin değişimi	17
Çizelge 2.15. Arıtma çamuru ağır metal içerikleri	17
Çizelge 2.16. Kentsel ve endüstriyel arıtma çamurlarının kimyasal özellikleri	18
Çizelge 2.17. Farklı arıtma çamurlarının ağır metal içerikleri	19
Çizelge 2.18. Farklı arıtma çamurlarının iki yıllık ortalama değer olarak kimi özellikleri	20
Çizelge 2.19. Değişik bitkilerde kimi elementlerin yeterli ve toksik sınır değerleri	21
Çizelge 2.20. ABD’de yıllara göre arıtma çamuru uzaklaştırma yöntemleri	35
Çizelge 2.21. Bazı Avrupa ülkelerde arıtma çamuru uzaklaştırma yöntemleri	35
Çizelge 2.22. Ülkemizde arıtma çamuru uzaklaştırma yöntemleri	36
Çizelge 2.23. Avrupa ülkelerinde izin verilen arıtma çamuru uygulama miktarları	37
Çizelge 3.1. Çalışma kapsamında örnek alınan arıtma tesisleri	38
Çizelge 3.2. Arıtma çamurlarının karakterizasyonu amacıyla örnekleme zamanının belirlenmesi	39
Çizelge 3.3. Proje kapsamında kullanılan toprakların toprak taksonomisi (1975 ve 1999) ve FAO\Unesco (1974 ve 1990) sınıflandırma sistemlerine göre sınıflandırılması	41
Çizelge 3.4. Çalışmada kullanılan toprakların kimi özellikleri	42
Çizelge 3.5. Denemede kullanılan arıtma çamurlarının kimi özellikleri	43
Çizelge 4.1. Arıtma çamurlarının kimi tarımsal özellikleri	48
Çizelge 4.2. Kanalizasyon ve sanayi kökenli arıtma çamurlarının örnekleme dönemlerine ait ağır metal içerikleri	54
Çizelge 4.3. Gıda sanayi kökenli arıtma çamurlarının örnekleme dönemlerine ait ağır metal içerikleri	55

Çizelge 4.4. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta pH değeri üzerine etkileri	57
Çizelge 4.5. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta EC değeri üzerine etkileri	60
Çizelge 4.6. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta $\text{NH}_4\text{-N}$ üzerine etkileri	63
Çizelge 4.7. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta $\text{NO}_3\text{-N}$ üzerine etkileri	64
Çizelge 4.8. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta alınabilir P miktarı üzerine etkileri	67
Çizelge 4.9. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta değişebilir K miktarı üzerine etkileri	70
Çizelge 4.10. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta değişebilir Ca miktarı üzerine etkileri	71
Çizelge 4.11. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta değişebilir Mg miktarı üzerine etkileri	73
Çizelge 4.12. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta değişebilir Na miktarı üzerine etkileri	74
Çizelge 4.13. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe miktarı üzerine etkileri	78
Çizelge 4.14. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir Cu miktarı üzerine etkileri	79
Çizelge 4.15. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir Mn miktarı üzerine etkileri	81
Çizelge 4.16. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir Zn miktarı üzerine etkileri	82
Çizelge 4.17. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd miktarı üzerine etkileri	85
Çizelge 4.18. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir Cr miktarı üzerine etkileri	86
Çizelge 4.19. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir Ni miktarı üzerine etkileri	88
Çizelge 4.20. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir Pb miktarı üzerine etkileri	89
Çizelge 4.21. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının mısır bitkisi gelişimi ve bitki besin elementi içeriği üzerine etkisi	93
Çizelge 4.22. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının mısır bitkisi kimi element ve ağır metal içeriği üzerine arıtma çamurlarının etkisi	103

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 4.1. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların pH değerindeki değişimler	58
Şekil 4.2. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların EC değerindeki değişimler	51
Şekil 4.3. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların NH ₄ -N değerindeki değişimler	65
Şekil 4.4. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların NO ₃ -N değerindeki değişimler	65
Şekil 4.5. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların alınabilir P değerindeki değişimler	68
Şekil 4.6. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların değişebilir K değerindeki değişimler	72
Şekil 4.7. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların değişebilir Ca değerindeki değişimler	72
Şekil 4.8. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların değişebilir Mg değerindeki değişimler	75
Şekil 4.9. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların değişebilir Na değerindeki değişimler	75
Şekil 4.10. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe değerindeki değişimler	80
Şekil 4.11. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir Cu değerindeki değişimler	80
Şekil 4.12. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir Mn değerindeki değişimler	83
Şekil 4.13. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir Zn değerindeki değişimler	83
Şekil 4.14. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd değerindeki değişimler	87
Şekil 4.15. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir Cr değerindeki değişimler	87
Şekil 4.16. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir Ni değerindeki değişimler	90
Şekil 4.17. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir Pb değerindeki değişimler	90

Şekil 4.18. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi kuru ağırlığı üzerine etkisi	94
Şekil 4.19. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi azot içeriği üzerine etkisi	94
Şekil 4.20. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi fosfor içeriği üzerine etkisi	96
Şekil 4.21. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi potasyum içeriği üzerine etkisi	97
Şekil 4.22. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi kalsiyum içeriği üzerine etkisi	97
Şekil 4.23. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi magnezyum içeriği üzerine etkisi	99
Şekil 4.24. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi sodyum içeriği üzerine etkisi	99
Şekil 4.25. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi demir içeriği üzerine etkisi	104
Şekil 4.26. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi çinko içeriği üzerine etkisi	104
Şekil 4.27. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi mangan içeriği üzerine etkisi	105
Şekil 4.28. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi bakır içeriği üzerine etkisi	105
Şekil 4.29. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi kadmiyum içeriği üzerine etkisi	106
Şekil 4.30. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi krom içeriği üzerine etkisi	106
Şekil 4.31. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi nikel içeriği üzerine etkisi	107

1. GİRİŞ

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de sanayileşme ve hızlı nüfus artışına paralel olarak çevre kirliliğine neden olan atıkların miktarları da artış göstermektedir. Özellikle kurulması ve çalışması zorunlu hale gelen arıtma tesislerinde, atık suların arıtılmasından geriye kalan arıtma çamuru miktarı giderek artmaktadır. Atıksu arıtım işlemleri sonucu oluşan arıtma çamurları fabrikaların kullanım sahalarında büyük alanlar işgal ederek çalışma düzenini bozmakta, depolama sorunları yaratmakta ve önemli çevre sorunlarına yol açmaktadır (Kütük ve ark. 2000). Bu nedenlerden dolayı arıtma çamurlarının ne şekilde bertaraf edileceği veya değerlendirileceği ülkelerin çevresel yaklaşımında önemli bir yer tutmaktadır. Bu durum atık çamurların çevreyle uyumlu bir şekilde yok edilmesi veya uzaklaştırılmasını temel amaç haline getirmiştir. Bu yaklaşım çerçevesinde arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı olarak toprağa uygulanması genel kabul gören fikirlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle araştırmacılar gün geçtikçe artan arıtma çamurlarının nitelikleri, değerlendirilebilme olanakları ve sorunları ile ilgili çalışmalara yönelmişlerdir.

Arıtma çamurlarının tarımsal olarak topraklara uygulanmasında temel amaç, toprakların olumsuz özelliklerinin düzenlemesi ve bitki gelişimi açısından içermiş olduğu kimi bitki besin elementlerinden faydalanılmaktır. Ancak arıtma çamurlarının içermiş olduğu başta ağır metaller olmak üzere kimi zararlı bileşikler bu kullanımı sınırlandırmaktadır. Bu nedenlerden dolayı arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı olarak kullanımında önemle üzerine durulması gereken noktalardan biri de bu çamurların tarımsal özellikleri ve içerdikleri ağır metallerdir. Arıtma çamurlarının tarımsal özellikleri olarak öncelikle organik madde içeriği, pH, elektriksel iletkenlik (EC), toplam azot ve inorganik azot miktarı, toplam ve alınabilir fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum gibi diğer elementlerle mikro besin element içeriklerinin (Fe, Cu, Zn, Mn vb) belirlenmesi gerekmektedir. Arıtma çamuru uygulaması ile toprakların organik madde içerikleri artmakta ve toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin düzeltilmesi sağlanmaktadır. Ayrıca içerdiği azot ve fosfor gibi besin elementleri nedeniyle de bitki gelişimini ve toprak verimliliğini artırmaktadır.

Arıtma çamurları farklı düzeylerde Cd, Cr, Ni, Pb, Zn, Cu vb. ağır metaller içerebilmektedirler. Arıtma çamuru uygulamaları ile toprakların ağır metal içeriklerinde artışlar gözlenmektedir. Aşırı veya yanlış uygulamalarda toprakta meydana gelen ağır metal birikimleri hem toprak ekosistemine hem de gıda zincirine girerek insan sağlığı açısından sorunlar yaratabilmektedir. Bu nedenle arıtma çamurlarının ağır metal içeriklerinin analiz edilmesi ve yönetmeliklerde belirtilen sınır değerlerle karşılaştırılması gerekmektedir. Bu amaçla son yıllarda ağır metal analizlerinde toplam ağır metal miktarının yanısıra bu ağır metallerin değişik formlarının ve yarıyşlı miktarlarının da belirlendiği ekstraksiyon yöntemleri uygulanmaktadır (Tessier ve ark. 1979, Ure ve ark. 1993). Bu şekilde toprakta meydana gelebilecek ağır metal birikiminin etkisi daha açık bir şekilde ortaya konulabilmektedir.

Arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı kullanımına yönelik yapılmış çalışmalar, çamurun orijini ve içermiş olduğu ağır metal miktarı (Soumare ve ark.2002), uygulama düzeyi (Gasco ve Lobo, 2007), uygulanan toprak özellikleri (Karami ve ark. 2009) ve bitki türü gibi faktörlerin göz önünde bulundurulması gerektiğini ortaya koymuştur.

Marmara Bölgesi'nde şehirleşme ve sanayinin birbirine paralel olarak geliştiği Bursa ilinde birçok organize sanayi bölgesi (OSB) yer almaktadır. Ayrıca Bursa bölgesinde tarımın gelişmiş olmasından dolayı farklı tarım ürünlerini işleyen fabrikalar bulunmaktadır. Bu fabrikaların arıtma çamurlarının gıda özelliği olan ve insanlar tarafından tüketilen bir endüstri atığı olması nedeniyle genelde olumsuz özelliklerinin olmadığı, organik madde ve bitki besin elementleri açısından tarımda kullanılabilir bir materyal olabileceği düşünülmektedir. Ancak ortaya çıkan bu atıkların toprağa uygulanmadan önce özelliklerinin ayrıntılı çalışmalarla belirlenmesi, tarımsal kullanım ve çevresel etki açısından pek çok yarar sağlayacaktır. Aksi takdirde toprak ekosistemi ve bitki gelişimi için zararlı etmenler içeren atıkların olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılması çok zor olmaktadır.

Çalışmada bir yıl süre ile farklı kökenli arıtma çamurlarının (kanalizasyon, OSB, aerobik ve anaerobik gıda) tarımsal özellikleri ile ağır metal içerikleri belirlenmiş ve yönetmelikte belirtilen sınır değerlerle karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte arıtma çamurlarının farklı özellikteki toprak serilerine (Görükle ve Çiftlik) uygulanması ile

toprak özellikleri ve bitki gelişimi üzerine etkisi belirlenmeye çalışılarak tarımsal amaçlı kullanım olanakları araştırılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Arıtma Çamurlarının Tarımsal Amaçlı Topraklara Uygulanmasına İlişkin Yönetmelikler

Arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı kullanımı birçok ülkede uzun yıllardır gerçekleştirilmektedir. Arıtma çamurlarının çevreye zarar vermeden giderilmesi büyük önem taşıdığından, zamanla konuyla ilgili uluslararası koşullarda ve özellikle de son yıllarda ülkemizde bazı düzenlemeler yapılmıştır. Ülkeler açısından bu sınırlamalar ve yönetmelikler incelendiğinde ülkelerin yönetmelikleri arasında da farklılıklar olduğu görülmektedir.

Arıtma çamurlarının toprağa uygulanması ve tarımsal amaçlı kullanımı ile ilgili Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (US EPA) tarafından 1993’de düzenlenen ve (40 CFR Part 503), Avrupa Birliği’ne üye ülkeler tarafından kabul edilen ve (86/278/EEC) olarak bilinen yönetmelikler hazırlanmıştır (EEC Directive 1986). Bu konuda ülkemizdeki yasal mevzuat ve önlemler incelendiğinde ise, arıtma çamurlarının tarımda kullanılması, 09.08.1983 tarihli ve 2872 sayılı Çevre Kanununun 11 inci maddesi ve 01.05.2003 tarihli ve 4856 sayılı Çevre ve Orman Bakanlığı Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanunun 2’nci ve 9’uncu maddesi gereğince hazırlanan en son olarak 03.08.2010 yıl, 27661 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik”in 5 ve 6. maddelerinde ham çamur ve stabilize arıtma çamurunun kullanımı ile ilgili sınırlamalar ve yasaklar belirtilmiştir. Çizelge 2.1’de Avrupa Birliği, Çizelge 2.2’de Amerika Birleşik Devletleri (US EPA 1993) ve Çizelge 2.3’de Türkiye’de arıtma çamuru uygulamaları ile ilgili olarak ağır metal sınır değerleri verilmiştir (Anonim 2010).

Çizelge 2.1. Avrupa Birliği arıtma çamuru ağır metal sınır değerleri (86/278/EEC)

Ağır metaller	Toprak ¹	Arıtma çamuru ²	Yıllık sınır değer ³
Kadmiyum, Cd	1-3	20-40	0,15
Bakır, Cu	50-140	1000-1750	12
Civa, Hg	1-1,5	16-25	0,1
Nikel, Ni	30-75	300-400	3
Kurşun, Pb	50-300	750-1200	15
Çinko, Zn	150-300	2500-4000	30

¹. Topraktaki sınır konsantrasyonlar, mg kg⁻¹

². Tarımsal amaçlı kullanım için arıtma çamuru sınır konsantrasyonları, mg kg⁻¹

³. Toprakta on yıllık ortalama esas alınarak bir yılda toprağa verilmesine izin verilecek ağır metal yükü sınır değeri, kg⁻¹ha⁻¹ yıl⁻¹

Çizelge 2.2. ABD’de arıtma çamuru ağır metal sınır değerleri (40 CFR Part 503)

Ağır metaller	Üst sınır	Alt sınır	Yıllık sınır değer ¹
Arsenik, As	75	41	2,0
Kadmiyum, Cd	85	39	1,9
Krom, Cr	3000	1200	150
Bakır, Cu	4300	1500	75
Kurşun, Pb	840	300	15
Civa, Hg	57	17	0,85
Molibden, Mo	75	-	-
Nikel, Ni	420	420	21
Selenyum, Se	100	36	5,0
Çinko, Zn	7500	2800	140

¹ Toprakta on yıllık ortalama esas alınarak bir yılda toprağa verilmesine izin verilecek ağır metal yükü sınır değeri, $\text{kg}^{-1}\text{ha}^{-1}\text{yıl}^{-1}$

Çizelge 2.3. Ülkemizde toprak ve arıtma çamuru ağır metal sınır değerleri (Anonim 2010)

Ağır metaller	Ek 1-A		Ek 1-B	Ek 1-E**
	Toprak ¹		Arıtma çamuru ²	Yıllık sınır değer ³
	pH 5-6	pH>6		
Kurşun, Pb	70	100	750	225
Kadmiyum, Cd	1	1,5	10	3
Krom, Cr	60	100	1000	300
Bakır, Cu	50	100	1000	300
Nikel, Ni	50	70	300	90
Çinko, Zn	150	200	2500	750
Civa, Hg	0,5	1	10	3

¹ Topraktaki ağır metal sınır değerleri, mg kg^{-1}

² Toprakta kullanılabilecek stabilize arıtma çamurunda izin verilecek ağır metal sınır değerleri, mg kg^{-1}

³ Toprakta on yıllık ortalama esas alınarak bir yılda toprağa verilmesine izin verilecek ağır metal yükü sınır değeri, $\text{g}^{-1}\text{da}^{-1}\text{yıl}^{-1}$

Ağır metal değerleri açısından uygulanan sınırlamalar ülkelerin kendi iklim, toprak ve çevre şartlarına göre değişmektedir. Bu değişim Amerika’daki eyaletlerde ve Avrupa Birliğine üye ülkelerde kendi ulusal yönetmeliklerinde belirtilmiştir (Anonim 2002). Avrupa Birliği ülkelerinde arıtma çamuru uygulama sonucu topraktaki ağır metal konsantrasyonunun belirlenmesi önemle belirtilmiştir. Ayrıca birliğe üye ülkelerin bazıları (86/278/EEC) yönetmeliğine ek olarak bazı sınırlamalar da getirmişlerdir. US EPA tarafından ise arıtma çamurunun uygulandığı toprakların pH ve KDK gibi özelliklerinin göz önünde bulundurulması gerekliliği belirtilmiştir (Bilgin ve ark. 2002). Bazı Avrupa ülkelerin de arıtma çamurunda izin verilen ağır metal konsantrasyonları Çizelge 2.4’de verilmiştir (Harrison ve ark. 1999, Anonim 2001a).

US EPA tarafından hazırlanan yönetmelikte (US EPA 1993) arıtma çamurları A sınıfı (güvenli) ve B sınıfı (bazı kısıtlamalarla kullanılabilir) olarak ikiye ayrılmıştır (Çizelge 2.5). Bu yönetmelikte A sınıfı çamurların doğrudan araziye uygulanması için gerekli parametreler belirtilmiştir. Özellikle patojen giderimini sağlayan dezenfeksiyon yöntemleriyle muamele edilmesi (Kompostlama, ısı ile kurutma, ısıl işlem, termofilik aerobik stabilizasyon, beta ve gama ışını ile ışınlama, pastörizasyon) gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca A sınıfı arıtma çamurlarının ticari olarak satılmadan önce fekal koliform ve salmonella miktarının Çizelge 2.5’de belirtilen miktarları aşmaması gerekmektedir. Bununla birlikte B sınıfı olarak değerlendirilen ve kullanımı sınırlandırılan arıtma çamurları için de bazı parametreler belirtilmiştir. B sınıfı arıtma çamurunda da fekal koliform içeriği ve fekal koliform sayısını belirtilen sınır değere düşürebilecek stabilizasyon yöntemlerinin (aerobik stabilizasyon, hava ile kurutma, anaerobik çürütme, kompostlama, kireç stabilizasyonu) uygulanması gerektiği bildirilmiştir.

Çizelge 2.4. Kimi ülkelerde arıtma çamurlarında izin verilen ağır metal miktarları

Ülkeler	Ağır metaller, mg kg ⁻¹						
	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Almanya	5-10	900	800	8	200	900	2000-2500
Fransa	20-40	1000-2000	1000-2000	10-20	200-400	800-1600	3000-6000
Hollanda	1,25	75	300	0,75	30	100	300
İtalya	20	-	1000	10	300	750	2500
Yunanistan	20-40	500	1000-1750	16-25	300-400	750-1200	2500-4000
Danimarka	0,8	100	1000	0,80	30	120	4000
İsveç	2	100	600	2,5	50	100	800
Norveç	2,5	100	1000	3	50	80	800
Belçika	6-10	250-500	375-600	5-10	100	300-500	900-2000
Finlandiya	1,5-3	300	600	2-11	100	100-150	1500
Lüksemburg	20-40	1000-1750	1000-1750	16-25	300-400	750-1200	2500-4000
Portekiz	20	1000	1000	16	300	750	2500
Estonya	15	1200	800	16	400	900	2900
Litvanya	20	2000	1000	16	300	750	2500
Polonya	10	500	800	5	100	500	2500

Çizelge 2.5. Arıtma çamurlarının patojen organizma içerikleri

Sınıf	İçerik	Kullanım
A	<i>Salmonella sp.</i> <3 MPN 4 g km ⁻¹	Her türlü arazide uygulanabilir.
	veya	
	Fekal koliform (E.coli) <1 000 MPN g km ⁻¹	
	Enteric virusler <1 4 g km ⁻¹	
B	Helminth ova 1 4 g km ⁻¹	Bazı kısıtlamalarla kullanılabilir. Örneğin uygulanan alanda 30 gün süre otlatma yapılmamalıdır.
	Fekal koliform (E.coli) < 2 000 000 MPN g km ⁻¹	

A ve B sınıfı arıtma çamurlarının araziye uygulanmasına getirilen kısıtlamalar Çizelge 2.6'da belirtilmiştir (Evans 2001). Bu kısıtlamaların nedeni çamurdaki helmint yumurtalarının sayısının azalması için gerekli sürenin uzun olmasından kaynaklanmaktadır. Arıtma çamurundaki patojen organizmalar ve bunların topraktaki yaşam süreleri Çizelge 2.7'de verilmiştir.

US EPA'nın uygulamasına benzer şekilde Avrupa Birliği ülkeleri tarafından hazırlanan taslak yönetmeliğinde de arıtma çamurları iki sınıfa ayrılmıştır. Arıtma çamurları "yüksek standartlı" ve "geleneksel standartlı" olarak belirtilmiştir. Belirtilen standartlar için istenen dezenfeksiyonun sağlanması için uygulanması gereken stabilizasyon yöntemleri de ayrıca belirtilmiştir.

1. Yüksek standart için (*ısı ile kurutma, termofilik aerobik stabilizasyon, termofilik anaerobik çürütme, pastörizasyon, kireçleme*) stabilizasyon yöntemlerinin uygulanması ve ayrıca 50 g yaş ağırlıkta *Salmonella spp.* bulunmaması ve *E. coli*'nin <500 MPN g⁻¹ şartının sağlanması gerekmektedir.

2. Geleneksel standart için (*termofilik aerobik stabilizasyon, termofilik anaerobik çürütme, mezofilik anaerobik çürütme, kireç stabilizasyonu, uzun havalandırmalı stabilizasyon*) yöntemlerinin uygulanması gerektiği belirtilmiştir. Bu yönetmelikle belirtilen sınıflardaki arıtma çamurlarının araziye uygulanmasına getirilen sınırlamalar Çizelge 2.8'de belirtilmiştir (Anonim 2001b).

Bu konuda ülkemizdeki yasal mevzuat ve önlemler incelendiğinde, arıtma çamurlarının tarımda kullanılması ile ilgili olarak stabilize edilmemiş ham çamurların sebze, meyve,

orman ve mera alanlarında ve stabilize edilmiş çamurların ise toprakla temas eden sebze ve meyvelerin tarımında kullanılmaması gerektiği bildirilmiştir. Ancak uygulanacak stabilizasyonlar ile ilgili bilgiler verilmemiştir. Yönetmeliğin Ek 1-C bölümünde toprakta kullanılacak stabilize arıtma çamurundaki organik bileşiklerin konsantrasyonlarının ve dioksinlerin sınır değerleri, Ek 1-D bölümünde ise uygulanan stabilizasyon yöntemi sonucunda *E. coli*'nin en az 2 Log10 (% 99) indirgenmesinin sağlanması gerektiği bildirilmiştir (Anonim 2010)

Stabilize arıtma çamurunun kullanma sınırlamaları ve yasakları (Anonim 2010) ile ilgili olarak;

1. Ham çamurun toprakta kullanılması yasaktır.
2. Stabilize arıtma çamurunun toprakta kullanılabilmesi için Ek I-B, Ek I-C ve Ek I-D de verilen değerlerin hiçbirinin aşılmaması gerekmektedir (bkz. Çizelge 2.3).
3. Stabilize arıtma çamurunun uygulanacağı toprakta ağır metal içeriği Ek I-A da verilen değerleri aşamaz. Topraktaki ağır metal konsantrasyonlarından birinin dahi Ek I-A da verilen sınır değerleri aşması durumunda, stabilize arıtma çamurunun toprakta kullanılması yasaktır.
4. Stabilize arıtma çamurunun meyve ağaçları hariç olmak üzere toprağa temas eden ve çiğ olarak yenilen meyve ve sebze ürünlerinin yetiştirilmesi amacıyla kullanılan topraklarda kullanılması yasaktır.
5. Stabilize arıtma çamuru kullanım miktarı belirlenirken, yer üstü/yer altı sularının, toprağın kalitesinin bozulmaması ve bitkilerin besin maddesi gereksinimleri dikkate alınır.
6. Toprağın pH değeri 6 dan küçükse stabilize arıtma çamuru toprağa uygulanamaz.
7. Hayvan otlatma ya da hayvan yemlerinin hasadı yapılacak alanlarda stabilize arıtma çamurunun kullanılması durumunda özellikle coğrafi ve iklim durumları dikkate alınarak kullanımdan en az dört hafta sonra hayvan otlatılabilir ya da hayvan yemlerinin hasadı yapılabilir.
8. Stabilize arıtma çamurlarının, içme ve kullanma suyu temin edilen kıta içi yüzeysel su kaynaklarının havzalarında, içme ve kullanma suyu temin edilen yer altı sularının besleme havzalarında ve mutlak, kısa, orta mesafeli koruma alanlarında ve diğer yüzey sularına 300 metreden yakın olan alanlara uygulanması yasaktır.

9. Stabilize arıtma çamurlarının sulak alanlar, taşkın alanlarında ve taşkın tehlikesi olan alanlarda, don ve karla kaplı alanlarda, sature toprakta uygulanması yasaktır.
10. Yüzey akış tehlikesi olan alanlarda toprak muhafaza tedbirleri alınmadan stabilize arıtma çamurunun uygulanması yasaktır.
11. Stabilize arıtma çamurunun, toprakta on yıllık ortalama esas alınarak her yıl uygulanması halinde, toprağa verilebilecek maksimum ağır metal miktarı Ek I-E de verilen değerleri aşamaz. Sınır değerlere erişmesi halinde toprakta kullanımın durdurulması zorunludur.
12. Stabilize arıtma çamurunun doğal ormanlarda kullanımı yasaktır.
13. Organik madde içeriği %5'den fazla olan topraklarda stabilize arıtma çamuru uygulanmaz.
14. Organik madde içeriği %40'dan az olan stabilize arıtma çamurları toprağa uygulanmaz.
15. Kumlu tekstürlü topraklarda stabilize arıtma çamurları uygulanmaz.
16. Stabilize arıtma çamuru, taban suyu seviyesi yüzeyden 1 metreden daha sığ derinlikte olan yerlerde kullanılamaz.
17. 08.01.2006 tarihli ve 26047 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği'nde yer almayan endüstrilerin atıksularından elde edilen stabilize arıtma çamurları toprağa uygulanmaz.
18. Toprağa uygulanacak stabilize arıtma çamurunun pH değeri 6.0-8.5 arasında olmalıdır.
19. Kapasitesi bir milyon eşdeğer nüfusun üzerinde olan tesislerde oluşan arıtma çamurlarının en az %90 kuru madde değerine kadar kurutulması esastır. Ancak arıtma çamuru üreticileri %90 kuru madde değerine ulaşmadan kullanımının teknik ve ekonomik açıdan uygun olduğunu belgelemesi durumunda Bakanlıkça %90 kuru madde değerine ulaşması şartı aranmaz.
20. Arıtma çamurunun eğimi %12 yi geçen alanlarda kullanılması yasaktır.
21. Stabilize arıtma çamuru, toprağa ekimden önce erken ilkbahar veya geç sonbaharda uygulanmalıdır.

Çizelge 2.6. A ve B sınıfı arıtma çamurlarının toprağa uygulama sınırlandırmaları

Uygulama alanı	A sınıfı	B sınıfı
Yenen kısımları toprağa temas etmeyen bitkiler	Kullanılabilir	Çamurun toprağa uygulanması ile hasat arasında 30 gün süre olmalıdır.
Arıtma çamuruna veya toprağa değen bitkilerin yetiştirildiği alanlar	Kullanılabilir	Çamur uygulama ve hasat dönemi arasında 14 ay süre olmalıdır.
Yumru köklü bitkiler	Kullanılabilir	Çamur toprağa karıştırılmadan önce toprak yüzeyinde 4 ay veya daha fazla kalıyorsa çamurun toprağa uygulanması ile hasat arasında 20 ay, çamur toprağa karıştırılmadan önce toprak yüzeyinde 3 ay veya daha az kalıyorsa çamurun toprağa uygulanması ile hasat arasında 38 ay süre olmalıdır.
Halkın fazlaca kullandığı yeşil alanlar (park, bahçe, futbol sahası)	Kullanılabilir	Alanın kullanımı için 12 ay süre beklenmelidir.
Halkın fazlaca kullanmadığı alanlar		Alanın kullanımı için 30 gün beklenmelidir.
Hayvan otlama alanları	Kullanılabilir	30 gün süre ile otlama yapılmamalıdır.
Halkın kullanmadığı yeşil alanlar (viyadük vb)	Kullanılabilir	30 gün beklenmelidir.

Çizelge 2.7. Arıtma çamurlarındaki patojen organizmalar ve bunların topraktaki yaşam süreleri

Patojenler	Toprakta kalım süresi, gün
Coliform	<38
Streptococci spp.	35-63
Salmonella spp.	15-280
Shigella spp.	<42
Microbacterium spp.	>180
Leptospira spp.	15-43
Entamoeba histolytica	6-8
Enterovirus	<8
Ascaris spp. yumurtası	<7 yıl
Hookworm larvası	42-180
Tania sagiata yumurtası	90-365
Poliovirus	<100

Çizelge 2.8. “Yüksek” ve “Geleneksel Standart” sınıfı arıtma çamurlarının toprağa uygulama sınırlandırmaları

	Yüksek Standart	Geleneksel Standart
Meralar	Kullanılabilir	Toprağa uygulama ile otlama arasında en az 6 hafta süre geçmelidir.
Yem bitkileri	Kullanılabilir	Çamurun toprağa uygulanması ile hasat arasında 6 hafta süre olmalıdır.
Tarım alanları	Kullanılabilir	Hemen sürülerek toprak altına getirilmelidir.
Toprağa değen bitkilerin yetiştirildiği alanlar	Kullanılabilir	Kullanılamaz veya uygulama ve hasat arasında 12 ay süre olmalıdır.
Toprağa değen ve çiğ yenen sebzelerin yetiştirildiği alanlar	Kullanılabilir	Kullanılamaz veya uygulama ve hasat arasında en az 30 ay süre olmalıdır.
Meyve ağaçları, bağlar, ağaçlandırma alanları	Kullanılabilir	Kullanılır ancak uygulamadan sonra 10 ay süre ile halk teması olmamalıdır.
Halkın fazlaca kullandığı yeşil alanlar (park, bahçe, futbol sahası)	İyi stabilize edilmeli ve koku olmamalı	Kullanılamaz.
Doğal ormanlar	Kullanılamaz	Kullanılamaz.
Arazi ıslahı	Kullanılabilir	Kullanılır ancak uygulamadan sonra 10 ay süre ile halk teması olmamalıdır.

2.2. Arıtma Çamurlarının Tarımsal Özellikleri ve Ağır Metal İçerikleri Üzerine Yapılmış Çalışmalar

Arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı topraklara uygulanması aşamasında bu çamurların tarımsal özellikleri (organik madde içeriği, pH, elektriksel iletkenlik (EC), toplam azot ve inorganik azot miktarı, P, K, Ca, Mg gibi diğer elementler ile mikro besin element içeriklerinin (Fe, Cu, Zn, Mn vb) ve kimi ağır metallerin (Cd, Cr, Ni, Pb, Hg, As, Zn, Cu vb) belirlenmesi ve sınır değerle karşılaştırılması gerekmektedir. Belirlenen toplam ağır metal miktarları çevresel etki (toksik etki, yıkanma vb) değeri olarak önemli bir gösterge sayılmamaktadır. Bu nedenle özellikle son yıllarda ağır metallerin toplam miktarlarının yanı sıra bu metallerin yarayışlı miktarları ile değişik formlarının (zayıf bağlı, karbonatlara bağlı, demir ve mangan oksitlere bağlı, organik maddeye bağlı ve kristal yapıda olanlar) belirlendiği çalışmalar yapılmaktadır.

Sommers (1977), arıtma çamurlarının kimyasal bileşimi ve gübre olarak değerlendirilme potansiyellerini incelemiştir (Çizelge 2.9). Çalışmada aerobik, anaerobik ve diğer çamur kaynaklarının kimyasal içeriği değerlendirilmiştir. Araştırmacı arıtma çamurlarının içerdikleri organik madde, azot, fosfor, potasyum ve

diğer besin elementleri nedeniyle tarımsal olarak toprağa uygulanma imkanına sahip olduğunu bildirmiş ve çamur bileşiminin çamurun meydana geliş proseslerine ve çeşidine göre farklılıklar gösterebildiğini belirtmiştir.

Çizelge 2.9. Arıtma çamurlarının kimyasal özelliklerindeki değişimler

Özellik	En düşük	En yüksek	Ortalama
Toplam N, %	0,10	17,60	3,90
Toplam P, %	0,10	14,30	2,50
Toplam K, %	0,02	2,64	0,40
Toplam Ca, %	0,10	25,00	4,90
Toplam Mg, %	0,03	1,97	0,54
Toplam Fe, mg kg ⁻¹	1000	153 000	13 000
Toplam Cu, mg kg ⁻¹	84	10 400	1 210
Toplam Mn, mg kg ⁻¹	18	7 100	380
Toplam Zn, mg kg ⁻¹	101	27 800	2 790
Toplam Pb, mg kg ⁻¹	13	19 700	1 360
Toplam Co, mg kg ⁻¹	1	18	5
Toplam Ni, mg kg ⁻¹	2	3 520	320
Toplam Cd, mg kg ⁻¹	3	3 410	110

Andersson (1983), arıtma çamurlarının içermiş olduğu ağır metallerin çözünürlüklerinin Cd>Zn>Ni>Co>Cu>Mn>Pb>Cr şeklinde olduğunu ancak çamura uygulanan kompostlama işleminin bu çözünürlüğü Zn>Cd>Mn>Pb>Ni>Co>Cu>Cr şeklinde değiştirdiğini bildirmiştir. Speir ve ark (2003) ise çamurlardaki çinkonun yüksek çözünürlüğünden daha ziyade daha fazla toksik olan Cd'un toksisite riski üzerinde durulması gerektiğini bildirmişlerdir.

Peárez-Cid ve ark. (1999), Tessier ve ark. (1979) tarafından bildirilen sıralı ekstraksiyon yöntemi ile ağır metallerin yarayırlılığını, geleneksel yakma ve mikrodalga yakma yöntemini karşılaştırmıştır. Araştırmacı değişebilir miktarların bitkiye yarayırlılık açısından önemli olduğunu, karbonata bağlı fraksiyonun pH değişimi ile yarayırlı duruma geçtiğini, Fe-Mn oksit ve organik maddeye bağlı fraksiyonun ise ortamda indirgen veya oksitleyici şartlar oluşması durumunda daha yarayırlı duruma geleceğini bildirmiştir.

Munn ve ark. (2000), arıtma çamurunun mineralizasyonu ve toprak üzerine etkisini belirlemek amacıyla yürüttükleri çalışmada beş farklı arıtma çamurunun kimyasal

karakterizasyonunu belirlemişlerdir (Çizelge 2.10). Çalışmada uygulanan arıtma çamurları toprakların $\text{NH}_4\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ içeriklerini artırmıştır. Araştırmacılar çalışmalarında toprak özellikleri ve ağır metal içeriklerinin mineralizasyon üzerine etkisini incelemişlerdir.

Çizelge 2.10. Arıtma çamurlarının kimyasal karakterizasyonu

Özellikler	Malabar	Port Kembla	Quakers Hill	St Marys	Richmond
Organik C, g kg^{-1}	284	239	236	220	97
Toplam N, g kg^{-1}	23,4	25,2	38,0	26,1	11,0
Toplam P, mg kg^{-1}	300	89	78	52	290
Toplam Zn, mg kg^{-1}	2669	1767	512	498	704
Toplam Cu, mg kg^{-1}	1274	648	468	447	439
Toplam Cd, mg kg^{-1}	11	32	2	2	3
Toplam Ni, mg kg^{-1}	162	32	28	25	20
Toplam Pb, mg kg^{-1}	303	97	81	111	90
Toplam Hg, mg kg^{-1}	4	<2	<2	<2	27
Toplam Cr, mg kg^{-1}	235	27	488	66	54

Zufiaurre ve ark. (1998), kanalizasyon kökenli arıtma çamurlarının tarımsal özellikleri ve ağır metal içeriklerini incelemişlerdir. Arıtma çamurlarının toplam ağır metal içeriğinin Avrupa Birliği sınır değerlerinin altında olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar Tessier ve ark. (1979) tarafından bildirilen sıralı ekstraksiyon sonucunda arıtma çamuru bünyesindeki ağır metallerin mineral fraksiyonda olduğunu ve düşük yarıyışlılık indeksine sahip olduklarını belirtmişlerdir. Araştırmacılar ağır metallerin % 0,7-10 arasında değişebilir formda olduğunu, Ca, Mg, Na (% 8) ve K (% 10) gibi elementlerin ise ortalama değişebilir formlarda bulunduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar incelemiş oldukları kalite kriterlerini Juarez ve ark (1987) tarafından belirtilen sınır değerlerle karşılaştırmışlardır.

Parkpian ve ark. (2002), Bangkok arıtma çamurlarının topraklara uygulanabilirliği ve bu çamurlardaki ağır metallerin yarıyışlılığını araştırmışlardır. Araştırmacılar arıtma çamurunun azot içeriğini % 3,21, fosfor içeriğini ise 2972,82 mg kg^{-1} olarak belirlemişlerdir. Ağır metal içeriklerini ise (Zn: 2060,97±20,98 mg kg^{-1} ; 470,73±14,10 mg kg^{-1} ; Cu: 218,23±12,16 mg kg^{-1} ; Ni: 24,95±1,31 mg kg^{-1} ; Pb: 12,20±0,73 mg kg^{-1} ; Cd: 2,12±0,11 mg kg^{-1} ve Cr: 19,55±1,20 mg kg^{-1}) değerleri arasında belirlemiş ve bu

değerlerin sınır değerleri aşmadığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar arıtma çamurunun alınabilir Cd ve Cr içeriğinin çok düşük miktarlarda olduğunu belirlemiş ve ağır metalleri alınabilirlik sırasına göre Ni>Zn>Pb>Mn>Cu>Cd>Cr şeklinde sıralamışlardır. Özellikle Ni'in % 34,11 oranında yarayışlılığa sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Krogmann ve Chiang (2002), arıtma tesislerini endüstriyel giriş yüküne ve kaynağına göre çeşitli sınıflara (1-5) ayırmış ve besin elementi içeriği ile ağır metal miktarlarını araştırmışlardır. Çalışmalarında 3-4-5. sınıfta değerlendirilen ve atıksu yükü ve endüstriyel girişin (%10) fazla olduğu arıtma tesisi atık çamurlarını değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçları New Jersey Arıtma çamuru kalite güvence yönetmeliğine (SQAR) göre değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında iki yıl süre ile 98 farklı arıtma tesisi atık çamurunda toplam N (% 0,50-%7,60), NH₄-N (30-11300 mg kg⁻¹), P (% 0,50-5,50), K (% 0,020-1,10), Cd (3,0-3410 mg kg⁻¹), Cu (85-10 100 mg kg⁻¹), Pb (13-19700 mg kg⁻¹) ve Zn (108-27 800 mg kg⁻¹) değerleri arasında değişim göstermiştir. Endüstriyel girişin fazla olduğu arıtma çamurlarında Cd, Cu ve Pb değerlerini yüksek bulmuşlardır. Araştırmacılar çamurların toprağa uygulanma düzeyinin belirlenmesinde özellikle güncel analizlerin değerlendirilmesi gerektiğini bildirmişlerdir.

Fuentes ve ark. (2004) farklı arıtma çamurlarının (aerobik, anaerobik, ham çamur ve atık çamur yatakları) tarımsal kullanım amacına yönelik olarak ağır metal içeriklerini incelemişlerdir. Çalışmada tekli (safsu ve DTPA) yöntem ile ekstrakte edilebilir miktarları ve BCR (Community Bureau of Reference) tarafından bildirilen sıralı ekstraksiyon yöntemlerini kullanmışlardır. Toplam ağır metal içeriği bakımından ele alınan çamurlar sınır değerlerin (Directive 86/278/EEC) altında bulunmuştur. Araştırmacılar stabilizasyonun ağır metallerin topraktaki yarayışlılığı ile ilişkili olduğunu ayrıca DTPA ile ekstraksiyon ile belirlenen değerlerin yarayışlılığın belirlenmesi açısından ucuz ve kolay bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir.

Öbek ve ark. (2004), kentsel ve endüstriyel atıksu arıtma çamurlarının ağır metal düzeylerini araştırmışlardır. Yapılan analizler sonucunda toplam metal konsantrasyonlarının belediye arıtma çamurlarında Fe 2349±545,3 mg kg⁻¹, Cr 73,1±10,94 mg kg⁻¹, Cu 148,5±20,5 mg kg⁻¹, Zn 310.9±42,3 mg kg⁻¹, Co 56,2±11,26 mg

kg⁻¹, Mn 299,5±52,58 mg kg⁻¹, Ni 74,8±12,29 mg kg⁻¹, Pb 48,7±45,99 mg kg⁻¹ aralığında ve KÖY-TÜR arıtma çamurlarında ise Fe 2115±248,48 mg kg⁻¹, Cr 40,7±7,73 mg kg⁻¹, Cu 173,1±15,1 mg kg⁻¹, Zn 1450,1±148,72 mg kg⁻¹, Co 5,42±0,85 mg kg⁻¹, Mn 203±16,59 mg kg⁻¹, Ni 98,9±7,78 mg kg⁻¹, Pb 1,675±0,18 mg kg⁻¹ aralığında olduğunu belirlemişlerdir. Elde olunan sonuçlara göre KÖY-TÜR arıtma çamurundaki Ni hariç her iki tesisin çamurlarındaki ağır metal düzeylerinin Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nde belirtilen tarımda kullanılacak arıtma çamurlarında müsaade edilebilecek maksimum ağır metal içeriklerinin altında, toprakta müsaade edilen maksimum ağır metal içeriği limit değerlerinin ise her iki çamur örneğinde de Ni bakımından üzerinde olduğu belirtilmiştir.

Rosenani ve ark. (2004), farklı arıtma çamurlarının tarımsal özellikleri, ağır metal içerikleri ve farklı özellikteki topraklarda N mineralizasyonundaki değişimleri incelemişlerdir. İncelenen 10 farklı arıtma çamuru incelenen parametreler açısından farklılıklar göstermiştir (Çizelge 2.11). Araştırmacılar özellikle toprak tipi, çamur uygulama miktarı, toprak pH'sı, toprak sıcaklığı, toprağın havalanması ve nem koşullarının arıtma çamuru uygulamaları sonucu organik azotun mineralizasyonu üzerine etkili olduğunu bildirmişlerdir.

Çizelge 2.11. Malezya arıtma çamurlarının kimi özellikleri

pH	Org, C	% N	C:N	% P	% Ca	K, mg kg ⁻¹	Mg, mg kg ⁻¹
3,57-6,43	6,13-56,67	0,68-2,90	6,90-37,94	0,238-1,62	0,160-2,16	401-1209	278-2902
Pb, mg kg ⁻¹	Cd, mg kg ⁻¹	Cu, mg kg ⁻¹	Ni, mg kg ⁻¹	Mn, mg kg ⁻¹	Zn, mg kg ⁻¹	Fe, %	
36-308	0,51-6,49	63-732	10-151	32-420	153-7012	1,22-4,01	

Peckenham (2005) Maine bölgesinde arıtma çamurları ile ilgili yapmış olduğu çalışmada arıtma çamurlarının tarımsal kullanım potansiyeli, sağlanacak yararlar, oluşabilecek riskler, arıtma çamurlarının tarımsal özellikleri, ağır metal, PAH içerikleri, patojen mikro organizmalar ve bunların topraktaki yaşam süreleri, toprak, su ve bitki ekosistemi üzerine etkileri, uygulanan stabilizasyon yöntemleri, A ve B sınıfı arıtma çamurları vb konularda bilgiler sunmuştur. Araştırmacı 22 farklı arıtma tesisi atık çamurlarının özelliklerinin Çizelge 2.12'de belirtilen sınır değerler arasında değiştiğini belirlemiştir.

Çizelge 2.12. Maine Bölgesi B sınıfı arıtma çamurlarının bitki besin elementi içerikleri

B sınıfı	Org, C, %	N, %	P, %	K, %	Ca, mg kg ⁻¹	Na, mg kg ⁻¹	Fe, mg kg ⁻¹
Minimum	14,0	0,14	0,1	0,0	1 500	294	580
Maksimum	52,6	7,78	3,2	0,8	325 000	6 700	75 000
Ortalama	37,8	4,46	1,0	0,2	44 993	2 686	13 922

Alonso ve ark. (2006), İspanya'nın farklı bölgelerinde yeralan 10 farklı arıtma tesisinin ağır metal içeriği ve bunların fraksiyonlarının dağılımını incelemiştir. Çalışma kapsamında kimi tarımsal özellikler de belirlenmiştir. Arıtma tesislerinin kimi özellikleri Çizelge 2.13'de verilmiştir.

Çizelge 2.13. Arıtma çamurlarının tarımsal özelliklerinin değişimi

Özellikler	Minimum	Maksimum	Ortalama
pH	6,8	7,9	7,3
EC, $\mu\text{S cm}^{-1}$	472	3480	1239
Org. Mad, %	27,7	41,1	35,6
NH ₄ -N, mg kg ⁻¹	111	9910	3892
PO ₄ -P, mg kg ⁻¹	74	963	236
Toplam. N, %	1,2	2,5	1,9
Toplam. P, %	0,7	3,3	1,5
Toplam S, %	1,1	2,2	1,7
Toplam Ca, %	5,2	18,1	10,8
Toplam K, %	0,2	0,8	0,5
Toplam Mg, %	0,5	1,6	0,9
Toplam Na, %	0,1	1,8	0,5

Çalışmada arıtma çamurlarının içerdiği ağır metallerin yarayırlı (değişebilir ve indirgenbilir) miktarlarının toplam miktar içindeki oranının arıtma tesisi ve çamur özelliklerine bağlı olarak % 25-48 arasında olduğu bildirilmiştir (Çizelge 2.14). Ele alınan çamurlardaki toplam ağır metal miktarları sınır değerlerin altında bulunmuştur. Çamurların N, P ve K içerikleri incelendiğinde organik materyal olarak topraklara uygulanabilme potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir. Arıtma çamuru bünyesindeki Co, Mn, Ni ve Zn gibi ağır metallerin yarayırlılığına dikkat çekilmiştir. Arıtma çamuru yönetiminde özellikle toplam miktarların yanı sıra değişebilir veya kolay yarayırlı miktarlarının da incelenmesi ve fraksiyonlama çalışmalarının yapılması gerektiğini bildirmişlerdir.

Dai ve ark. (2006), üç farklı arıtma tesisi atık çamurunun ağır metal içeriği ve bitkinin ağır metal içeriği üzerine etkisini araştırmışlardır. Arıtma çamuru ağır metal içeriklerini Çin, EU ve US EPA standartları ile karşılaştırmışlardır. Çalışmada ele alınan arıtma tesisleri ağır metal içerikleri Çizelge 2.15’de verilmiştir.

Yapılan çalışmada Cd yönünden her üç arıtma çamuru da, Cu, Ni ve Zn içeriği yönünden, Taopu arıtma çamuru ve Zn içeriği bakımından Jinshan arıtma çamurunun sınır değerlerin üstünde bulunmuştur. Araştırmacı Jinshan ve Taopu arıtma çamurlarının tarımsal olarak toprağa uygulanamayacağını ancak Quyang arıtma çamurunun EU ve US EPA standartlarına göre uygulanabileceğini belirtmişlerdir.

Çizelge 2.14. Arıtma çamurlarının ağır metal içeriklerinin değişimi

Özellikler, mg kg ⁻¹	Değişebilir	İndirgenabilir	Toplam
Alüminyum, Al	20,6	372	20728
Kadmiyum, Cd	0,02	0,12	2,69
Kobalt, Co	0,39	0,04	3,26
Krom, Cr	0,40	0,40	53,9
Bakır, Cu	3,44	1,21	423
Demir, Fe	16,3	293	15106
Civa, Hg	<0,05	<0,05	<0,05
Mangan, Mn	106	40,3	1272
Molibden, Mo	0,10	<0,01	7,09
Nikel, Ni	3,12	0,67	28,4
Kurşun, Pb	0,35	3,84	108
Titanyum, Ti	<0,01	<0,01	3639
Çinko, Zn	103	116	918

Çizelge 2.15. Arıtma çamuru ağır metal içerikleri

Ağır metaller, mg kg ⁻¹	Quyang	Jinshan	Taopu	(GB18918-2002)	
				pH>6,5	pH<6,5
Toplam Cd	17,33±0,29	11,9±0,47	81,2±1,15	20	5
Toplam As	12,73±0,18	5,28±0,14	5,29±0,10	75	75
Toplam Cr	28,07±0,64	143±4,16	460±6,66	1000	600
Toplam Hg	0,99±0,01	0,99±0,04	0,97±0,04	15	5
Toplam Ni	22,17±0,38	97,7±1,01	523±4,58	200	100
Toplam Pb	63,52±2,06	89,2±1,37	56,9±0,62	1000	300
Toplam Cu	156,40±1,97	372±7,09	3873±68,39	1500	800
Toplam Zn	1658±23,74	3532±23,64	15 890±97,62	3000	2000

Oleszczuk (2006), farklı kökenli arıtma çamurlarının tarımsal kullanım potansiyelini belirlemek amacıyla yapmış olduğu çalışmada 21 farklı kanalizasyon ve endüstriyel atıksu arıtma çamurunu incelemiştir. Çalışmada tarımsal özellikler olarak organik C, toplam N, pH, alınabilir P, K, KDK ve bazı iz elementler (Cd, Co, Ni, Pb, Cu, Mn, Zn, Sr, V, Cr) ile PAH değişimini belirlemiştir. Çalışmada incelenen arıtma tesislerine ait kimi özellikler Çizelge 2.16'da verilmiştir. Yapılan çalışmada incelenen arıtma çamurları ağır metal içerikleri bakımından sınır değerlerin altında bulunmuştur. Çalışmada ayrıca 6 adet arıtma çamurunun PAH içeriği bakımından US EPA'nın yönetmeliklerini aştığını belirlemiştir. Ayrıca arıtma çamurlarının yüksek EC ve düşük organik madde içerikleri dışında tarımsal olarak kullanılabilabileceğini ancak mutajenik ve kanserojenik bileşiklerin toprak ekosistemi için risk oluşturduğunu ve bu çamurların deneme yapılmadan tarımsal kullanımına izin verilmemesi gerektiğini belirtmiştir.

Çizelge 2.16. Kentsel ve endüstriyel arıtma çamurlarının kimyasal özellikleri

Özellikler	Kentsel	Kentsel+Endüstriyel	Endüstriyel	Anonim 2002b
pH	5,8-7,0	5,6-12,4	7,8	
EC, (mS cm ⁻¹)	0,0004-6,16	0,005-6,20	4,8	
Org. C, g kg ⁻¹	152,4-265,2	95,4-253,2	163,8	
C:N oranı	3,9-8,6	4,5-8,0	29,3	
Toplam N, g kg ⁻¹	28,0-68,6	19,7-46,2	5,6	
Alınabilir P, mg kg ⁻¹	14,6-35,4	4,6-37,3	0,0	
Alınabilir K, mg k	2,22-6,17	0,71-3,50	0,00	
K, mmol kg ⁻¹	17,5-99,5	12,8-67,9	11,6	
Ca, mmol kg ⁻¹	97,8-839,8	408,8-1057,0	529,0	
Mg, mmol kg ⁻¹	130,9-804,4	157,2-699,4	192,2	
Na, mmol kg ⁻¹	17,0-48,4	11,2-71,8	4,8	
Pb, mg kg ⁻¹	16,2-38,5	7,2-29,2	iz	500
Cd, mg kg ⁻¹	1,08-9,50	0,67-4,43	iz	10
Cr, mg kg ⁻¹	13,7-80,0	12,6-44,1	40,4	500
Cu, mg kg ⁻¹	88,2-161,0	46,3-149,0	iz	800
Ni, mg kg ⁻¹	9,7-55,5	5,8-55,1	iz	100
Zn, mg kg ⁻¹	564,0-1680,0	395,0-1630	1520	2500
Co, mg kg ⁻¹	1,77-6,23	1,40-8,86	iz	
Mn, mg kg ⁻¹	121-661	90,0-661,0	501	
Sr, mg kg ⁻¹	80,0-645,0	81,0-615,0	116	
V, mg kg ⁻¹	8,9-22,9	7,6-22,9	18,0	

Özsoy ve ark. (2006), üç farklı arıtma tesisinden almış oldukları arıtma çamurlarının tarımsal kullanım olanaklarına yönelik olarak ağır metal içeriklerini incelemiştir.

Arıtma tesislerinden ikisinin Zn ve Ni içeriği bakımından dikkat edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Ele aldıkları çamurların kimi özellikleri Çizelge 2.17’de verilmiştir.

Çizelge 2.17. Farklı arıtma çamurlarının ağır metal içerikleri

Metaller, mg kg⁻¹	Kurutulmuş, (ileri arıtma)	Kireç stabilizasyon	Kurutulmuş, (geleneksel)	Sınır değer
Toplam Cu	364,6	264,23	506,71	1750
Toplam Pb	95,4	100,35	138,47	1200
Toplam Cd	5,67	1,9	4,45	40
Toplam Ni	144,33	50,87	355,0	400
Toplam Zn	3575,0	561,0	1276,67	4000
Toplam Cr	448,17	195,67	737,33	1200
Toplam Hg	nd	0,24	1,25	25

Wang ve ark. (2006), beş farklı kanalizasyon kökenli arıtma tesisi atık çamurunun Cu, Zn, Ni, Cr, Pb ve Mo içeriği bakımından topraklara uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Bu amaçla ağır metallerin toplam ve değişik yayılgınlık durumları belirlenmiştir. Çalışma sonucunda arıtma çamurlarının organik madde (% 31,8-48,0), azot (16,3-26,4 g kg⁻¹) ve fosfor (15,1-23,9 g kg⁻¹) içeriklerinin yüksek olmasından dolayı tarımsal kullanım potansiyellerinden söz edilebileceğini ancak toplam Zn ve Ni içeriğinin yönetmeliklerde belirtilen sınır değerleri aştığını belirlemişlerdir. Ağır metallerin fraksiyonlanmasında BCR tarafından belirtilen yöntem kullanılmıştır. Araştırmacılar çamurların yüksek Zn, Ni ve Cr bakımından tarımsal kullanım için uygun olmadığını ve özellikle Zn’un yüksek yayılgınlık ve değişebilirlik göstermesine dikkati çekmişlerdir.

Hanay ve Hasar (2007), Kayseri İli Atıksu Arıtma Tesisi’nden kaynaklanan arıtma çamurunun araziye uygulanabilirliğinin belirlenmesi amacıyla özellikle çamurun kalite kriterlerinden olan ağır metal içeriklerinin değerlendirilmesi gerektiği ve çamurun ağır metal içeriklerinin yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Arıtma çamurlarına herhangi bir işlem yapılmadan doğrudan tarımsal alanlara uygulanmasının mümkün olmadığını bildirmişlerdir. Ayrıca, çamurun elektriksel iletkenliğinin yüksek olması toprakta mikrobiyal aktiviteyi etkileyen önemli bir faktör olduğu özellikle EC değeri yüksek çamurların toprağa uygulanmasıyla topraktaki besin elementi döngüsünün azaldığı ve fitotoksositeye neden olduğunu ve sözü edilen arıtma çamurunun tarımsal amaçlı toprağa uygulanmasının uygun olmadığını bildirmişlerdir.

Garcia-Delgado ve ark. (2007), yedi farklı gıda kökenli arıtma çamurunun ağır metal ve gübre değerine ilişkin olarak bitki besin elementi içeriğinin mevsimsel (2000-2002) değişimini incelemiştir. Ayrıca araştırmacılar ağır metallerin değişik fraksiyonlarını (değişebilir, zayıf asitte çözünebilir, demir ve mangan oksitlere bağlı, organik maddeye bağlı ve kristal yapıda olanlar) Elliott ve ark. (1990)'e göre belirlemiştir. Çalışma kapsamında örnekleme yapılan arıtma tesisleri ve kimi özellikleri Çizelge 2.18'de verilmiştir.

Çizelge 2.18. Farklı arıtma çamurlarının iki yıllık ortalama değer olarak kimi özellikleri

Özellikler	CR	FO	GU	LE	LU	SA	VI
pH	6,9	6,3	5,9	6,2	6,9	6,7	6,4
Org C, g kg ⁻¹	287	231	447	339	313	275	402
N, g kg ⁻¹	37,3	23,2	27,1	39,4	41,0	19,6	32,5
C:N oranı	7,7	10,0	16,6	8,7	7,7	14,1	12,4
P, g kg ⁻¹	1,38	0,59	1,71	0,82	1,53	0,57	0,83
K, g kg ⁻¹	5,67	1,27	0,76	2,85	18,0	0,59	1,11
Ca, g kg ⁻¹	3,94	5,90	2,28	1,35	5,65	11,8	2,65
Cd, mg kg ⁻¹	2,40	2,66	1,63	2,40	2,50	2,18	2,04
Cr, mg kg ⁻¹	30,9	39,0	20,8	22,5	18,8	35,8	27
Cu, mg kg ⁻¹	147	176	93,2	99,8	64,2	168	164
Ni, mg kg ⁻¹	23,6	31	32,1	20,2	18,6	26,2	25,3
Pb, mg kg ⁻¹	99,4	114	46,2	93,2	64,2	254	101
Zn, mg kg ⁻¹	1019	1406	727	757	627	1197	1100

Araştırmacılar arıtma çamurlarının N, P ve K içeriği yönünden zengin olduğunu, ağır metal içeriği bakımından ise İspanya yönetmeliğinde belirtilen sınır değerlerin altında olduğunu bildirmişlerdir. Çamurlar Cd içeriği bakımından benzer ancak diğer ağır metaller bakımından farklılık göstermiştir.

Bustamante ve ark. (2008) şarap ve alkollü içecek fabrikası atıklarının tarımsal özelliklerini belirlemek amacıyla yapmış oldukları çalışmalarında yüksek üretim potansiyeline sahip fabrikalardan toplam 87 adet örnekleme yapmışlardır. Üretim prosesinde çıkan üzüm sapı, üzüm cibresi, üzüm posalarının ağır metal içeriklerini de belirlemiştir. Çalışma sonucunda incelenen atık ürünlerin düşük pH (3,8-6,8) ve EC (1,62-6,15 dS m⁻¹) değerine sahip olduklarını ve organik madde içeriklerinin yüksek olduğunu (% 66,9-92,0) bildirmişlerdir. Atıkların özellikle K içeriklerinin yüksek olduğunu (%1,19-7,28) ancak dikkate değer miktarda polyphenol (1,2-19,0 g kg⁻¹)

içerdiklerini bildirmişlerdir. Atıkların mikro element ve ağır metal içeriklerini ise düşük bulmuşlar ve organik atıkların gübreleme amacıyla kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Hua ve ark. (2008), Çin'in Zhejiang bölgesinde 12 farklı arıtma çamurunun ağır metal içeriği PAH içeriğindeki değişimlerini incelemiş ve bunların topraklara uygulanma potansiyellerini değerlendirmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada iki adet arıtma çamurunun Zn ve bir adet arıtma çamurunun ise Cd içeriği yönünden sınır değerlerin üzerinde olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar endüstriyel kökenli arıtma çamurlarının PAH içeriklerinin tarımsal kullanımlarda azaltma yoluna gidilmesi gerektiğini bildirmişlerdir.

Islam ve ark. (2009), farklı tekstil sanayi arıtma çamurlarının organik madde ve bitki besin elementi içeriklerini ticari gübrelerin özellikleri ile karşılaştırmışlardır. Araştırmacıların ele aldığı arıtma çamurlarının organik madde içerikleri % 29,52-42,12, N içeriği (% 1,52-2,37), P (873,3-1413,5 mg kg⁻¹), K (1148,9-1713,4 mg kg⁻¹), Fe (% 1,57-2,56) arasında değişim göstermiştir. Ticari gübrelerden N, P ve K içerikleri düşük olan bu arıtma çamurlarının organik madde içerikleri yönünden değerli bir materyal olduğunu bildirmişlerdir.

2.3. Arıtma Çamurlarının Toprak Özellikleri ve Bitki Gelişimi Üzerine Etkisine İlişkin Yapılmış Çalışmalar

Kabata ve Pendias (1992), toprakta ve bitkide ağır metal içerikleri ve sınır değerleri ile ilgili bilgiler vermişlerdir (Çizelge 2.19). Araştırmacılar topraktaki metallerin reaksiyonları ve fraksiyonlarına bağlı olarak alınabilirlikleri hakkında da bilgiler sunmuşlardır.

Çizelge 2.19. Değişik bitkilerde kimi elementlerin yeterli ve toksik sınır değerleri

Elementler	Yeterli	Fazla veya toksik
Cd, mg kg ⁻¹	0,05-0,2	5-30
Cr, mg kg ⁻¹	0,1-0,5	5-30
Cu, mg kg ⁻¹	5-30	20-100
Mn, mg kg ⁻¹	30-300	400-1000
Ni, mg kg ⁻¹	0,1-5	10-100
Pb, mg kg ⁻¹	5-10	30-300
Zn, mg kg ⁻¹	27-150	100-400

Johanson ve ark. (1999) yaptıkları çalışmada, toprağa artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurunun toprağın kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla yürüttükleri çalışmada, iki farklı toprağa 16 yıl süre ile 0, 1, 3 ton ha⁻¹ yıl⁻¹ arıtma çamuru uygulamışlar ve 4 yıllık periyodlarla topraktaki değişimleri incelemişlerdir. Deneme süresince kışlık buğday, şeker pancarı, yazlık buğday, yulaf, yazlık arpa ve kolza bitkilerini yetiştirmişlerdir. Denemede 12. ve 16. yıl sonunda arıtma çamuru uygulanmış topraktaki biyolojik ve kimyasal değişimleri belirlemişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre; artan arıtma çamuru dozlarına bağlı olarak toprakların organik karbon ve azot içeriğinin arttığını, pH değerinin ise düştüğünü belirtmişlerdir. Aynı zamanda uygulanan arıtma çamuru incelenen toprakların alınabilir P, K, Ca, Mg içeriklerini artırmıştır. Yine uygulamalara bağlı olarak toprakların Pb, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni ve Zn içeriklerinde de yıllara bağlı olarak artışlar belirlemişlerdir. Aynı zamanda araştırmacılar arıtma çamurunun toprak için bitki besin elementi ve organik madde kaynağı olabileceğini belirtmiş, bununla birlikte toprak mikroorganizmaları için uygun arıtma çamuru dozlarının belirlenmesi gerektiğini bildirmişlerdir.

Saviozzi ve ark. (1999) yaptıkları çalışmada, ahır gübresi ve aerobik arıtma çamurunun toprağın biyokimyasal özelliklerine ve Co, Ni, Pb, Cd, Cu, Zn ve Cr içeriği üzerine etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla atık materyalleri 5 ton ha⁻¹ yıl⁻¹ kuru madde esasına göre toprağa uygulamışlardır. Çalışma sonucunda arıtma çamurunun ve ahır gübresinin toprağın ağır metal içeriğini artırdığını saptamışlar. Sonuçta 5 ton ha⁻¹ yıl⁻¹ hatta daha fazla arıtma çamurunun ince tekstürlü toprağa düzenleyici olarak uygulanabileceğini belirtmişlerdir.

Vieira (2001), yaptığı çalışmada arıtma çamuru uygulamasının soya fasulyesi bitkisinde simbiyotik azot fiksasyonu üzerine fosfor kaynağı olarak etkisini değerlendirmiştir. Sera koşullarında yürüttüğü çalışmada toprağa 11,2 ve 22,4 ton ha⁻¹ düzeylerinde arıtma çamuru uygulamıştır. Çalışma sonucunda, kontrole oranla en yüksek sürgün ağırlığını *rhizobium* aşılması ile birlikte 22,4 ton ha⁻¹ arıtma çamuru uygulamasından, nodül oluşumu üzerine ise *rhizobium* aşılması ile birlikte P uygulaması ve 22,4 ton ha⁻¹ arıtma çamuru uygulamasından elde edildiğini bildirmiştir. Aynı zamanda çimlenmeden 7 gün sonra toprağın amonyum ve nitrat içeriği üzerine en fazla etkinin arıtma çamuru uygulanan saksılardan elde edildiğini bildirmiştir.

Charta ve ark. (2002), arıtma çamuru, hayvan gübresi ve tavuk gübresi uygulayarak yürüttükleri çalışmada arıtma çamuru uygulamasının toprak organik madde içeriğini arttırdığını, incelenen materyallerden arıtma çamurunun ağır metal açısından (Cd, Cr, Ni, Pb) diğer materyallere göre daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Ancak çamur uygulaması ile toprakların ağır metal içeriklerinin sınır değerlerin çok altında kaldığını belirlemişlerdir. 25 ton ha⁻¹ uygulama düzeyinde bitkilerin ağır metal içeriklerinin toksik sınır değerlere ulaşmadığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar bitkiler için toksik sınır değerlerini Cd: 5-30 mg kg⁻¹, Pb: 30-300 mg kg⁻¹, Ni: 10-100 mg kg⁻¹, Cr: 5-30 mg kg⁻¹ olarak bildirmişlerdir (Alloway ve Ayers 1997).

Efstathios ve ark. (2002), ham arıtma çamurunun toprak özellikleri ve bitkinin yaprak ve kök element içeriği üzerine etkisini belirledikleri çalışmada; artan miktarlarda uyguladıkları arıtma çamurunun Mn, Co ve Cd haricinde toprağın besin elementi içeriğini artırdığını bildirmişlerdir. Ancak Co, Pb ve Cd miktarı bitkilerde iz düzeyde belirlenmiştir. Sonuç olarak atık çamur uygulamaları ile bitkide ağır metal toksisitesinin oluşmadığını ayrıca mikro besin elementi noksanlık belirtilerinin giderildiğini belirtmişlerdir.

Hernandez ve ark. (2002), yıllık olarak arıtma çamuru uygulama miktarının belirlenmesinde topraklarda organik azot mineralizasyonun önemli bir faktör olduğunu bildirmiş ve arıtma çamuru uygulanmış kireç içeriği yüksek toprakta N mineralizasyonundaki değişimleri incelemişlerdir. 30 ve 50 g kg⁻¹ düzeylerindeki uygulamalar sonucunda kumlu toprakta N mineralizasyonunu 20 hafta sonunda % 30-41 ve kil bünyeli toprakta ise % 13-24 oranında belirlemişlerdir. İlk iki hafta mineralizasyon oranının düştüğü ve mineralizasyon oranının arıtma çamuru ve toprak özelliklerine bağlı olarak değiştiğini bildirmişlerdir.

Korboulewsky ve ark. (2002), asma bağlarında toprağın organik madde içeriğini artırmak amacıyla arıtma çamuru uygulamasına bağlı olarak toprağın N, P ve ağır metal içeriğindeki değişimleri incelemişlerdir. Çalışmalarında kentsel arıtma çamurunu çam kabuğu ve yeşil bitki atıklarıyla kompostlamış ve toprağa 0, 10, 30, 90 ton ha⁻¹ düzeylerinde uygulamışlardır. Çalışma sonucunda arıtma çamuru uygulanan kireçli

toprakta ağır metal içeriğinin artmadığını bununla birlikte azot içeriğinin arttığını, yıkanma riskinin düşük olduğunu belirtmişlerdir. Ancak atık çamur uygulamada esas sınırlandırıcı faktörün P olduğunu yüksek uygulama dozlarında yüzey ve taban sularında risk oluşturabileceğini belirtmişlerdir. Tüm bunları göz önünde bulundurarak en uygun çamur uygulama düzeyini 10 ton ha⁻¹ olarak belirlemişlerdir.

Morera ve ark. (2002), dört farklı tekstür ve pH değerlerine sahip topraklarda yapmış oldukları çalışma sonucunda düşük pH'ya sahip topraklarda çamur uygulamasına bağlı olarak Zn, Cu, Pb ve Ni içeriğinin artan dozlara bağlı olarak azaldığını ve bunun seyrelme etkisinden kaynaklandığını belirtmiştir. Killi tınlı toprakta ise artan dozlara bağlı olarak Zn ve Cu içeriğinin arttığını, tınlı toprakta ise çok az değiştiğini belirlemişlerdir. Araştırmacılar ağır metal içeriğindeki değişimin toprak özellikleri (pH, kireç, organik madde vb) ile yakından ilişkili olduğunu bildirmişlerdir.

Lopez-Mosquera ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada, artan miktarlarda uyguladıkları süt endüstrisi arıtma çamurunun asit karakterli toprağın kimyasal özellikleri üzerine etkisini inkübasyon çalışması ile belirlemişlerdir. Bu amaçla toprağa 0, 80, 160 ve 240 m³ ha⁻¹ oranlarında arıtma çamuru uygulamışlardır. Toprak örneklerinde 6. ve 25. haftalar sonrasında kimyasal değişimi belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda, inkübasyon süresine ve uygulama dozlarına bağlı olarak asit karakterli toprağın pH, EC, organik C, N, P ve değişebilir katyon miktarının arttığını belirlemişlerdir. Bununla birlikte organik madde ve bitki besin elementi içeriği, atıkların yüksek ağır metal içeriği de göz önünde bulundurularak belirlenen ağır metal sınır değerlerini aşmadığı sürece bitkisel üretimde kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca süt endüstrisi arıtma çamurunun ağır metal içeriğinin belirtilen sınır değerleri aşmadığını da bildirmişlerdir.

Tamoutsidis ve ark. (2002), üç farklı özellikteki toprakta (1. Kumlu, 2. Kumlu tınlı ve yüksek pH, 3. Kumlu tınlı ve düşük pH) ve farklı bitkiler yetiştirerek yapmış oldukları çalışmalarında arıtma çamurunu ağırlık ilkesine göre (w/w) 0:1 (0%, SS₀) kontrol, 1:39 (2.5%, SS₁), 1:19 (5%, SS₂), 1:9 (10%, SS₃), ve 1:4 (20%, SS₄) şeklinde uygulamışlardır. Çalışmada toprak özelliklerine ve bitki çeşidine bağlı olarak çamur etkisi farklı olmuştur. Çamur uygulamaları 2. toprakta pH değerini düşürürken 3. toprakta pH değeri yükselmiştir. Özellikle Ca içeriği yüksek 2. toprakta çamur

uygulamasına bağı olarak bitkinin Ca içeriği azalmıştır. Çamur uygulaması her üç toprakta da ekstrakte edilebilir Fe, Cu, Zn, Mn, Co ve Pb içeriklerini kontrole göre artırmıştır. Arıtma çamurunun bitki gelişimi ve ağır metal içeriği üzerine etkisi ise toprak ve bitki çeşidine göre farklılık göstermiştir.

Bozkurt ve Yarılgaç (2003), elma ağaçlarında meyve verimine, gelişimine, beslenme durumuna ve ağır metal birikimine arıtma çamuru ve ahır gübresi uygulamalarının etkilerini incelemişlerdir. Arıtma çamuru 0, 10, 20, 40 ve 60 kg ağaç⁻¹, ahır gübresi 25 kg ağaç⁻¹ düzeyinde deneme toprağına uygulanmıştır. İki yıllık araştırma sonuçlarına göre, kireçli toprağı arıtma çamuru uygulamalarının elma ağaçlarında toksite oluşturmadığı belirlenmiştir. Bununla birlikte araştırmacılar uzun dönem arıtma çamuru kullanılmasının bazı ağır metallerin toprakta birikimine ve izin verilen sınırların üzerinde bitkilerde bulunmasına neden olabileceğini belirtmişlerdir.

Bertoncini ve ark. (2004), sera koşullarında yapmış oldukları çalışmada farklı tekstürlerdeki topraklarda arıtma çamurunun etkisinin farklı olduğunu, bununla birlikte arıtma çamuru uygulamalarında çamurun azot içeriğinin önemli olduğunu belirtmişlerdir. Çamur uygulamaları toprakların P ve Ca içeriğini artırmış Mg içeriğini azaltmış, K içeriği üzerine ise önemli etkiye bulunmamıştır. Meydana gelen değişimler kumlu toprakta kil bünyeli topraktan daha fazla olmuştur.

Dolgen ve ark. (2004), gıda sektörü arıtma çamurunun tarımsal kullanım olanaklarını araştırmışlardır. Bu amaçla arıtma çamurunu kompostla farklı oranlarda karıştırmışlar ve kabak bitkisi yetiştirmişlerdir. Çalışma sonucunda arıtma çamurunun bitkinin Ni, Pb, Cd ve Mn içeriğinde önemli bir değişime neden olmadığını ve atık çamurun mineral gübrelere birlikte tarımsal olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Conte Suarez ve ark. (2004), kanalizasyon kökenli arıtma çamurunun bitki gelişimi ve toprak özellikleri üzerine etkisini 9 hafta süresince incelemişlerdir. Çalışmada arıtma çamurunu (80 ve 160 m³ ha⁻¹) düzeylerinde uygulamış ve 15:15:15 NPK (675 kg ha⁻¹) gübre uygulaması ile karşılaştırmışlardır. Zamana bağı olarak NH₄-N, NO₃-N ve değişebilir Ca, Mg, K içerikleri azalmıştır. Arıtma çamurunun ikinci uygulama düzeyi kontrol ve NPK uygulamasına göre bitki gelişimini artırmıştır. Çamur uygulamaları bitkinin kök ve gövdesinde azot ve fosfor içeriğini artırmıştır. Bitkinin Ca ve Mg içeriği

uygulamalara bağılı olarak aynı düzeyde kalmıştır. Araştırmacılar arıtma çamurunun bitkinin K ihtiyacını karşılamada yetersiz kaldığını da bildirmişlerdir.

Rate ve ark. (2004), arıtma çamuruna maden ocağı üst kısım toprağı ve kireç katılmasının çamurdaki ağır metal etkinliğini azaltacağını varsaymışlardır. Sera koşullarında yürüttükleri çalışmalarında arıtma çamurunu 0, 10, 20 ve 50 ton ha⁻¹ düzeylerinde kullanmışlar ayrıca kireçleme materyalini 2 ton ha⁻¹ uygulamışlardır. Çalışma sonuçlarına göre; artan arıtma çamuru miktarına bağılı olarak toplam As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn miktarı artış göstermiştir. Kireç uygulanması ile iyon alımı genellikle üst toprakta azalmıştır. Arıtma çamuru uygulamasının yonca bitkisinde Zn noksanlığını giderdiğini ve ayrıca çim bitkisi ve yonca bitkisinde belirlenen ağır metallerin belirtilen kritik değerlerin altında olduğunu belirtmişlerdir.

Pu ve ark. (2004), kumlu tın tekstüre sahip toprakta anaerobik ve aerobik arıtma çamurunun etkinliğini karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında aerobik arıtma çamuru (0, 7, 14, 42, 63 t da⁻¹) düzeylerinde ve anaerobik arıtma çamuru ise (0, 10, 20, 60, 90 t da⁻¹) düzeylerinde uygulanmıştır. Bitki gelişimi ve toprak özelliklerini inceledikleri çalışmada aerobik çamurun 7 t da⁻¹, anaerobik çamurun ise 10 t da⁻¹ düzeyinde uygulanmasının deneme bitkisi olan sorgumun besin elementi ihtiyacını karşıladığını, aşırı çamur uygulamasının bitki gelişimini daha fazla artırmadığını ve aşırı uygulamaların özellikle NO₃ ve P açısından su kaynakları kirliliğine neden olabileceğini bildirmişlerdir.

Rosenani ve ark. (2004), 10 farklı arıtma tesisinden almış oldukları arıtma çamurlarının karakterizasyonu ve farklı özellikteki topraklarda azot mineralizasyonu üzerine etkilerini araştırmışlardır. Arıtma çamurunda yapmış oldukları analizler sonucunda Zn haricinde diğer ağır metallerin Avrupa Birliği sınır değerlerinin altında olduğunu belirlemişlerdir. Üç farklı toprakta 14 hafta süren inkübasyon sonunda özellikle 4 ve 8. haftalarda hızlı mineralizasyonun gerçekleştiğini ve en yüksek azot mineralizasyonunun maksimum uygulama dozunda olduğunu ve net mineralizasyonun uygulama dozuna ve toprak özelliklerine göre farklı olduğunu bildirmişlerdir. Sonuç olarak arıtma çamurlarının topraklarda azot kaynağı olarak kullanılabilmesini belirtmişlerdir.

Türkmen ve ark. (2004), arıtma çamurunun mineral gübreleme ile karşılaştırmasını yaptıkları çalışmada, sonuç olarak özellikle alkalin karakterli bir toprakta ağır metal içeriği düşük, makro ve mikro besin elementleri yüksek olan arıtma çamurlarının mineral gübreleme ile birlikte gübreleme programında yer almasının yararlı olacağını bildirmişlerdir. Araştırmacılar 60 ton ha⁻¹ düzeyinde arıtma çamurunu çalışmalarında uygulama düzeyi olarak kullanmışlardır.

Mohammad ve Athamneh (2004), kireçli toprakta yürüttüğü çalışmada arıtma çamurunu 160 ton ha⁻¹ düzeyine kadar uygulamış, ayrıca bitki gereksinimi olan fosfor ihtiyacını mineral gübre uygulayarak (80 kg ha⁻¹) karşılaştırmıştır. 80 ve 160 ton ha⁻¹ uygulamalarının etkileri aynı olurken 20 ve 40 ton ha⁻¹ uygulamaları gübre uygulaması ile aynı sonucu vermiştir. Araştırmacılar artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurunun kireçli toprağın pH değerini düşürdüğünü, EC değerini artırdığını, özellikle yüksek uygulama düzeylerinin toprağın ve bitkinin ağır metal içeriğini arttırdığını belirlemişlerdir. Araştırmacılar elde olunan sonuçlara göre en uygun uygulama düzeyini 40 ton ha⁻¹ olarak belirtmişlerdir.

Antolin ve ark. (2005), arıtma çamurunun tek sefer ve her yıl tekrarlamalı olarak uygulanması ile çamur uygulanmayan ve mineral gübreli uygulamaları karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar fazla arıtma çamuru uygulamalarının toprakların pH değerini düşürdüğünü, organik madde ve katyon değişim kapasitesini, NH₄-N, NO₃-N'nu yükselttiğini ancak aşırı uygulamaların ikinci yıldan sonra toprağın özellikle Cu ve Zn içeriğini artırdığını bildirmiştir. Buna bağlı olarak bitkinin Cu ve Zn içeriği de artış göstermiştir. Ancak bu artış kritik değer altında bulunmuştur (Beckett ve Davis 1977). Araştırmacılar uzun dönem aşırı uygulamalarda dikkatli olunması gerektiği ve ağır metal içeriği üzerinde durulması gerektiğini bildirmiştir. Toprakların alkalin pH ve yüksek KDK'ya sahip olmasının ağır metallerin yarayışlılığını sınırlandırdığını belirtmişlerdir.

Hampton ve ark. (2005), kumlu tekstürlü bir toprağa farklı organik atık uygulamalarının bitkide ağır metal birikimi üzerine etkisini araştırmışlardır. Bulunan ağır metal değerlerini resmi standartlarla karşılaştırmışlardır. Altı yıllık araştırma süresi sonunda ele alınan bitkilerden biberde ağır metal toksisitesine rastlamadığını, uygulanan arıtma

çamuru ve organik kompostların ağır metal içeriklerinin belirtilen sınır değerlerin altında olduğunu belirtmişlerdir. Kumlu yapıdaki topraklarda ve bitkide ağır metal miktarının artmadığını ve belirtilen atıkların kullanılabilceğini belirtmişlerdir.

Heras ve ark. (2005), arıtma çamurlarının tarımsal olarak toprağa uygulanması üzerine 3 yıl süre ile yürüttükleri tarla denemesinde artan miktarlarda uyguladıkları atık çamurların toprak ve bitki gelişimi üzerine etkisini belirlemişlerdir. Çalışmada arıtma çamuru toprağa 0, 2, 4, 6, 8 ve 10 kg m⁻² düzeylerinde uygulanmıştır. Ayrıca araştırmacılar arıtma çamuru uygulaması ile birlikte topraktaki mikrobiyolojik değişimleri de incelemişlerdir. Deneme sonuçlarına göre; genel olarak toprağın EC, organik madde, N, P, Ca içeriklerinin ve ağır metal içeriklerinin (Zn, Pb, Ni ve Cu) arttığını belirlemişlerdir. Bitki gelişimi üzerine ise ikinci yıl atık uygulamasının daha etkili olduğunu belirtmişlerdir. Toprağa arıtma çamuru uygulandıktan 1 ay sonra fecal koliform ve 3 ay sonra da total koliform, Clostridium ve Salmonella miktarının azaldığını bildirmişlerdir.

Mullen ve ark. (2005), yem bitkisi olarak yetiştirilen kışlık buğdayda hayvanlar için risk taşıyan molybdenosis hastalığı ile ilgili olarak Mo ve Cu içeriğindeki değişimlere arıtma çamuru uygulamasının etkilerini araştırmışlardır. Yedi yıl süre ile yürüttükleri çalışmaları sonunda atık uygulamasının molybdenosis hastalığı için düşük risk taşıdığını belirtmişlerdir. Ayrıca belirlenen ağır metallerin sınır değerlerin altında olduğunu ve iyi kalite arıtma çamurunun güvenle kullanılabilceğini bildirmişlerdir.

Olajire ve ark. (2005), otoban inşaatı sahalarında kullanılan arıtma çamurundan ağır metal yıkanma riskini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda yer altı suyuna yıkanma riskinin yüksek olmadığını ve ele aldıkları arıtma çamurlarının otoyol çevre düzenlemesinde kullanılabilceğini bildirmişlerdir.

Oliveira ve ark. (2005), arıtma çamurlarının Oxisol büyük toprak grubundaki topraklara uzun dönem uygulanmasının toprak ve bitki üzerine etkilerini araştırmışlardır. Arıtma çamurunu tarla koşullarında yürüttüğü çalışmalarında topraklara beş yıl süre ile 0, 2,5, 5,0 ve 10 ton ha⁻¹ düzeylerinde uygulamışlardır. Deneme sonunda 0-20 ve 20-40 cm'den alınan toprak örneklerinde Mehlich I ekstraksiyonu sonucu *Typic Eutroryhox* toprak sınıfında Ni ve Zn, *Typic Haplorthox* toprak sınıfında ise Ni, Pb, Zn ve Cu

konsantrasyonunun arttığını ancak bunun kritik değerleri aşmadığını belirtmişlerdir. Genel olarak mısır bitkisinin ağır metal içeriğinin arıtma çamuru uygulamasından etkilenmediğini ve bu ekstraksiyon yönteminin bitki tarafından Ni, Mn ve Pb'un alınabilirliğinin belirlenmesinde etkisiz olduğunu bildirmişlerdir.

Afyuni ve ark. (2006), dört yıl süre ile kumlu tınlı toprak koşullarında yürüttükleri çalışmada her yıl artan miktarlarda uygulamış oldukları arıtma çamurunun çeşitli bitkiler tarafından alınması ve uygulamaların bitki gelişimi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Yapmış oldukları çalışma sonucunda topraklarda alınabilir ağır metal miktarının belirlenmesinde EDTA ekstraksiyon yönteminin uygun olduğunu belirlemişlerdir. Kabak ve ıspanak bitkilerinde arıtma çamuru uygulaması ile ağır metal miktarının arttığını bildirmişlerdir. Toprakların kurak koşullarda verimliliğini artırmak amacıyla arıtma çamurunun üç yılda bir kez uygulanması gerektiğini önermişlerdir.

Küçükhemek ve ark. (2006), organik madde ve besin elementleri açısından fakir bir toprağa uygulanan evsel karakterli arıtma çamurunun çim bitkisinin ağır metal (Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Pb, Cd) içerikleri üzerine etkisini belirlemişlerdir. Çalışmada arıtma çamuru dört farklı düzeyde (0, 40, 80 ve 120 ton ha⁻¹), iki yıl süreyle arazi şartlarında uygulanmıştır. Elde edilen iki yıllık verilere göre; arıtma çamuru uygulamalarının kontrole göre, çim bitkisinin Zn, Ni, Cu, Cr ve Pb içeriklerini artırdığı, bu artışın en fazla Pb, Zn ve Cr içeriklerinde olduğu, Mn içeriğinde ise düşüşe neden olduğu tespit edilmiştir. Ancak arıtma çamuru uygulamalarıyla çim bitkisi ağır metal içeriklerinde görülen artışların, bitkiler için yeterli aralıklarda kaldığı ve toksik değerlerin oldukça altında olduğu görülmüştür. Kontrol uygulamasında yetiştirilen çim bitkilerinde çinko eksikliği tespit edilirken, arıtma çamuru uygulanan tüm düzeylerde (40, 80 ve 120 t ha⁻¹) çinko içeriklerinin yeterli değerlerde olduğu görülmüştür. Araştırma sonucunda, arıtma çamurunun besin elementlerince fakir bir toprakta 40-120 t ha⁻¹ düzeylerinde toprak iyileştiricisi olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Yetiştirilen çim bitkisinde ağır metallerin kabul edilebilir seviyelerde olduğu ve özellikle kontrol uygulamasında görülen Zn eksikliğinin giderildiği tespit edilmiştir. Araştırmacılar bitkiler için Mn toksik değerini 300 mg kg⁻¹, Zn 100 mg kg⁻¹, Cu 20 mg kg⁻¹ olarak değerlendirmişlerdir (Bennett 1996).

Bozkurt ve ark. (2006), arıtma çamurunun azotlu gübre kaynağı olarak kullanım olanağını araştırdıkları çalışmalarında arıtma çamurunu 9,5; 18,0 ve 38,1 ton ha⁻¹ düzeylerinde uygulayarak 80 ve 160 kg ha⁻¹ düzeylerinde N uygulaması ile karşılaştırmışlardır. Özellikle en yüksek uygulama düzeyinde bitkinin Pb ve Zn içeriği artış göstermiştir. Çalışma sonucunda en uygun uygulama düzeyi olarak 19 ton ha⁻¹ arıtma çamuru miktarı olarak belirlenmiş ancak çamur uygulamasının bitkinin N ihtiyacını karşılamada mineral gübreleme ile takviye edilmesi gerektiğini bildirmişlerdir. Toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd, Cu, Fe, Pb ve Zn içeriğinin en yüksek çamur uygulama düzeyi ile artış gösterdiğini belirlemişlerdir.

N'dayegamiye (2006), kağıt sanayi arıtma çamurunun azot kaynağı olarak bitki gelişimi ve toprak özellikleri üzerine etkilerini araştırmıştır. Çalışmasında artan miktarlardaki arıtma çamurunu N'lu gübre ile birlikte uygulamıştır. Çalışma sonuçlarına göre; arıtma çamuru ile birlikte azot uygulaması ürün miktarını sadece arıtma çamuru uygulamasına göre azaltmıştır. Toprakların organik karbon miktarı, agregat gelişimi, özgül ağırlığı atık çamur uygulamasıyla mineral gübreleme ve kontrole göre artış göstermiştir. Ayrıca toprakların mikrobiyal biyomas, *alkaline phosphatase*, *urease* aktiviteleri çamur uygulaması ile artış göstermiştir. Araştırmacı sonuç olarak besin elementi yarıyışlılığı ve toprak özelliklerinin iyileştirilmesi açısından atık çamurun topraklarda kullanılabileceğini bildirmiştir.

Ortiz ve Alcaniz (2006), kireçli topraklarda artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurunun toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir Pb, Ni, Zn, Cu, Cr ve Cd miktarları ve bitkideki içeriklerini değerlendirmiştir. Çalışma sonucunda kireçli topraklarda yaprakların Zn ve Cr ile toprakta belirlenen miktarları arasında korelasyon olmadığını ve bu toprakların Pb, Ni, Cu ve Cd miktarının DTPA yöntemi ile sağlıklı belirlenemeyeceğini belirtmişlerdir.

Walter ve ark. (2006), arıtma çamur uygulamasının artan dozlara bağlı olarak toprağın NH₄-N ve NO₃-N'u miktarının arttığını belirlemişlerdir. Yarı kurak koşullarda yürütmüş olduğu çalışmada toprağın NO₃-N içeriğinin NH₄-N içeriğinden daha fazla arttığını ve bu artışın yer altı sularından daha çok yerüstü sularında NO₃-N kirliliği yaratabileceğini bildirmiştir.

Muchuweti ve ark. (2006), atıksu ve arıtma çamuru uygulamaları sonucu bitkilerin ağır metal içeriklerinin Avrupa Birliği'nin ağır metal sınır değerlerini geçtiğini belirlemişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında fasulye, mısır, şeker pancarı ve biber bitkilerinde ağır metal içeriklerini değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar Cd $0,2 \text{ mg kg}^{-1}$, Cu 20 mg kg^{-1} (Anonim 2001c), Cr $1,0 \text{ mg kg}^{-1}$, Hg $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$, Ni $2,0 \text{ mg kg}^{-1}$ (Lake 1987), Pb $0,3 \text{ mg kg}^{-1}$, Zn 50 mg kg^{-1} (Anonim 1989) değerlerinin toksik olduğunu bildirmişlerdir.

Dolgen ve ark. (2007), artan miktarlarda (0, 165, 330, 495 ve 660 t ha^{-1}) gıda sanayi arıtma çamuru uygulaması yaptıkları çalışmalarında hıyar bitkisinde yüksek uygulama düzeylerinde bitki gelişimi parametrelerinde kontrol uygulamasına nazaran daha olumsuz sonuçlar belirlemişlerdir. Ancak diğer uygulama düzeyleri kontrole göre daha yüksek sonuçlar vermiştir. Uygulamalara bağlı olarak sadece Fe ve Zn içeriğinde önemli artışlar belirlemişlerdir. Ağır metal içerikleri artışına bağlı olarak hıyar bitkisinde toksik etki gözlemlenmemişlerdir. Araştırmacılar ağır metal içeriği düşük ve organik madde içeriği yüksek gıda sanayi arıtma çamurlarının topraklara uygulanabileceğini belirtmişlerdir.

Gasco ve Lobo (2007), orta bünyeli toprakta artan miktarlarda (0; 3,66; 7,32; 14,65; 29,3; 58,6 ve $117,2 \text{ g kg}^{-1}$) arıtma çamuru uyguladıkları çalışmalarında, çamur miktarına bağlı olarak toprak özellikleri etkilenmiş, başta pH düşmüş ve EC değeri artmıştır, bitki gelişimi açısından uygulama düzeyine bağlı olarak bitki yapraklarında Na, K, Ca ve Mg içerikleri artmıştır. Ancak 58,6 ve $117,2 \text{ g kg}^{-1}$ düzeylerinde yapraklarda Na zararına bağlı olarak yanma semptomları görülmüştür. Araştırmacılar toprak Na içeriği ve bitki Na içeriği arasında yüksek korelasyon belirlemişlerdir. Arıtma çamuru uygulama düzeylerine bağlı olarak bitki ve toprağın Cr, Ni, Cu, Zn, Cd ve Pb içeriği artmıştır. Ancak bu artışlar Zn haricinde normal sınırlar içerisinde kalmıştır. Arıtma çamurunun en yüksek düzeylerinde topraktaki Zn ve Cr içeriği yönetmelik sınırlarının üzerinde belirlenmiştir. Araştırmacılar arıtma çamuru uygulamalarında çamurun ve toprakların tuzluluk değerinin de belirlenmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Papafilippaki ve ark. (2007), değişik pH, kireç ve organik madde içeren toprakların toplam ve DTPA ile ekstrakte edilebilir Cu, Zn, Pb ve Cr içeriklerini incelemişlerdir.

Toplam ağır metal içeriğinin DTPA ile ekstrakte edilebilir oranının bitkiye yararlı miktarının iyi bir göstergesi olduğunu bildirmiştir (He ve Singh 1993). Ayrıca DTPA ile ekstrakte edilebilir miktarların toplam miktarına oranının çok düşük olduğunu (Cu: %5-25,30, Zn: %2,35-4,06, Pb: %6,80-15,90, Cr: %1,68-2,78) bildirmişlerdir. Toprakların organik madde içerikleri ile alınabilir ağır metaller arasında ilişki olduğunu belirtmişlerdir.

Singh ve Agrawal (2007), sera koşullarında yürüttükleri çalışmalarında arıtma çamurunu kontrol, %20 ve %40 oranlarında toprağa uygulamışlardır. Çamur uygulaması toprak özelliklerini ve bitki gelişimini olumsuz etkilemiştir. Toprağın pH değeri düşmüş, EC, organik madde, toplam N, alınabilir P ve değişebilir Na, K ve Ca içeriği kontrole göre artış göstermiştir. Çamur uygulamasına bağlı olarak Pb, Cr, Cd, Cu, Zn ve Ni içeriği artmıştır. Toprağın Cd içeriği sınır değerlerin üstünde bulunmuştur. Bu artışa bağlı olarak deneme bitkisinin ağır metal içeriği de artış göstermiştir. Cd, Ni ve Zn içeriği sınır değerlerin üstünde bulunmuştur. Uygulama düzeylerine bağlı olarak kök ve gövde uzunluğu, yaprak alanı, yaprak sayısı, kök ve gövde kuru ağırlığı ile toplam ağırlık azalmıştır. Araştırmacılar bu olumsuz durumu arıtma çamuru uygulamasına bağlı olarak toprağın ağır metal içeriğinin artmasına bağlı olarak açıklamışlardır.

Bertoncini ve ark. (2008), çalışmalarında çamur uygulamalarının toprakların P ve Ca içeriğini artırdığını Mg içeriğini azalttığını, K içeriği üzerine ise önemli etkide bulunmadığını belirlemişlerdir. Meydana gelen değişimler kumlu toprakta kil bünyeli topraktan daha fazla olmuştur.

Togay ve ark. (2008), alkali karakterli bir toprakta arıtma çamurunun bitki gelişimi üzerine etkisini inceledikleri çalışmalarında arıtma çamurunu (0, 20, 40 ve 60 t ha⁻¹) düzeylerinde uygulamışlar ve en yüksek verim parametrelerini 40 ve 60 t da⁻¹ uygulamalarında belirlemişlerdir. Bitkinin Cu, Zn, Cr, Pb ve Ni içerikleri sınır değerlerin altında belirlenmiştir. Araştırmacılar arıtma çamurlarının verim potansiyeli düşük topraklarda kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Wang ve ark. (2008), artan miktarlarda uyguladıkları arıtma çamurunun (0 (kontrol), 5, 10, 15, 20 ve 25 %) bitki gelişimi ve ağır metal içeriği üzerine etkisini inceledikleri çalışmalarında en yüksek uygulama düzeyinin bitki gelişimini olumsuz etkilediğini

belirlemişlerdir. Çamur uygulamasına bağlı olarak bitkinin As, Cd, Cr ve Zn içeriği toksik düzeyde bulunmuş ve araştırmacılar arıtma çamurlarının toprağa uygulanmasındaki sınırlayıcı faktörün ağır metal içeriği olduğunu bildirmişlerdir.

Hussein (2009), kum tekstürlü ve kireç içeriği yüksek iki farklı toprağa artan miktarlarda arıtma çamuru uygulamasının her iki toprağında EC değerini yükselttiğini, değişebilir katyonlar (K, Ca, Mg, Na) ve mikro element (Fe, Cu, Zn, Mn) içeriğini artırdığını belirlemiştir. Çamur uygulamaları toprakların pH değerini düşürmüştür. Araştırmacı arıtma çamurunun toprakların fiziksel özelliklerini düzelttiğini bildirmiştir. En yüksek bitki gelişimi çamur uygulamasının maksimum uygulama düzeyinden (125 t ha^{-1}) elde edilmiştir. Araştırmacı çamur uygulamasının bitkinin besin elementi ihtiyacını karşıladığını bildirmiştir.

Karami ve ark. (2009), kireçli toprak koşullarında yürüttükleri çalışmalarında arıtma çamurunu 50 ve 100 ton ha^{-1} düzeylerinde tek seferde ve 4 yıl süre ile uygulamışlardır. Çamur uygulamaları toprak pH'sında değişiklik meydana getirmezken toprağın organik C, EC ve KDK değerini etkilemiştir. Artan miktarlara bağlı olarak toprağın toplam ve DTPA ile ekstrakte edilebilir ağır metal içeriği artmıştır. Toprakların Zn ve Cu içeriği kimi ülkelerin sınır değerlerinin üzerinde bulunmuştur. 100 t ha^{-1} uygulaması bitki kuru ağırlığını kontrole göre 6 kat artırmıştır. Araştırmacılar arıtma çamurunun bir iki yıl uygulanması gerektiğini bildirmişlerdir.

Smith (2009), arıtma çamurları ve organik atıkların değişik miktarlarda ağır metaller içerilebileceğini ve kompostlama işleminin ağır metallerin alınabilirliğini oluşturan kompleks bileşikler nedeniyle azalttığını bildirmiştir. Araştırmacı organik maddeye bağlılığının en yüksek Pb, en düşük Ni ve sırasıyla Zn, Cu, Cd şeklinde sıralandığını belirtmiştir. Ayrıca araştırmacı arıtma çamuru ve kompostlardaki ağır metal yayılmasının bağlı olduğu etmenler hakkında bilgiler vermiştir.

Ahmed ve ark. (2010), kireç içeriği yüksek topraklarda arıtma çamurunu N ve P uygulamaları ile birlikte değerlendirmişlerdir. Çalışmada arıtma çamuru toprak pH'sını düşürmüş EC değerini yaklaşık 5 kat yükseltmiştir. Arıtma çamuru deneme bitkisinin N içeriğini yükseltmiş ancak P içeriğine etki bakımından yetersiz kalmıştır. Araştırmacı bu

durumu çamur fosforunun organik formda olduğunu ve mineralizasyon süresinin uzunluğuna bağlamışlardır.

Keskin ve ark. (2010), kumlu bünyeli ve yüksek pH'ya sahip toprakta yapmış oldukları çalışmada arıtma çamuru ve mineral gübreleme uygulamalarını karşılaştırmışlardır. Arıtma çamuru ve gübre uygulamaları bitkinin kuru ağırlık, N, K, Cu, Zn, Pb, Cr ve Ni içeriğini artırmıştır. İlk yıl çamur ve gübre uygulamaları P, Cu, Mg, Cr içeriği üzerine etkili olmamıştır. Çalışmada deneme sonunda alınan topraklarda çamur uygulamaları ile DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe, Cu, Zn, Mn, Pb ve Cd miktarları artış göstermiştir.

2.4. ABD, Avrupa Birliği ve Ülkemizde Arıtma Çamurlarının Değerlendirilmesi

Arıtma tesisinde oluşan çamurlar, çeşitli kademelerde işlem gördükten sonra son olarak yok edilmesine yönelik çeşitli alternatifler (düzenli depolama, araziye uygulama, kimyasal sabitleme, termik yöntemler) bulunmaktadır (Filibeli 1998).

Düzenli depolama işleminde arıtma çamurları belli bir nem düzeyinde olma koşuluyla halk sağlığına ve güvenliğine zarar vermeyecek şekilde depolanması ve üzerinin örtülmesidir. Ancak burada arıtma çamurlarının içermiş olabileceği ağır metaller ve toksik maddeler dolayısıyla yağışlarla birlikte yeraltı suyu kirliliğine neden olma ihtimali göz önünde bulundurulmalıdır. Arıtma çamurlarının arazide bertarafında içermiş olduğu organik madde ve mineral tuzlar nedeniyle toprak özelliklerini iyileştirerek erozyonu engellemede ve bitki için gerekli besin maddelerinin sağlanması olarak düşünülebilir. Ancak bu amaçla kullanılacak arıtma çamurlarına bazı ön işlemler uygulanarak çevresel etki açısından zararsız hale getirilmesi ve ayrıca değişebilecek yeraltı suyu kalite değerleri sürekli izlenmelidir. Kimyasal sabitleme işlemi ile atık maddeler bağlayıcı maddeler ile bazı özel işlemlerden geçirildikten ve zararlı kirleticiler en az düzeye indirildikten sonra depolama alanlarında veya değişik şekillerde (örtü materyali, katkı maddesi vb.) değerlendirilebilir. Termik yöntemlerde nemi uzaklaştırılan çamurlar özel fırınlarda yakılmaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri'nde, Avrupa'da çeşitli ülkelerde ve ülkemizde arıtma çamurlarını değerlendirme ve bertarafı ile ilgili uygulamalar yüzde olarak Çizelge 2.20, 2.21 ve 2.22'de verilmiştir (Spinosa ve Vesilind 2001).

Çizelge 2.20. ABD'de yıllara göre arıtma çamuru uzaklaştırma yöntemleri (Bastian 1997)

Uygulamalar, %	1972	1989	1997
Tarım alanlarına	20	33,3	54,8
Yüze boşaltma	-	10,3	19,2
Depolama	40	33,9	-
Yakma	25	16,1	17,3
Okyanus	15	6,3	-
Diğer	-	-	8,5

Çizelge 2.21. Bazı Avrupa ülkelerde arıtma çamuru uzaklaştırma yöntemleri (Anonim 2004a)

Ülkeler	Yıl	Toplam 10 ³ t yıl ⁻¹ kuru	Tarım alanlarında	Depolama	Yakma	Diğer*
Avusturya	2001	244	15	18	32	35
Belçika	1998	78	35	33	23	9
Çek Cum.	2002	211	77	18	-	4
Danimarka	1999	156	59	13	21	7
Finlandiya	2000	160	12	6	-	82
Fransa	1998	980	39	12	8	71
Almanya	2001	2429	31	7	23	40
Yunanistan	2000	66	10	90	10	-
Macaristan	2000	102	27	46	-	28
İrlanda	2000	1	-	100	-	-
İzlanda	2001	34	40	51	-	9
İtalya	1993	2177	10	57	1	32
Lüksemburg	1999	17	70	19	-	1
Hollanda	2000	346	-	19	54	27
Norveç	2001	112	59	16	-	28
Polonya	2001	397	12	50	2	36
Portekiz	1998	132	-	-	-	-
Slovenya	2002	62	87	13	-	-
İspanya	2000	853	53	18	8	21
İsveç	2000	230	21	35	-	44
İsviçre	2000	203	39	2	59	-
İngiltere	2000	937	60	7	22	11
Türkiye	1997	2838	5	21	-	74
Ortalama, EU			36.4	47.0	10.0	6.6

*. Diğer yöntemler içine deniz deşarj, kompost üretme, çöplüğe boşaltma, vb.

Çizelge 2.22. Ülkemizde arıtma çamuru uzaklaştırma yöntemleri (Anonim 2004b)

Uygulamalar, %	1994	1996	2004
Tarım alanlarına	8,19	6,10	10,16
Denize boşaltma	12,75	4,66	-
Araziye boşaltma	33,49	40,69	15,05
Belediye çöplüğüne	4,50	21,99	18,71
Yakma	0,26	3,93	4,40
Depolama	15,45	7,02	30,57
Gömme veya dolgu maddesi olarak kullanma	2,82	1,67	10,19
Diğer	22,54	13,44	0,09
Üretimde kullanılan	-	-	10,62

Arıtma çamuru miktarları Anonim (2007)'e göre Amerika Birleşik Devletleri'nin tüm eyaletlerinde yaklaşık 7 180 000 ton olarak belirtilmiştir. Oluşan bu çamurların % 49' tarımsal amaçlı değerlendirilmekte, % 45'i arazide depo edilmekte, % 6'sı ise diğer şekillerde bertaraf edilmektedir. Larnus ve ark. (2007)'e göre Avrupa Birliğine üye 25 ülkede ortalama yıllık 10 400 000 ton atık çamur oluşmaktadır. Ülkemizde ise 1992 yılından itibaren yıllık zaman aralıklarıyla sanayi kuruluşlarının neden olduğu çevre kirliliğinin belirlenebilmesi için ihtiyaç duyulan veri alt yapısını oluşturmak amacıyla çalışmalar yürütülmektedir. Türkiye'de 2004 yılı itibariyle ortaya çıkan arıtma çamuru miktarı ortalama 2 300 000 ton civarında olduğu Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından bildirilmiştir (Anonim 2004b).

İçermiş olduğu ağır metal ve diğer bileşiklere bağlı olarak ülkelerde arıtma çamuru uygulama miktarlarına yıllık ve uzun vadede toprakta ulaşılacak miktara ve yetiştirilecek bitki çeşitlerine bağlı olarak sınırlamalar da getirilmiştir (Mathews 2001). Bazı ülkelerde izin verilen arıtma çamur miktarları Çizelge 2.23'de verilmiştir.

Çizelge 2.23. Avrupa ülkelerinde izin verilen arıtma çamuru uygulama miktarları

Ülkeler	Yıl olarak bir defada olmak üzere izin verilen miktarlar, t ⁻¹ ha ⁻¹ yıl ⁻¹
Belçika	3
Danimarka	10
Almanya,	3
Finlandiya	4
Fransa	10
İrlanda	1
İtalya	3
Lüksemburg	1
Hollanda	1
Norveç	10
Avusturya	2
İsveç	5
İsviçre	3
Amerika	100

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Arıtma Çamurlarının Tarımsal Özelliklerinin Belirlenmesi

3.1.1. Arıtma çamurlarının alındığı arıtma tesisleri

Çalışma kapsamında Bursa ve civarında faaliyet gösteren başta gıda sanayi olmak üzere şehir kanalizasyon atıksuyu arıtımında faaliyet gösteren arıtma tesisleri ele alınmıştır. (Çizelge 3.1). Penguen Gıda Sanayi ve Tat A.Ş. işlenmiş sebze ve meyve üretimi yapmaktadır. Natura Gıda süt ürünleri konusunda faaliyet göstermektedir. Mauri ise maya üretimi yapmaktadır. Buski (Batı ve Doğu bölgesi) ve Yenice arıtma tesisleri Bursa ili ve Yenice Belediyesi kanalizasyon atık suyunu arıtmaktadır. Ayrıca Bursa Ticaret ve Sanayi Odası Organize Sanayi Bölgesi (OSB) işletmesine ait büyük atıksu arıtma ve nilüfer deresi su sağlama arıtma tesisi yer almaktadır. Örneklemesi yapılan arıtma tesislerinden İnegöl OSB arıtma tesisinden kapasite artırma çalışmaları nedeniyle bir dönem örnekleme yapılabilmektedir.

Çizelge 3.1. Çalışma kapsamında örnek alınan arıtma tesisleri

Arıtma Tesisleri	Sektörü	Arıtma çamuru miktarı*
Yenice Belediyesi	Konutlardan kaynaklanan evsel nitelikli atıksular	5 t gün ⁻¹
BUSKİ (Doğu-Batı) Bursa Büyükşehir Su ve Kanalizasyon İdaresi	Konutlardan kaynaklanan evsel nitelikli atıksular ile çeşitli işletmelerden kaynaklanan endüstriyel nitelikli atıksular	60-120 t gün ⁻¹
Bursa Organize Sanayi Bölgesi Nilüfer-BURSA (Büyük arıtma- Nilüfer su sağlama)	163 adet çeşitli işletmeler (otomotiv-gıda-kimya-metal vb)	60 t gün ⁻¹ 4 t gün ⁻¹
İnegöl Belediyesi ve İnegöl Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi	Konutlardan kaynaklanan evsel nitelikli atıksular ile İ.O.S.B.'nde faaliyet gösteren 85 adet işletmeden kaynaklanan endüstriyel nitelikli atıksular	20 t gün ⁻¹
Penguen Gıda San.Tic.A.Ş.	Gıda Sanayi	1 t gün ⁻¹
Tat Konserve A.Ş.	Gıda Sanayi	1 t gün ⁻¹
Natura Gıda	Gıda Sanayi	1 t gün ⁻¹
Mauri Maya	Gıda Sanayi	1 t gün ⁻¹

*. Tesis çalıştığı sürece meydana gelen ortalama arıtma çamuru miktarları

3.1.2. Arıtma çamurlarından örnek alınması, analize hazırlanması ve yapılan analizler

Atıksu arıtma tesislerinden çıkan çamurların zamana bağlı olarak değişimlerini belirlemek amacıyla bir yıl süre ile Mart 2008 - Şubat 2009 tarihleri arasında aylık örnekleme yapılmıştır. Alınan örneklerde tarımsal özellikler belirlenmiştir. Ayrıca kimyasal karakterizasyonunu ortaya koyabilmek için kimi ağır metal analizleri yapılmıştır. Arıtma tesislerinden örnek alınma zamanında Iranpour ve ark. (2004) tarafından bildirilen esaslar göz önünde bulundurulmuştur (Çizelge 3.2). Yapılan ağır metal analiz sonuçları resmi gazetede yer alan yönetmelikteki sınır değerlerle karşılaştırılmıştır (Anonim 2010).

Çizelge 3.2. Arıtma çamurlarının karakterizasyonu amacıyla örnekleme zamanının belirlenmesi

Miktar, ton yıl ⁻¹	Tarımsal özellikler	Ağır metal	Organik bileşikler	Mikroorganizmalar	Oksinler
<250	2	2	-	2	-
250-1000	4	4	1	4	-
1000-2500	8	4	2	8	-
2500-4000	12	8	4	12	1
>4000	12	12	6	12	1

Belirtilen esaslara göre aylık olarak arıtma tesislerinden kompozit örnekleme yapılmış, örnekler sera ve laboratuarda 65 °C'de kurutulmuş, analizlerde kullanılacak kısım 0,5 ve 2,0 mm'lik elekten elendikten sonra analize hazır hale getirilerek örnekleme dönemlerine göre etiketlenerek plastik örnek saklama kaplarına konulmuştur. Arıtma çamurlarında yapılan analiz ve yöntemleri aşağıda belirtilmiştir.

Reaksiyon (pH): Arıtma çamuru-saf su (1:5 hacim) süspansiyonunda cam elektrotlu Orion 720 A model pH-metre ile belirlenmiştir (Nilsson et al. 2005a)

Elektriksel iletkenlik (EC): Arıtma çamuru-saf su (1:5 hacim) ekstraktında WTW LF 92 Model EC-metre ile belirlenmiştir (Nilsson et al. 2005b).

Organik madde: Kuru yakma yöntemi ile belirlenmiştir (EN 128803).

Organik C: Belirlenen organik madde miktarının Van Bemmelen faktörüne bölünmesiyle hesaplanmıştır.

C:N oranı: Belirlenen organik C miktarının % azot miktarına bölünmesi ile hesaplanmıştır.

Toplam azot: Modifiye edilmiş Kjeldahl yöntemi ile belirlenmiştir. Buchi K-437 yakma blokunda yakılan örnekler Buchi K-350 model buharlı damıtma cihazında damıtılmıştır (Bremmer 1965).

Amonyum (NH₄-N): 2 M KCl çözeltisi ile ekstraksiyon sonucu elde olunan çözeltide indofenol mavisi yöntemi ile kolorimetrik olarak PG Instruments T60 Split Beam UV/VIS spektrofotometre ile belirlenmiştir (Solorzano 1969).

Nitrat (NO₃-N): Nitrat içeriği 2 M KCl çözeltisi ile ekstraksiyon sonucu elde olunan çözeltide salisilik asitin sülfürik asit varlığında nitrasyonu esasına dayanılarak kolorimetrik olarak PG Instruments T60 Split Beam UV/VIS spektrofotometre ile belirlenmiştir (Robarge ve ark. 1983).

Toplam P: Mikrodalga fırında HNO₃ ile yaş yakma sonucu elde olunan çözeltide vanadamolibdofosforik sarı renk yöntemine göre PG Instruments T60 Split Beam UV/VIS spektrofotometre ile belirlenmiştir (Anonim 1998).

Alınabilir P: 0.5 M NaHCO₃ (pH 8.5) ile çıkartılan ekstrakta molibdofosforik mavi renk yöntemine göre PG Instruments T60 Split Beam UV/VIS spektrofotometre ile belirlenmiştir (Watanabe ve Olsen 1965).

Toplam K, Na, Mg ve Ca: Mikrodalga fırında HNO₃ ile yaş yakma sonucu elde edilen çözeltide Mg Perkin Elmer Optima 2100 DV model ICP OES ile Na, K ve Ca ise Ependorf Elex 6361 model fleymfotometre ile belirlenmiştir (Anonim 1998).

Toplam ağır metaller (Pb, Cd, Cr, Ni, Cu, Zn, Fe ve Mn): Mikrodalga fırında HNO₃ ile yaş yakma sonucu elde edilen çözeltide Perkin Elmer Optima 2100 DV model ICP OES ile belirlenmiştir (US EPA 1995).

Alınabilir ağır metaller: Arıtma çamurlarının DTPA ile ekstrakte edilmesi (1:10) sonucunda elde edilen süzükte Perkin Elmer Optima 2100 DV model ICP OES ile belirlenmiştir (Lindsay ve Norwell 1978).

3.2. Arıtma Çamurlarının Toprak Özellikleri ve Bitki Gelişimi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi

3.2.1. İnkübasyon denemesi

Arıtma çamurlarının toprak özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesine yönelik olarak yürütülen inkübasyon çalışmasında Bursa ilinde yoğun olarak tarım yapılan iki farklı büyük toprak grubu kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan toprakların toprak taksonomisine göre sınıflandırılması Özsoy (2001) tarafından yapılmıştır (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3. Çalışma kapsamında kullanılan toprakların toprak taksonomisi (1975 ve 1999) ve FAO\Unesco (1974 ve 1990) sınıflandırma sistemlerine göre sınıflandırılması

Toprak No	Ordo	Alt Ordo	Büyük Grup	Alt Grup	Fao/Unesco	Toprak Serisi
1	Entisol	Orthent	Xerorthent	Lithic Xerorthent	Eutric Leptosol	Görükle (Gr)
2	Vertisol	Xerert	Haploxerert	Typic Haploxerert	Eutric Vertisol	Çiftlik (Çf)

İnkübasyon denemesi Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü'nde mevcut olan sıcaklık (28±2), nem (%65±5) ve ışık miktarlarının ayarlanabildiği iklim odasında 150 gün olarak planlanmış ve yürütülmüştür. 250 g toprak alan plastik kaplara 0, 4, 8, 12 ve 16 t da⁻¹ düzeylerinde arıtma çamurları kuru madde ilkesine göre uygulanmış ve 1-30-60-90-120 ve 150. gün inkübasyon süreleri sonunda topraklarda aşağıda belirtilen kimi analizler yapılmıştır. Deneme süresince inkübasyon kapları tarla kapasitesinin %70'i oranında saf su ile sulanmıştır. Kullanılan topraklardan Entisol toprak sınıfına giren Görükle serisi fazla kireç (% 35,45) içermektedir. Vertisol sınıfına giren Çiftlik serisi toprak ise kil içeriği yüksek (% 48,25) kireç içermeyen bir topraktır. Toprakların kimi özellikleri Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Çalışmada kullanılan toprakların kimi özellikleri

Özellikler	Entisol (Görükle serisi)	Vertisol (Çiftlik serisi)
% Kum	24,60	35,08
% Silt	22,99	16,67
% Kil	52,41	48,25
Tekstür	Kil	Kil
pH	8,03	7,79
EC, $\mu\text{S cm}^{-1}$	601	260
KDK, meq 100 g ⁻¹	40,45	51,36
Kireç, %	35,45	0,39
Org.mad., %	1,70	1,76
Toplam N, %	0,157	0,137
NH ₄ -N, mg kg ⁻¹	13,36	5,42
NO ₃ -N, mg kg ⁻¹	10,07	0,95
Alınabilir P, mg kg ⁻¹	6,02	20,18
Toplam Pb, mg kg ⁻¹	iz	iz
Toplam Cd, mg kg ⁻¹	0,731	0,206
Toplam Cr, mg kg ⁻¹	108,2	142,0
Toplam Ni, mg kg ⁻¹	131,0	158,8
Toplam Cu, mg kg ⁻¹	15,24	22,88
Toplam Zn, mg kg ⁻¹	81,59	65,90
Toplam Mn, mg kg ⁻¹	150,6	55,97
DTPA eks Cd, mg kg ⁻¹	0,026	0,036
DTPA eks Cr, mg kg ⁻¹	0,014	0,013
DTPA eks Ni, mg kg ⁻¹	1,270	3,350
DTPA eks Cu, mg kg ⁻¹	1,537	2,925
DTPA eks Zn, mg kg ⁻¹	1,413	0,674
DTPA eks Mn, mg kg ⁻¹	8,187	10,52
DTPA eks Fe, mg kg ⁻¹	10,92	11,34

Çalışma kapsamında yürütülen inkübasyon çalışmasında farklı kökenli arıtma çamurları (kanalizasyon (BUSKİ Doğu), organize sanayi+kanalizasyon (İnegöl OSB), aerobik gıda kökenli (Penguen Gıda) ve anaerobik arıtma çamuru (Mauri Gıda) kullanılmıştır (Çizelge 3.5). Inkübasyon çalışması sonuçlarından yararlanılarak arıtma çamurlarının uygulama düzeyi ve zamana bağlı olarak toprak özellikleri üzerine etkileri belirlenmiştir.

Yukarıda belirtilen toprak serilerinden (Bkz. Çizelge 3.4) usulüne uygun olarak alınan toprak örnekleri 2 mm'lik elekten geçirilip plastik kavanozlarda saklanarak analizlerde kullanılmıştır (Kacar 1994). Toprak analizlerinde kullanılan yöntemler aşağıda belirtilmiştir.

Çizelge 3.5. Denemede kullanılan arıtma çamurlarının kimi özellikleri

Özellikler	B BUSKI	L İnegöl OSB	P Penguen	M Mauri	Anonim 2010
pH	6,24	6,86	6,97	10,17	
EC, mS cm ⁻¹	3,86	2,74	5,29	16,24	
OM, %	73,26	61,10	56,17	27,04	
Org. C, %	42,49	35,44	32,58	15,68	
C:N oranı	7,41	7,51	9,47	7,07	
Toplam N,%	5,73	4,72	3,43	2,21	
NH ₄ -N, mg kg ⁻¹	654,3	266,7	249,6	iz	
NO ₃ -N, mg kg ⁻¹	iz	iz	iz	iz	
Toplam P,%	2,46	0,69	0,50	1,395	
Alın. P, % mg kg ⁻¹	3612	615,1	237,5	633,9	
Toplam K,%	0,646	0,112	0,098	2,595	
Değiş. K, %	0,515	0,062	0,035	2,509	
Toplam Ca, %	2,331	4,883	10,20	18,90	
Değiş. Ca,%	0,118	0,613	0,704	0,125	
Toplam Mg, %	0,825	0,646	0,461	0,687	
Değiş. Mg,%	0,134	0,207	0,103	0,064	
Toplam Na,%	0,158	0,419	0,425	1,942	
Değiş. Na,%	0,117	0,316	0,324	1,855	
Toplam Fe, %	0,763	1,052	1,134	0,220	
Toplam Mn, mg kg ⁻¹	308,8	229,7	215,5	1360	
Toplam Pb, mg kg ⁻¹	34,74	25,81	14,25	2,98	750
Toplam Cd, mg kg ⁻¹	5,87	12,47	4,95	7,46	10
Toplam Cr, mg kg ⁻¹	503,5	192,0	58,75	13,62	1000
Toplam Ni, mg kg ⁻¹	131,6	89,25	62,62	18,62	300
Toplam Cu, mg kg ⁻¹	181,9	187,6	64,25	23,12	1000
Toplam Zn, mg kg ⁻¹	819,5	248,2	421,0	146,3	2500

Mekanik analiz (Tekstür): Toprak örneklerinin kum, silt ve kil fraksiyonları Bouyoucos (1951) tarafından bildirildiği şekilde hidrometre yöntemine göre belirlenmiş, tekstür sınıfları Soil Survey Staff (1951)'e göre saptanmıştır.

Toprak reaksiyonu (pH): Toprak örneklerinin pH değerleri 1:2,5 toprak saf su karışımında Orion 720A model pH/iyonmetresi ile belirlenmiştir (Mc Lean 1982).

Elektriksel iletkenlik (E.C.): Toprak örneklerinin elektriksel iletkenlik değeri 1:2,5 toprak saf su ekstraktında WTW LF 92 model kondaktivitimetre ile ölçülerek belirlenmiştir (Rhoades 1982).

Kireç (% CaCO₃): Toprak örneklerinin kireç miktarı Scheibler kalsimetresi ile belirlenmiştir (Nelson 1982).

Tarla Kapasitesi: 100 g kuru toprak örneği 100 ml'lik ölçü silindiri içerisine konulmuş ve toprağın kapladığı hacim ölçülmüş, 10 ml saf su ilave edildikten sonra, buharlaşmayı

önlemek için ölçü silindirinin ağzı kapatılmış, 24 saat sonra ölçü silindiri içerisinde ıslanan toprağın hacmi ölçülerek toprağın tarla kapasitesinde tuttuğu su miktarı hesap edilmiştir (Alpaslan ve ark. 1998).

Organik madde: Organik madde miktarı ise Nelson ve Sommers (1982), tarafından bildirildiği şekilde Walkley-Black yaş yakma yöntemine göre belirlenmiştir.

Toplam azot (N): Toprak örneklerinin toplam azot içeriği Kjeldahl yöntemiyle belirlenmiştir. Buchi K 437 yakma blokunda yakılan örnekler, Buchi K 350 model buharlı damıtma cihazında damıtılmıştır (Nelson ve Sommer 1982).

Amonyum (NH₄) ve Nitrat (NO₃): 2 M KCl çözeltisi ile ekstraksiyon sonucu elde olunan amonyum, indofenol mavisi yöntemi ile, nitrat salisilik asitin sülfürik asit varlığında nitrasyonu esasına dayanılarak ile kolorimetrik olarak spektrofotometre ile belirlenmiştir (Robarge ve ark. 1983; Solorzano 1969).

Alınabilir fosfor (P): Toprak örneklerinin yarıyışlı fosfor içeriği 0.5 M sodyum bikarbonat (pH 8.5) ile ekstrakte edilmesi sonucu elde edilen süzükte askorbik asit yöntemi ile belirlenmiştir (Watanabe ve Olsen 1965).

Değişebilir katyonlar (Na, K, Ca, Mg): Toprak örneklerinin 1 N amonyum asetat (pH 7.0) çözeltisi ile ekstrakte edilmesiyle elde edilen süzükte değişebilir sodyum, potasyum ve kalsiyum Eppendorf Elex 6361 fleymfotometresi ile, magnezyum ise Perkin Elmer Optima 2100 DV model ICP OES ile belirlenmiştir (Thomas 1982).

Alınabilir ağır metaller (Pb, Cd, Cr, Ni, Cu ve Zn):Toprakların DTPA ile ekstrakte edilmesi sonucunda elde edilen süzükte alınabilir metaller Perkin Elmer Optima 2100 DV model ICP OES ile belirlenmiştir (Lindsay ve Norwell 1978).

Toplam ağır metaller (Pb, Cd, Cr, Ni, Cu ve Zn): Mikrodalga sistemle yakılan örneklerde Perkin Elmer Optima 2100 DV model ICP OES ile belirlenmiştir (Page ve ark.1982).

3.2.2. Sera Denemesinin Kurulması ve Yürütülmesi

Arıtma çamurlarının iki farklı özellikteki toprakta bitki gelişimi üzerine etkisini belirlemek amacıyla U.Ü. Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü cam serasında saksı denemesi yürütülmüştür. Denemede kullanılan arıtma çamurları çalışılabilir nem düzeyine gelene kadar sera koşullarında 3 ay süre ile kurutulmuş ve B sınıf arıtma çamuru olarak değerlendirilmiştir (Peckenham 2005). Daha sonra plastik saksılara kuru ağırlık esasına göre 4 kg toprak ve arıtma çamuru yine kuru ağırlık esasına göre 0, 4, 8, 12 ve 16 ton da⁻¹ düzeylerinde karıştırılmıştır. Saksılar tarla kapasitesinin %70'i düzeyinde saf su ile sulandıktan sonra sera koşullarında 30 gün süre ile inkübasyona bırakılmış ve bu süre içinde toprakların nem düzeyi belirli aralıklarla saf su ile sulamak suretiyle korunmuştur.

Çalışmada mısır (*Zea mays* L) test bitkisi olarak yetiştirilmiştir. Ekim öncesinde saksılara 100 mg kg⁻¹ azot NH₄NO₃'dan, 80 mg kg⁻¹ fosfor KH₂PO₄'tan ve 100 mg kg⁻¹ potasyum temel gübreleme olarak çözelti şeklinde uygulanmıştır. Saksılara 6 adet mısır tohumu ekilmiş ve çıkış sonrası seyreltme yapılarak her saksıda 3'er adet bitki bırakılmıştır. Bitkilerin gelişimi boyunca saksılara tarla kapasitesinin %70'i oranında su verilmiştir. Gelişme periyodu boyunca belli aralıklarla fenolojik gözlemler yapılmıştır. Uygulamalar arası farklılıklar gözetlenerek bitkiler toprak seviyesinden kesilerek hasat yapılmıştır.

Taze ağırlıkları belirlenen bitkiler önce çeşme suyunda yıkanmış, sonra iki kez saf sudan geçirilerek 65°C deki havalı kurutma dolabında kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan bitkiler öğütme değirmeninde öğütülerek homojen bir karışım halinde analize hazır duruma getirilmiştir (Kacar ve İnal 2008). Bitki örneklerinde yapılan kimi analizler aşağıda belirtilmiştir.

Azot (N): Bitki örneklerinde toplam Kjeldahl yöntemi ile belirlenmiştir. Buchi K-437 yakma blokunda yakılan örnekler Buchi K-350 model buharlı damıtma cihazında damıtılmıştır (Bremmer 1965).

Fosfor (P): Mikrodalga fırında $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ ile yaş yakma sonucu elde edilen çözeltilerde fosfor; vanadomolibdofosforik sarı renk yöntemine göre PG Instruments T60 Split Beam UV/VIS spektrofotometre ile belirlenmiştir (Lott ve ark.1956).

Sodyum (Na), Potasyum (K), Kalsiyum (Ca) ve Magnezyum (Mg): Mikrodalga fırında $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ ile yaş yakma sonucu elde edilen çözeltide sodyum, potasyum ve kalsiyum Ependorf Elex 6361 Flame fotometresinde (Horneck ve Hanson 1998) Mg ise Perkin Elmer Optima 2100 DV model ICP OES ile belirlenmiştir.

Ağır metaller (Pb, Cd, Cr, Ni, Cu, Fe, Mn ve Zn): Mikrodalga fırında $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ ile yaş yakma sonucu elde edilen çözeltide Perkin Elmer 2100DV Optima model ICP'de belirlenmiştir (Isaac ve Johnson 1998)

3.3. İstatistiksel Analizler

İnkübasyon denemesi tesadüf blokları deneme desenine göre 4 faktörlü, sera denemesi ise 3 faktörlü ve 3 tekrarlı olarak yürütülmüştür. Elde edilen verilerin varyans analizi TARİST (1994) paket programı ile yapılmıştır. Ortalamalar arası farklılıkların karşılaştırılmasında LSD testi ($p < 0,05$; $p < 0,01$) kullanılmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Arıtma Çamurlarının Kimi Tarımsal Özellikleri

Çalışma kapsamında örnekleme yapılan kanalizasyon, sanayi ve gıda kökenli arıtma çamurlarının kimi tarımsal özellikleri (pH, EC, OM, Org C, C:N oranı, toplam N, NH₄-N, toplam P, alınabilir P, toplam K, Ca, Na ve Mg içerikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 incelendiğinde çalışma kapsamında incelenen kanalizasyon, sanayi ve gıda kökenli arıtma çamurlarının pH yönünden Mauri Maya (pH 9,74-10,12) haricinde hafif asit veya nötr özellikte (pH 5,73-7,54) olduğu belirlenmiştir. Arıtma çamurları EC yönünden incelendiğinde genel olarak en yüksek EC değerleri kanalizasyon kökenli Buski Doğu ve Yenice Belediyesi ile Gıda kökenli arıtma çamurlarından Mauri Maya (19,23-33,99 mS cm⁻¹) örneklerinde belirlenmiştir. Oleszczuk (2006), arıtma çamurlarının EC değerinin 3,00 mS cm⁻¹ üzerinde olduğunu ve bu durumun topraklara uygulamada bitki gelişimini olumsuz etkilediğini belirtmiştir. Ayrıca arıtma çamurlarının tuzluluk değerinin uygulama sonrası toprakta meydana getireceği birikim nedeniyle önemle üzerinde durulması gereken bir faktör olduğu bildirilmiştir (Espinoza ve ark. 2000, Özgüven ve Katkat 2001, Aşık ve Katkat 2004, Gasco ve Lobo 2007).

Arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı olarak topraklara uygulanmasında, içermiş oldukları yüksek organik madde nedeniyle özellikle toprakların başta fiziksel özellikleri olmak üzere kimyasal ve biyolojik özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır (Anonim 1992, Petersen ve ark. 2003). Arıtma çamurları incelendiğinde, organik madde içeriklerinin kanalizasyon kökenli çamurlarda daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.1). Arıtma çamurlarının C:N oranı bir yıl içerisinde 6,12-17,28 arasında değişmektedir. Anaerobik gıda arıtma çamuru olan Mauri Maya arıtma çamurunun C:N oranı diğer çamurlara nazaran daha yüksek bulunmuştur. Arıtma çamurlarının C:N oranı özellikle toprağa uygulamalarda çamurun mineralizasyonu üzerine etkide bulunmakta ve düşük C:N oranına sahip çamurlar uygulama sonrasında toprakta humik maddelerin daha çabuk mineralize olmasına ve birikim etkisinin azalmasına neden olmaktadır (Chaussod ve Germon 1977).

Çizelge 4.1. Arıtma çamurlarının kimi tarımsal özellikleri

Dönemler ve Özellikler	BUSKİ			BTSO	Yenice	İnegöl OSB	Penguen	Tat	Natura	Mauri	
	Doğu	Batı	Büyük	Nilüfer							
pH	Yaz	*6,49	6,40	7,32	7,55	6,70	6,88	6,96	6,75	6,72	10,07
	Sonbahar	6,07	6,17	6,89	7,37	6,67	-	7,37	7,04	6,76	10,12
	Kış	5,73	6,11	7,03	7,23	6,30	-	6,97	6,89	7,15	9,74
	İlkbahar	5,73	6,01	6,79	7,24	6,26	-	6,02	6,74	6,50	9,87
EC, mS cm ⁻¹	Yaz	4,04	3,16	2,08	2,15	2,97	2,78	5,04	5,56	1,67	19,23
	Sonbahar	3,14	2,02	2,53	2,54	2,48	-	3,13	3,25	1,42	33,99
	Kış	3,99	2,68	2,87	2,94	4,83	-	4,60	3,86	1,74	37,17
	İlkbahar	4,66	3,81	4,42	1,52	4,34	-	3,82	3,99	2,78	28,43
OM, %	Yaz	69,7	65,7	68,8	46,9	62,5	58,5	56,8	58,5	58,8	27,2
	Sonbahar	70,5	66,5	62,0	51,7	58,9	-	40,2	17,3	62,4	27,4
	Kış	71,1	64,3	60,8	47,6	69,5	-	52,1	17,4	69,3	27,5
	İlkbahar	72,5	65,3	68,0	30,2	74,8	-	65,8	38,8	61,9	30,5
Org C, %	Yaz	40,43	38,08	39,88	27,23	36,23	33,94	32,94	33,90	34,13	15,79
	Sonbahar	40,91	38,55	35,97	29,96	34,19	-	23,33	10,03	36,21	15,88
	Kış	41,25	37,27	35,27	27,63	40,33	-	30,19	8,99	40,17	15,95
	İlkbahar	42,05	37,86	39,41	17,48	43,36	-	38,18	19,39	35,91	17,71
C:N oranı	Yaz	7,10	7,80	14,17	8,09	6,30	8,228	9,38	8,48	17,28	7,07
	Sonbahar	7,10	7,97	11,79	7,59	6,25	-	10,31	7,39	15,77	8,08
	Kış	6,12	6,94	11,66	6,54	5,88	-	8,62	6,12	13,64	7,24
	İlkbahar	6,06	6,76	10,07	8,31	7,71	-	8,32	7,68	14,16	6,45
N,%	Yaz	5,70	4,89	2,90	3,38	5,77	4,174	3,51	4,16	2,00	2,23
	Sonbahar	5,77	4,89	3,06	4,05	5,49	-	2,27	1,36	2,36	1,96
	Kış	6,74	5,38	3,03	4,23	6,89	-	3,50	1,49	2,95	2,25
	İlkbahar	6,94	5,61	4,02	2,10	7,71	-	4,62	2,55	2,51	2,74
NH ₄ -N, mg kg ⁻¹	Yaz	800,1	667,4	122,8	160,5	262,9	291,9	449,8	379,8	81,06	iz
	Sonbahar	295,7	181,8	14,81	147,7	182,7	-	178,6	1673,8	67,20	iz
	Kış	231,5	207,4	68,51	125,6	129,6	-	132,8	1447,8	89,60	iz
	İlkbahar	240,7	235,9	38,88	145,6	449,7	-	375,9	1422,9	60,00	iz
P,%	Yaz	2,50	1,87	2,24	1,85	0,97	0,69	0,50	0,99	0,38	1,38
	Sonbahar	2,79	0,86	2,05	1,83	0,85	-	0,44	0,10	0,47	1,00
	Kış	2,70	1,65	2,09	1,55	1,21	-	0,59	0,41	0,63	1,35
	İlkbahar	2,52	1,71	1,85	0,83	1,22	-	0,59	0,58	0,63	1,38
Alın. P, mg kg ^{-1b}	Yaz	3753,4	3567,1	385,7	190,6	1126,4	461,6	385,9	959,8	30,66	623,3
	Sonbahar	3862,6	1779,8	204,7	246,2	915,0	-	349,5	117,3	159,0	889,5
	Kış	4416,8	1910,0	198,3	132,7	1337,9	-	452,9	1253,3	84,76	926,8
	İlkbahar	3862,1	1753,0	182,8	204,5	1140,2	-	477,4	678,4	57,46	979,4
K,%	Yaz	0,64	0,48	0,04	0,10	0,53	0,10	0,10	0,41	0,01	2,80
	Sonbahar	0,68	0,19	0,04	0,13	0,44	-	0,08	0,38	0,02	6,43
	Kış	0,74	0,48	0,04	0,19	0,83	-	0,11	0,36	0,04	4,23
	İlkbahar	0,77	0,50	0,05	0,31	0,72	-	0,21	0,42	0,02	2,89
Ca, %	Yaz	2,52	11,70	2,77	0,83	6,15	5,29	10,51	1,18	1,25	18,94
	Sonbahar	2,60	22,92	2,21	0,83	8,17	-	14,98	0,68	2,22	14,56
	Kış	1,84	2,59	2,38	0,82	4,11	-	12,94	0,70	1,31	19,30
	İlkbahar	1,91	2,74	1,63	1,34	2,71	-	5,475	0,54	1,62	20,99
Mg, %	Yaz	0,92	1,04	0,61	0,69	0,58	0,62	0,44	1,12	0,06	0,72
	Sonbahar	0,64	0,55	0,45	0,57	0,57	-	0,43	1,81	0,07	0,76
	Kış	0,83	0,79	0,53	0,79	0,54	-	0,45	1,73	0,08	0,83
	İlkbahar	0,78	0,99	0,51	1,34	0,47	-	0,54	1,73	0,07	0,66
Na,%	Yaz	0,15	0,20	0,31	0,21	0,13	0,42	0,40	0,43	0,39	2,03
	Sonbahar	0,15	0,17	0,28	0,22	0,14	-	0,28	0,08	0,23	4,94
	Kış	0,13	0,13	0,26	0,15	0,13	-	0,30	0,15	0,42	3,06
	İlkbahar	0,09	0,13	0,32	0,11	0,12	-	0,40	0,18	0,35	1,87

*. Ortalama değerler, Yaz: Haziran, Temmuz, Ağustos, Sonbahar: Eylül, Ekim, Kasım, İlkbahar: Mart, Nisan, Mayıs, Kış: Aralık, Ocak, Şubat

Arıtma çamurlarının içermiş olduğu azot ve fosfor tarımsal uygulamalarda üzerinde önemle durulması gereken bir faktördür (Gilmour ve Skinner 1999). Burada temel prensip arıtma çamurunu topraklara uygun düzeylerde uygulamaktır. Yani yıllık olarak toprağa uygulanması planlanan arıtma çamurunun, içermiş olduğu azot ve fosfor miktarı

bitkinin ihtiyacını geçmeyecek düzeyde hesaplanmalıdır. Ancak Topaç ve Başkaya (2008) arıtma çamurlarının toplam azot ve inorganik azot konsantrasyonlarının belirlenerek, bu değer üzerinden azotlu gübre değeri hakkında yorumda bulunmanın çoğu kez yanıltıcı sonuçlar doğurduğunu bildirmişlerdir. Zira arıtma çamurlarında bulunan toplam azotun %50 ile %90'ı, bitkiye yararlılığı mineral formlara göre daha yavaş olan organik formda olduğu US EPA (1996) tarafından belirtilmiştir. Arıtma çamurunun içermiş olduğu azotun ilk yıl %30'u ikinci yıl %15'i ve üçüncü yıl %5'i bitki için yararlı forma dönüşmektedir (Anonim 1997). Özellikle çamurun içermiş olduğu $\text{NH}_4\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$, uygulama sonrası topraklarda oluşabilecek yıkanma ile yer altı suları ve su kaynaklarında önemli kirlilik sorunlarına neden olabilmektedir. Ele alınan arıtma çamurlarının N ve P içerikleri incelendiğinde, en yüksek azot ve fosfor içeriği kanalizasyon kökenli Buski Doğu ve Yenice Belediyesi arıtma çamurunda belirlenmiştir. Bu arıtma çamurlarının azot içeriği % 4,89-7,71 arasında, toplam fosfor içerikleri ise % 0,85 ile % 2,79 arasında değişim göstermiştir. Gıda kökenli arıtma çamurlarında ise Mauri Gıda (% 1,03-1,76) haricinde diğer çamurların P içeriklerinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Krogmann ve Chiang (2002), arıtma tesislerini endüstriyel giriş yüküne ve kaynağına göre N içeriğinin % 0,50-%7,60, $\text{NH}_4\text{-N}$ içeriğinin 30-11300 mg kg^{-1} ve toplam P içeriğinin % 0,50-5,50 arasında değişim gösterdiğini bildirmiştir. Arıtma çamurlarının alınabilir P ve $\text{NH}_4\text{-N}$ içerikleri özellikle toprağa uygulandığında bitki tarafından alınabilirlik ve fiksasyon olaylarının değerlendirilmesi noktasında önem taşımaktadır. Arıtma çamurunun toprağa uygulanmasında özellikle bu alınabilir formdaki besin elementlerinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Arıtma çamurlarının içermiş olduğu fosforun %70-90'ı inorganik formda bulunmaktadır (Wolf ve Baker 1985). Ancak bu miktarın da % 0,1-14,3'ünün yararlı formda bulunduğu Perez Garcia ve ark. (1986) tarafından bildirilmiştir. Arıtma çamurlarının alınabilir P içerikleri incelendiğinde, özellikle kanalizasyon kökenli Buski arıtma çamurlarının 915,0-4416,8 mg kg^{-1} arasında değişen miktarlarda alınabilir P içerdiği belirlenmiştir. Aynı şekilde çamurların $\text{NH}_4\text{-N}$ içerikleri incelendiğinde en yüksek Tat çamurunda (1673,8 mg kg^{-1}) belirlendiği görülmektedir.

Arıtma çamurları N ve P'un yanı sıra az ya da çok K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn ve Mn gibi bitki besin elementlerini içerirler. Toprağa uygulanma aşamasında bu elementlerin de uygulama ile birlikte hangi miktarlarda toprağa verildiğine ve topraktaki besin elementi

dengesinin bozulmamasına dikkat edilmelidir (Rappaport ve ark. 1987). Arıtma çamurlarının kimyasal içeriklerini ve gübre potansiyelini inceleyen Sommers (1977), bu çamurların aerobik ve anaerobik olmalarına göre özelliklerinin değiştiğini bildirmiştir. Ele alınan arıtma çamurları organik C, toplam N, P, K, Ca, Na bakımından Oleszczuk (2006) ve Sommers (1977)'nin belirtmiş olduğu sonuçlarla benzerlik göstermiştir. Ancak Mauri Maya arıtma çamurunun Na ve K içeriği Sommers (1977)'in belirtmiş olduğu değerlerin üstünde bulunmuştur. Bu durum üretim prosesinde kullanılan hammaddeden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.2. Arıtma Çamurlarının Toplam ve DTPA ile Ekstrakte Edilebilir Ağır Metal İçerikleri

Çalışma kapsamında farklı kökenli arıtma çamurlarının ilk olarak toplam ağır metal içerikleri belirlenerek yönetmelikte belirtilen ağır metal sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır. Arıtma çamurlarının örnekleme dönemlerine ilişkin olarak ağır metal içerikleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 incelendiğinde kanalizasyon ve sanayi kökenli arıtma çamurlarının ağır metal içeriklerinin zamana bağlı olarak geniş bir dağılım gösterdiği görülmektedir. Kanalizasyon ve sanayi kökenli arıtma çamurlarının ağır metal içerikleri incelendiğinde örnekleme dönemlerine ilişkin olarak Bursa organize sanayi (BTSO) büyük atıksu arıtma tesisinin Cr (yaz, sonbahar, kış ve ilkbahar), Ni (Yaz, kış, ilkbahar), Zn (yaz, sonbahar, kış ve ilkbahar) ve Cd (yaz) içeriği yönünden yönetmelikte belirtilen sınır değerleri aştığı belirlenmiştir (Anonim 2010). Nilüfer deresinden arıtım yapan Nilüfer arıtma çamuru ise Cd içeriği yönünden Sonbahar ve Kış dönemlerinde sınır değerin (10 mg kg^{-1}) üzerinde bulunmuştur. Kanalizasyon kökenli arıtma tesisleri olarak örnekleme yapılan Buski arıtma çamurlarında ise ağır metal içerikleri her örnekleme döneminde de “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik”deki toprakta kullanılacak arıtma çamurunda müsaade edilebilecek maksimum ağır metal değerlerinin altında bulunurken Yenice Belediyesine ait çamurlarda Ni içeriği sınır değerin (300 mg kg^{-1}) üzerinde bulunmuştur (Anonim 2010). Çamurların ağır metal içeriklerinin zamana bağlı olarak değişim göstermesi, arıtma tesisine gelen atıksuyun orjinine (evsel endüstriyel, gıda) (Garcia-Delgado ve ark. 2007)

ve arıtma çamuruna uygulanan işlemlere bağlı olduğu bildirilmiştir (Spinosa 1997). Wang ve ark. (2005), arıtma çamurlarında Cd, Hg, Cr ve Ni'in endüstriyel kaynaklı, Zn ve Cu'nun ise kanalizasyon kaynaklı olduğunu belirtmiştir. Öbek ve ark. (2004) kentsel ve endüstriyel atıksu arıtma çamurlarının ağır metal düzeylerini araştırdıkları çalışmalarında her iki arıtma çamurunun da Ni bakımından yönetmelikteki sınır değerinin üzerinde olduğunu belirlemişlerdir. Hanay ve Hasar (2007), Kayseri ili atıksu arıtma çamurunun Cu ve Pb içeriği bakımından sınır değerleri geçtiğini sonuç olarak çamurun yüksek EC değeri ve ağır metal içeriği bakımından topraklara uygulanmaması gerektiğini bildirmişlerdir. Dai ve ark. (2006), çalışmalarında üç farklı arıtma çamurunu incelemiş ve Cd yönünden her üç arıtma çamurunda Cu, Ni ve Zn içeriği yönünden Taopu arıtma çamuru ve Jinshan arıtma çamurunun ise Zn içeriği bakımından sınır değerlerin üstünde bulunduğunu belirlemişler ve tarımsal amaçlı topraklara uygulanmaması gerektiğini belirtmişlerdir.

Gıda kökenli arıtma çamurlarının bir yıl süresince mevsimsel olarak ağır metal içeriğindeki değişimler Çizelge 4.3'de verilmiştir. Gıda kökenli çamurlarının ağır metal içerikleri incelendiğinde; örnekleme yapılan tesislerden Natura Gıda arıtma tesisi atık çamurunun Zn içeriği açısından yönetmelikte belirtilen sınır değerinin (2500 mg kg⁻¹) üzerinde (17 107-36 345 mg kg⁻¹) olduğu belirlenmiştir. Özsoy ve ark. (2006) incelemiş oldukları arıtma çamurlarında Zn ve Ni'in yüksek olduğunu ve bu durumun dikkatle ele alınması gerektiğini bildirmişlerdir. Tat arıtma çamuru ise yaz ve sonbahar örnekleme dönemlerinde Cd içeriği yönünden sınır değerinin (10 mg kg⁻¹) üzerinde belirlenmiştir. Çalışmada Penguen ve Mauri Maya arıtma tesislerinden alınan örnekler ise incelenen dönemlere göre Toprak "Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik"deki toprakta kullanılabilecek arıtma çamurunda müsaade edilebilecek maksimum ağır metal konsantrasyonları sınır değerlerinin altında bulunmuştur. Ancak gıda kökenli arıtma çamurlarının da zamana bağlı olarak içerik bakımından geniş sınırlar içerisinde değişim ve farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Bu durum tesislerin işledikleri ürünün farklı olması nedeniyle atık suyun farklılığından ve örnekleme dönemlerine bağlı olarak işlenen ürünlerin değişiminden kaynaklanmaktadır (Garcia-Delgado ve ark. 2007).

Arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı olarak toprağa uygulanması aşamasında oluşabilecek olumsuz durumların (yıkama, bitki tarafından alınma vb.) belirlenebilmesinde bu çamurların içerdiği toplam ağır metal miktarından daha çok bu metallerin alınabilir veya kolay değişebilir formlarının daha önemli bir gösterge olduğu araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Gibson ve Farmer 1986, Zufiaurre ve ark. 1998, Su ve Wong 2003).

Arıtma çamurlarının kimyasal karakterizasyonunu belirlemek amacıyla yapılan çalışmalarda toplam ağır metal içeriği yanı sıra değişik sıralı ekstraksiyon yöntemleri ile ağır metallerin çamur içerisindeki formları da ortaya konulmaktadır (Garcia-Delgado ve ark. 2007). Bu amaçla Tessier ve ark. (1979) ve Ure ve ark. (1993)'nın belirtmiş olduğu sıralı ekstraksiyon yöntemleri yanında kimi basit fakat kullanılabilir tekli ekstraksiyon yöntemleri de kullanılmaktadır (Fuentes ve ark. 2004, Olajire ve ark. 2005). Bu amaçla DTPA, EDTA gibi şelatlayıcı bileşiklerin yansıra NaNO_3 , MgCl_2 , NH_4NO_3 vb tuz çözeltileri de kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında ele alınan arıtma çamurlarının alınabilir ağır metal içerikleri DTPA ile ekstraksiyon sonucu elde olunan çözeltilerde belirlenmiştir. Arıtma çamurlarının toprağa uygulanması ile meydana gelebilecek ağır metal birikiminde bu değerlerin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Çizelge 4.2 ve 4.3 birlikte incelendiğinde kanalizasyon, sanayi ve gıda kökenli arıtma çamurlarının değişen oranlarda DTPA ile ekstrakte edilebilir ağır metal içerdikleri görülmektedir. Arıtma çamurlarının DTPA ile ekstrakte edilebilir Pb miktarı 0,27-10,04 mg kg^{-1} , Cd 0,01-0,94 mg kg^{-1} , Cr 0,02-4,71 mg kg^{-1} , Ni 5,06-39,1 mg kg^{-1} , Cu 0,43-63,0 mg kg^{-1} , Zn 43,75-2014,5 mg kg^{-1} , Fe 37,22-920,3 mg kg^{-1} , Mn 11,55-148,1 mg kg^{-1} arasında değişmektedir. DTPA ile ekstrakte edilen miktarlar ve toplam miktarlar birlikte değerlendirildiğinde genel olarak Cd, Cr ve Pb'na nazaran Zn, Cu ve Ni'in ekstrakte edilebilir miktarının daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Ağır metallerin DTPA ile ekstrakte edilebilir miktarlarının toplam değerlere oranı incelendiğinde en fazla yarayırlılığa sahip ağır metalin Zn olduğu görülmektedir (% 4,86-64,84). Çamurların içermiş olduğu metallerin yarayırlılığı $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Pb} > \text{Mn} > \text{Fe} > \text{Cd} > \text{Cr}$ şeklinde sıralanmıştır. Arıtma tesisleri dikkate alındığında Buski arıtma çamurları (doğu ve batı), İnegöl OSB ve Nilüfer arıtma çamurlarında Zn, BTSO,

Yenice ve Natura arıtma çamurunda Ni, Penguen, Tat ve Mauri arıtma çamurlarında ise Cu'nun yararışlılığının fazla olduğu görülmüştür. Wang ve ark. (2006) beş farklı kanalizasyon kökenli arıtma tesisi atık çamurunda Zn'nun yüksek yararışlılık ve değişebilirlik gösterdiğini bildirmiştir. Alonso ve ark. (2006) Mn ve Zn'un yüksek oranda (%25-48) yararışlılık ve değişebilirlik gösterdiğini belirlemiştir.

Fuentes ve ark. (2004), arıtma çamurlarının içerdiği kromun düşük yararışlılığa sahip olduğunu, toplam Cd'un %17'sinin bitkiye yararışlı formda olduğunu, aynı zamanda Cu'nun %15'nin, Fe'in %9'unun da bu formda bulunduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar Ni ve Zn'nun yüksek yararışlılığa sahip olduğunu ve arıtma çamuru tipine göre %14-37 arasında değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. İncelenen arıtma çamurları genel olarak değerlendirildiğinde Zn, Cu ve Ni'in yararışlılık oranının yüksek olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.2. Kanalizasyon ve sanayi kökenli arıtma çamurlarının örnekleme dönemlerine ait ağır metal içerikleri

Dönemler ve özellikler	BUSKİ				BTSO				Yenice		İnegöl OSB		Anonim 2010	
	DOĞU		BATI		Büyük		Nilüfer		Toplam	Alınabilir	Toplam	Alınabilir		
	Toplam	Alınabilir ^a	Toplam	Alınabilir	Toplam	Alınabilir	Toplam	Alınabilir						
Pb, mg kg ⁻¹	Yaz	*40,71	6,31	24,31	3,20	169,0	6,41	13,19	1,37	24,10	5,06	26,09	3,55	750
	Sonbahar	35,09	5,32	14,48	3,10	220,7	8,38	17,23	1,62	22,35	4,47			
	Kış	30,06	5,75	23,55	2,87	164,6	6,78	14,83	1,25	13,62	3,55			
	İlkbahar	29,89	6,80	28,30	3,24	148,4	10,04	21,42	3,11	20,62	2,30			
Cd, mg kg ⁻¹	Yaz	6,16	0,32	4,68	0,21	11,04	0,04	9,51	0,07	4,43	0,19	12,89	0,60	10
	Sonbahar	4,99	0,29	3,16	0,15	7,52	0,01	10,82	0,08	4,52	0,19			
	Kış	2,43	0,28	2,30	0,14	6,30	0,01	10,55	0,06	1,78	0,13			
	İlkbahar	2,49	0,29	2,33	0,10	2,45	0,01	3,94	0,08	1,91	0,05			
Cr, mg kg ⁻¹	Yaz	624,3	1,28	342,5	0,61	1650	0,44	288,6	0,28	704,3	2,99	279,8	0,51	1000
	Sonbahar	376,3	1,02	184,0	0,51	1411	0,26	293,4	0,35	791,1	2,74			
	Kış	335,4	1,53	189,3	0,46	1252	0,37	261,2	0,21	677,3	4,71			
	İlkbahar	316,6	2,16	347,1	0,54	1107	0,74	228,2	0,20	704,9	3,82			
Ni, mg kg ⁻¹	Yaz	134,9	48,39	83,21	5,22	1656,5	251,8	102,6	10,04	604,8	385,1	105,4	7,62	300
	Sonbahar	119,2	47,99	87,50	7,45	288,7	63,59	119,1	13,00	563,0	342,6			
	Kış	92,06	38,76	71,84	8,90	476,1	146,5	115,0	9,89	540,5	356,9			
	İlkbahar	112,9	49,77	75,36	7,43	561,4	205,7	111,3	6,486	466,7	260,4			
Cu, mg kg ⁻¹	Yaz	203,8	62,99	175,4	40,55	697,8	7,664	146,3	13,92	74,79	21,62	263,7	55,94	1000
	Sonbahar	147,2	46,53	45,37	27,19	408,2	1,317	138,5	14,72	71,79	20,89			
	Kış	137,1	40,60	148,3	22,80	520,1	2,098	143,5	10,85	67,63	17,28			
	İlkbahar	150,4	42,24	229,9	25,65	474,9	3,157	117,7	15,20	68,26	7,658			
Zn, mg kg ⁻¹	Yaz	822,9	405,3	879,8	425,9	8359	1080	556,4	96,66	405,0	162,3	324,3	210,3	2500
	Sonbahar	656,9	295,4	413,9	259,5	10089	917	921,7	196,8	448,2	186,6			
	Kış	634,5	281,0	1425,5	479,8	15575	1095	884,5	170,6	415,7	125,9			
	İlkbahar	616,1	280,3	2144,5	591,9	13724	1135	732,8	118,4	1955,	410,9			
Fe, %	Yaz	0,85	101,8	0,85	88,81	3,52	367,9	1,58	144,9	0,86	153,6	1,16	220,2	
	Sonbahar	0,91	93,5	0,55	79,73	8,43	920,3	1,31	104,4	0,86	153,3			
	Kış	0,87	150,5	1,39	93,76	3,94	913,8	0,93	105,1	0,70	128,6			
	İlkbahar	0,78	145,6	1,49	112,6	4,50	647,0	3,67	198,3	0,71	118,6			
Mn, mg kg ⁻¹	Yaz	243,8	48,77	452,0	50,35	2396	76,99	1171,5	136,3	158,8	26,25	223,0	14,78	
	Sonbahar	324,2	61,72	176,5	77,14	1145	99,58	1119,0	71,46	171,1	27,50			
	Kış	203,5	46,72	601,9	74,50	812,7	93,11	937,1	34,81	116,1	26,15			
	İlkbahar	207,9	42,89	793,5	68,31	742,6	148,1	1008,9	96,48	101,9	20,55			

*. Ortalama değerler, Yaz: Haziran, Temmuz, Ağustos, Sonbahar: Eylül, Ekim, Kasım, İlkbahar: Mart, Nisan, Mayıs, Kış: Aralık, Ocak, Şubat

^a. Alınabilir miktarlar DTPA ile ekstarksiyon sonucu elde olunan çözeltide belirlenmiştir, mg kg⁻¹

Çizelge 4.3. Gıda sanayi kökenli arıtma çamurlarının örnekleme dönemlerine ait ağır metal içerikleri

Dönemler ve özellikler	PENGUEN		TAT		NATURA		MAURİ		Anonim 2010	
	Toplam	Alınabilir	Toplam	Alınabilir	Toplam	Alınabilir	Toplam	Alınabilir		
Pb, mg kg ⁻¹	Yaz	13,59	2,14	24,57	2,88	146,6	0,27	3,01	0,50	750
	Sonbahar	12,96	1,79	26,40	4,65	164,3	3,34	2,96	0,54	
	Kış	11,66	1,96	21,94	3,36	119,9	0,85	4,54	0,70	
	İlkbahar	10,05	2,90	20,52	3,85	198,8	1,14	1,94	0,62	
Cd, mg kg ⁻¹	Yaz	5,21	0,09	23,77	0,94	6,07	iz	5,72	0,32	10
	Sonbahar	4,21	0,10	13,21	0,28	6,24	iz	6,77	0,50	
	Kış	3,50	0,10	9,70	0,26	0,70	iz	4,48	0,37	
	İlkbahar	2,03	0,07	6,09	0,34	0,81	iz	2,49	0,32	
Cr, mg kg ⁻¹	Yaz	52,25	0,15	111,3	0,21	102,3	0,02	14,58	0,71	1000
	Sonbahar	48,20	0,11	122,0	0,10	109,7	0,08	11,25	2,19	
	Kış	60,65	0,08	107,1	0,12	82,83	0,06	14,16	1,00	
	İlkbahar	69,61	0,21	106,9	0,19	95,14	0,02	12,74	0,87	
Ni, mg kg ⁻¹	Yaz	58,29	15,20	92,78	10,69	76,00	5,06	18,33	7,02	300
	Sonbahar	85,25	21,63	163,2	13,30	70,79	14,42	17,62	8,92	
	Kış	86,76	19,71	140,4	12,71	35,98	7,31	18,66	7,45	
	İlkbahar	58,54	11,55	137,4	13,83	47,13	3,56	18,16	7,77	
Cu, mg kg ⁻¹	Yaz	55,41	27,55	50,00	13,25	84,54	0,43	21,04	20,26	1000
	Sonbahar	53,50	34,83	40,18	23,64	78,33	1,06	19,70	12,13	
	Kış	65,84	28,75	35,46	17,73	44,68	2,41	26,52	20,57	
	İlkbahar	59,66	9,321	52,55	19,51	46,37	0,69	25,67	22,73	
Zn, mg kg ⁻¹	Yaz	399,1	122,8	387,0	162,1	36 345	658,4	143,3	46,58	2500
	Sonbahar	334,2	151,5	182,4	73,74	34 112	1074,6	124,3	43,82	
	Kış	385,6	130,1	187,4	69,03	17 107	2014,5	179,2	43,75	
	İlkbahar	413,7	38,39	230,4	89,63	29 992	811,6	178,6	44,34	
Fe, %	Yaz	0,96	399,1	1,64	502,9	18,95	37,22	0,22	412,2	
	Sonbahar	1,10	342,1	2,73	471,6	13,73	307,1	0,15	547,8	
	Kış	0,50	325,5	1,04	360,2	13,25	108,6	0,15	575,0	
	İlkbahar	1,36	639,3	2,89	496,0	12,39	66,92	0,18	430,8	
Mn, mg kg ⁻¹	Yaz	188,8	19,92	633,2	94,41	698,4	24,27	1297,9	16,69	
	Sonbahar	146,9	11,55	655,4	105,7	651,0	42,36	984,5	12,30	
	Kış	162,6	14,43	549,2	96,45	295,4	72,06	1045,4	18,92	
	İlkbahar	204,8	34,95	441,2	99,81	416,3	22,04	999,7	22,66	

*. Ortalama değerler, Yaz: Haziran, Temmuz, Ağustos, Sonbahar: Eylül, Ekim, Kasım, İlkbahar: Mart, Nisan, Mayıs, Kış: Aralık, Ocak, Şubat

a. Alınabilir miktarlar DTPA ile ekstaksiyon sonucu elde olunan çözeltide belirlenmiştir, mg kg⁻¹

4.3. İnkübasyon Denemesi

Çalışma kapsamında artan miktarlarda uygulanan farklı kökenli arıtma çamurlarının (BUSKİ -B-, İnegöl OSB -L-, Penguen -P-, Mauri -M-) uygulanması ile iki farklı toprak serisinde (Görükle Gr (kireçli), Çiftlik Çf (kireçsiz)) uygulama düzeylerine ve zamana bağlı olarak 150 gün inkübasyon süresince meydana gelen kimi değişimler incelenmiştir (Bkz. Çizelge 3.4).

4.3.1. Arıtma çamurlarının toprak özellikleri üzerine etkisi

4.3.1.1. Arıtma çamurlarının toprakların pH ve EC değeri üzerine etkisi

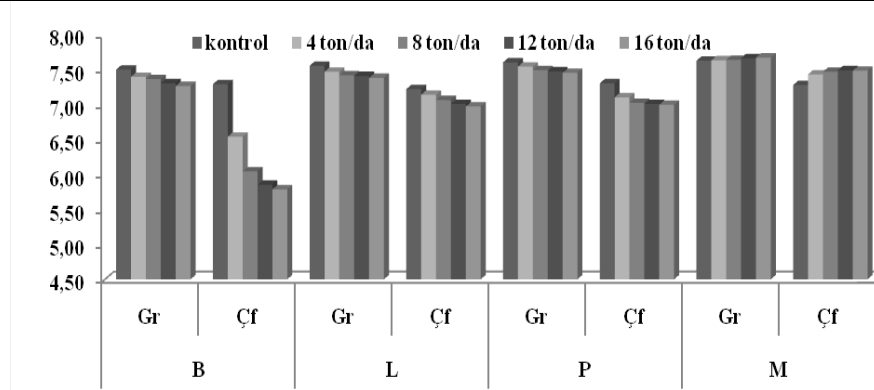
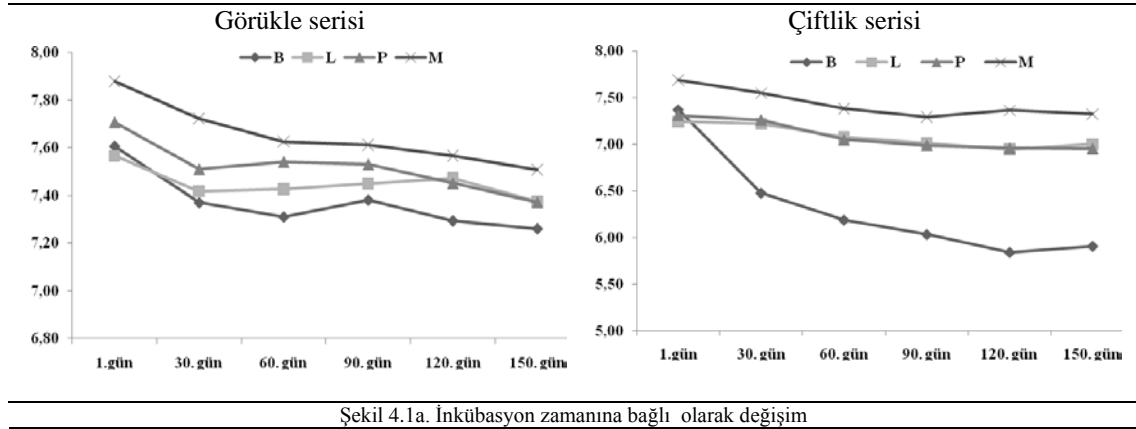
Artan miktarlarda uygulanan farklı kökenli arıtma çamurlarının iki farklı toprakta uygulama düzeyleri ve inkübasyon zamanına bağlı olarak pH değerlerinde meydana gelen değişimlere ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.4 ve Şekil 4.1'de verilmiştir. Toprak pH'sındaki değişimler üzerine etki bakımından arıtma çamurlarının, uygulama düzeylerinin ve inkübasyon zamanının etkisi istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurları inkübasyon zamanına bağlı olarak her iki toprakta da pH değerini düşürmüştür. Bu durum meydana gelen mineralizasyon ve oluşan organik asitler ile ilgilidir. Mauri Maya fabrikasına ait arıtma çamuru uygulamasında ise her iki toprakta da pH değeri uygulama düzeylerine bağlı olarak artmakta (Şekil 4.1b) ancak zamana bağlı olarak inkübasyon süresince azalmaktadır (Şekil 4.1a). Mauri arıtma çamurunun uygulama düzeylerine bağlı olarak toprakların pH değerini yükseltmesi çamurun pH değerinin yüksek (pH 10,17) olması ile ilgilidir (bkz. Çizelge 3.5).

Çizelge 4.4. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta pH değeri üzerine etkileri

pH	Entisol (Görükle serisi)					Vertisol (Çiftlik serisi)					
	B	L	P	M	Ortalama	B	L	P	M	Ortalama	
1. gün	Kontrol	7,76 a	7,71 a	7,74	7,85	7,76 a	7,42	7,39 a	7,39	7,44 d	7,41
	4 t da ⁻¹	7,65 ab	7,60 ab	7,70	7,86	7,70 ab	7,35	7,29 ab	7,26	7,64 c	7,38
	8 t da ⁻¹	7,68 a	7,54 bc	7,74	7,86	7,70 ab	7,39	7,23 bc	7,31	7,70 bc	7,41
	12 t da ⁻¹	7,53 bc	7,54 bc	7,70	7,93	7,67 bc	7,42	7,15 c	7,30	7,83 ab	7,42
	16 t da ⁻¹	7,43 c	7,46 a	7,66	7,91	7,61c	7,30	7,19 bc	7,32	7,87 a	7,42
	Ortalama	7,61 aC	7,57 aC	7,71 aB	7,88 a A	7,69 aA	7,37 aB	7,25 aD	7,31 aC	7,69 aA	7,41 aB
30. gün	Kontrol	7,53 a	7,53 a	7,61 a	7,73	7,60 a	7,44 a	7,40 a	7,49 a	7,44 b	7,44 a
	4 t da ⁻¹	7,41 ab	7,41 ab	7,53 ab	7,70	7,51 b	6,70 b	7,28 ab	7,32 b	7,57 ab	7,21 b
	8 t da ⁻¹	7,39 b	7,36 b	7,49 ab	7,72	7,49 b	6,34 c	7,19 bc	7,17 c	7,61 a	7,08 c
	12 t da ⁻¹	7,33 bc	7,43 ab	7,47 b	7,73	7,49 b	5,93 d	7,16 bc	7,16 c	7,57 ab	6,95 d
	16 t da ⁻¹	7,21 c	7,39 b	7,47 b	7,75	7,45 b	6,01 d	7,10 c	7,19 bc	7,58 a	6,97 d
	Ortalama	7,37 bC	7,42 bcC	7,51 bB	7,72 bA	7,51 bA	6,48 bC	7,22 aB	7,27 aB	7,55 bA	7,13 bB
60.gün	Kontrol	7,52 a	7,52 a	7,62 a	7,60	7,56 a	7,23 a	7,21 a	7,31 a	7,26 b	7,25 a
	4 t da ⁻¹	7,38 b	7,39 ab	7,61 ab	7,59	7,49 b	6,52 b	7,19 ab	7,05 b	7,35 ab	7,03 b
	8 t da ⁻¹	7,29 bc	7,46 ab	7,50 ab	7,62	7,46 b	5,92 c	7,07 bc	6,97 b	7,39 a	6,84 c
	12 t da ⁻¹	7,17 c	7,42 ab	7,52 ab	7,67	7,44 b	5,62 d	6,99 cd	6,97 b	7,48 a	6,76 d
	16 t da ⁻¹	7,20 c	7,36 b	7,48 a	7,68	7,43 b	5,67 d	6,94 d	6,99 b	7,46 a	6,76 d
	Ortalama	7,31 cD	7,43 bcC	7,54 bB	7,63 cA	7,48 bA	6,19 cC	7,08 bB	7,05 bB	7,39 cA	6,93 cB
90.gün	Kontrol	7,40	7,53 a	7,63 a	7,59	7,54 a	7,24 a	7,16 a	7,22 a	7,22	7,21 a
	4 t da ⁻¹	7,41	7,54 a	7,53 ab	7,68	7,54 a	6,34 b	7,11 ab	7,01 b	7,31	6,94 b
	8 t da ⁻¹	7,34	7,43 ab	7,49 b	7,60	7,46 b	5,69 c	7,01 cd	6,97 bc	7,32	6,75 c
	12 t da ⁻¹	7,45	7,36 b	7,49 b	7,62	7,48 ab	5,53 d	6,94 c	6,94 bc	7,31	6,68 d
	16 t da ⁻¹	7,33	7,41 ab	7,53 ab	7,59	7,46 b	5,39 e	6,89 c	6,85c	7,32	6,61 e
	Ortalama	7,38 bD	7,45 bC	7,53 bB	7,61 cdA	7,49 bA	6,04 dC	7,02 cB	6,99 cB	7,30 eA	6,84 dB
120.gün	Kontrol	7,43 a	7,61 a	7,57 a	7,54	7,53 a	7,20 a	7,04 a	7,20 a	7,19 b	7,15 a
	4 t da ⁻¹	7,29 b	7,51 ab	7,52 ab	7,54	7,46 b	6,15 b	7,01 ab	7,01 b	7,40 a	6,89 b
	8 t da ⁻¹	7,28 b	7,43 b	7,42 bc	7,54	7,42 b	5,52 c	6,94 ab	6,90 bc	7,43 a	6,69 c
	12 t da ⁻¹	7,20 b	7,44 b	7,40 bc	7,60	7,41 b	5,26 d	6,90 b	6,88 c	7,44 a	6,62 d
	16 t da ⁻¹	7,29 b	7,39 b	7,36 c	7,62	7,41 b	5,11 e	6,88 b	6,85 c	7,39 a	6,55 d
	Ortalama	7,30 cC	7,47 bB	7,45 cB	7,57 dA	7,45 cA	5,84 eC	6,95 dB	6,97 cB	7,37 cdA	6,78 eB
150.gün	Kontrol	7,41 a	7,48 a	7,50 a	7,51	7,47 a	7,26 a	7,17 a	7,26 a	7,17 b	7,21 a
	4 t da ⁻¹	7,29 ab	7,42 ab	7,42 ab	7,48	7,40b	6,22 b	7,02 b	7,01 b	7,37 a	6,90 b
	8 t da ⁻¹	7,25 b	7,34 b	7,35 bc	7,55	7,37 bc	5,44 c	6,99 b	6,87 c	7,41 a	6,68 c
	12 t da ⁻¹	7,19 b	7,32 b	7,33 bc	7,48	7,33 c	5,37 cd	6,96 b	6,85 c	7,36 a	6,63 cd
	16 t da ⁻¹	7,18 b	7,34 b	7,28 c	7,53	7,33 c	5,27 d	6,89 b	6,82 c	7,33 a	6,58 d
	Ortalama	7,26 cC	7,38 cB	7,37 d B	7,51 eA	7,38 aA	5,91 fC	7,00 cdB	6,96 cB	7,33 cdA	6,80 eB

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Büyük harfler yatay karşılaştırma, küçük harfler dikey karşılaştırma
T: İnkübasyon zamanı T LSD_{0,01}:0.021 TxS LSD_{0,01}: 0.029
S: Toprak S LSD_{0,01}:0.012 SxT LSD_{0,01}: 0.029
A: Arıtma çamuru A LSD_{0,01}:0.017 TxSxA LSD_{0,01}: 0.058
U: Uygulama düzeyleri U LSD_{0,01}:0.019 UxTxS LSD_{0,01}: 0.058
UxTxS LSD_{0,01}: 0.065
UxTxSxA LSD_{0,01}: 0.130



B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Gr: Görükle serisi, Çf: Çiftlik serisi

Şekil 4.1. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların pH değerindeki değişimler

Arıtma çamuru uygulaması ile toprak pH'sında meydana gelen değişim ile ilgili olarak Gasco ve Lobo (2007), Zebarth et al. (1999) ve Topper and Sabey (1986) alkali veya nötr topraklara uygulanan çamurun pH değerini düşürdüğünü bildirmişlerdir. Espinoza ve ark. (2000), çalışmalarında % 48,4 kireç içeren toprağa 30-60 ton da⁻¹ düzeylerinde uygulanan arıtma çamurunun toprak pH'sını 8,52'den 7,99'a düşürdüğünü belirlemişlerdir. Hooda ve Alloway (1993), 50 t ha⁻¹ arıtma çamuru uygulamasının toprak pH'sını 1,5 birim düşürdüğünü bunun nedenini ise azot mineralizasyonu ve organik maddenin ayrışması ile ilgili olduğunu bildirmiştir.

Çiftlik serisi toprakta çamur uygulamaları sonucu pH değerinin Görükle serisi toprağa nazaran daha fazla düşmesi inkübasyon süresine bağlı olarak tuzların birikmesi, Görükle serisi toprağın kireç içeriğinin yüksek olması ve pH'daki değişimi tamponlanmasından kaynaklanmış olabilir. Bu durum Buski arıtma çamuru uygulamasında belirgin olarak görülmektedir. Çiftlik serisi toprakta Buski arıtma

çamuru uygulamasında en yüksek uygulama düzeyinde pH değeri inkübasyon süresine bağlı olarak pH 5,27'e kadar düşmüştür. Bu değişim toprakların kil içeriği ve tamponlama kapasiteleri ile ilgili olabilir. Çamur uygulaması sonucu toprakların pH değerinin düşmesi özellikle ağır metallerin yararlılığının artması yönünden önem taşımaktadır.

Artan miktarlarda uygulanan farklı kökenli arıtma çamurlarının iki farklı toprakta uygulama düzeyleri ve inkübasyon zamanına bağlı olarak tuzluluk (EC) değerlerinde meydana gelen değişimlere ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.5 ve Şekil 4.2'de verilmiştir. Toprak tuzluluğundaki değişimler üzerine etki bakımından arıtma çamurlarının, uygulama düzeylerinin ve inkübasyon zamanının etkisi istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurları inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların tuzluluk (EC) değerini yükseltmiştir. Toprak tuzluluk değeri en fazla Buski arıtma çamuru uygulamasında belirlenmiştir. Buski çamuru uygulaması ile Görükle ve Çiftlik serilerinde EC değeri sırası ile 3585 ve 3720 $\mu\text{S cm}^{-1}$ değerlerine kadar ulaşmıştır. Artan düzeylere ve inkübasyon süresine bağlı olarak EC değerinin yükselmesi çamurların kimyasal özelliklerinden ve zamana bağlı olarak oluşan mineralizasyonundan kaynaklanmaktadır. Ele alınan arıtma çamurlarının topraklarda tuzluluğu farklı derecede yükseltmeleri, çamurların EC değerlerinin farklılığından, içermiş olduğu değişebilir katyonlardan ve farklı mineralizasyon derecelerinden kaynaklanmaktadır (bkz. Çizelge 3.5).

Arıtma çamurlarının topraklara uygulanmasında tuzluluk değerini yükseltmesi ve toksik bileşiklerin birikmesi tarımsal uygulamalarda göz önünde bulundurulması gereken en önemli faktörlerden birisidir (Kelley ve ark. 1984). Moreno ve ark. (1997) ve Singh ve Agrawal (2007) arıtma çamuru uygulamasının toprak tuzluluğunu artırdığını bildirmişlerdir. Ayrıca Gasco ve Lobo (2007) aşırı uygulamaların toprağın EC'sini tuzluluk sınır değerine ulaştırabileceğini bildirmişlerdir.

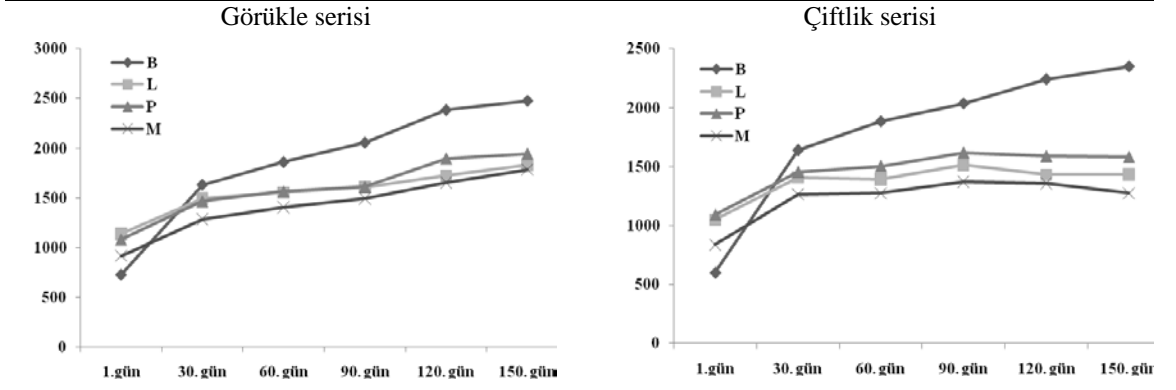
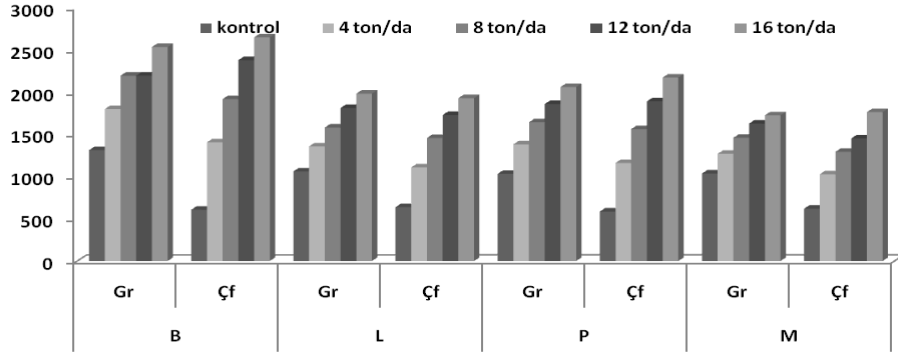
Çizelge 4.5. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta EC değeri üzerine etkileri

EC, $\mu\text{S cm}^{-1}$	Entisol (Görükle serisi)					Vertisol (Çiftlik serisi)					
	B	L	P	M	Ort.	B	L	P	M	Ort.	
1. gün	Kontrol	695	677	711	652	683	417	421	497	444	445
	4 t da ⁻¹	725	923	941	806	849	633	852	939	797	805
	8 t da ⁻¹	706	1232	1180	983	1025	599	1136	1097	883	929
	12 t da ⁻¹	706	1342	1247	1030	1081	664	1316	1353	954	1072
	16 t da ⁻¹	804	1522	1329	1110	1191	677	1519	1566	1105	1217
Ortalama	727 eC	1139 dA	1081dA	916 dB	966 fA	598 eC	1049 bA	1090 cA	837 bB	893 dB	
30. gün	Kontrol	969	906	934	854	915	557	642	623	669	622
	4 t da ⁻¹	1373	1294	1282	1174	1281	1403	1230	1170	1093	1224
	8 t da ⁻¹	1651	1585	1471	1322	1507	1771	1454	1526	1297	1512
	12 t da ⁻¹	1840	1728	1673	1489	1682	2190	1727	1843	1537	1824
	16 t da ⁻¹	2330	1956	1966	1575	1957	2275	1995	2110	1734	2028
Ortalama	1632dA	1494 cA	1465 cB	1283 cB	1468 e	1639dA	1409 aB	1454abB	1266 aC	1442 c	
60. gün	Kontrol	987	1002	1014	1036	1010	672	634	600	679	646
	4 t da ⁻¹	1539	1404	1370	1234	1387	1412	1091	1196	1056	1189
	8 t da ⁻¹	2021	1528	1630	1404	1645	2010	1472	1588	1341	1603
	12 t da ⁻¹	2390	1824	1793	1588	1899	2550	1749	1956	1486	1935
	16 t da ⁻¹	2365	2015	2010	1759	2037	2770	2014	2185	1807	2194
Ortalama	1860 cA	1554 cB	1563 bB	1404bcC	1595 dA	1883 cA	1392aBC	1505 abB	1274 aC	1513 bB	
90. gün	Kontrol	1272	1161	1028	1104	1141	699	679	656	703	684
	4 t da ⁻¹	1717	1333	1429	1291	1443	1649	1211	1291	1112	1316
	8 t da ⁻¹	2265	1567	1654	1588	1768	2180	1679	1730	1440	1757
	12 t da ⁻¹	2370	1960	1854	1662	1961	2655	1960	2045	1691	2088
	16 t da ⁻¹	2655	2005	2090	1821	2143	2990	2035	2375	1908	2327
Ortalama	2056 bA	1605 bcB	1611 bB	1493 bB	1691 c	2035 bA	1513 aB	1619 aB	1371 aC	1634 a	
120. gün	Kontrol	1303	1258	1198	1261	1255	670	633	602	608	628
	4 t da ⁻¹	1982	1576	1621	1519	1674	1636	1218	1170	1080	1276
	8 t da ⁻¹	2395	1670	1946	1673	1921	2435	1506	1715	1407	1766
	12 t da ⁻¹	2780	1977	2275	1893	2231	3010	1800	2100	1696	2151
	16 t da ⁻¹	3460	2140	2455	1917	2493	3450	1998	2365	2012	2456
Ortalama	2384 aA	1724 abC	1899 aB	1652 aC	1915 bA	2240 aA	1431 aC	1590 abB	1361aCA	1655 aB	
150. gün	Kontrol	1355	1361	1306	1307	1332	624	814	537	612	647
	4 t da ⁻¹	2006	1610	1641	1587	1711	1694	1045	1195	1025	1240
	8 t da ⁻¹	2360	1898	1978	1777	2003	2505	1490	1713	1387	1774
	12 t da ⁻¹	3075	2035	2310	2095	2379	3195	1816	2043	1339	2098
	16 t da ⁻¹	3585	2250	2505	2165	2626	3720	2005	2425	2008	2539
Ortalama	2476 a	1831aBC	1948 aB	1786 aC	2010 aA	2347 aA	1434 aC	1582 abB	1274 aD	1659 aB	

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Büyük harfler yatay karşılaştırma, küçük harfler düşey karşılaştırma
T: İnkübasyon zamanı
S: Toprak
A: Arıtma çamuru
U: Uygulama düzeyleri

T LSD_{0.01}:49,183
S LSD_{0.01}:28,386
A LSD_{0.01}:40,158
U LSD_{0.01}:44,898

TxS LSD_{0.01}: 69.555
SxT LSD_{0.01}: 69.555
TxSxA LSD_{0.01}: 139.111
AxTxS LSD_{0.01}: 139.111
UxTxS LSD_{0.01}: ö.d.
UxTxSxA LSD_{0.01}: ö.d.

Şekil 4.2a. İnkübasyon zamanına bağlı olarak değişim, $\mu\text{S cm}^{-1}$ Şekil 4.2b. Uygulama düzeylerine bağlı olarak değişim, $\mu\text{S cm}^{-1}$

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Gr: Görükle serisi, Çf: Çiftlik serisi

Şekil 4.2. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların EC değerindeki değişimler

4.3.1.2. Arıtma çamurlarının toprakların $\text{NH}_4\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ miktarı üzerine etkisi

Artan miktarlarda uygulanan farklı kökenli arıtma çamurlarının iki farklı toprakta uygulama düzeyleri ve inkübasyon zamanına bağlı olarak amonyum ve nitrat azotu ($\text{NH}_4\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$) değerlerinde meydana gelen değişimlere ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.6 ve 4.7 ile Şekil 4.3 ve 4.4'de verilmiştir. Toprakların $\text{NH}_4\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ 'u miktarındaki değişimler üzerine etki bakımından arıtma çamurlarının, uygulama düzeylerinin ve inkübasyon zamanının etkisi istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Arıtma çamuru uygulama düzeylerine bağlı olarak toprakların $\text{NH}_4\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ miktarları artış göstermiştir. Buski arıtma çamuru uygulaması her iki toprakta da uygulama düzeylerine bağlı olarak en fazla artışı sağlamıştır. Bu artış çamurların kimyasal özellikleri ile ilgilidir (bkz. Çizelge 3.5). Walter ve ark. (2006) ve Mendoza

ve ark. (2006) arıtma çamuru uygulaması ile artan dozlara bağlı olarak toprağın $\text{NH}_4\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ miktarının arttığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar yarı kurak koşullarda yürütmüş olduğu çalışmada toprağın $\text{NO}_3\text{-N}$ içeriğinin $\text{NH}_4\text{-N}$ içeriğinden daha fazla arttığını ve bu artışın yer altı sularından daha çok yerüstü sularında $\text{NO}_3\text{-N}$ kirliliği yaratabileceğini bildirmiştir.

İnkübasyon zamanına bağlı olarak topraklarda $\text{NH}_4\text{-N}$ miktarı 150 gün sonunda azalmıştır. Ancak inkübasyon süresince özellikle kireç içeriği yüksek Görükle serisi topraktaki $\text{NH}_4\text{-N}$ miktarındaki azalma daha belirgin olmuştur. İnkübasyon zamanına bağlı olarak topraklarda $\text{NO}_3\text{-N}$ miktarının artması nitrifikasyon ile ilgilidir (Lopez-Tercero ve ark. 2005). Conte Suarez ve ark. (2004) dokuz hafta süren çalışmalarında toprakların $\text{NH}_4\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ içeriğinin zamana bağlı olarak azaldığını bildirmişlerdir. Özellikle toprak tipi, çamur uygulama miktarı, toprak pH'sı, toprak sıcaklığı, toprağın havalanması ve nem koşulları arıtma çamuru uygulamaları sonucu organik azotun mineralizasyonu üzerine etkilidir (Rosenani ve ark. 2004).

Arıtma çamurlarının içerdiği azotun %90'nı organik formdadır (Sommers ve ark. 1980). Arıtma çamurlarının içerdiği organik azotun çamurun anaerobik veya aerobik olmasına göre %13,8-45,6'sının bir yıl süresince mineralize olduğu Serna ve Pomares (1992) tarafından bildirilmiştir. Tarımsal alanlara uygulanması düşünülen arıtma çamurlarının azotlu gübre değerinin belirlenmesi açısından organik ve inorganik azot formlarının bilinmesi ve organik azotun bir vejetasyon dönemi boyunca ne oranda mineralize olacağını tahmin edilmesi büyük önem taşımaktadır (Kocaer ve ark. 2003). Arıtma çamuru uygulamaları sonucu meydana gelen mineralizasyon yıllık olarak toprağa uygulanacak çamur miktarının belirlenmesinde önemli bir parametredir.

Çizelge 4.6. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta NH₄-N üzerine etkileri

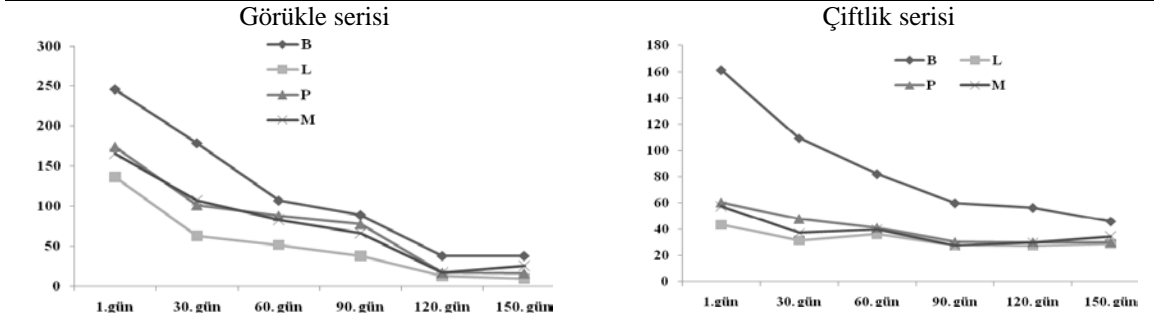
NH ₄ -N, mg kg ⁻¹		Entisol (Görükle serisi)					Vertisol (Çiftlik serisi)				
		B	L	P	M	Ort.	B	L	P	M	Ort.
1. Gün	Kontrol	142,6	129,2	146,5	151,0	142,3	56,5	41,5	43,1	36,1	44,3
	4 t da ⁻¹	195,5	141,1	167,3	161,4	166,3	93,1	38,6	46,1	40,8	54,7
	8 t da ⁻¹	283,6	141,1	172,8	170,8	192,1	175,3	42,2	63,7	58,2	84,8
	12 t da ⁻¹	278,2	130,2	195,0	170,3	193,4	240,5	45,1	70,3	71,2	106,8
	16 t da ⁻¹	329,4	140,6	187,1	175,2	208,1	241,4	49,3	78,8	81,4	112,7
	Ortalama	245,9 aA	136,4 aC	173,8 aB	165,7 aB	180,4 aA	161,4 aA	43,3 aC	60,4 aB	57,5 aBC	80,7 aB
30. Gün	Kontrol	81,2	96,7	85,9	96,8	90,1	26,5	27,5	40,2	31,0	31,3
	4 t da ⁻¹	136,1	55,1	74,6	93,6	89,9	41,5	28,4	42,5	36,9	37,3
	8 t da ⁻¹	204,4	43,2	103,0	97,9	112,1	106,5	35,0	41,2	32,4	53,8
	12 t da ⁻¹	229,0	57,7	122,3	112,4	130,3	165,6	33,0	45,4	38,6	70,6
	16 t da ⁻¹	242,7	62,0	120,3	136,1	140,3	205,9	32,4	70,3	46,1	88,7
	Ortalama	178,7 bA	62,9 bC	101,2 bB	107,4 bB	112,5 bA	109,2 bA	31,2 abC	47,9 abB	37,0 bBC	56,3 bB
60.gün	Kontrol	49,6	74,4	68,4	47,9	60,0	34,6	35,3	34,6	30,7	33,8
	4 t da ⁻¹	67,5	52,1	64,5	56,4	60,1	42,8	38,6	31,7	31,0	36,0
	8 t da ⁻¹	108,2	35,0	70,5	79,5	73,3	76,1	37,3	48,7	42,2	51,1
	12 t da ⁻¹	140,7	50,9	111,2	99,8	100,6	93,9	35,9	38,9	49,7	54,6
	16 t da ⁻¹	168,4	45,3	124,8	131,2	117,4	162,4	33,3	51,0	45,4	73,0
	Ortalama	106,9 cA	51,5 bcC	87,9 bcB	82,9 cB	82,3 cA	82,0 cA	36,1 abB	41,0 bcB	39,8 bB	49,7 bB
90.gün	Kontrol	18,4	47,9	49,1	47,4	40,7	27,1	26,1	24,8	26,1	26,1
	4 t da ⁻¹	87,9	43,6	52,1	50,4	58,5	33,7	26,1	28,8	27,5	29,0
	8 t da ⁻¹	102,4	35,0	69,7	62,4	67,4	52,9	26,8	29,1	29,1	34,5
	12 t da ⁻¹	116,5	36,8	95,3	85,0	83,4	88,6	28,8	32,0	27,8	44,3
	16 t da ⁻¹	118,6	26,1	121,8	87,2	88,4	97,1	28,8	36,6	27,8	47,5
	Ortalama	88,8 dA	37,9 cC	77,6 dAB	66,5 dB	67,7 dA	59,9 dA	27,3 bB	30,3 cB	27,6 bB	36,3 cB
120.gün	Kontrol	10,7	12,0	8,5	8,1	9,8	27,8	23,2	29,4	28,4	27,2
	4 t da ⁻¹	11,1	10,7	14,5	13,7	12,5	32,0	29,1	28,1	31,0	30,1
	8 t da ⁻¹	21,4	9,8	13,7	17,5	15,6	56,2	27,1	27,8	32,0	35,8
	12 t da ⁻¹	60,3	17,1	23,5	14,1	28,7	76,5	27,1	33,0	27,1	40,9
	16 t da ⁻¹	85,5	15,0	24,8	30,8	39,0	89,2	29,7	32,0	30,1	45,3
	Ortalama	37,8 eA	12,9 dB	17,0 eB	16,8 eB	21,1 eA	56,3 dA	27,3 bB	30,1 cB	29,7 bB	35,8 cB
150.gün	Kontrol	3,4	6,8	8,1	13,7	8,0	30,7	29,4	28,4	37,9	31,6
	4 t da ⁻¹	14,5	11,1	12,0	17,5	13,8	31,4	30,7	27,8	41,8	32,9
	8 t da ⁻¹	43,6	9,8	20,1	42,7	29,1	41,2	28,4	27,5	39,2	34,1
	12 t da ⁻¹	50,4	9,8	24,4	18,4	25,7	55,9	26,8	36,6	25,8	36,3
	16 t da ⁻¹	77,4	9,4	17,1	35,0	34,7	69,6	28,1	30,1	27,5	38,8
	Ortalama	37,9 eA	9,4 dC	16,3 eBC	25,5 eAB	22,3 eA	45,8 dA	28,7 abB	30,1 cB	34,4 bAB	34,7 cB

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Büyük harfler yatay karşılaştırma, küçük harfler dikey karşılaştırma
T: İnkübasyon zamanı T LSD_{0,01}:5,382 TxS LSD_{0,01}: 7.611
S: Toprak S LSD_{0,01}:3,107 SxT LSD_{0,01}: 7.611
A: Arıtma çamuru A LSD_{0,01}:4,394 TxSxA LSD_{0,01}: 15.222
U: Uygulama düzeyleri U LSD_{0,01}:4,913 AxTxS LSD_{0,01}: 15.222
UxTxS LSD_{0,01}: ö.d.
UxTxSxA LSD_{0,01}: ö.d.

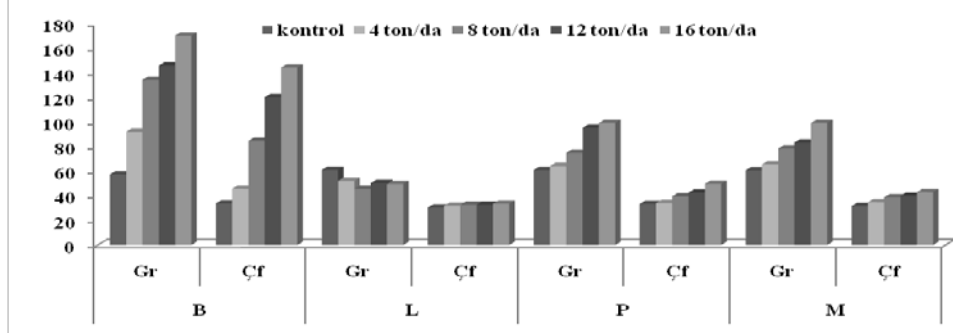
Çizelge 4.7. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta NO₃-N üzerine etkileri

NO ₃ -N, mg kg ⁻¹	Entisol (Görükle serisi)					Vertisol (Çiftlik serisi)					
	B	L	P	M	Ort.	B	L	P	M	Ort.	
1. Gün	Kontrol	12,3	8,8	9,9	9,6	10,1 b	1,1	1,4	2,2	2,2	1,7
	4 t da ⁻¹	8,5	21,1	17,9	9,6	14,3 ab	3,0	3,7	6,1	4,4	4,3
	8 t da ⁻¹	6,4	28,0	25,2	9,6	17,3 ab	1,1	7,4	7,5	4,5	5,1
	12 t da ⁻¹	5,2	32,4	31,0	7,1	18,9 ab	0,4	11,0	12,4	2,6	6,6
	16 t da ⁻¹	4,1	38,0	40,8	7,6	22,6 a	0,9	13,2	13,6	3,1	7,7
	Ortalama	7,3 dB	25,7 eA	25,0 cA	8,7 dB	16,7 eA	1,3 d	7,3 b	8,4 d	3,4 c	5.1 eB
30. Gün	Kontrol	32,4	30,7	28,9	28,3	30,1 d	3,3	3,1	3,1	2,9	3,1 c
	4 t da ⁻¹	69,0	48,1	43,5	40,9	50,4 c	23,5	7,3	8,6	8,1	11,9 bc
	8 t da ⁻¹	92,1	61,6	61,7	51,5	66,8 b	31,0	14,9	17,3	9,0	18,0 c
	12 t da ⁻¹	110,4	67,5	75,3	57,2	77,6 b	67,2	13,6	29,1	20,9	32,7 a
	16 t da ⁻¹	201,0	80,4	94,7	58,7	108,7 a	56,6	19,8	37,6	19,5	33,4 a
	Ortalama	101,0 cA	57,7 dB	60,8 bB	47,3 cB	66,7 dA	36,3 cA	11,7 bB	19,2 cdB	12,1 bcB	19.8 dB
60.gün	Kontrol	42,1	37,0	40,1	34,4	38,4 e	5,1	6,7	8,6	2,8	5,8 d
	4 t da ⁻¹	90,9	55,5	59,3	51,4	64,3 d	36,7	12,0	16,5	8,5	18,5 c
	8 t da ⁻¹	130,2	77,9	78,5	47,0	83,4 c	70,0	21,8	31,7	16,6	35,0 b
	12 t da ⁻¹	179,1	73,6	74,8	57,8	96,3 b	155,6	29,4	43,3	25,2	63,4 a
	16 t da ⁻¹	228,8	86,7	104,0	85,3	126,2 a	142,3	38,8	53,0	28,6	65,7 a
	Ortalama	134,2 bA	66,1cdBC	71,3 bB	55,2 bcC	81,7 cA	82,0 bA	21,7 bB	30,6 bcB	16,4 bcB	37.7 bcB
90.gün	Kontrol	66,4	45,8	40,4	39,4	48,0 e	5,1	5,6	3,6	4,2	4,6 d
	4 t da ⁻¹	105,7	60,8	57,2	51,7	68,8 d	27,6	9,2	10,9	10,1	14,5 d
	8 t da ⁻¹	138,8	75,1	73,4	80,3	91,9 c	70,3	11,7	22,1	18,8	30,7 c
	12 t da ⁻¹	161,5	92,9	98,7	71,2	106,1 b	142,0	18,9	34,0	24,0	54,7 b
	16 t da ⁻¹	232,6	89,1	97,9	81,2	125,2 a	167,2	27,1	52,9	28,3	68,9 a
	Ortalama	141,0 bA	72,7 bcB	73,5 bB	64,7 bB	88,0 cA	82,4 bA	14,5 bB	24,7 bcB	17,1 bcB	34.7 dB
120.gün	Kontrol	57,8	64,6	60,7	58,8	60,5 e	5,4	3,9	3,9	5,4	4,6 d
	4 t da ⁻¹	127,1	73,9	87,9	70,7	89,9 d	39,1	13,9	15,0	12,8	20,2 c
	8 t da ⁻¹	210,4	73,9	119,2	80,4	121,0 c	100,5	20,6	37,7	27,2	46,5 b
	12 t da ⁻¹	239,8	97,9	140,0	90,8	142,1 b	120,6	27,3	55,6	22,5	56,5 b
	16 t da ⁻¹	364,8	115,7	163,5	101,1	186,3 a	179,7	38,6	76,4	57,2	88,0 a
	Ortalama	200,0 aA	85,2 abC	114,3 aB	80,4 aC	120,0 bA	89,1 bA	20,9 bC	37,7 bB	25,0 bBC	43.2 bB
150.gün	Kontrol	67,1	69,9	59,0	59,2	63,8 e	4,7	4,9	6,1	11,1	6,7 e
	4 t da ⁻¹	134,0	75,6	89,0	85,0	95,9 d	58,9	13,7	26,9	34,7	33,5 d
	8 t da ⁻¹	195,9	103,7	119,2	81,4	125,0 c	150,3	26,5	47,8	56,6	70,3 c
	12 t da ⁻¹	299,4	119,8	159,4	112,4	172,7 b	215,6	55,3	109,4	68,2	112,1 b
	16 t da ⁻¹	335,1	112,5	182,2	116,6	186,6 a	207,5	87,6	144,5	94,7	133,6 a
	Ortalama	206,3 aA	96,3 aC	121,7 aB	90,9 aC	128,8 aA	127,4 aA	37,6 aC	67,0 aB	53,1 aB	71.3 aB

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Büyük harfler yatay karşılaştırma, küçük harfler düşey karşılaştırma
T: İnkübasyon zamanı T LSD_{0.01}:5,188 TxS LSD_{0.01}: 7.337
S: Toprak S LSD_{0.01}:2,995 SxT LSD_{0.01}: 7.337
A: Arıtma çamuru A LSD_{0.01}:4,236 TxSxA LSD_{0.01}: 14.673
U: Uygulama düzeyleri U LSD_{0.01}:4,736 AxTxS LSD_{0.01}: 14.673
UxTxS LSD_{0.05}: 12.410
UxTxSxA LSD_{0.01}: ö.d.



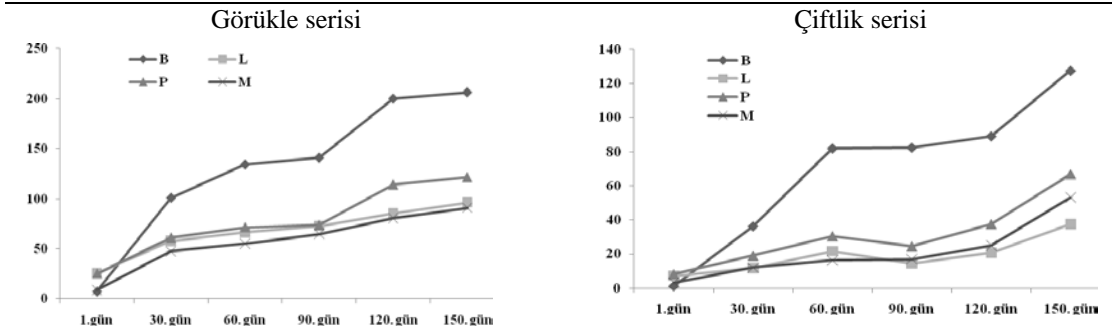
Şekil 4.3a. İnkübasyon zamanına bağlı olarak değişim



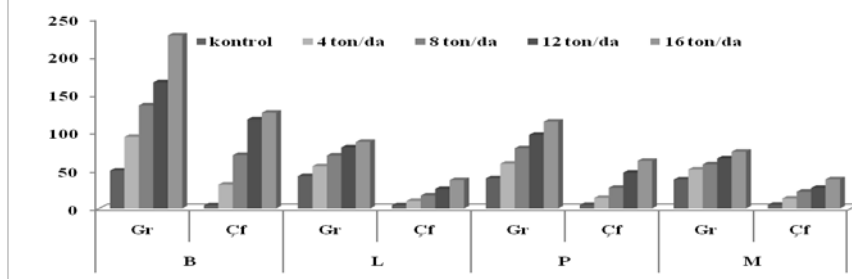
Şekil 4.3b. Uygulama düzeylerine bağlı olarak değişim

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Gr: Görükle serisi, Çf: Çiftlik serisi

Şekil 4.3. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların $\text{NH}_4\text{-N}$ değerindeki değişimler



Şekil 4.4a. İnkübasyon zamanına bağlı olarak değişim



Şekil 4.4b. Uygulama düzeylerine bağlı olarak değişim

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Gr: Görükle serisi, Çf: Çiftlik serisi

Şekil 4.4. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların $\text{NO}_3\text{-N}$ değerindeki değişimler

4.3.1.3. Arıtma çamurlarının toprakların alınabilir P miktarı üzerine etkisi

Artan miktarlarda uygulanan farklı kökenli arıtma çamurlarının iki farklı toprakta uygulama düzeyleri ve inkübasyon zamanına bağlı olarak alınabilir P değerlerinde meydana gelen değişimlere ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.8 ve Şekil 4.5’de verilmiştir. Toprakların alınabilir P miktarı üzerine etki bakımından arıtma çamurlarının, uygulama düzeylerinin ve inkübasyon zamanının etkisi istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

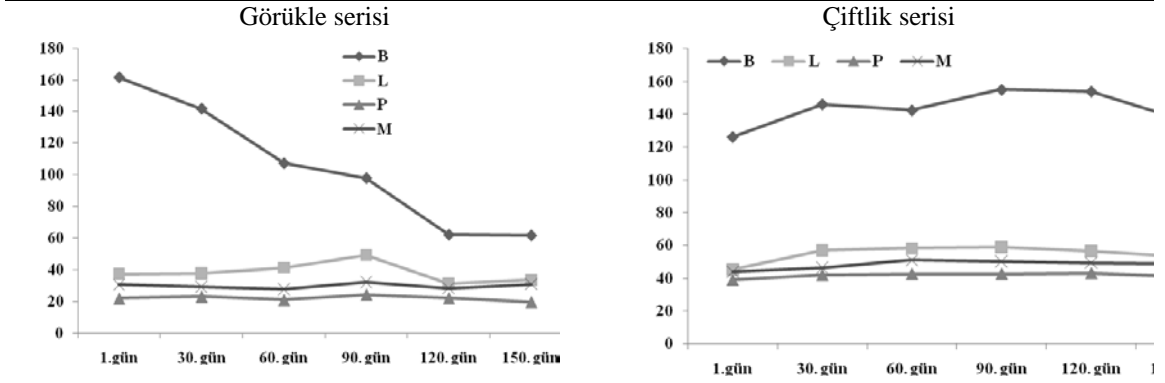
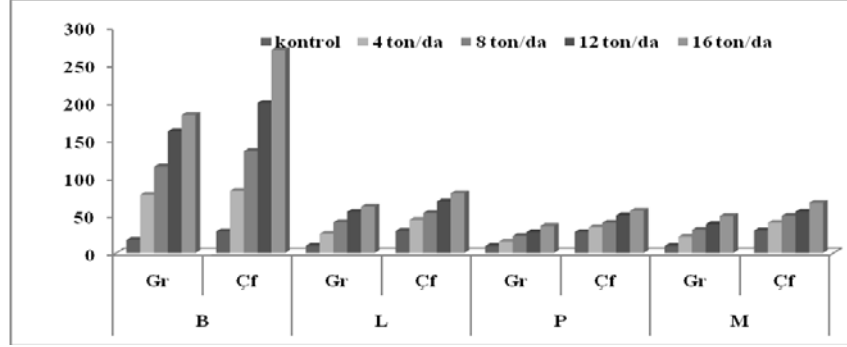
Arıtma çamurlarının uygulama düzeylerine bağlı olarak toprakların alınabilir P miktarları artış göstermiştir. Buski arıtma çamuru uygulaması her iki toprakta da uygulama düzeylerine bağlı olarak içermiş olduğu alınabilir P miktarından dolayı en fazla artışı sağlamıştır (Şekil 4.5). Bu artışlar çamurların kimyasal özellikleri ile ilgilidir (bkz. Çizelge 3.5). Arıtma çamuru uygulamasının toprakların alınabilir P miktarını çamur özelliklerine bağlı olarak kontrole göre 10 kat artırdığı Kidd ve ark. (2007) tarafından da bildirilmiştir.

İnkübasyon zamanına bağlı olarak topraklarda alınabilir P miktarı uygulama düzeylerine bağlı olarak artmasına rağmen inkübasyon sonundaki değişim Buski arıtma çamuru uygulaması dışında fazla olmamıştır. Kireç içeriği yüksek Görükle serisi toprakta Buski arıtma çamuru uygulamasında inkübasyon süresince P miktarındaki azalma daha belirgin olmuştur. Bu azalma toprağın kireç içeriğine bağlı olarak fosforun fiksasyonu ile ilgilidir. Conte Suarez ve ark. (2004), dokuz hafta süren çalışmalarında toprakların alınabilir P içeriğinin zamana bağlı olarak azaldığını bildirmişlerdir. Sui ve Thompson (2000) arıtma çamuru uygulanan kireç içeriği yüksek Mollisol toprağın P miktarının artmasının çamurların yüksek P içeriği ile ilgili olduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde Ahmed ve ark. (2010) da arıtma çamuru uygulamasının kireçli topraklarda azot ve fosfor içeriğini arttırdığını bildirmişlerdir. Farklı topraklarda arıtma çamuru uygulaması, toprak özellikleri ve P yarayırlılığını inceleyen Hosseinpur ve Pashamokhtari (2008) kireç içeriği ve çamur organik madde miktarı ile toprağın P miktarındaki değişim arasında önemli korelasyon belirlemişlerdir. Ayrıca Seyhan ve Erdinçler (2003) arıtma çamurunun bünyesindeki fosforun kompleks yapıda olduğunu ve mineralizasyonun uzun süre gerektirdiğini bildirmişlerdir.

Çizelge 4.8. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta alınabilir P miktarı üzerine etkileri

	Alınabilir P, mg kg ⁻¹	Entisol (Görükle serisi)					Vertisol (Çiftlik serisi)				
		B	L	P	M	Ort.	B	L	P	M	Ort.
1. Gün	Kontrol	11,2 e	11,2 c	10,7	11,2 b	11,1e	27,2 d	28,4 b	27,8	28,6 b	28,0 d
	4 t da ⁻¹	128,1 d	24,7 bc	13,7	23,3 ab	47,5 d	77,5 c	37,9 ab	33,1	39,0 ab	46,9 c
	8 t da ⁻¹	159,3 c	43,7 ab	25,8	31,7 ab	65,1 c	138,2 b	43,0 ab	37,6	42,7 ab	65,4 b
	12 t da ⁻¹	225,4 b	52,4 ab	24,1	39,3 ab	85,3 b	164,0 b	56,2 ab	43,5	46,1 ab	77,4 b
	16 t da ⁻¹	282,9 a	55,2 a	35,6	47,1 a	105,2 a	223,8 a	61,5 a	52,5	63,5 a	100,3 a
	Ortalama	161,4 aA	37,5 abB	22,0 C	30,5 BC	62,8 a	126,2 cA	45,4 bB	38,9 B	44,0 B	63,6 c
30. Gün	Kontrol	12,1 e	11,8 c	10,9	9,8 b	11,1 e	28,6 e	29,2 c	28,4	27,5 b	28,4 e
	4 t da ⁻¹	90,0 d	25,2 bc	15,1	22,2 ab	38,1 d	85,4 d	46,3 bc	32,6	35,1 ab	49,9 d
	8 t da ⁻¹	154,8 c	41,8 ab	25,5	28,9 ab	62,7 c	130,3 c	52,2 bc	40,2	49,1 ab	68,0 c
	12 t da ⁻¹	209,5 b	48,5 ab	26,4	37,9 ab	80,5 b	196,6 b	72,2 ab	53,9	59,8 a	95,6 b
	16 t da ⁻¹	242,0 a	60,8 a	37,9	47,9 a	97,2 a	290,1 a	85,7 a	55,3	60,7 a	122,9 a
	Ortalama	141,7 bA	37,6 abB	23,2 C	29,3 BC	57,9 aB	146,2 abA	57,1 abB	42,1 C	46,5 BC	73,0 abA
60.gün	Kontrol	7,6 d	9,5 c	8,4	8,1 b	8,4 d	30,1 e	30,6 c	29,2 b	32,6 b	30,6 e
	4 t da ⁻¹	58,6 c	23,3 bc	14,9	15,7 ab	28,1 c	71,9 d	48,9 bc	34,5 ab	42,1 b	49,4 d
	8 t da ⁻¹	95,9 b	42,1 ab	22,7	33,4 ab	48,5 b	131,2 c	53,6 bc	39,9 ab	50,0 ab	68,7 c
	12 t da ⁻¹	181,1 a	64,8 a	24,4	36,7 ab	76,8 a	210,9 b	67,7 ab	51,1 ab	59,0 ab	97,2 b
	16 t da ⁻¹	193,5 a	67,9 a	35,1	44,3 a	85,2 a	268,5 a	90,7 a	58,7 a	71,3 a	122,3 a
	Ortalama	107,3 cA	41,5 abB	21,1 C	27,6 C	49,4 bB	142,5 abA	58,3 abB	42,7 C	51,0 BC	73,6 abA
90.gün	Kontrol	10,4 c	8,7 d	8,4 b	9,3 b	9,2 c	29,8 e	30,1b	27,5	32,0 b	29,8 e
	4 t da ⁻¹	55,5 b	34,2 cd	16,3 ab	26,6 ab	33,2 b	92,4 d	43,5 b	34,8	42,1 ab	53,2 d
	8 t da ⁻¹	78,8 b	47,9 bc	23,8 ab	32,0 ab	45,6 b	128,9 c	57,9 ab	44,4	51,7 ab	70,7 c
	12 t da ⁻¹	170,8 a	72,9 ab	32,5 ab	40,9 a	79,3 a	210,1 b	78,1 a	52,0	57,0 ab	99,3 b
	16 t da ⁻¹	174,4 a	83,6 a	40,9 a	52,2 a	87,8 a	314,3 a	85,4 a	54,8	68,5 a	130,7 a
	Ortalama	98,0 c A	49,5 aB	24,4 C	32,2 C	51,0 bB	155,1 aA	59,0 aB	42,7 C	50,3 BC	76,8 aA
120.gün	Kontrol	7,9 c	8,7 b	7,9	8,1 b	8,1 c	28,1 e	28,1 c	27,5 b	30,6 b	28,6 e
	4 t da ⁻¹	32,2 c	22,4 ab	16,0	18,5 ab	22,3 c	91,3 d	45,2 bc	35,9 ab	41,3 ab	53,4 d
	8 t da ⁻¹	68,1 b	31,7 ab	20,2	29,4 ab	37,4 b	161,8 c	56,5 abc	41,6 ab	50,8 ab	77,7 c
	12 t da ⁻¹	93,4 ab	46,5 a	33,1	38,7 a	52,9 a	220,5 b	68,5 ab	52,0 ab	56,7 ab	99,4 b
	16 t da ⁻¹	110,2 a	47,4 a	34,5	47,1 a	59,8 a	268,5 a	85,1 a	58,7 a	68,0 a	120,1 a
	Ortalama	62,4 dA	31,3 bB	22,3 B	28,4 B	36,1 cB	154,0 aA	56,7 abB	43,1 C	49,5 BC	75,8 abA
150.gün	Kontrol	7,0 d	7,9 c	9,0	8,7 b	8,1 d	28,9 e	29,8 b	27,2 b	28,9 b	28,7 e
	4 t da ⁻¹	45,4 c	21,9 bc	13,7	23,3 b	26,1 c	78,9 d	42,4 ab	34,8 ab	41,8 ab	49,5 d
	8 t da ⁻¹	65,3 bc	39,0 ab	18,5	30,0 ab	38,2 bc	123,6 c	55,3 ab	38,5 ab	51,7 ab	67,3 c
	12 t da ⁻¹	92,0 ab	44,0 ab	26,4	36,7 ab	49,8 ab	196,3 b	69,1 a	48,0 ab	51,7 ab	91,3 b
	16 t da ⁻¹	99,8 a	55,2 a	31,7	55,8 a	60,6 a	255,9 a	69,1 a	57,3 a	68,8 a	112,8 a
	Ortalama	61,9 dA	33,6 bB	19,9 C	30,9 BC	36,6 cB	136,7bcA	53,1 abB	41,2 B	48,6 B	69,9 bcA

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Büyük harfler yatay karşılaştırma, küçük harfler dikey karşılaştırma
T: İnkübasyon zamanı T LSD_{0,01}:4,574 TxS LSD_{0,01}: 6.469
S: Toprak S LSD_{0,01}:2,641 SxT LSD_{0,01}: 6.469
A: Arıtma çamuru A LSD_{0,01}:3,735 TxSxA LSD_{0,01}: 12.937
U: Uygulama düzeyleri U LSD_{0,01}:4,176 AxTxS LSD_{0,01}: 12.937
UxTxS LSD_{0,05}: 14.464
UxTxSxA LSD_{0,01}: 28.929

Şekil 4.5a. İnkübasyon zamanına bağlı olarak değişim, mg kg⁻¹Şekil 4.5b. Uygulama düzeylerine bağlı olarak değişim, mg kg⁻¹

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Gr: Görükle serisi, Çf: Çiftlik serisi

Şekil 4.5. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların alınabilir P değerindeki değişimler

4.3.1.4. Arıtma çamurlarının toprakların değişebilir K, Ca, Mg ve Na miktarı üzerine etkisi

Artan miktarlarda uygulanan farklı kökenli arıtma çamurlarının iki farklı toprakta uygulama düzeyleri ve inkübasyon zamanına bağlı olarak değişebilir katyonlar (Na, K, Ca, Mg) değerlerindeki meydana gelen değişimlere ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.9, 4.10, 4.11 ve 4.12 ile Şekil 4.6, 4.7, 4.8 ve 4.9'da verilmiştir. Toprakların değişebilir Na, K, Ca ve Mg miktarı üzerine etki bakımından arıtma çamurlarının, uygulama düzeylerinin ve inkübasyon zamanının etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Arıtma çamuru uygulama düzeylerine bağlı olarak toprakların değişebilir Na, K, Ca ve Mg miktarları genelde artış göstermiştir. Değişebilir Na ve K içerikleri kontrole göre en fazla Mauri Gıda arıtma çamuru uygulaması ile artış göstermiştir (Şekil 4.6 ve Şekil 4.9). Mg miktarında göreceli olarak en fazla artış ise Buski arıtma çamuru

uygulamalarından elde edilmiştir (Şekil 4.8). Bu artışlar çamurların kimyasal özellikleri ile ilgilidir (bkz. Çizelge 3.5). Çamur uygulamalarına bağlı olarak Ca miktarındaki değişimin az olması toprakların değişebilir Ca miktarının yüksek olmasından kaynaklanmış olabilir.

İnkübasyon zamanına bağlı olarak topraklarda değişebilir Na, K, Ca ve Mg miktarları uygulama düzeylerine bağlı olarak artmasına rağmen 150 gün sonundaki değişim Mg dışında fazla olmamıştır. Arıtma çamurları N ve P'un yanı sıra az ya da çok K, Ca, Mg ve Na gibi bitki besin maddelerini içerirler. Hussein (2009) kireçli toprakta yapmış olduğu çalışmada arıtma çamuru uygulamasına bağlı olarak toprağın değişebilir Na, K, Ca ve Mg içeriklerinin arttığını belirlemiştir. Yine yapılan başka bir çalışmada arıtma çamuru uygulamalarına bağlı olarak değişebilir Na, K, Ca ve Mg içerikleri artmış, toprakların Ca, Mg ve K miktarları ile bitki arasında düşük korelasyon elde edilirken Na ile yüksek korelasyon elde edilmiştir (Gasco ve Lobo 2007). Bertoncini ve ark. (2008) çamur uygulamalarının toprakların Ca içeriğini artırdığını Mg içeriğini ise azalttığını, K içeriği üzerine ise önemli etkide bulunmadığını ve bu meydana gelen değişimlerin kumlu toprakta kil bünyeli topraktan daha fazla olduğunu belirlemişlerdir. Arıtma çamurlarının toprağa uygulanma aşamasında bu elementlerin de uygulama ile birlikte hangi miktarlarda toprağa verildiği ve topraktaki besin elementi dengesinin bozulmamasına dikkat edilmelidir.

Çizelge 4.9. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta değişebilir K miktarı üzerine etkileri

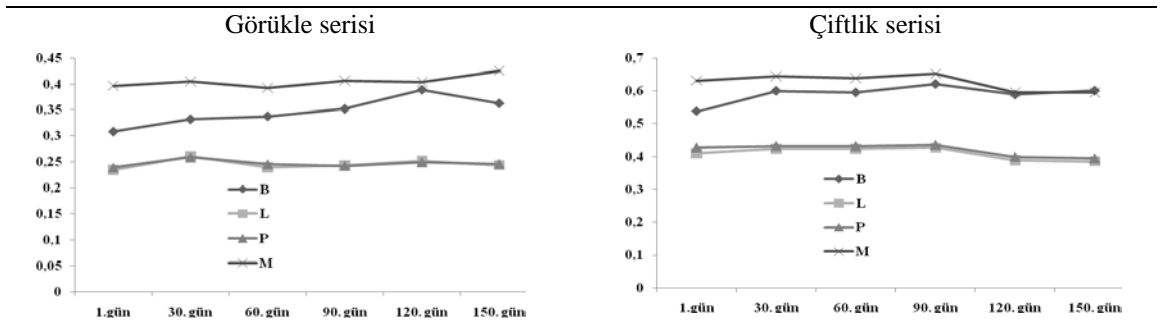
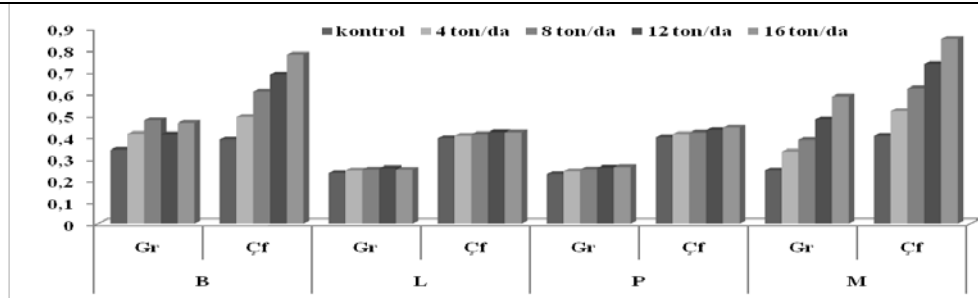
Değ. K, g kg ⁻¹	Entisol (Görükle serisi)					Vertisol (Çiftlik serisi)					
	B	L	P	M	Ort.	B	L	P	M	Ort.	
1. Gün	Kontrol	0,216	0,224	0,220	0,260	0,230	0,393	0,381	0,405	0,400	0,394
	4 t da ⁻¹	0,280	0,252	0,228	0,332	0,273	0,473	0,411	0,432	0,528	0,461
	8 t da ⁻¹	0,312	0,232	0,244	0,400	0,297	0,535	0,411	0,422	0,628	0,499
	12 t da ⁻¹	0,352	0,232	0,268	0,456	0,327	0,606	0,430	0,428	0,727	0,548
	16 t da ⁻¹	0,380	0,232	0,236	0,536	0,346	0,682	0,418	0,450	0,872	0,605
	Ortalama	0,308 dB	0,234 bC	0,239 C	0,397 bA	0,295 dB	0,537 cB	0,410 abC	0,427 aC	0,631 aA	0,501 cA
30. Gün	Kontrol	0,228	0,236	0,236	0,236	0,234	0,395	0,417	0,405	0,428	0,411
	4 t da ⁻¹	0,276	0,248	0,252	0,348	0,281	0,509	0,422	0,425	0,547	0,475
	8 t da ⁻¹	0,324	0,276	0,264	0,364	0,307	0,616	0,426	0,432	0,639	0,528
	12 t da ⁻¹	0,376	0,280	0,268	0,452	0,344	0,700	0,420	0,440	0,745	0,576
	16 t da ⁻¹	0,456	0,268	0,276	0,624	0,406	0,779	0,434	0,460	0,863	0,634
	Ortalama	0,332 cB	0,262 aC	0,259 C	0,405 abA	0,314abcB	0,600 abB	0,423 aC	0,432 aC	0,644 aA	0,525abA
60.gün	Kontrol	0,232	0,228	0,220	0,228	0,227	0,391	0,411	0,402	0,423	0,407
	4 t da ⁻¹	0,280	0,240	0,228	0,345	0,273	0,494	0,412	0,426	0,529	0,465
	8 t da ⁻¹	0,332	0,240	0,268	0,376	0,304	0,595	0,423	0,435	0,638	0,523
	12 t da ⁻¹	0,392	0,240	0,256	0,448	0,334	0,704	0,434	0,443	0,737	0,579
	16 t da ⁻¹	0,452	0,252	0,256	0,568	0,382	0,791	0,439	0,453	0,866	0,637
	Ortalama	0,338 cB	0,240 abC	0,246 C	0,393 bA	0,304 cdB	0,595 bB	0,424 aC	0,432 aC	0,638 aA	0,522 bA
90.gün	Kontrol	0,244	0,224	0,220	0,232	0,230	0,407	0,416	0,403	0,429	0,413
	4 t da ⁻¹	0,296	0,244	0,256	0,304	0,275	0,512	0,422	0,425	0,530	0,472
	8 t da ⁻¹	0,344	0,248	0,236	0,380	0,302	0,626	0,428	0,425	0,655	0,533
	12 t da ⁻¹	0,416	0,264	0,240	0,512	0,358	0,725	0,431	0,462	0,776	0,598
	16 t da ⁻¹	0,460	0,236	0,260	0,604	0,390	0,833	0,437	0,462	0,869	0,650
	Ortalama	0,352bcB	0,243 abC	0,242 C	0,406 abA	0,311 bcB	0,620 aA	0,427 aB	0,435 aB	0,652 aA	0,533 aA
120.gün	Kontrol	0,256	0,248	0,232	0,240	0,244	0,369	0,375	0,394	0,375	0,378
	4 t da ⁻¹	0,296	0,244	0,244	0,304	0,272	0,494	0,378	0,380	0,487	0,435
	8 t da ⁻¹	0,344	0,256	0,244	0,392	0,309	0,601	0,390	0,402	0,592	0,496
	12 t da ⁻¹	0,516	0,260	0,252	0,504	0,383	0,688	0,406	0,400	0,711	0,551
	16 t da ⁻¹	0,532	0,256	0,276	0,580	0,411	0,790	0,393	0,420	0,814	0,604
	Ortalama	0,389 aA	0,253 abB	0,250 B	0,404abA	0,324 aB	0,588 bA	0,388bcB	0,399 bB	0,596 bA	0,493 cA
150.gün	Kontrol	0,240	0,236	0,236	0,276	0,247	0,368	0,358	0,375	0,369	0,367
	4 t da ⁻¹	0,312	0,244	0,240	0,352	0,287	0,471	0,381	0,382	0,488	0,430
	8 t da ⁻¹	0,348	0,244	0,244	0,400	0,309	0,675	0,391	0,396	0,585	0,512
	12 t da ⁻¹	0,412	0,252	0,256	0,504	0,356	0,692	0,401	0,409	0,716	0,554
	16 t da ⁻¹	0,500	0,244	0,256	0,596	0,399	0,795	0,396	0,408	0,817	0,604
	Ortalama	0,362 bB	0,244abC	0,246 C	0,426 aA	0,320 abB	0,600abA	0,385 cB	0,394 bB	0,595 bA	0,493 cA

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Büyük harfler yatay karşılaştırma, küçük harfler dikey karşılaştırma
T: İnkübasyon zamanı T LSD_{0,01}:0,008 TxS LSD_{0,01}: 0,011
S: Toprak S LSD_{0,01}:0,005 SxT LSD_{0,01}: 0,011
A: Arıtma çamuru A LSD_{0,01}:0,006 TxSxA LSD_{0,01}: 0,022
U: Uygulama düzeyleri U LSD_{0,01}:0,007 AxTxS LSD_{0,01}: 0,022
UxTxS LSD_{0,01}: ö.d.
UxTxSxA LSD_{0,01}: ö.d.

Çizelge 4.10. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta değişebilir Ca miktarı üzerine etkileri

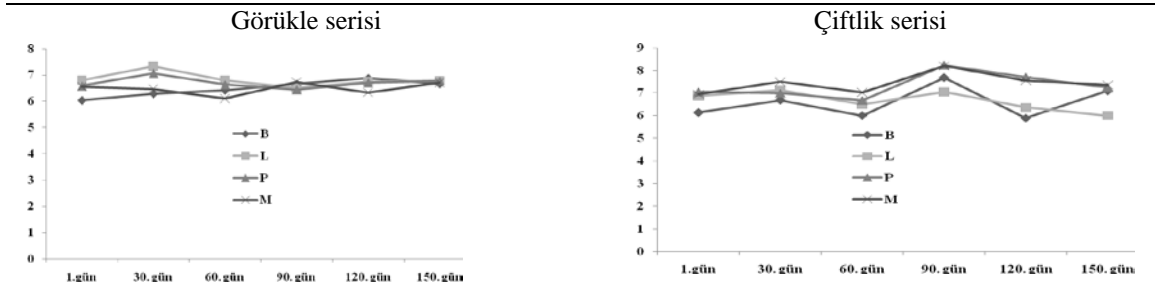
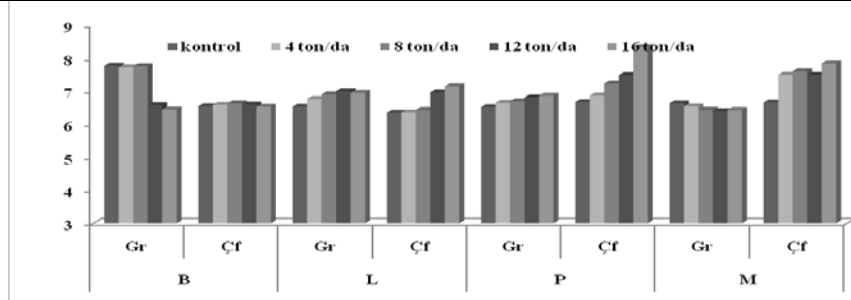
Değ. Ca, g kg ⁻¹	Entisol (Görükle serisi)					Vertisol (Çiftlik serisi)					
	B	L	P	M	Ort.	B	L	P	M	Ort.	
1. Gün	Kontrol	6,33	6,78	6,42	7,12 a	6,67	6,86 a	6,53 ab	6,42 b	6,03 b	6,46 b
	4 t da ⁻¹	6,41	7,04	6,35	6,93 ab	6,68	6,01 ab	6,35 b	7,07 ab	6,49 b	6,48 b
	8 t da ⁻¹	6,04	6,80	6,50	6,50 ab	6,46	6,21 ab	6,77 ab	6,75 b	6,25 b	6,50 b
	12 t da ⁻¹	5,84	6,62	6,94	6,30 ab	6,43	5,55 b	7,52 a	6,89 b	6,41 b	6,59 b
	16 t da ⁻¹	5,59	6,74	6,74	5,96 b	6,26	6,05 ab	7,19 ab	8,12 a	9,50 a	7,72 a
	Ortalama	6,04 cB	6,80 bA	6,59 bA	6,56 abA	6,50 bcB	6,13 cB	6,87 abA	7,05 cdA	6,94 dA	6,75 cdA
30. Gün	Kontrol	6,48	6,52 b	6,72	6,50	6,55	7,06	6,94	6,41 b	6,85	6,82
	4 t da ⁻¹	6,52	7,06 ab	6,93	6,64	6,79	7,00	7,46	6,52 ab	7,59	7,14
	8 t da ⁻¹	6,35	7,90 a	7,06	6,22	6,88	6,80	6,74	7,48 ab	7,84	7,22
	12 t da ⁻¹	5,98	7,63 a	7,34	6,25	6,80	6,43	6,99	6,99 ab	7,50	6,98
	16 t da ⁻¹	6,13	7,57 ab	7,34	6,72	6,94	6,11	7,49	7,56 a	7,66	7,20
	Ortalama	6,29 bcB	7,34 aA	7,08 aA	6,46 abB	6,79 aA	6,68 bB	7,12 aAB	6,99 cdB	7,49 bcA	7,07 bA
60.gün	Kontrol	6,53	6,43	6,20	6,51	6,42	5,83	5,87 b	6,02	6,22 b	5,98 b
	4 t da ⁻¹	6,43	6,85	6,47	5,55	6,32	6,03	6,52 ab	6,53	6,94 ab	6,51 ab
	8 t da ⁻¹	6,36	6,64	7,07	6,25	6,58	6,10	6,28 ab	6,75	6,93 ab	6,52 ab
	12 t da ⁻¹	6,47	6,92	6,68	6,06	6,53	6,12	6,51 ab	7,05	7,65 a	6,83 a
	16 t da ⁻¹	6,35	7,17	6,76	6,18	6,62	5,92	7,27 a	7,06	7,35 a	6,90 a
	Ortalama	6,43abcAB	6,80 bA	6,64 abA	6,11 bB	6,49 c	6,00 cC	6,49 bcB	6,68 dAB	7,02 cdA	6,55 d
90.gün	Kontrol	6,37	6,38	6,63	6,44	6,46	6,50 b	6,10 b	7,11 c	7,22 b	6,73 c
	4 t da ⁻¹	6,45	6,38	6,53	6,62	6,50	7,52 ab	6,19 b	7,64 bc	8,10 ab	7,36 b
	8 t da ⁻¹	6,71	6,40	6,36	6,82	6,57	7,79 a	6,59 b	7,69 bc	8,67 a	7,69 b
	12 t da ⁻¹	6,82	6,82	6,41	6,89	6,73	8,33 a	8,08 a	8,55 b	8,98 a	8,48 a
	16 t da ⁻¹	6,96	6,59	6,30	6,93	6,69	8,28 a	8,31 a	10,19 a	8,00 ab	8,69 a
	Ortalama	6,66 ab	6,51 b	6,44 b	6,74 a	6,59 abcB	7,68 aB	7,05 aC	8,24 aA	8,19 aA	7,79 aA
120.gün	Kontrol	6,78	6,58	6,49	6,40	6,56	5,87	7,24 a	7,25 bc	6,76 b	6,78 ab
	4 t da ⁻¹	6,54	6,52	6,66	6,23	6,49	6,11	5,62 b	6,74 c	8,09 a	6,64 b
	8 t da ⁻¹	6,57	6,84	6,59	6,39	6,60	5,65	6,19 ab	7,50 bc	7,60 ab	6,73 ab
	12 t da ⁻¹	7,54	6,92	6,68	6,36	6,88	5,84	6,34 ab	8,15 ab	7,60 ab	6,98 ab
	16 t da ⁻¹	6,96	6,94	7,14	6,34	6,84	5,96	6,44 ab	8,89 a	7,68 ab	7,24 a
	Ortalama	6,88 aA	6,76bAB	6,72abAB	6,34 abB	6,67 abc	5,88 cC	6,36 cdB	7,71 bA	7,54 bA	6,87 bc
150.gün	Kontrol	6,56	6,48	6,64	6,82	6,62	7,16	5,42	6,81 b	6,88 b	6,57 b
	4 t da ⁻¹	6,54	6,76	6,95	7,28	6,88	6,85	6,01	6,72 b	7,79 ab	6,84 ab
	8 t da ⁻¹	6,70	6,86	6,60	6,47	6,66	7,25	6,03	7,21 ab	8,37 a	7,21 a
	12 t da ⁻¹	6,83	7,11	6,83	6,51	6,82	7,33	6,36	7,32 ab	6,84 b	6,96 ab
	16 t da ⁻¹	6,70	6,70	6,90	6,46	6,69	6,87	6,22	8,20 a	6,87 b	7,04 ab
	Ortalama	6,67 ab	6,78 b	6,79 ab	6,71 a	6,74 ab	7,09 bA	6,01 dB	7,25 bcA	7,35 abcA	6,93 bc

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Büyük harfler yatay karşılaştırma, küçük harfler dikey karşılaştırma
T: İnkübasyon zamanı T LSD_{0.01}:0,170 TxS LSD_{0.01}: 0.240
S: Toprak S LSD_{0.01}:0,098 SxT LSD_{0.01}: 0.240
A: Arıtma çamuru A LSD_{0.01}:0,138 TxSxA LSD_{0.01}: 0.480
U: Uygulama düzeyleri U LSD_{0.01}:0,155 AxTxS LSD_{0.01}: 0.480
UxTxS LSD_{0.01}: 0.536
UxTxSxA LSD_{0.01}: 1.072

Şekil 4.6a. İnkübasyon zamanına bağlı olarak değişim, g kg⁻¹Şekil 4.6b. Uygulama düzeylerine bağlı olarak değişim, g kg⁻¹

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Gr: Görükle serisi, Çf: Çiftlik serisi

Şekil 4.6. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların değişebilir K değerindeki değişimler

Şekil 4.7a. İnkübasyon zamanına bağlı olarak değişim, g kg⁻¹Şekil 4.7b. Uygulama düzeylerine bağlı olarak değişim, g kg⁻¹

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Gr: Görükle serisi, Çf: Çiftlik serisi

Şekil 4.7. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların değişebilir Ca değerindeki değişimler

Çizelge 4.11. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta değişebilir Mg miktarı üzerine etkileri

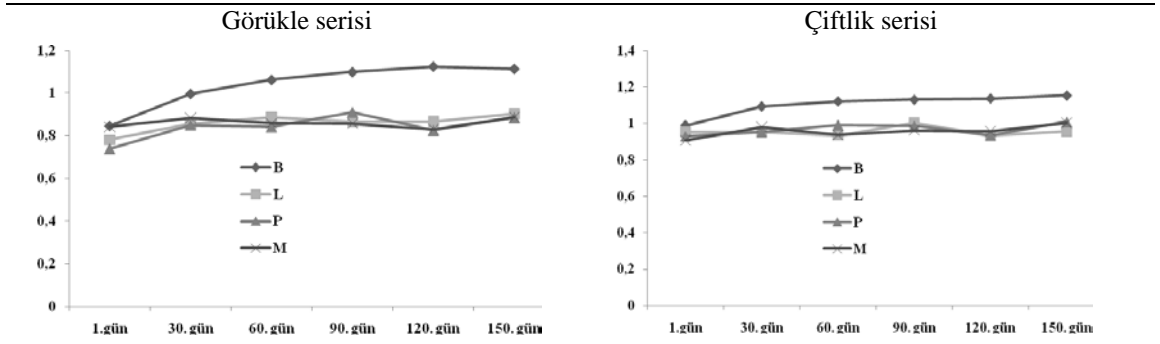
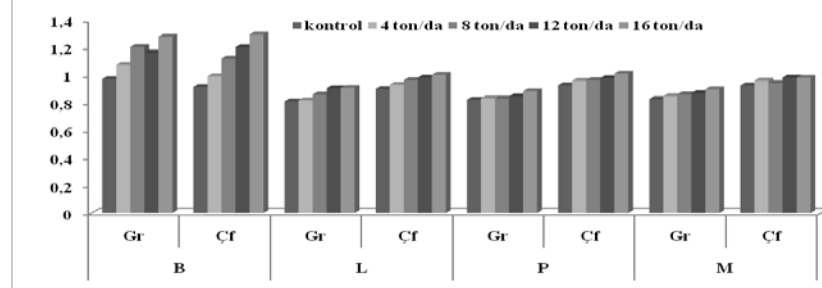
Değ. Mg, g kg ⁻¹		Entisol (Görükle serisi)					Vertisol (Çiftlik serisi)				
		B	L	P	M	Ort.	B	L	P	M	Ort.
1. Gün	Kontrol	0,747	0,732	0,768	0,853	0,775	0,949	0,889	0,884	0,899	0,905
	4 t da ⁻¹	0,833	0,763	0,732	0,828	0,789	0,909	0,975	0,934	0,914	0,933
	8 t da ⁻¹	0,837	0,788	0,742	0,864	0,808	1,000	0,934	0,934	0,889	0,939
	12 t da ⁻¹	0,889	0,833	0,722	0,793	0,809	1,071	0,980	0,934	0,894	0,970
	16 t da ⁻¹	0,929	0,793	0,737	0,871	0,832	1,015	0,980	0,954	0,939	0,972
	Ortalama	0,847 dA	0,782 bB	0,740 dB	0,842 A	0,803 dB	0,989 cA	0,951abAB	0,928 bB	0,907 cB	0,944 dA
30. Gün	Kontrol	0,778	0,783	0,859	0,859	0,819	0,899	0,924	0,949	0,934	0,927
	4 t da ⁻¹	0,859	0,793	0,798	0,919	0,842	1,050	0,934	0,965	0,939	0,972
	8 t da ⁻¹	1,025	0,853	0,813	0,843	0,884	1,081	0,960	0,934	0,975	0,987
	12 t da ⁻¹	1,081	0,848	0,843	0,879	0,913	1,207	0,960	0,944	1,025	1,034
	16 t da ⁻¹	1,242	1,000	0,939	0,919	1,025	1,227	0,990	0,965	1,025	1,052
	Ortalama	0,997 cA	0,855aAB	0,850bcB	0,884 B	0,897 cB	1,093 bA	0,953 abB	0,951abB	0,980 abB	0,994bcA
60.gün	Kontrol	0,884	0,813	0,808	0,798	0,826	0,904	0,889	0,914	0,924	0,908
	4 t da ⁻¹	0,889	0,859	0,823	0,848	0,855	0,990	0,899	1,000	0,949	0,960
	8 t da ⁻¹	1,066	0,874	0,843	0,894	0,919	1,136	0,934	1,000	0,924	0,999
	12 t da ⁻¹	1,197	1,005	0,874	0,914	0,997	1,237	0,965	1,015	0,939	1,039
	16 t da ⁻¹	1,278	0,884	0,864	0,838	0,966	1,338	0,985	1,035	0,944	1,076
	Ortalama	1,063bA	0,887 aB	0,842 bcB	0,859 B	0,913bcB	1,121abA	0,934 bC	0,993 aB	0,936bcAB	0,996 bcA
90.gün	Kontrol	0,833	0,808	0,859	0,808	0,827	0,909	0,944	0,944	0,924	0,930
	4 t da ⁻¹	0,990	0,793	0,985	0,823	0,898	0,939	0,944	0,965	0,975	0,956
	8 t da ⁻¹	1,081	0,894	0,889	0,864	0,932	1,167	1,025	0,985	0,960	1,034
	12 t da ⁻¹	1,227	0,919	0,889	0,864	0,975	1,242	1,015	0,980	0,965	1,050
	16 t da ⁻¹	1,364	0,914	0,929	0,929	1,034	1,394	1,081	1,055	0,985	1,129
	Ortalama	1,099abA	0,866 aB	0,910 aB	0,857 B	0,933abB	1,130abA	1,002 aB	0,986abB	0,962abcB	1,020abA
120.gün	Kontrol	0,813	0,848	0,788	0,798	0,812	0,904	0,856	0,848	0,889	0,874
	4 t da ⁻¹	0,909	0,853	0,788	0,803	0,838	1,040	0,894	0,914	0,954	0,951
	8 t da ⁻¹	1,106	0,869	0,823	0,838	0,909	1,146	0,954	0,929	0,919	0,987
	12 t da ⁻¹	1,313	0,864	0,853	0,884	0,978	1,192	0,990	0,960	1,040	1,045
	16 t da ⁻¹	1,485	0,894	0,874	0,833	1,021	1,404	0,975	1,020	0,980	1,095
	Ortalama	1,125 aA	0,866 aB	0,825 cB	0,831 B	0,912 bcB	1,137abA	0,934 bB	0,934 bB	0,956abcB	0,990 cA
150.gün	Kontrol	0,828	0,874	0,848	0,844	0,849	0,919	0,894	1,020	0,980	0,953
	4 t da ⁻¹	0,975	0,848	0,864	0,859	0,886	1,015	0,939	0,970	1,025	0,987
	8 t da ⁻¹	1,126	0,874	0,869	0,859	0,932	1,187	0,970	0,995	0,985	1,034
	12 t da ⁻¹	1,273	0,960	0,889	0,884	1,001	1,263	0,980	1,030	1,025	1,074
	16 t da ⁻¹	1,369	0,960	0,954	0,995	1,069	1,384	1,000	1,030	1,005	1,105
	Ortalama	1,114abA	0,903 aB	0,885abB	0,888 B	0,947 aB	1,153 aA	0,956 abB	1,009 aB	1,004 aB	0,1031 aA

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Büyük harfler yatay karşılaştırma, küçük harfler dikey karşılaştırma
T: İnkübasyon zamanı T LSD_{0.01}:0,020 TxS LSD_{0.01}: 0.029
S: Toprak S LSD_{0.01}:0,012 SxT LSD_{0.01}: 0.029
A: Arıtma çamuru A LSD_{0.01}:0,017 TxSxA LSD_{0.01}: 0.058
U: Uygulama düzeyleri U LSD_{0.01}:0,019 AxTxS LSD_{0.01}: 0.058
UxTxS LSD_{0.01}: ö.d.
UxTxSxA LSD_{0.01}: ö.d.

Çizelge 4.12. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta değişebilir Na miktarı üzerine etkileri

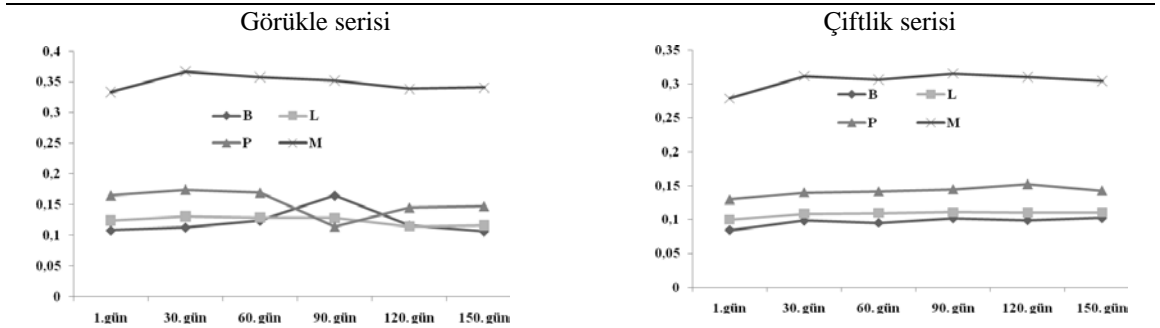
Değ. Na, g kg ⁻¹		Entisol (Görükle serisi)					Vertisol (Çiftlik serisi)				
		B	L	P	M	Ort.	B	L	P	M	Ort.
1. gün	Kontrol	0,084	0,088	0,092	0,096	0,090	0,064	0,063	0,064	0,065	0,064
	4 t da ⁻¹	0,100	0,104	0,124	0,212	0,135	0,063	0,080	0,105	0,182	0,107
	8 t da ⁻¹	0,100	0,128	0,176	0,364	0,192	0,087	0,103	0,129	0,279	0,149
	12 t da ⁻¹	0,136	0,152	0,212	0,436	0,234	0,098	0,118	0,156	0,375	0,187
	16 t da ⁻¹	0,120	0,148	0,220	0,560	0,262	0,111	0,138	0,196	0,494	0,234
	Ortalama	0,108	0,124	0,165	0,334	0,183bcA	0,085	0,100	0,130	0,279	0,148 bB
30. gün	Kontrol	0,072	0,100	0,092	0,092	0,089	0,066	0,066	0,064	0,068	0,066
	4 t da ⁻¹	0,100	0,080	0,140	0,236	0,139	0,086	0,091	0,105	0,199	0,120
	8 t da ⁻¹	0,112	0,160	0,176	0,344	0,198	0,099	0,109	0,143	0,306	0,164
	12 t da ⁻¹	0,120	0,148	0,204	0,480	0,238	0,114	0,128	0,177	0,431	0,212
	16 t da ⁻¹	0,160	0,164	0,260	0,684	0,317	0,128	0,152	0,213	0,556	0,262
	Ortalama	0,113	0,130	0,174	0,367	0,196 aA	0,098	0,109	0,140	0,312	0,165 aB
60.gün	Kontrol	0,092	0,096	0,092	0,082	0,091	0,062	0,065	0,068	0,069	0,066
	4 t da ⁻¹	0,104	0,096	0,104	0,286	0,148	0,079	0,084	0,109	0,196	0,117
	8 t da ⁻¹	0,128	0,136	0,184	0,324	0,193	0,097	0,115	0,146	0,292	0,162
	12 t da ⁻¹	0,152	0,144	0,220	0,476	0,248	0,116	0,132	0,175	0,423	0,211
	16 t da ⁻¹	0,144	0,172	0,248	0,620	0,296	0,124	0,155	0,211	0,553	0,260
	Ortalama	0,124	0,129	0,170	0,358	0,195 aA	0,095	0,110	0,142	0,306	0,163 aB
90.gün	Kontrol	0,084	0,072	0,080	0,068	0,076	0,065	0,065	0,070	0,069	0,067
	4 t da ⁻¹	0,104	0,096	0,124	0,224	0,137	0,084	0,097	0,107	0,194	0,120
	8 t da ⁻¹	0,108	0,140	0,164	0,336	0,187	0,104	0,111	0,146	0,309	0,167
	12 t da ⁻¹	0,140	0,164	0,200	0,512	0,254	0,116	0,133	0,187	0,450	0,221
	16 t da ⁻¹	0,132	0,168	0,256	0,620	0,294	0,143	0,150	0,216	0,557	0,266
	Ortalama	0,165	0,128	0,114	0,352	0,190 abA	0,102	0,111	0,145	0,315	0,168 aB
120.gün	Kontrol	0,076	0,068	0,068	0,072	0,071	0,065	0,100	0,110	0,064	0,085
	4 t da ⁻¹	0,084	0,092	0,092	0,196	0,116	0,087	0,082	0,103	0,200	0,118
	8 t da ⁻¹	0,116	0,108	0,156	0,332	0,178	0,105	0,105	0,144	0,296	0,162
	12 t da ⁻¹	0,156	0,144	0,188	0,484	0,243	0,113	0,125	0,189	0,430	0,214
	16 t da ⁻¹	0,148	0,160	0,220	0,608	0,284	0,128	0,140	0,216	0,564	0,262
	Ortalama	0,116	0,114	0,145	0,338	0,178 cA	0,099	0,110	0,152	0,310	0,168 aB
150.gün	Kontrol	0,064	0,068	0,080	0,076	0,072	0,063	0,068	0,069	0,064	0,066
	4 t da ⁻¹	0,100	0,092	0,112	0,212	0,129	0,084	0,086	0,106	0,192	0,117
	8 t da ⁻¹	0,100	0,120	0,144	0,332	0,174	0,104	0,109	0,149	0,292	0,163
	12 t da ⁻¹	0,124	0,132	0,184	0,476	0,229	0,125	0,136	0,183	0,431	0,219
	16 t da ⁻¹	0,144	0,168	0,216	0,608	0,284	0,136	0,156	0,209	0,543	0,261
	Ortalama	0,106	0,116	0,147	0,341	0,178 cA	0,102	0,111	0,143	0,304	0,165 aB

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Büyük harfler yatay karşılaştırma, küçük harfler dikey karşılaştırma
T: İnkübasyon zamanı T LSD_{0,01}:0,006 TxS LSD_{0,01}: 0,009
S: Toprak S LSD_{0,01}:0,004 SxT LSD_{0,01}: 0,009
A: Arıtma çamuru A LSD_{0,01}:0,005 TxSxA LSD_{0,01}: ö.d.
U: Uygulama düzeyleri U LSD_{0,01}:0,006 AxTxS LSD_{0,01}: ö.d.
UxTxS LSD_{0,01}: ö.d.
UxTxSxA LSD_{0,01}: ö.d.

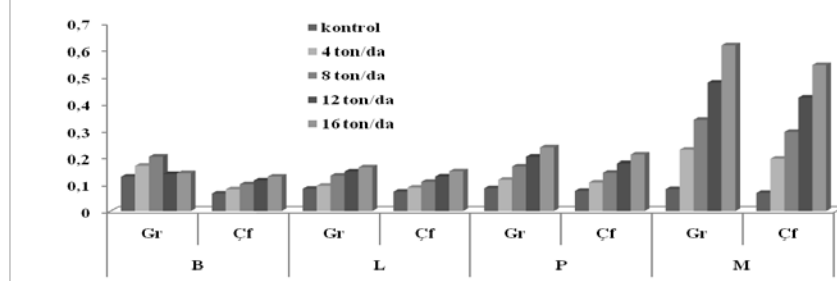
Şekil 4.8a. İnkübasyon zamanına bağlı olarak değişim, g kg⁻¹Şekil 4.8b. Uygulama düzeylerine bağlı olarak değişim, g kg⁻¹

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Gr: Görükle serisi, Çf: Çiftlik serisi

Şekil 4.8. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların değişebilir Mg değerindeki değişimler



Şekil 4.9a. İnkübasyon zamanına bağlı olarak değişim



Şekil 4.9b. Uygulama düzeylerine bağlı olarak değişim

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Gr: Görükle serisi, Çf: Çiftlik serisi

Şekil 4.9. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların değişebilir Na değerindeki değişimler

4.3.1.5. Arıtma çamurlarının toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir kimi ağır metal miktarları üzerine etkisi

Artan miktarlarda uygulanan farklı kökenli arıtma çamurlarının iki farklı toprakta uygulama düzeyleri ve inkübasyon zamanına bağlı olarak alınabilir mikroelement ve kimi ağır metal (Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Cr, Ni ve Pb) değerlerindeki meydana gelen değişimlere ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırılmaları Çizelge 4.13- 4.20 ve Şekil 4.10-4.17'de verilmiştir. Toprakların alınabilir mikro element ve ağır metal (Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Cr, Ni, Pb) miktarları üzerine etkisi bakımından arıtma çamurlarının, uygulama düzeylerinin ve inkübasyon zamanının etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.13-4.16 ve Şekil 4.10-4.13 birlikte incelendiğinde, toprakların alınabilir Fe, Cu, Zn ve Mn içeriklerinin uygulama düzeylerine bağlı olarak artış gösterdiği görülmektedir. En fazla artış çamurların en yüksek uygulama düzeylerinde belirlenmiştir. Toprakların Fe içeriğindeki artışlar incelendiğinde uygulanan çamurlara bağlı olarak artış miktarları da farklı olmuştur. Fe içeriğinde en fazla artış Çiftlik serisi toprakta Buski arıtma çamur uygulaması ile belirlenmiştir. Göreceli olarak Çiftlik serisindeki artışlar diğer çamur uygulamalarında da Görükle serisine göre daha fazla bulunmuştur. Bu farklılık toprakların kireç içeriğinin farklılığından kaynaklanmıştır.

Aynı zamanda uygulanan çamurlara bağlı olarak Fe artışının farklı düzeylerde olması çamurların kimyasal özellikleri ile ilgilidir. Çamurların toplam ve DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe miktarları birbirinden farklılık göstermektedir (bkz. Çizelge 3.5). Toprakların Fe içeriklerinin uygulama düzeylerine bağlı olarak verilen sınır değerini (çok yüksek 25,0 mg kg⁻¹) geçmediği belirlenmiştir (Jones 2001). Arıtma çamurlarının topraklara uygulanması ile alınabilir mikro element içeriklerinde artış sağlandığı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Moral ve ark. 2002, Ünal ve Katkat 2009).

Fe içeriğindeki değişimlere benzer şekilde toprakların yarayışlı Cu, Zn ve Mn içerikleri de uygulama düzeylerine bağlı olarak göstermiştir. Göreceli olarak artışlar incelendiğinde Çiftlik serisi toprakta Cu ve Mn artışı en fazla Buski arıtma çamuru uygulaması ile belirlenmiştir. Zn içeriğindeki artış ise yine Buski arıtma çamuru uygulaması ile Görükle serisi toprakta belirlenmiştir Bu artışlar yeterlilik sınır

değerlerinin üzerinde belirlenmiştir (Jones 2001). Araştırmacı Cu için çok yüksek sınır değerini $2,5 \text{ mg kg}^{-1}$, Zn için 6 mg kg^{-1} , Mn için ise 30 mg kg^{-1} olarak bildirmiştir. Özellikle Çiftlik serisi toprakta Buski arıtma çamuru uygulaması ile toprağın Mn içeriği sınır değerinin çok üzerinde belirlenmiştir.

İnkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların alınabilir Fe, Cu, Zn ve Mn içeriklerindeki değişim Çizelge 4.13-4.16 ve Şekil 4.10b-4.13b'de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde toprakların alınabilir Fe içeriği arıtma çamuru uygulama düzeylerine bağlı olarak artmasına karşın zamana bağlı olarak azalma göstermiştir. Kireç içeriği yüksek Görükle serisinde bu durum daha belirgin olarak görülmektedir. Benzer şekilde Zn içeriği de Görükle ve Çiftlik serisinde zamana bağlı olarak azalmaktadır. Ancak Çiftlik serisi toprakta Buski arıtma çamuru uygulaması ile zamana bağlı olarak Cu ve Mn içeriği artış göstermiştir. Bu artış toprak pH'sının düşük olması ile açıklanabilir. Genel olarak değişimler değerlendirildiğinde alınabilir mikroelement içeriklerinin azalması uygulama düzeylerine bağlı olarak toprakların organik madde içeriklerinin artması ve mineralizasyona bağlı olarak kompleks bileşiklerin oluşmasından kaynaklanmış olabilir. Moral ve ark. (2002), arıtma çamuru uygulaması sonucu toprakların yarayışlı Fe, Cu, Mn ve Zn miktarını artırdığını ancak bu artış oranlarının arıtma çamurunun kompost olup olmamasına, uygulama düzeyine ve toprakların tekstürüne (tın > kum) bağlı olduğunu belirtmiştir.

Çizelge 4.13. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe miktarı üzerine etkileri

Alınabilir Fe, mg kg ⁻¹	Entisol (Görükle serisi)					Vertisol (Çiftlik serisi)					
	B	L	P	M	Ort.	B	L	P	M	Ort.	
1. gün	Kontrol	5,78	6,79 c	7,49 b	5,06 c	6,28 d	8,40	10,12 b	9,47 c	13,19 c	10,29 d
	4 t da ⁻¹	6,38	8,10 bc	9,13 ab	9,32 b	8,23 c	9,02	10,88 ab	10,69 bc	14,00 c	11,15 d
	8 t da ⁻¹	5,68	10,50 ab	10,44 a	11,81 ab	9,61 b	9,08	11,58 ab	12,66 b	17,86 b	12,79 c
	12 t da ⁻¹	5,41	11,52 a	8,30 ab	13,41 a	9,66 b	9,08	13,41 a	16,09 a	17,75 b	14,08 b
	16 t da ⁻¹	7,02	12,69 a	10,72 a	13,86 a	11,07 a	10,05	12,62 ab	18,11 a	20,47 a	15,31 a
	Ortalama	6,05 abC	9,92 aAB	9,22 bB	10,69 aA	8,97 aB	9,12 cD	11,72 cC	13,40bcB	16,65 aA	12,72 cA
30. gün	Kontrol	6,61	6,92 c	6,76 d	7,22 c	6,88 d	12,23 c	15,18 c	13,91 c	12,97 c	13,57 d
	4 t da ⁻¹	7,04	8,67 bc	8,51 cd	8,88 bc	8,28 c	14,48 bc	14,66 c	15,45 bc	15,31 bc	14,97 c
	8 t da ⁻¹	6,78	9,63 b	10,91 bc	10,08 ab	9,35 b	15,65 b	16,51 bc	17,47 b	15,82 ab	16,36 b
	12 t da ⁻¹	7,12	9,79 b	12,15 b	11,03 ab	10,02 b	21,63 a	18,08 ab	22,37 a	17,93 a	20,00 a
	16 t da ⁻¹	7,55	12,87 a	18,34 a	11,69 a	12,61 a	20,33 a	19,72 a	24,19 a	17,44 ab	20,42 a
	Ortalama	7,02 aC	9,57 aB	11,33 aA	9,78 aB	9,43 aB	16,86 aB	16,83 aB	18,67 aA	15,89 aB	17,06 aA
60.gün	Kontrol	5,40	5,30 c	5,09 c	5,38 c	5,29 d	8,90 c	10,66 c	10,94 b	9,63 b	10,03 e
	4 t da ⁻¹	5,46	6,43 bc	6,94 bc	6,80 bc	6,41 c	10,93 bc	12,57 bc	11,43 b	10,96 b	11,47 d
	8 t da ⁻¹	5,71	9,11 a	7,23 bc	7,92 bc	7,49 b	13,38 b	15,05 ab	13,44 b	14,16 a	14,01 c
	12 t da ⁻¹	6,51	8,94 ab	9,28 ab	8,89 ab	8,40 b	18,19 a	16,16 a	16,54 a	13,66 a	16,13 b
	16 t da ⁻¹	7,35	10,15 a	11,49 a	10,62 a	9,90 a	19,07 a	16,98 a	18,10 a	14,32 a	17,11 a
	Ortalama	6,08 abB	7,99 bA	8,01 cdA	7,92 bA	7,50 bB	14,09 bA	14,28 bA	14,09 bA	12,54 bB	13,75 bA
90.gün	Kontrol	4,58	3,99 c	4,23 d	4,01 d	4,20 d	8,07 d	9,24 c	8,31 c	8,36 c	8,49 e
	4 t da ⁻¹	4,62	5,72 bc	6,39 cd	5,98 cd	5,67 c	10,13 d	10,85 bc	9,69 c	9,29 bc	9,99 d
	8 t da ⁻¹	5,50	7,65 b	7,38 bc	7,45 bc	6,99 b	13,96 c	13,76 abc	12,39 b	11,83 b	12,98 c
	12 t da ⁻¹	5,35	8,26 ab	9,00 ab	8,59 ab	7,80 b	16,97 b	11,86 ab	13,69 b	16,18 a	14,67 b
	16 t da ⁻¹	5,97	10,30 a	11,01 a	10,64 a	9,48 a	19,92 a	11,62 a	19,25 a	14,88 a	16,41 a
	Ortalama	5,20 bB	7,18 bcA	7,60 cdA	7,33 bA	6,83 cB	13,81 bA	11,46 cC	12,66 cAB	12,11bcBC	12,51cdA
120.gün	Kontrol	4,40	4,60 c	3,93 c	4,25 c	4,29 d	7,12 e	7,84 c	7,78 c	8,00 d	7,68 e
	4 t da ⁻¹	5,07	5,78 c	5,76 bc	5,78 bc	5,60 c	10,76 d	8,98 bc	9,02 c	8,87 cd	9,40 d
	8 t da ⁻¹	5,77	6,48 bc	7,89 b	6,91 b	6,76 b	16,37 c	10,41 abc	9,17 c	10,65 bc	11,65 c
	12 t da ⁻¹	5,42	8,65 ab	11,93 a	9,86 a	8,96 a	21,51 b	11,07 ab	15,73 b	11,74 b	15,01 b
	16 t da ⁻¹	5,80	9,35 a	11,58 a	9,91 a	9,16 a	26,39 a	12,46 a	12,84 a	15,66 a	16,83 a
	Ortalama	5,29 bC	6,97 bcB	8,22 bcA	7,34 bAB	6,96 bcB	16,43 aA	10,15 dB	10,91 dB	10,98 cB	12,12 dA
150.gün	Kontrol	4,09	4,35 c	4,37 c	4,25 b	4,26 d	9,33 d	7,24 b	7,16 c	7,39 b	7,78 e
	4 t da ⁻¹	4,60	5,32 bc	5,92 bc	5,15 b	5,25 c	12,51 c	9,60 ab	8,20 c	9,17 ab	9,87 d
	8 t da ⁻¹	5,92	6,32 bc	7,16 ab	5,95 ab	6,34 b	17,63 b	9,54 ab	9,55 bc	9,46 ab	11,55 c
	12 t da ⁻¹	6,44	7,22 ab	8,78 a	6,49 ab	7,23 ab	20,00 ab	10,05 a	11,82 ab	10,17 a	13,01 b
	16 t da ⁻¹	6,36	9,11 a	8,27ab	7,89 a	7,91 a	22,03 a	11,67 a	12,62 a	11,72 a	14,51 a
	Ortalama	5,48 bB	6,46 cAB	6,90 dA	5,95 cAB	6,20 dB	16,30 aA	9,62 dB	9,87 dB	9,58 dB	11,37 eA

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Büyük harfler yatay karşılaştırma, küçük harfler düşey karşılaştırma

T: İnkübasyon zamanı
S: Toprak
A: Arıtma çamuru
U: Uygulama düzeyleri

T LSD_{0,01}:0,407
S LSD_{0,01}:0,235
A LSD_{0,01}:0,332
U LSD_{0,01}:0,372

TxS LSD_{0,01}: 0.576
SxT LSD_{0,01}: 0.576
TxSxA LSD_{0,01}: 1.152
AxTxS LSD_{0,01}: 1.152
UxTxS LSD_{0,05}: 0,974
UxTxSxA LSD_{0,01}: 2.575

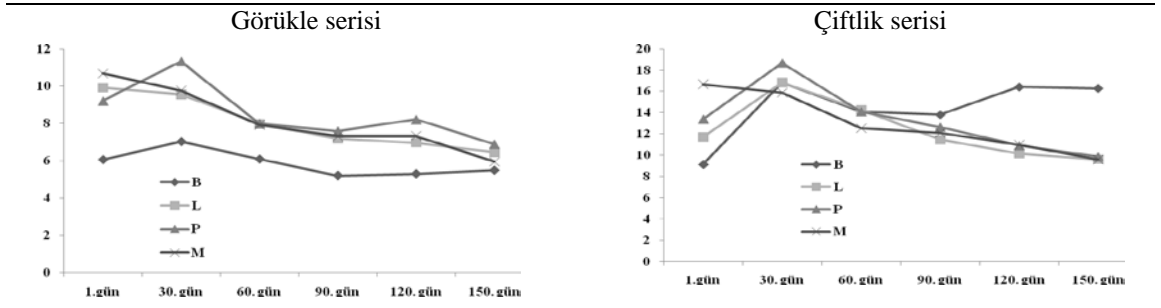
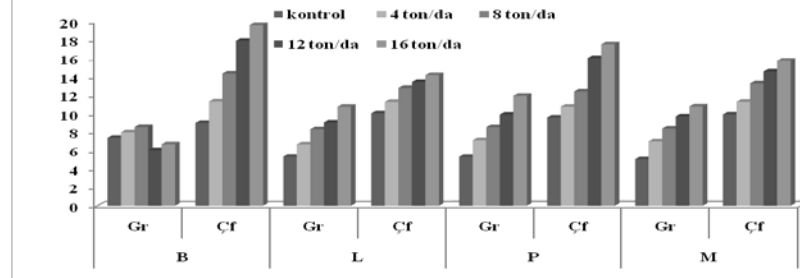
Çizelge 4.14. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir Cu miktarı üzerine etkileri

	Alınabilir Cu, mg kg ⁻¹	Entisol (Görükle serisi)					Vertisol (Çiftlik serisi)				
		B	L	P	M	Ort.	B	L	P	M	Ort.
1. gün	Kontrol	1,44 c	1,78 c	2,02	1,51 b	1,69	2,44 d	2,65 d	2,87 c	3,20 c	2,79
	4 t da ⁻¹	2,20 b	2,28 c	2,21	1,95 ab	2,16	3,01 c	3,12 cd	3,11 c	3,53 bc	3,19
	8 t da ⁻¹	2,61 b	2,89 b	2,26	2,10 a	2,47	3,59 b	3,41 bc	3,40 bc	3,88 ab	3,57
	12 t da ⁻¹	2,58 b	3,37 ab	1,92	2,37 a	2,56	4,21 a	4,12 ab	3,77 ab	3,94 ab	4,01
	16 t da ⁻¹	3,40 a	3,66 a	2,25	2,27 a	2,89	4,32 a	3,73 a	4,16 a	4,25 a	4,11
	Ortalama	2,45 abB	2,80 aA	2,13 aC	2,04 aC	2,35 abB	3,51 dAB	3,41 abB	3,46 aB	3,76 aA	3,53 abA
30. gün	Kontrol	1,41 c	1,38 c	1,41 c	1,37 b	1,39	2,58 d	2,77 c	2,84 b	2,95 c	2,78
	4 t da ⁻¹	2,06 b	1,78 bc	1,61 bc	1,66 ab	1,77	3,21 c	2,99 c	2,96 b	3,21 bc	3,09
	8 t da ⁻¹	2,58 b	2,04 b	1,91 bc	1,98 a	2,13	3,69 c	3,57 b	3,24 b	3,35 abc	3,46
	12 t da ⁻¹	3,22 a	2,09 b	2,05 b	1,97 a	2,33	4,43 b	4,03 b	3,85 a	3,75 ab	4,02
	16 t da ⁻¹	3,48 a	3,17 a	2,77 a	2,20 a	2,90	5,35 a	4,71 a	4,17 a	3,88 a	4,53
	Ortalama	2,55 abA	2,09 bB	1,95abBC	1,84 abC	2,11 bB	3,85 bcA	3,61 aAB	3,41 aB	3,43 bB	3,58 aA
60.gün	Kontrol	1,38 d	1,33 b	1,31 b	1,33 b	1,34	2,10 d	2,54 d	2,73 c	2,72 c	2,52
	4 t da ⁻¹	1,90 d	1,76 b	1,56 b	1,54 b	1,69	2,92 cd	2,90 cd	2,97 bc	2,96 c	2,94
	8 t da ⁻¹	2,62 c	2,48 a	1,56 b	1,70 ab	2,09	3,80 bc	3,31 bc	3,16 bc	3,26 bc	3,38
	12 t da ⁻¹	3,27 b	2,57 a	1,84 ab	1,67 ab	2,34	4,81 b	3,78 b	3,52 ab	3,67 ab	3,94
	16 t da ⁻¹	4,10 a	2,77 a	2,22 a	2,13 a	2,80	5,20 a	4,55 a	3,80 a	3,92 a	4,37
	Ortalama	2,65 aA	2,18 bB	1,70 bC	1,67 bC	2,05 bB	3,77 cA	3,42 abB	3,24 aB	3,31 bcB	3,43 bA
90.gün	Kontrol	1,24 c	1,20 d	1,24 c	1,25 c	1,23	2,22 d	2,47 c	2,64 d	2,65 b	2,50
	4 t da ⁻¹	1,93 b	1,73 cd	1,55 bc	1,49 bc	1,68	3,15 c	2,98 bc	2,97 cd	2,82 b	2,98
	8 t da ⁻¹	2,65 a	2,25 bc	1,69 bc	1,81 abc	2,10	4,34 b	3,51 ab	3,43 bc	3,43 a	3,68
	12 t da ⁻¹	2,93a	2,39 b	2,10 ab	1,92 ab	2,33	5,45 a	3,72 a	3,59 b	3,16 ab	3,98
	16 t da ⁻¹	3,14 a	3,24 a	2,35 a	2,33 a	2,77	5,74 a	3,81 a	4,35 a	3,40 a	4,32
	Ortalama	2,38 bA	2,16 bA	1,78 bB	1,76 bB	2,02 bB	4,18 aA	3,30 bBC	3,40 aB	3,09 cC	3,49 abA
120.gün	Kontrol	1,39 c	1,36 b	1,31 c	1,40 b	1,37	2,06 d	2,14 d	2,40 b	2,09 c	2,17
	4 t da ⁻¹	1,79 c	1,82 b	1,59 bc	1,67 ab	1,72	2,87 c	2,43 cd	2,50 b	2,24 bc	2,51
	8 t da ⁻¹	2,76 b	1,93 b	1,94 ab	1,74 ab	2,09	4,38 b	2,88 bc	2,64 b	2,52 abc	3,11
	12 t da ⁻¹	2,86 ab	2,61 a	2,43 a	2,14 a	2,51	5,09 a	3,30 ab	3,50 a	2,78 ab	3,67
	16 t da ⁻¹	3,34 a	2,80 a	2,45 a	2,21 a	2,70	5,37 a	3,63 a	3,23 a	3,05 a	3,82
	Ortalama	2,43 abA	2,10 bB	1,94abBC	1,83 abC	2,08 bB	3,95abcA	2,88 cB	2,85 bB	2,54 dC	3,06 cA
150.gün	Kontrol	1,36 c	1,36 d	1,35 b	1,38 b	1,36	2,15 d	2,08 d	2,38 b	2,03 b	2,16
	4 t da ⁻¹	1,93 b	1,79 cd	1,60 ab	1,51 ab	1,71	3,48 c	2,62 cd	2,43 b	2,32 ab	2,71
	8 t da ⁻¹	2,05 b	2,18 bc	1,74 ab	1,71 ab	1,92	4,42 b	2,76 bc	2,83 ab	2,55 ab	3,14
	12 t da ⁻¹	3,33 a	2,45 b	2,01 a	1,81 ab	2,40	4,97 ab	3,27 ab	3,20 a	2,67 a	3,53
	16 t da ⁻¹	3,73 a	3,24 a	2,11 a	2,02 a	2,77	5,34 a	3,65 a	3,37 a	2,89 a	3,81
	Ortalama	2,48 abA	2,20 bB	1,76 bC	1,69 bC	2,03 bB	4,07 abA	2,88 cB	2,84 bB	2,49 dC	3,07 cA

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Büyük harfler yatay karşılaştırma, küçük harfler düşey karşılaştırma
T: İnkübasyon zamanı
S: Toprak
A: Arıtma çamuru
U: Uygulama düzeyleri

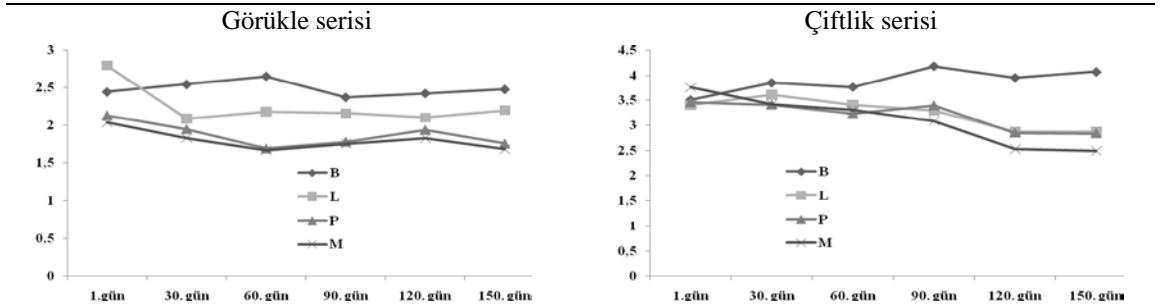
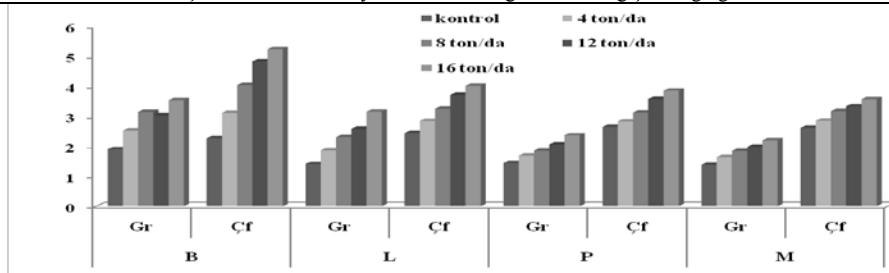
T LSD_{0,01}:0,090
S LSD_{0,01}:0,052
A LSD_{0,01}:0,073
U LSD_{0,01}:0,082

TxS LSD_{0,01}: 0.127
SxT LSD_{0,01}: 0.127
TxSxA LSD_{0,01}: 0.254
AxTxS LSD_{0,01}: 0.254
UxTxS LSD_{0,01}: ö.d.
UxTxSxA LSD_{0,01}: 0.568

Şekil 4.10a. İnkübasyon zamanına bağlı olarak değişim, mg kg⁻¹Şekil 4.10b. Uygulama düzeylerine bağlı olarak değişim, mg kg⁻¹

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen , M: Mauri, Gr: Görükle serisi, Çf: Çiftlik serisi

Şekil 4.10. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe değerindeki değişimler

Şekil 4.11a. İnkübasyon zamanına bağlı olarak değişim, mg kg⁻¹Şekil 4.11b. Uygulama düzeylerine bağlı olarak değişim, mg kg⁻¹

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen , M: Mauri, Gr: Görükle serisi, Çf: Çiftlik serisi

Şekil 4.11. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir Cu değerindeki değişimler

Çizelge 4.15. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir Mn miktarı üzerine etkileri

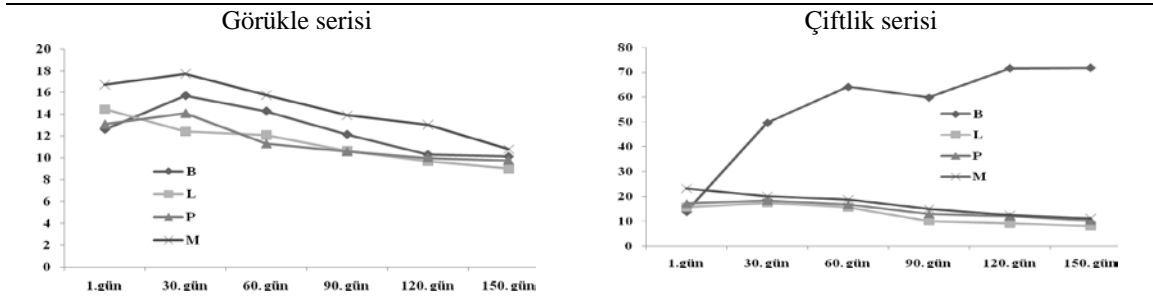
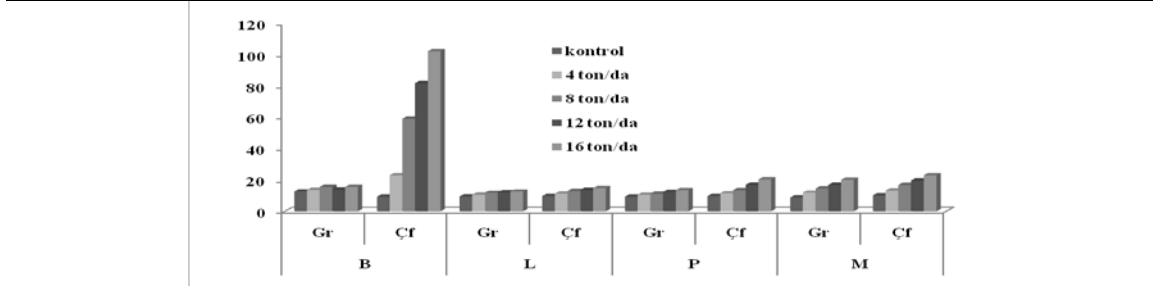
Alınabilir Mn, mg kg ⁻¹	Entisol (Görükle serisi)					Vertisol (Çiftlik serisi)					
	B	L	P	M	Ort.	B	L	P	M	Ort.	
1. gün	Kontrol	10,9	12,3	13,4	10,0 b	11,6	13,1	14,0	14,3	14,7 b	14,0 b
	4 t da ⁻¹	12,8	13,7	15,4	15,6 ab	14,3	13,4	15,0	16,3	21,9 ab	16,6 ab
	8 t da ⁻¹	12,4	14,8	12,7	17,9 ab	14,4	14,0	15,9	15,0	24,6 a	17,4 ab
	12 t da ⁻¹	12,3	15,5	11,6	19,9 a	14,8	13,7	16,9	18,1	25,8 a	18,6 a
	16 t da ⁻¹	14,7	16,1	12,4	20,3 a	15,9	15,5	16,5	22,0	29,1 a	20,8 a
Ortalama	12,6 abB	14,5 aAB	13,1abAB	16,7 abA	14,2 aB	13,9 eB	15,7 aB	17,1 aB	23,2 aA	17,5 cA	
30. gün	Kontrol	11,3	10,7	10,9	10,6 c	10,9 c	13,4 e	14,4	15,1	14,1 b	14,3 d
	4 t da ⁻¹	12,7	11,8	12,7	14,8 bc	13,0 bc	24,2 d	15,3	16,2	18,3 ab	18,5 d
	8 t da ⁻¹	15,1	12,5	13,8	18,0 abc	14,8 abc	42,8 c	16,8	17,2	20,6 ab	24,3 c
	12 t da ⁻¹	20,0	13,1	14,9	20,2 ab	17,1 ab	72,3 b	19,1	20,2	22,4 ab	33,5 b
	16 t da ⁻¹	19,5	14,0	18,3	25,0 a	19,2 a	95,9 a	21,3	23,1	25,1 a	41,3 a
Ortalama	15,7 aAB	12,4 abB	14,1 aAB	17,7 aA	15,0 aB	49,7 dA	17,4 aB	18,3 aB	20,1 abB	26,4 bA	
60.gün	Kontrol	11,5	10,4	9,5	9,6 c	10,2 c	9,0 e	11,2	10,4 c	12,0 b	10,6 e
	4 t da ⁻¹	11,5	11,8	10,3	12,4 bc	11,5 bc	26,3 d	13,0	12,9 bc	14,0 b	16,5 d
	8 t da ⁻¹	13,2	13,1	10,5	16,3 abc	13,3 abc	57,3 c	16,7	17,6 abc	18,7 ab	27,6 c
	12 t da ⁻¹	15,9	12,6	13,2	18,4 ab	15,0 ab	97,2 b	18,2	20,0 ab	23,1 a	39,6 b
	16 t da ⁻¹	19,4	12,6	13,1	22,2 a	16,8 a	130,8 a	18,9	22,6 a	26,0 a	49,6 a
Ortalama	14,3 aAB	12,1abAB	11,3 abB	15,8 abA	13,4 abB	64,1 cA	15,6 aB	16,7 abB	18,7 bcB	28,8 aA	
90.gün	Kontrol	9,7	8,7	7,8	7,5 c	8,4 c	6,9 e	6,6	6,2 c	8,0 c	7,0 e
	4 t da ⁻¹	10,9	9,8	9,2	10,5 bc	10,1 bc	20,4 d	9,1	9,0 bc	10,8 bc	12,3 d
	8 t da ⁻¹	11,9	11,0	11,4	13,8 abc	12,0 abc	63,8 c	11,9	11,7 bc	15,8 abc	25,8 c
	12 t da ⁻¹	13,5	11,3	11,9	17,2 ab	13,5 ab	86,7 b	10,6	15,3 ab	18,9 ab	32,9 b
	16 t da ⁻¹	14,8	12,5	12,7	20,6 a	15,1 a	121,5 a	11,9	22,8 a	21,3 a	44,4 a
Ortalama	12,2 ab	10,7 ab	10,6 ab	13,9 abc	11,8 bcB	59,9 bA	10,0 bC	13,0bcBC	15,0 cdB	24,5 bA	
120.gün	Kontrol	8,3	7,0	6,5	7,3 b	7,3 c	6,2 e	6,1	6,1 b	6,3 c	6,2 e
	4 t da ⁻¹	8,3	8,0	7,8	10,2 b	8,6 bc	25,9 d	8,1	7,5 b	8,3 bc	12,5 d
	8 t da ⁻¹	10,4	10,6	9,5	12,1 ab	10,7 abc	78,5 c	9,4	11,4 ab	12,1 abc	27,8 c
	12 t da ⁻¹	11,4	11,7	12,8	15,7 ab	12,9 ab	117,8 b	10,4	16,5 a	16,1 ab	40,2 b
	16 t da ⁻¹	13,1	11,3	13,4	20,0 a	14,5 a	130,0 a	11,7	18,5 a	20,1 a	45,1 a
Ortalama	10,3 b	9,7 b	10,0 b	13,1 bc	10,8 cB	71,7 aA	9,1 bB	12,0 cB	12,6 dB	26,3 bA	
150.gün	Kontrol	8,2	7,5	7,8	7,5	7,8 b	7,0 d	5,6	6,1	5,6 b	6,1 d
	4 t da ⁻¹	7,7	8,4	8,0	8,7	8,2 b	29,4 c	7,3	7,6	8,1 b	13,1 c
	8 t da ⁻¹	9,2	9,8	9,3	11,4	9,9 ab	98,2 b	9,0	9,6	11,2 ab	32,0 b
	12 t da ⁻¹	12,0	9,6	11,0	11,8	11,1 ab	104,9 b	8,5	13,5	13,3 ab	35,0 b
	16 t da ⁻¹	13,6	10,0	12,8	14,5	12,7 a	120,0 a	10,3	14,8	18,0 a	40,8 a
Ortalama	10,1 b	9,0 b	9,8 b	10,8 c	9,9 cB	71,9 aA	8,1 bB	10,3 cB	11,2 dB	25,4 bA	

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Büyük harfler yatay karşılaştırma, küçük harfler dikey karşılaştırma
T: İnkübasyon zamanı T LSD_{0.01}:1,402 TxS LSD_{0.01}: 1.983
S: Toprak S LSD_{0.01}:0,809 SxT LSD_{0.01}: 1.983
A: Arıtma çamuru A LSD_{0.01}:1,145 TxSxA LSD_{0.01}: 3.966
U: Uygulama düzeyleri U LSD_{0.01}:1,280 AxTxS LSD_{0.01}: 3.966
UxTxS LSD_{0.01}: 4.434
UxTxSxA LSD_{0.01}: 8.867

Çizelge 4.16. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir Zn miktarı üzerine etkileri

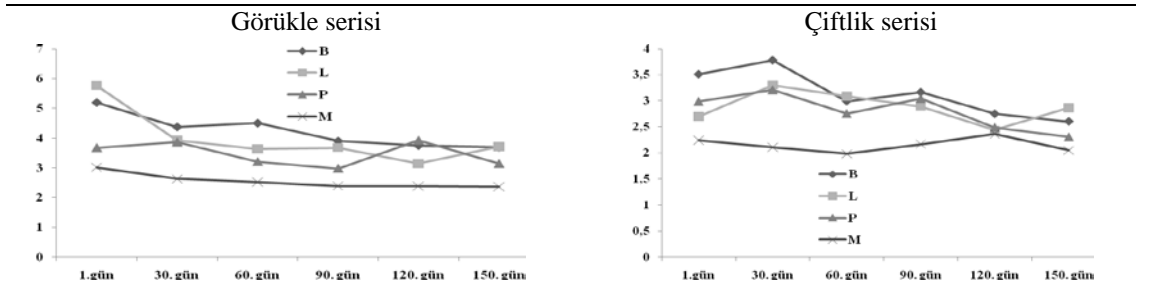
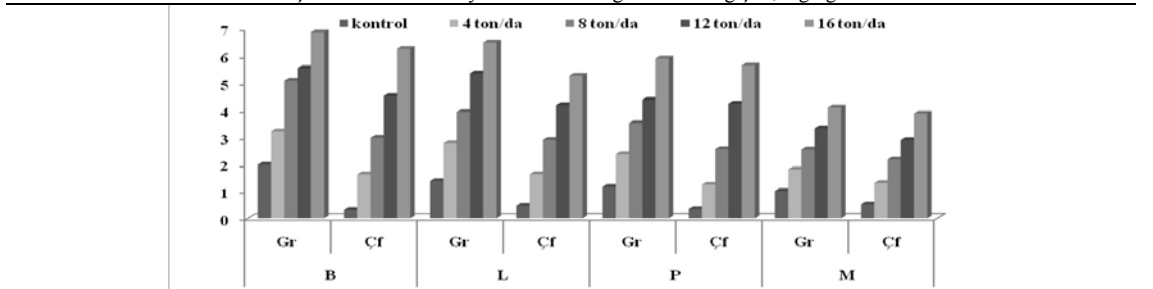
Ahnabilir Zn, mg kg ⁻¹	Entisol (Görükle serisi)					Vertisol (Çiftlik serisi)					
	B	L	P	M	Ort.	B	L	P	M	Ort.	
1. gün	Kontrol	1,35 d	1,95 d	1,80 c	1,39 c	1,62	0,27 d	0,49 d	0,31 c	0,59 c	0,41
	4 t da ⁻¹	3,72 c	3,72 c	3,26 b	2,51 bc	3,30	1,96 c	1,76 cd	1,09 c	1,28 bc	1,52
	8 t da ⁻¹	5,46 b	4,88 c	4,41 ab	3,35 ab	4,53	4,11 b	2,57 bc	3,05 b	2,61 ab	3,09
	12 t da ⁻¹	6,27 b	10,01 a	3,68 b	3,62 ab	5,89	4,88 b	4,79 ab	4,54 a	2,70 ab	4,23
	16 t da ⁻¹	9,15 a	8,25 b	5,22 a	4,20 a	6,71	6,34 a	3,87 a	5,96 a	4,05 a	5,06
Ortalama	5,19 aA	5,76 aA	3,67 abB	3,02 aC	4,41 aA	3,51 abA	2,70abBC	2,99abAB	2,24 C	2,86 abB	
30. gün	Kontrol	1,52 c	1,35 c	1,51 c	1,22 c	1,40	0,52 d	0,37 c	0,30 d	0,36 d	0,39
	4 t da ⁻¹	2,79 c	3,06 b	2,34 c	1,90 bc	2,52	2,10 c	1,78 c	1,37 d	1,42 cd	1,67
	8 t da ⁻¹	4,66 b	4,40 b	3,90 b	2,79 ab	3,94	3,53 c	3,38 b	2,86 c	1,99 bc	2,94
	12 t da ⁻¹	5,83 ab	3,96 b	4,42 b	3,49 a	4,42	5,12 b	4,83 ab	4,98 b	3,01 ab	4,48
	16 t da ⁻¹	7,08 a	6,87 a	7,15 a	3,75 a	6,21	7,64 a	6,16 a	6,56 a	3,76 a	6,03
Ortalama	4,37 bcA	3,93 bA	3,86 aA	2,63 abB	3,70 bA	3,78 aA	3,30 aA	3,21 aA	2,11 B	3,10 aB	
60.gün	Kontrol	0,99 c	1,12 b	0,90 d	1,01 b	1,01	0,22 c	0,55 d	0,52 c	0,38 c	0,42
	4 t da ⁻¹	2,35 c	2,19 b	2,10 cd	1,46 b	2,02	1,25 bc	1,60 cd	1,23 bc	1,18 bc	1,32
	8 t da ⁻¹	4,99 b	4,47 a	2,82 c	1,99 b	3,57	2,46 b	2,79 bc	2,33 b	2,07 b	2,41
	12 t da ⁻¹	6,19 b	4,91 a	4,28 b	3,52 a	4,73	5,00 a	4,02 b	4,14 a	2,58 ab	3,93
	16 t da ⁻¹	7,98 a	5,48 a	5,90 a	4,60 a	5,99	6,05 a	6,48 a	5,57 a	3,68 a	5,45
Ortalama	4,50 bA	3,63 bcB	3,20 bcB	2,52 abC	3,46 bcA	2,99 bcA	3,09 aA	2,76 abcA	1,98 B	2,71bcdB	
90.gün	Kontrol	1,93 c	1,35 d	0,71 d	0,47 c	1,11	0,12 d	0,33 c	0,13 c	0,15 d	0,18
	4 t da ⁻¹	2,37 c	2,49 cd	1,96 cd	1,19 c	2,00	1,51 cd	1,55 c	1,47 c	1,00 cd	1,38
	8 t da ⁻¹	3,96 b	3,63 bc	2,82c bc	2,76 b	3,29	2,54 c	3,50 b	3,12 b	2,17 bc	2,83
	12 t da ⁻¹	5,41 ab	4,45 b	3,97 ab	2,99 b	4,21	4,74 b	4,04 ab	3,91 b	3,36 ab	4,01
	16 t da ⁻¹	5,82 a	6,47 a	5,42 a	4,55 a	5,57	6,93 a	5,05 a	6,62 a	4,16 a	5,69
Ortalama	3,90abcA	3,68 bcA	2,98 cB	2,39 abB	3,24 cA	3,17abcA	2,89 abA	3,05 abA	2,17 B	2,82 abcB	
120.gün	Kontrol	1,85 b	1,09 d	0,93 d	0,70 c	1,14	0,27 c	0,27 d	0,10 c	0,76 c	0,35
	4 t da ⁻¹	2,77 b	2,49 cd	2,54 c	1,67 bc	2,37	1,14 c	1,22 cd	1,38 bc	1,53 c	1,32
	8 t da ⁻¹	4,30 a	2,81 bc	4,01 b	2,31 ab	3,36	3,09 b	2,48 bc	1,98 b	2,19 bc	2,44
	12 t da ⁻¹	4,50 a	4,21 ab	5,96 a	3,52 a	4,55	3,79 b	3,56 ab	4,31 a	3,10 ab	3,69
	16 t da ⁻¹	5,33 a	5,14 a	6,17a	3,71 a	5,09	5,46 a	4,66 a	4,69 a	4,25 a	4,76
Ortalama	3,75cdAB	3,15 cB	3,92 aA	2,38 abC	3,30 cA	2,75 c	2,44 b	2,49 bc	2,37	2,51 cdB	
150.gün	Kontrol	2,08 b	1,46 d	1,14 d	1,26 c	1,48	0,44 d	0,79 d	0,67b	0,88 c	0,69
	4 t da ⁻¹	2,30 b	2,64 cd	1,96 cd	2,09 bc	2,25	1,73 cd	1,80 cd	0,95 b	1,43 bc	1,48
	8 t da ⁻¹	3,23 b	3,36 bc	3,10 bc	2,04 bc	2,93	2,12 c	2,64 bc	1,99 b	2,05 abc	2,20
	12 t da ⁻¹	5,04 a	4,49 b	3,94 b	2,74 ab	4,05	3,61 b	3,79 b	3,50 a	2,57 ab	3,37
	16 t da ⁻¹	5,79 a	6,62 a	5,57 a	3,69 a	5,42	5,12 a	5,29 a	4,43 a	3,31 a	4,54
Ortalama	3,69 dA	3,71 bcA	3,14 bcA	2,36 aB	3,23 cA	2,60 cAB	2,86 abA	2,31 cAB	2,05 B	2,46 dB	

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Büyük harfler yatay karşılaştırma, küçük harfler dikey karşılaştırma
T: İnkübasyon zamanı T LSD_{0.01}:0,230 TxS LSD_{0.01}: 0.325
S: Toprak S LSD_{0.01}:0,133 SxT LSD_{0.01}: 0.325
A: Arıtma çamuru A LSD_{0.01}:0,188 TxSxA LSD_{0.01}: 0.650
U: Uygulama düzeyleri U LSD_{0.01}:0,210 AxTxS LSD_{0.01}: 0.650
UxTxS LSD_{0.01}: ö.d.
UxTxSxA LSD_{0.01}: 1.454

Şekil 4.12a. İnkübasyon zamanına bağlı olarak değişim, mg kg⁻¹Şekil 4.12b. Uygulama düzeylerine bağlı olarak değişim, mg kg⁻¹

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Gr: Görükle serisi, Çf: Çiftlik serisi

Şekil 4.12. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir Mn değerindeki değişimler

Şekil 4.13a. İnkübasyon zamanına bağlı olarak değişim, mg kg⁻¹Şekil 4.13b. Uygulama düzeylerine bağlı olarak değişim, mg kg⁻¹

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Gr: Görükle serisi, Çf: Çiftlik serisi

Şekil 4.13. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir Zn değerindeki değişimler

Artan miktarlarda uygulanan farklı kökenli arıtma çamurlarının farklı topraklarda uygulama düzeyleri ve inkübasyon zamanına bağlı olarak alınabilir kimi ağır metallerin (Cd, Cr, Ni ve Pb) değerlerindeki meydana gelen değişimlere ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.17, 4.18, 4.19 ve 4.20 ile Şekil 4.14, 4.15, 4.16 ve 4.17'de birlikte verilmiştir. Toprakların alınabilir ağır metal Cd, Cr, Ni ve Pb miktarı üzerine etki bakımından arıtma çamurlarının, uygulama düzeylerinin ve inkübasyon zamanının etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Şekil 4.14a-17a birlikte incelendiğinde toprakların alınabilir Cd, Cr, Ni ve Pb içerikleri uygulama düzeylerine bağlı olarak artış göstermiştir. En fazla artış çamurların en yüksek (16 ton da⁻¹) uygulama düzeylerinde belirlenmiştir. Toprakların ağır metal içeriğindeki değişimler incelendiğinde uygulanan çamurlara bağlı olarak artış miktarları da farklı olmuştur.

Uygulanan çamurlara bağlı olarak toprakların alınabilir Cd, Cr ve Ni içeriğinde en fazla artış Buski arıtma çamuru uygulamasında belirlenmiştir. Bu artışların farklı düzeylerde olması çamurların kimyasal özellikleri ile ilgilidir. Çamurların toplam ve DTPA ile ekstrakte edilebilir ağır metal miktarları birbirinden farklılık göstermektedir (bkz. Çizelge 3.5). Toprak özelliklerinin de farklılık göstermesinden dolayı bu artışlar da değişiklik göstermiştir (bkz. Çizelge 3.4). Alınabilir ağır metallerdeki artışlar dikkate alındığında Buski arıtma çamuru uygulaması ile Çiftlik serisinde meydana gelen değişim göreceli olarak dikkati çekmektedir. Arıtma çamurlarının topraklara uygulaması ile toplam ve alınabilir ağır metal içeriklerinde artış meydana geldiği araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Gasco ve Lobo 2007, Karami ve ark. 2009).

Çizelge 4.17-4.20 ve Şekil 4.14b-4.17b birlikte incelendiğinde toprakların alınabilir ağır metal içerikleri arıtma çamuru uygulama düzeylerine bağlı olarak artmasına karşın inkübasyon zamanına bağlı olarak azalma göstermiştir. Şekiller incelendiğinde toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir ağır metal miktarları Görükle ve Çiftlik serisi topraklarda zamana bağlı olarak Penguen, Mauri ve İnegöl arıtma çamuru uygulamalarında azalırken, Buski arıtma çamuru uygulaması özellikle Çiftlik serisi toprakta zamana bağlı olarak alınabilir Cr, Ni ve Pb içeriklerinde artış görülmüştür.

Çizelge 4.17. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd miktarı üzerine etkileri

Alınabilir Cd, mg kg ⁻¹	Entisol (Görükle serisi)					Vertisol (Çiftlik serisi)					
	B	L	P	M	Ort.	B	L	P	M	Ort.	
1. gün	Kontrol	0,026 b	0,045 b	0,052 ab	0,035 b	0,039	0,066 c	0,083 b	0,080 c	0,095 c	0,081
	4 t da ⁻¹	0,043 a	0,053 ab	0,053 a	0,038 b	0,046	0,079 bc	0,086 b	0,080 c	0,105 bc	0,087
	8 t da ⁻¹	0,045 a	0,060 ab	0,046 abc	0,046 b	0,049	0,086 ab	0,098 ab	0,087 bc	0,107 bc	0,094
	12 t da ⁻¹	0,047 a	0,064 a	0,034 c	0,048 b	0,048	0,088 ab	0,113 a	0,097 ab	0,114 ab	0,103
	16 t da ⁻¹	0,049 a	0,065 a	0,036 bc	0,064 a	0,053	0,098 a	0,106 a	0,111 a	0,126 a	0,110
	Ortalama	0,042abB	0,057 a A	0,044 aB	0,046 aB	0,047 aB	0,083 cC	0,097abB	0,091 aB	0,109 aA	0,095abA
30. gün	Kontrol	0,036 b	0,036 b	0,036	0,035	0,036	0,073 d	0,087 b	0,089 b	0,086 d	0,084
	4 t da ⁻¹	0,041 ab	0,040 ab	0,036	0,043	0,040	0,087 cd	0,087 b	0,081 b	0,096 cd	0,087
	8 t da ⁻¹	0,044 ab	0,042 ab	0,040	0,045	0,043	0,095 bc	0,098 ab	0,094 b	0,102 bc	0,097
	12 t da ⁻¹	0,055 a	0,043 ab	0,040	0,045	0,045	0,107 b	0,107 a	0,093 b	0,114 ab	0,105
	16 t da ⁻¹	0,054 a	0,054 a	0,045	0,050	0,050	0,125 a	0,113 a	0,111 a	0,121 a	0,117
	Ortalama	0,046 a	0,043 b	0,039 ab	0,043 ab	0,043 bB	0,097abAB	0,098aAB	0,093 aB	0,104abA	0,098 aA
60. gün	Kontrol	0,037 b	0,035	0,032	0,030	0,033	0,063 d	0,072 c	0,087	0,079 c	0,075
	4 t da ⁻¹	0,041 b	0,040	0,030	0,036	0,037	0,080 c	0,083 bc	0,089	0,092 bc	0,086
	8 t da ⁻¹	0,045 ab	0,046	0,030	0,037	0,039	0,099 b	0,090 b	0,093	0,101 b	0,096
	12 t da ⁻¹	0,050 ab	0,043	0,032	0,038	0,040	0,107 ab	0,098 b	0,099	0,105 b	0,102
	16 t da ⁻¹	0,060 a	0,043	0,036	0,044	0,045	0,120 a	0,114 a	0,098	0,123 a	0,113
	Ortalama	0,046 aA	0,041bAB	0,032cdC	0,037bcBC	0,039 cB	0,094 bAB	0,091abB	0,093aAB	0,100bcA	0,094 bA
90. gün	Kontrol	0,029	0,022 b	0,027	0,025 b	0,026	0,062 d	0,069 b	0,074 b	0,083 d	0,072
	4 t da ⁻¹	0,033	0,030 ab	0,025	0,028 b	0,029	0,080 c	0,079 ab	0,073 b	0,051 c	0,070
	8 t da ⁻¹	0,037	0,036 ab	0,030	0,036 ab	0,034	0,094 c	0,085 a	0,079 b	0,099 b	0,089
	12 t da ⁻¹	0,041	0,039 a	0,032	0,037 ab	0,037	0,110 b	0,090 a	0,085 b	0,105 b	0,097
	16 t da ⁻¹	0,043	0,044 a	0,031	0,045 a	0,041	0,128 a	0,091 a	0,101 a	0,122 a	0,110
	Ortalama	0,036 bA	0,034cAB	0,029 dB	0,034 cAB	0,033 dB	0,094 bA	0,083 cB	0,082 bB	0,092 dA	0,088 cA
120. gün	Kontrol	0,030	0,030	0,031	0,035	0,031	0,072 c	0,064 b	0,072 b	0,078 c	0,071
	4 t da ⁻¹	0,033	0,035	0,034	0,035	0,034	0,093 b	0,070 b	0,068 b	0,076 c	0,077
	8 t da ⁻¹	0,038	0,035	0,038	0,043	0,038	0,108 ab	0,078 ab	0,073 b	0,094 b	0,088
	12 t da ⁻¹	0,035	0,039	0,041	0,049	0,041	0,119 a	0,088 a	0,081 b	0,104 ab	0,098
	16 t da ⁻¹	0,043	0,045	0,040	0,049	0,044	0,123 a	0,091 a	0,097 a	0,115 a	0,107
	Ortalama	0,036 b	0,037 bc	0,037 bc	0,042 ab	0,038 cB	0,103 aA	0,078 cC	0,078 bC	0,093cdB	0,088 cA
150. gün	Kontrol	0,033	0,028 b	0,030	0,028 b	0,030	0,068 c	0,072 b	0,078 ab	0,072 c	0,072
	4 t da ⁻¹	0,035	0,034 ab	0,028	0,032 ab	0,032	0,095 b	0,089 a	0,065 b	0,080 c	0,082
	8 t da ⁻¹	0,039	0,037 ab	0,033	0,038 ab	0,037	0,108 ab	0,093 a	0,077 ab	0,096 b	0,093
	12 t da ⁻¹	0,042	0,037 ab	0,033	0,041 ab	0,038	0,113 a	0,097 a	0,081 a	0,100 ab	0,098
	16 t da ⁻¹	0,041	0,048 a	0,034	0,046 a	0,042	0,111 ab	0,103 a	0,080 ab	0,112 a	0,101
	Ortalama	0,038 b	0,037 bc	0,032 cd	0,037 bc	0,036cdB	0,099 abA	0,090 bB	0,076 bC	0,092 dB	0,089 cA

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Büyük harfler yatay karşılaştırma, küçük harfler dikey karşılaştırma
T: İnkübasyon zamanı T LSD_{0.01}:0,002 TxS LSD_{0.01}: 0,004
S: Toprak S LSD_{0.01}:0,001 SxT LSD_{0.01}: 0,004
A: Arıtma çamuru A LSD_{0.01}:0,002 TxSxA LSD_{0.01}: 0,007
U: Uygulama düzeyleri U LSD_{0.01}:0,002 AxTxS LSD_{0.01}: 0,007
UxTxS LSD_{0.01}: ö.d.
UxTxSxA LSD_{0.01}: 0,016

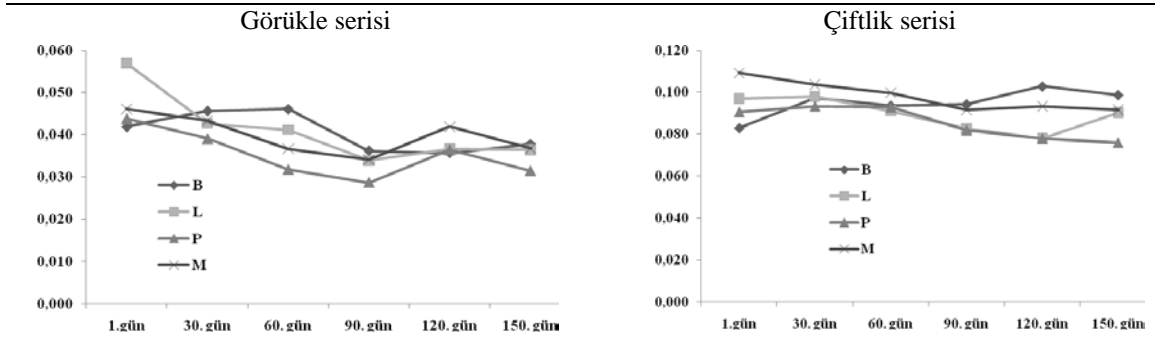
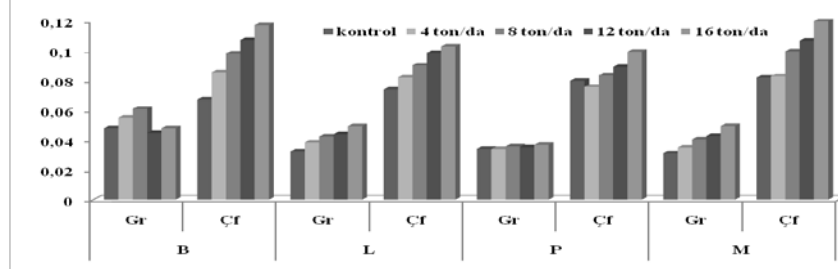
Çizelge 4.18. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir Cr miktarı üzerine etkileri

Ahnabilir Cr, mg kg ⁻¹	Entisol (Görükle serisi)					Vertisol (Çiftlik serisi)					
	B	L	P	M	Ort.	B	L	P	M	Ort.	
1. gün	Kontrol	0,007	0,010	0,025 a	0,002 b	0,011	0,012	0,014	0,012	0,018 b	0,014
	4 t da ⁻¹	0,007	0,012	0,037 a	0,016 ab	0,018	0,015	0,011	0,013	0,019 b	0,014
	8 t da ⁻¹	0,007	0,016	0,026 a	0,015 ab	0,016	0,017	0,015	0,014	0,026 ab	0,018
	12 t da ⁻¹	0,009	0,022	0,004 b	0,021 a	0,014	0,015	0,015	0,015	0,029 ab	0,018
	16 t da ⁻¹	0,008	0,023	0,008 b	0,017 a	0,014	0,019	0,014	0,023	0,037 a	0,023
	Ortalama	0,007 bB	0,016 aA	0,020 aA	0,014 aA	0,014 a	0,015 cB	0,013 bB	0,015 aB	0,026 aA	0,017 c
30. gün	Kontrol	0,009	0,004 b	0,010	0,007	0,007	0,014 d	0,008 b	0,007	0,006 b	0,009
	4 t da ⁻¹	0,018	0,013 ab	0,011	0,015	0,014	0,027 cd	0,010 b	0,009	0,010 ab	0,014
	8 t da ⁻¹	0,014	0,010 ab	0,008	0,012	0,011	0,035 c	0,013 ab	0,012	0,016 ab	0,019
	12 t da ⁻¹	0,021	0,018 a	0,010	0,010	0,015	0,060 b	0,016 ab	0,016	0,022 a	0,028
	16 t da ⁻¹	0,018	0,012 ab	0,016	0,013	0,015	0,081 a	0,025 a	0,017	0,019 ab	0,035
	Ortalama	0,016 a	0,011 ab	0,011 b	0,011 ab	0,012 aB	0,043 bA	0,014 bB	0,012abcB	0,014 bB	0,021 bA
60. gün	Kontrol	0,011	0,006	0,013	0,009 b	0,009	0,010 d	0,006 b	0,009	0,004 c	0,007
	4 t da ⁻¹	0,011	0,004	0,015	0,016 ab	0,011	0,023 d	0,007 b	0,012	0,007 bc	0,012
	8 t da ⁻¹	0,010	0,008	0,008	0,018 ab	0,011	0,053 c	0,010 ab	0,017	0,017 abc	0,024
	12 t da ⁻¹	0,010	0,007	0,010	0,018 ab	0,011	0,080 b	0,018 ab	0,012	0,018 ab	0,032
	16 t da ⁻¹	0,015	0,015	0,012	0,024 a	0,016	0,105 a	0,021 a	0,018	0,023 a	0,041
	Ortalama	0,011abAB	0,008 bB	0,011bAB	0,017 aA	0,012 aB	0,054 aA	0,012bcB	0,013 abB	0,014 bB	0,023 bA
90. gün	Kontrol	0,015	0,005	0,011	0,007 b	0,009	0,011 d	0,004	0,005 b	0,002 b	0,005
	4 t da ⁻¹	0,013	0,008	0,009	0,010 ab	0,010	0,023 d	0,008	0,003 ab	0,004 b	0,009
	8 t da ⁻¹	0,011	0,010	0,009	0,016 ab	0,011	0,059 c	0,016	0,007 ab	0,011 b	0,023
	12 t da ⁻¹	0,012	0,015	0,014	0,018 ab	0,014	0,075 b	0,010	0,007 ab	0,034 a	0,031
	16 t da ⁻¹	0,015	0,015	0,014	0,023 a	0,017	0,093 a	0,013	0,017 a	0,034 a	0,039
	Ortalama	0,013 ab	0,011 ab	0,011 b	0,015 a	0,012 aB	0,052 aA	0,010 bcC	0,007bcdC	0,017 bB	0,022 bA
120. gün	Kontrol	0,009	0,009	0,008	0,009	0,008	0,002 d	0,005	0,002	0,020 b	0,007
	4 t da ⁻¹	0,012	0,007	0,009	0,014	0,010	0,019 c	0,006	0,002	0,027 ab	0,013
	8 t da ⁻¹	0,011	0,012	0,012	0,014	0,012	0,068 b	0,004	0,006	0,029 ab	0,026
	12 t da ⁻¹	0,015	0,016	0,017	0,019	0,017	0,086 a	0,009	0,013	0,030 ab	0,034
	16 t da ⁻¹	0,014	0,011	0,012	0,022	0,015	0,096 a	0,008	0,011	0,035 a	0,037
	Ortalama	0,012 ab	0,011 ab	0,011 b	0,015 a	0,012 aB	0,054 aA	0,006 cC	0,007 cdC	0,028 aB	0,024 bA
150. gün	Kontrol	0,008	0,002	0,006	0,005	0,005	0,011 d	0,023	0,003	0,022 b	0,015
	4 t da ⁻¹	0,011	0,005	0,004	0,006	0,006	0,026 c	0,020	0,004	0,027 ab	0,019
	8 t da ⁻¹	0,005	0,006	0,005	0,007	0,006	0,073 b	0,023	0,003	0,028 ab	0,031
	12 t da ⁻¹	0,007	0,005	0,007	0,007	0,006	0,082 ab	0,025	0,004	0,029 ab	0,035
	16 t da ⁻¹	0,009	0,012	0,010	0,011	0,010	0,092 a	0,028	0,015	0,036 a	0,043
	Ortalama	0,008 b	0,006 b	0,006 b	0,007 ab	0,007 bB	0,057 aA	0,024 aC	0,006 dC	0,028 aB	0,028 aA

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Büyük harfler yatay karşılaştırma, küçük harfler dikey karşılaştırma
T: İnkübasyon zamanı
S: Toprak
A: Arıtma çamuru
U: Uygulama düzeyleri

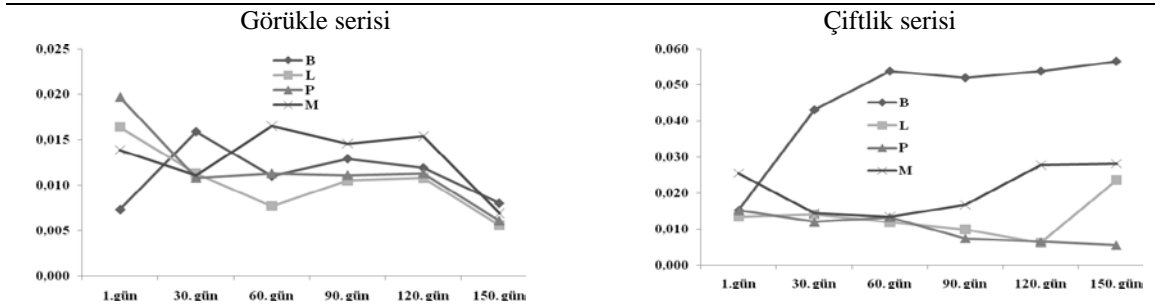
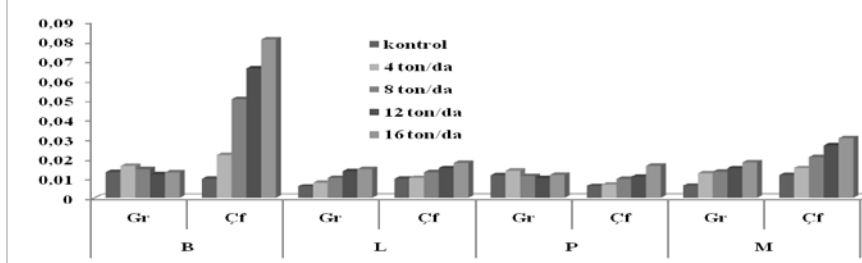
T LSD_{0,01}:0,002
S LSD_{0,01}:0,001
A LSD_{0,01}:0,002
U LSD_{0,01}:0,002

TxS LSD_{0,01}: 0.003
SxT LSD_{0,01}: 0.003
TxSxA LSD_{0,01}: 0.006
AxTxS LSD_{0,01}: 0.006
UxTxS LSD_{0,01}: ö.d.
UxTxSxA LSD_{0,01}: 0.014

Şekil 4.14a. İnkübasyon zamanına bağlı olarak değişim, mg kg⁻¹Şekil 4.14b. Uygulama düzeylerine bağlı olarak değişim, mg kg⁻¹

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Gr: Görükle serisi, Çf: Çiftlik serisi

Şekil 4.14. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd değerindeki değişimler

Şekil 4.15a. İnkübasyon zamanına bağlı olarak değişim, mg kg⁻¹Şekil 4.15b. Uygulama düzeylerine bağlı olarak değişim, mg kg⁻¹

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Gr: Görükle serisi, Çf: Çiftlik serisi

Şekil 4.15. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir Cr değerindeki değişimler

Çizelge 4.19. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir Ni miktarı üzerine etkileri

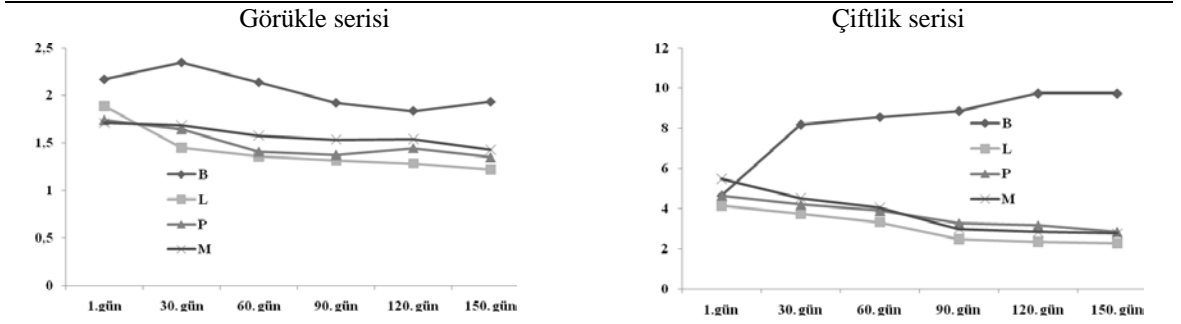
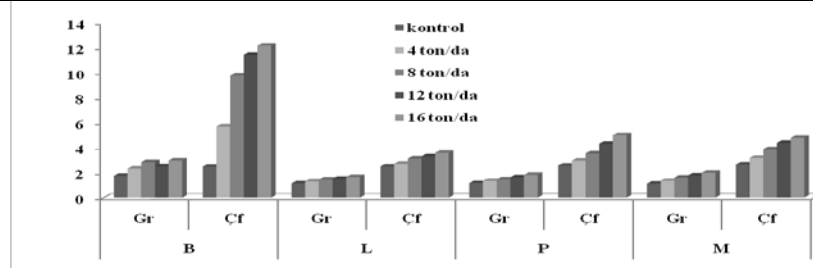
	Alınabilir Ni, mg kg ⁻¹	Entisol (Görükle serisi)					Vertisol (Çiftlik serisi)				
		B	L	P	M	Ort.	B	L	P	M	Ort.
1. gün	Kontrol	1,21 c	1,55	1,72	1,31	1,45 c	3,78 c	3,92	3,99 c	4,57 c	4,07 d
	4 t da ⁻¹	1,89 bc	1,76	1,90	1,58	1,78 bc	4,24 bc	3,95	4,44 bc	5,29 bc	4,48 cd
	8 t da ⁻¹	2,23 b	1,93	1,79	1,76	1,93 ab	4,81 ab	4,18	4,49 bc	5,68 ab	4,79 bc
	12 t da ⁻¹	2,40 ab	2,02	1,55	1,94	1,98 ab	4,91 ab	4,42	4,98 ab	5,72 ab	5,01 ab
	16 t da ⁻¹	3,12 a	2,18	1,75	1,97	2,26 a	5,54 a	4,28	5,43 a	6,17 a	5,35 a
	Ortalama	2,17 abA	1,89 aAB	1,74 ab	1,71 B	1,88 ab	4,66 dB	4,15 aC	4,67 ab	5,48 aA	4,74 cA
30. gün	Kontrol	1,35 d	1,28	1,28 b	1,32	1,31 d	3,31 d	3,41 b	3,41 c	3,43 d	3,39 e
	4 t da ⁻¹	1,82 cd	1,39	1,46 ab	1,56	1,56 cd	5,42 c	3,35 b	3,71 c	4,17 cd	4,16 d
	8 t da ⁻¹	2,32 bc	1,37	1,64 ab	1,68	1,75 bc	8,24 b	3,66 ab	4,03 bc	4,46 bc	5,10 c
	12 t da ⁻¹	3,01 ab	1,47	1,74 ab	1,82	2,01 ab	11,62 a	3,99 ab	4,75 ab	5,14 ab	6,37 b
	16 t da ⁻¹	3,25 a	1,74	2,12 a	2,06	2,29 a	12,44 a	4,35 a	5,18 a	5,46 a	6,86 a
	Ortalama	2,35 aA	1,45 bB	1,65 abB	1,69 B	1,78 abB	8,20 cA	3,75 bC	4,22 bB	4,53 bB	5,18 aA
60.gün	Kontrol	1,15 d	1,17	1,16	1,16	1,16 d	2,31 e	2,62 c	2,54 c	2,45 c	2,48 e
	4 t da ⁻¹	1,55 cd	1,28	1,32	1,38	1,38 cd	5,84 d	2,84 bc	3,20 c	3,18 c	3,77 d
	8 t da ⁻¹	2,09 bc	1,45	1,31	1,65	1,62 bc	9,34 c	3,52 ab	4,13 b	4,18 b	5,29 c
	12 t da ⁻¹	2,66 ab	1,40	1,51	1,74	1,83 ab	12,02 b	3,65 ab	4,63 ab	4,91 ab	6,30 b
	16 t da ⁻¹	3,25 a	1,50	1,74	1,97	2,12 a	13,38 a	4,02 a	5,02 a	5,55 a	6,99 a
	Ortalama	2,14 abA	1,36 bB	1,41 ab B	1,58 B	1,62 bcB	8,58 bA	3,33 cC	3,91 bB	4,05 cB	4,97 b A
90.gün	Kontrol	1,01 c	1,00	1,00	1,02 b	1,00 c	1,86 d	1,64 b	1,80 d	2,18 c	1,87 d
	4 t da ⁻¹	1,57 bc	1,28	1,20	1,26 ab	1,33 bc	5,26 c	2,23 ab	2,36 cd	2,55 c	3,10 c
	8 t da ⁻¹	1,99 ab	1,37	1,34	1,66 ab	1,59 ab	10,81 b	2,82 b	3,12 bc	3,57 ab	5,08 b
	12 t da ⁻¹	2,40 a	1,39	1,61	1,76 ab	1,79 a	12,92 a	2,73 b	3,75 b	3,84 a	5,81 a
	16 t da ⁻¹	2,64 a	1,56	1,73	1,98 a	1,98 a	13,55 a	2,96 b	5,39 a	2,85 bc	6,19 a
	Ortalama	1,92 bA	1,32 bB	1,37 abB	1,54 B	1,54 cB	8,88 bA	2,48 dC	3,28 cB	3,00 dB	4,41 dA
120.gün	Kontrol	0,96 c	0,99	0,89 b	0,96 c	0,95 d	1,80 d	1,76 c	1,83 c	1,76 d	1,79 e
	4 t da ⁻¹	1,32 bc	1,09	1,12 ab	1,24 bc	1,19 cd	6,24 c	2,08 bc	2,09 bc	2,02 cd	3,11 d
	8 t da ⁻¹	1,97 ab	1,39	1,38 ab	1,51 abc	1,56 bc	12,55 b	2,33 abc	2,91 b	2,65 bc	5,11 c
	12 t da ⁻¹	2,23 a	1,48	1,90 a	1,87 ab	1,87 ab	13,76 a	2,59 ab	4,30 a	3,44 b	6,02 b
	16 t da ⁻¹	2,69 a	1,48	1,94 a	2,11 a	2,06 a	14,45 a	2,98 a	4,73 a	4,32 a	6,62 a
	Ortalama	1,84 bA	1,29 bB	1,45 abB	1,54 AB	1,53 cB	9,76 aA	2,35 dC	3,17 cdB	2,84 dB	4,53 dA
150.gün	Kontrol	1,00 c	0,90	0,96	0,98 b	0,96 d	1,82 c	1,64 c	1,86 b	1,62 d	1,73 e
	4 t da ⁻¹	1,42 c	1,06	1,13	1,16 ab	1,19 cd	7,14 b	1,96 bc	2,06 b	1,96 cd	3,28 d
	8 t da ⁻¹	1,79 bc	1,27	1,37	1,48 ab	1,48 bc	12,91 a	2,33 abc	2,57 b	2,74 bc	5,14 c
	12 t da ⁻¹	2,47 ab	1,34	1,57	1,63 ab	1,75 ab	13,32 a	2,50 ab	3,51 a	3,25 b	5,64 b
	16 t da ⁻¹	2,99 a	1,53	1,72	1,91 a	2,04 a	13,58 a	2,95 a	4,28 a	4,31 a	6,28 a
	Ortalama	1,93 bA	1,22 bB	1,35 bB	1,43 B	1,48 cB	9,75 aA	2,28 dC	2,86 dB	2,77 dB	4,41 dA

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Büyük harfler yatay karşılaştırma, küçük harfler dikey karşılaştırma
T: İnkübasyon zamanı T LSD_{0,01}:0,131 TxS LSD_{0,01}: 0.185
S: Toprak S LSD_{0,01}:0,076 SxT LSD_{0,01}: 0.185
A: Arıtma çamuru A LSD_{0,01}:0,107 TxSxA LSD_{0,01}: 0.370
U: Uygulama düzeyleri U LSD_{0,01}:0,120 AxTxS LSD_{0,01}: 0.370
UxTxS LSD_{0,01}: 0.414
UxTxSxA LSD_{0,01}: 0.828

Çizelge 4.20. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının inkübasyon süresince iki farklı toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir Pb miktarı üzerine etkileri

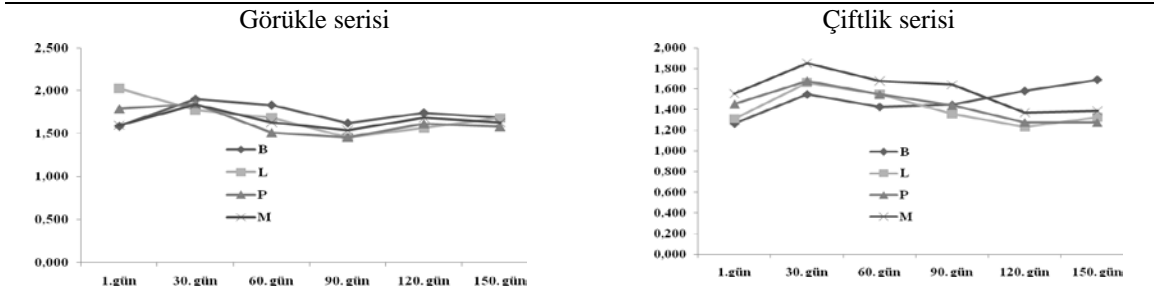
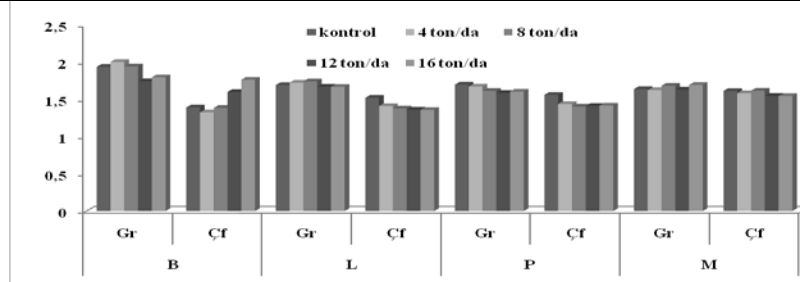
Alınabilir Pb, mg kg ⁻¹	Entisol (Görükle serisi)					Vertisol (Çiftlik serisi)					
	B	L	P	M	Ort.	B	L	P	M	Ort.	
1. gün	Kontrol	1,65	1,89 b	2,07 a	1,60	1,80 ab	1,24	1,33	1,38	1,59	1,39
	4 t da ⁻¹	1,63	2,01 ab	2,12 a	1,55	1,83 a	1,27	1,32	1,42	1,58	1,40
	8 t da ⁻¹	1,54	2,00 ab	1,78 b	1,62	1,73 ab	1,28	1,31	1,41	1,54	1,38
	12 t da ⁻¹	1,59	2,12 a	1,46 c	1,61	1,70 a	1,23	1,34	1,49	1,49	1,39
	16 t da ⁻¹	1,54	2,12 a	1,53 c	1,61	1,70 a	1,33	1,27	1,58	1,58	1,44
Ortalama	1,59 dC	2,03 aA	1,79 aB	1,60 bcC	1,75 bA	1,27 dC	1,31 cdC	1,46 bcB	1,56 cA	1,40 deB	
30. gün	Kontrol	1,82	1,79	1,80	1,82	1,81 b	1,58	1,78	1,72	1,93	1,75
	4 t da ⁻¹	1,81	1,80	1,82	1,92	1,84 ab	1,54	1,60	1,69	1,83	1,66
	8 t da ⁻¹	1,87	1,73	1,79	1,82	1,80 b	1,47	1,61	1,64	1,89	1,65
	12 t da ⁻¹	2,02	1,75	1,84	1,77	1,85 ab	1,59	1,64	1,60	1,81	1,66
	16 t da ⁻¹	1,99	1,83	2,00	1,85	1,92 a	1,56	1,68	1,74	1,79	1,69
Ortalama	1,90 aA	1,78 bB	1,85 aAB	1,84 aAB	1,84 aA	1,55 bC	1,66 aB	1,68 aB	1,85 aA	1,68 aB	
60.gün	Kontrol	1,70 b	1,71 ab	1,61	1,63	1,66	1,30 b	1,75 a	1,68	1,66	1,60
	4 t da ⁻¹	1,78 b	1,74 ab	1,46	1,58	1,64	1,31 b	1,52 b	1,54	1,72	1,52
	8 t da ⁻¹	1,81 b	1,83 a	1,44	1,65	1,68	1,24 b	1,49 b	1,53	1,70	1,49
	12 t da ⁻¹	1,83 ab	1,61 b	1,54	1,63	1,65	1,57 a	1,49 b	1,52	1,61	1,55
	16 t da ⁻¹	2,03 a	1,53 b	1,50	1,67	1,69	1,72 a	1,49 b	1,48	1,71	1,60
Ortalama	1,83 abA	1,69 bB	1,51 cdC	1,63 bcB	1,66 bA	1,43 cC	1,55 bB	1,55 bB	1,68 bA	1,55 bB	
90.gün	Kontrol	1,50 b	1,35	1,51	1,45	1,45 b	1,39 b	1,49 a	1,53	1,71	1,53
	4 t da ⁻¹	1,55 ab	1,50	1,39	1,49	1,48 ab	1,32 b	1,45 ab	1,45	1,63	1,46
	8 t da ⁻¹	1,58 ab	1,54	1,45	1,60	1,54 ab	1,29 b	1,35 abc	1,41	1,70	1,44
	12 t da ⁻¹	1,72 a	1,47	1,47	1,52	1,54 ab	1,46 b	1,27 bc	1,38	1,64	1,44
	16 t da ⁻¹	1,77 a	1,41	1,48	1,65	1,58 a	1,78 a	1,23 c	1,42	1,54	1,49
Ortalama	1,62 dA	1,45 dB	1,46 dB	1,54 cAB	1,52 c	1,45 cB	1,36 cB	1,44 cB	1,64 bcA	1,47 c	
120.gün	Kontrol	1,72 b	1,63	1,51	1,69	1,64 ab	1,38 c	1,36	1,49 a	1,39	1,40 ab
	4 t da ⁻¹	2,01 a	1,64	1,68	1,65	1,75 a	1,20 c	1,23	1,26 b	1,35	1,26 c
	8 t da ⁻¹	1,68 b	1,56	1,65	1,68	1,64 ab	1,39 c	1,18	1,21 b	1,41	1,30 bc
	12 t da ⁻¹	1,61 b	1,49	1,62	1,66	1,60 b	1,84 b	1,21	1,27 ab	1,40	1,43 a
	16 t da ⁻¹	1,68 b	1,51	1,62	1,75	1,64 ab	2,10 a	1,17	1,15 b	1,31	1,43 a
Ortalama	1,74 bcA	1,57 cC	1,62 bBC	1,69 bAB	1,65 bA	1,58 bA	1,23 dC	1,28 dBC	1,37 dB	1,37 eB	
150.gün	Kontrol	1,63	1,79	1,70	1,63	1,69	1,46 bc	1,42	1,56 a	1,39	1,46 a
	4 t da ⁻¹	1,69	1,65	1,56	1,56	1,62	1,33 c	1,35	1,26 b	1,38	1,33 b
	8 t da ⁻¹	1,63	1,80	1,57	1,73	1,68	1,65 b	1,32	1,23 b	1,48	1,42 ab
	12 t da ⁻¹	1,69	1,58	1,58	1,59	1,61	1,91 a	1,23	1,21 b	1,34	1,42 ab
	16 t da ⁻¹	1,77	1,60	1,50	1,63	1,63	2,09 a	1,31	1,13 b	1,35	1,47 a
Ortalama	1,68 cdA	1,68 bA	1,58 bcB	1,63bcAB	1,64 bA	1,69 aA	1,33cdBC	1,28 dC	1,39 dB	1,42 dB	

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Büyük harfler yatay karşılaştırma, küçük harfler dikey karşılaştırma
T: İnkübasyon zamanı T LSD_{0,01}:0,035 TxS LSD_{0,01}: 0.049
S: Toprak S LSD_{0,01}:0,020 SxT LSD_{0,01}: 0.049
A: Arıtma çamuru A LSD_{0,01}:0,028 TxSxA LSD_{0,01}: 0.098
U: Uygulama düzeyleri U LSD_{0,01}:0,032 AxTxS LSD_{0,01}: 0.098
UxTxS LSD_{0,01}: 0.110
UxTxSxA LSD_{0,01}: 0.219

Şekil 4.16a. İnkübasyon zamanına bağlı olarak değişim, mg kg⁻¹Şekil 4.16b. Uygulama düzeylerine bağlı olarak değişim, mg kg⁻¹

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Gr: Görükle serisi, Çf: Çiftlik serisi

Şekil 4.16. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir Ni değerindeki değişimler

Şekil 4.17a. İnkübasyon zamanına bağlı olarak değişim, mg kg⁻¹Şekil 4.17b. Uygulama düzeylerine bağlı olarak değişim, mg kg⁻¹

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen, M: Mauri, Gr: Görükle serisi, Çf: Çiftlik serisi

Şekil 4.17. Artan düzeylerde uygulanan farklı arıtma çamurlarının inkübasyon zamanına bağlı olarak toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir Pb değerindeki değişimler

Genel olarak sonuçlar değerlendirildiğinde ağır metal içeriklerinin azalması uygulama düzeylerine bağlı olarak toprakların organik madde içeriklerinin artması ve mineralizasyona bağlı olarak kompleks bileşiklerin oluşmasından kaynaklanmış olabilir (Walter ve ark. 2002). Buski çamuru uygulamalarının ağır metal içeriğini daha fazla etkilemesi bu çamurun toplam ve DTPA ile ekstrakte edilebilen ağır metal miktarının diğer çamurlardan daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır (bkz. Çizelge 3.5). Yapılan çalışmalarda arıtma çamuru uygulamasının toprakların alınabilir ağır metal içeriklerini arttırdığı belirlenirken kimi araştırmacılar zamanla bu artışın azaldığını belirtmişlerdir (Rundle ve ark. 1982, Afyuni ve ark. 2006).

Toprakların ağır metal içeriğindeki artışların farklı düzeylerde olması toprak özellikleri ve çamur özellikleri ile yakından ilgilidir. Yapılan çalışmalarda toprakların pH, tekstür, organik madde içeriği gibi özelliklerinin mikroelement ve ağır metallerin farklı fraksiyonları arasında önemli ilişkiler belirlenmiştir (Smith 2009). Zamana bağlı olarak topraktaki ağır metallerin fraksiyonları ile ilgili olarak Lu ve ark. (2005) farklı topraklar kullanarak yaptıkları inkübasyon çalışması sonucunda ele aldıkları ağır metallere bakırın (Cu) inkübasyon süresince değişebilir ve kirece bağlı fraksiyonunda azalış belirlerken, Fe-Mn ve organik bağlı fraksiyonun arttığını belirlemişlerdir. Pb için ise değişebilir fraksiyon azalırken Fe-Mn, kireç ve organik bağlı fraksiyonun arttığını belirlemişlerdir. McBride (1995) toprak organik maddesinin mineralizasyonu sonucu oluşan çözünebilir ve çözünemez humik bileşiklerin metallerin yarayışlılığını etkilediğini bildirmiştir. Zamana bağlı olarak alınabilir mikro element ve ağır metal düzeylerinin azalması topraktaki miktarın bir göstergesi değildir. Toprak özelliklerine ve zamanla toprakta meydana gelen mineralizasyona bağlı olarak bu metallerin farklı fraksiyonları arasındaki değişimden kaynaklanmaktadır. Planquart ve ark. (1999) Zn'un organik madde afinitesinin düşük olmasından dolayı diğer ağır metallere nazaran daha fazla yarayışlı formda bulunduğunu belirtmişlerdir. Oud (2008), üç farklı toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir ağır metal miktarları ile ilgili olarak yaptığı çalışmada kireç içeriği yüksek topraklarda ağır metallerin CaCO_3 'a bağlanacağını ve pH değerinin 8,0'den yüksek olması durumunda ise bu metallerin hidroksid (OH^-) formu nedeniyle mobilitelerinin azaldığını bildirmiştir.

4.4. Arıtma Çamurlarının Bitki Gelişimi Üzerine Etkisinin Belirlenmesi

Çalışma kapsamında artan miktarlarda uygulanan farklı arıtma çamurlarının değişik topraklarda (Görükle (kireçli) ve Çiftlik serisi (kil bünye)) mısır bitkisi gelişimi, besin elementi ve kimi ağır metal içeriği üzerine etkisi incelenmiştir.

4.4.1. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi gelişimi ve kimi besin elementi içeriği üzerine etkisi

Artan miktarlarda uygulanan farklı kökenli arıtma çamurlarının iki farklı toprakta yetiştirilen mısır bitkisinin kuru ağırlığı, bitki besin elementi (N, P, K, Ca, Mg ve Na) içeriğinde meydana gelen değişimlere ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.21 ile Şekil 4.18-4.24'de verilmiştir. Mısır bitkisinin gelişimi ve besin elementi içeriği üzerine arıtma çamuru uygulaması ve toprak özelliklerinin etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Artan miktarlarda uygulanan farklı arıtma çamurlarının iki farklı toprakta mısır bitkisi kuru ağırlığı üzerine etkileri Çizelge 4.21 ve Şekil 4.18'de verilmiştir. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi kuru ağırlığı üzerine etkisi incelendiğinde çamurların etkisinin farklı olduğu görülmektedir. Buski arıtma çamurunun 8 ton da⁻¹ düzeyinden daha fazla uygulamaları kuru ağırlığı azaltırken en yüksek uygulama düzeyinde kontrol uygulamasına göre daha düşük kuru ağırlık belirlenmiştir. Benzer etki Mauri arıtma çamurunda da belirlenmiştir. İnegöl ve Penguen arıtma çamuru uygulamalarının tüm dozlarında kontrole göre daha yüksek kuru ağırlık belirlenmiştir.

Toprak özelliklerine bağlı olarak çamurların etkisi incelenecek olursa, her iki toprak serisinde de çamur uygulaması ile kontrole göre artış sağlanmış ancak bu artış yüksek çamur uygulamalarında göreceli olarak daha düşük olmuştur.

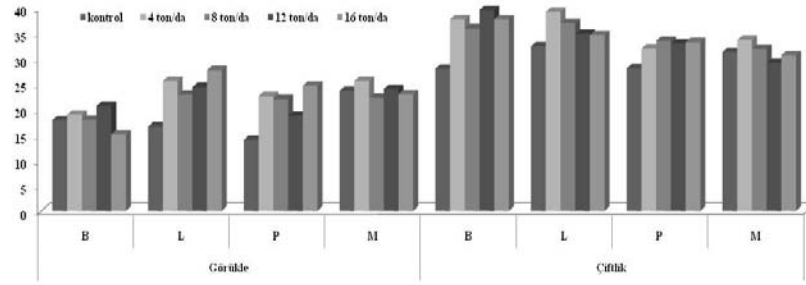
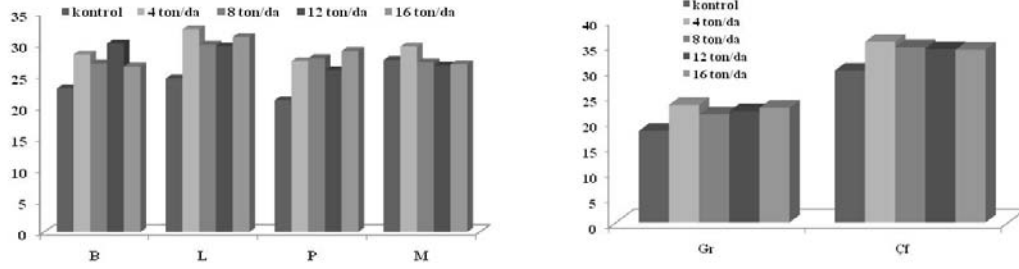
Artan miktarlarda uygulanan farklı arıtma çamurlarının Görükle ve Çiftlik toprak serilerinde mısır bitkisinin azot içeriği üzerine etkileri Çizelge 4.21 ve Şekil 4.19'da verilmiştir.

Çizelge 4.21. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının mısır bitkisi gelişimi ve bitki besin elementi içeriği üzerine etkisi

Uyg.	Görükle serisi				Ortalama	Çiftlik serisi				Ortalama	
	B	L	P	M		B	L	P	M		
Kuru ağırlık g sakı ⁻¹	Kontrol	17,88 ab	16,60 b	14,00 c	23,63	18,03	27,97 b	32,43 b	28,06 b	31,27	29,93
	4 t da ⁻¹	18,96 ab	25,56 a	22,60 ab	25,57	23,17	37,75 a	39,15 a	31,96 ab	33,63	35,62
	8 t da ⁻¹	17,94 ab	22,90 a	22,03 ab	22,29	21,29	35,93 a	36,93 ab	33,46 a	31,86	34,54
	12 t da ⁻¹	20,66 a	24,35 a	18,74 bc	23,98	21,93	39,54 a	34,89 ab	32,95 ab	29,15	34,13
	16 t da ⁻¹	15,08 b	27,69 a	24,63 a	22,94	22,58	37,74 a	34,60 ab	33,19 ab	30,62	34,04
	Ort.	18,10 C	23,42 AB	20,40BC	23,68 A	21,40 B	35,78 A	35,60 A	31,92 B	31,31 B	33,65 A
S LSD _{0.01} : 1,563, A LSD _{0.01} :2,211, U LSD _{0.01} :2,742, SxA LSD _{0.01} :3,127, SxU LSD:öd, AxU LSD:öd, SxAxU LSD _{0.05} :5,277											
N. %	Kontrol	2,13	2,60	2,72	2,19	2,41 b	1,21	1,06	1,26	1,23	1,19 d
	4 t da ⁻¹	2,72	2,56	2,15	2,43	2,46 b	3,02	1,56	2,07	1,79	2,11 c
	8 t da ⁻¹	3,55	2,86	2,59	2,43	2,86 a	3,34	2,00	2,63	1,72	2,42 b
	12 t da ⁻¹	3,48	3,05	2,39	2,63	2,89 a	3,56	2,41	2,82	2,44	2,81 a
	16 t da ⁻¹	3,45	3,13	2,81	2,66	3,01 a	3,45	2,71	3,15	2,69	3,00 a
	Ort.	3,07 A	2,84 A	2,53 B	2,47 B	2,73 A	2,92 A	1,95 C	2,39 B	1,97 C	2,31 B
S LSD _{0.01} : 0,118, A LSD _{0.01} :0,167, U LSD _{0.01} :0,187, SxA LSD _{0.01} :0,237, SxU _{0.01} LSD:0,265, AxU LSD _{0.01} :0,374, SxAxU LSD:öd											
P. %	Kontrol	0,23 d	0,34 a	0,25	0,24	0,27 b	0,28 d	0,28	0,24	0,27	0,27 b
	4 t da ⁻¹	0,33 c	0,26 ab	0,20	0,23	0,25 b	0,40 c	0,22	0,21	0,21	0,26 b
	8 t da ⁻¹	0,45 b	0,24 b	0,22	0,24	0,29 b	0,51 b	0,23	0,23	0,25	0,30 ab
	12 t da ⁻¹	0,39 bc	0,26 ab	0,24	0,27	0,29 b	0,61 a	0,25	0,26	0,28	0,35 a
	16 t da ⁻¹	0,70 a	0,26 ab	0,26	0,27	0,37 a	0,55 ab	0,26	0,25	0,24	0,33 a
	Ort.	0,42 A	0,27 B	0,24 C	0,25 BC	0,24	0,47 A	0,25 B	0,24 B	0,25 B	0,24
S LSD: öd, A LSD _{0.01} :0,030, U LSD _{0.01} :0,033, SxA LSD _{0.05} :0,042, SxU _{0.01} LSD:0,042, AxU LSD _{0.01} :0,067, SxAxU LSD _{0.01} :0,095											
K. %	Kontrol	3,21	4,15	3,69	3,81	3,75	3,21	3,24	3,15	3,55	3,35
	4 t da ⁻¹	3,51	3,55	3,09	3,80	3,45	3,65	2,86	3,21	3,69	3,45
	8 t da ⁻¹	3,81	3,43	3,31	4,35	3,83	3,95	3,33	3,16	4,38	3,77
	12 t da ⁻¹	3,81	3,54	3,87	4,42	4,14	4,04	3,66	3,16	4,25	3,70
	16 t da ⁻¹	4,50	3,43	3,41	4,59	4,00	3,53	3,38	3,16	4,65	3,90
	Ort.	3,77	3,62	3,48	4,19	3,83 A	3,68	3,29	3,16	4,10	3,63 B
S LSD _{0.01} : 0,145, A LSD _{0.01} :0,205, U LSD _{0.01} :0,229, SxA LSD:öd, SxU LSD:öd, AxU LSD _{0.01} :0,551, SxAxU LSD:öd											
Ca. %	Kontrol	0,60 b	0,66 a	0,62 ab	0,63	0,63	0,41 c	0,30 bc	0,34 b	0,34	0,35 bc
	4 t da ⁻¹	0,71 a	0,65 a	0,54 b	0,55	0,61	0,40 c	0,28 c	0,36 b	0,32	0,34 c
	8 t da ⁻¹	0,73 a	0,57 ab	0,60 ab	0,58	0,62	0,52 b	0,33 abc	0,37 b	0,37	0,40 b
	12 t da ⁻¹	0,65 ab	0,57 ab	0,70 a	0,57	0,62	0,72 a	0,41 ab	0,44 ab	0,42	0,50 a
	16 t da ⁻¹	0,65 ab	0,52 b	0,63 ab	0,54	0,59	0,63 a	0,43 a	0,49 a	0,42	0,49 a
	Ort.	0,67 A	0,60 B	0,62 B	0,57 B	0,60 A	0,54 A	0,35 C	0,40 B	0,37 BC	0,39 B
S LSD _{0.01} : 0,024, A LSD _{0.01} :0,034, U LSD _{0.01} :0,037, SxA LSD _{0.01} :0,047, SxU _{0.01} LSD:0,053, AxU LSD _{0.01} :0,075, SxAxU LSD _{0.01} :0,106											
Mg. %	Kontrol	0,16 b	0,23	0,18 c	0,22	0,20 c	0,11 d	0,10 c	0,10 c	0,09 b	0,10 d
	4 t da ⁻¹	0,28 a	0,24	0,18 c	0,19	0,22 b	0,17 c	0,11 c	0,15 b	0,12 ab	0,13 c
	8 t da ⁻¹	0,32 a	0,23	0,25 b	0,20	0,25 a	0,22 b	0,14 bc	0,19 b	0,16 a	0,18 b
	12 t da ⁻¹	0,31 a	0,26	0,29 ab	0,19	0,26 a	0,27 a	0,16 ab	0,24 a	0,16 a	0,21 a
	16 t da ⁻¹	0,32 a	0,25	0,30 a	0,19	0,27 a	0,20 bc	0,21 a	0,27 a	0,16 a	0,21 a
	Ort.	0,28 A	0,24 B	0,24 B	0,20 C	0,24 A	0,19 A	0,14 B	0,19 A	0,14 B	0,17 B
S LSD _{0.01} : 0,011, A LSD _{0.01} :0,016, U LSD _{0.01} :0,017, SxA LSD _{0.01} :0,022, SxU _{0.01} LSD:0,025, AxU LSD _{0.01} :0,035, SxAxU LSD _{0.01} :0,049											
Na. mg kg ⁻¹	Kontrol	575,0	750,0	725,0	733,3	695,8	675,0	691,7	600,0	716,7	670,83
	4 t da ⁻¹	725,0	691,7	716,7	650,0	695,8	775,0	608,3	641,7	675,0	675,00
	8 t da ⁻¹	700,0	691,7	750,0	708,3	712,5	816,7	650,0	583,3	716,7	691,67
	12 t da ⁻¹	733,3	666,7	775,0	808,3	745,8	808,3	683,3	683,3	825,0	750,00
	16 t da ⁻¹	833,3	775,0	691,7	1016,7	829,2	941,7	650,0	708,3	900,0	800,00
	Ort.	713,3 B	715,0 B	731,7 AB	783,3 A	735,8	803,3 A	656,7 A	643,3 B	766,7 B	717,50
S LSD: öd, A LSD _{0.01} :40,720, U LSD _{0.01} :45,527, SxA LSD _{0.01} :57,587, SxU LSD:öd, AxU LSD _{0.01} :64,384, SxAxU LSD:öd											

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB, P: Penguen Gıda sanayi, M: Mauri Gıda sanayi,

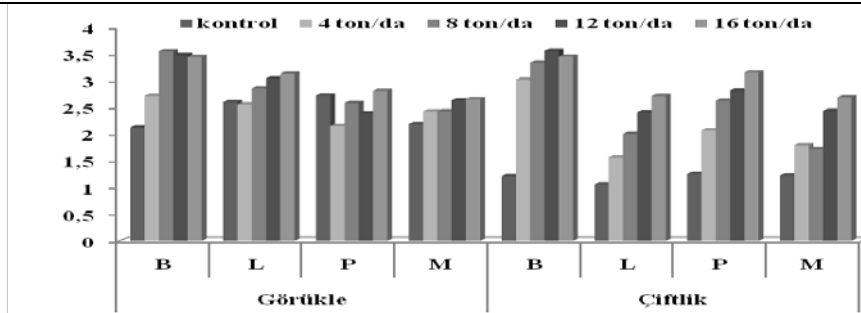
S: Toprak, A: Arıtma çamuru, U: Uygulama düzeyleri

Şekil 4.18a. Arıtma çamurlarının toprak serilerindeki etkisi (g saksı⁻¹)Şekil 4.18b. Toprak serileri ve arıtma çamurlarının genel etkisi (g saksı⁻¹)

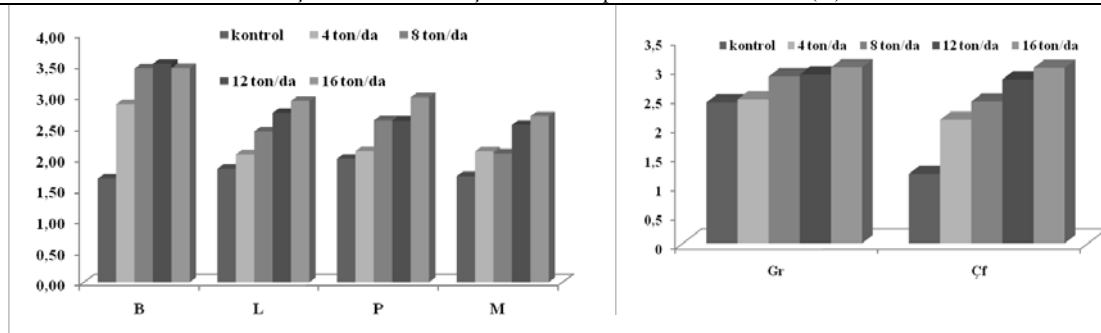
B: BUSKİ
L: İnegöl OSB
P: Penguen Gıda sanayi
M: Mauri Gıda sanayi

Gr: (Görükle serisi)
Çf: (Çiftlik serisi)

Şekil 4.18. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi kuru ağırlığı üzerine etkisi



Şekil 4.19a. Arıtma çamurlarının toprak serilerindeki etkisi (%)



Şekil 4.19b. Toprak serileri ve arıtma çamurlarının genel etkisi (%)

B: BUSKİ
L: İnegöl OSB
P: Penguen Gıda sanayi
M: Mauri Gıda sanayi

Gr: (Görükle serisi)
Çf: (Çiftlik serisi)

Şekil 4.19. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi azot içeriği üzerine etkisi

Arıtma çamurlarının mısır bitkisinin azot içeriği üzerine genel etkisi incelendiğinde çamurların etkisinin farklı olduğu görülmektedir. En yüksek azot içeriği Buski arıtma çamuru uygulamasından elde edilmiştir. Artan uygulama düzeylerine bağlı olarak bitkinin azot içeriği artış göstermiştir. En yüksek N içeriği çamur uygulamalarının en yüksek düzeyinde belirlenmiştir (Şekil 4.19b). Toprak özelliklerine bağlı olarak çamurların etkisi incelenecek olursa, tüm toprak serilerinde çamur uygulamalarına bağlı olarak azot içeriği kontrole göre artış göstermiştir. Göreceli olarak artışlar incelenecek olursa kireç içeriği yüksek olan Görükle serisi toprakta bu artışlar daha düşük olmuştur (Şekil 4.19a).

Artan miktarlarda uygulanan farklı arıtma çamurlarının değişik toprak serilerinde mısır bitkisinin fosfor içeriği üzerine etkileri Çizelge 4.21 ve Şekil 4.20’de verilmiştir.

Arıtma çamurlarının mısır bitkisinin fosfor içeriği üzerine genel etkisi incelendiğinde çamurların etkisinin farklı olduğu görülmektedir. En yüksek fosfor içeriği Buski arıtma çamuru uygulamasından elde edilmiştir. Artan uygulama düzeylerine bağlı olarak bitkinin fosfor içeriğinde meydana gelen artışlar incelendiğinde İnegöl OSB arıtma çamuru uygulamalarında bitkinin P içeriği kontrole göre daha düşük bulunmuştur (Şekil 4.20a). Toprak özelliklerine bağlı olarak çamurların etkisi incelenecek olursa, her iki toprak serisinde de çamur uygulamalarına bağlı olarak bitkinin P içeriği kontrole göre artış göstermiştir. Göreceli olarak artışlar incelenecek olursa kireç içeriği yüksek olan Görükle serisi toprakta bu artışlar daha belirgin olmuştur (Şekil 4.20b). Buski arıtma çamuru uygulamaları her iki toprakta da P miktarı üzerine etki bakımından diğer çamurlardan daha etkili olmuştur.

Artan miktarlarda uygulanan farklı arıtma çamurlarının değişik toprak serilerinde mısır bitkisinin potasyum içeriği üzerine etkileri Çizelge 4.21 ve Şekil 4.21’de verilmiştir.

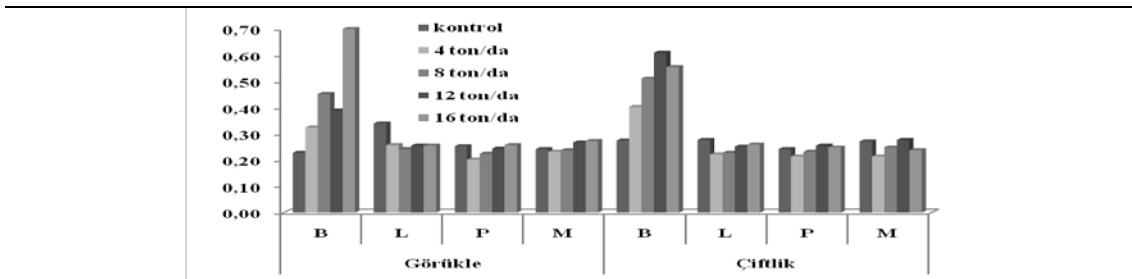
Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının mısır bitkisinin potasyum içeriği üzerine etkisi farklı düzeylerde olmuştur. Buna karşın genel etkileri incelendiğinde, Buski ve Mauri arıtma çamuru uygulamalarının olumlu etkisi daha belirgin olmuştur. En yüksek potasyum değeri Mauri arıtma çamuru uygulamasından elde edilmiştir. Toprak özelliklerine bağlı olarak çamurların etkisi incelendiğinde her iki toprak

serisinde de arıtma çamuru uygulama düzeylerinin artışına bağlı olarak mısır bitkisinin potasyum içeriği artış göstermiştir.

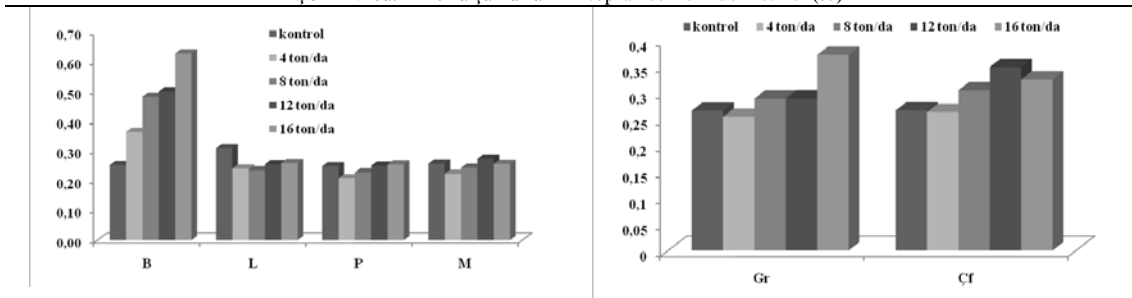
Artan miktarlarda uygulanan farklı arıtma çamurlarının değişik toprak serilerinde mısır bitkisinin kalsiyum içeriği üzerine etkileri Çizelge 4.21 ve Şekil 4.22’de verilmiştir.

Arıtma çamurlarının mısır bitkisinin kalsiyum içeriği üzerine genel etkisi incelendiğinde çamurların etkisinin farklı olduğu görülmektedir. Göreceli olarak en yüksek kalsiyum içeriği Buski arıtma çamuru uygulamasından elde edilmiştir. Artan uygulama düzeylerine bağlı olarak bitkinin kalsiyum içeriği artış göstermiştir. En yüksek Ca içeriği çamur uygulamalarının en yüksek düzeyinde belirlenmiştir (Şekil 4.22a).

Toprak özelliklerine bağlı olarak çamurların etkisi incelenecek olursa, Çiftlik serisinde arıtma çamuru uygulama düzeylerinin artışına bağlı olarak mısır bitkisinin kalsiyum içeriği artış göstermiştir. Ancak Görükle serisi toprakta uygulamalara bağlı olarak Ca içeriği azalmıştır.



Şekil 4.20a. Arıtma çamurlarının toprak serilerindeki etkisi (%)



Şekil 20b. Toprak serileri ve arıtma çamurlarının genel etkisi (%)

B: BUSKİ

L: İnegöl OSB

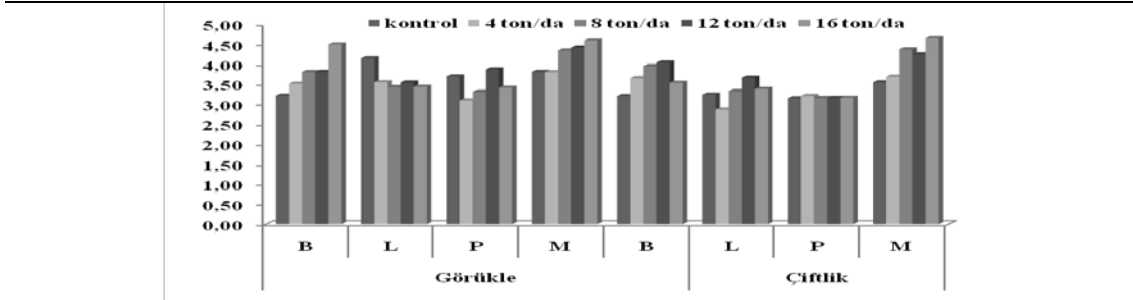
P: Penguen Gıda sanayi

M: Mauri Gıda sanayi

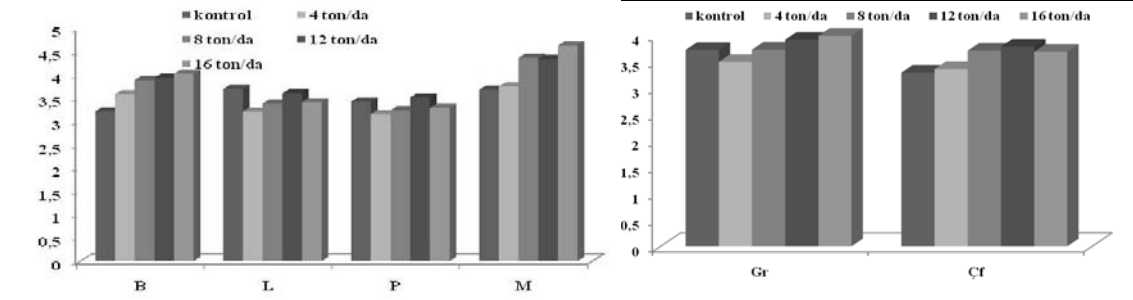
Gr: (Görükle serisi)

Çf: (Çiftlik serisi)

Şekil 4.20. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi fosfor içeriği üzerine etkisi



Şekil 4.21a. Arıtma çamurlarının toprak serilerindeki etkisi (%)



Şekil 21b. Toprak serilerleri ve arıtma çamurlarının genel etkisi (%)

B: BUSKİ

L: İnegöl OSB

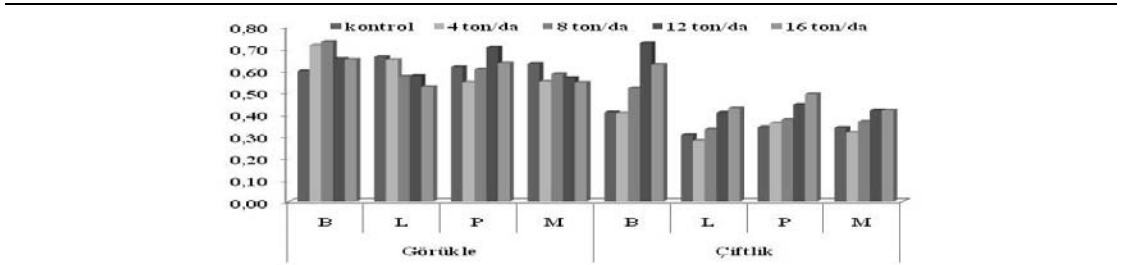
P: Penguen Gıda sanayi

M: Mauri Gıda sanayi

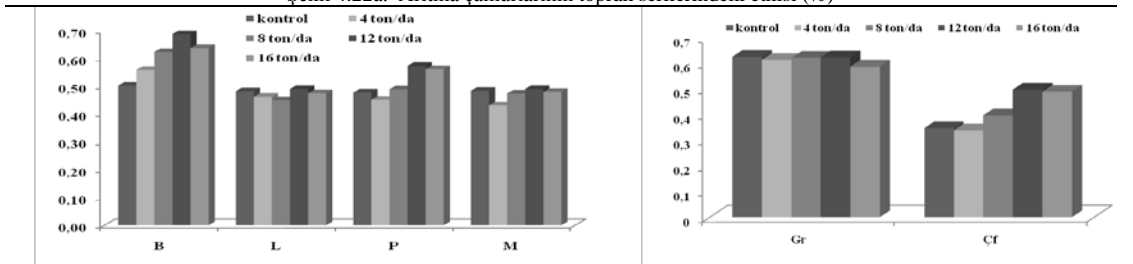
Gr: (Görükle serisi)

Çf: (Çiftlik serisi)

Şekil 4.21. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi potasyum içeriği üzerine etkisi (%)



Şekil 4.22a. Arıtma çamurlarının toprak serilerindeki etkisi (%)



Şekil 22b. Toprak serilerleri ve arıtma çamurlarının genel etkisi (%)

B: BUSKİ

L: İnegöl OSB

P: Penguen Gıda sanayi

M: Mauri Gıda sanayi

Gr: (Görükle serisi)

Çf: (Çiftlik serisi)

Şekil 4.22. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi kalsiyum içeriği üzerine etkisi

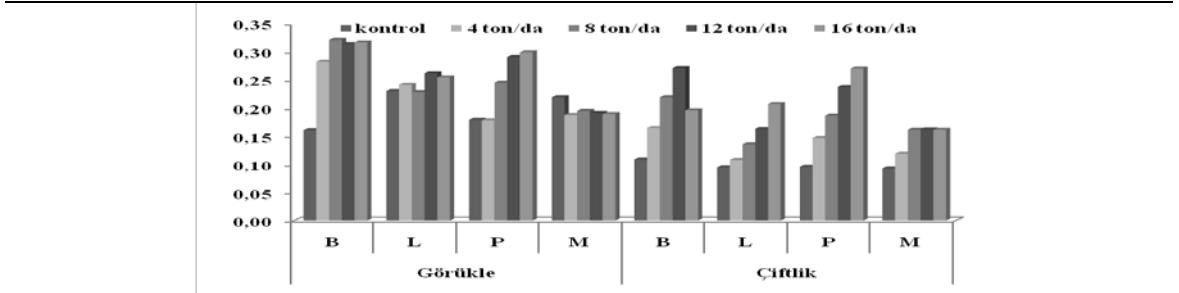
Artan miktarlarda uygulanan farklı arıtma çamurlarının değişik toprak serilerinde mısır bitkisinin magnezyum içeriği üzerine etkileri Çizelge 4.21 ve Şekil 4.23’de verilmiştir.

Arıtma çamurlarının mısır bitkisinin magnezyum içeriği üzerine genel etkisi incelendiğinde çamurların etkisinin farklı olduğu görölmektedir. Göreceli olarak en yüksek magnezyum içeriği Buski ve Penguen Gıda arıtma çamuru uygulamasından elde edilmiştir. Buski arıtma çamurunun yüksek uygulama düzeyleri (12 ve 16 ton da⁻¹) bitki Mg içeriğini azaltmıştır. Diğer çamur uygulamalarında artan uygulama düzeylerine bağlı olarak bitkinin magnezyum içeriği artış göstermiştir (Şekil 4.23a).

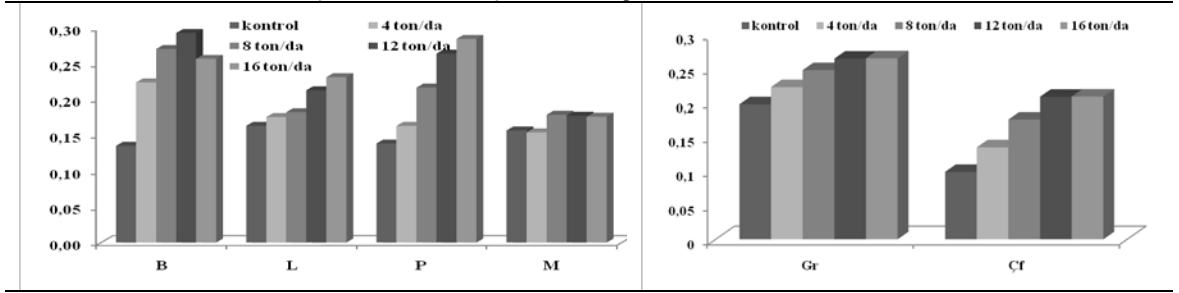
Toprak özelliklerine bağlı olarak çamurların genel etkisi incelenecek olursa, her iki toprak serisinde de çamur uygulamalarına bağlı olarak bitkinin Mg içeriği kontrole göre artış göstermiştir. Görükle serisi toprakta arıtma çamuru uygulamalarının yüksek düzeyleri bitkinin Mg içeriğini azaltmıştır (Şekil 4.23b). Ayrıca Mauri Maya ve Buski arıtma çamurları Görükle ve Çiftlik serilerindeki yüksek uygulamaları da Mg içeriğini azaltmıştır.

Artan miktarlarda uygulanan farklı arıtma çamurlarının Görükle ve Çiftlik toprak serilerinde mısır bitkisinin sodyum içeriği üzerine etkileri Çizelge 4.21 ve Şekil 4.24’de verilmiştir.

Arıtma çamurlarının mısır bitkisinin sodyum içeriği üzerine genel etkisi incelendiğinde çamurların etkisinin farklı olduğu görölmektedir. En yüksek sodyum içeriği Mauri Maya arıtma çamuru uygulamasından elde edilmiştir. Artan uygulama düzeylerine bağlı olarak bitkinin sodyum içeriğinde meydana gelen artışlar incelendiğinde Mauri Maya arıtma çamuru uygulamalarında bitkinin Na içeriği kontrole göre daha yüksek bulunmuştur (Şekil 4.24a). Toprak özelliklerine bağlı olarak çamurların etkisi incelenecek olursa, her iki toprak serisinde de çamur uygulamalarına bağlı olarak bitkinin Na içeriği kontrole göre artış göstermiştir.



Şekil 4.23a. Arıtma çamurlarının toprak serilerindeki etkisi (%)



Şekil 23b. Toprak serilerleri ve arıtma çamurlarının genel etkisi (%)

B: BUSKİ

L: İnegöl OSB

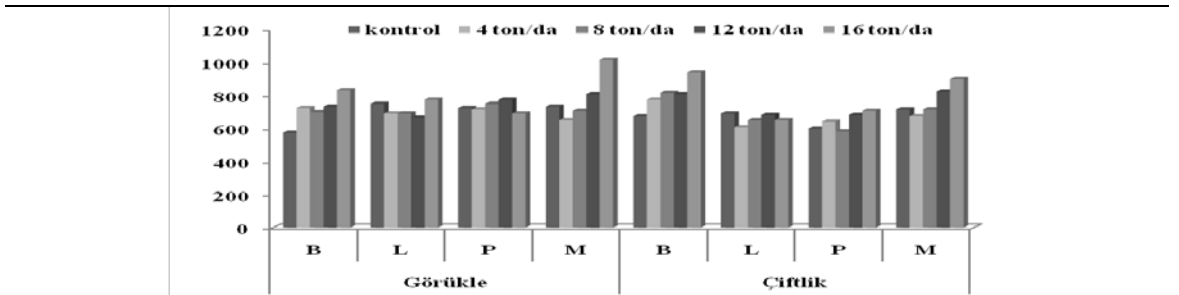
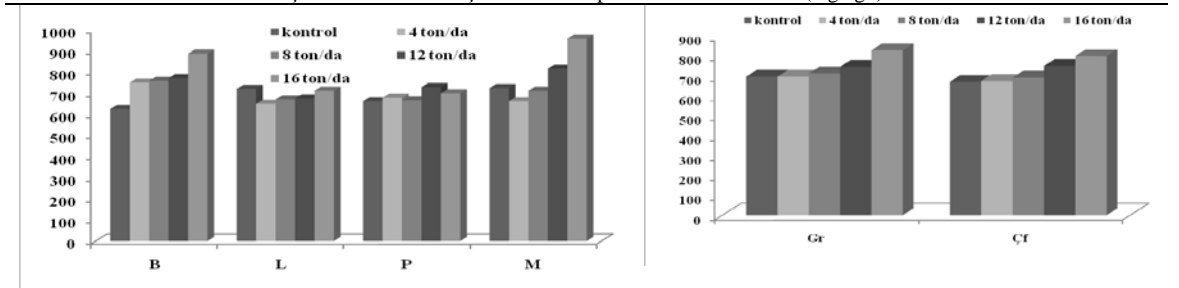
P: Penguen Gıda sanayi

M: Mauri Gıda sanayi

Gr: (Görükle serisi)

Çf: (Çiftlik serisi)

Şekil 4.23. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi magnezyum içeriği üzerine etkisi

Şekil 4.24a. Arıtma çamurlarının toprak serilerindeki etkisi (mg kg⁻¹)Şekil 24b. Toprak serilerleri ve arıtma çamurlarının genel etkisi (mg kg⁻¹)

B: BUSKİ

L: İnegöl OSB

P: Penguen Gıda sanayi

M: Mauri Gıda sanayi

Gr: (Görükle serisi)

Çf: (Çiftlik serisi)

Şekil 4.24. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi sodyum içeriği üzerine etkisi

4.4.2. Mısır bitkisi kimi ağır metal içeriği üzerine arıtma çamurlarının etkisi

Artan miktarlarda uygulanan farklı kökenli arıtma çamurlarının Görükle ve Çiftlik toprak serilerinde yetiştirilen mısır bitkisinin kimi element ve ağır metal (Fe, Cu, Zn, Mn, Cd, Cr ve Ni) içeriğinde meydana gelen değişimlere ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.22 ile Şekil 4.25-4.31'de verilmiştir. Mısır bitkisinin Fe, Cu, Zn, Mn, Cd, Cr ve Ni içeriği üzerine arıtma çamuru uygulamaları ve toprak özelliklerinin etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Artan miktarlarda uygulanan farklı arıtma çamurlarının Görükle ve Çiftlik toprak serilerinde mısır bitkisinin demir içeriği üzerine etkileri Çizelge 4.22 ve Şekil 4.25'de verilmiştir.

Arıtma çamurlarının mısır bitkisinin demir içeriği üzerine genel etkisi incelendiğinde çamurların etkisinin farklı olduğu görülmektedir. Artan uygulama düzeylerine bağlı olarak bitkinin demir içeriğinde meydana gelen artışlar incelendiğinde Penguen Gıda arıtma çamuru uygulamalarında bitkinin Fe içeriği en yüksek uygulama düzeyinde (16 ton da⁻¹) azalış göstermiştir (Şekil 4.25a). Toprak özelliklerine bağlı olarak çamurların etkisi incelenecek olursa, Görükle serisinin aksine Çiftlik serisinde çamur uygulamalarına bağlı olarak bitkinin Fe içeriği kontrole göre artış göstermiştir. Kireç içeriği yüksek Görükle serisinde meydana gelen değişim önemli bulunmamıştır.

Artan miktarlarda uygulanan farklı arıtma çamurlarının Görükle ve Çiftlik toprak serilerinde mısır bitkisinin çinko içeriği üzerine etkileri Çizelge 4.22 ve Şekil 4.26'da verilmiştir.

Artan uygulama düzeylerine bağlı olarak bitkinin çinko içeriğinde meydana gelen artışlar incelendiğinde en yüksek çinko içeriğinin Buski arıtma çamuru uygulamalarında belirlendiği görülmektedir (Şekil 4.26a). Diğer çamurların etkisi ise benzer şekilde olmuş meydana gelen artış sınırlı düzeyde kalmıştır. Toprak özelliklerine bağlı olarak çamurların etkisi incelenecek olursa, her iki toprak serisinde de çamur uygulamalarına bağlı olarak bitkinin çinko içeriği kontrole göre artış göstermiştir. Göreceli olarak artışlar incelenecek olursa Çiftlik serisi toprakta bu artışlar daha belirgin olmuştur (Şekil 4.26b).

Artan miktarlarda uygulanan farklı arıtma çamurlarının Görükle ve Çiftlik toprak serilerinde mısır bitkisinin mangan içeriği üzerine etkileri Çizelge 4.22 ve Şekil 4.27’de verilmiştir.

Artan uygulama düzeylerine bağlı olarak bitkinin mangan içeriğinde meydana gelen artışlar incelendiğinde en yüksek mangan içeriğinin Buski arıtma çamuru uygulamalarında belirlendiği görülmektedir (Şekil 4.27a). Toprak özelliklerine bağlı olarak çamurların etkisi incelenecek olursa, kireç içeriği yüksek Görükle serisinin aksine Çiftlik serisinde çamur uygulamalarına bağlı olarak bitkinin mangan içeriği kontrole göre artış göstermiştir (Şekil 4.27b). Bununla birlikte Görükle serisinde artan uygulamalara bağlı olarak bitkinin Mn içeriğindeki değişim önemli bulunmamıştır.

Artan miktarlarda uygulanan farklı arıtma çamurlarının Görükle ve Çiftlik toprak serilerinde mısır bitkisinin bakır içeriği üzerine etkileri Çizelge 4.22 ve Şekil 4.28’de verilmiştir.

Artan uygulama düzeylerine bağlı olarak bitkinin bakır içeriğinde meydana gelen artışlar incelendiğinde en yüksek bakır içeriğinin Buski arıtma çamuru uygulamalarında belirlendiği görülmektedir (Şekil 4.28a). Toprak özelliklerine bağlı olarak çamurların etkisi incelenecek olursa, Çiftlik serisi toprakta çamur uygulamalarına bağlı olarak bitkinin bakır içeriği kontrole göre Görükle serisinden daha fazla artış göstermiştir (Şekil 4.28b).

Artan miktarlarda uygulanan farklı arıtma çamurlarının Görükle ve Çiftlik toprak serilerinde mısır bitkisinin kadmiyum içeriği üzerine etkileri Çizelge 4.22 ve Şekil 4.29’da verilmiştir.

Artan uygulama düzeylerine bağlı olarak bitkinin kadmiyum içeriğinde meydana gelen artışlar incelendiğinde en yüksek kadmiyum içeriğinin Buski arıtma çamuru uygulamalarında belirlendiği görülmektedir (Şekil 4.29a). Toprak özelliklerine bağlı olarak çamurların etkisi incelenecek olursa, killi bünyeye sahip Çiftlik serisi toprakta çamur uygulamalarına bağlı olarak bitkinin Cd içeriği kontrole göre kireç içeriği yüksek Görükle toprak serisinden daha fazla artış göstermiştir (Şekil 4.29b). Görükle serisi toprakta meydana gelen değişim önemli bulunmamıştır.

Artan miktarlarda uygulanan farklı arıtma çamurlarının Görükle ve Çiftlik toprak serilerinde mısır bitkisinin krom içeriği üzerine etkileri Çizelge 4.22 ve Şekil 4.30'da verilmiştir.

Arıtma çamurlarının mısır bitkisinin krom içeriği üzerine genel etkisi incelendiğinde çamurların etkisinin farklı olduğu görülmektedir. Artan uygulama düzeylerine bağlı olarak bitkinin krom içeriğinde meydana gelen artışlar incelendiğinde en yüksek krom içeriğinin Buski arıtma çamuru uygulamalarında belirlendiği görülmektedir (Şekil 4.30a). Uygulama düzeylerine bağlı olarak Mauri Maya arıtma çamurunun 12 ve 16 ton da^{-1} uygulamaları bitkinin Cr içeriğini önceki dozlara göre düşürmüştür. Toprak özelliklerine bağlı olarak çamurların etkisi incelenecek olursa, çamur uygulamalarına bağlı olarak bitkinin Cr içeriği kontrole göre artış göstermiştir (Şekil 4.30b).

Artan miktarlarda uygulanan farklı arıtma çamurlarının Görükle ve Çiftlik toprak serilerinde mısır bitkisinin nikel içeriği üzerine etkileri Çizelge 4.22 ve Şekil 4.31'de verilmiştir.

Artan uygulama düzeylerine bağlı olarak bitkinin nikel içeriğinde meydana gelen artışlar incelendiğinde en yüksek krom içeriğinin Buski arıtma çamuru uygulamalarında belirlendiği görülmektedir (Şekil 4.31a). Uygulama düzeylerine bağlı olarak Mauri Maya arıtma çamurunun 12 ve 16 ton da^{-1} uygulamaları bitkinin Ni içeriğini önceki dozlara göre düşürmüştür. İnegöl OSB arıtma çamurunun etkisi daha az belirgin olmuştur. Toprak özelliklerine bağlı olarak çamurların etkisi incelenecek olursa, çamur uygulamalarına bağlı olarak bitkinin Ni içeriği kontrole göre artış göstermiştir (Şekil 4.31b). Kontrole göre en fazla artış ise Çiftlik serisi toprakta belirlenmiştir.

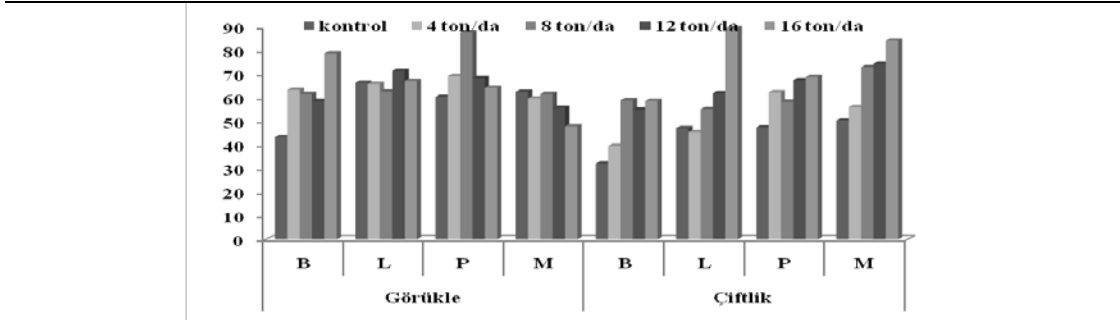
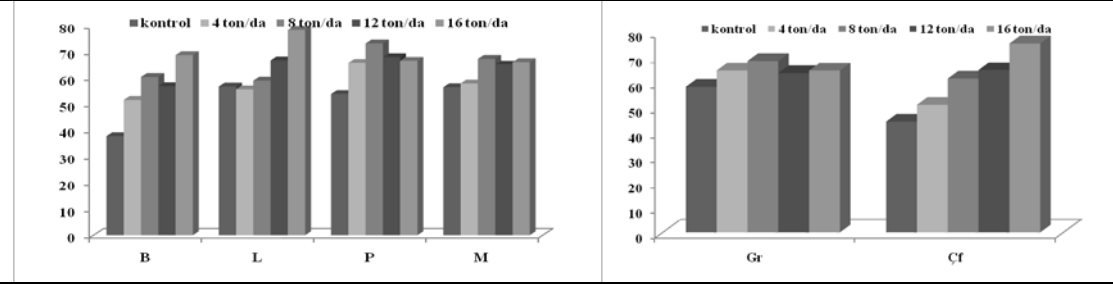
Artan miktarlarda uygulanan farklı arıtma çamurlarının Görükle ve Çiftlik toprak serilerinde mısır bitkisinin Pb içeriğinde meydana gelen değişimler iz miktarlarda bulunduğu için değerlendirilmemiştir. Barriquelo ve ark. (2003) arıtma çamuru uygulanmış topraklarda mısır bitkisi tarafından Pb'un alınmadığını bildirmişlerdir.

Çizelge 4.22. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının mısır bitkisi kimi element ve ağır metal içeriği üzerine arıtma çamurlarının etkisi

	Uygulama	Görükle serisi				Ortalama	Çiftlik serisi				Ortalama
		B	L	P	M		B	L	P	M	
Fe, mg kg ⁻¹	Kontrol	43,4	66,4	60,5	62,6	58,2	32,2	47,2	47,5	50,5	44,4 d
	4 t da ⁻¹	63,4	66,0	69,3	59,8	64,6	39,7	45,5	62,4	56,1	50,9 dc
	8 t da ⁻¹	61,7	62,7	87,9	61,7	68,5	59,0	55,3	58,4	73,1	61,4 bc
	12 t da ⁻¹	58,8	71,5	68,4	55,8	63,6	55,1	62,1	67,6	74,6	64,8 ab
	16 t da ⁻¹	78,9	67,2	64,4	47,9	64,6	58,7	89,7	68,9	84,3	75,4 a
	Ortalama	61,2 AB	66,8 AB	70,1 A	57,6 B	63,9	48,9 B	60,0 AB	61,0 AB	67,7 A	59,4
S LSD:öd , A LSD _{0,01} :6,503, U LSD _{0,01} :9,632, SxA LSD _{0,01} :12,183, SxU LSD _{0,01} : 13,621, AxU LSD:öd , SxAxU LSD:öd											
Zn, mg kg ⁻¹	Kontrol	17,1 c	13,6 c	18,3 c	15,6	16,2	6,6 c	9,1 b	6,9 c	7,3 c	7,5
	4 t da ⁻¹	26,1 bc	25,9 bc	29,5 bc	24,2	26,4	16,8 c	10,7 b	15,1 bc	12,5 bc	13,8
	8 t da ⁻¹	37,4 b	47,2 a	36,3 ab	25,5	36,6	34,5 b	17,9 b	22,5 bc	21,1 abc	24,0
	12 t da ⁻¹	32,2 bc	42,9 ab	47,3 a	28,2	37,6	55,3 a	24,4 ab	30,6 ab	27,7 ab	34,5
	16 t da ⁻¹	81,0 a	46,6 a	47,1 a	31,7	51,6	57,7 a	35,8 a	45,3 a	31,6 a	42,6
	Ortalama	38,8 A	35,3 A	35,7 A	25,0 B	33,7 A	34,2 A	19,6 B	24,1 B	20,0 B	24,5 B
S LSD _{0,01} : 3,833, A LSD _{0,01} :5,420, U LSD _{0,01} :6,060, SxA LSD _{0,05} :5,787, SxU LSD:öd , AxU LSD _{0,01} :12,121 , SxAxU LSD _{0,01} :17,141											
Mn, mg kg ⁻¹	Kontrol	47,5 b	59,9	57,4 a	58,3 a	55,8	24,1 d	35,5 ab	39,4	39,7 b	34,7 c
	4 t da ⁻¹	53,7 b	48,9	38,2 b	51,8 ab	48,1	28,8 d	33,3 b	48,1	50,4 ab	40,1 c
	8 t da ⁻¹	66,6 ab	44,5	40,4 ab	45,0 ab	49,1	55,9 c	41,1 ab	49,6	65,3 a	53,0 b
	12 t da ⁻¹	60,9 b	45,1	48,5 ab	44,2 ab	49,7	120,3 b	55,5 a	59,8	71,6 a	76,8 a
	16 t da ⁻¹	86,5 a	45,8	42,4 ab	36,9 b	52,9	147,4 a	55,9 a	54,5	68,8 a	81,7 a
	Ortalama	63,0 A	48,8 B	45,4 B	47,3 B	51,1 B	75,3 A	44,3 C	50,3 BC	59,2 B	57,3 A
S LSD _{0,01} : 4,804, A LSD:öd, U LSD _{0,01} :7,596, SxA LSD _{0,01} :9,609, SxU LSD _{0,01} :10,743 , AxU LSD _{0,01} :15,193 , SxAxU LSD _{0,01} :21,486											
Cu, mg kg ⁻¹	Kontrol	9,8	8,4	8,1	5,8	8,0	3,4	3,8	5,0	6,0	4,5
	4 t da ⁻¹	11,2	9,7	10,1	9,0	10,0	6,6	6,2	5,1	12,1	7,5
	8 t da ⁻¹	10,8	11,2	8,9	7,0	9,5	7,8	7,0	6,8	12,7	8,6
	12 t da ⁻¹	11,0	25,8	6,8	5,6	12,3	7,7	7,2	8,7	12,4	9,0
	16 t da ⁻¹	14,8	26,3	7,4	4,9	13,3	8,0	7,1	11,4	19,0	11,4
	Ortalama	11,5 AB	16,3 A	8,3 B	6,4 B	10,6 A	6,7 B	6,3 B	7,4 AB	12,4	8,2 B
S LSD _{0,05} : 1,933, A LSD _{0,01} :6,794, U LSD _{0,01} :4,048, SxA LSD _{0,01} :5,120, SxU LSD:öd , AxU LSD:öd , SxAxU LSD:öd											
Cd, mg kg ⁻¹	Kontrol	0,075	0,497	0,386	0,386	0,336	0,313	0,478	0,438	0,425	0,414 b
	4 t da ⁻¹	0,144	0,445	0,455	0,374	0,335	0,322	0,461	0,450	0,433	0,416 b
	8 t da ⁻¹	0,238	0,484	0,533	0,327	0,395	0,475	0,477	0,420	0,456	0,457 ab
	12 t da ⁻¹	0,288	0,475	0,422	0,298	0,371	0,376	0,493	0,501	0,524	0,473 ab
	16 t da ⁻¹	0,400	0,438	0,371	0,330	0,385	0,537	0,463	0,537	0,537	0,518 a
	Ortalama	0,229 C	0,468 A	0,433 A	0,343 B	0,371 B	0,405	0,474	0,469	0,475	0,456 A
S LSD _{0,01} : 0,046, A LSD _{0,01} :0,064, U LSD:öd, SxA LSD _{0,01} :0,091, SxU LSD:öd , AxU LSD _{0,05} :0,109 , SxAxU LSD:öd											
Cr, mg kg ⁻¹	Kontrol	1,69	3,02	3,12	2,55	2,59	1,58	2,44	3,41	3,00	2,61
	4 t da ⁻¹	2,40	3,56	3,08	2,66	2,93	1,68	2,71	3,15	3,00	2,63
	8 t da ⁻¹	2,92	3,42	3,19	2,54	3,02	2,38	2,82	2,72	3,09	2,75
	12 t da ⁻¹	2,69	3,17	2,76	2,86	2,87	2,25	3,02	3,49	2,68	2,86
	16 t da ⁻¹	3,56	3,23	3,20	2,13	3,03	2,55	3,42	3,17	2,83	2,99
	Ortalama	2,65 B	3,28 A	3,07 A	2,55 B	2,89	2,09 B	2,88 A	3,19 A	2,92 A	2,77
S LSD:öd, A LSD _{0,01} :0,309, U LSD _{0,01} :0,229, SxA LSD _{0,01} :0,437, SxU LSD _{0,01} :0,324 , AxU LSD _{0,01} :0,458 , SxAxU LSD:öd											
Ni, mg kg ⁻¹	Kontrol	0,974 c	1,993	1,888	1,557	1,603	1,169 d	1,561	1,704	1,408 b	1,461 d
	4 t da ⁻¹	1,575 bc	2,088	1,528	1,558	1,687	1,444 cd	1,606	1,570	1,685 ab	1,576 cd
	8 t da ⁻¹	1,746 ab	1,930	2,041	1,645	1,841	1,992 c	1,588	1,717	2,030 ab	1,832 c
	12 t da ⁻¹	1,566 bc	1,900	1,610	1,419	1,624	3,247 b	1,809	1,846	1,854ab	2,189 b
	16 t da ⁻¹	2,223 a	1,690	1,611	1,324	1,712	4,160 a	2,102	1,742	2,079 a	2,521 a
	Ortalama	1,617 B	1,920 A	1,736AB	1,500 B	1,693 B	2,402 A	1,733 B	1,716 B	1,811 B	1,916 A
S LSD _{0,01} : 0,145, A LSD _{0,01} :0,205, U LSD _{0,01} :0,229, SxA LSD _{0,01} :0,289, SxU _{0,01} LSD:0,324 , AxU LSD _{0,01} :0,458 , SxAxU LSD _{0,01} :0,647											

B: BUSKİ, L: İnegöl OSB , P: Penguen Gıda sanayi, M: Mauri Gıda sanayi,

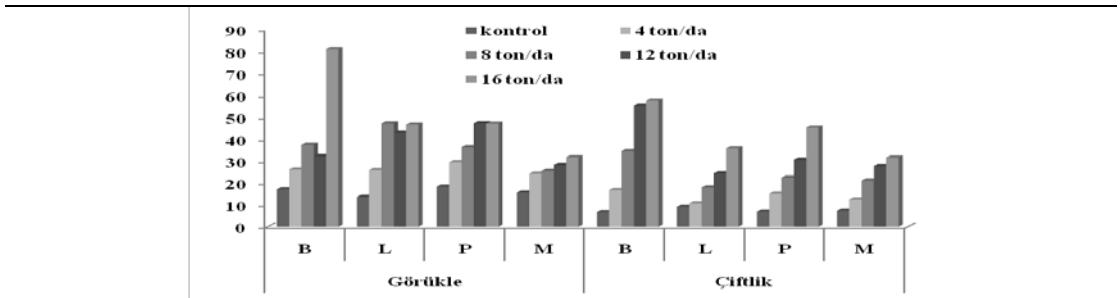
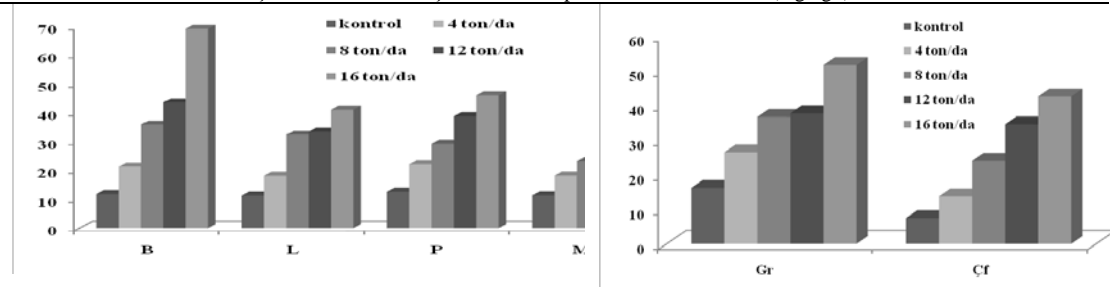
S: Toprak, A: Arıtma çamuru, U: Uygulama düzeyleri

Şekil 4.25a. Arıtma çamurlarının toprak serilerindeki etkisi (mg kg^{-1})Şekil 25b. Toprak serileri ve arıtma çamurlarının genel etkisi (mg kg^{-1})

B: BUSKİ
L: İnegöl OSB
P: Penguen Gıda sanayi
M: Mauri Gıda sanayi

Gr: (Görükle serisi)
Çf: (Çiftlik serisi)

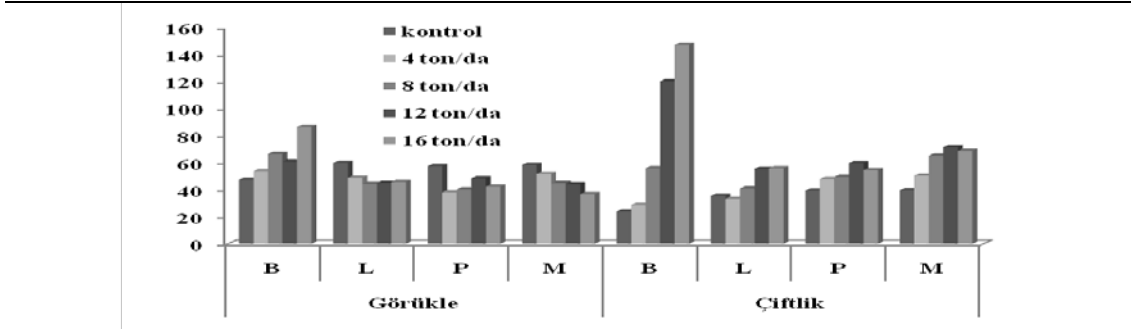
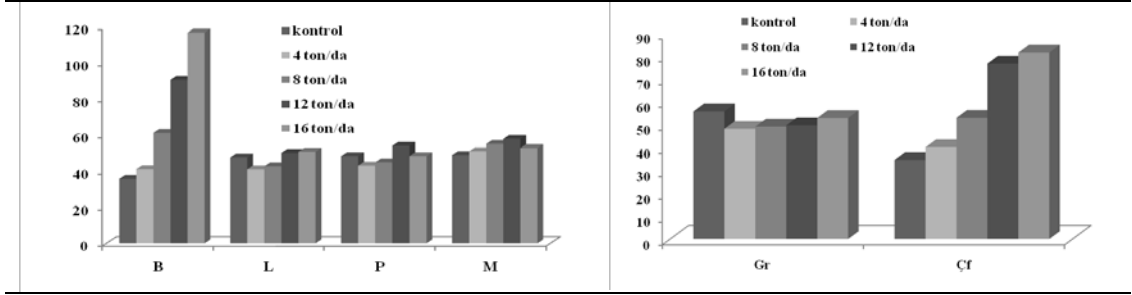
Şekil 4.25. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi demir içeriği üzerine etkisi

Şekil 4.26a. Arıtma çamurlarının toprak serilerindeki etkisi (mg kg^{-1})Şekil 26b. Toprak serileri ve arıtma çamurlarının genel etkisi (mg kg^{-1})

B: BUSKİ
L: İnegöl OSB
P: Penguen Gıda sanayi
M: Mauri Gıda sanayi

Gr: (Görükle serisi)
Çf: (Çiftlik serisi)

Şekil 4.26. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi çinko içeriği üzerine etkisi

Şekil 4.27a. Arıtma çamurlarının toprak serilerindeki etkisi (mg kg^{-1})Şekil 27b. Toprak serileri ve arıtma çamurlarının genel etkisi (mg kg^{-1})

B: BUSKİ

L: İnegöl OSB

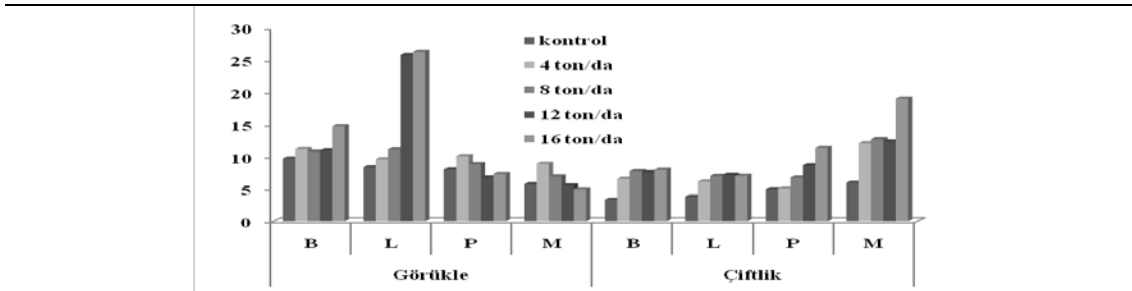
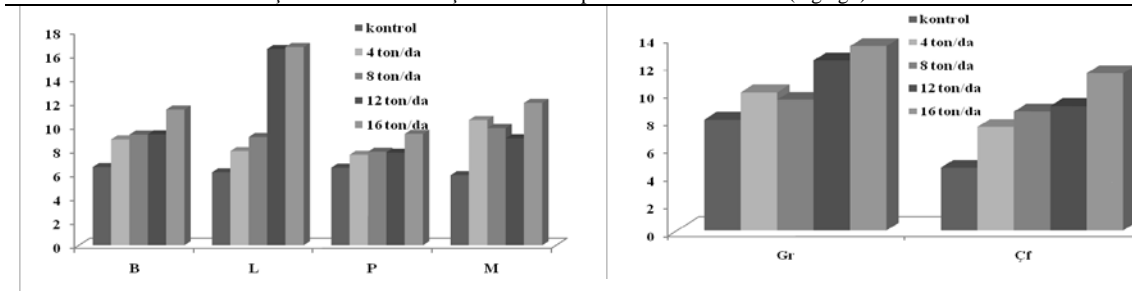
P: Penguen Gıda sanayi

M: Mauri Gıda sanayi

Gr: (Görükle serisi)

Çf: (Çiftlik serisi)

Şekil 4.27. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi mangan içeriği üzerine etkisi

Şekil 4.28a. Arıtma çamurlarının toprak serilerindeki etkisi (mg kg^{-1})Şekil 28b. Toprak serileri ve arıtma çamurlarının genel etkisi (mg kg^{-1})

B: BUSKİ

L: İnegöl OSB

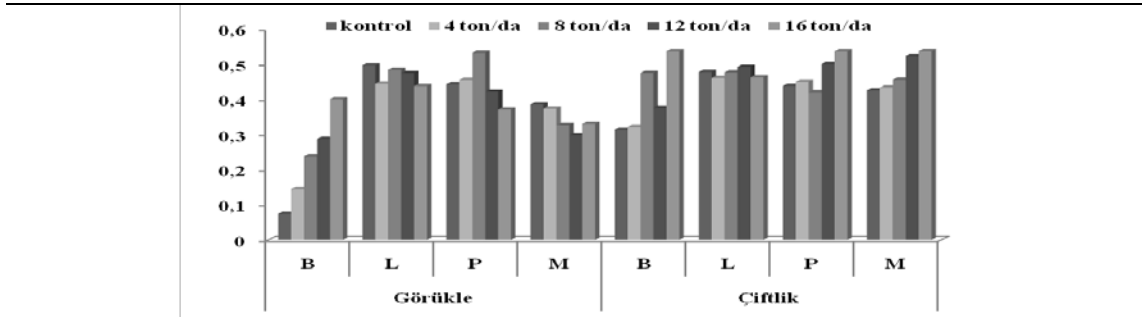
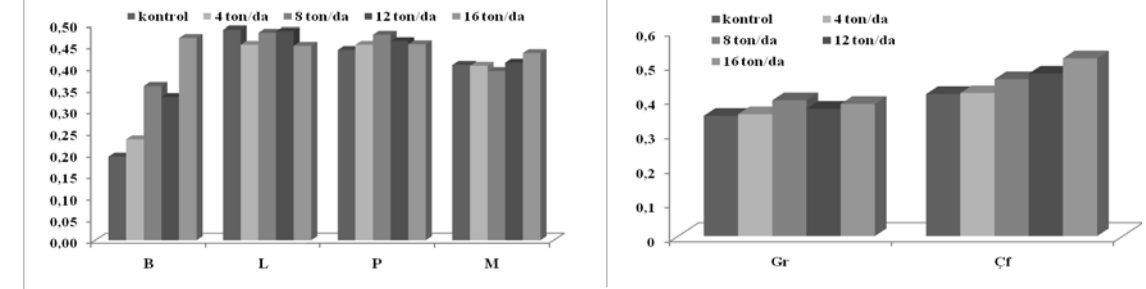
P: Penguen Gıda sanayi

M: Mauri Gıda sanayi

Gr: (Görükle serisi)

Çf: (Çiftlik serisi)

Şekil 4.28. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi bakır içeriği üzerine etkisi

Şekil 4.29a. Arıtma çamurlarının toprak serilerindeki etkisi (mg kg^{-1})Şekil 29b. Toprak serileri ve arıtma çamurlarının genel etkisi (mg kg^{-1})

B: BUSKİ

L: İnegöl OSB

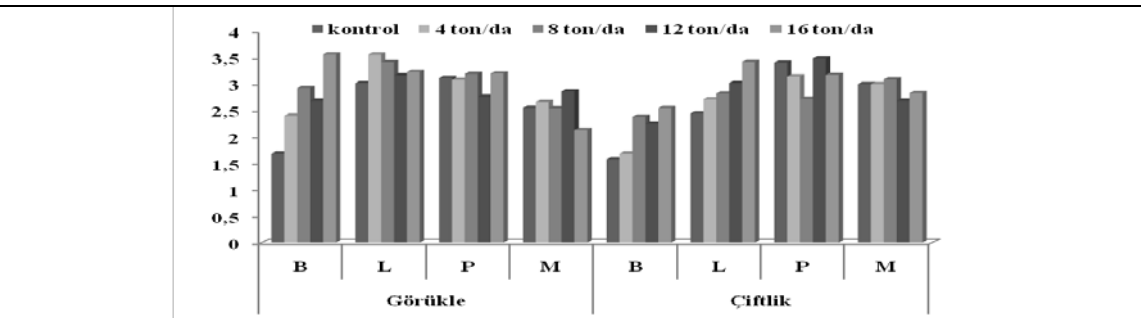
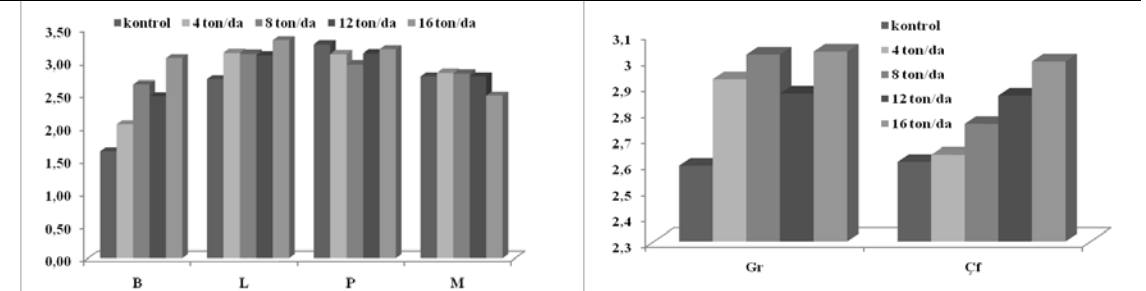
P: Penguen Gıda sanayi

M: Mauri Gıda sanayi

Gr: (Görükle serisi)

Çf: (Çiftlik serisi)

Şekil 4.29. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi kadmiyum içeriği üzerine etkisi

Şekil 4.30a. Arıtma çamurlarının toprak serilerindeki etkisi (mg kg^{-1})Şekil 30b. Toprak serileri ve arıtma çamurlarının genel etkisi (mg kg^{-1})

B: BUSKİ

L: İnegöl OSB

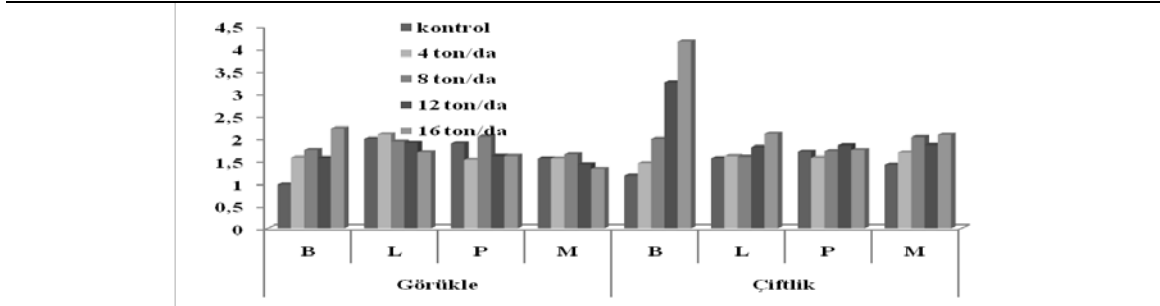
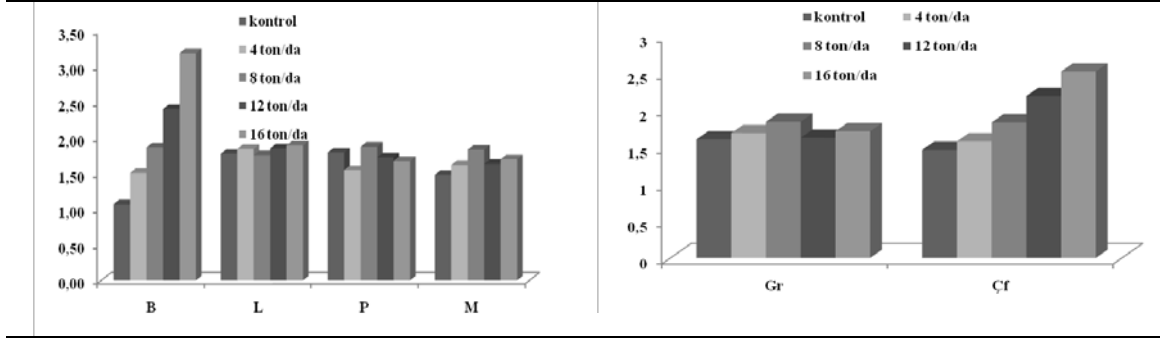
P: Penguen Gıda sanayi

M: Mauri Gıda sanayi

Gr: (Görükle serisi)

Çf: (Çiftlik serisi)

Şekil 4.30. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi krom içeriği üzerine etkisi

Şekil 4.31a. Arıtma çamurlarının toprak serilerindeki etkisi (mg kg⁻¹)Şekil 31b. Toprak serileri ve arıtma çamurlarının genel etkisi (mg kg⁻¹)

B: BUSKİ
L: İnegöl OSB
P: Penguen Gıda sanayi
M: Mauri Gıda sanayi

Gr: (Görükle serisi)
Çf: (Çiftlik serisi)

Şekil 4.31. Arıtma çamurlarının mısır bitkisi nikel içeriği üzerine etkisi

Yapılan çalışmada arıtma çamuru uygulamaları ile toprak özelliklerine bağlı olarak istatistiksel olarak önemli ve farklı sonuçlar elde edilmiştir. Artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurları, mısır bitkisinin kuru ağırlık ve başta N ve P olmak üzere kimi besin elementleri içeriklerini olumlu yönde etkilemiştir. Ancak yüksek uygulama düzeylerinde (12 ve 16 ton da⁻¹) toprakta oluşan tuzluluğa bağlı olarak olumsuz etkiler görülmüştür. Mohammad ve Athamneh (2004) kireçli toprakta yapmış olduğu çalışmada 16 ton da⁻¹ uygulaması kuru ağırlığı azaltmıştır. Arıtma çamurlarının aşırı uygulamalarda bitki gelişimini sınırlandırmasının başında toprakta meydana gelen tuzluluk ve ağır metallerin toksik etkileri gelmektedir. Kelley ve ark. (1984) ve Gasco ve Lobo (2007) aşırı uygulamaların toprağın EC'sini tuzluluk sınır değerine ulaştırabileceğini bildirmiştir. Khoshgoftarmansh ve Kalbasi (2002), siltli kil bünyeye sahip toprakta 0, 150, 300 ve 600 t ha⁻¹ çamur uygulamalarında bitki gelişimini en yüksek uygulama düzeyinin toprak tuzluluğuna bağlı olarak düşürdüğü bildirmiştir. Yüksek uygulama düzeylerinde bitki gelişimindeki göreceli azalma, toprak özelliklerine bağlı olarak çamurların mineralizasyonuna ve oluşan olumsuz özellikleri (pH, EC, kireç vb) tamponlama kapasitelerinin farklılığından kaynaklanmış olabilir.

Buski arıtma çamuru uygulamaları sonucu mısır bitkisinin N içeriği kontrol uygulamasına göre artmış ve çamur uygulamalarında toprak serilerine bağlı olarak % 2,66-3,45 değerleri arasında belirlenmiştir. Bu değerler yeterlilik sınır değerleri (% 3,50-5,00) arasındadır (Jones ve ark. 1991, Johnston ve ark. 2002). Arıtma çamurlarının yüksek uygulamaları (12 ve 16 ton da⁻¹) mısır bitkisinin azot içeriğini düşürmüştür. En fazla etki sırasıyla Buski, İnegöl, Penguen ve Mauri Gıda arıtma çamuru uygulamalarında belirlenmiştir. Yüksek uygulamalara bağlı olarak bitkilerin N içeriğinin düştüğünü Dursun ve ark. (2005) bildirmişlerdir. Yapılan bazı çalışmalarda da artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurları bitkilerin azot içeriğini kontrole göre artırmıştır (Hussein 2009). Ahmed ve ark. (2010) kireçli toprak koşullarında yapmış olduğu çalışmalarında 320 ton ha⁻¹ uygulama düzeyine rağmen bitkinin azot içeriğinin uygulama düzeylerine bağlı olarak arttığını belirlemişlerdir. Mısır bitkisinin fosfor içeriği de çamur uygulama düzeylerine bağlı olarak artmıştır. Mısır bitkisinin P içeriği en yüksek Buski arıtma çamuru uygulamasında % 0,55 ile % 0,70 değerleri arasında belirlenmiştir. Bitkinin P içeriği üzerine diğer çamurların etkisi benzer düzeylerde olmuştur. Bitkinin P içeriği yeterlilik sınır değerlerinin üzerinde (>%0,50) bulunmuştur. Conte Suarez ve ark. (2004), N ve P içeriği yüksek arıtma çamurlarının bitkinin N ve P içeriğini önemli düzeyde arttırdığını ancak K içeriği yönünden bitkinin K ihtiyacını karşılayamayacağını bildirmiştir. Ancak bitkinin K içeriği yeter sınırları içerisinde (%2,50-4,00) bulunmuştur. Ahmed ve ark. (2010) ise arıtma çamurunun bitkinin P gereksinimini karşılaması yönünden yetersiz olduğunu bildirmişlerdir.

Arıtma çamurları değişik miktarlarda K, Ca, Mg ve Na da içermektedirler. Çamur uygulamaları ile topraklara bu bitki besin elementlerinin de verilmesi sağlanmış olmaktadır. Farklı arıtma çamurları uygulaması ile mısır bitkisinin K, Ca, Mg ve Na miktarları da artış göstermiştir. En fazla artış Buski arıtma çamuru uygulamalarından elde edilmiştir. Ancak K ve Na içeriği yüksek olana Mauri Maya arıtma çamuru uygulaması bitkilerin K ve Na içeriğini önemli düzeyde artırmıştır. Bu artışlar bitki yeterlilik sınır değerlerinde bulunmuştur (Jones ve ark.1991, Johnston ve ark. 2002). Çamur uygulamalarına bağlı olarak toprakların değişebilir katyon miktarının arttığı Perez-Espinosa (2000) ve Hussein (2009) tarafından bildirilmiştir. Bununla ilgili olarak arıtma çamuru uygulamaları sonucunda bitkilerin K, Ca, Mg ve Na içeriklerinin artış

gösterdiği çeşitli araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Tamoutsidis ve ark. 2002, Gasco ve Lobo 2007). Arıtma çamuru uygulamalarında önemle üzerinde durulması gereken bir nokta da toprakta bu bitki besin elementi dengesinin bozulmamasıdır (Rappaport ve ark. 1987). Bitkinin K, Ca ve Mg içeriğindeki değişimlerle ilgili olarak Bozkurt ve ark. (2006) arıtma çamuru uygulamasının bitkinin K, Ca ve Mg içeriği üzerine önemli etkide bulunmamasını toprakların yüksek Ca ve Mg içerikleri ile ilgili olduğunu belirtmişlerdir.

Artan miktarda farklı toprak serilerinde uygulanan arıtma çamurları mısır bitkisinin Fe içeriğini kontrol uygulamasına göre artırmıştır. Mısır bitkisinde Fe içeriği sadece kireç içeriği yüksek Görükle serisi toprakta Mauri Maya arıtma çamuru uygulamasında yeter sınırın altında ($50-250 \text{ mg kg}^{-1}$) bulunmuştur. Çiftlik serisinde ve çamur uygulamalarında bitki Fe içeriği sınır değerler arasında belirlenmiştir (Jones ve ark. 1991). Arıtma çamuru uygulamalarının bitkilerin Fe içeriklerini artırdığı araştırmacılar tarafından belirlenmiştir (Mohammad ve Athamneh 2004).

Farklı toprak serilerinde artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurları mısır bitkisinin Cu içeriğini kontrol uygulamasına göre artırmıştır. Mısır bitkisinin Cu içeriği tüm çamur uygulamalarında ve toprak serilerinde artış göstermiştir. Fe içeriğine benzer şekilde bu artışlar da yeter sınırlar arasındadır (Jones ve ark.1991, Johnston ve ark. 2002). Kabata ve Pendas (1992), bitkide Cu yeterlilik sınır değerini $5-30 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında olduğunu bildirmiştir. Antolin ve ark. (2005) arıtma çamuru uygulamalarının bitki Cu içeriğini artırdığını ancak Beckett ve Davis (1977) tarafından verilen sınır değerlerin ($14-25 \text{ mg kg}^{-1}$) altında olduğunu bildirmiştir. Bakır içeriği sırasıyla Buski, Mauri, İnegöl ve Penguen arıtma çamuru uygulamalarında artmıştır. Toprak özelliklerine göre ise en yüksek Cu içeriği Görükle serisinde belirlenmiştir. Mahdy ve ark. (2007) farklı özellikteki (kum, kil bünye, kireçli) topraklara %1, 2 ve 3 düzeylerinde uygulanan arıtma çamurunun toprakların ağır metal içerikleri ve bitki gelişimi üzerine etkisini araştırdıkları çalışmada Cu içeriğinde artış açısından killi, kireçli ve kumlu bünyeye sahip topraklar şeklinde belirlemişlerdir. Mendoza ve ark. (2006), toprak bünyesine bağlı olarak bitkinin Cu içeriğinin (killi tın< kumlu tın< tın) kontrol uygulamasına göre % 46-87 oranında arttığını bildirmişlerdir.

Artan miktarda farklı toprak serilerine uygulanan arıtma çamurları mısır bitkisinin Zn içeriğini kontrol uygulamasına göre artırmıştır. Mısır bitkisinin Zn içeriği tüm çamur uygulamalarında ve toprak serilerinde artış göstermiştir. Özellikle Buski arıtma çamurunun 16 ton da⁻¹ uygulaması mısır bitkisinin Zn içeriğini Görükle serisinde fazla (>60 mg kg⁻¹) düzeyde artırmıştır. Artışlar incelendiğinde özellikle Buski arıtma çamurunun 12 ve 16 ton da⁻¹ uygulamalarında Zn içeriği Wiedenhoeft ve Barton (1994) ve Kunelius ve Sanderson (1990) tarafından belirtilen (33-45 mg kg⁻¹) düzeyinin üzerinde (57,7-81,0 mg kg⁻¹) belirlenmiştir. Bununla birlikte Kabata ve Pendias (1992), bitkide Zn yeterlilik sınır değerini 27-150 mg kg⁻¹ arasında olduğunu bildirmiştir. Antolin ve ark. (2005) arıtma çamuru uygulamalarının bitki Zn içeriğini artırdığını ancak Beckett ve Davis (1977) tarafından verilen sınır değerlerin altında olduğunu bildirmiştir. Zn içeriği sırasıyla Buski, Penguen, İnegöl ve Mauri arıtma çamuru uygulamalarında artmıştır. Toprak özelliklerine göre ise en yüksek Zn içeriği Görükle serisinde belirlenmiştir. Mendoza ve ark. (2006) arıtma çamuru uygulaması ile toprağın DTPA ile ekstrakte edilebilir Zn içeriğinin artışına bağlı olarak bitkinin Zn içeriğinin 25 kat arttığını ancak bu artışın toprak bünyesine göre azaldığını bildirmiştir.

Artan miktarda farklı toprak serilerine uygulanan arıtma çamurları mısır bitkisinin Mn içeriğini kontrol uygulamasına göre tüm çamur uygulamalarında ve toprak serilerinde artış göstermiştir. Mn içeriğinde en fazla artışı Buski arıtma çamurunun 16 ton da⁻¹ uygulaması sağlamıştır. Bu artışlar Jones ve ark. (1991) tarafından belirtilen sınır değerler (20-300 mg kg⁻¹) arasındadır. Bitkilerde Mn içeriği yeterlilik sınır değerini Kabata ve Pendias (1992) 30-300 mg kg⁻¹ olarak bildirmiştir.

Artan miktarda farklı toprak serilerine uygulanan arıtma çamurları bitkisinin Cd içeriğini kontrol uygulamasına göre tüm çamur uygulamalarında ve toprak serilerinde artış göstermiştir. Özellikle Buski arıtma çamuru uygulaması bitkinin Cd içeriğini Görükle ve Çiftlik serilerinde fazla düzeyde artırmıştır. Gerek topraktaki gerekse bitkilerdeki artışlar Alloway ve Ayers (1997) tarafından bildirilen toksik sınır değerlerin (5-30 mg kg⁻¹) altında belirlenmiştir. Buna ek olarak Kabata ve Pendias (1992), bitkide Cd yeterlilik sınır değerini 0,05-0,2 mg kg⁻¹ arasında olduğunu bildirmiştir.

Artan miktarda farklı toprak serilerine uygulanan arıtma çamurları mısır bitkisinin Cr içeriğini kontrol uygulamasına göre artırmıştır. Ancak Mauri maya arıtma çamuru uygulamalarının 12 ve 16 ton da⁻¹ düzeyleri mısır bitkisinin Cr içeriğini önceki dozlara göre azaltmıştır. Çamur uygulamasına bağlı olarak meydana gelen değişimler sınır değerlerin altında (5-30 mg kg⁻¹) belirlenmiştir (Alloway ve Ayers 1997). Kabata ve Pendas (1992) ise bitkilerde Cr yeterlilik sınır değerini 0,1-0,5 mg kg⁻¹ arasında olduğunu bildirmiştir.

Artan miktarda farklı toprak serilerine uygulanan arıtma çamurları mısır bitkisinin Ni içeriği kontrol uygulamasına göre tüm çamur uygulamalarında ve toprak serilerinde artırmıştır. Özellikle Buski arıtma çamuru uygulaması ve Çiftlik toprak serisinde bu artış daha fazla düzeyde olmuştur. Mısır bitkisinde meydana gelen artış sınır değerlerin altında (10 mg kg⁻¹) belirlenmiştir (Alloway ve Ayers 1997). Kabata ve Pendas (1992) ise bitkilerde Ni yeterlilik sınır değerini 0,1-5 mg kg⁻¹ arasında olduğunu bildirmiştir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre ele alınan arıtma çamurlarının farklı düzeylerde N, P ve diğer bitki besin elementlerini içerdiği belirlenmiştir. Arıtma çamurları önemli düzeylerde yararlı besin elementlerini de içermektedir. En yüksek besin elementi içeriği kanalizasyon kökenli Buski arıtma çamurlarında belirlenmiştir. Ancak kanalizasyon kökenli arıtma çamurlarının bileşenlerinin çok değişken olabileceği, patojen mikroorganizma ve hastalık yapıcı etmenleri bünyesinde daha fazla bulundurabileceği unutulmamalıdır. Bu durumda özellikle gıda üretimi yapan fabrikaların arıtma çamurlarının da değerlendirilmesi üzerinde durulması gerekmektedir. BTO ve Yenice Belediyesi arıtma çamurları haricinde diğer çamurların topraklara uygulanmasına yönelik olarak belirtilen ağır metal sınır değerleri aşmadığı belirlenmiştir. Ağır metallerin DTPA ile ekstrakte edilebilir miktarları incelendiğinde çamur özelliklerine ve zamana bağlı olarak bu miktarların da değişim gösterdiği belirlenmiştir. Çamurların topraklara uygulanması aşamasında alınabilir formdaki ağır metallerin de belirlenmesinde fayda bulunmaktadır.

Arıtma çamurlarının toprak özelliklerine bağlı olarak başta pH ve tuzluluk değeri olmak üzere toprak özelliklerini önemli düzeyde etkilediği belirlenmiştir. Bu etki pH değerini düşürmesi yönünde olmuştur. Bu nokta özellikle bitki besin elementlerinin yararlılığını etkilediği gibi kimi ağır metallerinde yararlılığını artırmaktadır. Bu nedenle çamur uygulamalarında toprakta meydana gelen pH değişimlerinin, özellikle ağır metallerin hangi düzeylerde yararlılığa geçtiği takip edilmelidir. Bu durum hem bitki alımı hemde yer altı su kaynaklarına bulaşma riski açısından önem taşımaktadır. Çamur uygulamalarının toprak tuzluluğu üzerine etkileri toprak ve çamur özelliklerine bağlı olarak farklı düzeylerde olmuştur. Çamur uygulamaları ile toprak EC değerleri artmış ve bitki gelişimini sınırlandıran düzeylere ulaşmıştır. Bu nedenle çamur uygulamalarında toprak tuzluluğundaki artış dikkate alınmalıdır.

Arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı olarak topraklara uygulanması düşünüldüğünde elde olunan sonuçlara dayanılarak, ilk olarak değerlendirilmesi düşünülen arıtma çamurunun uzun süreli ve dönemsel olarak kimyasal ve biyolojik karakterizasyonun belirlenmesi gerekmektedir. Özellikle çamurun içermiş olduğu toplam miktardan daha çok alınabilir veya değişebilir formda bulunan ağır metallerin miktarlarının da

belirlenmesi gerekmektedir. Bu konu ile ilgili çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bu çamurların toprağa uygulanması aşamasında ele alınması gereken diğer önemli faktör ise; özellik koku ve diğer zararlı patojenlerin giderimi veya azaltılmasıdır. Bu noktada mutlaka çamurların belli bir stabilizasyon yöntemi kullanılarak bu olumsuz özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir.

Arıtma çamuru uygulamaları bitki gelişimi üzerine olumlu etkide bulunmuştur. Ancak yüksek uygulama düzeyleri ise her iki toprakta da bitki gelişimi üzerine olumsuz etkide bulunmuştur. Artan uygulama düzeylerine bağlı olarak bitki besin elementi içeriği yanısıra kimi ağır metal içerikleri de artış göstermiştir. Ancak bu artışlar toksik sınır değerlere ulaşmamıştır. Ancak arıtma çamur uygulamalarında ağır metallerin bitkide birikim oranı, hangi organda biriktiği (kök, gövde, yaprak, meyve vb) ve en son ürüne taşınma miktarı belirlenmelidir.

Arıtma çamuru uygulama düzeyleri, çamur ve toprak özellikleri dikkate alındığında 4-8 ton da⁻¹ uygulama düzeyleri en uygun miktarlar olarak görülmektedir. Ancak en uygun uygulama düzeyinin belirlenmesinde bitki gelişiminin artması yanı sıra çamur özelliklerine bağlı olarak bitki ağır metal içeriklerindeki artış da göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca çamur uygulanacak toprakların, çamurun olumsuz özelliklerini tamponlama kapasitesine sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle ülkemiz koşullarında bitki gelişimini sınırlandırıcı faktörler içeren sorunlu topraklara (yüksek pH, fazla kireç, kil bünye vb) uygulanması ve en uygun uygulanma düzeyinin belirlenmesine yönelik olarak uzun süreli araştırmaların yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda arıtma çamurlarının toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkisinin mutlaka uzun süreli olarak farklı ekolojik koşullarda tarla denemeleri ile belirlenmesi ve izlenmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Afyuni, M., Rezaeinejad, Y., Schulin, R. 2006.** Extractability and plant uptake of Cu, Zn, Pb and Cd from a sludge-amended Haplargid in Central Iran. *Arid Land Research and Management*, 20: 29-41.
- Ahmed, H.K., Fawy, H.A., Hady, E.S.A. 2010.** Study of sewage sludge use in agriculture and its effect on plant and soil. *Agric. Biol. J. N. Am.*, 1(5): 1044-1049.
- Alonso, E., Villar, P., Santos, A., Aparicio, I. 2006.** Fractionation of heavy metals in sludge from anaerobic wastewater stabilization ponds in southern Spain, *Waste Management*, 26: 1270-1276.
- Alloway, B.J., Ayers, D.C. 1997.** *Chemical Principles of Environmental Pollution*, 2nded. Chapman and Hall Inc. London, UK. pp: 208-211.
- Alpaslan, M., Güneş, A., İnal, A. 1998.** Deneme tekniği. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:1502, Ders Kitabı: 455, Ankara, 437 s.
- Andersson, A. 1983.** Composted municipal refuse as fertilizer and soil conditioner. Effects on the contents of heavy metals in soil and plant, as compared to sewage sludge, manure and commercial fertilizers. In: S. Berglund, Editor, *Utilization of Sewage Sludge on Land: Rates of Application and Long-term Effects of Metals*, D. Reidel, Boston, MA pp: 146-156.
- Anonim. 1989.** United Kingdom Regulations, Statutory Instrument 1989 No. 1263 Sludge (Use in Agriculture) Regulations. MAFF, HMSO, London, 15–27.
- Anonim. 1992.** Wastewater treatment and use in agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 47, Ed: Pescod, M.B., Rome, 125 pp.
- Anonim. 1997.** Permissible Utilisation and Disposal of Sewage Sludge, Edition, Water Research Commission P O BOX 824 Pretoria, 83 pp.
- Anonim. 1998.** Standard methods for examination of water and wastewater. APHA American Public Health Association 20th ed., Ed: Clesceri, L.S., Greenberg, A.E., Eaton, A.D., Washington, DC, part: 3.
- Anonim. 2001a.** Disposal and recycling routes for sewage sludge, Part 2 regulatory report, Office for Official Publications of the European Communities.
- Anonim. 2001b.** Disposal and recycling routes fro sewage sludge Part 3 Scientific and Technical Report European Commission DG Environment.
- Anonim. 2001c.** Commission Regulation (EC) 466/2001. Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *Official Journal of the European Communities*, 77 pp.

Anonim. 2002a. Biosolids Applied to Land: Advancing Standards and Practices (Prepublication Copy), Washington, D.C. National Academy Press. 346 pp.

Anonim. 2002b. Polish legislation Dz, U. Nr 134, poz. 1140 z dnia 27 sierpnia. Rozporz_ adzenie Ministra ´ Srodowiskaw sprawie komunalnych osad´ow ´sciekowych; Poland.

Anonim. 2004a. OECD Environmental Data. Working Group on Environmental Information and Outlooks, 46 pp.

Anonim. 2004b. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Çevre İstatistikleri, Ankara.

Anonim. 2007. A National Biosolids Regulation, Quality, and Use and Disposal Survey, North East Biosolid and Resudial Association, Final Report, 34 pp.

Anonim. 2010. Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik. Resmi Gazete, sayı: 27661.

Antolin, M.C., Pascaul, I., Garcia, C., Polo, A., Sanchez-Diaz, M. 2005. Growth, yield and solute content of barley in soils treated with sewage sludge under semiarid mediterranean conditions. *Field Crops Res.*, 94: 224-237.

Aşık, B.B., Katkat, A.V. 2004. Gıda sanayi arıtma tesisi atığının (arıtma çamuru) tarımsal alanlarda kullanım olanakları. *Uludag.Üniv.Zir.Fak.Dergisi*, 18 (2): 59-71.
Barriquelo, M., J. Marines, M. Silva and E. Lenzi,

Barriquelo, M., Marines, J., Silva, M., Lenzi, E. 2003. Lead behavior in soil treated with contaminated sewage sludge and cultivated with Maize. *Brazilian J. Archives of Biology and Technology*, 46 (4): 499-505.

Bastian, R.K. 1997. Biosloids (sludge) treatment, beneficial use, and disposal situation in the USA. *European Water Pollution Control*, 7 (2): 62-80.

Beckett, P.H.T., Davis, R.D. 1977. Upper critical levels of toxic elements in plants. *New Phytol.*, 79: 95-106.

Bennett, W.F. 1996. Nutrient Deficiencies and Toxicities in Crop Plants, The American Phytopathological Society St. Paul, Minnesota, 202 pp.

Bertoncini, E.I., Mattiazzo, M.E., Rosetto, R. 2004. Sugarcane yield and heavy metal availability in two biosolid-amended oxisols. *Journal of Plant Nutrition*, 27 (7): 1243-1260.

Bertoncini, E.I., D’Orazio, V., Senesi, N., Maattiazzo, M.E. 2008. Effects of sewage sludge amendment on the properties of two Brazilian oxisols and their humic acids. *Bioresource Technology*, 99: 4972-4979.

Bilgin, N., Eyüpoğlu, H., Üstün, H. 2002. Biyokatıların arazide kullanımı. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü, 74 s.

Bouyoucos, G.J. 1951. A recalibration of the hydrometer for making mechanical analysis of soil. *Agronomy Journal*, 43: 434-437.

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 conditions. *Turk J Agric. Forestry*, 27: 285-292.

Bozkurt, M.A., Akdeniz, H., Keskin, B., Yılmaz, I.H. 2006. Possibilities of using sewage sludge as nitrogen fertilizer for maize. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, 56: 143-149.

Bremner, J.M. 1965. Total Nitrogen. *Methods of Soil Analysis, Part 2*. Ed.C.A. Black. American Soc. Ag. Inc. Pub. Agronomy Series, No.9, Madison, Wisconsin, USA. pp: 1149-1178.

Bustamante, M.A., Moral, R., Paredes, C., Perez-Espinosa, A., Moreno-Caselles, J., Perez-Murcia, M.D. 2008. Agrochemical characterisation of the solid by-products and residues from the winery and distillery industry. *Waste Management*, 28, 372-380.

Charta, T.H., Hayat, R., Latif, I. 2002. Influence of sewage sludge and organic manures application on wheat yield and heavy metal availability. *Asian Journal of Plant Science*, 1 (2): 79-81.

Chaussod, R., Germon, J.C. 1977. Mineralisation dans le sol de l'azote de différentes boues de stations d'épuration. *Premiers observations*. C.R. Acad. Agric. de France 8: 525-531.

Conte Suarez, P., Seoane, S., Lopez Mosquero, E., Solla-Gullon, F., Merino, A. 2004. Dairy industry sewage sludge as a fertilizer for an acid soil: a laboratory experiment with *Lolium multiflorum* L. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2 (3), 419-427.

Dai, J., Chen, L., Zhao, J., Ma, N. 2006. Characteristics of sewage sludge and distribution of heavy metal in plants with amendment of sewage sludge. *Journal of Environmental Sciences*, 18 (6): 1094-1100.

Dolgen, D., Alpaslan, M.N., Delen, N. 2004. Use of an agro-industry treatment plant sludge on iceberg lettuce growth. *Ecological Engineering*, 23: 117-125.

Dolgen, D., Alpaslan, M.N., Delen, N. 2007. Agricultural recycling of treatment-plant sludge: A case study for a vegetable-processing factory. *Journal of Environmental Management*, 84: 274-281.

Dursun, A., Türkmen, Ö., Turan, M., Şensoy, S., Çırka, M. 2005. Effects of sewage sludge on the seed emergence, development and mineral contents of pepper (*Capsicum Annum*) seedling. *Asian Journal of Plant Science*, 4 (3): 299-304.

EEC Directive. 1986. Directive 86/278/EEC of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture, *Official Journal of the European Communities L.*, Vol. 181, pp. 0006-0012, Brussels.

Efstathios, T., Papadopoulos, I., Tokatlidis, I., Zotis, S., Mavropoulos, T. 2002. Wet sewage sludge application effect on soil properties and element content of leaf and root vegetables. *Journal of Plant Nutrition*, 25 (9): 1941-1955.

Elliott, H.A., Dempsey, B.A., Maille, P.J. 1990. Content and fractionation of heavy metals in water treatment sludges. *J Environ Qual.*, 19: 330-340.

EN 12880. Chemical Analyses- Determination of dry matter and water content on a mass basis in sediment, sludge, soil and waste-Gravimetric method.

Espinoza, A.P., Caselles, J.M., Moral, R., Murcia, M.D.P., Gomez, I. 2000. Effects of sewage sludge application on salinity and physico-chemical properties of a calcareous soil. *Archives of agronomy and Soil Science*. 45 (1): 51-56.

Evans, T.D. 2001. An update on developments in regulations affecting biosolids in the European Union. *Proceedings WEF/AWWA/CWEA Joint Residuals and Biosolids Management Conference*, Feb 21–24, San Diego, California.

Filibeli, A. 1998. Arıtma Çamurlarının İşlenmesi. D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi, İzmir.

Fuentes, A., Lorens, M., Saez, J., Soler, A., Aguilar, M.I., Ortuno, J.F., Meseguer, V.F. 2004. Simple and sequential extractions of heavy metals from different sewage sludges, *Chemosphere*, 54: 1039-1047.

Garcia-Delgado, M., Rodríguez-Cruz, M.S., Lorenzo L.F., Arienzo M., Sánchez-Martín, M.J. 2007. Seasonal and time variability of heavy metal content and of its chemical forms in sewage sludges from different wastewater treatment plants. *Science of the Total Environment*, 382: 82-92.

Gasco, G., Lobo, M.C. 2007. Composition of a Spanish sewage sludge and effects on treated soil and olive trees. *Waste Management*, 27: 1494-1500.

Gilmour, J.T., Skinner, V. 1999. Predicting plant available nitrogen in land-applied biosolids. *Journal of Environmental Quality*, 28: 1122-1126.

Gibson J.J., Farmer J.C. 1986. Multi-step sequential chemical extraction of heavy metals from urban soils. *Environ Pollut Ser B*, (11):117-135.

Hampton, M.O., Stansly, P.A., Obreza, T.A. 2005. Heavy metal accumulation in a sandy soil and in pepper fruit following long-term application of organic amendments. *Compost Science and Utilization*, 13 (1): 60-64.

Hanay, Ö., Hasar, H. 2007. Kayseri ili atıksu arıtma tesisi çamurlarının tarımsal amaçlı kullanım potansiyeli. *Fırat Üni. Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, 19 (3): 333-337.

Harrison, E.Z., McBride, M.B., Bouldin, B.R. 1999. Land application of sewage sludges: an appraisal of the US regulations. *International Journal of Environment and Pollution*, 11(1): 1-36.

He, Q.B., Singh, B.R. 1993. Effect of organic matter on the distribution, extractability and uptake of cadmium in soils. *J. Soil Sci.*, 44, 641-650.

Heras, J., Manas, P., Labrador, J. 2005. Effect of several applications of digested sewage sludge on soil and plants. *Journal of Environmental Science and Health*, A40: 437-451.

Hernandez, T., Moral, R., Perez-Espinosa, A., Moreno-Caselles, J., Perez-Murcia, M.D., Garcia, C. 2002. Nitrogen mineralisation potential in calcareous soils amended with sewage sludge. *Bioresource Technology*, 83: 213-219.

Hooda, P.S., Alloway, B.J. 1993. Effects of time and temperature on the bioavailability of Cd and Pb from sludge amended soils. *J. Soil Sci.* 44: 97-110.

Horneck, D.A., Hanson, D. 1998. Determination of Potassium and Sodium by Flame Emission Spectrophotometry, In: Karla, Y.P (Ed) *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis*, CRC Pres, Washington, D.C. pp:157-164.

Hosseinpour, A., Pashamokhtari, H. 2008. Impact of treated sewage sludge application on phosphorus release kinetics in some calcareous soils. *Environ. Geol.*, 55:1015-1021.

Hua, L., Wu, W.X., Liu, Y.X., Tientchen, C.M., Chen, Y.X. 2008. Heavy metals and PAH's in sewage sludge from twelve wastewater treatment plants in Zhejiang Province, *Biomedical and Environmental Science*, 21, 345-3525.

Hussein, A.H.A. 2009. Impact of sewage sludge as organic manure on some soil properties, growth, yield and nutrient content of cucumber crop. *Journal of Applied Science*, 9 (8): 1401-1411.

Iranpour, R., Cox, H.H.J., Kearney, R.J., Clark, H.J., Pincince, A.B., Daigger, G.T. 2004. Regulations for biosolids land application in U.S. and European Union. *Journal of Residuals Science and Technology*, 1 (4): 209-222.

Isaac, A.R., Johnson, W.C. 1998. Elemental Determination by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry, In: Karla, Y.P (Ed) *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis*, CRC Pres, Washington, D.C. pp:165-170.

- Islam, M.M., Halim, M.A., Saiful Islam, M., Safiqul Islam, M., Biswas, C.K. 2009.** Analysis the plant nutrients and organic matter in textile sludge in Gazipur, Bangladesh. *Journal of Environmental Techonology*, 2 (1): 63-67.
- Johanson, M., Stenberg, B., Torstensson, L. 1999.** Microbiological and chemical changes in two arable soils after long-term sludge amendmets. *Bio. Fertil. Soils*, 30: 160-167.
- Johnston, A.M. Jhonson, E.N., Kirkland, K.J., Stevenson, F.C. 2002.** Nitrogen fertilizer placement for fall and spring sedded *Brassica napus* canola. *Can. J. Plant Science*, 82:15-20.
- Jones, J.R., Wolf, B., Mills, H.A. 1991.** Plant analysis handbook. MicroMacro Publishing, Inc. 213 pp.
- Jones, J.B. 2001.** Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis. CRC Pres, Washington, D.C. pp:115-119.
- Juárez, M., Sánchez-Andreu, J., Mataix, J. 1987.** Interés agrícola de lodos de depuradoras de aguas residuales. *Anal. Edafol. Agrobiol.*, 46 (1-2): 211-228.
- Kabata, A., Pendias, A. H. 1992.** Trace elements in soils and plants, CRC Press Inc., Florida, 365 pp.
- Kacar, B. 1994.** Toprak analizleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları No: 3, Ankara, 705 s.
- Kacar, B., İnal, A. 2008.** Bitki analizleri. Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 891 s.
- Karami, M., Afyuni, M., Rezainejad, Y., Schulin, R. 2009.** Heavy metal uptake by wheat from a sewage sludge-amended calcareous soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 83 (1): 51-61.
- Kelley, W.D., Martens, D. C., Reneau, R. B., Simpson, T.W. 1984.** Agricultural Use of Sewage Sludge: A Literature Review. Bulletin 143. A publication of Virginia Water Resources Research Center Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg, Virginia.
- Keskin, B., Bozkurt, M.A., Akdeniz, H. 2010.** The effects of sewage sludge and nitrogen fertilizer application on nutrient and heavy metal concentration of soil and smooth brome grass (*Bromus inermis* Leyss.). *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9 (5): 896-902.
- Khoshgoftarmanesh, A.H., Kalbasi, M. 2002.** Effect of municipal waste leachate on soil properties and growth and yield of rice. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 33(13,14): 2011-2020.

- Kidd, P.S., Dominguez-Rodriguez, M.J., Diez, J., Monterroso, C. 2007.** Bioavailability and plant accumulation of heavy metals and phosphorus in agricultural soils amended by long-term application of sewage sludge. *Chemosphere*, 66: 1458-1467.
- Kocaer, F.O., Kemiksiz, A., Başkaya, H.S. 2003.** Arıtma çamuru uygulanmış bir topraktaki organik azotun mineralizasyonu üzerine bir araştırma. *Ekoloji*, 12 (46):12-16.
- Korboulewsky, N., Dupouyet, S., Bonin, G. 2002.** Environmental risk of applying sewage sludge compost to vineyards: carbon, heavy metals, nitrogen and phosphorus accumulation. *J. Environ. Qual.*, 31: 1522-1527.
- Krogmann, U., Chiang, H.N.C. 2002.** Selected nutrients and heavy metals in sewage sludge from New Jersey POTWs. *Journal of the American Water Resources Association*, 38 (3): 681-691.
- Kunelius, H.T., Sanderson, J.B. 1990.** Effect of harvest dates on yield and composition of forage rape, strubble turnips and forage radish, *Appl. Agric. Res.*, 5: 159-163.
- Küçükhemek, M., Gür, K., Berktaş, A. 2006.** Evsel Karakterli Atıksu Arıtma Çamurlarının Çim Bitkisi Ağır Metal (Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Pb, Cd) İçeriği Üzerine Etkisi. *S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Derg.*, 21(3 -4): 1-12.
- Kütük, C., Çaycı, G., Baran, A., Başkan, O. 2000.** Bira fabrikası atıklarının tarımsal amaçlı kullanım olanaklarının belirlenmesi. Ankara Üniversitesi Araştırma Fonu Projesi Kesin Raporu, 98-11-10-01, Ankara.
- Lake, D.L. 1987.** Chemical speciation of heavy metals in sewage sludge and related matrices. In: Lester, J.N. (Ed.), *Heavy Metals in Wastewater and Sludge Treatment Process*. CRC Press Inc., Boca Raton, USA, pp:15-40.
- Laternus, F., von Arnold, K., Gron, C. 2007.** Organic contaminants from sewage sludge applied to agricultural soils. *Env. Sci. Pollut. Res.*, 1: 53-60.
- Lindsay, W.L., Norwell, W.A. 1978.** Development of a DTPA soil test for Zn, Fe, Mn and Cu. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42: 421-428.
- Lopez-Mosquera, M.E., Moiron, C., Seoane, S. 2002.** Change in chemical properties of an acid soil after application of dairy sludge. *Invest. Agro. Prod. Prot. Veg.*, 17 (1): 78-86.
- Lopez-Tercero, A.M., Andrade, M.L., Marcet, P. 2005.** Organic nitrogen mineralization rate in sewage sludge-amended mine soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36 (7-8): 1005-1019.
- Lott, W.L., Gallo, J.P., Meaff, J.C. 1956.** Leaf Analysis Technique in Coffe Research, *Ibec. Research Inc.* 1-9: 21-24.

Lu, A., Zhang, S., Shan, X. 2005. Time effect on the fractionation of heavy metals in soils. *Geoderma*, 125: 225-234.

Mahdy, A.M., Elkhatib, E.A., Fathi, N.O. 2007. Cadmium, copper, nickel, and lead availability in biosolids-amended alkaline soils. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 1(4): 354-363.

Mathews, P. 2001. Agricultural and Other Land Uses. *Sludge into Biosolid, Processing, Disposal and Utilization*, UK. pp: 43-73.

McBride, M.B. 1995. Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: Are USEPA Regulations Protective?, *J. Environ. Qual.*, 24:5-18.

Mclean, E.O. 1982. Soil pH and Lime Requirement. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, Ed.A.L. Page. American Soc. Ag. Inc. Pub. Agronomy Series, No.9, Madison, Wisconsin, USA. pp: 199-223.

Mendoza, J., Garrido, T., Castillo, G., Martin, N.S. 2006. Metal availability and uptake by sorghum plants grown in soils amended with sludge from different treatments. *Chemosphere*, 65: 2304-2312.

Mohammad, M. J., Athamneh, B. M. 2004. Changes in soil fertility and plant uptake of nutrients and heavy metals in response to sewage sludge application to calcareous soils. *Journal of Agronomy*, 3 (3): 229-236.

Moral, R., Caselles, J.M., Murcia, M.P., Espinosa, A.P. 2002. Improving the micronutrient availability in calcareous soils by sewage sludge amendment. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33 (15-18): 3015-3022.

Moreno, J.L., Garcia, C., Hernandez, T., Ayuso, M. 1997. Application of composted sewage sludges contaminated with heavy metals to an agricultural soil: effect on lettuce growth. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 4: 565-573.

Morera, M.T., Echeverria, J., Garrido, J. 2002. Bioavailability of heavy metals in soils amended with sewage sludge. *Can J Soil Sci.*, 82: 433-438.

Muchuweti, M., Birkett, J.W., Chinyanga, E., Zvauya, R., Scrimshaw, M.D., Lester, J.N. 2006. Heavy metal content of vegetables irrigated with mixtures of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: Implications for human health. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 112: 41-48.

Mullen, R.W., Raun, W.R., Basta, N.T., Schroder, J.L., Freeman, K.W. 2005. Effect of long-term application of biosolids on molybdenum content and quality of winter wheat forage. *Journal of Plant Nutrition*, 28: 405-420.

Munn, K.J., Evans, J., Chalk, P.M. 2000. Mineralization of soil and legume nitrogen in soils treated with metal contaminated sewage sludge. *Soil Biology and Biochemistry*, 32: 2031-2043.

N'dayegamiye, A. 2006. Mixed paper mill sludge effects on corn yield, nitrogen efficiency, and soil properties. *Agron. J.*, 98:1471-1478.

Nelson, R.E. 1982. Carbonate and Gypsum. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, Ed: A.L. Page. American Soc. Ag. Inc. Pub. Agronomy Series, No.9, Madison, Wisconsin, USA. pp: 181-196.

Nelson, D.W., Sommers, L. 1982. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Monograph No.9 (2 nd Ed.)* ASA-SSSA, Madison, Wisconsin, USA. pp: 539-579.

Nilsson, S.I., Jhonson, L., Jennische, P. 2005a. "Sludge, Treated Biowaste and Soil-Determination of pH", A horizontal Standard for pH measurement-The influence on pH measurements of sample pretreatment, ionic composition/ionic strength of the extractant and centrifugation/filtration. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.

Nilsson, S.I., Jhonson, L., Jennische, P. 2005b. "Sludge, Treated Biowaste and Soil-Determination of Specific Electrical Conductivity", Desk study to assess the feasibility of a draft horizontal standard for electrical conductivity. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.

Olajire, A.A., Oluyemi, E.A., Ayodele, E.T., Fawole, O.O. 2005. Characterization of trace metal leachability from highway construction solid waste using the toxicity characteristic leaching procedure. *International Journal of Environmental Health Research*, 15 (2): 151-158.

Oleszczuk, P. 2006. Characterization of polish sewage sludges with respect to fertility and suitability for land application. *Journal of Environmental Science and Health, Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 41:1197-1215.

Oliveira, K.W., Melo, W.J., Pereira, G.T., Melo, V.P., Melo, G.M.P. 2005. Heavy metals in oxisols amended with biosolids and cropped with maize in a long-term experiment. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, 62 (4): 381-388.

Ortiz, O., Alcaniz, J.M. 2006. Bioaccumulation of heavy metals in *Dactylis glomerata* L. growing in a calcareous soil amended with sewage sludge. *Bioresource Technology*, 97: 545-552.

Oud, S.S.A. 2008. Impact of municipal and industrial waste on the distribution and accumulation of some heavy metals in sandy soils of Al-Qassim region at Central of Saudi Arabia. *Journal of Environmental Science and Technology*, 1 (3): 135-142.

Öbek, E., Tatar, Ş.Y., Hasar, H., Arslan, E.I., 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.

Özgülven, N.Ç., Katkat, A.V. 2001. Mis süt sanayi arıtma tesisi atığının tarımda kullanılma olanakları. *U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15: 139-149.

Özsoy, G. 2001. Uludağ Üniversitesi Kampus alanı Topraklarının Genesisi ve Sınıflandırılması. U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Bursa.

Özsoy, G., Dilek, F.B., Sanin, F.D. 2006. An investigation of agricultural use potential of wastewater sludges in Turkey-case of heavy metals. *Water Science and Technology*, 54 (5): 155-161.

Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. 1982. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, American Soc. Ag. Inc. Pub. Agronomy Series, No.9, Madison, Wisconsin, USA. 1173 pp.

Papafilippaki, A., Gasparatos, D., Haidouti, C., Stavroulakis, G. 2007. Total and bioavailable forms of Cu, Zn, Pb and Cr in agricultural soils: a study from the hydrological basin of Keritis, Chania, Greece. *Global Nest Journal*, 9 (3): 201-206.

Parkpian, P., Leong, S.T., Laortanakul, P., Torotoro, J.L. 2002. Influence of salinity and acidity on bioavailability of sludge-borne heavymetals. a case study of Bangkok municipal sludge. *Water, Air, and Soil Pollution*, 139: 43-60.

Peârez-Cid, B., Lavilla, I., Bendicho, C. 1999. Application of microwave extraction for partitioning of heavy metals in sewage sludge. *Analytica Chimica Acta*, 378: 201-210.

Peckenham, J.M. 2005. The Use of Biosolids in Maine: A Review. *Biosolids White Paper March*, 72 pp.

Perez-Espinosa, A., Moreno-Caselles, J., Moral, R., Perez-Murcia, M.D., Gomez, I. 2000. Effects of sewage sludge application on salinity and physico-chemical properties of a calcareous soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 45 (1): 51-56.

Perez-Garcia, V., Iglesias, J., Falcon, M.F. 1986. The agronomic value of the sewage sludge of Tenerife. physico-chemical characteristics of the refuse-sludge compost and related products. *Agricultural Wastes*, 17: 141-152.

Petersen, O.S., Peterseni, J., Rubaek, G.H. 2003. Dynamics and plant uptake of nitrogen and phosphorus in soil amended with sewage sludge. *Applied Soil Ecology*, 24: 187-195.

Planquart, P., Bonin, G., Prone, A., Massiani, C. 1999. Distribution, movement and plant availability of trace metals in soils amended with sewage sludge composts: application to low metal loadings. *Science of the Total Environment*, 241: 161-179.

Pu, G., Bell, M., Barry, G., Want, P. 2004. Effects of applied biosolids on forage sorghum production and soil major nutrient status in an alluvial clay loam soil in southeast Queensland, Australia. *SuperSoil 2004: 3rd Australian New Zealand Soils Conference*, 5-9 December 2004, University of Sydney, Australia.

Rappaport, B.D., Scott, J.D., Martens, D.C., Reneau, R.B., Simpson, T.V. 1987. availability and distribution of heavy metals, nitrogen, and phosphorus from sewage sludge in the plant-soil-water continuum. Virginia Polytechnic Institute and State University. Department of Agronomy. Bulletin 154, Blacksburg. 78 pp.

Rate, A.W., Lee, K.M., French, P.A. 2004. Application of biosolids in mineral sands mine rehabilitation : use of stockpiled topsoil decreases trace element uptake by plants. *Bioresource Technology*, 91: 223-231.

Rhoades, J.D. 1982. Soluble Salts. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, Ed.A.L. Page. American Soc. Ag. Inc. Pub. Agronomy Series, No.9, Madison, Wisconsin, USA. pp: 167-178.

Robarge, W.P., Edwards, A., Johnson, B. 1983. Water and waste water analysis for nitrate via nitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 14: 1207-1215.

Rosenani, A.B., Kala, D.R., Fauziah, C.I. 2004. Characterization of Malaysian sewage sludge and nitrogen mineralization in three soils treated with sewage sludge, 3. Australian New Zealand Soils Conference. 5-9 December 2004. University of Sydney, Australia.

Rundle, H, Calcroff, M, Holt, C. 1982. Agricultural disposal of sludges on a historic sludge disposal site. *Water Pollut Control (Maidstone)* 81:619-632.

Saviozzi, A., Biasci, A., Riffaldi, R., Levi-Minzi, R. 1999. Long-term effects of farmyard manure and sewage sludge on some soil biochemical characteristics. *Bio. Fertil. Soils*, 30: 100-106.

Serna, M.D., Pomares, F. 1992. Nitrogen mineralization of sludge-amended soil. *Bioresource Technology*, 39 (3): 285-290.

Seyhan, D., Erdinçler, A. 2003. Plant availability of heavy metals and phosphorus in the agricultural reuse of biological sludges. *Journal of Environmental Science and Health, Part A-Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 38 (10): 2413-2423.

Singh, R.P., Agrawal, M. 2007. Effects of sewage sludge amendment on heavy metal accumulation and consequent responses of *Beta vulgaris* plants. *Chemosphere*, 67 (11): 2229-2240.

Smith, S.R. 2009. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. *Environment International*, 35: 142-156.

Soil Survey Staff. 1951. Soil survey manual. U.S. Dep. Agric. Handbk. No. 18. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 503 pp.

Solorzano, L. 1969. Determination of ammonia in natural waters by phenol hypochlorite method. *Limnol. Oceanogr.*, 14: 799-801.

Sommers, L.E. 1977. Chemical Composition of sewage sludges and analysis of their potential as fertilizers. *J. Environ. Quality*, 6: 225-239.

Sommers, L.E., Nelson, D.W., Spies, C.D. 1980. Use of sewage sludge in crop production. AY-240. Purdue University Cooperative Extension service. West Lafayette, Ind. Terry.

Soumare, M., Demeyer, A., Tack, F.M.G., Verloo, M.G. 2002. Chemical characteristics of Malian and Belgian solid waste composts. *Bioresource Technology*, 81: 97-101.

Su, D.C., Wong J.W.C. 2003. Chemical speciation and phytoavailability of Zn, Cu, Ni and Cd in soil amended with fly ash-stabilized sewage sludge. *Environ Int.*, 1060: 1-6.

Sui, Y., Thompson, M.L. 2000. Phosphorus sorption, desorption and buffering capacity in a biosolids-amended Mollisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64:164-169.

Speir, T., Van Schaik, A., Percival, H., and others. 2003. Heavy metals in soil, plants and groundwater following high-rate sewage sludge application to land. *Water, Air, and Soil Pollution*, 150: 319-358.

Spinosa, L. 1997. Sludge treatment and disposal, management approaches and experiences, Environmental Issues Series No. 7, European Environment Agency, Denmark, 54 pp.

Spinosa, L., Vesilind, P.A. 2001. Sludge into Biosolid, processing, disposal and utilization, IWA Publishing, UK, 393 pp.

Tamoutsidis, E., Papadopoulos, I., Tokalidis, I., Zotis, S., Mavropoulos, T. 2002. Wet sewage sludge application effect on soil properties and element content of leaf and root vegetables. *Journal of Plant Nutrition*, 25(9):1941-1955.

TARİST. 1994. General Statistic Version 4.01 Dos. Egean Forestry Research Institute Egean Univ. Agricultural Faculty, İzmir, Turkey.

Tessier, A., Campbell, P.G.C., Bisson, M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.*, 51: 844-851.

Thomas, G.W. 1982. Exchangeable Cations. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, Ed.A.L. Page. American Soc. Ag. Inc. Pub. Agronomy Series, No.9, Madison, Wisconsin, USA. (1982), pp: 159-164.

Togay, N., Togay, Y., Doğan, Y. 2008. Effects of municipal sewage sludge doses on the yield, some yield components and heavy metal concentration of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *African Journal of Biotechnology*, 7 (17): 3026-3030.

Topaç, F.O., Başkaya, H.S. 2008. Eysel nitelikli arıtma çamurlarının bitki besin düzeylerinin değerlendirilmesinde azot formlarının önemi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 13 (1): 59-66.

Topper, K.F., Sabey, B.R. 1986. Sewage sludge as a coal mine spoil amendment for revegetation in Colorado. Journal of Environmental Quality, 15: 44-49.

Türkmen, Ö., Sensoy, S., Dursun, A. Turan, M. 2004. sewage sludge as a substitute for mineral fertilization of spinach (*Spinicia oleraceae* L.) at two growing periods. Acta Agric. Scand., Sect.B, Soil and Plant Sci., 54:102-107.

Ure, A.M., Quevauviller, P.H., Muntau, H., Griepink, B. 1993. Speciation of heavy metals in soils and sediments. An account of the improvement and harmonization of extraction techniques undertaken under the auspices of the BCR of the Commission of European Communities. Int. J. Environ. Anal. Chem., 51: 135-151.

US EPA. 1993. 40 CFR Part 503: The standards for the use or disposal of sewage sludge, Federal Register. 58: 9248-9404.

US EPA. 1995. Test methods for evaluating solid waste, physical/chemical methods. SW-846. 3rd Ed. U.S. Gov. Print. Office, Washington D.C.

US EPA. 1996. Land Application of Biosolids, Process Design Manuel, U.S. Environmental Protection Agency. Center for Environmental Research Information, 625/1-96-011, Cincinnati, Ohio.

Ünal, M., Katkat, A.V. 2009. The effects of food industry sludge on soil properties and growing of maize (*Zea mays* L.). Journal of Food, Agriculture and Environment, 7 (2): 435-440.

Vieira, R.F. 2001. Sewage sludge effects on soybean growth and nitrogen fixation. Biol. Fertil. Soils, 34, 196-200.

Walter, I., Martinez, F., Alonso, L., De Gracia, J., Guevas, G. 2002. Extractable soil heavy metals following the cessation of biosolids application to agricultural soil. Environ. Pollut., 17: 315-321.

Walter, I., Martinez, F., Cuevas, G. 2006. Biosolid amendment of a calcareous, degraded soil in a semi-arid environment. Spanish Journal of Agricultural Research, 4 (1): 47-54.

Wang, C., Hu, X., Chen, M., Wu, Y. 2005. Total concentrations and fractions of Cd, Cr, Pb, Cu, Ni and Zn in sewage sludge from municipal and industrial wastewater treatment plants. J. Hazard. Mat., B119. 245-249.

Wang, C., Li, X.C., Wang, P.F., Zou, L.M., Ma, H.T. 2006. Extractable fractions of metals in sewage sludges from five typical urban wastewater treatment plants of China. Pedosphere, 16(6): 756-761.

Wang, P.F., Zhang, S.H., Wang, C., Hou, J., Guo, P.C., Lin, Z.P. 2008. Study of heavy metal in sewage sludge and in Chinese cabbage grown in soil amended with sewage sludge. *African Journal of Biotechnology*, 7 (9): 1329-1334.

Watanabe, F.S., Olsen, S.R. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO_3 extracts from soil. *Soil science Soc. Am. Proc.*, 29: 677-678.

Wiedenhoeft, M.H., Barton, B.A. 1994. Management and environment effects on Brassica foragequality. *Agron. J.*, 86: 227-232.

Wolf, A.M., Baker, D.E. 1985. Criteria for land spreading of sludges in the Northeast: Phosphorus. In D.E. Baker, D.R. Bouldin, H.A. Elliott, and J.R. Miller (eds) *Criteria and recommendations for land application of sludges in the Northeast*. Penn. Agric. Exp. Stn. Res. Bull. No. 851, The Pennsylvania State University, University Park, PA. pp: 39-41.

Zebarth, B.J., Neilsen, G.H., Hogue, E., Neilsen, D. 1999. Influence of organic waste amendments on selected soil physical and chemical properties. *Can. J. Soil Sci.*, 79: 501-504.

Zufiaurre, R., Olivar, A., Chamorro, P., Nerin, C., Callizo, A. 1998. Speciation of metals in sewage sludge for agricultural uses. *Analyst*, 123, 255-259.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Barış Bülent AŞIK
 Doğum yeri ve tarihi : Ankara 04/09/1974
 Yabancı dil : İngilizce
 Eğitim Durumu
 Lise : Mimar Sinan Lisesi, Ankara 1992
 Lisans : Ankara Üniversitesi, Ankara 1993-1997
 Yüksek lisans : Uludağ Üniversitesi, Bursa 2000-2004
 Doktora : Uludağ Üniversitesi, Bursa 2005-2011
 Çalıştığı kurum : U.Ü. Ziraat Fakültesi
 İletişim : bbasik@uludag.edu.tr
 Yayınlar :

Turan, M.A., Aşık, B.B., Katkat, A.V., Çelik, H. 2011. The effects of soil-applied humic substances to the dry weight and mineral nutrient uptake of maize plants under soil-salinity conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 39 (1):171-177.

Çelik, H., Katkat, A.V., Aşık, B.B., Turan, M.A. 2011. The effects of foliar applied humic acid to dry weight and mineral nutrients uptake of maize under calcareous soil conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42: 29-38.

Aşık, B.B., Katkat, A.V. 2010. Evaluation of wastewater sludge for possible agricultural use. *Environmental Engineering and Management Journal*, 9 (6): 819-826.

Çelik, H., Katkat, A.V., Aşık, B.B., Turan, M.A. 2010. Effects of humus on growth and some nutrient uptake of maize under saline and calcareous soil conditions. *Zemdirbyste-Agriculture*, 97 (4): 15-22.

Çarpıcı, E.B., Çelik, N., Bayram, G., Aşık, B.B. 2010. The effects of salt stress on the growth, biochemical parameter and mineral element content of some maize (*Zea mays* L.) cultivars. *African Journal of Agricultural Biotechnology*, 9 (41): 6937-6942.

Çelik, H., Aşık, B.B., Gurel, S., Katkat, A.V. 2010. Effects of iron and potassium fertility on micro element uptake of maize. *African Journal of Agricultural Research*, 5(16): 2158-2168.

Çelik, H., Aşık, B.B., Gurel, S., Katkat, A.V. 2010. Effects of potassium and iron on macro element uptake of maize. *Zemdirbyste-Agriculture*, 97 (1): 11-22.

Çelik, H., Aşık, B.B., Gurel, S., Katkat, A.V. 2010. Potassium as an Intensifying Factor for Iron Chlorosis. *International Journal of Agriculture and Biology*, 12 (3): 359-364.

Aşık, B.B., Turan, M.A. Çelik, H., Katkat, A.V. 2009. Effects of humic substances on plant growth and mineral nutrients uptake of wheat (*Triticum durum* cv Salihli) under conditions of salinity. *Asian Journal of CropScience*, 1 (2): 87-95.

Katkat, A.V., Çelik, H., Turan, M.A., Aşık, B.B. 2009. Effects of soil and foliar applications of humic substances on dry weight and mineral nutrients uptake of wheat under calcareous soil conditions. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(2): 1266-1273.

Çelik, H., Katkat, A.V., Aşık, B.B., Turan, M.A. 2008. Effects of soil applied humic substances to dry weight and mineral nutrients uptake of maize under calcareous soil conditions. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 54 (6):605-614.

Aşık, B.B., Katkat, A.V. 2005. Gıda sanayii arıtma tesisi atık suyu'nun sulama suyu olarak kullanım olanağı. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 19 (2): 23-31.

Aşık, B.B., Katkat, A.V. 2004. Gıda sanayi arıtma tesisi atığının (arıtma çamuru) tarımsal alanlarda kullanım olanakları. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 18 (2): 59-71.

Aşık, B.B., Katkat, A.V. 2008. Arıtma çamurlarının tarımsal alanlara uygulanmasına ilişkin sınırlamalar. 4. Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Kongresi, 8-10 Ekim 2008, Konya. s. 977-987.

Katkat, A.V., Aşık, B.B. 2010. Arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı kullanımı ve gübre değeri. 5. Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Kongresi, 15-17 Eylül 2010, Ege Üni., İzmir. s.16-27.

Aşık, B.B., Katkat, A.V., Aydınalp, C., Bıyıklı, M. 2010. Arıtma çamurlarının tarımsal özellikleri ve ağır metal içerikleri. 5. Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Kongresi, 15-17 Eylül 2010, Ege Üni., İzmir. s. 580-585.