

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**SİLAJLIK MISIR YETİŞTİRİCİLİĞİNDE STABİLİZE EDİLMİŞ VE
KURUTULMUŞ ARITMA ÇAMURUNUN KULLANIMI**

Aylin ZAMBAK ÖZGÜR

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2019

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**SİLAJLIK MISIR YETİŞTİRİCİLİĞİNDE STABİLİZE EDİLMİŞ VE
KURUTULMUŞ ARITMA ÇAMURUNUN KULLANIMI**

Aylin ZAMBAK ÖZGÜR

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2019

ANTALYA

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

**SİLAJLIK MISIR YETİŞTİRİCİLİĞİNDE STABİLİZE EDİLMİŞ VE
KURUTULMUŞ ARITMA ÇAMURUNUN KULLANIMI**

**Aylin ZAMBAK ÖZGÜR
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bu tez
Akdeniz Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeler Birimi
tarafından FYL-2017-2688 nolu proje ile desteklenmiştir.**

HAZİRAN 2019

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİLAJLIK MISIR YETİŞTİRİCİLİĞİNDE STABİLİZE EDİLMİŞ VE
KURUTULMUŞ ARITMA ÇAMURUNUN KULLANIMI

Aylin ZAMBAK ÖZGÜR

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 21/06/2019 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Şule ORMAN (Danışman)

Prof. Dr. Erdem YILMAZ

Prof. Dr. Metin MÜJDECİ

ÖZET

SİLAJLIK MISIR YETİŞTİRİCİLİĞİNDE STABİLİZE EDİLMİŞ VE KURUTULMUŞ ARITMA ÇAMURUNUN KULLANIMI

Aylin ZAMBAK ÖZGÜR

Yüksek Lisans, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim

Danışman: Prof. Dr. Şule ORMAN

Haziran 2019; 84 sayfa

Bu araştırmada; Antalya Hurma İleri Evsel Atık Su Arıtma Tesisi'nden alınan stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamurunun 0 (AÇ₀-Kontrol), 2 (AÇ₂), 4 (AÇ₄), 6 (AÇ₆), 8 (AÇ₈) ton da⁻¹ dozlarında aşırı kireçli ve killi tın bir toprağa uygulanarak silajlık mısır yetiştiriciliğindeki etkileri belirlenmiştir. Çalışma, tarla denemesi şeklinde tesadüf blokları deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Arıtma çamuru deneme parsellerindeki topraklara homojen bir şekilde karıştırıldıktan sonra damla sulama sistemiyle eşit sulanarak 3 hafta süreyle inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresi sonunda silajlık mısır tohumları ekilmiş ve 100 günlük yetiştirme periyodu sonunda bitkiler hasat edilerek deneme sonlandırılmıştır. Deneme süresince alınan toprak ve bitki örneklerinde laboratuvar analizleri yapılmıştır.

Arıtma çamuru uygulamaları yetiştirme ortamlarının pH'ını ve değişebilir K konsantrasyonunu hafif bir şekilde azaltırken; organik madde (OM), toplam azot (N), alınabilir fosfor (P) konsantrasyonlarını arttırmıştır. Elektriksel iletkenlik (EC), değişebilir magnezyum (Mg) ve sodyum (Na) konsantrasyonları hafif bir artış gösterirken; değişebilir kalsiyum (Ca) istatistiksel olarak etkilenmemiştir. Yetiştirme ortamlarının DTPA-ekstrakte edilebilir demir (Fe) ve çinko (Zn) konsantrasyonları belirgin bir şekilde artarken; mangan (Mn) ve bakır (Cu) konsantrasyonları hafif bir şekilde artmıştır. DTPA-ekstrakte edilebilir kurşun (Pb) ve krom (Cr) konsantrasyonu ICP-OES cihazının dedeksiyon limitlerinin (Pb için D.L.< 0.03 mg kg⁻¹; Cr için D.L. < 0.05 mg kg⁻¹) altında olduğu için belirlenemezken; nikel (Ni) ve kadmiyum (Cd) konsantrasyonları hafif bir şekilde artış göstermiştir. Yetiştirme ortamlarının toplam P konsantrasyonunda belirgin; toplam K ve Na konsantrasyonlarında ise hafif bir artış meydana gelmiştir. Toplam Mg ve Ca konsantrasyonları ise hafif bir azalma göstermiştir. Toplam Fe, Zn, Cu konsantrasyonları artarken; toplam Mn konsantrasyonu istatistiksel olarak etkilenmemiştir. Toplam Pb belirlenememiş, toplam Cr ve Ni azalmış, toplam Cd ise istatistiksel olarak etkilenmemiştir.

Arıtma çamuru uygulamaları ile bitkinin yetiştirme dönemi ortasında alınan yaprak örneklerinde klorofil, toplam N, protein, P, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn belirgin; K, Na ve Cu hafif bir artış göstermiştir. Yaprak örneklerinde Pb, Cd, Ni belirlenemezken; belirlenen Cr konsantrasyonları istatistiksel olarak önemli olmamıştır. Bitkinin tüm

üst aksam (koçan hariç), koçan ve köklerinde azot ve protein belirgin bir artış göstermiştir. Tüm üst aksamda Ca, K, Fe konsantrasyonlarında azalma; Na, Zn, Cu, Mn'da artış belirlenirken, P ve Mg etkilenmemiştir. Tüm üst aksamda Cd belirlenemezken, Pb, Cr ve Ni hafif bir artış göstermiştir. Bitkinin koçanlarında P, Ca, Na hafif artış gösterirken; K ve Mg etkilenmemiştir. Koçanın Fe, Zn, Mn konsantrasyonlarında belirgin; Cu, Cr, Ni'de hafif artış tespit edilirken, Cd ve Pb belirlenememiştir. Bitkinin köklerinde P, Ca, K, Na hafif artış gösterirken; Mg etkilenmemiştir. Köklerin Fe, Zn, Mn, Cu konsantrasyonlarında belirgin; Pb, Cr, Ni'de hafif artış tespit edilirken, Cd belirlenememiştir.

Arıtma çamuru uygulamaları mısırın ilk koçan yüksekliği ve koçan sayısını arttırmıştır. Bitkinin kuru madde verimi tüm üst aksamda artarken, koçanda azalmıştır. Ayrıca koçan örneklerinde % ADF ve % NDF içeriğinde hafif bir artış belirlenmiştir.

Bitkinin yaprak, tüm üst aksam ve koçanlarında Fe, Zn, Mn, Cu, Pb, Cr, Cd ve Ni elementlerinin biyoakümülyasyon faktörü (BAF) 1'den küçük olup birikimin olmadığı belirlenmiştir. Bu elementlerin biyoakümülyasyon sıralamaları ise yaprakta $BAF_{Zn} > BAF_{Mn} > BAF_{Cu} > BAF_{Cr} > BAF_{Fe}$; koçanda $BAF_{Zn} > BAF_{Ni} > BAF_{Cu} > BAF_{Cr} > BAF_{Fe}$ ve tüm üst aksamda $BAF_{Zn} > BAF_{Mn} > BAF_{Cr} > BAF_{Cu} > BAF_{Ni} > BAF_{Fe}$ şeklinde olmuştur.

Genel bir değerlendirme yapıldığında arıtma çamuru uygulamalarının bütün dozları silajlık mısır yetiştiriciliğinde bitki besleme açısından fayda sağlamış ve ağır metal birikimine neden olmamıştır. Ancak, bu materyalin kullanımında uzun vadede oluşabilecek riskler göz önüne alındığında 2 ile 4 ton da^{-1} dozlarının tavsiye edilebileceği düşünülmektedir.

ANAHTAR KELİMELELER: Ağır metal, Arıtma çamuru, Biyoakümülyasyon, Organik materyal, Silajlık mısır.

JÜRİ: Prof. Dr. Şule ORMAN

Prof. Dr. Erdem YILMAZ

Prof. Dr. Metin MÜJDECİ

ABSTRACT

USE OF STABILISED AND DRIED SEWAGE SLUDGE IN CULTIVATION OF MAIZE FOR SILAGE

Aylin ZAMBAK ÖZGÜR

Msc. Thesis in Soil Science

Supervisor: Prof. Dr. Şule ORMAN

June 2019; 84 pages

The present study explores the effects of stabilised and dried sewage sludge obtained from Antalya Hurma Advanced Domestic Wastewater Treatment Plant on cultivation of maize for silage when applied to extremely calcareous, clay loamy soil at the doses of 0 (SS₀-Control), 2 (SS₂), 4 (SS₄), 6 (SS₆), 8 (SS₈) ton da⁻¹. The study was carried out in 4 repetitions according to a randomised block design in the form of field experiment. The sewage sludge was mixed homogeneously into the soil of the experiment parcels which were then irrigated equally by drip irrigation system and left to incubate for a period of 3 weeks. Following the expiry of the incubation period, maize seeds were sown. At the end of a cultivation period of 100 days, the plants were harvested and the experiment was ended. The soil and plant samples taken throughout the experiment were subjected to laboratory analyses.

Application of sewage sludge slightly reduced the pH and concentration of exchangeable potassium (K), while increasing the concentrations of organic matter (OM), total nitrogen (N) and available phosphorus (P) in the growing media. Electrical conductivity (EC), exchangeable magnesium (Mg) and sodium (Na) concentrations slightly increased, but exchangeable calcium (Ca) was not affected statistically. While DTPA-extractable iron (Fe) and zinc (Zn) concentrations of the growing media considerably increased, manganese (Mn) and copper (Cu) concentrations rose only slightly. DTPA-extractable lead (Pb) and chrome (Cr) concentrations could not be determined, as they were below the detection limits (DL for Pb < 0.03 mg kg⁻¹; DL for Cr < 0.05 mg/kg) of the ICP-OES device, whereas nickel (Ni) and cadmium (Cd) concentrations increased slightly. The total P concentration of the cultivation media increased considerably, while the total K and Na concentrations increased only slightly. The total Mg and Ca concentrations decreased slightly. While the total Fe, Zn and Cu concentrations rose, the total Mn concentration was not affected statistically. The total Pb concentration could not be determined, whereas the total Cr and Ni concentrations decreased and the total Cd concentration was not affected statistically.

With the application of sewage sludge, a considerable increase was recorded in the chlorophyll, total N, protein, P, Ca, Mg, Fe, Zn and Mn, and a slight increase was

recorded in K, Na and Cu concentrations of the leaf samples taken midway through the cultivation period. While Pb, Cd and Ni concentrations in the leaf samples could not be determined, the Cr concentration was found to be not statistically significant. Nitrogen and protein exhibited a considerable increase in whole shoots (excluding cob), cobs and roots of the plant. In whole shoots, Ca, K and Fe concentrations decreased, Na, Zn, Cu and Mn concentrations increased, and P and Mg were found to have been not affected. While Cd in the top parts could not be determined, Pb, Cr and Ni exhibited a slight increase. In the cobs, P, Ca and Na increased slightly, but K and Mg were not affected. Fe, Zn and Mn concentrations in the cobs increased considerably, whereas Cu, Cr and Ni increased slightly and Cd and Pb could not be determined. In the roots, P, Ca, K and Na increased slightly and Mg was not affected. Fe, Zn, Mn and Cu concentrations rose significantly, whereas Pb, Cr and Ni increased only slightly and Cd could not be determined.

The application of sewage sludge increased the initial cob height and the number of cobs in the plant. The dry matter yield increased in whole shoots of the plants, but decreased in the cob. Moreover, a slight increase was recorded in the ADF and NDF content of the cob samples.

The bioaccumulation factor (BAF) of Fe, Zn, Mn, Cu, Pb, Cr, Cd and Ni in the leaves, whole shoots and cobs of the plant is less than 1, suggesting no bioaccumulation. The bioaccumulation rankings of the elements are as follows: $BAF_{Zn} > BAF_{Mn} > BAF_{Cu} > BAF_{Cr} > BAF_{Fe}$ (leaves); $BAF_{Zn} > BAF_{Ni} > BAF_{Cu} > BAF_{Cr} > BAF_{Fe}$ (cobs); $BAF_{Zn} > BAF_{Mn} > BAF_{Cr} > BAF_{Cu} > BAF_{Ni} > BAF_{Fe}$ (whole shoots).

In conclusion, all doses of sewage sludge application benefitted the plant nutrition in the cultivation of maize for silage and did not cause accumulation of heavy metals. However, considering the risks that may occur during long-term use of this material, a dose of 2-4 tons da^{-1} could be recommended.

KEYWORDS: Bioaccumulation, Heavy metal, Organic material, Sewage sludge, Silage corn.

COMMITTEE: Prof. Dr. Şule ORMAN

Prof. Dr. Erdem YILMAZ

Prof. Dr. Metin MÜJDECI

ÖNSÖZ

Artan dünya nüfusu ve sanayileşmenin artmasıyla atıkların bertarafı günümüzde büyük sorun haline gelmiştir. İnsanlığın tarım toplumundan sanayi toplumuna evrilmesi ile nüfus şehirlerde yoğunlaşmış ve ortaya çıkan atıkların bertarafı 21.yüzyılın en çok çözüm aranan konularından biri olmuştur. Bu amaçla sayıları her geçen gün artan atık su arıtma tesisleri şehirlerdeki yerini almıştır. Bu tesislerde fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerden geçerek yasa koyucuların belirlediği standartlarda temizlenen sular çevreye geri kazandırılmaktadır. Ancak bu sürecin sonunda tesislerde atık suların arıtılması sonucu meydana gelen ve arıtma çamuru olarak adlandırılan atık materyal ortaya çıkmaktadır. Tüm dünyada bu materyaller her yıl milyon tonlarla ifade edilen miktarlarda birikmektedir. Söz konusu atığın bertarafı ve geri kazanımı için tüm dünyada farklı metotlar denenmektedir. Bu metotların yaygın olanlarından bazıları, düzenli depolama, yakma ve toprağa gömme uygulamalarıdır. Ancak bahsedilen bertaraf metotları için de tüm çevrelerce genel kabul görmüş bir yöntem henüz rastlanılmamıştır. Arıtma çamurları her ne kadar tek ad altında toplanmış olsalar da başta atık suyun kaynağı, üretildikleri dönem, tesisin alt yapısı ve kurutma sürecinin tipi olmak üzere proses boyunca nihai ürünü farklılaştıran birçok faktör mevcuttur. Yapılan multi disiplinler çalışmalarının sonucunda bu materyallerin toprağa uygulanabilmesi için içerdiği risk faktörlerinin belirli sınırların altında olması gerektiği belirtilmiş ve yasalarla da güvence altına alınmıştır. Arıtma çamurları risklerinin yanında ihtiva ettikleri yüksek organik madde, azot, fosfor ve mikro elementler nedeniyle kontrollü ve bilinçli kullanıldıklarında tarımda organik toprak düzenleyici olarak kullanım potansiyellerinin olabileceği daha önceki çalışmalarda belirlemiştir. Bu durum düzenli ve önemli miktarlarda ortaya çıkan materyalin, bilimsel, ekonomik ve çevreci bir yöntem ile toprağa uygulanması durumunda atığın girdi olarak tarımsal üretimde kullanım potansiyeli olduğunu göstermektedir.

Günümüzde arıtma çamurları çevre sağlığı açısından da önemli bir sorun teşkil etmektedir. Çalışmada bu soruna yanıt ararken çevre ve insan sağlığı gibi kritik konuları göz önünde tutarak materyalin tarımsal üretimde kullanım potansiyelinin araştırılması amaçlanmıştır. Çalışmada silajlık mısır bitkisinin tercih edilmesinin sebebi, hayvancılık için kritik öneme sahip olmasıdır. Hayvansal üretimin en büyük sorunu yem temini ve maliyetleridir. Bu durum zaman zaman ülkemizde hayvansal üretimi bitme noktasına getirmektedir. Arıtma çamurunun toprağa sağlayacağı fayda ile mısır bitkisinin ihtiyaçları karşılanacak, elde edilen mısır ile yapılan silaj hayvansal üretimin kaba yem sorununa çözüm olurken diğer yandan atık sorununa da çevreci alternatif bir sonuç bulunması hedeflenmiştir.

Bana bu konuda çalışma olanağı sunan, çalışmalarımın her aşamasında bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen, büyük bir sabır ve ilgiyle bana kıymetli zamanını ayıran çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Şule ORMAN'a (Akd. Ün. Z.F.), en içten teşekkür ve şükranlarımı sunarım. Beni yüksek lisans eğitimi almaya teşvik eden çok

değerli hocam Prof. Dr. Mustafa KAPLAN hocama teşekkürlerimi sunarım. Bilgi ve deneyimlerini her fırsatta bizlerle paylaşan, samimi ve huzurlu bir çalışma ortamına sahip olmamızı sağlayan bölümümüzün saygı değer tüm öğretim üyesi hocalarıma da sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans tez çalışmamın başından sonuna kadar yakın desteğini gördüğüm Arş. Gör. Hüseyin OK'a (Akd. Ün. Z.F), benden yardımlarını esirgemeyen Öğ. Gör. İ. Emrah TAVALI'ya, Arş. Gör. Ahmet Ş. MALTAŞ'a, E. Meltem SÖNMEZ'e teşekkürlerimi bir borç bilirim. Ayrıca Akdeniz Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü ailesinin tüm bireylerine ayrı ayrı şükranlarımı sunarım.

Çalışmamın başından sonuna kadar heyecanıma ortak olan canım kızım Özgü ÖZGÜR'e, benden desteğini hiçbir koşulda esirgemeyen eşim Erkut ÖZGÜR'e, her zaman yanımda olan ve hiçbir zaman haklarını ödeyemeyeceğim annem ve babam Hatice ve Hüseyin ZAMBAK'a, varlıklarından her daim güç aldığım kayınvalidem ve kayınpederim Emel ve Mehmetali ÖZGÜR'e, desteğini her zaman yanımda hissettiğim kardeşim Aysun ZAMBAK GÜNGÖR'e sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1.GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	3
2.1. Arıtma Çamurları ve Özellikleri.....	3
2.2. Silajlık Mısır ve Özellikleri	6
3. MATERYAL VE METOT	8
3.1. Materyal.....	8
3.1.1. Denemenin kurulduğu alanın toprak özellikleri	8
3.1.2. Denemenin kurulduğu alanın iklim özellikleri	11
3.1.3. Denemede kullanılan stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamuru	11
3.1.4. Bitki materyali	12
3.2. Metot	12
3.2.1. Laboratuvar analiz metotları.....	19
3.2.1.1. Arıtma çamuru analiz metotları	19
3.2.1.2. Toprak analiz metotları	20
3.2.1.3. Bitki analiz metotları.....	21
3.2.2. İstatistiksel analiz metotları	23
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	24
4.1. Yetiştirme Ortamlarının pH, EC, Organik Madde Kapsamları ve Değerlendirilmesi	24
4.2. Yetiştirme Ortamlarında Bitkiye Yarayışlı ve Toplam Makro Element Konsantrasyonları ve Değerlendirilmesi	28
4.2.1. Yetiştirme ortamlarının toplam azot konsantrasyonu ve değerlendirilmesi	33

4.2.2. Yetiştirme ortamlarının alınabilir ve toplam fosfor konsantrasyonları ve değerlendirilmesi	33
4.2.3. Yetiştirme ortamlarının değişebilir ve toplam potasyum, magnezyum, kalsiyum, sodyum konsantrasyonları ve değerlendirilmesi	34
4.3. Yetiştirme Ortamlarının Alınabilir ve Toplam Mikro Element Konsantrasyonları ve Değerlendirilmesi	36
4.4. Yetiştirme Ortamlarında DTPA-ekstrakte edilebilir ve Toplam Ağır Metal Konsantrasyonları ve Değerlendirilmesi.....	43
4.5. Yetiştirme Periyodunda Silajlık Mısırdaki Belirlenen Bitkisel Parametreler.....	49
4.5.1. Silajlık mısırdaki bazı morfolojik parametreler ve değerlendirilmesi	49
4.5.2. Silajlık mısırdaki ADF, NDF ve ham selüloz parametreleri ve değerlendirilmesi	50
4.5.3. Silajlık mısırdaki klorofil-a, klorofil-b ve klorofilmetre (SPAD) ölçüm parametreleri ve değerlendirilmesi	52
4.5.4. Silajlık mısırın yaprak örneklerinde toplam azot ve protein parametreleri ve değerlendirilmesi	52
4.5.5. Silajlık mısırın yaprak örneklerinde makro element konsantrasyonları ve değerlendirilmesi	53
4.5.6. Silajlık mısırın yaprak örneklerinde mikro element konsantrasyonları ve değerlendirilmesi	55
4.5.7. Silajlık mısırın yaprak örneklerinde ağır metal konsantrasyonları ve değerlendirilmesi.....	56
4.5.8. Silajlık mısırın tüm üst aksam ve koçan örneklerinde toplam azot ve protein konsantrasyonları ve değerlendirilmesi	57
4.5.9. Silajlık mısırın tüm üst aksam (koçan hariç) örneklerinde makro, mikro element ve ağır metal konsantrasyonları ve değerlendirilmesi	58
4.5.10. Silajlık mısırın koçan örneklerinde makro, mikro element ve ağır metal konsantrasyonları ve değerlendirilmesi	60
4.5.11. Silajlık mısırın kök örneklerinde makro, mikro element ve ağır metal konsantrasyonları ve değerlendirilmesi	62

4.6. Silajlık Mısırdaki Mikro Elementler ve Ağır Metallerin Biyoakümülyasyonu.....	64
4.6.1. Silajlık mısırın yaprak örneklerinde mikro element ve ağır metallerin biyoakümülyasyonu.....	65
4.6.2. Silajlık mısırın koçan örneklerinde mikro element ve ağır metallerin biyoakümülyasyonu.....	66
4.6.3. Silajlık mısırın tüm üst aksamda mikro element ve ağır metallerin biyoakümülyasyonu.....	67
5. SONUÇLAR	69
6. KAYNAKLAR	77
7. EKLER.....	84
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Silajlık Mısır Yetiştiriciliğinde Stabilize Edilmiş ve Kurutulmuş Arıtma Çamurunun Kullanımı” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

21/06/2019

Aylin ZAMBAK ÖZGÜR



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

N: Azot

P: Fosfor

K: Potasyum

Ca: Kalsiyum

Mg: Magnezyum

Na: Sodyum

Fe: Demir

Zn: Çinko

Mn: Mangan

Cu: Bakır

Ni: Nikel

Cr: Krom

Pb: Kurşun

Cd: Kadmiyum

μ: Mikro

g: Gram

kg: Kilogram

da: Dekar

dS: Desi simens

mm: Milimetre

m²: Metrekare

%: Yüzde

CaCO₃: Kalsiyum Karbonat

Kısaltmalar

EPA : Doğal Kaynakları Koruma Servisi

AÇ: Arıtma Çamuru

DTPA: Dietilentriamin Pentaasetik Asit

EC: Elektriksel Kondaktivite (Tuzluluk)

CRM: Sertifikalanmış Materyal

TÜİK: Türkiye İstatistik Kurumu

BAF: Biyoakümülyasyon Faktörü



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Arıtma çamurunun temin edildiği Antalya Hurma Atık Su Arıtma Tesisi....	11
Şekil 3.2. Tarla denemesinde kullanılan stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamuru.....	12
Şekil 3.3. Tarla denemesinde kullanılan ‘Burak’ silajlık mısır çeşidi	12
Şekil 3.4. Deneme arazisi genel görünüm	13
Şekil 3.5. Deneme alanında toprak işleme ve yabancı ot mücadelesi	13
Şekil 3.6. Arıtma çamurunun tartılması, deneme alanına uygulanması ve inkübasyon süreci	14
Şekil 3.8. Deneme parsellerinde fide aşamasındaki silajlık mısır bitkileri.....	15
Şekil 3.7. Deneme parsellerine tohumların ekilmesi, çıkış ve seyreltme işlemleri	15
Şekil 3.9. Deneme parsellerine farklı dozlarda uygulanan arıtma çamurunun silajlık mısır bitkilerinin farklı gelişme dönemlerindeki etkisi.....	16
Şekil 3.10. Tarla denemesinin genel görüntüsü (Soldan Sağa: AÇ ₀ -AÇ ₂ -AÇ ₄ -AÇ ₆ -AÇ ₈)	17
Şekil 3.11. Her parselden alınan ve analizler için hazırlanan toprak örnekleri	18
Şekil 3.12. Tarla denemesinin hasadı	18
Şekil 3.13. Hasat sonrası tüm üst aksam (koçan hariç), koçan ve kök örnekleri.....	19

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Deneme toprağı, arıtma çamuru ve sertifikalandırılmış materyallerin analiz sonuçları.....	9
Çizelge 3.2. Deneme toprağında bitkiye yararışlı elemetlerin analiz sonuçları.....	10
Çizelge 4.1. Yetiştirme ortamlarında pH analiz sonuçları.....	24
Çizelge 4.2. Yetiştirme ortamlarında EC (dS m ⁻¹) analiz sonuçları.....	26
Çizelge 4.3. Yetiştirme ortamlarında organik madde (%) analiz sonuçları.....	27
Çizelge 4.4. Yetiştirme ortamlarında bitkiye yararışlı makro element analiz sonuçları.....	29
Çizelge 4.4' ün devamı.....	30
Çizelge 4.5. Yetiştirme ortamlarında toplam makro element analiz sonuçları.....	31
Çizelge 4.5. 'in devamı.....	32
Çizelge 4.6 Toprak örneklerinde bitkiye yararışlı mikro element (DTPA'da ekstrakte edilebilir) analiz sonuçları.....	38
Çizelge 4.7. Toprak örneklerinde toplam mikro element analiz sonuçları.....	39
Çizelge 4.8. Yetiştirme ortamlarının DTPA- ekstrakte edilebilir ağır metal analiz sonuçları.....	44
Çizelge 4.9. Yetiştirme ortamlarının toplam ağır metal analiz sonuçları.....	45
Çizelge 4.10. Silajlık mısırdaki belirlenen bazı morfolojik özellikler.....	50
Çizelge 4.11. Tüm üst aksam ve koçan örneklerinde ADF, NDF, ham selüloz analiz sonuçları.....	51
Çizelge 4.12. Yaprak örneklerinde klorofil-a, klorofil-b ve klorofilmetre (Spad) ölçüm sonuçları.....	52

Çizelge 4.13. Yaprak örneklerinde toplam azot ve protein sonuçları.....	53
Çizelge 4.14. Yaprak örneklerinde makro element konsantrasyonları.....	54
Çizelge 4.15. Yaprak örneklerinde mikro element konsantrasyonları.....	55
Çizelge 4.16. Yaprak örneklerinin ağır metal konsantrasyonları.....	56
Çizelge 4.17. Tüm üst aksam, koçan, kök örneklerinin toplam azot ve protein değerleri.....	57
Çizelge 4.18. Tüm üst aksam örneklerinin makro element konsantrasyonları.....	58
Çizelge 4.19. Tüm üst aksam örneklerinin mikro element konsantrasyonları.....	59
Çizelge 4.20. Tüm üst aksam örneklerinin ağır metal konsantrasyonları.....	59
Çizelge 4.21. Koçan örneklerinin makro element konsantrasyonları.....	61
Çizelge 4.22. Koçan örneklerinin mikro element konsantrasyonları.....	61
Çizelge 4.23. Koçan örneklerinin ağır metal konsantrasyonları.....	62
Çizelge 4.24. Kök örneklerinin makro element konsantrasyonları.....	63
Çizelge 4.25. Kök örneklerinin mikro element konsantrasyonları.....	63
Çizelge 4.26. Kök örneklerinin ağır metal konsantrasyonları.....	64
Çizelge 4.27. Silajlık mısırın yapraklarında mikro element ve ağır metallerin biyoakümüülasyonu.....	65
Çizelge 4.28. Silajlık mısırın koçanlarında mikro element ve ağır metal biyoakümüülasyonu.....	66
Çizelge 4.29. Silajlık mısırın tüm üst aksamda mikro element ve ağır metal biyoakümüülasyonu.....	67

1.GİRİŞ

Artan nüfus ve saniyeleşmeye bağlı olarak atıkların bertarafı günümüzün önemli sorunlarından biri halini almıştır. Tüm ekosistemi ciddi şekilde tehdit eden atıklar güvenli şekilde geri kazanılmazsa daha büyük sorunlara gebe dir. Şehirlerde atık yönetimi halkın desteğiyle efektif yapıldığı takdirde hem çevre sağlığı açısından hem de ekonomik açıdan büyük toplumsal fayda sağladığı birçok örnekte görülmüştür. Atıkların geri kazanımında teknolojinin ve biyolojinin birlikte uyumla kullanıldığı atık geri kazanım tesisleri büyük avantajlar sağlamaktadır. Bu tesisler artık medeniyetimizin vazgeçilmezleridir. Katı atık sorununa çözüm olarak kurulup başarı ile işletilen katı atık bertaraf tesisleri bu atıkların güvenli geri kazanımına büyük katkı sağlamıştır. Bir diğer çevresel sorun olan atık suların bertarafı en az katı atık sorunu kadar üstünde durulması gereken bir başka problemdir. Belediyeler bu sebeple atık su arıtma tesislerine ciddi yatırımlar yaparak bu tesisleri şehirlerimize kazandırmaktadırlar. Bu sayede atık sular doğaya bırakılabilir seviyede temizlenerek ekosistem korunmaktadır. Ancak bu tesislerde atık suların arıtılması ile geriye arıtma çamuru olarak adlandırılan nihai atık ortaya çıkmaktadır. Arıtma çamurları yüksek organik madde ve bitki besin elementi içerdiği bilinmektedir. Bu yönüyle bozulmuş toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini ıslah edebilecek potansiyelde olduğu bilinmektedir. Ancak arıtma çamurları aynı zamanda içerebildiği ağır metaller, patojenler, zararlı kimyasallar v.b. nedeniyle de arazi uygulaması tartışmalı materyaller sınıfındadır. Bu noktada yapılan çalışmalar göstermiştir ki arıtma çamurları; atık suyun kaynağı, arıtma sisteminin alt yapısı, alındığı dönem başta olmak üzere içeriğine etki eden pek çok parametrenin etkisi altında şekillenmektedir. Bu zamana kadar yapılan çalışmalar aynı adı paylaşan ancak dünyanın her yerinde çok farklı şartların etkisinde özellikleri değişken olan bu materyali değerlendirirken toptancı bir yargılamanın bilimsel olmadığını açıkça ortaya koymaktadır. Bu noktada özellikle evsel atık suların arıtıldığı, ileri arıtma tesislerinin ısı enerjisi verilerek yüksek sıcaklıklarda kurutulup sterilize edildiği çamurların kriterlere uygun olarak araziye uygulanmasında en düşük risk ile yüksek fayda sağlanabileceği düşünülmektedir. Bu noktada arıtma çamurlarının toprak ıslahında kullanılması atık sorununun çözümünde önemli katkı sağlarken tarımsal üretim için toprak özelliğini yitirmiş ya da yitirmek üzere olan alanların da ekonomik geri kazanımına katkı sağlayacaktır.

Tarımsal üretimde verim ve kaliteyi sürdürebilmek, ancak toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini koruyarak mümkün olmaktadır. Bu noktada toprağın en dinamik parametresi toprak organik maddesidir. Çünkü toprak organik maddesi bir yandan ayrışıp parçalanma ile azalmakta diğer yandan toprağa karışan organik materyal ile artmaktadır. Ancak iklimin sıcak ve kurak olduğu coğrafyalarda parçalanma daha hızlı olduğu için toprak organik maddesi tarımsal üretim için gerekli kritik sınırın altına düşebilmektedir. Bu durum yoğun toprak işlemenin yapıldığı tarımsal alanlarda çok daha şiddetli kendini göstermektedir. Böylece toprak organik maddesi tarafından

etkilenen agregat oluşumu, katyon değişim kapasitesi, bitki besin maddesi varlığı ve yarıyışlılığı, mikroorganizma aktivitesi gibi birçok toprak özelliği olumsuz etkilenmektedir. Temelinde düşük organik madde varlığının neden olduğu bu sorunlarla baş edebilmek için tarımsal üretimde toprağa organik madde ilavesi rutin bir uygulama halini almıştır. Bu amaçla yaygın olarak kullanılan başlıca organik gübreler farklı orijinli (sığır, koyun, tavuk, keçi v.b.) hayvan gübreleridir. Ancak, özellikle tarımın yoğun yapıldığı hayvancılığın kısıtlı olduğu alanlarda hayvan gübresinin istenilen zamanda ve yeterli miktarda temin edilememesi, fiyatının da oldukça yüksek olması tarımsal üretimi olumsuz etkilemekte ve alternatif organik madde arayışına neden olmaktadır. Organik maddenin tarımsal kıymetinin anlaşılması ile uzun zamandır her türlü bitkisel atıktan yeşil gübre olarak faydalanılmaktadır. Ayrıca alternatif organik madde kaynağı olarak yüksek organik madde içeriğine sahip arıtma çamurlarının kullanımı da potansiyeli olan bir seçenektir.

Bu çalışmada arıtma çamurunun araziye uygulamanın verim ve kaliteye etkisini değerlendirirken aynı zamanda da potansiyel risklerinin de belirlenmesi amaçlanmaktadır. Denemede bitkisi olan silajlık mısır hayvansal üretimin vazgeçilmez girdisidir. Rasyonlara ilavesi ile hayvansal üretimde kalite ve düşük üretim maliyeti sağlayan mısır silajı üretildiği topraklardan başta azot olmak üzere ciddi bitki besin elementi kaldırmaktadır. Bu durum toprakların verim kapasitelerini koruyabilmek için ciddi kimyasal gübre tüketimini doğurmaktadır. Bu noktada bir ithal kalemi olan gübre hem ekonomik olarak ülkeyi dışa bağımlı hale getirmekte hem de üretim maliyetlerini arttırmaktadır. Ayrıca kimyasal gübre kullanımında yapılabilinecek küçük hatalar bile uzun vadede toprağın verim potansiyellerini tehdit edecektir. Silajlık mısır üretiminde arıtma çamurunun kullanım potansiyeli araştırılarak üretimde kimyasal gübre kullanımını azaltmak, toprağa organik madde ilave ederek toprak verimliliğini arttırmak ve sürdürmek istenmektedir. Ancak şüphesiz en önemli faydası önemli bir atığa güvenli ve ekonomik bir bertaraf yöntemi önermektedir. Mısır bitkisinin direk insanlar tarafından tüketilmemesi de bu materyale karşı bazı toplumsal kaygıları da dikkate aldığı için çıkan sonuçların değerlendirilmesi aşamasında ön yargıları azaltacağı umulmuştur.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Arıtma Çamurları ve Özellikleri

Atık su arıtımında, fiziksel ve kimyasal arıtma süreçlerinde atık su içinden yüzdürülerek veya çökeltilerek uzaklaştırılan maddeler ile biyolojik arıtma sonunda çözünmüş haldeki maddelerin mikroorganizma bünyesine geçirilmesiyle, mikroorganizmaların sistemden yüzdürülerek veya çökeltilerek alınması sonucu ortaya çıkan %95-99.5 oranında su içeren akışkan özellikteki atıklar “arıtma çamuru” olarak isimlendirilir (Alpaslan 2004).

Arıtma çamurları; bölgeden bölgeye, tesise giren hammadde ve işlem proseslerine göre miktarı değişmekle birlikte yüksek oranda organik madde, makro ve mikro bitki besin maddeleri ile değişebilir katyonlar içerdiği ve kontrollü olarak toprağa verilebileceği bir çok araştırmacı tarafından bildirilmektedir (Hakerlerler 1980; Anaç vd. 1993; Kyle ve McClintock 1995; Navas vd. 1998; Bozkurt vd. 2000; Martinez vd. 2002; Shober vd. 2003; Dolgen vd. 2007). Bunların yanı sıra arıtma çamurları ağır metaller, organik kirleticiler ve patojen mikroorganizmalar da içerebilmekte ve farklı amaçlı kullanımları esnasında çevreye zarar verebilmektedir (McBride 1995; Çimrin vd. 2000; Singh ve Agrawal 2007).

Arıtma çamurlarının bitki besin değerinin ahır gübresi ve organik komposta benzer olduğu (Tabatabai ve Frankerberger 1979; Sommers 1997) ve bitkilerin gelişimi için gerekli tüm elementleri içerdiği de (Linden vd. 1983) bildirilmiştir. Gomez vd. (1993), Navarro-Pedreno vd. (1996), Pinemonti vd. (1997) domates ve diğer test bitkilerine uygulanan arıtma çamurunun bitkide mineral madde içeriğini arttırdığını belirtmişlerdir. Ancak arıtma çamurlarının bitki besin elementlerine ek olarak içerdiği hidro karbonlar, metal tuzları, patojen mikroorganizmalar ve ağır metaller gibi potansiyel zararlı bileşikler bu materyalin kullanımının titizlikle ve bilinçli yapılmasını zorunlu kılmaktadır.

Özellikle ağır metal kirliliği organizmalarda birikmek ve gıda zinciri döngüsünde yer alarak, ekosistemlerde yüksek konsantrasyonları ile zararlarını yıllarca sürdürebilmektedirler (Kacar vd. 2002).

Özbek vd. (2004) tarafından yapılan çalışmalarda çok sayıda bitki türünde, ağır metallerin fotosentezi azaltıp inhibe ettiği, nekroz ve kloroza neden olduğu, tohumun çimlenmesini engellediği ve hormonal dengeyi bozduğu bildirilmiştir. Arıtma çamurunun yinelemeli uygulamalarında toprakta ve bitkide ağır metal birikimlerine neden olabileceği, sürdürülebilir toprak idaresi ve tarımda güvenli geri kazanımı üzerindeki endişeleri ortaya çıkarmakta ve özellikle sera tarımında kullanımının riskli olduğu belirtilmektedir (Önal vd. 2003). Kaygılar arıtma çamurlarının mümkün olduğunca insanların besin zincirleri dışındaki bitkilerde kullanımının araştırılmasını teşvik eder niteliktedir. Bu tür bitkilerin insanlar tarafından tüketilmemesi; fikrin

ekolojik artısı olmakla beraber, arıtma çamuru uygulama dozlarının belirlenerek bu organik atıktan bitkilerin daha çok yararlanmasına ve eldeki mevcut materyalin daha fazla tüketilmesine olanak sağlayacaktır. Ülkemizde de silajlık mısır yetiştiriciliği ile ilgili yapılan birçok çalışmada olumlu sonuçlara ulaşılmıştır. Güneş ve Acar (2006), Sade vd. (2002), Bozkurt vd. (2000b) toprağa arıtma çamuru ve humik asit uygulayarak tesis ettikleri bir denemede uygulamaların bitkinin P, Ca ve Mg içeriğini artırdığını K içeriğinde ise önemli bir değişim yaratmadığını bildirmişlerdir. Bununla birlikte, yine aynı çalışmada arıtma çamuru uygulamasının bitkinin Co, Ni, Cr ve Cd içeriğinde önemli bir değişim oluşturmadığını bildirmişlerdir. Bozkurt vd. (2000a), yaptıkları bir başka çalışmada arıtma çamuru ve humik asit ilavesi ile mısırın Co, Ni, Cr ve Cd içeriklerinde humik asit uygulanmamasına göre belirgin olmayan bir azalış saptamışlardır.

Turalioğlu ve Acar (1996), arıtma çamurlarının bertaraf edilmesi ve içerdikleri besin elementlerinden de en verimli şekilde yararlanılabilmesi için tarım topraklarında kullanmanın iyi bir yol olduğunu ancak uygulamadan önce arıtma çamurunun içeriğinde bulunan ağır metal, tuz, azot ve patojen mikroorganizma miktarlarının tespit edilerek uygulanabilecek maksimum miktarların belirlenmesi gerektiğini bildirmektedir.

İnsanlarda çevre bilincinin artmasıyla birlikte arıtma tesislerinin kurulması ve elde edilen arıtma çamurlarının bertarafı ile ilgili konularda çalışılması neredeyse zorunlu hale gelmiştir. Arıtma çamuru, biyolojik ve kimyasal işlemler sonucu yüzdürülebilen katı maddelerin atık sudan ayrılması ile edilir. Arıtma çamurlarının bileşenleri çamurun elde edildiği endüstriyel kuruluşa göre değişiklik gösterebilir. İçeriğinde Fe, Cu, Hg, Al, Cd, As, Co, Pb, Cr, organik fosfor, azot, organik bileşikler, asitler, alkaliler, metal tuzları, fenoller, oksitleyiciler, boyalar, sülfatlar ve hidrokarbonlar gibi maddeler içerebilir (Taşatar 1997).

Bazı gelişmiş ülkelerde arıtma çamurları çeşitli işlemlerden geçirilerek olumsuz etkileri azaltılmakta ve kontrollü olarak tarım sektöründe kullanılmaktadır. Kullanım aşamasında ise ayrıntılı analizleri yapıp arıtma çamurunun içeriği belirlenmektedir (Sommer 1997; Pedreno vd. 1996; Soumare vd. 2002).

Arıtma çamurlarının tarımsal üretimin ihtiyacı olan azot, fosfor ve mikro besin elementleri ihtiyacını sağladığını ve kontrollü kullanıldığı takdirde tarım arazilerinde kullanılabileceğini Larson vd. (1974) bildirmişlerdir.

Organik gübrelerin ve arıtma çamurlarının tarım arazilerinde etkin kullanımını incelemek amacıyla, hava kurusu ham çamur, hava kurusu çürük çamur ve çiftlik gübresinin bitki besin düzeyleri belirlenmiş ardından bu materyaller belirlenen tarım arazilerine uygulanmıştır. Uygulama sonucunda kullanılan materyallerin ürün kalite ve verimi üzerindeki etkilerine bakılmıştır. Arıtma çamurunun azot(N) ve fosforca(P) zengin bir kaynak olduğu fakat potasyumca (K) noksan kaldığı belirtilmiştir. Özellikle

sulu haldeki çürütülmüş çamurlarda bitkiye yarayışlı N ve P miktarının oldukça yüksek olduğu ve çok değerli bir kaynak olduğu araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Williams 1979).

Arıtma çamurları, toprağa uygulanmasında bitki besin elementi içeren organik bir kaynak olarak ele alınmaktadır. Çiftlik gübresi ile arıtma çamuru kıyaslandığında, arıtma çamurunun azot ve fosfor içeriği bakımından zengin olduğu, fakat potasyum içeriğinin çiftlik gübresine kıyasla daha düşük seviyelerde belirlendiği rapor edilmiştir. (Spellman 1997).

Ünal ve Katkat (2003) bisküvi ve şekerleme üretimi yapan bir fabrikadan temin ettikleri arıtma çamuru ile yaptıkları çalışmada mısır bitkisinin Fe, Zn ve Cu içeriklerinin kontrole göre doz artışıyla paralel şekilde arttığı ve bu artışın Zn üzerine etkisinin istatistiksel açıdan % 0.1 düzeyinde, Cu ve Mn üzerine etkisinin istatistiksel açıdan % 5 düzeyinde önemli bulunduğunu bildirmişlerdir.

Çimrin vd. (2000) tarafından gerçekleştirilen saksı denemesi sonucu elde edilen veriler neticesinde, arıtma çamuru ve TSP karışımının fosfor kaynağı olarak kullanılması kontrole göre, mısır bitkisinde, bitki kuru ağırlığı, toprak üstü aksamı, bitkinin çinko ve demir içeriği ihtiyacını önemli düzeyde artırdığını ortaya koymuştur. Yapılan çalışmada; arıtma çamuru ile bitkinin fosfor ihtiyacının tamamı ile karşılanmasının mümkün olmadığı ancak demir ve çinko konsantrasyonunda ki artışa önemli ölçüde katkı sağladığı, bakır içeriğinde ise önemli ölçüde azalmalara neden olduğu gözlemlenmiştir.

Arıtma çamuru uygulanan topraklarda kadmiyum, bakır, nikel ve çinkonun biyolojik olarak bulunabilirliğinin, kurşun, civa ve kromdan daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ancak mobil elementler için bile arıtma çamuru ile her yıl eklenen metal miktarının %0.05'inden daha küçük bir bölümünün ürüne geçtiği belirtilmektedir. Aynı zamanda arıtma çamurları diğer ağır metal içeren kaynakların çoğundan farklı bir özelliğe sahiptir, bu da arıtma çamurunun önemli oranda organik madde, demir ve mangan gibi adsorbif maddeleri bünyesinde bulundurmasıdır. Genellikle çinko, bakır ve nikel bitki dokusunda insan sağlığına zarar verecek seviyeye ulaşmadan önce bitkiler için fitotoksik olmakta ve ayrıca bu üç elementin bitkide fitotoksik etkisi sadece asidik topraklarda ortaya çıkmaktadır (Bilgin vd. 2002). Toprak pH'sının azalması ile aktif alüminyum miktarı da önemli derecede artar (Guo vd. 2007). Mangan, demir ve alüminyumun topraktaki doğal miktarları atık çamur ile uygulanacak miktarların genellikle üzerindedir. Alüminyum ve manganın fitotoksik etkisi sadece asit karakterli topraklarda görülmektedir. Toprağın asitleşmesi bitki büyümesi ve gelişimini olumsuz yönde etkileyen ağır metallerin (Cd, Cr, ve Pb gibi) konsantrasyonunu artırırken temel katyonlar (Ca, Mg ve K gibi)'in konsantrasyonlarının düşmesine neden olur (Guo vd. 2007). Bitkilerin bu elementlerden toksik olarak etkilendikleri belirlendiğinde toprağa kireç uygulaması sonucu bu zararlı etkiler giderilebilmektedir.

2.2. Silajlık Mısır ve Özellikleri

Dünya'nın bütün kıtalarında yaygın olarak yetiştirilen mısır (*Zea mays* L.) tahıllar içerisinde Dünya genelinde üretim alanı bakımından buğday'dan sonra ikinci sırada; veriminin yüksekliği nedeniyle üretim miktarı bakımından da birinci sırada yer almaktadır (Anonim 2016).

Dünya'da silaj yapımı için yetiştirilen bitkilerin başında mısır gelmektedir. Mısır (*Zea mays* L.), hayvan beslenmesinde yeşil olarak ya da silaj olarak yem zincirinde, en önemli kaba sulu yemlerden biridir. Mısır, yüksek enerji verimi, ekimden hasada kadar makineli tarıma uygun olması, saklama ve kullanım kolaylığı, kayıp oranının az olması, yüksek kuru madde içermesi, sindirilme oranının yüksekliği, kaliteli ve lezzetli bir silaj yemi olması, birim alandan yüksek verim alınabilmesi, tohumluğunun kolay bulunması, herhangi bir katkı maddesine gereksinim duyulmadan silolanabilmesi nedeniyle hem dünyada hem de ülkemizde silajlık olarak en fazla tercih edilen bitkilerin başında yer almaktadır (Açıkgöz vd. 2002).

Silajlık mısır çeşitlerinin geliştirilmesiyle, kaliteli ve verimli danelik yeni mısır çeşitleriyle aynı zamanda kaliteli silajlık çeşit çeşitler olabileceği anlayışı gelişmiş ve seleksiyon kriterleri ve yetiştiricilik teknikleri yeniden değerlendirilmeye başlanmıştır (Ma vd. 2006). Bu nedenle silajlık mısır ıslahı çalışmalarında, seleksiyonda yüksek daneli, güçlü gövdeli ve hızlı dane nemini kaybeden çeşitler yerine silajlık çeşitlerde tüm üst aksam aksamındaki nemini yavaş kaybeden, yumuşak daneli ve düşük nötral deterjan fiber (NDF) ile yüksek sindirilebilir içerikli çeşitler tercih edilmekte (Dwyer vd. 1998), diğer bir ifade ile hayvan beslenmesinde net enerji değeri yüksek çeşitler silajlık olarak sınıflandırılabilir. (Cusicanqui ve Lauer 1999).

Silajlık mısır çeşidinin verim ve kalite kriterlerinin; toprak özellikleri, iklim, sulama ve hasat dönemi gibi önemli faktörlerin yanında, bitki genotipinin de şüphesiz çok önemli olduğu bildirilmiştir (Cusicanqui ve Lauer 1999).

Türkiye'de ilk silaj 1931 yılında Ankara, Atatürk Orman Çiftliği'nde yapılmıştır. 1970'lere kadar yalnızca devlet çiftliklerinde bulunabilen silaj yavaş da olsa yayılmaya başlamıştır. Mısır ekiminin yaygınlaşmasında, çeşitlerin ekolojiye daha çok uyum sağlaması, etkili yabancı ot kontrolü ve randımanlı hasat aletlerinin geliştirilmesi, birim alandan çok fazla yeşil aksam üretilmesi, ikinci ürün olarak yetiştirilebilmesi, hasattan sonra uzun süre kalitesini koruyabilmesi, yüksek düzeyde tüketilebilmesi, diğer kaba yemlere göre yüksek düzeyde enerji içermesi, daha kaliteli ve ucuz silaj üretilmesi, fermantasyon için herhangi bir katkı maddesine ihtiyaç duyulmaması, ekim nöbetine girmesi ve mısır silajıyla beslenen hayvanlardan elde edilen gübrenin nem içeriğinin yüksek olması gibi üstünlükleri bulunmaktadır (Phipps ve Wilkinson 1985; Kılıç 1986; Çete ve Sarıcan 1998).

Günümüzde silajlık mısır üretim alanları, büyük hayvan çiftliklerinin olduğu yerlerde yoğunlaşmıştır. Ülkemizin hemen hemen her yerinde silajlık mısır ekimi yapılmaktadır. Ticari olarak silajlık mısır üretimi yapan çiftçiler veya şirketler balyalama yaparak silajı farklı illere satabilmektedir. Son on yıl içerisinde silajlık mısır ekim alanları ve üretim miktarı yaklaşık iki katına çıkmıştır. Türkiye’de silaj amacıyla üretilen mısırın ekim alanı yaklaşık 4,2 milyon dekadır. Toplam silajlık mısır üretimi ise 20,1 milyon tondur (Anonim 2018). Türkiye’de silajlık mısır üretiminde ön plana çıkan şehirler İzmir, Balıkesir, Bursa ve Konya’dır. İzmir silajlık mısır üretiminin tek başına %14’ünü karşılamaktadır.

Demir ve Çimrin (2011) arıtma çamuru ve humik asit uyguladıkları mısır bitkisinin gelişimi, besin elementi ve ağır metal içerikleri ile bazı toprak özelliklerini araştırdıkları çalışmada, artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun etkisiyle mısır bitkisinin kök üstü aksam Fe, Zn, Cu ve Mn ihtivalarında önemli artışların saptandığı ifade edilmiştir.

Gülay (2000), arıtma çamurunun ile mısır ve fasulye tohumu gelişimlerine etkisinin araştırdığı çalışmada; mısır ve fasulye tohumlarının arıtma çamuru suyu ve saf su ile ayrı ayrı beslenmeleri sonucu, çim kökleri ve boylarındaki değişimin arıtma çamuru suyu ile sulanan çimlerin saf suya göre daha fazla uzadığını bildirmiştir.

Prasatsrisupab vd. (2002) yaptıkları çalışmada; çamur kekinin mısır bitkisine çevreye olan etkilerinin dört yıl süreyle incelenmesiyle, kuru ağırlığın ve azot alımının yüksek oranlarda uygulanan kimyasal gübrelemeye göre daha iyi olduğunu, topraktaki Cu, Mn, Pb, Zn, Cr ve Cd birikiminde değişiklik olmadığı ancak Ni değerinin az da olsa artış gösterdiği ortaya çıkmıştır. Bu sonucun da çevre şartlarından kaynaklanabileceği bildirilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde denemenin kurulduğu arazinin toprak ve iklim özellikleri, denemede kullanılan materyaller ve laboratuvar çalışmalarında uygulanan yöntemlerle ilgili bilgiler verilmiştir.

3.1. Materyal

3.1.1. Denemenin kurulduğu alanın toprak özellikleri

Tarla denemesi Akdeniz Üniversitesi Kampus alanı içerisinde yer alan Araştırma Uygulama Çiftliği'nde belirlenen arazide gerçekleştirilmiştir.

Tarla deneme alanının toprak özellikleri; Akdeniz Üniversitesi Kampus alanında olan detaylı temel toprak etüdü ve ideal arazi kullanım planlaması çalışmalarından özetlenmiştir (Sarı vd. 1993). Deneme alanı Pınarbaşı serisi toprakları içerisinde yer almaktadır. Pınarbaşı serisi topraklarında bütün profil kil tekstürlüdür. Profil içerisinde derinlemesine belirgin kireç hareketi olup, derinlikle birlikte kirecin miktarı da artmaktadır. Ancak kireç hareketli, serbest karbonatların profilden tamamen yıkanmasına yetecek düzeyde değildir. Seri topraklarının bütün horizonlarında toprak rengi koyu kırmızımsı kahverengidir. Pınarbaşı serisi topraklarında organik madde % 1.0-2.5, kireç içeriği % 8-49 ve pH değerleri de 7.5-7.9 arasında değişmektedir. Katyon değişim kapasitesi solumda 28-37 me 100g⁻¹ arasındadır. Profildeki kil miktarı % 34-57 arasında değişmektedir. Değişim komplekslerinde yer alan baskın elementler kalsiyum ve magnezyumdur. Profildeki baskın kil tipi önce kaolinit sonra smektit olarak dağılım göstermektedir. Potansiyel üretkenlik ve verimlilik açısından Pınarbaşı serisi topraklarında bitkiye yarayışlı fosfor miktarı yetersiz, yarayışlı potasyum miktarı yüksek ve organik madde miktarı genellikle düşük veya orta düzeydedir.

Denemenin kurulduğu alandaki toprağın ve denemede kullanılan stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamurunun analiz sonuçları Çizelge 3.1. ve Çizelge 3.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneme toprağı, arıtma çamuru ve sertifikalandırılmış materyallerin analiz sonuçları

Parametre		Arıtma Çamuru (AÇ)	Deneme Toprağı	Sertifikalandırılmış Killi Tın Toprak Materyali (RTC CRM052)		Sertifikalandırılmış Arıtma Çamuru Materyali (CRM029-50G)		Sertifikalandırılmış Bitki Materyali (Peach Leaves) (CRM-1547)	
				Referans Aralığı	Okunan Değer	Referans Aralığı	Okunan Değer	Referans Değeri	Okunan Değer
pH		6.42	7.06	-	-	-	-	-	-
E.C. ds m ⁻¹		5.44	0.44	-	-	-	-	-	-
% CaCO ₃		6.9	43	-	-	-	-	-	-
Tekstür		-	Killi Tın	-	-	-	-	-	-
% Organik Madde		74	1.39	-	-	-	-	-	-
Toplam	%N	4.9	0.13	3.97±0.562	3.42	3.26±0.56	4.58	2.94	3.09
	P mg kg ⁻¹	16144	118	168± 30.7	102.67	2.11±0.26	1.51	1371	1184
	K mg kg ⁻¹	4484	8226	2390 ±76.2	1858.40	3540±290	3604	24330	24120
	Ca mg kg ⁻¹	61400	53512	2860±118	1680.97	51600±1650	55620	15590	16744
	Mg mg kg ⁻¹	6506	4267	1690±74.8	1593.10	10400±395	10428	4320	4326
	Na mg kg ⁻¹	1496	474.4	319 ±17.2	156.78	1310±384	1091	23.8	20.03
	Fe mg kg ⁻¹	5772	2619	14700±632	13920	23200±1460	20396	219.8	189.2
	Zn mg kg ⁻¹	2400	50	94.3± 2.93	86.41	833±40	784.6	17.97	20.6
	Mn mg kg ⁻¹	382.6	466.6	217 ±11.8	348.16	756±56.8	663	97.8	89.6
	Cu mg kg ⁻¹	142.8	8	56.5 ± 1.60	49.60	716±37.7	658.20	3.75	3.20
	Ni mg kg ⁻¹	126	48.9	50.8 ± 1.42	59.82	373±24.8	316	0.689	0.60
	Cr mg kg ⁻¹	51.3	35.5	57.8 ± 1.98	72.00	129±3.69	116.80	1	0.84
	Pb mg kg ⁻¹	23.6	<D.L.*	82.9 ± 2.52	91.10	192±13.9	197.6	0.869	0.712
	Cd mg kg ⁻¹	1.08	0.8	43 ± 1.16	34.85	142±7.54	147.20	0.0261	0.021

* <D.L. Cihazın dedeksiyon limitlerinin altında (Pb için D.L.< 0.03 mg kg⁻¹)

Çizelge 3.2. Deneme toprağında bitkiye yarayışlı elemetlerin analiz sonuçları

Element	Analiz Sonucu	Element	Analiz Sonucu	Element	Analiz Sonucu
Alınabilir P mg kg ⁻¹	3.14	DTPA-Ektrakte edilebilir Fe mg kg ⁻¹	1.57	DTPA-Ektrakte edilebilir Pb mg kg ⁻¹	<D.L.*
Değişebilir K %	0.025	DTPA-Ektrakte edilebilir Zn mg kg ⁻¹	3.17	DTPA-Ektrakte edilebilir Ni mg kg ⁻¹	0.17
Değişebilir Ca %	0.041	DTPA-Ektrakte edilebilir Mn mg kg ⁻¹	7.96	DTPA-Ektrakte edilebilir Cd mg kg ⁻¹	0.032
Değişebilir Mg %	0.021	DTPA-Ektrakte edilebilir Cu mg kg ⁻¹	0.97	DTPA-Ektrakte edilebilir Cr mg kg ⁻¹	<D.L.*
Değişebilir Na %	0.0023				

* <D.L. Cihazın dedeksiyon limitlerinin altında (Pb için D.L.< 0.03 mg kg⁻¹)

* <D.L. Cihazın dedeksiyon limitlerinin altında (Cr için D.L. < 0.05 mg kg⁻¹)

3.1.2. Denemenin kurulduğu alanın iklim özellikleri

Meteoroloji Genel Müdürlüğünün uzun yıllar içinde gerçekleşen ortalama değerlerine bakıldığında, denemenin yürütüldüğü Haziran-Temmuz-Ağustos ve Eylül aylarındaki ortalama sıcaklık 26.7°C , en yüksek sıcaklık 32.5°C , en düşük sıcaklık 21°C iken, bu aylarda ortalama yağış miktarı 7.3 kg/m^2 olarak belirtilmiştir.

3.1.3. Denemede kullanılan stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamuru

Denemede kullanılan stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamuru, Antalya Hurma Atık Su Arıtma Tesisinden temin edilmiştir. Hurma Atık Su Arıtma Tesisi Antalya-Kemer karayolu 16. km.'sinde, Tünektepe yolu üzerinde kıyı şeridinden 2600 m uzaklıkta kurulmuştur. 1999 ilk kademesi tamamlanan atık su arıtma ünitesi 250.000 kişiye hizmet edecek şekilde planlanmış, 2005 yılında tamamlanan II. kademe inşaatı ile kapasite 500.000 nüfusa hizmet edecek kapasiteye çıkartılmıştır. 2011 yılı Nisan ayında tamamlanan III. kademe inşaat kapsamında $210.000 \text{ m}^3/\text{gün}$ kapasiteye ulaşmış ve 1.400.000 kişilik nüfusa hizmet vermektedir. Tesiste, toplanıp çürütülmüş, yoğunlaştırılıp susuzlaştırılmış ve kurutulmuş arıtma çamurlarından denemelerde kullanılmak üzere alınmıştır. Alınan arıtma çamuru % 92-96 kurulukta ve granül forma getirilmiş olarak ağırlığı yaklaşık 800–1000 kg arasında değişen big bag adı verilen çuvallarda muhafaza edilmektedir. Tesiste bu şekilde günlük olarak yaklaşık 20-30 ton kurutulup granül hale getirilmiş arıtma çamuru üretilmektedir. Arıtma çamurunun temin edildiği tesis ve arıtma çamuru ile ilgili görseller Şekil 3.1. ve Şekil 3.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Arıtma çamurunun temin edildiği Antalya Hurma Atık Su Arıtma Tesisi



Şekil 3.2. Tarla denemesinde kullanılan stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamuru

3.1.4. Bitki materyali

Tarla denemesinde bitki materyali olarak, Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitü'nün tescilli çeşidi olan 'Burak' silajlık mısır çeşidi kullanılmıştır (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Tarla denemesinde kullanılan 'Burak' silajlık mısır çeşidi

3.2. Metot

Tarla denemesi Akdeniz Üniversitesi Kampus alanı içerisinde yer alan Araştırma Uygulama Çiftliği'nde belirlenen arazide gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Deneme arazisi genel görünüm

Bu süreçte çiftlik alanında projeye tahsis edilen alanın ilk olarak toprak işleme yapılarak arazinin fiziksel şartlarının bitkisel üretime uygun hale getirilmesi sağlanmıştır. Daha sonra alanın uzun yıllardan beri süre gelen yabancı ot sorununun önüne geçmek amacıyla mısırdaki ruhsatlı herbisitler kullanılarak yabancı ot temizliği yapılmıştır. Ayrıca arazi denemesinin başladığı andan bittiği ana kadar rutin olarak elle yabancı ot mücadelesine devam edilmiştir (Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. Deneme alanında toprak işleme ve yabancı ot mücadelesi

Fiziksel olarak toprak hazırlığı yapılan alan deneme planına uygun olarak ölçülüp ip çekilerek (1.5×4) 6 m^2 'lik parsellere ayrılmıştır. Parsellere tesadüf blokları deneme desenine uygun olarak etiket kazıkları çakılmıştır. Hurma atık su arıtma tesisinden temin edilen stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamuru deneme konularına uygun olarak $(0, 2, 4, 6, 8 \text{ ton da}^{-1})$ tartılmış, 19 Haziran 2017 tarihinde parsellere homojen olarak yayılmış ve bel toprak işleme aleti kullanılarak iyi bir şekilde

toprakla karışması sağlanmıştır. Deneme parsellerine damla sulama sistemi kurulmuş ve deneme süresince her parselin eşit bir şekilde sulanması sağlanmıştır.

Deneme Konuları

AÇ₀ 0 ton da⁻¹ (Kontrol)

AÇ₂ 2 ton da⁻¹

AÇ₄ 4 ton da⁻¹

AÇ₆ 6 ton da⁻¹

AÇ₈ 8 ton da⁻¹

Toprağa uyguladığımız arıtma çamurunun su ve diğer faktörlerin etkisi ile parçalanıp ayrışmaya başlaması için arazi 3 hafta süre ile düzenli olarak ve eşit bir şekilde sulanarak inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresinin sonunda 10 Temmuz 2017 tarihinde her parselin 0-30 cm derinliğinden 1. dönem toprak örnekleme yapılmıştır. Alınan toprak örnekleri laboratuvar ortamında hava kuru hale getirilmiş ve 2 mm'lik elekten elenerek analizler için hazırlanmıştır. (Şekil 3.6.).



Şekil 3.6. Arıtma çamurunun tartılması, deneme alanına uygulanması ve inkübasyon süreci

3 haftalık inkübasyon sürecinin ardından 10 Temmuz 2017'de Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nün tescilli çeşidi olan 'Burak' silajlık mısır çeşidinin tohumları parsellere, her damlama için ikişer adet olmak üzere ve 5'er cm toprak derinliğe ekilmiştir. Ekim sonrası ilk çimlenme dördüncü gün de gözlemlenmiştir. Çimlenmenin yoğunluk gösterdiği parseller 2 ton da⁻¹ ve 6 ton da⁻¹'dir. Ekim tarihini takip eden 10. günde her parselde damlama başına ekilen iki adet mısır bitkisinden gözlem yapılarak homojen olarak büyüyenler parsellerde bırakılarak seyreltme işlemi

gerçekleştirilmiştir. Denemede bitkilerin tohum ekiminden fide aşamasına kadar geçen süreçteki görüntüleri Şekil 3.7. ve Şekil 3.8.'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Deneme parsellerine tohumların ekilmesi, çıkış ve seyreltme işlemleri



Şekil 3.8. Deneme parsellerinde fide aşamasındaki silajlık mısır bitkileri

Deneme parsellerine farklı dozlarda uygulanan arıtma çamurunun silajlık mısır bitkilerinin farklı gelişime dönemleri üzerindeki etkisi Şekil 3.9.a. ve b.'de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.9.a.) Deneme parsellerine farklı dozlarda uygulanan arıtma çamurunun silajlık mısır bitkilerinin farklı gelişme dönemlerindeki etkisi. **b.)** Farklı dozlarda uygulanan arıtma çamurunun mısır bitkilerinin gelişimine etkisi.

Tohum ekiminden 10 hafta sonra 15 Eylül 2017 tarihinde her parselde gelişimleri homojen olan beş adet mısır bitkisi seçilmiş ve ölçüm yapılarak ilk koçan yüksekliği belirlenmiştir (Şekil 3.10.). Yine aynı tarihte klorofil-metre cihazı ile arazi

şartlarında koçana bitişik yaprak yüzeylerinin klorofil içerikleri belirlenmiş ve koçana bitişik yapraklardan örnekleme yapılarak aynı gün içerisinde laboratuvar şartlarında aseton ekstraksiyon yöntemi (Williams 1984) ile toplam klorofil miktarı spektrofotometre cihazında klorofil-a ve klorofil-b olmak üzere belirlenmiştir. Kalan yaprak örnekleri yıkanmış, 65 C⁰'de kurutularak öğütülmüş ve analizler için hazır hale getirilmiştir.

Ayrıca 15 Eylül 2017 tarihinde 2. dönem toprak örnekleme de yapılmış ve örnekler hava kuru hale getirilerek analizler için hazırlanmıştır. (Şekil 3.11.).

100 günlük vejetasyon süresini tamamlayan silajlık mısırlar 24 Ekim 2017 tarihinde hasat edilmiş ve deneme sonlandırılmıştır (Şekil 3.12). Her parseli temsil eden homojen beş örnek bitki seçilerek tüm üst aksam (koçan hariç), koçan ve kök olarak ayrılmıştır (Şekil 3.13.). Tüm üst aksam (koçan hariç) ve koçanların yaş ağırlığı ayrı ayrı alınarak 65 C⁰'lik etüve konulmuş ve son iki tartım sabitleninceye kadar kurutulmuştur. Daha sonra bitki örnekleri değirmende öğütülerek analizler için hazır hale getirilmiştir. Ayrıca, bu dönemde 3. dönem toprak örnekleri de alınmıştır.



Şekil 3.10. Tarla denemesinin genel görüntüsü (Soldan Sağa: AÇ₀-AÇ₂-AÇ₄-AÇ₆-AÇ₈)



Şekil 3.11. Her parselden alınan ve analizler için hazırlanan toprak örnekleri



Şekil 3.12. Tarla denemesinin hasadı.



Şekil 3.13. Hasat sonrası tüm üst aksam (koçan hariç), koçan ve kök örnekleri

3.2.1. Laboratuvar analiz metotları

3.2.1.1. Arıtma çamuru analiz metotları

Deneme materyali olarak kullanılan stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamurunda aşağıdaki analizler gerçekleştirilmiştir.

Organik madde: Organik madde içeriği kuru yakma metoduna göre belirlenmiştir (Kacar 2009).

pH: pH değeri 1:5 oranında arıtma çamuru-saf su karışımı 1 saat süreyle çalkalandıktan sonra pH-metre ile okunarak belirlenmiştir.

Elektriksel iletkenlik (EC): EC değeri 1:5 oranında arıtma çamuru-saf su karışımında 1 saat süreyle çalkalandıktan sonra EC-metre ile okunarak belirlenmiştir.

Toplam azot (N): Azot tayini modifiye Kjeldahl metoduna göre yapılmıştır (Kacar ve İnal 2008).

Toplam fosfor (P), potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), sodyum (Na), demir (Fe), çinko (Zn), mangan (Mn), bakır (Cu), kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), krom (Cr), nikel (Ni): Stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamuru örneğinden 0.5 g tartılmış ve üzerine 3 ml HCl (% 37), 9 ml HNO₃ (% 65) ilave edildikten sonra digiblok (Labtech ED 36S) yakma ünitesinde analizler yapılmıştır (EPA 3051a). Daha sonra elde edilen süzükte bu elementlerin toplam konsantrasyonları ICP-OES (Perkin Elmer 7000DV) cihazında belirlenmiştir.

3.2.1.2. Toprak analiz metotları

Deneme alanının sürüm işlemleri ve yabancı ot uygulamaları yapıldıktan sonra yaklaşık 3 hafta beklenmiştir. Deneme alanının başlangıçtaki toprak özelliklerini belirlemek için 0-30 cm derinlikten 1 adet toprak örneği alınmıştır. Daha sonra sulama sistemi kurulmuş ve parseller oluşturulmuştur. Oluşturulan parsellere deneme materyali olan arıtma çamuru belirlenen dozlarda 0-30 cm derinliğe uygulanmıştır. Uygulamalar gerçekleştirildikten sonra her parsel eşit şekilde sulanarak ve 3 hafta süreyle inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresi tamamlandığında her parselin 0-30 cm derinliğinden 20 adet toprak örneği (1. Dönem) alındıktan sonra tohum ekimi yapılmıştır. Ayrıca bitkiler koçan püskülü dönemine geldiğinde (20 adet; 2. Dönem) ve hasat döneminde (20 adet; 3. Dönem) de uygulamalara bağlı olarak toprakta meydana gelen değişimi belirlemek için parsellerin 0-30 cm derinliğinde toprak örnekleri alınmıştır. Deneme toprakları hava kuru hale getirildikten sonra 2 mm'lik elekten elenerek analizlere hazır hale getirilmiştir.

Toprak bünyesi: Bouyoucos (1955) tarafından bildirilen esaslara göre hidrometre yöntemiyle yapılmış ve bünye sınıfının belirlenmesinde toprak bünyesi sınıflandırma üçgeninden yararlanılmıştır (Black 1957).

Kireç (%CaCO₃): Kireç içeriği Scheibler kalsimetresi ile belirlenmiştir ve sonuçlar % CaCO₃ olarak hesaplanmıştır (Çağlar 1949).

pH değeri: pH değeri 1:2.5 oranında toprak-saf su karışımı 30 dakika süreyle 150 devir/dak. da çalkalanmış, filtre kağıdından süzme işlemi yapıldıktan sonra pH-metre ile okunarak belirlenmiştir (Jackson 1967).

Elektriksel iletkenlik (EC): EC değeri 1:2.5 oranında toprak-saf su karışımında 30 dakika süreyle 150 devir/dak. da çalkalanmış, filtre kağıdından süzme işlemi yapıldıktan sonra EC-metre ile okunarak belirlenmiştir (Jackson 1967).

Organik madde: Modifiye Walkley-Black metoduna göre yapılmıştır (Black 1965), sonuçlar % olarak hesaplandıktan sonra Thun vd. (1955)'ne göre sınıflandırılmıştır.

Toplam N: Modifiye Kjeldahl metoduna göre (Kacar 2009) tayin edilmiş ve sonuçlar % olarak hesaplandıktan sonra Loue (1968)'ya göre sınıflandırılmıştır.

Alınabilir P: Olsen metoduna göre tayin edilerek spektrofotometre cihazında 880 nm dalga boyunda okuma yapılarak konsantrasyonları belirlenmiş ve sınıflandırılmıştır (Olsen ve Sommers 1982).

Değişebilir K, Ca, Mg ve Na: Örneklerin ekstraksiyonunda 1 N Amonyum Asetat (pH=7) metodu Kacar (2009) tarafından bildirildiği şekilde uygulanmış ve

konsantrasyonlar ICP-OES (PE-Optima 7000 DV) cihazında belirlenmiştir. Potasyum sonuçları Pizer (1967)'e, kalsiyum ve magnezyum sonuçları Loue (1968)'ya, sodyum sonuçları Kacar (1962)'a göre sınıflandırılmıştır.

Alınabilir Fe, Zn, Mn, Cu, Pb, Cd, Cr, Ni: Örneklerin 0.005M DTPA ile muamele edilmesi sonucu elde edilen süzüklerdeki konsantrasyonlar (Lindsay ve Norvell 1978) ICP-OES (PE-Optima 7000 DV) cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

Toplam Fe, Zn, Mn, Cu, Pb, Cd, Cr, Ni: Örneklerden 1g alınarak üzerlerine 3 ml HCl (% 37), 9 ml HNO₃ (% 65) ilave edildikten sonra digiblok (Labtech ED 36S) yakma ünitesi kullanılarak yaş yakma yapılmıştır. Daha sonra elde edilen süzüklerde Fe, Zn, Mn, Cu, Pb, Cd, Cr, Ni elementlerinin toplam konsantrasyonları ICP-OES (PE-Optima 7000 DV) cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

3.2.1.3. Bitki analiz metotları

Tohum ekiminden 10 hafta sonra 15 Eylül 2017 tarihinde arazi şartlarında Minolta Spad-502 cihazı ile yaprakların klorofil okumaları yapılmıştır. Daha sonra ölçüm yapılan bu yapraklardan örnekler alınarak laboratuvar şartlarında diğer analizler gerçekleştirilmiştir.

24 Ekim 2017 tarihinde 100 günlük vejetasyon süresini tamamlayan silajlık mısır bitkileri kök boğazından kesilerek hasat edilmiş; tüm üst aksam (koçan hariç), koçan ve kök olarak üçe ayrılmış ve laboratuvar analizleri yapılmıştır..

Klorofil düzeyi: Arazi şartlarında klorofil içeriklerine ait değerler klorofil-metre (Minolta Spad-502 plus) cihazı ile ölçülerek tespit edilmiştir.

Toplam klorofil: Minolta Spad-502 plus cihazı ile arazi şartlarında klorofil ölçümü yapılan taze yaprak örnekleri alınarak laboratuvara getirilmiş ve aynı gün içerisinde aseton ekstraksiyon yöntemine göre klorofil analizleri yapılmış ve spektrofotometre cihazında klorofil-a ve klorofil-b değerleri belirlenmiştir.(Williams 1984).

Azot: 15 Eylül 2017 tarihinde alınan yaprak örnekleri ve hasatta alınan tüm üst aksam (koçan hariç), koçan ve kök örnekleri yıkanmış, 65 C⁰'de kurutulmuş ve öğütülerek analizlere hazır hale getirilmiştir. Azot tayini Modifiye Kjeldahl metoduna göre yapılmıştır (Kacar ve İnal 2008).

Protein: Bitki örneklerinin azot içeriği belirlendikten sonra elde edilen değer mısır için protein çevrim katsayısı olan 6.25 ile çarpılarak hesaplanmıştır.

Toplam makro (P, K, Ca, Mg, Na) ve mikro (Fe, Zn, Mn, Cu) bitki besin elementleri ve ağır metaller (Ni, Cr, Pb, Cd): 15 Eylül 2017 tarihinde alınan yaprak

örnekleri ve hasatta alınan tüm üst aksam (koçan hariç), koçan ve kök örneklerinden 0.5 g alınarak üzerlerine 3 ml HCl (%37), 9 ml HNO₃ (%65) ilave edildikten sonra digiblok (Labtech ED 36S) yakma ünitesinde yaş yakma işlemi yapılmıştır (EPA 3051a). Daha sonra elde edilen süzükte bu elementlerin toplam konsantrasyonları ICP-OES (PE-Optima 7000 DV) cihazında belirlenmiştir.

İlk koçan yüksekliği (cm): Bitkilerin ilk koçanlarının bağlandığı boğum ile toprak yüzeyi arasındaki dikey mesafe cm cinsinden ölçülerek belirlenmiştir.

Koçan sayısı (adet): Her parselden seçilen bitkilerdeki koçanların sayısı adet olarak belirlenmiştir.

Koçan/bitki oranı: Her parselden seçilen bitkilerin koçanları, sap ve yaprakтан ayrılarak tartılmış ve tüm üst aksam (koçan hariç) ağırlığına oranlanarak hesaplama yapılmıştır.

Yaş ağırlık: Her parselden elde edilen bitkiler kök boğazlarından kesilerek hasat edildikten sonra tüm üst aksam (koçan hariç) ve koçan olarak ayrılmıştır. Tüm üst aksam (koçan hariç) ve koçan ağırlıkları ayrı ayrı tartılarak bir dekar alana göre yaş ağırlıkları hesaplanmıştır (kg da⁻¹).

Kuru madde verimi: Her parselden hasat edilen bitkiler tüm üst aksam (koçan hariç) ve koçan olarak ayrıldıktan sonra 65 C⁰'de son iki tartım sabitlenene kadar kurutulmuş ve tartılmıştır. Elde edilen değerler bir dekar alana göre hesaplanmıştır (kg da⁻¹).

ADF: ADF tayini için tüm üst aksam (koçan hariç) ve koçan örnekleri, hizmet alımı kapsamında Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü/Konya'ya gönderilmiş ve analizleri yaptırılmıştır (Vansoest vd. 1991).

NDF: NDF tayini için tüm üst aksam (koçan hariç) ve koçan örnekleri, hizmet alımı kapsamında Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü/Konya'ya gönderilmiş ve analizleri yaptırılmıştır (Vansoest vd. 1991).

Selüloz: Selüloz tayini için tüm üst aksam (koçan hariç) ve koçan örnekleri, hizmet alımı kapsamında Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü/Konya'ya gönderilmiş ve analizleri yaptırılmıştır (Vansoest vd. 1991).

Biyoakümülyasyon faktörü (BAF): Bitkinin toprak üstü aksamlarındaki tüm üst aksam (koçan hariç), yaprak ve koçan için metal konsantrasyonlarının, yetiştirme ortamlarındaki toplam metal konsantrasyonuna bölünmesi ile belirlenmiş ve her bir ağır metal için ayrı ayrı hesaplanmıştır (Liu vd. 2008).

$$\text{BAF: } K_b / K_o$$

K_b : Bitkinin toprak üstü aksamındaki metal konsantrasyonu

K_o : Yetiştirme ortamlarındaki toplam metal konsantrasyonu

3.2.2. İstatistiksel analiz metotları

Uygulama konularının incelenen özellikler üzerine etkilerini belirlemek için her bir özelliğe ait değerler bilgisayar ortamında MSTAT-C paket programı ile varyans analizine tabi tutularak önemlilik düzeyleri belirlenmiştir. Ayrıca MINITAB paket programı ile ortalamalar arasındaki farklılıklar LSD testi ile belirlenmiş ve farklı grupların harflendirilmesinde % 5 önem düzeyi esas alınmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde gerçekleştirilen tarla denemesinden elde edilen bulgular verilmiş ve tartışılmıştır.

4.1. Yetiştirme Ortamlarının pH, EC, Organik Madde Kapsamları ve Değerlendirilmesi

Silajlık mısır yetiştiriciliği için 9 Haziran 2017 tarihinde artan dozlarda arıtma çamuru deneme parsellerine uygulanmıştır. Parseller 3 hafta süresince eşit bir şekilde sulama yapılarak inkübasyona bırakılmış ve 10 Temmuz 2017 tarihinde 1. Dönem toprak örnekleri alındıktan sonra tohum ekimi gerçekleştirilmiştir. Tohum ekiminden 10 hafta sonra 15 Eylül 2017 tarihinde 2. Dönem ve 24 Ekim 2017 tarihinde bitkinin hasadı esnasında 3. Dönem toprak örnekleri alınmıştır. Alınan toprak örneklerinde yapılan pH analizi sonuçları Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Yetiştirme ortamlarında pH analiz sonuçları¹

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönem			Ort.
	1	2	3	
AÇ ₀	7.06 c	7.45 b	7.57 A ³ a ⁴	7.36
AÇ ₂	7.12 c	7.39 b	7.55 A a	7.35
AÇ ₄	7.12 c	7.43 b	7.44 B a	7.33
AÇ ₆	7.07 c	7.35 b	7.40 B a	7.27
AÇ ₈	7.06 b	7.23 b	7.39 B a	7.23
Ort.	7.09	7.37	7.47	
Varyans Analizi ²				
AÇ	ö.d.	ö.d.	*	
Dönem	***			

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

2. ö.d. : önemli değil; *** % 0.1 düzeyinde önemli; * %5 düzeyinde önemli

3. Aynı sütunda büyük harfle gösterilen değerler farklı arıtma çamuru dozları arasındaki %5 düzeyinde farkı göstermektedir.

4. Aynı satırda küçük harfle gösterilen değerler arıtma çamuru dozlarının dönemler arasındaki % 5 düzeyindeki farkını göstermektedir.

Çizelge 4.1.'de görüldüğü gibi artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun birinci ve ikinci dönem toprak örneklerinin pH'ları üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Buna karşılık üçüncü dönemde artan dozlarda uygulanan arıtma

çamurunun deneme toprağının pH düzeyi üzerine etkisinin %5 düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. 3. Dönemde AÇ₀ uygulamasında 7.57 olan toprak pH'ı AÇ₄ uygulamasında 7.44 olarak belirlenmiş 0.13 birim azalmıştır; 0.17 birim ile AÇ₆, 0.18 birim ile AÇ₈ uygulamalarında da toprak pH'ında düşme meydana gelmiş ancak AÇ₄, AÇ₆ ve AÇ₈ uygulamaları istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır.

Dönemsel olarak incelendiğinde inkübasyon sonrası dönemden hasada kadar geçen süreç içerisinde pH düzeylerinin % 0.1 düzeyinde önemli olduğu istatistiksel analizler sonucunda tespit edilmiştir. Hem kontrol (AÇ₀) ve hem de arıtma çamuru uygulanmış parsellerde 1. Dönemden 3. Döneme doğru toprak pH'ında artma meydana gelmiştir. Kontrol parselinde (AÇ₀) zamana bağlı olarak 0.51 birimlik pH artışı meydana gelirken arıtma çamuru uygulanan parsellerde 0.32-0.43 birimleri arasında artış gerçekleşmiştir. Genel itibarıyla arıtma çamuru uygulanmış parsellerde pH yükselmesinin biraz daha az olduğu söylenebilir. Arıtma çamuru %74 organik madde içerdiğinden dolayı ayrışması sırasında açığa çıkan organik asitlerin, oluşan karbonik asitin ve ayrıca artan mikroorganizma aktivesine bağlı olarak açığa çıkan CO₂'in de toprakta H₂O ile birleşerek oluşturduğu karbonik asitin toprak pH'ının yükselmesine kontrol parselinden daha az izin vermiş olduğu düşünülmektedir. Orman vd. (2014) tarafından stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamuru uygulanan pH'ı 8.05 ve % 17.71 CaCO₃ içeren toprakta istatistiksel olarak önemli ve ortalama 0.5 birim civarında pH düşmesi gerçekleştiği bildirilmiştir.

Ayrıca kireçle stabilize edilmiş arıtma çamuru uygulamalarının toprağın pH değerleri üzerinde artışa neden olabileceği El-Naim (2004) ve Aoyana vd. (2006)'nın yaptığı çalışmalarda bildirilmiştir.

Wong vd. (1996) tarafından arıtma çamuru uygulamasının toprak pH'sı üzerine etkisinin küçük düzeylerde kalması mineralizasyon sürecinde meydana gelen asitlik unsurlarının, hem toprağın sahip olduğu yüksek tamponluk kapasitesi ile nötralize edilmesi hem de arıtma çamurunun sahip olduğu değişebilir iyonlarla tompanlamasının neden olduğu bildirilmektedir.

Göçmez (2006), İzsu arıtma tesisinden elde edilen kireçle stabilize edilmiş arıtma çamurunu 5 farklı dozda (1, 2, 3, 4 ve 5 ton da⁻¹) alüviyal toprağa bir toprağa uygulayıp, pamuk ve buğday münavabesinin yapıldığı tarım arazilerinden 2 yıl boyunca belli aralıklarla aldığı toprak örnekleriyle yaptığı çalışma sonucunda; artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun toprağın pH'sını arttırdığını ancak bu artışın önemli olmadığını belirtmiştir.

Denemeden alınan toprak örneklerinin EC değerlerine ait analiz sonuçları Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Yetiştirme ortamlarında EC (dS m⁻¹) analiz sonuçları¹

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Dönem			Ort.
	1	2	3	
AÇ ₀	0.49 E ³ b ⁴	0.28 D a	0.22 a	0.33
AÇ ₂	0.60 D c	0.37 C b	0.26 a	0.41
AÇ ₄	0.72 C c	0.42 B b	0.25 a	0.46
AÇ ₆	0.96 A c	0.38 BC b	0.26 a	0.53
AÇ ₈	0.86 B c	0.61 A b	0.25 a	0.57
Ort.	0.73	0.41	0.25	
Varyans Analizi ²				
AÇ	*	*	ö.d.	
Dönem	***			

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

2. ö.d. : önemli değil; *** % 0.1 düzeyinde önemli; * %5 düzeyinde önemli

3. Aynı sütunda büyük harfle gösterilen değerler farklı arıtma çamuru dozları arasındaki %5 düzeyinde farkı göstermektedir.

4. Aynı satırda küçük harfle gösterilen değerler arıtma çamuru dozlarının dönemler arasındaki % 5 düzeyindeki farkını göstermektedir.

Artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun istatistiksel olarak toprağın EC düzeyine etkisi incelendiğinde 1. ve 2. dönemde %5 düzeyinde önemli; 3. Dönemde ise önemsiz bulunmuştur. Uygulamalara bağlı olarak toprağın EC'si hem 1. hem de 2. dönemde artış göstermiştir. Ancak arıtma çamurunun EC'si 5.44 dS m⁻¹ olup yüksek olmasına rağmen toprağın EC'sinde meydana gelen artış tuzsuz sınıfında yer almış ve toprağın başlangıçtaki tuz (0.44 dS m⁻¹) sınıfının değişmesine neden olmamıştır.

Dönemsel olarak incelendiğinde arıtma çamuru uygulamalarının toprağın EC'si üzerine etkisinin istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli olduğu görülmektedir. 1. dönemden 3. döneme doğru toprak EC değerleri azalma göstermiştir. Buna neden olarak 1 dönem toprak örnekleri alındıktan sonra mısır tohumları ekilerek bitkinin vejetasyon süreci başlamış ve bu süreçte bitkinin büyümeye ve gelişmeye devam ederken toprakta tuzluluk oluşturabilecek iyonları (ki bu iyonlar aynı zamanda birer bitki besin elementidir) absorbe ederek tuz etkisinin oluşmasını önlemiş olduğu düşünülmektedir. Ayrıca mısır bitkisinin yüksek düzeyde besin elementi absorbe eden bir bitki olduğuda bilinen bir gerçektir. Göçmez (2006), artan dozlarda arıtma çamuru uygulanmış topraklarda yaptıkları analizlerde arıtma çamuru dozuna bağlı olarak toprak EC'sinde

bir artış gözlemlenmişler ve en yüksek EC değerini en yüksek arıtma çamuru uygulamasında tespit etmişlerdir. Ancak toprak EC'sindeki artış toprağın tuzluluk sınıfını değiştirmekten uzak bulunmuştur.

Denemeden alınan toprak örneklerinin organik madde değerlerine ait analiz sonuçları Çizelge 4.3.'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Yetiştirme ortamlarında organik madde (%) analiz sonuçları¹

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹).	Dönem			Ort.
	1	2	3	
AÇ ₀	1.99 b	2.13 C ³ a ⁴	2.60 BC a	2.24
AÇ ₂	2.22 b	3.24 A a	2.83 B a	2.77
AÇ ₄	2.09 b	2.83 B a	2.44 C a	2.45
AÇ ₆	2.27 b	3.26 A a	2.41 C a	2.65
AÇ ₈	1.94 b	2.78 B a	3.268A a	2.665
Ort.	2.10	2.85	2.71	
Varyans Analizi ²				
AÇ	ö.d.	*	*	
Dönem		***		

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

2. ö.d. : önemli değil; *** % 0.1 düzeyinde önemli; * %5 düzeyinde önemli

3. Aynı sütunda büyük harfle gösterilen değerler farklı arıtma çamuru dozları arasındaki %5 düzeyinde farkı göstermektedir.

4. Aynı satırda küçük harfle gösterilen değerler arıtma çamuru dozlarının dönemler arasındaki % 5 düzeyindeki farkını göstermektedir.

Artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun ikinci ve üçüncü dönemde organik madde düzeyleri istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamaları kontrole göre toprağın organik madde içeriğini arttırmıştır. Orman vd. (2014) tarafından toprağa uygulanan arıtma çamurunun organik madde içeriğini önemli bir şekilde arttırdığı bildirilmektedir.

Dönemsel olarak ise arıtma çamuru uygulamaları toprağın organik madde içeriği üzerine %0.1 düzeyinde önemli etkide bulunmuştur. 2. ve 3. dönemde belirlenen organik madde içerikleri istatistiksel olarak aynı grupta yer almasına rağmen 1. döneme göre artış göstermiştir.

4.2. Yetiştirme Ortamlarında Bitkiye Yarayışlı ve Toplam Makro Element Konsantrasyonları ve Değerlendirilmesi

Silajlık mısır yetiştiriciliğinde stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamurunun artan dozlarda toprağa uygulanması ile yetiştirme ortamlarındaki bitkiye yarayışlı azot, forfor, potasyum, magnezyum, kalsiyum, sodyum konsantrasyonlarının analiz sonuçları izelge 4.4.'de; ve bu makro elementlerin yetiştirme ortamlarındaki toplam konsantrasyonlarının analiz sonuçları izelge 4.5.'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Yetiştirme ortamlarında bitkiye yarayışlı makro element analiz sonuçları¹

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Elementler											
	Toplam N (%)				Alınabilir P (mg kg ⁻¹)				Değişebilir K (%)			
	1	2	3	Ort.	1	2	3	Ort.	1	2	3	Ort.
AÇ ₀	0.13 D ³ a ⁴	0.13 D a	0.13 a	0.13	3.28 C a	2.37 D a	2.91 D a	2.52	0.027 B a	0.020A b	0.021 A b	0.023
AÇ ₂	0.17 C a	0.18 C a	0.16 a	0.17	5.46 B c	9.29 B b	11.92 C a	8.89	0.034 A a	0.023A b	0.024 A b	0.027
AÇ ₄	0.21 B a	0.21 BC a	0.14 b	0.18	7.71 A b	12.33 A a	11.09 C a	10.38	0.027 B a	0.017 B b	0.016 C b	0.020
AÇ ₆	0.25 A a	0.25A a	0.14 b	0.21	8.27 A b	15.25 A a	13.38 B a	12.30	0.027 B a	0.020 A b	0.023 A b	0.023
AÇ ₈	0.26 A a	0.23AB a	0.15 b	0.20	5.72 B b	16.73 A a	17.66 A a	10.04	0.021 B a	0.018 B b	0.018 B b	0.019
Ort.	0.21	0.20	0.13		6.01	11.20	11.40		0.027	0.020	0.020	
Varyans Analizi ²												
AÇ	***	***	ö.d.		***	***	***		***	***	***	
Dönem	***				***				***			

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

2. ö.d. : önemli değil; *** % 0.1 düzeyinde önemli; * %5 düzeyinde önemli

3. Aynı sütunda büyük harfle gösterilen değerler farklı arıtma çamuru dozları arasında aynı dönemde % 5 düzeyindeki farkı göstermektedir.

4. Aynı satırda küçük harfle gösterilen değerler aynı arıtma çamuru dozunun farklı dönemler arasında % 5 düzeyindeki farkını göstermektedir.

Çizelge 4.4'ün devamı

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Elementler											
	Değişebilir Mg (%)				Değişebilir Ca (%)				Değişebilir Na (%)			
	1	2	3	Ort.	1	2	3	Ort.	1	2	3	Ort.
AÇ ₀	0.025 C a	0.020 C b	0.024 B a	0.023	0.49 a	0.43 b	0.43 b	0.45	0.0025 C b	0.0040 C a	0.0022 B b	0.0029
AÇ ₂	0.026 C a	0.026 AB a	0.026 AB a	0.026	0.48 a	0.49 a	0.46 a	0.48	0.0034 A b	0.0050 B a	0.0027 A c	0.0037
AÇ ₄	0.029AB b	0.030 A a	0.024 B c	0.028	0.43 b	0.49 a	0.43 b	0.45	0.0029 B b	0.0066 A a	0.0015 C c	0.0037
AÇ ₆	0.030A a	0.029A b	0.027A c	0.029	0.48 b	0.47 a	0.43 b	0.46	0.0037 A a	0.0035 BC a	0.0025 AB b	0.0032
AÇ ₈	0.027 BC a	0.024 BC b	0.027A a	0.026	0.52 a	0.46 b	0.40 c	0.46	0.0026 C b	0.0031 D a	0.0015 C c	0.0024
Ort.	0.027	0.026	0.025		0.48	0.47	0.43		0.0030	0.0044	0.0020	
Varyans Analizi												
AÇ	***	***	***		ö.d.	ö.d.	ö.d.		***	***	***	
Dönem	***				*				***			

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

2. ö.d. : önemli değil; *** % 0.1 düzeyinde önemli; * %5 düzeyinde önemli

3. Aynı sütunda büyük harfle gösterilen değerler farklı arıtma çamuru dozları arasında aynı dönemde % 5 düzeyindeki farkı göstermektedir.

4. Aynı satırda küçük harfle gösterilen değerler aynı arıtma çamuru dozunun farklı dönemler arasında % 5 düzeyindeki farkını göstermektedir.

Çizelge 4.5. Yetiştirme ortamlarında toplam makro element analiz sonuçları¹

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Elementler											
	Toplam P (mg kg ⁻¹)				Toplam K (mg kg ⁻¹)				Toplam Mg (mg kg ⁻¹)			
	1	2	3	Ort.	1	2	3	Ort.	1	2	3	Ort.
AÇ ₀	99.71 D ³ b ⁴	121.83 D a	122.28 D a	114.61	8653 b	9765 B a	4755 D c	772 4	4746 A b	4856 A a	4006 C c	454 0
AÇ ₂	121.24 B b	150.26 C a	141.80 C a	137.77	9711 a	9406 A a	5560 BC b	822 6	4789 A a	4345 BC b	4018 C c	438 0
AÇ ₄	135.88 A c	186.73 A a	149.23 C b	157.28	9373 a	7980 AB b	6111 B c	782 1	4470 B b	4545 AB a	4065 BC c	436 0
AÇ ₆	118.68 C b	174.83 B a	189.23 B a	160.91	9063 a	8868 AB b	7800 A c	857 7	4490 B a	4108 C c	4478 A b	435 9
AÇ ₈	100.65 D c	167.13 B b	200.85 A a	156.21	8577 a	6814 B b	5151 CD c	684 7	4409 B a	3947 C c	4282 AB b	421 3
Ort.	115.23	160.16	160.68		9075	8566	5875		4581	4360	4170	
Varyans Analizi ²												
AÇ	***	***	***		ö.d.	***	***		***	***	***	
Dönem	***				***				***			

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

2. ö.d. : önemli değil; *** % 0.1 düzeyinde önemli

3. Aynı sütunda büyük harfle gösterilen değerler farklı arıtma çamuru dozları arasında aynı dönemde % 5 düzeyindeki farkı göstermektedir.

4. Aynı satırda küçük harfle gösterilen değerler aynı arıtma çamuru dozunun farklı dönemler arasındaki % 5 düzeyindeki farkını göstermektedir.

Çizelge 4.5.in devamı

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Elementler							
	Toplam Ca (mg kg ⁻¹)				Toplam Na (mg kg ⁻¹)			
	1	2	3	Ort.	1	2	3	Ort.
AÇ ₀	60625 B b	53658 C b	138022 A a	84102	753.00 b	806.20 B a	576.05 C c	676.07
AÇ ₂	57338 B b	57230 C b	147900 A a	87489	858.88 a	731.78 B b	437.55 E c	711.75
AÇ ₄	60375 B b	61505 B b	69975 C a	63952	802.55 b	900.90 A a	528.65 D c	744.03
AÇ ₆	52275 B b	53290 C b	76147 C a	60571	827.80 a	766.90 B b	764.90 B b	786.53
AÇ ₈	69230 A b	81763 A a	89430 B a	80141	776.45 b	602.60 C c	941.83 A a	773.63
Ort.	59969	61489	104295		803.74	761.68	649.80	
Varyans Analizi ²								
AÇ	***	***	***		ö.d.	***	***	
Dönem	***				***			

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

2. ö.d. : önemli değil; *** % 0.1 düzeyinde önemli

3. Aynı sütunda büyük harfle gösterilen değerler farklı arıtma çamuru dozları arasında aynı dönemde % 5 düzeyindeki farkı göstermektedir.

4. Aynı satırda küçük harfle gösterilen değerler aynı arıtma çamuru dozunun farklı dönemler arasındaki % 5 düzeyindeki farkını göstermektedir.

4.2.1. Yetiştirme ortamlarının toplam azot konsantrasyonu ve değerlendirilmesi

Artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun toprağın toplam azot konsantrasyonu üzerindeki etkileri 1. ve 2. dönemde istatistiksel olarak önemli bulunurken 3. dönemde önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.4.). 1. ve 2. dönemlerde toprağın azot içeriği uygulamalara bağlı olarak artış göstermiştir. AÇ₂, AÇ₄, AÇ₆ ve AÇ₈ uygulamaları AÇ₀ (Kontrol) göre istatistiksel olarak farklı grupta yer almıştır. Toprağın % toplam azot sınıfı Loue (1968)'ya değerlendirildiğinde iyi (%0.111-0.130) sınıfından 2 ton da⁻¹ ve üzeri arıtma çamuru uygulamalarında çok iyi (% 0.130<) sınıfına geçiş sağlamıştır. Ancak AÇ₆ ve AÇ₈ uygulamaları istatistiksel olarak aynı grupta yer aldığından dolayı 4 ton da⁻¹ üzerinde arıtma çamuru uygulamasının önemli bir etki göstermediği görülmektedir. Ayrıca toprağın deneme kurulmadan önceki analizinde toplam azot içeriği % 0.130 olarak belirlenmiş olup arıtma çamuru için 4 ton da⁻¹ uygulamasında en yüksek toprak azot içeriği % 0.21 olarak tespit edilmiş ve başlangıca göre toprağın azot içeriğinde % 61.5'lik artış sağlanmıştır. Yapılan bir çalışmada toprağa artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun, toprağın azot miktarını da arttırdığı bildirilmiştir (Navas vd. 1998).

Dönemsel açıdan incelendiğinde ise istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli farklılıkların bulunduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.4.). 1. ve 2. örnekleme dönemlerinde toprağın azot içeriği bütün uygulamalarda aynı istatistiksel grupta yer alırken, 3. dönemde farklı grupta ve daha düşük olarak belirlenmiştir. Bu duruma mısır bitkisinin vejetasyon periyodu içerisindeki özellikle 40. günden sonraki besin absorpsiyonunun artışı (ki azot elementi ile ilgili denemelerde mısır test bitkisi olarak kullanılır) ve buna ilave olarak mineralizasyonla açığa çıkan azotun kısmende olsa buharlaşma ve yıkanma kayıplarına uğramış olma ihtimalini düşündürmektedir. Hasad esnasında yapılan 3. dönem örneklemesinde toprağın azot konsantrasyonu başlangıçtaki azot konsantrasyonuna dönmüştür.

4.2.2. Yetiştirme ortamlarının alınabilir ve toplam fosfor konsantrasyonları ve değerlendirilmesi

Alınabilir Fosfor: Artan dozlarda arıtma çamuru uygulamalarının toprağın alınabilir fosfor konsantrasyonlarına etkisi istatistiksel olarak her üç dönemde de % 0.1 düzeyinde önemli olmuş ve AÇ₀ (Kontrol) uygulamasına göre diğer tüm uygulamalarda toprağın alınabilir fosfor içeriği artmıştır (Çizelge 4.4.). 1. ve 2. dönemde 4 ton da⁻¹'in üzerindeki arıtma çamuru uygulamaları istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. 3. dönemde 2 ve 4 ton da⁻¹ arıtma çamuru uygulamaları aynı grupta yer alırken, 6 ton da⁻¹ ve 8 ton da⁻¹ uygulamaları farklı gruplarda yer almıştır. Arıtma çamuru uygulamalarının alınabilir fosfor üzerine etkisi açısından genel bir değerlendirme yapıldığında 6 ton da⁻¹'lik uygulama dozunun yeterli olacağı söylenebilir. Deneme kurulmadan alınan toprak örneğinin alınabilir fosfor analizi sonucu 3.14 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiş olup 6 ton da⁻¹ uygulamasında toprak alınabilir fosfor değeri üç dönemin ortalaması olarak 12.30 mg

kg^{-1} olarak belirlenmiş ve % 292'lık artış sağlanmıştır. Ayrıca Olsen ve Sommers (1982)'a göre değerlendirildiğinde 3.14 mg kg^{-1} ile düşük (5 mg kg^{-1}) olan alınabilir fosfor içeriği ortalama 12.30 mg kg^{-1} değeri ile yüksek ($10<$) sınıfına geçmiştir.

Dönemsel olarak arıtma çamuru uygulamalarının toprağın alınabilir fosfor içeriği üzerine olan etkisi %0.1 önem düzeyinde olmuştur (Çizelge 4.4.). 1. dönemden 3 döneme doğru toprağın alınabilir ve toplam fosfor konsantrasyonu artmıştır. Arıtma çamurunun mineralizasyon sürecinde fosforun açığa çıkışının zamana bağlı olarak arttığı; ve bu esnada mısır bitkisi tarafından fosfor alımının gerçekleştiği söylenebilir.

Toplam Fosfor: Her üç örnekleme döneminde de toprağın toplam fosfor konsantrasyonu arıtma çamuru uygulamaları ile artmış ve bu artış % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Ayrıca 1. örnekleme dönemine göre 2. ve 3. örnekleme döneminde toprağın toplam fosfor içeriği artmış ve % 0.1 düzeyinde önemli olmuş; ancak, 2. ve 3. örnekleme döneminde istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır (Çizelge 4.5.).

Arıtma çamurunun içeriğinin bölgeden bölgeye ve arıtma biçimine bağlı olarak değişmekle birlikte genellikle organik madde, azot ve fosforca zengin olduğu, kontrollü olarak toprağa uygulanabileceği birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Bozkurt vd. 2000; Hakerlerler 1980; Arcak vd. 2000).

4.2.3. Yetiştirme ortamlarının değişebilir ve toplam potasyum, magnezyum, kalsiyum, sodyum konsantrasyonları ve değerlendirilmesi

Değişebilir Potasyum: Artan dozlarda uygulanan stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamurunun toprağın değişebilir potasyum konsantrasyonlarına etkisinin istatistiksel olarak her üç dönemde de % 0.1 düzeyinde önemli olduğu görülmektedir. Uygulamalar arası potasyum konsantrasyonlarına bakıldığında ortalama en yüksek potasyum konsantrasyon değeri 2 ton da^{-1} uygulamasında görülmektedir. Pizer (1967)'e göre değerlendirildiğinde kontrol toprağının ($A\check{C}_0$) değişebilir potasyum konsantrasyonu üç örnekleme döneminin ortalaması olarak % 0.024 ($0.59 \text{ me } 100 \text{ g}^{-1}$) olup, iyi ($0.511\text{-}0.640 \text{ me } 100\text{g}^{-1}$) sınıfında yer almaktadır. Arıtma çamuru uygulamaları genel itibariyle toprağın potasyum sınıfının (iyi) değişimine neden olmamıştır.

Dönemsel olarak bakıldığında arıtma çamuru uygulamalarının toprağın değişebilir potasyum konsantrasyonu üzerine etkisi % 0.1 önemlilik düzeyinde ve 1. dönemde ortalama % 0.027 ($0.69 \text{ me } 100 \text{ g}^{-1}$ -Çok yüksek) iken 2. ve 3. dönemde % 0.020 ($0.51 \text{ me } 100 \text{ g}^{-1}$ -Yüksek) olmuştur. İnkübasyon süresinin sonunda 1. dönem toprak örnekleme yapıldıktan sonra tohum ekimi yapılmış olup 2. ve 3. dönem aralığı bitkinin yetiştirme periyodudur. Bu süreçte bitkinin yetiştirme ortamlarından potasyum ihtiyacını karşıladığı göz önüne alındığında potasyum içeriğinin azalması beklenir. Bu azalma $0.69 \text{ me } 100\text{g}^{-1}$ 'dan $0.51 \text{ me } 100\text{g}^{-1}$ 'a % 26.08 oranında gerçekleşmiştir.

Toplam Potasyum: Arıtma çamuru uygulamaları toprağın toplam potasyum konsantrasyonunu hem 2. ve 3. örnekleme döneminde; hem de dönemsel olarak % 0,1 önemlilik etkilemiştir. 2. ve 3. örnekleme dönemlerinde arıtma çamuru uygulamaları toprağın toplam potasyum içeriğini arttırmış; ancak bu artış düzenli olmamıştır. 1. örnekleme döneminden 3. örnekleme dönemine doğru ise toprağın toplam potasyum konsantrasyonu azalmıştır (Çizelge 4.5.).

Değişebilir Magnezyum: Artan dozlarda uygulanan stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamurunun toprağın değişebilir magnezyum konsantrasyonlarına etkisinin istatistiksel olarak her üç dönemde de % 0.1 düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Uygulamalar arası magnezyum konsantrasyonlarına bakıldığında ortalama en yüksek magnezyum konsantrasyon değeri 6 ton da⁻¹ uygulamasında görülmektedir. Loue (1968)'e göre değerlendirildiğinde kontrol toprağının (AÇ₀) değişebilir magnezyum konsantrasyonu üç örnekleme döneminin ortalaması olarak % 0.023 (1.92 me 100 g⁻¹) olup, iyi (0.951me 100g⁻¹ <) sınıfında yer almaktadır. Arıtma çamuru uygulamaları ile de toprağın değişebilir magnezyumu iyi sınıfında yer almış ve ortalamalar dikkate alındığında %13.04-%26.08 aralığında değişen artışlar sağlanmıştır.

Dönemsel olarak bakıldığında arıtma çamuru uygulamalarının toprağın değişebilir magnezyum konsantrasyonu üzerine etkisi % 0.1 önemlilik düzeyinde ve ortalama 1. dönemde % 0.027 (2.25 me 100 g⁻¹) iken 2. dönemde % 0.026 (2.16 me 100 g⁻¹) ve 3. dönemde % 0.025 (2.08 me 100 g⁻¹) olarak azalma göstermiştir. Bu süreçte bitkinin yetiştirme ortamlarından magnezyum ihtiyacını karşıladığı göz önüne alındığında magnezyum içeriğinin azalması beklenir. Bu azalma 2.25 me 100g⁻¹'dan 2.08 me 100g⁻¹'a % 7.56 oranında gerçekleşmiştir.

Toplam Magnezyum: Arıtma çamuru uygulamaları toprağın toplam magnezyum konsantrasyonunu hem 1., 2. ve 3. örnekleme döneminde; hem de dönemsel olarak % 0.1 önemlilik düzeyinde etkilemiştir. 1. ve 2. örnekleme dönemlerinde arıtma çamuru uygulamalarında kontrole göre toprağın toplam magnezyum içeriği bir miktar azalmış olmakla birlikte 3. örnekleme döneminde kontrole göre bir miktar artış meydana gelmiştir. 1. örnekleme döneminden 3. örnekleme dönemine doğru ise toprağın toplam magnezyum konsantrasyonu azalmıştır (Çizelge 4.5.).

Değişebilir Kalsiyum: Artan dozlarda uygulanan stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamurunun toprağın değişebilir kalsiyum konsantrasyonlarına etkisinin istatistiksel analiz sonuçlarına bakıldığında her üç toprak örnekleme döneminde de önemli bulunmadığı; dönemler arasında ise % 5 düzeyinde önemli farklılığın olduğu tespit edilmiştir. Değişebilir kalsiyum miktarı 1. Dönemde ortalama % 0.48(24 me 100 g⁻¹) iken 2. dönemde % 0.47 (23.5 me 100 g⁻¹) ve 3. dönemde % 0.43 (21.5 me 100 g⁻¹) olarak azalma göstermiş; ancak değerler Loue (1968)'e göre sınıflandırıldığında iyi (14.30 me 100 g-l<) sınıfında yer almıştır. Bu süreçte bitkinin yetiştirme ortamlarından kalsiyum ihtiyacını karşıladığı göz önüne alındığında kalsiyum

içeriğinin azalması beklenir. Bu azalma 24 me 100g⁻¹'dan 21.5 me 100g⁻¹'a % 10.41 oranında gerçekleşmiştir.

Toplam Kalsiyum: Arıtma çamuru uygulamaları toprağın toplam kalsiyum konsantrasyonunu hem 1., 2. ve 3. örnekleme döneminde; hem de dönemsel olarak % 0,1 önemlilik düzeyinde etkilemiştir. 1. ve 2. örnekleme dönemlerinde arıtma çamuru uygulamalarında kontrole göre toprağın toplam kalsiyum içeriği bir miktar artmış olmakla birlikte 3. örnekleme döneminde kontrole göre azalma meydana gelmiştir. 1. örnekleme döneminden 3. örnekleme dönemine doğru ise toprağın toplam kalsiyum konsantrasyonu artmıştır (Çizelge 4.5.).

Değişebilir Sodyum: Artan dozlarda uygulanan stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamurunun toprağın değişebilir sodyum konsantrasyonlarına etkisinin istatistiksel analiz sonuçlarına bakıldığında hem her üç toprak örnekleme döneminde; hem de dönemsel olarak % 0.1 düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerler dikkate alındığında arıtma çamuru uygulamaları kontrol (AÇ₀)'e göre toprağın değişebilir sodyum içeriğini arttırmıştır. AÇ₀ uygulamasında toprağın değişebilir sodyum konsantrasyonu ortalama % 0.0029 (0.13 me 100 g⁻¹) iken arıtma çamuru uygulamaları ile en yüksek % 0.0037 (0.16 me 100g⁻¹)' a yükselmiştir. Bu yükselme %18.75 oranında gerçekleşmiştir. Kacar (1962)'ye göre sınıflandırıldığında çok düşük (<0.148 me 100g⁻¹) sınıftan; düşük (0.148-0.296 me 100g⁻¹) sınıfına geçmiş ancak bitki yetiştiriciliği için herhangi bir risk teşkil etmemiştir. Ortalama değerlere bakılarak dönemler arası bir değerlendirme yapıldığında ise inkübasyon sonunda yapılan 1. dönem toprak örneklemede toprağın değişebilir sodyum içeriği % 0.0030 (0.13 me 100g⁻¹) ile çok düşük (<0.148 me 100g⁻¹) iken 2. dönem toprak örneklemede % 0.0044 (0.19 me 100g⁻¹) ile düşük (0.148-0.296 me 100g⁻¹) ve 3. dönemde % 0.0020 (0.09 me 100 g⁻¹) ile yine çok düşük (<0.148 me 100g⁻¹) sınıfında yer almış olup bitki gelişmesi için herhangi bir soruna neden olmamıştır.

Toplam Sodyum: Arıtma çamuru uygulamaları toprağın toplam sodyum konsantrasyonunu hem 2. ve 3. örnekleme döneminde; hem de dönemsel olarak % 0,1 önemlilik düzeyinde etkilemiştir. Ortalama değerler dikkate alındığında arıtma çamuru uygulamaları kontrole göre toprağın toplam sodyum içeriğini bir miktar arttırmıştır. 1. örnekleme döneminden 3. örnekleme dönemine doğru ise toprağın toplam sodyum konsantrasyonu azalmıştır (Çizelge 4.5.).

4.3. Yetiştirme Ortamlarının Alınabilir ve Toplam Mikro Element Konsantrasyonları ve Değerlendirilmesi

Silajlık mısır yetiştiriciliğinde stabilize edilmiş ve kurulmuş arıtma çamurunun artan dozlarda toprağa uygulanması ile yetiştirme ortamlarındaki bitkiye alınabilir demir, çinko, mangan, bakır konsantrasyonlarının analiz sonuçları Çizelge 4.6.'da; ve

bu mikro elementlerin yetiştirme ortamlarındaki toplam konsantrasyonlarının analiz sonuçları Çizelge 4.7.'de verilmiştir.

Alınabilir Demir: Artan dozlarda uygulanan kurutulmuş ve stabilize edilmiş arıtma çamuru uygulamalarının yetiştirme ortamlarının alınabilir demir konsantrasyonları üzerine etkisi 1., 2. ve 3. örnekleme dönemlerinde % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. İnkübasyon sonrası (1. dönem) alınan toprak örneklemlerinde demir konsantrasyonları ortalama 3.39 mg kg^{-1} bulunurken, 2. dönem örnekleminde bu değer artmış, ortalama 5.14 mg kg^{-1} değerine ulaşmıştır. 3. yani hasat döneminde ise demir konsantrasyonu ortalama 3.92 mg kg^{-1} olmuştur (Çizelge 4.6.). Lindsay ve Norvell (1978)'e göre değerlendirildiğinde her üç dönemin ortalaması olarak kontrolde (AÇ_0) 2.00 mg kg^{-1} olarak noksan ($2.5>$) sınıfında yer alan alınabilir Fe miktarı 4, 6 ve 8 ton da^{-1} arıtma çamuru uygulamalarında iyi sınıfında ($4.5<$) yer alarak iyileşme sağlanmasına neden olmuştur. Uygulanan arıtma çamuru dozlarının toprağa uygulanmasından hasata kadar geçen sürede etkilerinin sayısal değerlerinin ortalamalarına bakıldığında en yüksek bitkiye yarayışlı demir konsantrasyonu 6 ton da^{-1} uygulamasında 5.46 mg kg^{-1} belirlenmiştir. Arıtma çamurunun içerdiği yüksek organik maddenin minerallerle meydana getirdiği şelatlar minerallerin çözünürlüğünü arttırmakta ve bu suretle yetiştirme ortamlarının alınabilir demir içeriğini arttırmada pozitif etki yapabilmektedir (Madrid 2003).

Dönemsel olarak incelendiğinde kurutulmuş ve stabilize edilmiş arıtma çamuru uygulamasının bitkiye yarayışlı yani alınabilir demir konsantrasyonuna etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamalarına bağlı olarak alınabilir Fe konsantrasyonları 2. dönemde diğer dönemlere göre daha yüksek belirlenmiştir.

Çizelge 4.6 Toprak örneklerinde bitkiye yararılı mikro element (DTPA’da ekstrakte edilebilir) analiz sonuçları¹

Artırma Çamuru (ton da ⁻¹)	Elementler															
	Alınabilir Fe (mg kg ⁻¹)				Alınabilir Zn (mg kg ⁻¹)				Alınabilir Mn (mg kg ⁻¹)				Alınabilir Cu (mg kg ⁻¹)			
	1	2	3	Ort.	1	2	3	Ort.	1	2	3	Ort.	1	2	3	Ort.
AÇ ₀	1.69D ³ a ⁴	1.67D a	2.62C b	2.00	3.36D b	2.84E c	4.65E a	3.62	7.93B c	13.28D b	22.46B a	14.56	1.06C b	1.05C b	1.25 a	1.12
AÇ ₂	3.41B c	4.18C b	4.67A a	4.08	15.59C c	17.79D a	16.59D b	16.66	9.53A c	15.14C b	25.26A a	16.64	1.37B c	1.71B b	1.86 a	1.65
AÇ ₄	3.61B c	6.07B a	4.73B b	4.80	24.72B b	24.72C a	22.52C c	23.58	9.08A c	16.48B b	21.03B a	15.53	1.54B b	1.75B a	1.44 c	1.58
AÇ ₆	4.98A b	6.86A a	4.55B c	5.46	42.94A b	46.28B a	27.53B c	38.92	9.26A c	23.54A a	22.22B b	18.34	2.06A a	2.22A a	1.9 b	2.06
AÇ ₈	3.26C c	6.93A a	3.50C b	4.56	42.77A b	55.98A a	46.40A c	48.38	9.34A c	23.25A a	18.27C b	16.95	1.31B c	2.05A a	1.8 b	1.75
Ort.	3.39	5.14	3.92		25.63	29.52	23.54		9.03	18.34	21.85		1.47	1.76	1.67	
Varyans Analizi ²																
AÇ	***	***	***		***	***	***		***	***	***		***	***	ö.d.	
Dönem	***				***				***				*			

1. Değerler 4 tekrerrir ortalamasıdır.

2. ö.d. : Önemli değil; *** % 0.1 düzeyinde önemli; * %5 düzeyinde önemli.

3. Aynı sütunda büyük harfle gösterilen değerler farklı artırma çamuru dozları arasında aynı dönemde % 5 düzeyindeki farkı göstermektedir.

4. Aynı satırda küçük harfle gösterilen değerler aynı artırma çamuru dozunun farklı dönemler arasındaki % 5 düzeyindeki farkını göstermektedir.

Çizelge 4.7. Toprak örneklerinde toplam mikro element analiz sonuçları¹

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Elementler															
	Toplam Fe (mg kg ⁻¹)				Toplam Zn (mg kg ⁻¹)				Toplam Mn (mg kg ⁻¹)				Toplam Cu (mg kg ⁻¹)			
	1	2	3	Ort.	1	2	3	Ort.	1	2	3	Ort.	1	2	3	Ort.
AÇ ₀	24182C c	33180 b	35391A a	30918	58.45D a	47.55D b	48.83D c	49.61	565.78 a	579.83 a	501.78 b	549.13	110B a	76C c	98A b	94.7
AÇ ₂	32835B b	33220 b	35549A a	33868	92.18C b	102.55A a	87.18A c	93.97	656.95 a	622.33 a	558.48 b	612.59	137A a	111B b	75B c	107.7
AÇ ₄	43106A a	33486 b	35456A b	37349	96.85C b	100.35B a	67.33C c	84.84	590.13 a	660.93 a	481.25 b	577.44	137A a	133AB a	93A b	121
AÇ ₆	44892A a	33833 b	32280A b	37001	110.10B b	129.25A a	80.33B c	106.56	555.40 b	619.43 a	554.93 b	576.59	137A b	153A a	100A c	130
AÇ ₈	47024A a	34457 b	25826Bc	35769	126.55A b	135.88A a	95.88A c	114.44	602.33 a	579.33 b	579.03 b	586.90	141A a	130AB b	99A c	123.3
Ort.	38408	33635	32900		96.83	103.16	72.71		594.12	612.37	535.01		132.4	120.6	93	
Varyans Analizi ²																
AÇ	***	ö.d.	***		***	***	***		ö.d.	ö.d.	ö.d.		***	***	***	
Dönem	***				***				***				***			

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

2. ö.d. : Önemli değil; *** % 0.1 düzeyinde önemli

3. Aynı sütunda büyük harfle gösterilen değerler farklı arıtma çamuru dozları arasında aynı dönemde % 5 düzeyindeki farkı göstermektedir.

4. Aynı satırda küçük harfle gösterilen değerler aynı arıtma çamuru dozunun farklı dönemler arasındaki % 5 düzeyindeki farkını göstermektedir.

Toplam Demir: Arıtma çamuru uygulamaları toprağın toplam demir konsantrasyonunu hem 1., 2. ve 3. örnekleme döneminde; hem de dönemsel olarak % 0.1 önemlilik düzeyinde etkilemiştir. Genel olarak 1., 2. ve 3. örnekleme dönemlerinde arıtma çamuru uygulamalarında kontrole göre toprağın toplam demir içeriği daha yüksek belirlenmiştir. 1. örnekleme döneminden 3. örnekleme dönemine doğru ise toprağın toplam demir konsantrasyonu azalmıştır (Çizelge 4.7.). Arıtma çamuru uygulamalarının yetiştiricilik dönemi boyunca ortamda toplam demir konsantrasyonlarının ortalama değerleri incelendiğinde en yüksek değerin 4 ton da-1 uygulamasında 37349 mg kg^{-1} olduğu görülmektedir. En düşük toplam demir konsantrasyonun ise kontrol uygulamasında 30918 mg kg^{-1} olarak belirlenmiştir. Tarımsal üretim açısından toprakların alınabilir demir içeriği kadar alınabilir duruma dönüşebilecek toplam demir içeriği de önemli bir kriterdir (Kadioğlu 1999). Çalışmamızda arıtma çamuru uygulamalarının ortalama değerlerine bakıldığında silajlık mısır yetiştirme ortamlarının toplam demir içeriğinin arttığı görülmektedir.

Alınabilir Çinko: Artan dozlarda uygulanan kurutulmuş ve stabilize edilmiş arıtma çamuru uygulamalarının yetiştirme ortamlarının alınabilir çinko konsantrasyonları üzerine etkisi 1., 2. ve 3. örnekleme dönemlerinde % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 4.6.). Lindsay ve Norvell (1978)'e göre değerlendirildiğinde her üç dönemin ortalaması olarak kontrolde ($A\check{C}_0$) 3.62 mg kg^{-1} olarak iyi ($1<$) sınıfında yer alan alınabilir Zn konsantrasyonu artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile 4.6- 11.52 katına çıkarak yine iyi sınıfında yer almıştır.

Dönemsel olarak incelendiğinde kurutulmuş ve stabilize edilmiş arıtma çamuru uygulamasının bitkiye yarayışlı çinko konsantrasyonuna etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamalarına bağlı olarak alınabilir Zn konsantrasyonları 2. dönemde diğer dönemlere göre daha yüksek belirlenmiştir.

Toplam Çinko: Arıtma çamuru uygulamaları toprağın toplam çinko konsantrasyonunu hem 1., 2. ve 3. örnekleme döneminde; hem de dönemsel olarak % 0.1 önemlilik düzeyinde etkilemiştir. Genel olarak 1., 2. ve 3. örnekleme dönemlerinde arıtma çamuru uygulamalarında kontrole ($A\check{C}_0$) göre toprağın toplam çinko içeriği daha yüksek belirlenmiştir. Arıtma çamuru uygulamalarına bağlı olarak toplam Zn konsantrasyonları 2. dönemde diğer dönemlere göre daha yüksek belirlenmiştir. (Çizelge 4.7.). Tarım topraklarında toplam Zn miktarı $10\text{-}300 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında değişmektedir (Kacar 1995). Avrupa Birliğinin arıtma çamuru ile ilgili yayınlamış olduğu 86/278/EEC direktifine göre topraklar için izin verdiği maksimum toplam çinko miktarı da maksimum 300 mg kg^{-1} 'dir (Topraklar için direktifte izin verilen toplam çinko sınır değerleri $150\text{-}300 \text{ mg kg}^{-1}$ arasındadır). Ülkemizde ise 03.08.2010 tarihli 27661 sayılı Resmi Gazete'de Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik'te $\text{pH} \geq 7$ topraklar için ağır metal sınır değeri toplam Zn için fırın kuru toprakta 200 mg kg^{-1} olarak verilmiştir. Denememizde kullandığımız stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamurunun toplam Zn içeriğinin (2400 mg kg^{-1})

ise 86/278/EEC direktifindeki arıtma çamurlarının içerebileceği sınır değerinin (Toplam Zn için; 2500-4000 mg kg⁻¹) ve Ülkemizdeki Resmi Gazete’de Yayınlanan Yönetmelikteki arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum sınır değerinin (Toplam Zn için; 2500 mg kg⁻¹) altında olduğu görülmektedir. Ayrıca Avrupa Birliğinin arıtma çamurunun tarımda kullanımı ile ilgili 86/278/EEC direktifinde 10 yıllık ortalama değerler baz alınarak tarım arazilerine yıllık ilave edilebilecek ağır metal miktarları için verilen sınır değerlerinde toplam Zn için 30 kg⁻¹ha⁻¹yıl⁻¹ değeri belirtilmiştir.

Bu değer dikkate alındığında deneme topraklarında toplam çinko açısından herhangi bir kirlilik riski olmadığı görülmektedir. Önemli bir bitki besin elementi olan çinkonun kireçli topraklarda ve pH 7’nin üstünde olduğu durumlarda alınabilirliği azalmakta ve sık sık noksanlığına rastlanmaktadır. Tarımsal üretim açısından toprakların çinko içerikleri verim ve kaliteyi doğrudan etkiler. Bu nedenle arıtma çamuru uygulamasıyla toprakların çinko içeriklerinin artırılması tarımsal açıdan faydalı bir durumdur.

Alınabilir Mangan: Artan dozlarda uygulanan kurutulmuş ve stabilize edilmiş arıtma çamuru uygulamasının bitkiye yarayışlı mangan(Mn) konsantrasyonu üzerine etkisi 1., 2. ve 3. dönem örneklemelerinde % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 4.6.). Ortalama değerlere bakıldığında arıtma çamuru uygulamaları ile toprağın alınabilir Mn konsantrasyonu artış göstermiştir. Lindsay ve Norvell (1978)’e göre değerlendirildiğinde kontrol (AÇ₀) de dahil toprağın alınabilir Mn konsantrasyonu yeterli (1<) sınıfında yer almakta olup arıtma çamuru uygulamaları ile kontrole göre %14.29-39.35 aralığında artış gerçekleşmiştir.

Dönemsel olarak incelendiğinde kurutulmuş ve stabilize edilmiş arıtma çamuru uygulamasının alınabilir Mn konsantrasyonuna etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. 1. örneklem döneminden 3. örneklem dönemine doğru yetiştirme ortamlarının alınabilir Mn konsantrasyonu artış göstermiştir. İnkübasyon sonrası alınan toprak örneklemelerinde Mn konsantrasyonları ortalama 9.03 mg kg⁻¹, ara dönem örneklemelerinde ortalama Mn konsantrasyonları 18.34 mg kg⁻¹ ve hasat döneminde ise Mn konsantrasyonlarının ortalama değeri 21.85 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir.

Toplam Mangan: Arıtma çamuru uygulamalarının toprağın toplam mangan (Mn) konsantrasyonu üzerine etkisi istatistiksel olarak her üç dönemde de önemsiz bulunmuştur. Dönemler arası farklılıklara bakıldığında genel bir değerlendirme yapıldığında 1. dönemden 3. döneme doğru toprağın toplam Mn konsantrasyonu hafif bir şekilde azalmış ve bu azalma istatistiksel olarak %0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 4.7.).

Alınabilir Bakır: Artan dozlarda uygulanan kurutulmuş ve stabilize edilmiş arıtma çamuru uygulamasının bitkiye yarayışlı mangan konsantrasyonu üzerine etkisi 1.ve 2. örnekleme dönemlerinde %0.1 önem düzeyinde iken 3. dönem örnekleme döneminde önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.6.). Ortalama değerlere bakıldığında arıtma çamuru uygulamaları ile toprağın alınabilir Cu konsantrasyonu artış göstermiştir. Lindsay ve Norvell (1978)'e göre değerlendirildiğinde kontrol (AC_0) de dahil toprağın alınabilir Cu konsantrasyonu yeterli ($0.2 <$) sınıfında yer almakta olup arıtma çamuru uygulamaları ile kontrole göre %41.07-83.92 aralığında artış gerçekleşmiştir. Uygulanan arıtma çamuru dozlarının toprağa uygulanmasından hasata kadar geçen sürede etkilerinin sayısal değerlerinin ortalamalarına bakıldığında en yüksek bitkiye yarayışlı bakır konsantrasyonunun 6 ton da^{-1} uygulamasında 2.06 $mg\ kg^{-1}$ olarak tespit edildiği görülmektedir.

Dönemsel olarak incelendiğinde kurutulmuş ve stabilize edilmiş arıtma çamuru uygulamasının bitkiye yarayışlı bakır konsantrasyonuna etkisi istatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamalarına bağlı olarak alınabilir Cu konsantrasyonları 2. dönemde diğer dönemlere göre daha yüksek belirlenmiştir.

Toplam Bakır: Arıtma çamuru uygulamalarının toprağın toplam bakır konsantrasyonu üzerine etkisi istatistiksel olarak her üç dönemde %0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamaları yetiştirme ortamlarının toplam Cu konsantrasyonunu kontrole (AC_0) göre arttırmıştır. Genel bir değerlendirme yapıldığında 1. dönemden 3. döneme doğru toprağın toplam Cu konsantrasyonu azalmış ve bu azalma istatistiksel olarak %0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 4.7.). Bakırın tarım topraklarındaki dağılımı 2-100 $mg\ kg^{-1}$ arasında değişmektedir (Kacar 1995). Bu sebeple arıtma çamuru uygulaması yetiştirme ortamlarının toplam bakır içeriklerini arttırmıştır ancak bu artış çok yüksek seviyelerde olmamıştır. Avrupa Birliğinin arıtma çamuru ile ilgili yayınlamış olduğu 86/278/EEC direktifine göre topraklar için izin verdiği maksimum toplam bakır miktarı 50-140 $mg\ kg^{-1}$ arasındadır. Ülkemizde ise 03.08.2010 tarihli 27661 sayılı Resmi Gazete'de Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik'te $pH \geq 7$ topraklar için ağır metal sınır değeri toplam Cu için fırın kuru toprakta 100 $mg\ kg^{-1}$ olarak verilmiştir. Denememizde kullandığımız stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamurunun toplam Cu içeriğinin (142.8 $mg\ kg^{-1}$) ise 86/278/EEC direktifindeki arıtma çamurlarının içerebileceği sınır değerinin (Toplam Cu için; 1000-1750 $mg\ kg^{-1}$) ve Ülkemizdeki Resmi Gazete'de Yayımlanan Yönetmelikteki arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum sınır değerinin (Toplam Zn için; 1000 $mg\ kg^{-1}$) altında olduğu görülmektedir. Ayrıca Avrupa Birliğinin arıtma çamurunun tarımda kullanımı ile ilgili 86/278/EEC direktifinde 10 yıllık ortalama değerler baz alınarak tarım arazilerine yıllık ilave edilebilecek ağır metal miktarları için verilen sınır değerlerinde toplam Cu için 12 $kg^{-1}ha^{-1}yıl^{-1}$ değeri belirtilmiştir. Tüm bu veriler ve yetiştirme ortamlarının bakır içerikleri değerlendirildiğinde deneme topraklarına belirtilen miktarlarda arıtma çamuru

uygulamalarının ortamların toplam bakır içeriğine herhangi bir toksisite riski taşımadığı görülmektedir.

Genel bir değerlendirme yapıldığında toplam demir, toplam çinko ve toplam bakır konsantrasyonlarında uygulamalara bağlı olarak artış gözlemlenmiştir. Ancak toksisite ve kirlilik açısından bu koşullar altında herhangi bir risk oluşturmadığı sonucuna varıldığı söylenebilir.

4.4. Yetiştirme Ortamlarında DTPA-ekstrakte edilebilir ve Toplam Ağır Metal Konsantrasyonları ve Değerlendirilmesi

Silajlık mısır yetiştiriciliğinde stabilize edilmiş ve kurulmuş arıtma çamurunun artan dozlarda toprağa uygulanması ile yetiştirme ortamlarındaki DTPA-ekstrakte edilebilir kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), krom (Cr), nikel (Ni) konsantrasyonlarının analiz sonuçları Çizelge 4.8.'de; ve bu elementlerin yetiştirme ortamlarındaki toplam konsantrasyonlarının analiz sonuçları Çizelge 4.9.'da verilmiştir.

DTPA-ekstrakte edilebilir kurşun (Pb) ve krom (Cr): Çizelge 4.8.'de görüldüğü gibi artan dozlarda arıtma çamuru uygulanan yetiştirme ortamlarında her üç örnekleme döneminde de DTPA-ekstrakte edilebilir Pb miktarı cihazın dedeksiyon limitlerinin altında olduğu için belirlenememiştir. Aynı durum DTPA-ekstrakte edilebilir krom elemnti için de söz konusudur. Dedeksiyon limiti (D.L.); belirli güven seviyesinde tespit edilebilen en küçük analit derişimi veya kütlesi dedeksiyon limiti olarak kabul edilir. Cihazımızın kurşun için dedeksiyon limitleri, Pb; $D.L. < 0.03 \text{ mg kg}^{-1}$ 'in altında, krom için dedeksiyon limitleri, Cr; $D.L. < 0.05 \text{ mg kg}^{-1}$ 'in altındadır.

Çizelge 4.8. Yetiştirme ortamlarının DTPA- ekstrakte edilebilir ağır metal analiz sonuçları¹

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Elementler															
	DTPA-Pb (mg kg ⁻¹)				DTPA-Cd (mg kg ⁻¹)				DTPA-Cr (mg kg ⁻¹)				DTPA-Ni (mg kg ⁻¹)			
	1	2	3	Ort.	1	2	3	Ort.	1	2	3	Ort.	1	2	3	Ort.
AÇ ₀	<D.L.	<D.L.	<D.L.		0.047 b	0.044D ³ b ⁴	0.104A a	0.065	<D.L.	<D.L.	<D.L.		0.25C b	0.24C b	0.38B a	0.29
AÇ ₂	<D.L.	<D.L.	<D.L.		0.04 5b	0.049C b	0.119A a	0.072	<D.L.	<D.L.	<D.L.		0.31BC b	0.32B b	0.50A a	0.38
AÇ ₄	<D.L.	<D.L.	<D.L.		0.043 b	0.049C b	0.071B a	0.055	<D.L.	<D.L.	<D.L.		0.36AB a	0.35B a	0.29C b	0.33
AÇ ₆	<D.L.	<D.L.	<D.L.		0.045 c	0.060A b	0.071B a	0.059	<D.L.	<D.L.	<D.L.		0.37A b	0.48A a	0.31BC b	0.39
AÇ ₈	<D.L.	<D.L.	<D.L.		0.042 c	0.053B b	0.061B a	0.086	<D.L.	<D.L.	<D.L.		0.28C b	0.48A a	0.27C b	0.34
Ort.					0.044	0.051	0.085						0.31	0.37	0.35	
Varyans Analizi ²																
AÇ	-	-	-		ö.d	*	*		-	-	-		**	***	***	
Dönem						***								***		

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır.

2. ö.d. : Önemli değil; *** % 0.1 düzeyinde önemli; ** %1 düzeyinde önemli; * % 5 düzeyinde önemli

3. Aynı sütunda büyük harfle gösterilen değerler farklı arıtma çamuru dozları arasında aynı dönemde % 5 düzeyindeki farkı göstermektedir.

4. Aynı satırda küçük harfle gösterilen değerler aynı arıtma çamuru dozunun farklı dönemler arasındaki % 5 düzeyindeki farkını göstermektedir.

<D.L.Cihazın dedeksiyon limitlerinin altında (Pb için D.L.< 0.03 mg kg⁻¹); (Cr için D.L. < 0.05 mg kg⁻¹)

Çizelge 4.9. Yetiştirme ortamlarının toplam ağır metal analiz sonuçları¹

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Elementler															
	Toplam Pb (mg kg ⁻¹)				Toplam Cd (mg kg ⁻¹)				Toplam Cr (mg kg ⁻¹)				Toplam Ni (mg kg ⁻¹)			
	1	2	3	Ort.	1	2	3	Ort.	1	2	3	Ort.	1	2	3	Ort.
AÇ ₀	<D.L.	<D.L.	<D.L.		1.33 a ⁴	1.30 a	0.79 b	1.14	49.15 a	52.70A ³ a	28.73B b	43.53	65.03AB a	71.98A a	40.15B b	59.05
AÇ ₂	<D.L.	<D.L.	<D.L.		1.38 a	1.35 a	0.75 b	1.16	52.58 a	49.30A a	34.88A b	45.59	69.18A a	64.65B a	30.78C b	54.87
AÇ ₄	<D.L.	<D.L.	<D.L.		1.25 a	1.25 a	0.78 b	1.09	49.85 a	51.75A a	34.20A b	45.27	66.28AB a	56.48C a	40.70B b	54.49
AÇ ₆	<D.L.	<D.L.	<D.L.		1.03 a	1.38 a	0.75 b	1.05	41.20 a	50.73A a	26.45B b	39.46	55.55C a	67.18AB a	48.43A b	57.05
AÇ ₈	<D.L.	<D.L.	<D.L.		1.20 a	1.10 a	0.58 b	0.96	44.15 a	41.00B a	15.18C b	33.44	63.63B a	64.33B a	35.60BC b	54.52
Ort.					1.24	1.28	0.73		47.39	49.10	27.89		63.94	94.92	39.13	
Varyans Analizi ²																
AÇ	-	-	-		ö.d.	ö.d.	ö.d.		ö.d.	***	***		***	***	***	
Dönem					***				***				***			

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

2. ö.d. : Önemli değil; *** % 0.1 düzeyinde önemli

3. Aynı sütunda büyük harfle gösterilen değerler farklı arıtma çamuru dozları arasında aynı dönemde % 5 düzeyindeki farkı göstermektedir.

4. Aynı satırda küçük harfle gösterilen değerler aynı arıtma çamuru dozunun farklı dönemler arasındaki % 5 düzeyindeki farkını göstermektedir.

<D.L.Cihazın dedeksiyon limitlerinin altında (Pb için D.L.< 0.03 mg kg⁻¹)

Toplam kurşun (Pb): Çizelge 4.9.'da görüldüğü gibi artan dozlarda arıtma çamuru uygulanan yetiştirme ortamlarında her üç örnekleme döneminde de DTPA-ekstrakte edilebilir Pb miktarı cihazın dedeksiyon limitlerinin altında olduğu için belirlenememiştir (Pb; D.L.< 0.03 mg kg⁻¹). Bu durum toksik bir ağır metal olan kurşun elementinin arıtma çamuru uygulamalarıyla toprakta tespit edilebilir konsantrasyonlara ulaşmadığı sonucunu düşündürmektedir. Avrupa Birliğinin arıtma çamurunun tarımda kullanımı ile ilgili 86/278/EEC direktifinde topraklarda toplam kurşun içeriği için belirttiği sınır değeri 50-300 mg kg⁻¹ dir. Ülkemizde ise 03.08.2010 tarihli 27661 sayılı Resmi Gazete'de Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik'te pH≥7 topraklar için ağır metal sınır değeri toplam Pb için fırın kuru toprakta 100 mg kg⁻¹ olarak verilmiştir. Denememizde kullandığımız stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamurunun toplam kurşun içeriğinin (23.6 mg kg⁻¹) ise 86/278/EEC direktifindeki arıtma çamurlarının içerebileceği sınır değerinin (Toplam Pb için; 750-1200 mg kg⁻¹) ve Ülkemizdeki Resmi Gazete'de Yayınlanan Yönetmelikteki arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum sınır değerinin (Toplam Pb için; 750 mg kg⁻¹) oldukça altında olduğu görülmektedir. Ayrıca Avrupa Birliğinin arıtma çamurunun tarımda kullanımı ile ilgili 86/278/EEC direktifinde 10 yıllık ortalama değerler baz alınarak tarım arazilerine yıllık ilave edilebilecek ağır metal miktarları için verilen sınır değerlerinde toplam Pb için 15 kg⁻¹ha⁻¹yıl⁻¹ değeri belirtilmiştir. Tüm bu veriler denemede kullanılan arıtma çamurunun pH'ı 7.06 ve CaCO₃ içeriği % 43 olan deneme toprağıımıza uygulanmasının uzun yıllar itibariyle de kurşun kirlenmesine ve bitkilerde toksisiteye neden olmayacağını gösterebilir.

Toplam krom (Cr): Çizelge 4.9.'da görüldüğü gibi artan dozlarda uygulanan kurutulmuş ve stabilize edilmiş arıtma çamurunun yetiştirme ortamlarının toplam krom(Cr) konsantrasyonu üzerine etkisi 1. örnekleme döneminde istatistiksel olarak önemsiz iken 2. ve 3. örnekleme dönemlerinde % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Yetiştirme ortamlarının toplam Cr konsantrasyonları her üç dönemin ortalama değerleri incelendiğinde AÇ₀ (43.53 mg kg⁻¹), AÇ₂ (45.59 mg kg⁻¹) ve AÇ₄ (45.27 mg kg⁻¹) uygulamalarında istatistiksel olarak aynı grupta yer almış; AÇ₆'da ortalama 39.46 mg kg⁻¹ ve AÇ₈'de 33.44 mg kg⁻¹ olarak diğer uygulamalara göre azalma göstermiştir. Dönemsel olarak incelendiğinde ise etkinin % 0.1 düzeyinde önemli olduğu belirlenmiş olup ortalama toplam Cr konsantrasyonu 1. dönem (47.39 mg kg⁻¹) ve 2. dönem (49.10 mg kg⁻¹)'de istatistiksel olarak aynı grupta yer almışken 3. örnekleme döneminde 27.89 mg kg⁻¹ olarak azalma göstermiştir. Ülkemizde ise 03.08.2010 tarihli 27661 sayılı Resmi Gazete'de Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik'te pH≥7 topraklar için toplam Cr sınır değeri fırın kuru toprakta 100 mg kg⁻¹; toprakta kullanılabilecek stabilize arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum toplam Cr sınır değeri ise kuru maddede 1000 mg kg⁻¹ olarak verilmiştir. Denemede kullanılan arıtma çamurunun krom içeriği (51.3 mg kg⁻¹) söz konusu değer oldukça altında olup kontrollü kullanımda herhangi bir risk oluşturma ihtimalinin düşük olduğu düşünülmektedir.

DTPA-ekstrakte edilebilir kadmiyum (Cd): Artan dozlarda uygulanan kurutulmuş ve stabilize edilmiş arıtma çamuru uygulamalarının yetiştirme ortamlarının DTPA-ekstrakte edilebilir kadmiyum içeriği üzerine etkisi 1. örnekleme döneminde istatistiksel olarak önemsiz iken, 2. ve 3. örnekleme dönemlerinde % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Dönemsel olarak incelendiğinde ise arıtma çamuru uygulamalarının yetiştirme ortamlarının DTPA-ekstrakte edilebilir Cd konsantrasyonuna etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli olmuş ve 1. örnekleme döneminden 3. örnekleme dönemine doğru artış göstermiştir (Çizelge 4.8.).

Uygulanan arıtma çamuru dozlarının toprağa uygulanmasından hasata kadar geçen sürede etkilerinin sayısal değerlerinin ortalamalarına bakıldığında DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd konsantrasyonunun en yüksek değeri 8 ton da⁻¹ arıtma çamuru uygulamasında 0.086 mg kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir.

Toplam kadmiyum (Cd): Arıtma çamuru uygulamalarının deneme toprağının toplam kadmiyum konsantrasyonu üzerine etkisi istatistiksel olarak her üç dönemde de önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.9.).

Dönemsel olarak incelendiğinde kurutulmuş ve stabilize edilmiş arıtma çamuru uygulamasının yetiştirme ortamlarının toplam Cd konsantrasyonuna etkisinin istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Ortalama toplam Cd konsantrasyonu 1. örnekleme döneminde 1.24 mg kg⁻¹, 2. örnekleme döneminde 1.28 mg kg⁻¹ değerleri ile aynı grupta yer alırken; 3. örnekleme döneminde ise 0.73 mg kg⁻¹'a azalarak farklı istatistiksel grupta yer almıştır. Avrupa birliğinin arıtma çamurlarının tarım topraklarına uygulanması ile ilgili yayınlamış olduğu 86/278/EEC direktifinde toprakların kadmiyum içeriği için belirttiği sınır değeri 1-3 mg kg⁻¹ dir. Aynı direktifte arıtma çamurunun toplam kadmiyum içeriğinin 20-40 mg kg⁻¹ olması gerektiği belirtilmiştir. Ülkemizde ise 03.08.2010 tarihli 27661 sayılı Resmi Gazete'de Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik'te pH≥7 topraklar için toplam Cd sınır değeri fırın kuru toprakta 1.5 mg kg⁻¹; toprakta kullanılabilecek stabilize arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum toplam Cd sınır değeri ise kuru maddede 10 mg kg⁻¹ olarak verilmiştir. Ayrıca Avrupa Birliğinin arıtma çamurunun tarımda kullanımı ile ilgili 86/278/EEC direktifinde 10 yıllık ortalama değerler baz alınarak tarım arazilerine yıllık ilave edilebilecek ağır metal miktarları için verilen sınır değerlerinde toplam Cd için 0.15 kg⁻¹ha⁻¹yıl⁻¹ değeri belirtilmiştir. Toprağa arıtma çamuru uygulamasının yetiştirme ortamlarının kadmiyum içeriğinde fark edilir bir değişiklik yaratmamasının denemede kullanılan arıtma çamurunun toplam kadmiyum (1.08 mg kg⁻¹) içeriğinin düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

DTPA-ektrate edilebilir nikel (Ni): Arıtma çamuru uygulamalarının yetiştirme ortamlarının DTPA-ektrate edilebilir Ni konsantrasyonları üzerine etkisi 1. örnekleme döneminde %1 düzeyinde önemli iken 2. ve 3. örnekleme dönemlerinde %0.1

düzeyinde etkili olmuştur. Dönemsel olarak incelendiğinde ise DTPA ile ekstrakte edilebilir Ni konsantrasyonuna etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. 1. Dönemde 0.31 mg kg^{-1} olan DTPA-Ni konsantrasyonu 2. ve 3.dönemde sırasıyla 0.37 mg kg^{-1} ve 0.35 mg kg^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.8.).

Uygulanan arıtma çamuru dozlarının toprağa uygulanmasından hasata kadar geçen sürede etkilerinin sayısal değerlerinin ortalamalarına bakıldığında DTPA ile ekstrakte edilebilir nikel konsantrasyonun en yüksek değeri 6 ton da^{-1} uygulamasında 0.39 mg kg^{-1} olarak tespit edilmiştir. En düşük nikel konsantrasyonu ise kontrol uygulamasında 0.29 mg kg^{-1} olarak belirlenmiştir.

Toplam nikel (Ni): Artan dozlarda uygulanan kurutulmuş ve stabilize edilmiş arıtma çamurunun yetiştirme ortamlarının toplam Ni konsantrasyonu üzerine etkisi ayrı ayrı her üç örnekleme döneminde istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Dönemler arası değişim incelendiğinde de etkinin % 0.1 düzeyinde önemli olduğu belirlenmiş olup ortalama toplam Ni konsantrasyonu 1. dönem (63.94 mg kg^{-1}), 2. dönemde (64.92 mg kg^{-1}) tespit edilirlen, 3. örnekleme döneminde 39.13 mg kg^{-1} olarak belirlenmiş ve azalma göstermiştir (Çizelge 4.9.).

Arıtma çamuru uygulamalarının yetiştiricilik dönemi boyunca ortamda toplam Ni konsantrasyonlarının ortalama değerleri incelendiğinde en yüksek değer kontrol uygulamasında 59.05 mg kg^{-1} olduğu görülmektedir. En düşük toplam nikel konsantrasyonu ise 4 ton da^{-1} uygulamasında 54.49 mg kg^{-1} olarak tespit edilmiştir. Deneme toprağının başlangıçtaki toplam Ni konsantrasyonu (48.9 mg kg^{-1}) incelendiğinde, Avrupa birliğinin arıtma çamurlarının tarım topraklarına uygulanması ile ilgili yayınlamış olduğu 86/278/EEC direktifinde ki topraklar için belirtilmiş Ni sınır değerleri ($30\text{-}75 \text{ mg kg}^{-1}$) arasında kaldığı görülmektedir. Ure'nin (1993) bildirdiğine göre tarım topraklarında Ni kapsamı $2\text{-}100 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında değişebilmektedir. Arıtma çamurunun Ni içeriği (126 mg kg^{-1}) ise aynı direktifteki arıtma çamurlarının içerebileceği sınır değerlerin ($300\text{-}400 \text{ mg kg}^{-1}$) oldukça altında olduğu görülmektedir. Ayrıca Avrupa Birliğinin arıtma çamurunun tarımda kullanımı ile ilgili 86/278/EEC direktifinde 10 yıllık ortalama değerler baz alınarak tarım arazilerine yıllık ilave edilebilecek ağır metal miktarları için verilen sınır değerlerinde toplam Ni $3.0 \text{ kg}^{-1}\text{ha}^{-1}\text{yıl}^{-1}$ değeri belirtilmiştir. Ülkemizde ise 03.08.2010 tarihli 27661 sayılı Resmi Gazete'de Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik'te $\text{pH} \geq 7$ topraklar için toplam Ni sınır değeri fırı kuru toprakta 70 mg kg^{-1} ; toprakta kullanılabilir stabilize arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum toplam Ni sınır değeri ise kuru maddede 300 mg kg^{-1} olarak verilmiştir.

4.5. Yetiştirme Periyodunda Silajlık Mısırdaki Belirlenen Bitkisel Parametreler

4.5.1. Silajlık mısırdaki bazı morfolojik parametreler ve değerlendirilmesi

Artan dozlarda uygulanan stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamurunun silajlık mısırın ilk koçan yüksekliği, koçan sayısı, koçan/bitki oranı, yaş ağırlık, kuru ağırlık ve kuru madde verimine ait istatistiksel analiz verileri Çizelge 4.10.'da verilmiştir.

Çizelge 4.10.'da görüldüğü gibi artan dozlarda uygulanan stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamuru uygulamalarının silajlık mısırın ilk koçan yüksekliği üzerine olan etkisi istatistiksel olarak %0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Uygulanan arıtma çamuru dozları arttıkça ilk koçan yüksekliği de artış göstermiştir. 2 ton da⁻¹, 4 ton da⁻¹ ve 6 ton da⁻¹ uygulamaları aynı istatistiksel grupta yer alırken 153.2 cm ile 8 ton da⁻¹ uygulamasında en yüksek değer elde edilmiştir (Çizelge 4.10.).

Silajlık mısırın koçan sayısı üzerine arıtma çamuru uygulamalarının istatistiksel olarak etkisi % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur. 6 ton da⁻¹ uygulamasında ortalama 8 adet en fazla koçan meydana gelmiştir. Kontrolde (AÇ₀) bu sayı ortalama 5 iken 2 ton da⁻¹ ve 4 ton da⁻¹ ortalama 6 adet, 8 ton da⁻¹ ise ortalama 7 adet koçan oluşmuştur (Çizelge 4.10.).

Çizelge 4.10.'da silajlık mısırın koçan/bitki oranına arıtma çamurunun etkisinin istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde olduğu görülmektedir. En fazla koçan/bitki oranı kontrolde (AÇ₀) iken dozların artmasıyla birlikte bu değerler de düşmektedir.

Çizelge 4.10.'da tüm üst aksam örneklemelerinde yaş ağırlık ve kuru ağırlık değerlerinin istatistiksel analizleri sonucu % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Artan dozlarda uygulanan arıtma çamuru ile tüm üst aksamda yaş ağırlık kontrolde 2270 gram (AÇ₀) iken 8 ton da⁻¹ olan en yüksek uygulamada 3808 gram olarak belirlenmiştir.

Koçan örneklerinin yaş ve kuru ağırlıklarına bakıldığında ise tüm üst aksamya göre ters bir ilişki olduğu görülmektedir. Koçan örneklemelerinde Kontrol ve 2 ton da⁻¹ uygulamalarında değerler yüksek seyrederken, dozlar arttıkça koçan örneklerinin yaş ve kuru ağırlıkları düşüş göstermektedir.

Çizelge 4.10.'da tüm üst aksam ve koçan örneklerinin kuru madde verimine istatistiksel olarak bakıldığında her ikisinin de %0.1 düzeyinde önemli olduğu görülmektedir. Artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun tüm üst aksamda kuru madde verimini arttırdığı, koçan örneklerinde ise kuru madde verimini azalttığı belirlenmiştir. Tüm üst aksam örneklerinde kuru madde verimi kontrolde 10780 kg da⁻¹ iken en yüksek verim olan 19000 kg da⁻¹ ise 8 ton da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir.

Koçan örneklemelerinde ise en yüksek verim 3900 kg da⁻¹ ile 2 ton da⁻¹'da en düşük verim ise 2410 kg da⁻¹'la 8 ton da⁻¹ uygulamasında gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.10. Silajlık mısırdaki belirlenen bazı morfolojik özellikler¹

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	İlk koçan yüksekliği (cm)	Koçan sayısı	Koçan/ Bitki oranı	Yaş ağırlık (gram)		Kuru ağırlık (gram)		Kuru madde verimi (kg da ⁻¹)	
				Tüm üst aksam	Koçan	Tüm üst aksam	Koçan	Tüm üst aksam	Koçan
AÇ ₀	110.5C ^{3,4}	5B	0.30A	2270E	682B	1078E	353B	10780C	3500B
AÇ ₂	132.05B	6B	0.22B	3373D	718A	1625D	392A	16000B	3900A
AÇ ₄	138.75AB	6B	0.13C	3474C	486D	1628C	277C	16000B	2770C
AÇ ₆	146.8AB	8A	0.14C	3651B	500C	1666B	244D	16000B	2430D
AÇ ₈	153.2A	7AB	0.13C	3808A	482E	1906A	241E	19000A	2410E
Varyans Analizi ²									
AÇ	***	*	***	***	***	***	***	***	***

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

2. *** % 0.1 düzeyinde önemli; * %5 düzeyinde önemli.

3. Aynı sütunda büyük harfle gösterilen değerler farklı arıtma çamuru dozları arasındaki farkı göstermektedir.

4. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir.

Hallauer ve Miranda (1980) mısırın morfolojik özelliklerinden bitki boyu ve ilk koçan yüksekliğinin geniş ölçüde genetik faktörlere bağlı olduğunu bildirmişlerdir. Buna ek olarak, ışık miktarı, yoğunluğu, bitki besin maddeleri gibi faktörlerde ilk koçan yüksekliği ve bitki boyu üzerinde etkilidir. Mısır için hassas olan dönmeler içinde, ışık ve besin maddesine bağlı olarak bitkinin net asimilasyon hızında yavaşlama olması durumunda koçan sapı bu durumdan olumsuz olarak etkilenmektedir (Uyanık 1984).

4.5.2. Silajlık mısırdaki ADF, NDF ve ham selüloz parametreleri ve değerlendirilmesi

Artan dozlarda uygulanan kurutulmuş ve stabilize edilmiş arıtma çamurunun Burak silajlık mısırına ait ADF, NDF ve ham selüloz değerlerinin istatistiksel analiz verileri Çizelge 4.11.' de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Tüm üst aksam ve koçan örneklerinde ADF, NDF, ham selüloz analiz sonuçları¹

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Tüm üst aksam			Koçan		
	%ADF	%NDF	%Selüloz	%ADF	%NDF	%Selüloz
AÇ ₀	41.3	61.7	30.9	21.8C ³	50.7B	18.6
AÇ ₂	40.7	60.9	31.4	22.7BC	47.2B	19.8
AÇ ₄	42.3	67.9	33.2	25.9B	53.7AB	22.2
AÇ ₆	38.5	64.4	32.9	32.0A	60.6A	22.8
AÇ ₈	38.0	67.6	32.3	25.7BC	47.5B	19.4
Varyans Analizi ²						
AÇ	ö.d.	ö.d.	ö.d.	***	*	ö.d.

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

2. ö.d. : Önemli değil; *** % 0.1 düzeyinde önemli; * %5 düzeyinde önemli.

3. Aynı sütunda büyük harfle gösterilen değerler farklı arıtma çamuru dozları arasındaki farkı göstermektedir.

Artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun tüm üst aksam örneklerinde ADF, NDF ve ham selüloz değerleri üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Koçan örneklerinin ADF değerlerine bakıldığında istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Artan dozlarda arıtma çamuru uygulamalarına bakıldığında en yüksek ADF değerinin 6 ton da⁻¹ uygulamasında % 32.047 olduğu görülmektedir.

Koçan örneklerinin NDF değerlerine bakıldığında uygulamaların etkisi istatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Artan dozlarda uygulanan arıtma çamuru uygulamalarıyla en yüksek NDF değerinin 6 ton da⁻¹ uygulamasında % 60.61 olduğu görülmektedir.

Koçan örneklerinin ham selüloz miktarı üzerine uygulamaların etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Adams (1995), mısır silajlarında nötral çözücülerde çözünmeyen lif (NDF) ve asit deterjanlarda çözünmeyen lif (ADF) içeriklerinin vejetasyon döneminin erken olumdan 2/3 süt olum dönemine ilerledikçe azaldığını, ancak 2/3 süt olum döneminden tam olum dönemine ilerlediğinde ise değişmediğini bildirmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, vejetasyon döneminin ilerlemesiyle mısır bitkisinin SÇK, NDF, ADF ve

ham protein (HP) içeriklerinin azaldığını, kuru madde ve nişasta içeriklerinin ise arttığını göstermektedir (Johnson vd. 2001; Filya 2004).

4.5.3. Silajlık mısırdaki klorofil-a, klorofil-b ve klorofilmetre (SPAD) ölçüm parametreleri ve değerlendirilmesi

Artan dozlarda uygulanan kurutulmuş ve stabilize edilmiş arıtma çamurunun Burak silajlık mısıra ait klorofil-a, klorofil-b ve klorofil metre (SPAD) değerlerinin istatistiksel analiz verileri Çizelge 4.12.' de verilmiştir.

Artan dozlarda uygulanan stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamurunun silajlık mısır bitkisinin klorofil-a, klorofil-b ve klorofil metre (Spad) cihazı okumalarının düzeyleri üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Kontrol (AÇ₀), 2 ton da⁻¹ ve 4 ton da⁻¹ uygulamalarında değerler aynı önem düzeyine sahipken, 6 ton da⁻¹ ve 8 ton da⁻¹ uygulamalarında bitkinin klorofil düzeyi 0, 2, 4 ton da⁻¹ uygulamalarının yaklaşık 2 katına çıkmıştır.

Çizelge 4.12. Yaprak örneklerinde klorofil-a, klorofil-b ve klorofilmetre (Spad) ölçüm sonuçları¹

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Yaprak örnekleri		
	Klorofil (a)-mg g ⁻¹	Klorofil (b)-mg g ⁻¹	Klorofil Okuma Değeri (Minolta Spad-502 Plus Cihazı)
AÇ ₀	6.630 B ³	2.888 B	30.025 C
AÇ ₂	5.801 B	2.701 B	38.095 B
AÇ ₄	6.990 B	3.128 B	42.495 B
AÇ ₆	12.322 A	4.550 A	47.795 A
AÇ ₈	10.469 A	4.414 A	47.880 A
Varyans Analizi ²			
AÇ	***	***	***

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

2. *** % 0.1 düzeyinde önemli

3. Aynı sütunda büyük harfle gösterilen değerler farklı arıtma çamuru dozları arasındaki farkı göstermektedir.

4.5.4. Silajlık mısırın yaprak örneklerinde toplam azot ve protein parametreleri ve değerlendirilmesi

Burak silajlık mısır çeşidinin yaprak örneklemelerinde % N ve protein değerlerinin istatistiksel verileri ve değerlendirilmesi Çizelge 4.13.' de gösterilmiştir.

Artan dozlarda uygulanan stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamurunun yaprak örneklerinin hem %N hem de protein düzeyine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Kontrol’ de % N değeri 1.5, 2 ton da⁻¹’da 1.9, 4 ton da⁻¹’da 2.02, 6 ton da⁻¹’da 2.09 ve en yüksek doz olan 8 ton da⁻¹ 2.22 olarak artan oranlarda belirlenmiştir. Bitkinin protein içeriği de arıtma çamuru uygulamalarına bağlı olarak artış göstermiştir.

Çizelge 4.13. Yaprak örneklerinde toplam azot ve protein sonuçları¹

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Yaprak örnekleri	
	% N	% Protein
AÇ ₀	1.51 C ³	9.40 D
AÇ ₂	1.90 B	11.85 C
AÇ ₄	2.02B	12.57 BC
AÇ ₆	2.09 A	13.06 AB
AÇ ₈	2.22 A	13.89 A
Varyans Analizi ²		
AÇ	***	***

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

2. *** % 0.1 düzeyinde önemli;

3. Aynı sütunda büyük harfle gösterilen değerler farklı arıtma çamuru dozları arasındaki farkı göstermektedir.

4.5.5. Silajlık mısırın yaprak örneklerinde makro element konsantrasyonları ve değerlendirilmesi

Silajlık mısırın yaprak örneklerinde makro element konsantrasyonlarının analiz sonuçları Çizelge 4.14.’de verilmiştir.

Artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun silajlık mısırın yaprak örneklerindeki kalsiyum (Ca) konsantrasyonlarına etkisi istatistiksel analiz sonucu % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. En düşük Ca konsantrasyonu % 0.71 ile kontrolde belirlenirken en yüksek değer olan % 1.02 değeri ile 8 ton da⁻¹ uygulamasında belirlenmiştir.

Artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun silajlık mısırın yaprak örneklerindeki magnezyum (Mg) konsantrasyonlarına etkisi istatistiksel analiz sonucu % 1 düzeyinde önemli bulunmuştur.. Kontrolde % 0.13 olan Mg değeri dozlar arttıkça artmış ve en yüksek konsantrasyon olan % 0.24 değeri 8 ton da⁻¹ uygulamasında belirlenmiştir.

Artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun silajlık mısırın yaprak örneklerindeki sodyum (Na) konsantrasyonlarına etkisi istatistiksel analiz sonucu % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamaları yaprakların Na içeriğini kontrole göre (AÇ₀) arttırmış, ancak AÇ₂, AÇ₄, AÇ₆ ve AÇ₈ uygulamaları istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır.

Çizelge 4.14. Yaprak örneklerinde makro element konsantrasyonları¹

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Elementler				
	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	P (%)
AÇ ₀	0.71 C ³	0.13C	0.002 B	1.67 B	0.17 C
AÇ ₂	1.07 A	0.16B C	0.010 A	1.92 A	0.19 BC
AÇ ₄	0.98 AB	0.20 AB	0.011 A	2.00 A	0.20 B
AÇ ₆	0.92 B	0.21 AB	0.010 A	1.92 A	0.24 A
AÇ ₈	1.02 A	0.24 A	0.010 A	1.97 A	0.26 A
Varyans Analizi ²					
AÇ	***	**	***	**	***

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

2. *** % 0.1 düzeyinde önemli; ** %1 düzeyinde önemli.

3. Aynı sütunda büyük harfle gösterilen değerler farklı arıtma çamuru dozları arasındaki farkı göstermektedir.

Artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun silajlık mısırın yaprak örneklerindeki potasyum (K) konsantrasyonlarına etkisi istatistiksel analiz sonucu % 1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamaları yaprakların K içeriğini kontrole (AÇ₀) arttırmış, ancak AÇ₂, AÇ₄, AÇ₆ ve AÇ₈ uygulamaları istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır.

Artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun silajlık mısırın yaprak örneklerindeki fosfor (P) konsantrasyonlarına etkisi istatistiksel analiz sonucu %0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamalarına bakıldığında en düşük P konsantrasyonu % 0.17 ile kontrolde görülmektedir. Uygulamalar arttıkça P konsantrasyonunun da arttığı belirlenmiştir. 2 ton da⁻¹'da % 0.19, 4 ton da⁻¹'da % 0.20, 6 ton da⁻¹'da % 0.24 ve en yüksek uygulama dozu olan 8 ton da⁻¹'da P konsantrasyonu % 0.26 olarak bulunmuştur.

4.5.6. Silajlık mısırın yaprak örneklerinde mikro element konsantrasyonları ve değerlendirilmesi

Silajlık mısırın yaprak örneklerinde mikro element konsantrasyonlarının analiz sonuçları Çizelge 4.15.'de verilmiştir.

Artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun silajlık mısırın yaprak örneklerindeki Fe konsantrasyonlarına etkisi istatistiksel analiz sonucu % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Kontrolde 24.89 mg kg⁻¹ değerinde gözlenen demir konsantrasyonu en fazla 6 ton da⁻¹ uygulamasında 57.55 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir.

Artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun silajlık mısırın yaprak örneklerindeki Zn konsantrasyonlarına etkisi istatistiksel analiz sonucu % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. En düşük konsantrasyon 16.70 mg kg⁻¹ ile kontrolde belirlenirken, en yüksek konsantrasyon olan 34.55 mg kg⁻¹ değeri ile 6 ton da⁻¹ uygulamasında belirlenmiştir.

Artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun silajlık mısırın yaprak örneklerindeki Mn konsantrasyonlarına etkisi istatistiksel analiz sonucu % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. En düşük konsantrasyon değeri 23.95 mg kg⁻¹ ile kontrolde belirlenirken en yüksek konsantrasyon değeri ise 8 ton da⁻¹ uygulamasında 43.80 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.15. Yaprak örneklerinde mikro element konsantrasyonları¹

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Elementler			
	Fe (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)
AÇ ₀	24.89 E	16.70 D	23.95 D	3.56 B
AÇ ₂	35.08 D	22.15 C	31.88 C	3.60 B
AÇ ₄	39.81 C	32.85 A	41.75 B	4.05 B
AÇ ₆	57.55 A	34.55 A	40.15 B	4.82 A
AÇ ₈	50.113 B	31.80 B	43.80 A	4.05 B
Varyans Analizi ²				
AÇ	***	***	***	**

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

2. *** % 0.1 düzeyinde önemli; ** %1 düzeyinde önemli.

3. Aynı sütunda büyük harfle gösterilen değerler farklı arıtma çamuru dozları arasındaki farkı göstermektedir.

Artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun silajlık mısırın yaprak örneklerindeki Cu konsantrasyonlarına etkisi istatistiksel analiz sonucu % 1 düzeyinde önemli bulunmuştur. En düşük konsantrasyon kontrolde 3.56 mg kg^{-1} düzeyinde bulunurken, en yüksek konsantrasyon değeri olan 4.82 mg kg^{-1} değeri ise 6 ton da^{-1} uygulamasında belirlenmiştir.

Yaprak örneklerinin mikro element konsantrasyonları bütüncül olarak incelendiğinde demir, bakır ve çinko elementlerinin en yüksek değerlerinin 6 ton da^{-1} uygulamasında görüldüğü, 8 ton da^{-1} uygulamasında bu değerlerin az da olsa düşüş gösterdiği gözlemlenmektedir. Mn için ise 8 ton da^{-1} uygulamasında az da olsa yükselme meydana geldiği görülmektedir.

4.5.7. Silajlık mısırın yaprak örneklerinde ağır metal konsantrasyonları ve değerlendirilmesi

Silajlık mısırın yaprak örneklerinde mikro element konsantrasyonlarının analiz sonuçları Çizelge 4.16.'da verilmiştir.

Çizelge 4.16.'da görüldüğü gibi artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun silajlık mısırın yaprak örneklerinde Cd, Pb ve Ni içerikleri cihazın dedeksiyon limitlerinin altında olduğu görülmektedir. Cihazımızın Cd için dedeksiyon limitleri $\text{D.L.} < 0.05 \text{ mg kg}^{-1}$, Pb için $\text{D.L.} < 0.03 \text{ mg kg}^{-1}$ ve Ni için $\text{D.L.} < 0.05 \text{ mg kg}^{-1}$ 'in altında olduğundan belirlenememiştir.

Çizelge 4.16. Yaprak örneklerinin ağır metal konsantrasyonları¹

Arıtma Çamuru (ton da^{-1})	Elementler			
	Cd (mg kg^{-1})	Pb (mg kg^{-1})	Cr (mg kg^{-1})	Ni (mg kg^{-1})
AÇ ₀	<D.L.	<D.L.	1.15	<D.L.
AÇ ₂	<D.L.	<D.L.	1.45	<D.L.
AÇ ₄	<D.L.	<D.L.	1.55	<D.L.
AÇ ₆	<D.L.	<D.L.	1.33	<D.L.
AÇ ₈	<D.L.	<D.L.	1.64	<D.L.
Varyans Analizi ²				
AÇ	-	-	ö.d.	-

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır.

2. ö.d. : Önemli değil

<D.L. Cihazın dedeksiyon limitlerinin altında (Cd için $\text{D.L.} < 0.05 \text{ mg kg}^{-1}$), (Pb için $\text{D.L.} < 0.03 \text{ mg kg}^{-1}$), (Ni için $\text{D.L.} < 0.05 \text{ mg kg}^{-1}$)

Artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun silajlık mısırın yaprak örneklerindeki Cr konsantrasyonlarına etkisi istatistiksel analiz sonucunda önemli bulunmamıştır.

4.5.8. Silajlık mısırın tüm üst aksam ve koçan örneklerinde toplam azot ve protein konsantrasyonları ve değerlendirilmesi

Silajlık mısırın tüm üst aksam, koçan ve kök örneklerinde % N ve protein değerlerinin analiz sonuçları ve değerlendirilmesi Çizelge 4.17.' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.17.' de görüldüğü gibi artan dozlarda uygulanan arıtma çamuru silajlık mısırın hasat döneminde elde edilen tüm üst aksam, koçan ve kök örneklerinin hem toplam azot konsantrasyonu hem de protein içerikleri üzerine etkisi % 0.1 düzeyinde önemli olmuştur. Genel bir değerlendirme yapıldığında tüm üst aksam, koçan ve kök örneklerinde hem azot hem de protein açısından en yüksek değerler 6 ve 8 ton da⁻¹ uygulamalarında belirlenmiştir. Yüksek bitkilerin gelişimleri için mutlak gerekli besin elementlerini içeren arıtma çamurunda en fazla miktarda bulunan temel bitki besin elementleri N ve P elementleri olduğu bildirilmektedir (Anonymous 1997).

Çizelge 4.17. Tüm üst aksam, koçan, kök örneklerinin toplam azot ve protein değerleri¹

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Tüm üst aksam		Koçan		Kök	
	% N	% Protein	% N	% Protein	% N	% Protein
AÇ ₀	0.95 C ³	5.96 C	1.36 C	8.50 C	0.44 C	2.72 C
AÇ ₂	1.01 C	6.33 C	1.76 A	10.99 A	0.68 B	4.24 B
AÇ ₄	0.95 C	5.96 C	1.59 B	9.91 B	0.71 B	4.44 B
AÇ ₆	1.17 B	7.33 B	1.72 AB	10.72 AB	0.90 A	5.62 A
AÇ ₈	1.30 A	8.12 A	1.72 AB	10.72 AB	0.85 A	5.31 A
Varyans Analizi ²						
AÇ	***	***	***	***	***	***

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

2. *** % 0.1 düzeyinde önemli;

3. Aynı sütunda büyük harfle gösterilen değerler farklı arıtma çamuru dozları arasındaki farkı göstermektedir.

4.5.9. Silajlık mısırın tüm üst aksam (koçan hariç) örneklerinde makro, mikro element ve ağır metal konsantrasyonları ve değerlendirilmesi

Silajlık mısırın tüm üst aksam örneklerinde makro element analiz sonuçları Çizelge 4.18.'de mikro element analiz sonuçları Çizelge 4.19.'da ve ağır metal analiz sonuçları da Çizelge 4.20.'de verilmiştir.

Artan dozlarda uygulanan kurutulmuş ve stabilize edilmiş arıtma çamurunun silajlık mısırın tüm bitki örneklerinde Ca, K ve Na konsantrasyonlarına etkisi % 0.1 önemli bulunurken; P ve Mg konsantrasyonu üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamalarında tüm bitki örneklerinde belirlenen Ca ve K konsantrasyonları, kontrol (AÇ₀) uygulamasından daha düşük olarak belirlenmiştir. Na konsantrasyonları açısından en yüksek değerler ise 6 ve 8 ton da⁻¹ uygulamalarında belirlenmiştir.

Çizelge 4.18. Tüm üst aksam örneklerinin makro element konsantrasyonları¹

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Elementler				
	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	P (%)
AÇ ₀	0.91A ³	0.22	0.007D	1.85A	0.19
AÇ ₂	0.81B	0.20	0.009C	1.80A	0.18
AÇ ₄	0.66C	0.17	0.013B	0.98C	0.17
AÇ ₆	0.68C	0.19	0.015AB	1.37B	0.19
AÇ ₈	0.79B	0.20	0.018A	1.03C	0.20
Varyans Analizi ²					
AÇ	***	ö.d.	***	***	ö.d.

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

2. ö.d. : Önemli değil; *** % 0.1 düzeyinde önemli.

3. Aynı sütunda büyük harfle gösterilen değerler farklı arıtma çamuru dozları arasındaki farkı göstermektedir.

Artan dozlarda uygulanan kurutulmuş ve stabilize edilmiş arıtma çamurunun silajlık mısırın tüm üst aksam örneklerinde Fe ve Zn konsantrasyonlarına etkisi % 0.1; Mn ve Cu konsantrasyonu üzerine etkisi %1 düzeylerinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamaları ile Zn, Mn ve Cu kontrol (AÇ₀) uygulamasına göre artarken; Fe konsantrasyonları azalma göstermiştir.

Birçok araştırmacı yaptıkları çalışmalarda toprağa uygulanan arıtma çamurunun bitkilerde Zn içeriğini arttırdığını bildirmişlerdir (Çimrin vd. 2000; Berthet 1989; Reed vd. 1991; Menelik vd. 1991; Lombi ve Gerzabek 1998).

Çizelge 4.19. Tüm üst aksam örneklerinin mikro element konsantrasyonları¹

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Elementler			
	Fe (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Cu(mg kg ⁻¹)
AÇ ₀	252.75 A	17.30 D ³	47.25 C	3.56 B
AÇ ₂	164.85 D	52.35 C	49.10 BC	3.55 B
AÇ ₄	179.75 CD	52.20 C	53.25 AB	5.15 A
AÇ ₆	209.00 B	67.25 B	55.65 A	4.75 A
AÇ ₈	194.65 BC	74.95 A	57.09 A	4.42 AB
Varyans Analizi ²				
AÇ	***	***	**	**

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

2. *** % 0.1 düzeyinde önemli; ** %1 düzeyinde önemli.

3. Aynı sütunda büyük harfle gösterilen değerler farklı arıtma çamuru dozları arasındaki farkı göstermektedir.

Çizelge 4.20.'de görüldüğü gibi artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun silajlık mısırın tüm üst aksam örneklerinin Cd içerikleri cihazın dedeksiyon limitlerinin altında olmuştur. Aynı zamanda Pb için kontrol ve 2 ton da⁻¹ uygulamalarında da dedeksiyon limitlerinin altında olduğu görülmektedir. Cihazımızın Cd için dedeksiyon limitleri D.L.< 0.05 mg kg⁻¹, Pb için D.L.< 0.03 mg kg⁻¹'in altında olduğundan belirlenememiştir.

Pb için istatistiksel analiz sonuçlarına bakıldığında 4 ton da⁻¹ uygulamasından itibaren değerlerde artış olduğu ve % 0.1 düzeyinde önem seviyesi tespit edildiği görülmektedir. 2.00 mg kg⁻¹ ile en yüksek konsantrasyon 8 ton da⁻¹ uygulamasında belirlenmiştir.

Artan dozlarda uygulanan kurutulmuş ve stabilize edilmiş arıtma çamurunun silajlık mısırın tüm üst aksam örneklerinde Cr konsantrasyonlarına etkisi % 1; Ni konsantrasyonu üzerine etkisi % 0.1 düzeylerinde önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamaları ile tüm üst aksamın Cr ve Ni konsantrasyonları kontrol (AÇ₀) uygulamasına göre az da olsa artmıştır. Antoniadis ve Alloway (2002) tarafından yapılan çalışmalarda, toprağa doğrudan uygulanan arıtma çamuru uygulamalarında,

organik madde ilavesinin sonucu olarak toprakta çözünebilir organik karbon miktarının artışına bağlı olarak nikel metalinin bitkide alınabilirliğini arttırdığını bildirmişlerdir.

Çizelge 4.20. Tüm üst aksam örneklerinin ağır metal konsantrasyonları¹

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Elementler			
	Cd (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Cr (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)
AÇ ₀	<D.L.	<D.L.	1.41 C	1.15 B
AÇ ₂	<D.L.	<D.L.	1.50 BC	0.66 C
AÇ ₄	<D.L.	1.55 B ³	1.99 A	0.85 C
AÇ ₆	<D.L.	1.60 B	1.76 AB	1.44 A
AÇ ₈	<D.L.	2.00 A	1.95 A	1.60 A
Varyans Analizi ²				
AÇ	-	***	**	***

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

2. *** % 0.1 düzeyinde önemli; ** %1 düzeyinde önemli.

<D.L. Cihazın dedeksiyon limitlerinin altında (Cd için D.L. < 0.05 mg kg⁻¹), (Pb için D.L. < 0.03 mg kg⁻¹),

3. Aynı sütunda büyük harfle gösterilen değerler farklı arıtma çamuru dozları arasındaki farkı göstermektedir.

4.5.10. Silajlık mısırın koçan örneklerinde makro, mikro element ve ağır metal konsantrasyonları ve değerlendirilmesi

Silajlık mısırın koçan örneklerinde makro element analiz sonuçları Çizelge 4.21. mikro element analiz sonuçları Çizelge 4.22.'de ve ağır metal analiz sonuçları da Çizelge 4.23.'de verilmiştir.

Artan dozlarda uygulanan kurutulmuş ve stabilize edilmiş arıtma çamurunun silajlık mısırın koçan örneklerinde Ca, Na ve P konsantrasyonlarına etkisi % 0.1 düzeyinde önemli bulunurken; K ve Mg konsantrasyonu üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur. Koçan örneklerinin Ca, Na ve P konsantrasyonları arıtma çamuru uygulamaları ile kontrole (AÇ₀) göre artış göstermiştir.

Çizelge 4.21. Koçan örneklerinin makro element konsantrasyonları¹

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Elementler				
	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	P (%)
AÇ ₀	0.030 C ³	0.13	0.003 B	0.53	0.18 B
AÇ ₂	0.030 C	0.13	0.009 A	0.55	0.19 B
AÇ ₄	0.034 B	0.14	0.009 A	0.54	0.23 A
AÇ ₆	0.060 A	0.12	0.010 A	0.54	0.24 A
AÇ ₈	0.059 A	0.14	0.009 A	0.54	0.22 A
Varyans Analizi ²					
AÇ	***	ö.d.	***	ö.d.	***

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

2. ö.d. : Önemli değil; *** % 0.1 düzeyinde önemli; * %5 düzeyinde önemli.

3. Aynı sütunda büyük harfle gösterilen değerler farklı arıtma çamuru dozları arasındaki farkı göstermektedir.

Çizelge 4.22. Koçan örneklerinin mikro element konsantrasyonları¹

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Elementler			
	Fe (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)
AÇ ₀	6.53 D ³	46.50 B	6.98 C	1.66 B
AÇ ₂	16.63 C	45.05 B	6.88 C	1.55 B
AÇ ₄	17.32 B	61.25 A	13.10 A	2.53 A
AÇ ₆	18.60 A	63.50 A	11.32 B	2.70 A
AÇ ₈	16.96 BC	63.25 A	10.55 B	1.69 B
Varyans Analizi ²				
AÇ	***	***	***	***

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

2. *** % 0.1 düzeyinde önemli.

3. Aynı sütunda büyük harfle gösterilen değerler farklı arıtma çamuru dozları arasındaki farkı göstermektedir.

Artan dozlarda uygulanan kurutulmuş ve stabilize edilmiş arıtma çamurunun silajlık mısırın koçan örneklerinde Fe, Zn, Mn ve Cu konsantrasyonlarına etkisi % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Koçan örneklerinin Fe, Zn, Mn ve Cu konsantrasyonları arıtma çamuru uygulamaları ile kontrole (AÇ₀) göre artış göstermiştir.

Çizelge 4.23. Koçan örneklerinin ağır metal konsantrasyonları¹

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Elementler			
	Cd (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Cr (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)
AÇ ₀	<D.L.	<D.L.	0.23 D ³	0.70 C
AÇ ₂	<D.L.	<D.L.	0.22 D	1.46 B
AÇ ₄	<D.L.	<D.L.	0.38 C	1.54 A
AÇ ₆	<D.L.	<D.L.	0.52 B	1.58 A
AÇ ₈	<D.L.	<D.L.	0.65 A	1.34 C
Varyans Analizi ²				
AÇ	-	-	***	***

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

2. *** % 0.1 düzeyinde önemli;

<D.L. Cihazın dedeksiyon limitlerinin altında (Cd için D.L. < 0.05 mg kg⁻¹), (Pb için D.L. < 0.03 mg kg⁻¹),

3. Aynı sütunda büyük harfle gösterilen değerler farklı arıtma çamuru dozları arasındaki farkı göstermektedir.

Çizelge 4.23.'de görüldüğü gibi artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun silajlık mısırın koçan örneklerinin Cd ve Pb içerikleri cihazın dedeksiyon limitlerinin altında yer almıştır. Cihazımızın Cd için dedeksiyon limitleri D.L. < 0.05 mg kg⁻¹, Pb için D.L. < 0.03 mg kg⁻¹'in altında olduğundan belirlenememiştir.

Arıtma çamurunun koçan örneklerinin Cr ve Ni konsantrasyonları üzerine etkisi istatistiksel olarak %0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Koçan örneklerinin Cr ve Ni konsantrasyonları arıtma çamuru uygulamaları ile kontrole (AÇ₀) göre az da olsa artış göstermiştir.

4.5.11. Silajlık mısırın kök örneklerinde makro, mikro element ve ağır metal konsantrasyonları ve değerlendirilmesi

Silajlık mısırın kök örneklerinde makro element analiz sonuçları Çizelge 4.24.'de, mikro element analiz sonuçları Çizelge 4.25.'de ve ağır metal analiz sonuçları da Çizelge 4.26.'da verilmiştir.

Artan dozlarda uygulanan kurutulmuş ve stabilize edilmiş arıtma çamurunun silajlık mısırın kök örneklerinde P, K, ve Na konsantrasyonlarına etkisi % 0.1 düzeyinde; Ca konsantrasyonuna etkisi % 1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Kök örneklerinin Ca, K, Na ve P konsantrasyonları arıtma çamuru uygulamaları ile kontrole (AÇ₀) göre artış göstermiştir. Mg konsantrasyonları da arıtma çamuru uygulamaları ile kontrole göre artış göstermesine rağmen istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.24.).

Çizelge 4.24. Kök örneklerinin makro element konsantrasyonları¹

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Elementler				
	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	P (%)
AÇ ₀	3.10 C ³	0.13	0.003 B	0.16 E	0.08 C
AÇ ₂	3.43 C	0.14	0.009 A	0.20 D	0.12 B
AÇ ₄	3.69 BC	0.15	0.009 A	0.26 C	0.14 A
AÇ ₆	4.30 AB	0.16	0.009 A	0.42 B	0.16 A
AÇ ₈	5.00 A	0.19	0.010 A	0.49 A	0.15 A
Varyans Analizi ²					
AÇ	**	ö.d.	***	***	***

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

2. ö.d. : Önemli değil; *** % 0.1 düzeyinde önemli; ** % 1 düzeyinde önemli.

3. Aynı sütunda büyük harfle gösterilen değerler farklı arıtma çamuru dozları arasındaki farkı göstermektedir.

Çizelge 4.25. Kök örneklerinin mikro element konsantrasyonları¹

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Elementler			
	Fe (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)
AÇ ₀	2285.0 C	20.60 D ³	61.95 C	4.73 D
AÇ ₂	2891.9 C	35.60 C	71.37 BC	5.68 C
AÇ ₄	3159.3 B	45.05B	80.35 B	7.80 B
AÇ ₆	3634.6 B	74.50A	81.05 B	8.28 AB
AÇ ₈	4388.7 A	75.95A	102.10 A	8.50 A
Varyans Analizi ²				
AÇ	***	***	***	***

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

2. *** % 0.1 düzeyinde önemli.

3. Aynı sütunda büyük harfle gösterilen değerler farklı arıtma çamuru dozları arasındaki farkı göstermektedir.

Artan dozlarda uygulanan kurutulmuş ve stabilize edilmiş arıtma çamurunun silajlık mısırın kök örneklerinde Fe, Zn, Mn ve Cu konsantrasyonlarına etkisi % 0.1

düzeyinde; önemli bulunmuştur. Kök örneklerinin Fe, Zn, Mn ve Cu konsantrasyonları arıtma çamuru uygulamaları ile kontrole (AÇ₀) göre artış göstermiştir (Çizelge 4.25.).

Çizelge 4.26. Kök örneklerinin ağır metal konsantrasyonları¹

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Elementler			
	Cd (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Cr (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)
AÇ ₀	<D.L.	0.90 B ³	8.70 B	18.85 D
AÇ ₂	<D.L.	0.95 B	8.70 B	20.35 CD
AÇ ₄	<D.L.	1.65 A	8.88 B	21.85 BC
AÇ ₆	<D.L.	1.80 A	9.49 B	23.60 B
AÇ ₈	<D.L.	1.92 A	10.52 A	30.60 A
Varyans Analizi ²				
AÇ	-	***	**	***

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

2. *** % 0.1 düzeyinde önemli; ** %1 düzeyinde önemli.

<D.L. Cihazın dedeksiyon limitlerinin altında (Cd için D.L. < 0.05 mg kg⁻¹)

Artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun silajlık mısırın kök örneklerinin Cd konsantrasyonlarının cihazın dedeksiyon limitlerinin altında olduğu tespit edilmiştir. Cihazımızın Cd için dedeksiyon limiti D.L.< 0.05 mg kg⁻¹ altında olduğundan belirlenememiştir.

Artan dozlarda uygulanan kurutulmuş ve stabilize edilmiş arıtma çamurunun silajlık mısırın kök örneklerinde Pb ve Cr konsantrasyonlarına etkisi % 0.1 düzeyinde; Cr konsantrasyonlarına etkisi ise % 1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Kök örneklerinin Pb, Cr ve Ni konsantrasyonları arıtma çamuru uygulamaları ile kontrole (AÇ₀) göre artış göstermiştir.

4.6. Silajlık Mısırdaki Mikro Elementler ve Ağır Metallerin Biyoakümülyasyonu

Biyoakümülyasyon (BCF) ya da biyoakümülyasyon (BAF) faktörü topraklardan bitkilere ağır metallerin akümüle olabilirliğini tahmin etmekte kullanılan faktörlerdir. Bu faktör bitki dokularındaki metal konsantrasyonunun topraktaki metal konsantrasyonuna oranı olarak tanımlanmaktadır (Liu vd. 2008). BCF ya da BAF faktörünün; bitkilerde veya ortamlardaki metal akümülyasyon kapasitesinin belirlenmesi için iyi bir gösterge olduğu bildirilmektedir (Zayed vd. 1998; Odjegba ve Fasidi 2004; Liu vd. 2009; Wu vd. 2010). Bitkiler için biyoakümülyasyon faktörü ağır metal akümülyasyon etkinliğini ölçmek için kullanılır ve yapılan hesaplama sonucunda bu değer 1'den büyük olması o bitkilerin potansiyel ağır metal hiperakümülatör olmasının bir göstergesidir (Zhang vd. 2002).

Yukarıdaki bilgiler doğrultusunda; artan dozlarda uygulanmış kurutulmuş ve stabilize edilmiş arıtma çamuru uygulamalarının silajlık mısırın yaprak, tüm üst aksam ve koçan örneklerinde mikro element ve ağır metallerin biyoakümülyasyonu incelenmiştir.

4.6.1. Silajlık mısırın yaprak örneklerinde mikro element ve ağır metallerin biyoakümülyasyonu

Silajlık mısırın yaprak örneklerinde mikro element ve ağır metallerin biyoakümülyasyon değerleri Çizelge 4.27.'de gösterilmiştir.

Artan dozlarda uygulanan kurutulmuş ve stabilize edilmiş arıtma çamurunun silajlık mısır bitkisinin yaprak örneklerinde Fe biyoakümülyasyonu üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Arıtma çamurunun silajlık mısır çeşidi yetiştiriciliğinde çinko biyoakümülyasyonu üzerindeki istatistiki analiz sonuçları % 0.1 düzeyine önemli bulunmuştur. BAF_{Zn} değeri bütün uygulamalarda 1'in altında yer almış olup mısır bitkisinin yapraklarında Zn birikiminin olmadığı söylenebilir.

Çizelge 4.27. Silajlık mısırın yapraklarında mikro element ve ağır metallerin biyoakümülyasyonu¹

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Elementler				
	BAF_{Fe}	BAF_{Zn}	BAF_{Mn}	BAF_{Cu}	BAF_{Cr}
AÇ ₀	0.0007	0.35 A ³	0.041 C	0.046 A	0.022 C
AÇ ₂	0.0010	0.21 E	0.051 BC	0.032 B	0.029 C
AÇ ₄	0.0012	0.33 B	0.063 AB	0.030 C	0.030 B
AÇ ₆	0.0017	0.27 C	0.064 AB	0.031 B	0.026 C
AÇ ₈	0.0014	0.23 D	0.075 A	0.031 B	0.040 A
Ort.	0.0012	0.28	0.058	0.034	0.029
Varyans Analizi ²					
AÇ	ö.d.	***	**	**	**

1. Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

2. ö.d. önemli değil; *** % 0.1 düzeyinde önemli; ** %1 düzeyinde önemli.

3. Aynı sütunda büyük harfle gösterilen değerler farklı arıtma çamuru dozları arasındaki farkı göstermektedir.

Arıtma çamurunun artan dozlarda uygulanmasıyla Mn, Cu ve Cr elementlerinin istatistiksel analiz sonuçlarına bakıldığında % 1 düzeyinde önemli olduğu Çizelge 4.27.'den görülmektedir. Her üç elementte de biyoakümülyasyon değeri 1'in altında

bulunmuştur ve bu nedenle mısır bitkisinin yapraklarının; Mn, Cu ve Cr için hiperakümülatör olmadığını söylemek mümkündür.

Arıtma çamuru uygulamalarına bağlı olarak bitkinin yapraklarında biyoakümülyasyon değerleri hesaplanan elementlerin ortalama değerleri göz önüne alınarak kendi aralarında bir sıralamaya tabi tutulduğunda $BAF_{Zn} > BAF_{Mn} > BAF_{Cu} > BAF_{Cr} > BAF_{Fe}$ şeklinde olduğu görülmektedir. Mutlak gerekli bitki besin elementi olmayan Cr'un sıralamada sonlarda olması ağır metal birikim riski açısından denememiz koşullarında arıtma çamurunun tehlike arzemediğinin bir göstergesi olabilir.

4.6.2. Silajlık mısırın koçan örneklerinde mikro element ve ağır metallerin biyoakümülyasyonu

Silajlık mısırın koçan örneklerinde mikro element ve ağır metallerin biyoakümülyasyon değerleri Çizelge 4.28.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.28. Silajlık mısırın koçanlarında mikro element ve ağır metal biyoakümülyasyonu¹

Arıtma Çamuru (ton da ⁻¹)	Elementler					
	BAF_{Fe}	BAF_{Zn}	BAF_{Mn}	BAF_{Cu}	BAF_{Cr}	BAF_{Ni}
AÇ ₀	0.0001	0.952 A	0.014 B	0.017B	0.008C	0.017D
AÇ ₂	0.0004	0.516 D	0.012B	0.020A	0.006C	0.047A
AÇ ₄	0.0004	0.909 A	0.027A	0.027A	0.011B	0.037B
AÇ ₆	0.0005	0.794 B	0.020B	0.027A	0.019B	0.033C
AÇ ₈	0.0006	0.659 C	0.018B	0.017B	0.042A	0.037B
Ort.	0.0003	0.766	0.018	0.022	0.017	0.034
Varyans Analizi ²						
AÇ	ö.d.	***	***	***	***	***

1. Değerler 4 tekrür ortalamasıdır.

2. ö.d. önemli değil; *** % 0.1 düzeyinde önemli.

3. Aynı sütunda büyük harfle gösterilen değerler farklı arıtma çamuru dozları arasındaki farkı göstermektedir

Artan dozlarda uygulanan kurutulmuş ve stabilize edilmiş arıtma çamurunun silajlık mısır bitkisinin koçan örneklerinde Fe biyoakümülyasyonu üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Arıtma çamuru uygulamalarının bitkinin koçanlarında Zn, Mn, Cu, Cr, Ni biyoakümülyasyonu üzerine etkisinin istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir. BAF_{Zn} , BAF_{Mn} , BAF_{Cu} , BAF_{Cr} , BAF_{Ni} değerleri bütün uygulamalarda 1'in altında yer almış olup mısır bitkisinin koçanlarında Zn, Mn, Cu, Cr, Ni birikiminin olmadığını söylemek mümkündür.

Aritma çamuru uygulamalarına bağlı olarak bitkinin koçanlarında biyoakümülyasyon değerleri hesaplanan elementlerin ortalama değerleri göz önüne alınarak kendi aralarında bir sıralamaya tabi tutulduğunda $BAF_{Zn} > BAF_{Ni} > BAF_{Cu} > BAF_{Mn} > BAF_{Cr} > BAF_{Fe}$ şeklinde olduğu görülmektedir. Mutlak gerekli bitki besin elementi olmayan Cr'un sıralamada sonlarda olması ağır metal birikim riski açısından denememiz koşullarında arıtma çamurunun tehlike arzemediğinin bir göstergesi olabilir. BAF_{Ni} değeri ise her ne kadar ikinci sırada olsa da ortalama 0.034 değeri ile BAF için kritik değer olan 1'in oldukça altında yer almaktadır.

4.6.3. Silajlık mısırın tüm üst aksamda mikro element ve ağır metallerin biyoakümülyasyonu

Silajlık mısırın tüm üst aksam (koçan hariç) örneklerinde mikro element ve ağır metallerin biyoakümülyasyon değerleri Çizelge 4.29.' da gösterilmiştir.

Çizelge 4.29. Silajlık mısırın tüm üst aksamda mikro element ve ağır metal biyoakümülyasyonu¹

Aritma Çamuru (ton da ⁻¹)	Elementler					
	BAF_{Fe}	BAF_{Zn}	BAF_{Mn}	BAF_{Cu}	BAF_{Cr}	BAF_{Ni}
AÇ ₀	0.007	0.403D	0.090B	0.036B	0.049BC	0.028B
AÇ ₂	0.004	0.600C	0.087C	0.047AB	0.043C	0.021C
AÇ ₄	0.005	0.910A	0.110A	0.055A	0.058BC	0.020C
AÇ ₆	0.006	0.837A	0.100AB	0.047AB	0.066B	0.029B
AÇ ₈	0.007	0.781B	0.098B	0.045AB	0.128A	0.044A
Ort.	0.006	0.706	0.097	0.046	0.068	0.028
Varyans Analizi ²						
AÇ	ö.d.	***	**	**	***	***

1. Değerler 4 tekrerrüt ortalamasıdır.

2. ö.d. önemli değil; *** % 0.1 düzeyinde önemli, ** %1 düzeyinde önemli.

3. Aynı sütunda büyük harfle gösterilen değerler farklı arıtma çamuru dozları arasındaki farkı göstermektedir

Artan dozlarda uygulanan kurutulmuş ve stabilize edilmiş arıtma çamurunun silajlık mısırın tüm üst aksam örneklerinde Fe biyoakümülyasyonu üzerindeki etkisinin istatistiksel analiz sonuçları önemsiz olarak belirlenmiştir.

Aritma çamuru uygulamalarının bitkinin tüm üst aksam örneklerinde Zn, Cr, Ni biyoakümülyasyonu üzerine etkisinin istatistiksel olarak % 0.1; Mn ve Cu biyoakümülyasyonu üzerine ise % 1 düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir. BAF_{Zn} , BAF_{Mn} , BAF_{Cu} , BAF_{Cr} , BAF_{Ni} değerleri bütün uygulamalarda 1'in altında yer almış olup mısır bitkisinin tüm üst aksamında Zn, Mn, Cu, Cr, Ni birikiminin olmadığını söylemek mümkündür.

Arıtma çamuru uygulamalarına bağlı olarak bitkinin tüm üst aksamında biyoakümülyasyon değeri hesaplanan elementlerin ortalama değeri göz önüne alınarak kendi aralarında bir sıralamaya tabi tutulduğunda; $BAF_{Zn} > BAF_{Mn} > BAF_{Cr} > BAF_{Cu} > BAF_{Ni} > BAF_{Fe}$ şeklinde olduğu görülmektedir. Mutlak gerekli bitki besin elementi olmayan Cr'un ortalama değeri 0.068; Ni'in ise 0.028 ile BAF için kritik değeri olan 1'in altında yer alması denememiz koşullarında arıtma çamurunun tehlike arz etmediğini düşündürmektedir.

5. SONUÇLAR

Bu araştırmada, Antalya Hurma İleri Evsel Atık Su Arıtma Tesisi'nden Hurma alınan stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamuru kontrol 0 (AÇ₀-Kontrol), 2 (AÇ₂), 4 (AÇ₄), 6 (AÇ₆), 8 (AÇ₈) ton da⁻¹ dozlarında Akdeniz Üniversitesi Kampus alanı içerisinde yer alan Araştırma Uygulama Çiftliğinde belirlenen arazide, projeye tahsis edilen deneme alanındaki toprağa homojen olarak karıştırılarak, Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nün tescilli çeşidi olan 'Burak' silajlık mısır çeşidinin yetiştiriciliği yapılmıştır. Deneme dört tekerrürlü olarak tesadüf blokları deseninde kurulmuştur. Deneme her parsel damla sulama sistemiyle eşit bir şekilde sulanmıştır. Uygulama konuları her parseldeki toprağa homojen olarak karıştırıldıktan sonra, 3 hafta süreyle inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonrası 1. dönem toprak örnekleme, tohum ekiminden 10 hafta sonra 2. dönem toprak örnekleme ve hasat zamanı 3. dönem toprak örneklemeleri yapılarak analizler için hazır hale getirilmiştir. Bitki örneklemeleri ise; tohum ekiminden 10 hafta sonra yaprak örnekleme yapılmış, hasatta ise mısır bitkisi tüm üst aksam (koçan hariç), koçan ve kök olarak ayrılmış ve analizleri gerçekleştirilmiştir. Deneme sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Artan arıtma çamuru dozlarıyla birlikte deneme toprağının pH, EC ve organik madde düzeyleri dönemsel olarak incelendiğinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. pH değerlerinin 1. ve 2. dönem toprak örneklemelerinde istatistiksel olarak önemsiz bulunduğu ancak 3. dönem örneklemelerinde uygulamalar arttıkça pH değerlerinin düştüğü görülmüştür. EC değerlerinin 1. ve 2. dönemde uygulama dozlarıyla birlikte artış gösterdiği, ancak bu artışın başlangıç toprağındaki EC değerinin tuzluluk sınıfında değişiklik oluşturmadığı belirlenmiştir. Arıtma çamuru uygulamaları 3. dönemde yetiştirme ortamının EC'si üzerine istatistiksel açıdan önemli etki göstermemiştir. Artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun deneme toprağının organik madde içeriği üzerine etkisi 1. dönemde istatistiksel olarak önemsiz bulunurken, 2. ve 3. dönemde kontrole göre toprağın organik madde içeriğini arttırdığı görülmüştür.

Yetiştirme ortamının toplam azot konsantrasyonları dönemsel olarak incelendiğinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. 1. ve 2. dönem toprak örneklerinin toplam azot içerikleri üzerine uygulamaların etkisi istatistiksel olarak önemli; 3. dönemde ise önemsiz olarak belirlenmiştir. Dönemsel olarak incelendiğinde 3. dönemdeki toprak N değerlerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun mısır bitkisinin vejetasyonunun kırkinci gününden itibaren artan azot absorpsiyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Uygulamaların tüm dönem boyunca ortalama değerleri incelendiğinde arıtma çamuru uygulamalarının toprağın toplam N düzeyini artırdığı belirlenmiştir.

Bitkiye yararlı fosfor konsantrasyonlarına ait analiz sonuçları dönemsel olarak incelendiğinde toprağın fosfor (P) içeriğindeki değişimler istatistiksel olarak önemli

düzeyde bulunmuştur. 1. dönem, 2. dönem ve 3. dönem toprak örneklerinin alınabilir P düzeylerinin istatistiksel analiz sonuçları da önemli olarak belirlenmiştir. 1. dönemden 3. döneme doğru toprağın alınabilir P konsantrasyonlarında artış tespit edilmiştir. Deneme topraklarının toplam fosfor konsantrasyonları incelendiğinde 1. dönem örneklemelerine göre 2. ve 3. dönemde konsantrasyon miktarının arttığı görülmüştür. Sonuç olarak arıtma çamurunun mineralizasyon sürecinde fosforun açığa çıkmasının zamana bağlı olarak arttığı söylenebilir.

Yetiştirme ortamlarının değişebilir potasyum (K) düzeyleri her üç örneklemeye döneminde de istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Kontrol toprağının K konsantrasyonları Pizer (1967)'e göre değerlendirildiğinde iyi sınıfında yer almaktadır. Arıtma çamuru uygulamaları genel itibarıyla torakların K sınıfları üzerinde değişime neden olmamıştır. Bitkinin K ihtiyacı göz önünde bulundurulduğunda 2. ve 3. dönem örneklemelerinde K konsantrasyonlarının azaldığı görülmüştür. Deneme topraklarının toplam K konsantrasyonları incelendiğinde; 2. ve 3. örneklemeye dönemlerinde arıtma çamuru uygulamalarıyla toplam K içeriğinin arttırmış olduğu, ancak bu artışın düzenli olmadığı, 1. örneklemeye döneminden 3. örneklemeye dönemine doğru ise konsantrasyonlarda azalma eğilimi olduğu belirlenmiştir.

Değişebilir magnezyum (Mg) konsantrasyonlarına ait analiz sonuçları dönemsel olarak incelendiğinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. 1. dönem örneklemesinde uygulamalar ortalaması en yüksek değerde belirlenirken, 2. dönemde az da olsa bu değer düşmüş, 3. dönemde ise aynı oranda düşüş gözlemlenmiştir. Deneme topraklarının toplam Mg konsantrasyonları incelendiğinde ise 1. ve 2. örneklemeye dönemlerinde arıtma çamuru uygulamalarında kontrole göre toprağın toplam Mg içeriği bir miktar azalmış olmakla birlikte 3. örneklemeye döneminde kontrole göre bir miktar artış meydana gelmiştir. 1. örneklemeye döneminden 3. örneklemeye dönemine doğru ise toprağın toplam magnezyum konsantrasyonu azalmıştır.

Deneme topraklarında stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamuru uygulamalarının toprağın bitkiye yarayışlı kalsiyum (Ca) içeriği üzerine olan etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Toplam Ca konsantrasyonları incelendiğinde 1. ve 2. dönemde toprağın Ca içeriğinin kontrole göre arttığı, ancak 3. dönem örneklemelerinde kontrole göre azalma meydana geldiği belirlenmiştir.

Deneme toprağının değişebilir sodyum (Na) konsantrasyonları dönemsel olarak incelendiğinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. 1. dönem, 2. dönem ve 3. dönem toprak örneklemelerinin değişebilir Na düzeyleri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Ortalama değerlere bakılarak değerlendirme yapıldığında deneme topraklarının değişebilir Na içeriği 1. ve 2. dönemde düşük, 3. dönemde de çok düşük sınıfında yer almış ve bitki gelişmesi için herhangi bir sorun teşkil etmemiştir. Deneme topraklarının toplam Na içeriği incelendiğinde arıtma çamuru uygulamalarının

konsantrasyon miktarını bir miktar arttırdığı belirlenmiştir. 1. dönem örneklemelerinden 3. döneme doğru ise toplam sodyum miktarında azalma görülmüştür.

Deneme topraklarının alınabilir demir (Fe), çinko (Zn), mangan (Mn) düzeyi istatistiksel olarak önemli çıkmıştır. Arıtma çamuru uygulama dozları arttıkça her üç elementin de konsantrasyonlarında artış görülmüştür. Alınabilir Fe konsantrasyonları 1. dönemden 2. dönem örneklemeğine geçerken artış belirlenmiş, 3. dönemde ise düşme tespit edilmiştir. Arıtma çamurunun toprağa uygulanmasından hasada kadar geçen sürede etkilerinin sayısal değerlerinin ortalamalarına bakıldığında en yüksek bitkiye yarayışlı Fe konsantrasyonunun 6 ton da⁻¹ uygulamasında olduğu belirlenmiştir. Deneme topraklarının toplam Fe içerikleri arıtma çamuru uygulamalarında kontrole göre artış belirlenmiştir. 1. örnekleme döneminden 3. örnekleme dönemine doğru ise toplam demir konsantrasyonunda azalma görülmüştür.

Artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun alınabilir çinko (Zn) konsantrasyonu istatistiksel analiz sonuçları önemli düzeylerde bulunmuştur. Lindsay ve Norvell (1978)'e göre değerlendirildiğinde 1., 2. ve 3. dönemde de alınabilir Zn konsantrasyonları iyi sınıfında belirlenmiştir. Arıtma çamuru uygulamaları ile Zn konsantrasyonları ortalama sekiz kat artmış ve yine iyi sınıfında yer almıştır. En yüksek Zn konsantrasyonlarının belirlendiği dönem ise 2. dönem olarak belirlenmiştir. Deneme topraklarının toplam çinko konsantrasyonlarında da alınabilir de olduğu gibi en yüksek konsantrasyon değeri 2. dönem örneklemelerinde belirlenmiştir.

Arıtma çamuru uygulamaları ile deneme topraklarının alınabilir mangan (Mn) konsantrasyonları incelendiğinde istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Kontrolde alınabilir Mn konsantrasyonlarının Lindsay ve Norvell (1978)'e göre yeterli sınıfında yer aldığı; arıtma çamuru uygulamalarıyla konsantrasyon değerlerinin ortalama % 26.82 oranında arttığı belirlenmiştir. Deneme topraklarının toplam Mn konsantrasyonları incelendiğinde her üç örnekleme döneminde de istatistiksel olarak önemsiz bulunmuş ancak; 1. dönemden 3. döneme doğru toplam Mn konsantrasyonlarında hafif de olsa azalma olduğu tespit edilmiştir.

Artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun toprağın alınabilir bakır (Cu) konsantrasyonuna etkisi 1. ve 2. dönemde istatistiksel olarak önemli bulunurken; 3. dönemde önemsiz olarak belirlenmiştir. Arıtma çamuru uygulamaları ile alınabilir Cu düzeyleri kontrole göre artış göstermiştir. Bu artış ortalama % 62.5 seviyelerindedir. Uygulanan arıtma çamuru ile başlangıçtan hasada kadar geçen süre içerisinde sayısal sonuçların ortalamaları incelendiğinde en yüksek bitkiye yarayışlı Cu konsantrasyonunun 6 ton da⁻¹ uygulamasında görüldüğü tespit edilmiştir. Deneme parsellerinde toplam bakır düzeyleri incelendiğinde ise, 1. dönemden 3. döneme doğru konsantrasyon miktarında azalış eğilimi olduğu belirlenmiştir.

Deneme parsellerinin ekstrakte edilebilir ağır metal düzeyleri incelendiğinde kurşun (Pb) ve krom (Cr) ağır metalleri cihazın dedeksiyon limitlerinin altında kalmıştır

(Dedeksiyon limiti(D.L.): Belirli güven seviyesinde tespit edilebilen en küçük analit derişimi veya kütlesi dedeksiyon limiti olarak kabul edilir.). Kadmiyum (Cd) ve nikel (Ni) ağır metallerinin konsantrasyonları istatistiksel olarak önemli düzeyde bulunmuştur. Cd için en yüksek konsantrasyon AÇ₈ uygulamasında belirlenirken Ni için en yüksek konsantrasyon AÇ₆ uygulamasında tespit edilmiştir.

Deneme parsellerinin toplam Pb düzeyleri incelendiğinde dedeksiyon limitlerinin altında olduğu belirlenmiştir. Arıtma çamuru uygulamalarının deneme toprağında toplam ağır metal konsantrasyonlarının istatistiksel analiz sonuçları incelendiğinde dönemsel olarak Cd, Cr ve Ni ağır metalleri önemli düzeyde bulunmuştur. Toplam Cd düzeylerinin 1., 2. ve 3. dönem örneklemelerinin sonuçları istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. En yüksek toplam Cd düzeyi AÇ₂ uygulamasında belirlenirken diğer uygulamalarda da yakın değerler tespit edilmiştir. Deneme topraklarının toplam Cr düzeylerinin istatistiksel analiz sonuçları 1. dönemde önemsiz olarak belirlenirken, 2. ve 3. dönemde önemli olarak belirlenmiştir. En yüksek toplam Cr düzeyleri kontrol uygulaması, AÇ₂ ve AÇ₄ uygulamalarında tespit edilmiştir. Toplam Ni düzeylerinin istatistiksel analiz sonuçları 1., 2. ve 3. dönem toprak örneklemelerinde önemli bulunmuştur. En yüksek toplan Ni konsantrasyonu kontrol uygulamasında belirlenirken AÇ₂, AÇ₄, AÇ₆ ve AÇ₈ uygulamalarında da yakın değerler elde edilmiştir.

Araştırmada yetiştirilen silajlık mısıra ait bazı morfolojik özelliklerin istatistiksel analiz sonuçları önemli bulunmuştur. İlk koçan yüksekliğinin sayısal değerleri incelendiğinde en yüksek değerin AÇ₈ uygulamasında tespit edildiği görülmektedir. Koçan sayılarının değerlerine bakıldığında en fazla koçan adedinin AÇ₆ uygulamasında tespit edilmiştir. Tüm üst aksam ve koçan örneklemelerinin yaş ve kuru ağırlık düzeyleri incelendiğinde en yüksek değerlerin tüm üst aksamda AÇ₈ uygulamasında, koçan örneklerinde ise AÇ₂ uygulamasında olduğu görülmektedir. Tüm üst aksam ve koçan örneklemelerinin kuru madde düzeylerine bakıldığında, tüm üst aksam örneklerinin en yüksek kuru madde düzeyi AÇ₈ uygulamasında, koçan örneklerinde ise AÇ₂ uygulamasında belirlenmiştir.

Stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamuru ile yetiştiriciliği yapılan Burak silajlık mısır çeşidinin tüm üst aksam örneklemelerinde ADF, NDF ve ham selüloz düzeyleri istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Koçan örneklemelerinin ADF ve NDF düzeyleri istatistiksel olarak önemli bulunurken, ham selüloz düzeylerinin istatistiksel analiz sonuçları önemsiz bulunmuştur.

Burak silajlık mısır çeşidinin ara dönem yaprak örneklemelerinin klorofil-a, klorofil-b ve spad ölçüm düzeylerinin istatistiksel analiz sonuçları önemli bulunmuştur. Yaprak örneklerinde klorofil-a, klorofil-b ve spad ölçümlerinde en yüksek düzeyler AÇ₆ ve AÇ₈ uygulamalarında belirlenmiştir.

Yaprak örneklerinin toplam N ve Protein düzeylerinin istatistiksel analiz sonuçları önemli bulunmuştur. Toplam N ve protein değerleri incelendiğinde en yüksek veriler AÇ₆ ve AÇ₈ uygulamalarında belirlenmiştir.

Mısır bitkisinin yapraklarında toplam Ca, Mg, Na, K ve P düzeylerinin istatistiksel analiz sonuçları önemli bulunmuştur. Yaprak örneklerinin toplam Ca düzeyleri incelendiğinde AÇ₂ ve AÇ₈ uygulamalarında en yüksek düzeylerin elde edildiği görülmektedir. Mg düzeylerinde en yüksek değer AÇ₈ uygulamasında; Na düzeylerinde en yüksek değerler AÇ₂, AÇ₄, AÇ₆ ve AÇ₈ uygulamalarında; toplam K düzeylerinde en yüksek değerler AÇ₂, AÇ₄, AÇ₆ ve AÇ₈ de ve son olarak toplam P konsantrasyonlarında en yüksek değerler AÇ₆ ve AÇ₈ uygulamalarında belirlenmiştir.

Silajlık mısırın yapraklarında toplam mikro element konsantrasyonlarının istatistiksel analiz sonuçları incelendiğinde Zn, Fe, Cu ve Mn düzeyleri önemli bulunmuştur. Toplam Zn düzeylerinin en yüksek değerleri AÇ₄ ve AÇ₆ uygulamalarında, Fe düzeylerinin en yüksek değeri AÇ₆ uygulamasında, Cu konsantrasyonlarının en yüksek değeri AÇ₆ uygulamasında ve toplam Mn düzeylerinin en yüksek değeri AÇ₈ uygulamasında belirlenmiştir.

Silajlık mısırın yapraklarında ağır metal düzeyleri incelendiğinde toplam Cd, Pb ve Ni ağır metallerinin değerleri cihazın dedeksiyon limitlerinin altında olduğundan tespit edilememiştir. Yaprak örneklerinin toplam Cr konsantrasyonlarının istatistiksel analiz sonuçları önemsiz bulunmuştur.

Denemenin sonlandırılmasıyla hasadı yapılan mısır bitkisi tüm üst aksam, koçan ve kök örnekleri olarak ayrılmış ve analizleri yapılmıştır. Tüm üst aksam, koçan ve kök örneklerinin toplam N ve Protein düzeyleri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Tüm üst aksam örneklerinin Toplam N ve Protein düzeylerinin en yüksek değerleri AÇ₈ uygulamasında, koçan örneklerinin en yüksek değerleri AÇ₂, AÇ₆ ve AÇ₈ uygulamalarında, kök örneklerinin toplam N ve Protein değerlerinin en yüksek değerleri ise AÇ₆ ve AÇ₈ uygulamalarında belirlenmiştir.

Burak silajlık mısır çeşidinin tüm üst aksam örneklemelerinin makro element konsantrasyonlarının istatistiksel analiz sonuçları incelendiğinde toplam Ca, Mg, Na, ve K miktarları önemli bulunurken toplam P konsantrasyonlarının istatistiksel analiz sonuçlarının önemli olmadığı belirlenmiştir. Tüm üst aksam örneklerinde arıtma çamuru uygulamalarının Ca düzeyleri üzerindeki etkisi incelendiğinde en yüksek konsantrasyon değerinin kontrolde olduğu görülmektedir. Toplam Mg düzeylerinin tüm üst aksamda en yüksek değeri AÇ₈ uygulamasında tespit edilmiştir. Kontrol uygulamasından AÇ₈'e kadar yaklaşık değerler gösteren Mg düzeyleri AÇ₈ uygulamasında belirgin artış göstermiştir. Tüm üst aksam örneklemelerinin toplam Na düzeylerinde en yüksek konsantrasyon AÇ₈ uygulamasında görülmüştür. Artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun tüm üst aksam örneklerinde toplam Na konsantrasyonunu düzenli olarak arttırdığı belirlenmiştir. Toplam K düzeyleri incelendiğinde kontrol ve AÇ₂

uygulamalarında en yüksek değerler elde edilmiştir. Bitkide seyrelme etkisine bağlı olarak AÇ₄, AÇ₆ ve AÇ₈ uygulamalarında daha düşük K konsantrasyon değerleri elde edilmiştir.

Tüm üst aksamda mikro element düzeylerinin istatistiksel analiz sonuçları incelendiğinde Zn, Fe, Cu ve Mn düzeyleri önemli bulunmuştur. Zn konsantrasyonları arıtma çamuru uygulama dozlarıyla doğru orantılı olarak artmış ve en yüksek Zn konsantrasyonu AÇ₈ uygulamasında belirlenmiştir. Fe düzeylerine bakıldığında en yüksek Fe konsantrasyonunun kontrolde olduğu tespit edilmiştir. Tüm üst aksamda Cu düzeyleri arıtma çamuru uygulama dozları attıkça artmıştır. En yüksek Cu konsantrasyonları AÇ₄ ve AÇ₆ uygulamasında belirlenirken AÇ₈ uygulaması sonuçları da bu uygulamalara yakın değerlerde belirlenmiştir. Mn düzeylerinde de arıtma çamuru uygulamalarının dozlarına bağlı olarak artış belirlenmiş, en yüksek Mn düzeyi AÇ₈ uygulamasında belirlenmiştir.

Denemede kullanılan silajlık mısırın tüm üst aksamında ağır metal düzeylerinin istatistiksel analiz sonuçları Cd ağır metali için önemsiz olarak belirlenirken, Pb, Cr ve Ni için önemli düzeylerde bulunmuştur. Cd düzeyleri ve Pb ağır metalinin kontrol ve AÇ₂ uygulamalarının değerleri cihazımızın dedeksiyon limitlerinin altında olduğundan tespit edilememiştir. Pb düzeyleri AÇ₄ uygulamasında itibaren tespit edilebilmiş ve en yüksek Pb değeri AÇ₈ uygulamasında tespit edilmiştir. Arıtma çamuru uygulamalarının tüm üst aksamda Cr ağır metali konsantrasyonlarına etkisi incelendiğinde en yüksek düzeylerin AÇ₄ ve AÇ₈ uygulamalarında olduğu tespit edilmiştir. Ni konsantrasyonlarının en yüksek belirlendiği dozlar ise AÇ₆ ve AÇ₈ uygulamalarıdır. Bu durum şöyle özetlenebilir; arıtma çamuru uygulamalarının dozları arttıkça Cd ağır metalinde bir değişiklik olmazken, Pb, Cr ve Ni konsantrasyonlarında artışa sebep olmuştur.

Arıtma çamuru uygulamaları ile silajlık mısırın koçanlarında makro element konsantrasyonlarının istatistiksel analiz sonuçları incelendiğinde toplam Ca, Na, K ve P düzeyleri önemli olarak belirlenirken, Mg düzeylerinin istatistiksel analiz sonuçları önemsiz olarak bulunmuştur. Koçan örneklerinin Mg düzeylerinin tespit edilen en yüksek değeri AÇ₆ uygulamasındadır. Na düzeylerine bakıldığında kontrol uygulamasından sonra arıtma çamurunun tüm dozlarında önemli düzeyde artış gözlemlenmiştir. Bu durum arıtma çamuru uygulamalarının bitkinin koçan örneklerinde Na düzeylerini arttırdığını göstermektedir. Toplam K konsantrasyonları incelendiğinde arıtma çamuru uygulama dozlarının koçan örneklerinde belirgin etkiler göstermediği tespit edilmiştir. Koçan örneklerinde toplam P düzeylerinin en yüksek değerleri AÇ₄ ve AÇ₆ uygulamalarında belirlenmiştir.

Koçan örneklerinin mikro element konsantrasyonlarının istatistiksel analiz sonuçları önemli bulunmuştur. Zn düzeyleri arıtma çamuru uygulamalarının artmasıyla artış göstermiş ve en yüksek Zn konsantrasyonları AÇ₄, AÇ₆ ve AÇ₈ uygulamalarında

belirlenmiştir. Koçan örneklerinin Fe düzeylerine bakıldığında en yüksek konsantrasyonun AÇ₆ uygulamasında olduğu görülmüştür. Arıtma Çamuru uygulamalarıyla Cu düzeylerinin en yüksek değerleri AÇ₄ ve AÇ₆ dozlarında belirlenirken, Mn konsantrasyonlarının en yüksek değeri AÇ₄ uygulamasında tespit edilmiştir.

Silajlık mısırın koçanlarında ağır metal konsantrasyonları incelendiğinde Cd ve Pb düzeyleri cihazın dedeksiyon limitlerinin altında olduğundan tespit edilememiştir. Cr ve Ni düzeylerinin istatistiksel analiz sonuçları önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamalarında dozlar arttıkça Cr düzeyi de artmış, en yüksek değer AÇ₈ uygulamasında tespit edilmiştir. Ni düzeylerine bakıldığında en yüksek değer AÇ₄ uygulamasında belirlenmiştir.

Silajlık mısırın köklerinde toplam Ca, Na, K ve P düzeyleri istatistiksel olarak önemli düzeyde belirlenirken, toplam Mg konsantrasyonları önemsiz olarak tespit edilmiştir. Kök örneklerinde Ca düzeylerinin en yüksek olduğu uygulama dozu AÇ₈ olarak belirlenmiştir. Na düzeyleri incelendiğinde arıtma çamuru uygulamalarının konsantrasyon miktarlarını arttırdığını ancak uygulamalar arası belirlenen değerlerde çok farklılıklar olmadığı belirlenmiştir. K düzeylerine bakıldığında arıtma çamuru uygulamalarının toplam K değerlerini düzenli olarak arttırdığı tespit edilmiştir. En yüksek K düzeyi AÇ₈ uygulamasında belirlenmiştir. Kök örneklerinin P düzeyleri de arıtma çamuru uygulamalarıyla artış göstermiş ve en yüksek P değeri AÇ₆ uygulamasında görülmüştür.

Silajlık mısır köklerinde mikro element konsantrasyonlarının istatistiksel analiz sonuçları önemli bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamaları köklerin Zn, Fe, Cu ve Mn düzeylerini düzenli olarak arttırmıştır. Sonuç olarak stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamuru uygulamaları kök örneklerinde toplam mikro element konsantrasyonlarını arttırmıştır.

Kök örneklerinin ağır metal konsantrasyonlarının istatistiksel analiz sonuçları incelendiğinde Pb, Cr ve Ni düzeyleri önemli olarak belirlenirken Cd konsantrasyonları cihazın dedeksiyon limitleri altında olduğundan belirlenmemiştir. Toplam Pb konsantrasyonlarının en yüksek değeri AÇ₄, AÇ₆ ve AÇ₈ uygulamalarında belirlenmiştir. Artan arıtma çamuru dozları Pb konsantrasyonlarını da kök örneklerinde arttırmıştır. Cr konsantrasyonlarının en yüksek değeri AÇ₈ uygulamasında tespit edilmiştir. Cr konsantrasyonlarında da uygulama dozlarıyla birlikte doğrusal bir artış olduğu belirlenmiştir. Ni konsantrasyonları incelendiğinde Pb ve Cr da olduğu gibi arıtma çamuru uygulama dozlarının artmasıyla birlikte doğrusal bir artış tespit edilmiş ve en yüksek Ni konsantrasyonu AÇ₈ uygulamasında görülmüştür.

Arıtma çamurunun silajlık mısırın yapraklarında Zn, Mn, Cu, Cr, Cr ve Fe biyoakümüülasyonu üzerindeki istatistiksel analiz sonuçları önemli bulunmuştur. BAF

değerleri bütün uygulamalarda 1'in altında yer almış olup mısır bitkisinin yapraklarında Zn, Mn, Cu, Cr ve Fe birikiminin olmadığı tespit edilmiştir.

Silajlık mısırın koçanlarında biyoakümülyasyon faktörlerinin istatistiksel analiz sonuçları incelendiğinde, Fe biyoakümülyasyonu önemsiz olarak belirlenirken Zn, Mn, Cu, Cr ve Ni biyoakümülyasyonları önemli olarak tespit edilmiştir. BAF değerleri bütün uygulamalarda 1'in altında yer almış olup mısır bitkisinin koçanlarında Zn, Mn, Cu, Cr, Ni ve Fe birikiminin olmadığı belirlenmiştir.

Silajlık mısırın tüm üst aksamında biyoakümülyasyon faktörlerinin istatistiksel analiz sonuçları Zn, Mn, Cu, Cr ve Ni için önemli düzeyle olduğu belirlenirken Fe için önemsiz olarak tespit edilmiştir. BAF değerleri bütün uygulamalarda 1'in altında yer almış olup mısır bitkisinin tüm üst aksamda Zn, Mn, Cu, Cr, Ni ve Fe birikiminin olmadığı görülmüştür.

Bitkinin yaprak, tüm üst aksam ve koçanlarında Fe, Zn, Mn, Cu, Pb, Cr, Cd ve Ni elementlerinin biyoakümülyasyon faktörü (BAF) 1'den küçük olup birikimin olmadığı belirlenmiştir. Bu elementlerin biyoakümülyasyon sıralamaları ise yaprakta $BAF_{Zn} > BAF_{Mn} > BAF_{Cu} > BAF_{Cr} > BAF_{Fe}$; koçanda $BAF_{Zn} > BAF_{Ni} > BAF_{Cu} > BAF_{Cr} > BAF_{Fe}$ ve tüm üst aksamda $BAF_{Zn} > BAF_{Mn} > BAF_{Cr} > BAF_{Cu} > BAF_{Ni} > BAF_{Fe}$ şeklinde olmuştur.

Genel bir değerlendirme yapıldığında arıtma çamuru uygulamalarının bütün dozları silajlık mısır yetiştiriciliğinde bitki besleme açısından fayda sağlamış ve ağır metal birikimine neden olmamıştır. Ancak, bu materyalin kullanımında uzun vadede oluşabilecek riskler göz önüne alındığında 2 ile 4 ton da^{-1} dozlarının tavsiye edilebileceği düşünülmektedir. Avrupa Birliği ülkeleri arasında arıtma çamurunun tarımda kullanımı %0 (Malta, Slovenya, Slovakya) - %80 (İrlanda) arasında oldukça değişkenlik göstermektedir. 2015 yılı verilerine göre Bulgaristan da arıtma çamurunun %50' sinden fazlası tarımda kullanılmaktadır (Hudcova vd. 2019). Sonuç olarak; ileri evsel atık su arıtma tesislerinin nihai atık ürünü olan stabilize edilmiş ve kurutulmuş arıtma çamurunun bertarafında yaşanan sorunların ortadan kaldırılması ve çevre kirliliğine olan olumsuz etkilerinin önlenmesi açısından silajlık mısır gibi yem bitkileri yetiştiriciliğinde kullanılması toprak düzenleyici, topraklara organik madde ve bitki besin elementi kaynağı olarak fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca bu durum kimyasal gübre kullanımını azaltacağı için hem ekonomik hem de kimyasal gübrelerden kaynaklanan toprak ve su kirliliklerinin azaltılması açısından da olumlu etkilerinin olacağı öngörülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Açıkgöz, E., Turgut, İ., Filya, İ. 2002. Silaj bitkileri yetiştirme ve silaj yapımı. *Hasad Yayıncılık Limited Şirketi*, ISBN 975-8377-19-1.
- Alpaslan, N. 2004. Arıtma Çamurları. Atıksu Arıtma Tesislerinin Tasarım ve İşletim Esasları Kurs Notları. İzmir, 1-28.
- Anaç, D.A., Hakerlerler, H., İrget, M.E. 1993. Yağ fabrikası arıtma tesisi atıklarının zeytinliklerde organik gübre olarak kullanılması. *E.Ü.Z.F.Derg.*, 30 (3): 25-32.
- Anonim, 2010. Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik. Resmi Gazete Tarihi: 03.08.2010, Resmi Gazete Sayısı: 27661.
- Anonim, 2016. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), <http://www.fao.org/faostat/en/#home> [Son Erişim Tarihi: 05.11.2018].
- Anonim 2018. TÜİK, 2018. <https://biruni.tuik.gov.tr/bitkiselapp/bitkisel.zul> [Son Erişim Tarihi: 07.02.2019].
- Antoniadis, V. and Alloway, B.J. 2002. The Role of Dissolved Organic Carbon in the Mobility of Cd, N and Zn in Sewage Sludge Amended Soils. *Envir. Pol.* 117: 515-521.
- Aoyama, M., Zhou, B., Saitah, M., Yamaguchi, N. 2006. Microbial Biomass in Soils With Calcium Accumulation Associated with the Application of Composted Lime Treated Sewage Sludge. *Soil Science and Plant Nutrition* 52(2): 177-187.
- Arcak, S., Türkmen, C., Karaca, A. ve Erdoğan, E. 2000. A Study on Potential Agricultural Use of Sewage Sludge of Ankara Wastewater Treatment Plant. Proceeding of International Symposium on Desertification, 13-17 June 2000, Konya.
- Berthet, B., Amiard, J.C., Triquet, C.A., Maillet, C., Metayer, C., Bahec, J.L., Letard, M. and Pelletier, J. 1989. Fate of Metals Linked with Sewage Sludge or Municipal Refuses Used as Improvements in Market Gardening. *Wat. Sci. Tech.*, 21(12): 1917-1920.
- Bilgin, N., Eyüpoğlu, H. ve Üstün, H. 2002. Biyokatıların (Arıtma Çamurlarının) Arazide Kullanımı, ASKİ Arıtma Tesisi Başkanlığı – Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü, Ankara 1 – 72.
- Black, C.A. 1957. Soil-Plant Relationships. John Wiley and sons, Inc., Newyork.
- Bozkurt M.A., Yılmaz İ. ve Çimrin K.M. 2000. Kentsel Arıtma Çamurunun Kışlık Arpada Azot Kaynağı Olarak Kullanılması. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*. 2000-7(1); 105-110.

- Bozkurt, M.A., Erdal, İ., Çimrin, K.M., Karaca, S., Sağlam, M. 2000. Kentsel arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının mısır bitkisinin besin elementi ve ağır metal kapsamına etkisi. *A.Ü. Zir. Fak. Tarım Bil. Der.* 6(4): 35-43.
- Bouyoucos, G.J. 1955 A Recalibration of the Hydrometer Method for making mechanical analysis of the soils, *Agronomy Journal* 4(9): 434.
- CEC (1986), Council Directive of 12 June 1986 on the Protection of the Environment, and in Particular of the Soil, when Sewage Sludge is Used in Agriculture (86/278/EEC) Council of the European Communities, *Official Journal of the European Communities* No. L181/6-12.
- Chaney, R.L. 1990. Twenty years of land application research. *Biocycle*, september 54-59.
- Cusicanqui, J.A., Lauer, J.G. 1999. Plant density and hybrids Influence on corn forage yield and quality, *Agronomy Journal*, 91: 911-915.
- Çağlar, K.Ö. 1949. Toprak Bilgisi. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları, Sayı: 10.
- Çete N. ve Sarıcan C. 1998. Silajlık Yem Bitkileri Üretim ve Silaj Yapımı. U.S.Grains Council.
- Çimrin, K.M., Bozkurt, M.A., Erdal, İ. 2000. Kentsel arıtma çamurunun tarımda fosfor kaynağı olarak kullanılması. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi* (J. Agric. Sci.), 10 (1):85-90.
- Demir E., Çimrin K.M., 2011. Arıtma Çamuru ve Humik Asit Uygulamalarının Mısırın Gelişimi, Besin Elementi ve Ağır Metal İçerikleri ile Bazı Toprak Özelliklerine Etkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 17: 204-206.
- Dolgen, D., Alpaslan, M.N., Delen, N. 2007. Agricultural recycling of treatment-plant sludge: A case study for a vegetable-processing factory. *J Envir. Manag.* 84:274281.
- Dwyer, L.M., Stewart D.W and Glenn, F. 1998. Silage yields of leafy and normal hybrids. Com and Sorghum Conf. Am. Seed Trade. Assoc. Washington D.C.
- El-Naim, M.A., El-Housseini, M. and Naeem M.H. 2004. Safety use of Sewage Sludge as Soil Conditioner, *Journal of Environmental Science and Health Part A- Toxic/Hazardous Substance&Environmental Engineering* 39 (2):435-444.
- Freed, R., Einensmith, S.P., Guetz, S., Reicosky, D., Smail, V.W., Wolberg, P. 1989. User's Guide to Mstat-C, A Analysis of Agronomic Research Experiments. Michigan State University, U.S.A.
- Gomez, I., Navarro-Pedreno, J., Mataix, J., Fragoso, M.A.C. and Beusichem, M.L. 1993. Effects of Organic Waste Fertilization and Saline Irrigation on Mineral Composition of Tomato Leaves and Fruits. Eighth International Colloquium

for the Optimization of *Plant Nutrition*, 31 August-8 September, Lisbon, Portugal, 333-337.

Göçmez, S. 2006. Menemen Ovası Topraklarında İzsu Kentsel Arıtma Çamuru Uygulamalarının Mikrobiyal Aktivite ve Biyomas ile Bazı Fiziksel ve Kimyasal Toprak Özellikleri Üzerine Etkisi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, İzmir.

Guo, T.R. and Zhang, G.R. 2007. Physiological Changes in Barley Plants Under Combined Toxicity of Aluminum, Copper and Cadmium, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 57, 82–188.

Gülay, M. 2002. İçme Suyu Arıtma Tesislerinden Çıkan Çamur Atıklarının Değerlendirilmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bilim Dalı Yüksek lisans Tezi, Trabzon.

Hakerlerler, H. 1980. Kentsel atıkların gübre olarak değerlendirilmeleri. *E.Ü.Z.F.Dergisi.*, 17:3, 113-131.

Hallauer, A.B. and J.B. Miranda, 1987. Quantative Genetics in Maize Breeding. P. 118-119. Iowa State Univ. Press, Ames, Iowa.

Hudocova, H., Vymazal, J. and Rozkosny, M. 2019. Present restrictions of sewage sludge application in agriculture within the European Union. *Soil and Water Research* 14 (2): 104-120.

Jackson, M.L., (1958) Soil chemical analysis. p. 1-498. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, USA.

Jackson, M.L., 1967. Soil Chemical Analysis. Prentice Hall of India Private Limited, New Delhi.

Johnson, L., J.H. Harrison, D. Davidson, W.C. Mahanna, K. Shinnors, and D. Linder, 2001. Corn silage management: effect of maturity, inoculation, and mechanical processing on pack density and aerobic stability. *J. Dairy Sci.* 85, 434–444.

Kacar, B. 1962. Plant and Soil Analysis univ. of Nebraska College of agri., Dept. of Agronomy. Lincoln, Nebraska, USA.

Kacar, B. 2009. Toprak analizleri. Nobel Yayın No: 1387, Fen Bilimleri: 90, Nobel Bilim ve Araştırma Merkezi Yayın No. 44 ISBN 978-605-395-184-1. 467 ss.

Kacar, B., Katkat, A.V. ve Öztürk, Ş. 2002. Bitki Fizyolojisi. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın No: 198, s.563, Bursa.

Kadıoğlu, A. 1999. Bitki Fizyolojisi. 2. Baskı, Trabzon.

- Kılıç, A., 1986. Silo Yemi (Öğretim, Öğrenim ve Uygulama Önerileri), Bilgehan Basımevi, Bornova-İzmir, 327 s. Koç, F. ve L. Coşkuntuna, 2003.
- Kyle, M.A., McClintock, S.A. 1995. The availability of phosphorus in municipal wastewater sludge as a function of the phosphorus removal process and sludge treatment method. *Water Enviroment Research*, 67:3,282-289.
- Larson, W.E., Susag, R.H., Dowdy, R.H., Clappa, C.E., Larson, R.E. 1974. Use of sewage sludge in agriculture with adequate environmental safeguards, Sludge Handling and Disposal Seminar, 18-19 September 1974, Toronto.
- Liu X.H., Gao Y.T., Sardar K., Duan G., Chen A.K. and Ling L. 2008. Accumulation of Pb, Cu and Zn in Native Plants Growing on Contaminated Sites and Their Potential Accumulation Capacity in Heqing, Yunnan. *Journal of Environmental Sciences* 20: 1469-1474.
- Liu Z.L., He X.Y., Chen W., Yuan F.H., Yan K., Tao D.L. 2009. Accumulation and tolerance characteristics of cadmium in a potential hyperaccumulator *Lonicera japonica* Thunb. *J. Hazardous Material* 169: 170-175.
- Linden, D.R., Clap, C.E. and Dowdy, R.H. 1983. Hydrologic Management: Nutrients. pp 79-103 in *Proceedings of the Workshop on Utilization of Municipal Wastewater and Sludge on Land*. Riverside, University of California.
- Lombi, E. and Gerzabek, M.H. 1998. Determination of Mobile Heavy Metal Fraction in Soil: Results of a Pot Experiment With Sewage Sludge. *Communications in Soil Sci. And Plant Anaysis*. 29: 17-18, 2545-2556.
- Loue, A. 1968. DiagonisticPetiolaire de Prospection. Etudes Sur la Nutrition et al Fertilisation Potassiques de la Vigne. *Societe Commerciale des Potasses d'Alsace Sevices Agronomiques*, 31-41.
- Ludin, M., Olofsson, M., Pettersson G.J. and Zetterlund H. 2004. Environmental and Economic Assessment of Sewage Sludge Handling Options. *Resources, Conservation and Recyling* 41 p.225-278.
- Madrid, F., Liphadzı, M.S. and Kirkham, M.B. 2003. Heavy Metal Displacement in Chelate Irrigated Soil During Phytoremediation. *Journal of Hydrology*, 272. 107-119.
- Martinez,F., Cuevas, C., Teresa, Walter, Iglesias I. 2002. Urban organic wastes effects on soil chemical properties in degraded semiarid ecosystem.In: Seventeenth WCSS, Symposium No. 20, Thailand, pp.1-9.
- McBride, M.B. 1995. Toxic metal accumulation from agricultural use of sewage sludge: USEPA Reg.24, pp.518.

- Menelik, G., Renau, R.B., Martens D.C. and Simpson, T. W. 1991. Yield and Elemental Composition Wheat Grain as Influenced by Source and Rate of Nitrogen. *J. Plant Nutrition*, 14: 205-217.
- Navas, A., Bermudez, F., Machin J. 1998. Influence of sewage sludge application on physical and chemical properties of Gypsisols. *Geoderma* 87: 123-135.
- Odjegba V.J. and Fasidi I.O. 2004. Accumulation of trace elements by *Pistia stratiotes*: implications for phytoremediation. *Ecotoxicology* 13: 637-646.
- Ok,H. Farklı Düzeylerde Kireç İçeren Topraklarda Uygulanan Arıtma Çamurunun *Cynodon dactylon* (L.) Pers. ve *Lolium perenne* (L.) Yetiştiriciliğinde Kullanımı ve Ağır Metallerin Biyoakümülyasyonu. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- Olsen, S.R., Sommers, E.L. 1982. Phosphorus Availability Indices. Phosphorus Soluble in Sodium Bicarbonat Methods of Soil Analysis. Part 2. *Chemical and Mivrobiological Properties*. Editors: A.L. Page. R.H. Miller. D.R. Keeney, 404-430.
- Orman S, Ok H, Kaplan M (2014) Application of Sewage Sludge for Growing Alfalfa, Its Effects on the Macro-Micronutrient Concentration, Heavy Metal Accumulation, and Translocation. *Ekoloji* 23(90): 10-19.
- Önal, M.K., Topcuoğlu, B. ve Arı, N. 2003. Toprağa Uygulanan Kentsel Arıtma Çamurunun Domates Bitkisine Etkisi II Gelişme ve Meyve Özellikleri İle Meyvede Mineral İçerikleri *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(1): 97-106.
- Özbek, E., Tatar, Ş.Y., Hasar., Arslan, E.I. ve İpek, U. 2004. Kentsel ve Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi Arıtma Çamurlarındaki Ağır Metal Düzeylerinin Değerlendirilmesi, *F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(1), 31-38.
- Pedreno, N.J., I. Gomez, R. Moral and J. Mataix. 1996. Improving the agricultural value of a semi-arid soil by addition of sewage sludge and almond residue, *Agriculture Ecosystems and Environment*, 58: 115-119.
- Phipps R. and Wilkinson M. 1985. Maize Silage. Chalmcombe, Publications, 13. High Woods Drive, Marlow Bottom. Morlown Bucks. SL 73PU. September. 48 p.
- Pınamontı, F., Stringarı, G. and Zorzı, G. 1997. Use of Compost in Soilless Cultivation. *Compost Science and Utilization*, 5(2):38-46.
- Pizer, N.H. 1967. Some advisory aspect. Soil potassium and magnesium Tech. Bull. No.14:184.

- Prasatsrisupab, J., Sabua, V., Tammarate, S., Pumklom, M., Chaiwanakupt, P. and Srithongtim, S., 2002. The effects of irradiated wastewater sludge cake on maize and environment. 17th World Congress of Soil Science. Conference Report. Organized by IUSS (International Union of Soil Sciences) and held in Bangkok, Thailand, August 14–21.
- Reed, B.E., Carriere, P.E. and Matsumoto, M.R. 1991. Applying Sludge on Agricultural Land. *Biocycle*, 32: 7, 58-60.
- Scheffer, F. und Schachtschabel, P. 1989. *Lehrbuch des Bodenkunde* 12. Neu Bearb. Aufl. unter Mitarb. Von W.R. Fischer, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart (442).
- Shober, A.L., Stehouwer, R.C., Macneal, K.E. 2003. Onfarm assessment of biosolids effects on soil and crop tissue quality. *J Environ. Qual.*, 32: 1873-1880.
- Sing, R.P., Agrawal, M. 2007. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste Management* (2007). Doi: 10. 1016/j. wasma pp 1-12.
- Sommers, L.E. 1997. Chemical Composition of Sewage Sludges and Analysis of their Potential Use as Fertilizer. *J. Environmental Quality*, 6: 225-232.
- Soumare, M., A. Demeyer, F.M.G. Tack and M.G. Verloo. 2002. Chemical characteristics of Malian and Belgian solid waste composts. *Bioresource Technology*, 81: 97-101.
- Spellman, F.R., *Wastewater Biosolids to Compost*. Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster, Pennsylvania, U.S.A., 1997.
- Tabatabai, m.a. and Frankerberger, w.t. 1979. Chemical Composition of Sewage Sludges in Iowa. Agriculture and Home Economics Experimental Station, Iowa State University of Sci. and Technology Research Bulletin, 586.
- Taşatar, B. 1997. Endüstriyel Nitelikli Arıtma Çamurlarının Bazı Toprak Özellikleri Üzerine Etkileri. A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı Doktora Tezi, 81 s.
- Thun, R., Hermann, R., Knickman, E. 1995. *Die Untersuchung Von Boden*. Neuman Verlag, Radelbeul und Berlin, S: 48-48.
- Turalioğlu, F.S., Acar, F.N. 1996. Çeşitli atıkların toprak ortamına etkileri. Tarım-Çevre İlişkileri Sempozyumu, 13-15 Mayıs 1996, Mersin, Tarım-Çevre İlişkileri Sempozyumu Doğal Kaynakların Sürdürülebilir Kullanımı Bildiri Kitabı, 52-62, Mersin.
- Ure, A.M. 1993. Methods of Analysis for Heavy Metals in Soils. In: *Heavy Metals in Soils*. Blackie, London. Pp; 40-80.
- USEPA 1983. Land Application of Municipal Sludge. EPA-625/1-83-016.

- Uyanık, M., 1984. Mısır Bitkisinin Botanik Özellikleri. Karadeniz Bölge Ziraat Araştırma Enstitüsü Yayınları No: 1984-1, Samsun.
- Ünal M, Katkat AV 2003. Bisküvi ve Şekerleme Sanayi Arıtma Çamurunun Toprak Özelliklerine ve Mısır Bitkisinin Kimi mineral Madde İçeriği üzerine Etkileri. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17(1): 107-118.
- Vansoest ,P.J.,Robertson, J.B.,Lewis, B.A.,1991. Method for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nostarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *J. Dairy Sci.*74: 3583-3597.
- Williams, S. 1984. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytic Chemist. Published by the Association of Official Analytical Chemist. Inc. Wircini, 22.209, USA, 140pp-59-60.
- Williams, J.H. 1979. Utilization of sewage sludge and other organic manures on agricultural land, First European Symposium: Treatment and Use of Sewage Sludge, 13- 15 February 1979, Cadarache, First European Symposium: Treatment and Use of Sewage Sludge Proceedings, 227-242, Cadarache.
- Williams, S. 1984. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytic Chemist. Published by the Association of Official Analytical Chemist. Inc. Wircini, 22.209, USA, 140pp-59-60.
- Wong, J.W.C., Li, G. X. and Wong, M.H. 1996. The Growth of Brassica Chinensis in Heavy-Metal-Contaminated Sewage Sludge Compost from Hong Kong. *Bioresource Technology*, 58: 309-313.
- Wu F.Z., Yang W.Q., Zhang J., Zhou L.Q. 2010 Cadmium accumulation and growth responses of a poplar (*Populus deltoids* x *Populus nigra*) in cadmium contaminated purple soil and alluvial soil. *J. Hazardous Material* 177: 268-273.
- Zayed A, Gowthaman S, Terry N 1998 Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: I. Duckweed. *J. Environ Qual.* 27: 715-721.
- Zhang, W., Cai, Y., Tu, C. and Ma, L. Q. 2002. Arsenic Speciation and Distribution in an Arsenic Hyperaccumulating Plant. *The Science of the Total Environment* 300: 167-177.

7. EKLER

EK 1. Avrupa Birliği toprak ve arıtma çamuru ağır metal sınır değerleri (86/278/EEC)

Ağır metaller	Toprak ¹ mg kg ⁻¹ , kuru madde pH 6-7	Arıtma çamuru ² mg kg ⁻¹ , kuru madde	Yıllık sınır değerler ³ kg ⁻¹ ha ⁻¹ yıl ⁻¹
Kadmiyum (Cd)	1-3	20-40	0.15
Bakır (Cu)	50-140	1000-1750	12
Nikel (Ni)	30-75	300-400	3
Kurşun (Pb)	50-300	750-1200	15
Çinko (Zn)	150-300	2500-4000	30
Civa (Hg)	1-1.5		

1 Topraktaki sınır konsantrasyonlar, mg kg⁻¹

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

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

EK 2. Ülkemizde toprak ve arıtma çamuru ağır metal sınır değerleri (Anonim 2010)

Ağır metaller	Ek 1-A ¹		Ek 1-B ²	Ek 1-E ³
	Toprak mg kg ⁻¹ , fırın kuru toprak		Arıtma çamuru mg kg ⁻¹ , kuru madde	Sınır Yük Değeri g ⁻¹ da ⁻¹ yıl ⁻¹ , kuru madde
	6 ≤ pH < 7	pH ≥ 7		
Kurşun (Pb)	70	100	750	1500
Kadmiyum (Cd)	1	1.5	10	15
Krom (Cr)	60	100	1000	1500
Bakır (Cu)	50	100	1000	1200
Nikel (Ni)	50	70	300	300
Çinko (Zn)	150	200	2500	3000
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 değerleri, g⁻¹da⁻¹yıl⁻¹

ÖZGEÇMİŞ

AYLİN ZAMBAK ÖZGÜR

aylinozgur@akdeniz.edu.tr



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2014- 2019	Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı, Antalya
Lisans	Akdeniz Üniversitesi
1999-2003	Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı, Antalya

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Analiz Uzmanı	Akdeniz Üniversitesi
2009-Devam Ediyor	Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı, Antalya
Üretim Mühendisi	Bircan Tarım
2003-2005	Kesme Çiçek Yetiştiriciliği

ESERLER

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

- 1- Vuruş M. , Orman Ş., Ok H., Zambak Özgür A., "Antalya/Kumluca İlçesi Seralarında Yetiştirilen Hıyar (Cucumis Sativus L.)'ın Beslenme Durumu", Ulusal Tarım Kongresi, AFYON, TÜRKİYE, 29-31 Ekim 2015, ss.212-212
- 2- Yalın, S.B., Orman, Ş., Ok, H., Özgür, A. Z., Antalya ilinde yetiştirilen kışlık ekmeklik buğdayın bor beslenme durumunun belirlenmesi. Mediterranean Agricultural Sciences (Baskıda).

