

Kentsel Arıtma Çamuru Uygulamalarının Etkisi; II. Mısır Bitkisi ve Toprağın Mikro Besin Element ve Ağır Metal İçerikleri Üzerine Etkisi

Hüda Nur ÇAKIR¹ , K.Mesut ÇİMRİN² 

¹Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme AnaBilim Dalı, Hatay², Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Hatay

✉: mcimrin@hotmail.com

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, artan arıtma çamuru (% 0, % 2.5, % 5, % 7.5, % 10) uygulamaları sonrası deneme toprağı ve mısır bitkisinin bazı besin elementi ve ağır metal içeriklerinde meydana gelen değişimleri incelemektir.

Artan dozda uygulanan arıtma çamurunun etkisiyle deneme toprağının Zn, Cu, Mn, Pb, Ni, Cd ve Co içeriklerinde istatistiki açıdan önemli artışlar meydana gelmiştir. Artan arıtma çamuru dozlarıyla mısır bitkisinin kök Zn, Cu, Mn ve Co içeriklerindeki değişimler önemli olmakla birlikte, mısır bitkisinin kök Cu içeriğinde tanığa göre doğrusal azalmalar, mısır bitkisinin kök Zn, Mn içeriklerinde tanığa göre artışlar belirlenmiştir. Artan dozda uygulanan arıtma çamuru mısır bitkisinin kök üstü Fe, Zn, Mn ve Pb içeriklerine istatistiki olarak önemli etkide bulunmuştur. Uygulamalar ile mısır bitkisinin sürgünündeki Fe, Zn, Mn ve Pb içeriklerinde tanığa göre önemli artışlar meydana gelmiş ve sürgündeki bu artışlar Zn ve Mn içeriklerinde doğrusal olmuştur.

Sonuç olarak, Hatay ili İskenderun ilçesi Biyolojik arıtma tesisinden taze alınan arıtma çamurunun farklı oranlarda toprağa uygulaması ile her ne kadar bazı bitki ve toprak özelliklerine olumlu etkilerinin bulunması ve herhangi bir ağır metal toksitesine rastlanmamasına rağmen arıtma çamuru uygulamasıyla dozlara bağımlı olarak topraktaki ağır metal içeriklerinin artması kontrolsüz bir şekilde ard arda uygulanmaları durumunda zamanla toprakta ağır metal birikimi ve toksitesine sebep olabileceğini göstermektedir.

DOI:10.18016/ksutarimdog.vi.452931

Makale Tarihiçesi

Geliş Tarihi: 28.03.2018

Kabul Tarihi : 28.05.2018

Anahtar Kelimeler

Toprak,
arıtma çamuru,
mısır,
mikro besin,
ağır metal

Araştırma Makalesi

Effect of Municipal Sewage Sludge Applications: II. on some Mikro Nutrient and Heavy Metal Contents Plant Corn and Soil

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the existing changes for the contents of some nutrients and heavy metals of soil and root and shoot of corn plant after applications of increased sewage sludge (0 %, 2.5 %, 5 %, 7.5 %, 10 %). Significant increases were found in the contents of Zn, Cu, Mn, Pb, Ni, Cd, and Co of the experimental soil as sewage sludge application were increased. Besides, there were significant changes of the root Zn, Cu, Mn, Co contents by the increased doses of sewage sludge application. it was determined that the root Cu content decreased linearly compared to the control but, the reverse was the case for the Zn and Mn contents. Application of the sewage sludge at the increasing rates affected the plant shoot Fe, Zn, Mn and Pb contents significantly. While there were significant increases for the plant shoot contents of Fe, Zn, Mn and Pb by the applications compared to the control. The increases for the shoot contents in question were linear for the nutrients Zn and Mn. The applications of the different rates of the sewage sludge taken from biological processing foundation for the housing from iskenderun county of Hatay province indicated that there were somehow positive effects on plant soil properties without any heavy

Article History

Received : 28.03.2018

Accepted : 28.05.2018

Keywords

Soil,
sewage sludge,
corn,
micro nutrient,
heavy metal

Research Article

metal toxicity effect. It was shown that the sewage sludge applications depending upon the rates leading the resulted heavy metal increases in soil which can cause the heavy metal accumulation and toxicity in the soil in time in the case of applications in sequence during the growing seasons under uncontrolled conditions.

To cite: Çakır HN, Çimrin KM 2018. Kentsel Arıtma Çamur Uygulamalarının Etkisi: II. Mısır Bitkisi ve Toprağın Mikro Besin Element ve Ağır Metal İçerikleri Üzerine Etkisi. KSÜ Tar Doğa Derg 21(6) : 891-901, DOI:10.18016/ksutarimdoga.vi.452931

GİRİŞ

Birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de belediyelerin atık su arıtma tesislerinde arıtma işlemleri sonucunda kanalizasyon suları temizlenip doğaya verilirken, ne yapılacağı bilinmeyen ve depolanması gün geçtikçe sorun olan büyük miktarlarda arıtma çamurları ortaya çıkmaktadır. Bu çamurların kullanılmasında yakma, denize veya okyanusa deşarj, arazi dolgusu olarak belirli ve sınırlı olarak veya tarım arazilerine organik madde yada besin elementi kaynağı olarak kullanma gibi çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Ancak, arıtma çamuru miktarının birçok (Nüfus artışı, endüstrileşme, arıtma tesislerinin yaygınlaşması vs.) sebepten sürekli artması yanında gelişen teknolojiye bağlı olarak kanalizasyona dolayısı ile arıtma çamuruna katılan kimyasal madde çeşitliliğinin artarak farklılaşması, arıtma çamurunun bertarafını önemli bir sorun haline getirmektedir.

Uzun zamandır arıtma çamurlarının tarım arazilerine uygulanarak, topraklara ve bitkilere, organik madde ve bitki besin elementi kaynağı olarak değerlendirilmesi üzerinde çalışmalar artarak devam etmektedir (Çimrin ve ark., 2000; Bozkurt ve Çimrin, 2003; Demir ve Çimrin, 2011; Yalçın ve ark., 2011). Ayrıca arıtma çamurunun kontrollü koşullarda uygun miktar ve oranlarda toprağa verildiğinde ticari gübrelere ciddi bir alternatif veya destek olacakları çeşitli araştırmacılar tarafından bildirilmektedir (Çimrin ve ark., 2000; Bozkurt ve ark., 2001; Kocaer ve Başkaya, 2001; Yalçın ve ark., 2011).

Arıtma çamurlarının bazılarının tarımsal açıdan olumlu özellikleri yanında doğa ve insan sağlığını tehdit eden olumsuz özellikleri de bulunması bunların tarımda kontürolsüz kullanımını engellemektedir. Olumsuz özelliklerin başında mangan, çinko, bakır, krom, kobalt, nikel, kurşun ve kadmiyum gibi ağır metaller, tuzlar, toksik organik kimyasallar ve hastalık yapıcı mikroorganizmalar sayılabilir. Diğer yandan arıtma çamurlarının hiçbir yerde sürekli yada belli zamanlarda homojen olarak elde edilememesi nedeniyle, gerek doğrudan kullanımlarını gerekse bunlardan ticari bir ürün haline getirilmesini de engellemektedir. Özetle değişik tesislerden çıkan çamurların özelliklerinin farklı olması, çamurun verime etkisini ve kullanım olanaklarını da değiştirebilir. Bu nedenle, arıtma

çamurları toprağa uygulanmadan önce mutlaka analiz edilerek içerikleri belirlenmeli ve bu amaçla farklı arıtma çamurları farklı topraklarda denenerek en uygun dozlarının belirlenmesi gerekmektedir.

Bu araştırmanın amacı Hatay ili İskenderun ilçesi biyolojik evsel atık su arıtma tesisinden alınan taze kentsel arıtma çamurunun tarım toprağına uygulanmasıyla, toprak ve mısır bitkisininin mikrobesein elementleri ve ağır metal kapsamları üzerindeki meydana gelecek değişimleri incelemektir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışmada Hatay' ın Reyhanlı ilçesi, gazimürsel tepesi mevki yakınlarındaki tarlalardan alınan yüzey toprakları kullanılırken, arıtma çamuru İskenderun Belediyesi biyolojik evsel atık su arıtma tesislerinden üretimden çıktığı anda bekletilmeden taze ve yaş olarak naylon torbalara konulara aynı gün laboratuvara getirilmiştir. Laboratuvara getirilen arıtma çamuru örnekleri gölgede hava kurusu hale gelinceye kadar sabah akşam karıştırılarak kurutulmuştur. Araştırmada bitki materyali olarak sertifikalı % 99 çimlenme oranına sahip mısır bitkisinin (*Zea mays L.*) Pioneer 1570 nolu yazlık melez tohumu kullanılmıştır.

Jackson (1958)' a göre alınan ve analize hazırlanan topraklarda tekstür Bouyoucouc (1951)'e göre yapılmıştır. Hem toprak hemde arıtma çamurunda, reaksiyon 1:2.5 toprak veya çamur/su süspansiyonunda Jackson, (1958), total tuz 1:2.5 toprak veya çamur/su süspansiyonunda Richards (1954)' ın bildirdiği şekilde elektriki kondaktivimetre aleti ile, kireç Scheibler kalsimetresi ile (Hızalan ve Ünal, 1966), organik madde modifiye edilmiş Walkley Black yöntemi ile (Walkley and Black, 1934), toplam azot Bremner (1965) alınabilir fosfor sodyum bikarbonat ile ekstrakte edilen örneklerde topraklarda renklendirme Mavi (Olsen ve ark. 1954), arıtma çamurunda renklendirme Barton sarı renk yöntemi ile yapılarak spektrofometrede belirlenmiştir (Kacar, 1984). Değişebilir potasyum ve kalsiyum amonyum asetat (1 N) ile çalkalanarak Thomas (1982), yayayışlı Mg, Fe, Zn, Cu, Mn, Pb, Ni, Cd ve Co Kacar (1994)' ın bildirdiği şekilde DTPA ile çalkalanarak hazırlanan toprak ekstraktlarının mikrodalga plazma atomik emisyon spektrofotometre

(MPAES) aletinde belirlenmiştir (Çizelge 1). Arıtma çamurundaki toplam besin elementi ve ağır metal analizleri ise yaş yakma ile Khan ve Frankland (1983)'a göre K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn, Pb, Ni, Cd ve Co Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresinde belirlenmiştir (Çizelge 2). Yapılan analizlere göre deneme toprağının killi bünyeli, hafif alkalin reaksiyonlu, tuzsuz, orta kireçli, organik madde içeriğinin orta, azot ve fosfor içeriğinin yeterli, potasyum, kalsiyum ve magnezyum içeriğinin yüksek olduğu belirlenmiştir (Aydeniz, 1985). Deneme toprağının yarayışlı demir, çinko ve mangan

içerikleri noksan, bakır içeriği ise yeterli bulunurken (Lindsay ve Norvell, 1978), kurşun, nikel, kadmiyum ve kobalt içerikleri normal sınır değerlerinin altındadır (Özbek ve ark., 1993).

Arıtma çamuru örneklerine ait bazı kimyasal özelliklerin analizleri verildiği Çizelge 2 incelendiğinde, kullanılan arıtma çamurunun pH'ının hafif asidik, aşırı tuzlu, organik madde içeriğinin yüksek, azot ve fosfor içeriğinin çok fazla, potasyum, kalsiyum ve magnezyum içeriğinin çok yüksek olduğu belirlenmiştir (Aydeniz, 1985).

Çizelge 1. Deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kil (%)	62.04	Değ. Ca (mg/kg)	4658.7
Silt (%)	25.00	Yarayışlı Mg (mg/kg)	328.1
Kum (%)	12.96	Yarayışlı Fe (mg/kg)	0.461
Tekstür sınıfı	Killi	Yarayışlı Zn (mg/kg)	0.657
pH (1:2.5 su)	7.76	Yarayışlı Cu (mg/kg)	2.493
Tuz (µs/cm)	967.5	Yarayışlı Mn (mg/kg)	12.68
Kireç (%)	13.19	Yarayışlı Pb (mg/kg)	0.463
Organik madde (%)	1.71	Yarayışlı Ni (mg/kg)	0.86
N (%)	0.13	Yarayışlı Cd (mg/kg)	0.018
Yar. Fosfor (mg/kg)	12.74	Yarayışlı Co (mg/kg)	0.204
Değ. K (mg/kg)	584.0		

Çizelge 2. Denemede kullanılan arıtma çamuruna ait bazı kimyasal özellikler

pH (1:2.5 su)	6.91	Toplam Fe (mg/kg)	6611.65
Tuz (µs/cm)	21060	Toplam Zn (mg/kg)	732.5
Kireç (%)	9.71	Toplam Cu (mg/kg)	86.22
Organik madde (%)	33.8	Toplam Mn (mg/kg)	160.7
N (%)	4.07	Toplam Pb (mg/kg)	30.88
Yarayışlı P (mg/kg)	868.51	Toplam Ni (mg/kg)	84.52
Toplam K (mg/kg)	34800	Toplam Cd (mg/kg)	1.06
Toplam Ca (mg/kg)	6900	Toplam Co (mg/kg)	1.5
Toplam Mg (mg/kg)	84.12		

Deneme dört tekrarlı olarak, tesadüf parselleri deneme desenine göre, beş farklı arıtma çamuru dozunda olmak üzere toplam 20 saksıda Mustafa Kemal Üniversitesi seralarında saksı denemesi olarak yürütülmüştür. Ağırlık ilkesine göre bir kg'lık saksılara % 0, % 2.5, % 5, % 7.5 ve % 10 dozlarında, İskenderun Belediyesi biyolojik evsel atık su arıtma tesisinden taze olarak alınan ve hava kuru hale getirilen arıtma çamuru uygulanmıştır.

Denemede topraklara hava kuru arıtma çamurları eklendikten sonra saf su ile zaman zaman sulanarak yaklaşık 50 gün inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonunda saksılara sekiz adet tohum ekilmiş ve saf su ile sulanmıştır. Tohum ekiminin 3. gününde ilk çimlenme görülürken 8. gününde çimlenme tamamlanmış ve her saksıda dört bitki kalacak şekilde seyreltme yapılmıştır. Temel gübreleme olarak her saksıya 100 mg/kg N, 40 mg/kg P ve 40 mg/kg K olacak şekilde 18+18+18 gübresi uygulanmıştır. Deneme boyunca bitkiler saf su ile

sulanmış ve tohum ekiminden sonraki kırk sekizinci gün deneme sonlandırılmıştır.

Kurutulup öğütülen bitki kök ve kök üstü aksam örneklerinin bitki besin ve ağır metal analizleri Kacar (1984)'a göre belirlenmiştir.

Çalışmada elde edilen veriler istatistik paket programından yararlanılarak varyans analizine tabi tutularak, etkileri önemli bulunan uygulamalara ait ortalamalar "Duncan çoklu karşılaştırma" testine göre gruplandırılmıştır (Düzgüneş ve ark. 1987).

BULGULAR ve TARTIŞMA

Uygulamaların hasattan sonra toprağın mikrobesein ve ağır metal içerikleri üzerine etkileri:

Deneme toprağına artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun etkisi ile toprağın demir (Fe) içeriğinde istatistiki olarak önemsiz olmasına karşılık, çinko (Zn), bakır (Cu) ve mangan (Mn) içeriklerinde ise çok önemli düzeyde ($P<0.001$) düzenli artışlar belirlenmiştir (Çizelge 3). Topraklardaki en düşük Fe

miktarı kontrol uygulamasında (AÇ₀) 0.84 mg/kg elde edilirken, bunu 1.29 mg/kg ile ikinci uygulama (AÇ_{2.5}), 1.52 mg/kg ile üçüncü uygulama (AÇ₅), 2.10 mg/kg ile dördüncü uygulama (AÇ_{7.5}) izlemiştir. Uygulamalara bağlı olarak en yüksek Fe değerleri 3.92 mg/kg ile son arıtma çamuru uygulamasında (AÇ₁₀) elde edilmiştir. Toprağın çinko içeriği en düşük değerini 0.96 mg/kg AÇ₀ uygulamasında almış olup, 4.70 mg/kg Zn AÇ_{2.5} uygulamasında, 9.27 mg/kg Zn AÇ₅ uygulamasında, 15.00 mg/kg Zn AÇ_{7.5} uygulamasında, en yüksek değeri ise 18.36 mg/kg AÇ₁₀ uygulamasında tespit edilmiştir (Çizelge 3). Özetle artan oranda uygulanan arıtma çamuru uygulamaları ile toptaki Zn içerikleri farklı Duncan gruplarını oluşturmuşlardır. Arıtma çamuru uygulamalarıyla toprakların Cu içeriği minimum değerini AÇ₀ dozunda (2.09 mg/kg) almıştır. AÇ₀ uygulamasını sırasıyla AÇ_{2.5} uygulaması (2.14

mg/kg), AÇ₅ uygulaması (2.28 mg/kg), AÇ_{7.5} uygulaması (2.75 mg/kg) ve AÇ₁₀ uygulaması izlemiştir (4.38 mg/kg) ve en yüksek değer AÇ₁₀ uygulamasında görülmüştür. Yapılan Duncan analizleri sonucunda AÇ₀, AÇ_{2.5} ve AÇ₅ dozları aynı, AÇ_{7.5} ve AÇ₁₀ dozlarının farklı gruplarda yer almıştır (Çizelge 4). Topraktaki artan Mn içerikleri incelendiğinde 22.66 mg/kg ile kontrol uygulamasının (AÇ₀) en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Diğer uygulamalar sırasıyla (AÇ_{2.5}) 99.78 mg/kg, (AÇ₅) 135.62 mg/kg, (AÇ_{7.5}) 217.45 mg/kg ve (AÇ₁₀) 229.45 mg/kg değerlerini almış olup en yüksek Mn miktarı son uygulamada belirlenmiştir (Çizelge 3). Yapılan Duncan analizleri sonucunda AÇ₀ uygulaması farklı bir Duncan grubunu açığa çıkarmış olup, AÇ_{2.5} ve AÇ₅ uygulamaları diğer bir grubu oluştururken, AÇ_{7.5} ve AÇ₁₀ uygulamaları ise bir başka grubu oluşturmuşlardır.

Çizelge 3. Arıtma çamuru uygulamalarının toprağın demir, çinko, bakır ve mangan içeriklerine ait ortalama değerleri ile standart hataları ve ortalamalar arasındaki farkı gösteren Duncan grupları ve F değerleri

Uygulamalar	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)
Aritma Çamuru (%)				
AÇ ₀	0.84±0.02	0.96±0.11 e	2.09±0.06 c	22.66±0.63 c
AÇ _{2.5}	1.29±0.08	4.70±0.17 d	2.14±0.08 c	99.78±10.86 b
AÇ ₅	1.52±0.22	9.27±0.32 c	2.28±0.12 c	135.62±28.26 b
AÇ _{7.5}	2.10±0.39	15.00±1.17 b	2.75±0.22 b	217.45±20.14 a
AÇ ₁₀	3.92±2.58	18.36±0.49 a	4.38±0.16 a	229.45±37.80 a
F değerleri	1.04	144.86***	46.50***	13.36***

a, b, c, d, e: aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark önemli değildir (P>0.05)

*** İle gösterilen F değerleri, % 0.1 düzeyinde önemlidir.

Farklı yerlerde farklı arıtma çamuru ile çalışan araştırmacılar yaptıkları çalışmalarda benzer sonuçlar bildirmişlerdir (Bozkurt ve ark. 2000; Aşık ve Katkat, 2004; Angın ve Yağanoğlu, 2009; Demir ve Çimrin, 2011; Özyazıcı ve ark. 2012) Bu durum denemede kullanılan arıtma çamurlarının mikroelement içeriklerinin yüksek oluşu ile açıklanabilir.

Arıtma çamuru uygulaması sonucunda deneme topraklarının içerdiği kurşun (Pb), nikel (Ni), kadmiyum (Cd) ve kobalt (Co) değerlerine ait ortalama değerler Çizelge 4' de gösterilmiştir. Çizelge incelendiğinde arıtma çamuru uygulamalarının toprağın Pb, Ni, Cd ve Co içeriklerine etkileri istatistikî açıdan (P<0.001) çok önemli olduğu görülebilir. Toprağın arıtma çamuru uygulaması sonrası toprağın Pb, Ni, Cd ve Co içeriklerinin doğrusal bir şekilde artmıştır. Topraklarda belirlenen ortalama Pb miktarları en az 0.85 mg/kg ile tanık parsellerde (AÇ₀) elde edilirken, arıtma çamurunun

birinci dozunda (AÇ_{2.5}) 0.96 mg/kg, ikinci dozunda (AÇ₅) 1.20 mg/kg, üçüncü dozunda (AÇ_{7.5}) 1.69 mg/kg ve dördüncü ve son dozunda (AÇ₁₀) 1.74 mg/kg olarak bulunmuştur. Yapılan Duncan analizleri sonucunda ilk üç doz (AÇ₀, AÇ_{2.5} ve AÇ₅) aynı grubu oluştururken, son iki doz (AÇ_{7.5} ve AÇ₁₀) uygulamaları ise farklı bir grubu oluşturmuştur. Arıtma çamuru uygulamaları sonrası toprakta bulunan Ni değerleri sırasıyla 1.94 mg/kg (AÇ₀, en düşük), 2.84 mg/kg (AÇ_{2.5}), 4.02 mg/kg (AÇ₅), 4.14 mg/kg (AÇ_{7.5}) ve 4.32 mg/kg (AÇ₁₀, en yüksek) olmuştur. AÇ₅, AÇ_{7.5} ve AÇ₁₀ uygulamaları aynı Duncan grubunda yer alırken diğer uygulamalar (AÇ₀ ve AÇ_{2.5}) farklı bir grupta yer almıştır (Çizelge 4).

Toprağa artan dozda uygulanan arıtma çamurunun etkisiyle toprağın Cd içerikleri AÇ₀, AÇ_{2.5}, AÇ₅, AÇ_{7.5} ve AÇ₁₀ uygulamaları ile sırasıyla 0.02 (en düşük), 0.03, 0.04, 0.05 ve 0.06 (en yüksek) mg/kg olarak doğrusal olarak artmıştır.

Çizelge 4. Arıtma çamuru uygulamalarının toprağın kurşun, nikel, kadmiyum ve kobalt içeriklerine ait ortalama değerleri ile standart hataları ve ortalamalar arasındaki farkı gösteren Duncan grupları ve F değerleri

Uygulamalar	Pb (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Co (mg/kg)
Arıtma Çamuru (%)				
AÇ ₀	0.85±0.02 b	1.94±0.04 c	0.02±0.00 d	0.25±0.02 d
AÇ _{2.5}	0.96±0.06 b	2.84±0.22 b	0.03±0.00 c	1.84±0.19 c
AÇ ₅	1.20±0.13 b	4.02±0.34 a	0.04±0.00 b	2.30±0.45 bc
AÇ _{7.5}	1.69±0.12 a	4.14±0.22 a	0.05±0.00 b	2.90±0.34 ab
AÇ ₁₀	1.74±0.17 a	4.32±0.16 a	0.06±0.00 a	3.55±0.20 a
F değerleri	12.88***	22.00***	50.98***	19.54***

a, b, c, d: aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark önemli değildir (P>0.05)

*** İle gösterilen F değerleri, % 0.1 düzeyinde önemlidir

Yapılan Duncan analizleri sonucunda AÇ₅ ve AÇ_{7.5} uygulamaları aynı Duncan grubunda yer alır iken diğer tüm uygulamalar ayrı ayrı grupları oluşturmuşlardır (Çizelge 4). Çizelge 4'e göre toprakların içerdiği Co miktarları doğrusal bir artış göstermektedir. En düşük miktardan başlayarak topraklardaki Co miktarları AÇ₀ uygulamasında 0.25 mg/kg, AÇ_{2.5} uygulamasında 1.84 mg/kg, AÇ₅ uygulamasında 2.30 mg/kg, AÇ_{7.5} uygulamasında 2.90 mg/kg ve AÇ₁₀ uygulamasında 3.55 mg/kg olarak bulunmuştur. Farklı ekolojilerde farklı atık çamurlarla yapılan birçok çalışmada, istatistiki olarak önemli ya da önemsiz ancak, artan arıtma çamuru uygulamaları ile topraktaki ağır metallerin arttığını bildiren benzer birçok çalışma rapor edilmiştir. Yalçın ve ark. (2010) Eskişehir atık su arıtma tesislerinden çıkan arıtma çamurlarının farklı münavebe sistemlerinde (buğday, şekerpancarı ve mısır) kullanılması üzerine yürüttükleri çalışmada topraktaki Pb ve Ni değerlerinin arttığını, Cd değerinin değişiklik göstermediğini bildirmişlerdir. Demir ve Çimrin (2011)'in arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının mısırın verim, besin elementi ve ağır metal içeriğine etkilerini araştırdıkları çalışmada, artan dozda arıtma çamuru uygulamalarının toprakta Pb, Ni, Cd ve Co içeriklerini önemli miktarda arttırdığını bildirmişlerdir. Ünal ve ark. (2011) içme suyu arıtma çamurunun artan dozlarının arpa zambacı bitkisinin gelişimi ve bazı toprak özellikleri üzerine yürüttükleri çalışmada toprağın toplam Pb, Ni ve Cd miktarlarını arttırmasına rağmen bu artışın istatistiksel düzeyde etkili olmadığını bildirmişlerdir. Belhaj ve ark. (2016) saksılarda yetiştirilen ayçiçeğine arıtma çamurunun dozlarının etkisi araştırılmış, arıtma çamuru uygulamalarının topraktaki Pb ve Ni konsantrasyonlarında önemli artışlara sebep olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca ülkemizde evsel ve kentsel arıtma çamurlarının

toprakta kullanılmasına dair yönetmelikte arıtma çamuru uygulanan pH' sı 7 ve üzeri topraklarda; Pb' da 100 mg/kg, Cd' da 1.5 mg/kg, Cu' da 100 mg/kg, Ni' de 70 mg/kg ve Zn' da 200 mg/kg' ı aşamayacağı bildirilmiştir (TÇV 2010). Yönetmelikteki sınır değerlerine bakıldığında, çalışmada arıtma çamuru dozları ile toprakta ağır metaller için toksisite sınırlarına ulaşılmamıştır.

Uygulamaların Mısır Bitkisi kök ve kök üstü aksam mikrobesein ve ağır metal içerikleri üzerine etkileri:

Arıtma çamuru uygulamalarının mısır bitkisi kök kısmının içerdiği demir (Fe), çinko (Zn), bakır (Cu) ve mangan (Mn) miktarlarına ait ortalamaları ile standart hataları ve ortalamalar arasındaki farkı gösteren Duncan grupları Çizelge 5' de verilmiştir. Çizelge 5 incelendiğinde arıtma çamuru uygulamalarının mısır bitkisi kök aksam Zn içeriğine etkisi istatistiki olarak çok önemli (P<0.001), Cu ve Mn içeriklerine etkisi ise istatistiki olarak önemli (P<0.05) bulunurken, Fe içeriğine etkisi istatistiki açıdan önemsiz olarak belirlenmiştir. Uygulamalar ile mısır bitkisi kök Fe içerikleri AÇ₀ uygulamasında 1503.02 mg/kg olarak belirlenirken, AÇ_{2.5} uygulamasında 1370.70 mg/kg, AÇ₅ uygulamasında 1559.32 mg/kg, AÇ_{7.5} uygulamasında 1260.96 mg/kg ve AÇ₁₀ uygulamasında ise 899.09 mg/kg olarak belirlenmiştir.

Artan arıtma çamuru uygulamaları ile mısır bitkisi kök Zn ve Mn içerikleri düzenli olarak artarken Cu içerikleri benzer şekilde azalmıştır. Mısır bitkisinin kök Zn içerikleri incelendiğinde 22.94 mg/kg ile kontrol uygulamasının (AÇ₀) en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Diğer uygulamalar sırasıyla (AÇ_{2.5}) 37.92 mg/kg Zn, (AÇ₅) 45.81 mg/kg Zn, (AÇ_{7.5}) 51.82 mg/kg Zn ve (AÇ₁₀) 80.30 mg/kg Zn değerlerini almış olup en yüksek Zn miktarı son uygulamada belirlenmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 5. Arıtma çamuru uygulamalarının mısır bitkisi kök aksam demir, çinko, bakır ve mangan içeriklerine ait ortalama değerleri ile standart hataları ve ortalamalar arasındaki farkı gösteren Duncan grupları ve F değerleri

Uygulamalar	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)
Arıtma Çamuru (%)				
AÇ ₀	1503.02±532.01	22.94±3.88 d	24.31±2.66 a	82.54±15.94 c
AÇ _{2.5}	1370.70±191.36	37.92±2.46 c	16.43±2.27 b	108.92±19.62 bc
AÇ ₅	1559.32±217.94	45.81±2.10 bc	15.76±2.44 b	142.95±18.00 ab
AÇ _{7.5}	1260.96±114.26	51.82±5.42 b	17.74±2.09 b	175.18±20.04 a
AÇ ₁₀	899.09±100.61	80.30±6.09 a	14.62±0.96 b	148.66±14.24 ab
F değerleri	0.88	24.34***	3.11*	4.18*

a, b, c, d: aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark önemli değildir (P>0.05)

*, *** İle gösterilen F değerleri sırasıyla, % 5 ve % 0.1 düzeyinde önemlidir

Çizelge 5' da yer alan mısır bitkisi kök aksamı ortalama Cu içeriklerine bakıldığında tanığa göre tüm uygulamaların bitki kök Cu içeriğini azalttığı ve tanık uygulama hariç tüm uygulamaların aynı Duncan grubu içerisinde yer aldığı görülmektedir. Mısır bitkisi kök aksamı ortalama Cu en yüksek 24.31 mg/kg ile tanık uygulamasından (AÇ₀) elde edilirken, AÇ_{2.5} dozunda 16.43 mg/kg' a düşmüş ve bundan sonra da uygulamalar tanığa göre (AÇ₅: 15.76 mg/kg, AÇ_{7.5}: 17.74 mg/kg ve AÇ₁₀: 14.62 mg/kg) azalmaya devam etmiştir (Çizelge 5).

Arıtma çamuru uygulamaları ile mısır bitkisi kök Mn içerikleri incelendiğinde 82.54 mg/kg ile kontrol uygulamasının (AÇ₀) en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Diğer uygulamalar sırasıyla (AÇ_{2.5}) 108.92 mg/kg, (AÇ₅) 142.95 mg/kg, (AÇ_{7.5}) 175.18 mg/kg ve (AÇ₁₀) 148.66 mg/kg değerlerini almış olup en yüksek Mn miktarı en yüksek arıtma çamuru uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 5). Bozkurt ve ark. (2000) kireçli toprakta yetiştirilen mısır bitkisine artan dozlarda arıtma çamuru ve tek dozda humik asit uygulamışlardır. Arıtma çamuru verilen topraklara humik asit uygulanması ile mısır bitkisinin ekstrakte edilebilir bakır düzeyinin azaldığı bildirilmiştir. Çimrin ve ark. (2000), Triple Süper Fosfat ve arıtma çamuru kombinasyonlarını kireçli bir toprağa fosfor kaynağı olarak uygulamaları sonucu, uygulamaların mısır bitkisinin demir ve çinko içeriğini önemli ölçüde arttırdığını, bakır içeriğini ise önemli olarak azalttığını ve mangan içeriğini önemli ölçüde etkilemediğini bildirmişlerdir. Topçuoğlu ve ark. (2003) sera koşullarında iki yıllık olarak yürüttükleri saksı denemelerinde toprağa uyguladıkları farklı kentsel arıtma çamurlarının artan dozlarıyla domates bitkisinde meydana gelen bitki besin elementi ve ağır metal içeriklerinin değişimlerini araştırmışlardır. Araştırmanın her iki yılda da arıtma çamurunun artan dozlarıyla domates bitkisinin Fe, Zn, Cu ve Mn içeriklerinin arttığı bildirilmektedir. Küçükhemek ve ark. (2008) toprağa uygulanan arıtma çamuru, ahır gübresi ve karışımlarının, çim bitkisinin bazı makro-mikro besin elementleri ve verimine etkisi üzerine yaptıkları çalışmada kontrole göre arıtma

çamurunun bitkinin çinko ve bakır içeriklerini arttırdığını, mangan içeriğinde azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmada, ahır gübresine göre arıtma çamurunun bitkinin çinko ve bakır içeriklerini arttırdığını ve çinko içeriğindeki artışların önemli (P<0.01) olduğunu, mangan içeriğinde ise azalmaya neden olduğunu bildirilmiştir. Yalçın ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada Eskişehir atık su arıtma tesislerinden çıkan arıtma çamurlarının farklı münavebe sistemlerinde kullanılmasıyla buğday danesi, şekerpancarı yumrusu ve mısır danesinde toplam bakır değerleri bakımından arıtma çamuru uygulamaları ile kontrol konuları arasında fark bulunmamasına rağmen uygulamalar sonucu bitkideki çinko değerlerinde artış görüldüğü ifade edilmiştir. Demir ve Çimrin (2011)' in 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 çamuruyla mısır bitkisinin kök Zn içeriklerinde önemli artışların, Fe ve Mn içeriklerinde ise önemli azalmaların saptandığı ifade edilmiştir. Akat ve ark. (2015)' nin bildirdiğine göre Limonium sinuatum 'compindi white' çeşidinde bitki gelişimi, verim ve çiçek kalitesi üzerine arıtma çamuru doz uygulamaları bitki kök Fe, Zn, Cu ve Mn içeriklerine önemli etki yapmıştır. Akat ve ark. (2017) tarafından kesme gül yetiştiriciliğinde bitki gelişimi, çiçeklenme ve kalite üzerindeki etkilerinde kök aksam Fe, Zn, Cu ve Mn içeriklerinin artan arıtma çamuru uygulamalarıyla artış gösterdiği bildirilmiştir. Ancak bu artışın Zn ve Cu üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli bulunduğu bildirilirken, Fe ve Mn üzerine etkisinin istatistiksel açıdan önemli bulunmadığı ifade edilmiştir. Farklı çalışmalarda farklı sonuçların çıkması, arıtma çamurlarının farklı miktarlarda Fe, Zn, Cu ve Mn içermesi ile ilişkili olabilir.

Çizelge 6' da farklı dozlarda arıtma çamuru uygulamaları sonrası mısırın kök aksamında bulunan kurşun (Pb), nikel (Ni), kadmiyum (Cd) ve kobalt (Cd) içeriklerine ait ortalama değerler gösterilmiştir. Çizelge 6' da arıtma çamuru uygulamalarının mısır bitkisi kök aksam Co içeriğine

etkisi istatistiki açıdan $P < 0.001$ düzeyinde önemli bulunurken, Pb ve Ni içeriğine etkisi istatistiki açıdan önemsiz bulunmuş olup bitkinin kök aksamında Cd tespit edilememiştir. Mısır bitkisi kök aksamı Pb miktarı en yüksek 0.87 mg/kg ile tanık uygulamasından (AÇ₀) elde edilirken, AÇ_{2.5} dozunda 0.70 mg/kg' a düşmüş ve bundan sonra da uygulamalar tanığa göre (AÇ₅: 0.45 mg/kg, AÇ_{7.5}: 0.62 mg/kg ve AÇ₁₀: 0.72 mg/kg) azalmaya devam etmiştir (Çizelge 6). Çizelge 6' da mısır bitkisi kök aksamındaki Ni içerikleri en düşük 45.32 mg/kg ile tanık uygulamasından (AÇ₀) elde edilirken, AÇ_{2.5} dozunda 56.36 mg/kg' a yükselmiş ve bundan sonra tanığa göre yükselmesine karşılık diğer dozlar (AÇ₅: 46.56 mg/kg, AÇ_{7.5}: 54.40 mg/kg ve AÇ₁₀: 50.01 mg/kg) azalarak artmıştır (Çizelge 6). Çizelge 6' ya göre arıtma çamuru uygulamaları sonrası mısır bitkisinin kök kısımlarında Cd tespit edilememiştir. Uygulamalar ile mısır bitkisi kök aksamında bulunan

Co miktarı 7.32 mg/kg ile tanık parsellerden (AÇ₀) elde edilmiş, sırasıyla AÇ_{2.5} uygulamasında en yüksek Co 9.58 mg/kg, AÇ₅ uygulaması ile 5.64 mg/kg, AÇ_{7.5} uygulamasında 6.22 mg/kg ve en düşük Co içeriği AÇ₁₀ uygulamasından 2.74 mg/kg ile elde edilmiştir. Yapılan istatistik analizine göre AÇ₀, AÇ₅ ve AÇ_{7.5} uygulamaları aynı Duncan grubunu meydana getirmiş, AÇ_{2.5} ve AÇ₁₀ uygulamaları ayrı iki Duncan grubunu meydana getirmiştir (Çizelge 6). Bu sonuçların kullanılan arıtma çamuru içerisindeki Pb, Cd, Ni ve Co ile ilişkili olduğu düşünülebilir. Bozkurt ve ark. (2000) kireçli toprakta yetiştirilen mısır bitkisine artan dozlarda arıtma çamuru ve tek dozda humik asit uygulamışlardır. Arıtma çamuru verilen topraklara humik asit uygulanması ile mısır bitkisinin Ni, Cd ve Co düzeyinde hafif azalmaların görüldüğü ifade edilmiştir.

Çizelge 6. Arıtma çamuru uygulamalarının mısır bitkisi kök aksam kurşun, nikel, kadmiyum ve kobalt içeriklerine ait ortalama değerleri, standart hataları, önemlilik ve çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Pb (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Co (mg/kg)
Arıtma Çamuru (%)				
AÇ ₀	0.87±0.06	45.32±3.21	Tespit edilemedi	7.32±0.72 b
AÇ _{2.5}	0.70±0.05	56.36±2.98	Tespit edilemedi	9.58±0.60 a
AÇ ₅	0.45±0.04	46.56±7.13	Tespit edilemedi	5.64±0.99 b
AÇ _{7.5}	0.62±0.24	54.40±3.16	Tespit edilemedi	6.22±0.14 b
AÇ ₁₀	0.72±0.12	50.01±3.08	Tespit edilemedi	2.74±0.33 c
F değerleri	1.44	1.28		15.57***

a, b, c: aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark önemli değildir ($P > 0.05$)

*** İle gösterilen F değerleri, % 0.1 düzeyinde önemlidir

Küçükhemek ve ark. (2008) toprağa uygulanan arıtma çamuru, ahır gübresi ve karışımlarının, çim bitkisinin bazı makro-mikro besin elementleri ve verimine etkisi üzerine yaptıkları çalışmada kontrole göre arıtma çamurunun bitkinin kurşun içeriğini arttırdığını, çim bitkisindeki kadmiyum miktarlarının ise ölçülemeyecek kadar az seviyede olması sebebiyle analizler sonucu tespit edilemediğini bildirmişlerdir. Yalçın ve ark. (2010)' nın yaptıkları çalışmada Eskişehir atık su arıtma tesislerinden çıkan arıtma çamurlarının farklı münavebe sistemlerinde kullanılmasıyla buğday danesi, şekerpancarı yumrusu ve mısır danesinde toplam Pb, Ni ve Cd değerleri bakımından arıtma çamuru uygulamaları ile kontrol konuları arasında fark bulunmadığı ifade edilmiştir.

Arıtma çamuru uygulamalarının mısır bitkisi kök üstü aksamında tespit edilen demir (Fe), çinko (Zn), bakır (Cu) ve mangan (Mn) miktarlarına ait ortalamalar ile standart hataları ve ortalamalar arasındaki farkı gösteren Duncan grupları ve F değerleri Çizelge 7' de verilmiştir. Çizelge

incelendiğinde arıtma çamuru uygulamalarının mısır bitkisi kök üstü aksam Fe, Zn ve Mn içeriklerine etkisi istatistiki olarak $P < 0.001$ düzeyinde önemli bulunurken, Cu içeriğine etkisi istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur. Çizelge 7' de arıtma çamuru uygulamaları sonrası mısır bitkisi kök üstü aksamının ihtiva ettiği Fe içeriklerinin en düşük 36.10 mg/kg ile AÇ₀ uygulamasında ve yapılan Duncan analizlerine göre tek başına bir grubu oluştururken, diğer uygulamalarda Fe içerikleri sırayla 55.96 mg/kg (AÇ_{2.5}), 55.47 mg/kg (AÇ₅), 58.38 mg/kg (AÇ_{7.5}) ve 57.08 mg/kg (AÇ₁₀) olmuş ve tüm bu uygulamalar hep birlikte diğer bir Duncan grubunu oluşturmuşlardır.

Mısır bitkisi kök üstü aksamın Zn içeriklerine bakıldığında artan arıtma çamuruna bağımlı düzenli bir artış belirlenmiştir. Endüşük Zn içeriği 11.74 mg/kg ile kontrol uygulamasının (AÇ₀) elde edilirken, AÇ_{2.5} uygulamasında 28.40 mg/kg'a, AÇ₅ uygulamasında 35.16 mg/kg, AÇ_{7.5} uygulamasında 46.48 mg/kg, ve AÇ₁₀ uygulamasında 53.66 mg/kg'a yükselmiştir (Çizelge 7).

Çizelge 7. Arıtma çamuru uygulamalarının mısır bitkisi kök üstü aksam demir, çinko, bakır ve mangan içeriklerine ait ortalama değerleri ile standart hataları ve ortalamalar arasındaki farkı gösteren Duncan grupları ve F değerleri

Uygulamalar	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)
Arıtma Çamuru (%)				
AÇ ₀	36.10±0.80 b	11.74±0.82 e	8.45±1.58	35.78±2.74 d
AÇ _{2.5}	55.96±2.14 a	28.40±1.88 d	6.38±1.03	45.32±2.76 cd
AÇ ₅	55.47±3.61 a	35.16±1.84 c	6.10±0.40	50.63±0.96 bc
AÇ _{7.5}	58.38±2.18 a	46.48±1.56 b	10.55±1.52	57.84±3.84 ab
AÇ ₁₀	57.08±2.04 a	53.66±2.15 a	8.34±1.76	62.52±5.08 a
F değerleri	15.86***	90.40***	1.77	9.74***

a, b, c, d, e: aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark önemli değildir (P>0.05)

*** İle gösterilen F değerleri, % 0.1 düzeyinde önemlidir

Yapılan Duncan analizlerinde AÇ₀, AÇ_{2.5}, AÇ₅, AÇ_{7.5} ve AÇ₁₀ uygulamalarının her biri farklı farklı Duncan gruplarını meydana getirmişlerdir. Çizelge 7' de mısır bitkisi kök üstü aksamının ihtiva ettiği Cu miktarlarının sırayla 8.45 mg/kg (AÇ₀), 6.38 mg/kg (AÇ_{2.5}), 6.10 mg/kg (AÇ₅), 10.55 mg/kg (AÇ_{7.5}) ve 8.34 mg/kg (AÇ₁₀) değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Mısır bitkisi kök üstü aksamın artan Mn içerikleri incelendiğinde 35.78 mg/kg ile kontrol uygulaması (AÇ₀) en düşük içerik ortalaması olarak belirlenirken, diğer uygulamalar sırasıyla (AÇ_{2.5}) 45.32 mg/kg, (AÇ₅) 50.63 mg/kg, (AÇ_{7.5}) 57.84 mg/kg ve (AÇ₁₀) 62.52 mg/kg değerlerini alarak artan arıtma çamuru uygulamaları ile düzenli bir şekilde artmışlardır (Çizelge 7). Farklı bitki ve artma çamuru ile yapılan çalışmalarda farklı ve benzer sonuçlar bulunmuştur. Örneğin, Bozkurt ve ark. (2001) Van ekolojik koşullarında kışlık arpa bitkisinin azotlu gübre isteğinin inorganik azotlu gübre ve kentsel arıtma çamuru verilerek karşılaştırıldığı denemede artan arıtma çamuru dozlarının arpa bitkisi tanesinde Fe, Cu ve Mn kapsamını kontrole göre önemli düzeyde arttırdığını ancak, Zn kapsamını önemli olarak etkilemediğini bildirirken, 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. Küçükhemek ve ark. (2006) organik madde ve besin elementi açısından fakir bir toprağa evsel karakterli arıtma çamurunun farklı dozlarını iki yıl süreyle uygulayarak, yetiştirilen çim bitkisinin ağır metal kapsamına etkisini belirlemeye çalışmışlardır. Sonuç olarak çalışmada çim bitkisinin kontrole göre Zn ve Cu içeriklerinin arttığını ve Mn içeriğinde ise azalmaya sebep olduğunu bildirilmiştir. 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. Akat ve ark. (2015) Limonium sinuatum 'compindi white' çeşidinde bitki gelişimi, verim ve çiçek kalitesi üzerine arıtma çamuru doz uygulamalarının bitki kök üstü Fe, Zn, Cu ve Mn içeriklerine olumlu yönde önemli etki yaptığını bildirmişlerdir.

Çizelge 8' de artan dozlarda arıtma çamuru uygulamalarının mısır bitkisi kök üstü aksamında bulunan kurşun (Pb), nikel (Ni), kadmiyum (Cd) ve kobalt (Co) içeriklerine ait ortalama değerler gösterilmiştir. Çizelge 8' de arıtma çamuru uygulamalarının mısır bitkisi kök üstü aksam Pb içeriğine etkisi P<0.05 düzeyinde istatistiki olarak önemli bulunmuş, kök üstü aksam Ni düzeyine etkisi ise istatistiki yönden önemsiz olarak belirlenmiştir. Ayrıca, mısır bitkisinin kök üstü aksamında Cd ve Co içerikleri tespit edilememiştir. Arıtma çamurunun mısır bitkisi kök üstü aksam Pb içeriğine etkisi incelendiğinde, tanığa göre tüm uygulamaların Pb içeriğinde artış gözlenmesine rağmen bu artışlar düzenli olmamıştır. (Çizelge 8). Mısır bitkisi kök üstü aksam Pb en düşük 0.77 mg/kg ile tanık uygulamasından (AÇ₀) elde edilirken, artan dozlar ile kök üstü aksam Pb içeriği artmış olup (AÇ_{2.5}: 0.98 mg/kg, AÇ₅: 1.16 mg/kg ve AÇ_{7.5}: 2.58 mg/kg), bu dozdan sonraki doz olan (son doz) AÇ₁₀ dozunda 1.54 mg/kg' a düşerek azalmıştır. AÇ₀, AÇ_{2.5}, AÇ₅ ve AÇ₁₀ uygulamaları birlikte aynı Duncan grubu içerisinde yer almış, AÇ_{7.5} uygulaması ise farklı Duncan grubunu oluşturmuştur (Çizelge 8). Mısır bitkisi kök üstü aksamındaki Ni tanık uygulamasında (AÇ₀) 3.44 mg/kg olarak belirlenmiş, AÇ_{2.5} uygulamasında 3.86 mg/kg, AÇ₅ uygulamasında 4.76 mg/kg, AÇ_{7.5} uygulamasında 4.18 mg/kg ve AÇ₁₀ uygulamasında 3.28 mg/kg Ni belirlenmiştir (Çizelge 8). Arıtma çamuru uygulamaları sonrası mısır bitkisinin kök üstü aksamında Cd ve Co tespit edilemeyecek kadar düşük bulunmuştur (Çizelge 8).

Bozkurt ve ark. (2001) Van ekolojik koşullarında kışlık arpa bitkisinin azotlu gübre isteğinin inorganik azotlu gübre ve kentsel arıtma çamuru verilerek

karşılaştırıldığı denemede artan arıtma çamuru dozlarının arpa bitkisi tanesinde Ni, Cd ve Co kapsamalarını önemli düzeyde etkilemediğini bildirmişlerdir. Topçuoğlu ve ark. (2003) sera koşullarında iki yıllık olarak yürüttükleri saksı denemelerinde toprağa uyguladıkları farklı kentsel arıtma çamurlarının artan dozlarıyla domates bitkisinde meydana gelen bitki besin elementi ve ağır

metal içeriklerinin değişimlerini araştırmışlardır. Araştırmanın her iki yılda da arıtma çamurunun artan dozlarıyla domates bitkisinin Pb, Ni ve Cd içeriklerinin arttığı bildirilmektedir. Yüksek düzeyde tuz ve mineral içeren çamurun ikinci yıldaki uygulamaları Pb ve Cd' un bitkide insan sağlığı açısından müsaade edilen sınır değerleri aştığı bildirilmiştir.

Çizelge 8. Arıtma çamuru uygulamalarının mısır bitkisi kök üstü aksam kurşun, nikel, kadmiyum ve kobalt içeriklerine ait ortalama değerleri ile standart hataları ve ortalamalar arasındaki farkı gösteren Duncan grupları ve F değerleri

Uygulamalar	Pb (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Co (mg/kg)
Arıtma Çamuru (%)				
AÇ ₀	0.77±0.18 b	3.44±0.38	Tespit edilemedi	Tespit edilemedi
AÇ _{2.5}	0.98±0.08 b	3.86±0.74	Tespit edilemedi	Tespit edilemedi
AÇ ₅	1.16±0.06 b	4.76±0.89	Tespit edilemedi	Tespit edilemedi
AÇ _{7.5}	2.58±0.71 a	4.18±0.32	Tespit edilemedi	Tespit edilemedi
AÇ ₁₀	1.54±0.08 b	3.28±0.22	Tespit edilemedi	Tespit edilemedi
F değerleri	4.56*	1.08		

a, b: aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark önemli değildir (P>0.05)

* İle gösterilen F değerleri, % 5 düzeyinde önemlidir

Küçükhemek ve ark. (2006) organik madde ve besin elementi açısından fakir bir toprağa evsel karakterli arıtma çamurunun farklı dozlarını iki yıl süreyle uygulayarak, yetiştirilen çim bitkisinin ağır metal kapsamalarına etkisini belirlemeye çalışmışlardır. Çim bitkisinin kontrole göre Pb ve Ni içeriklerinin arttığını bildirmişlerdir. 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 Pb, Ni, Cd ve Co ihtivalarında önemli artışların saptandığını ifade etmişlerdir. Küçükhemek ve ark. (2008) toprağa uygulanan arıtma çamuru, ahır gübresi ve karışımlarının, çim bitkisinin bazı makro-mikro besin elementleri ve verimine etkisi üzerine yaptıkları çalışmada kontrole göre arıtma çamurunun bitkinin Pb içeriğini arttırdığını, çim bitkisindeki Cd miktarlarının ise ölçülemeyecek kadar az seviyede olması sebebiyle analizler sonucu tespit edilemediğini bildirmişlerdir.

SONUÇ

Mustafa Kemal Üniversitesi seralarında mısır bitkisi ile saksı denemesi olarak yürütülen çalışmada artan arıtma çamuru (% 0, % 2.5, % 5, % 7.5, % 10) uygulamaları sonrası deneme toprağının Fe, Zn, Cu, Mn, Pb, Ni, Cd ve Co içeriklerindeki değişimler ile mısır bitkisinin kök ve kök üstü aksamının Fe, Zn, Cu, Mn, Pb, Ni, Cd ve Co içeriklerindeki değişimler incelenmiştir.

Artan dozda uygulanan arıtma çamurunun etkisiyle toprağın Fe, Zn, Cu, Mn, Pb, Ni, Cd ve Co içeriklerinde doğrusal olarak artışlar meydana

gelmiştir. Toprağın mikro elementlerden Fe içeriğine etkisi istatistiki olarak önemsiz olmasına karşılık, diğer mikro elementlerden Zn, Cu ve Mn içeriklerine ve ağır metallere Pb, Ni, Cd ve Co içeriklerine etkisi istatistiki olarak çok önemli olmuştur.

Uygulamalar mısır bitkisinin kök mikro elementlerinden Zn, Cu ve Mn içeriklerine etkisi istatistiki olarak çok önemli bulunmuştur. Uygulamalar ile kök Zn içeriği doğrusal olarak artarken, Cu içeriği tanığa göre azalmış, Mn içeriği ise tanığa göre düzensiz bir şekilde artmıştır. Artan dozda yapılan uygulamalar sonrası mısır bitkisinin kökünde ağır metallere Pb tanığa göre azalırken Ni tanığa göre artmış ancak uygulamaların etkisi istatistiki olarak önemsiz olmuştur. Bitki kökünde Cd tespit edilememiş, uygulamaların Co içeriğine etkisi ise çok önemli bulunmuştur.

Artan dozda arıtma çamuru uygulamalarıyla mısır bitkisi kök üstü aksamda tespit edilen mikro elementlerden Fe tanığa göre artmış, Zn ve Mn içeriklerinde düzenli artışlar meydana gelmiş olup, uygulamaların Fe, Zn ve Mn üzerine etkisi çok önemli ancak, Cu içeriğine etkisi önemsiz bulunmuştur. Uygulamalar sonrası kök üstü aksamda tespit edilen ağır metallere Pb içerikleri tanığa göre artış göstermiş ve istatistiki olarak önemli bulunmuştur. Uygulamaların kök üstü Ni kapsamına etkisi önemsiz olmuştur. Bitkinin kök üstü kısımlarında Cd ve Co tespit edilememiştir.

Sonuç olarak, Hatay ili İskenderun ilçesi evsel biyolojik arıtma tesisinden taze alınan arıtma çamuru ile yapılan çalışmada, her ne kadar arıtma çamuru uygulamaları bitki besin elementleri açısından olumlu etkilerde bulunmasına rağmen

toprakta artan arıtma çamuru ile dozlara bağımlı olarak topraktaki ağır metal içeriklerinin artması her ne kadar bu çalışmada "Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik" te yer alan sınır değerlerini aşmamış olsa bile, çamurun kontrolsüz bir şekilde ard arda uygulanmaları durumunda zamanla toprakta ağır metal birikimi ve toksisitesine sebep olabileceğini göstermektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar çalışmaya maddi destek sağlayan Mustafa Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne (Proje No: 15880) teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Akat H, Çetinkale Demirkan G, Akat Ö, Yağmur B, Yokaş, İ 2015. Arıtma Çamuru Uygulamalarının *Limonium sinuatum* 'Compindi White' Çeşidinde Bitki Gelişimi, Verim ve çiçek Kalitesi Üzerine Etkileri. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 52(1): 107-114.
- Akat H, Altunlu H, Çetinkale Demirkan G, Akat Saraçoğlu Ö, Yokaş, İ 2017. Kesme Gül Yetiştiriciliğinde Arıtma Çamuru Uygulamalarının Bitki Gelişimi, Çiçeklenme ve Kalite Üzerine Etkisi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 54(3): 327-332.
- Angın İ, Yağanoğlu AV 2009. Arıtma Çamurlarının Fiziksel ve Kimyasal Toprak Düzenleyicisi Olarak Kullanımı. Ekoloji Çevre Dergisi, 19(73): 39-47.
- Aşık BB, Katkat AV 2004. Gıda Sanayi Arıtma Tesisi Atığının (Arıtma Çamuru) Tarımsal Alanlarda Kullanım Olanakları. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 18(2): 59-71.
- Aydeniz A 1985. Toprak Amenajmanı. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 928, Ders Kitabı No: 263, Ankara.
- Belhaj D, Elloumi N, Jerbi B, Zouari M, Abdallah F B, Ayadi H, Kallel M 2016. Effects of Sewage Sludge Fertilizer on Heavy Metal Accumulation and Consequent Responses of Sunflower (*Helianthus annuus*). Environmental Science and Pollution Research, 23(20):20168-20177.
- Bouyoucos GD 1951. A Recalibration of the Hydrometer Method for Making Mechanical Analysis of the Soil. Agronomy Journal, 43 434-438.
- Bozkurt MA, Erdal İ, Çimrin KM, Karaca S, Sağlam M 2000. Kentsel Arıtma Çamuru ve Hümik Asit Uygulamalarının Mısır Bitkisinin Besin İçeriği ve Ağır Metal Kapsamına Etkisi. Tarım Bilimleri Dergisi, 6(4): 35-43.
- Bozkurt MA, Yılmaz İ, Çimrin KM 2001. Kentsel Arıtma Çamurunun Kışlık Arpada Azot Kaynağı Olarak Kullanılması. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi, 7(1): 105-110.
- Bozkurt MA, Çimrin KM 2003. The Effects of Sewage Sludge Applications on Nutrients and Heavy Metal Concentration in a Calcareous Soil, Fresenius Environmental Bulletin, 12, (11), 1354-1360.
- Bremner JM 1965. Total nitrogen. in. C.A. Black et al. (ed). Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomy 9; 1149 - 1178. Am. Soc. of Agron., Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Çimrin KM, Bozkurt MA, Erdal İ 2000. Kentsel Arıtma Çamurunun Tarımda Fosfor Kaynağı Olarak Kullanılması. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi, 10(1): 85-90.
- Demir E, Çimrin KM 2011. Arıtma Çamuru ve humik Asit Uygulamalarının Mısırın Gelişimi, Besin Elementi ve Ağır Metal İçerikleri ile Bazı Toprak Özelliklerine Etkileri. Tarım Bilimleri Dergisi, 17: 204-216.
- Düzgüneş A, Kesici OT, Kavuncu O, Gürbüz F 1987. Araştırma ve Deneme Metodları (İstatistik Metodları-II). Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 1021, Ankara, 381 s.
- Hızalan E, Ünal E 1966. Topraklarda Önemli Analizler. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 278.
- Jackson M 1958. Soil Chemical Analysis. Prentice Hall, Inc. New Jersey. USA.
- Kacar B 1984. Bitki Besleme Uygulama Kılavuzu. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 900, Uygulama Kılavuzu: 214, Ankara, 140 s.
- Kacar B 1994. Bitki ve toprağın kimyasal analizleri: III toprak analizleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Eğitim Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları No: 3, Ankara, 705 s.
- Khan KD, Frankland B 1983. Chemical forms of Cd and Pb in some contaminated soils. Environmental Pollution, 6: 15-31.
- Kocaer, F. O. ve Başkaya, S. H., 2001. Arıtma çamurlarının araziye uygulanması. Ekoloji Çevre Dergisi, 11(41): 12-15.
- Küçükhemek, M., Gür, K., Berktaş, A., 2006. Evsel karakterli atık su arıtma çamurlarının çim bitkisi ağır metal içeriği üzerine etkisi. Selçuk Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi Dergisi, 21(3-4).
- Küçükhemek M, Gür K, Uyanöz R 2008. Toprağa Uygulanan Arıtma Çamuru, Ahır Gübresi ve Karışımlarının, Çim Bitkisinin Bazı Makro-Mikro Besin Elementleri ve Verimi Üzerine Etkisi. Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 22(45): 94-104.
- Lindsay W L, Norvell W A 1978. Development of a DTPA Micro nutrient Soil Test. for Fe, Cu, Zn and Mn Soil Science Soc. Amer. Proc. 42: 421-428 p.

- Olsen SR, Cole V, Watanabe FS, Dean LA 1954. Estimations of Available Phosphorus in Soils by Extractions with Sodium Bicarbonate. U. S Dept. Of Agric. Cric. 939.
- Önal MK, Topçuoğlu B, Arı N 2003. Toprağa Uygulanan Kentsel Arıtma Çamurunun Domates Bitkisine Etkisi. II. Gelişme ve Meyve Özellikleri ile Meyvede Mineral İçerikleri. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 16(1): 97-106.
- Özbek H, Kaya Z, Gök M, Kaptan H 1993. Toprak bilimi. Ç. Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 73, Ders Kitapları Yayın No: 16, Adana.
- Özyazıcı MA, Özyazıcı G, Bayraklı B 2012. Arıtma Çamuru Uygulamalarının Toprağın Ekstrakte Edilebilir Demir, Bakır, Çinko ve Mangan Kapsamı Üzerine Etkileri. Toprak Su Dergisi, 1(2): 110-118.
- Richards LA 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils. Handbook: 60, U. S. Dept. of Agriculture.
- TÇV 2010. Evsel ve kentsel arıtma çamurlarının toprakta kullanılmasına dair yönetmelik: http://www.cevre.org.tr/Tcm/Yonetmelikler/Evsel_ve_Kentsel_Aritma_Camurlarinin_Toprakta_Kullanilmasina_Dair_Yonetmelik.htm
- Thomas GW 1982. Exchangeable Cations. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Monography. No: 9, A.S.A.-S.S.S.A., Madison, Winconsin. USA. P. 159-165.
- Topçuoğlu B, Önal M K, Arı N 2003. Toprağa uygulanan kentsel arıtma çamurunun domates bitkisine etkisi I. bitki besinleri ve ağır metal içerikleri. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 16(1): 87-96.
- 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.
- Ünal M, Karaca A, Çetin Camcı S, Çelik A 2011. İçme suyu tesisi arıtma çamurunun arpa zambağı (freesia spp.) bitkisi gelişimi ve bazı toprak özellikleri üzerine etkileri. Selçuk Üniversitesi Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi 25(2): 46-56.
- Walkley A, Black LA 1934. An Examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid titration Method. Soil Sci., 37: 29-38.
- Yalçın G, Yavuz R, Taşpınar K, Yılmaz M, Ateş Ö 2010. Eskişehir Atık Su Arıtma Tesislerinden Çıkan Çamurların Farklı Münavebe Sistemlerinde Kullanılması. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Temmuz-2010, s:43.
- Yalçın G, Yavuz R, Yılmaz M, Taşpınar K, Ateş Ö 2011. Arıtma Çamurlarının Tarım Alanlarında Değerlendirilmesi. Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Sigma 3: 156-164.