

Kentsel Arıtma Çamuru ve Humik Asit Uygulamalarının Mısır Bitkisinin Besin İçeriği ve Ağır Metal Kapsamına Etkisi

Mehmet Ali BOZKURT¹ İbrahim ERDAL¹ Kerim Mesut ÇİMRİN¹ Siyami KARACA¹ Mustafa SAĞLAM¹

Geliş Tarihi : 21.04.2000

Özet: Bu araştırmanın amacı, kireçli bir toprakta yetiştirilen mısır bitkisinin gelişimine, besin elementi ve ağır metal kapsamına arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının etkilerini belirlemektir. Artan oranlarda (0, % 5, % 10, % 20 ve % 30) arıtma çamuru uygulamaları, toprak üstü organ kuru ağırlığı ve kök kuru ağırlığı ile toprak üstü organların N, P, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu ve Co içeriklerini istatistiksel olarak önemli düzeyde artırmıştır. Kimyasal gübre kullanmaksızın sadece arıtma çamuru verilerek bitkinin azot ve fosfor ihtiyacı karşılanabilir. Arıtma çamuru uygulamaları toprak pH'sı, toprakta yarayırlı fosfor, toplam Ca, Zn, Cu ve DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe, Mn, Zn, Cu içeriklerini önemli düzeyde etkilemiştir. Arıtma çamuru verilen topraklara humik asit verilmesi ile bitkinin Co, Ni, Cr, Cd içeriklerinde hafif azalma eğilimi görülmüş ve DTPA ile ekstrakte edilebilir Cu düzeyi azalmıştır. Denenen arıtma çamuru dozlarında ve incelenen ağır metallerde, toprağın Zn içeriği dışında ağır metal tehlikesi görülmemiştir.

Anahtar Kelimeler: Arıtma çamuru, gübre, ağır metal, humik asit, mısır

The Effect of Municipal Sewage Sludge and Humic Acid Applications on Nutrient and Heavy Metal Concentrations of Corn

Abstract: A study was conducted to determine the effects of sewage sludge and humic acid applications on the growth, nutrient and heavy metal concentrations of corn grown on alkaline soils. The increasing concentrations of sewage sludge (0, % 5, % 10, % 20 and % 30) increased significantly shoot dry weight and root dry weight and N, P, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu and Co concentrations of shoot. Nitrogen and phosphorus requirement of plant may be covered by sewage sludge without using fertilizers. Applications of sewage sludge affected significantly pH, available P, total Ca, Zn, Cu concentrations of soil and extractable Fe, Mn, Zn, Cu contents with DTPA. A slight decrease in Co, Ni, Cr, Cd concentrations of plant and considerable decrease in extractable Cu content with DTPA of soil were observed by adding humic acid in soils given sewage sludge. Heavy metal toxicity wasn't observed on studied sewage sludge doses and investigated heavy metals except in soil Zn.

Key Words: Sewage sludge, fertilizer, heavy metals, humic acid, corn

Giriş

Son yıllarda kentsel ve endüstriyel atıkların toprak verimliliği için kullanımına ilgi giderek artmaktadır. Arıtma çamuru besin elementlerince zengin olduğu için onun tarım alanlarına uygulanması, bu elementleri tekrar kullanmanın ve doğal kaynakları korumanın iyi bir yolu olabilir. Arıtma çamurunun gübre olarak kullanılması sadece besin elementlerinin tekrar kazanılması bakımından değil, aynı zamanda arıtma çamurunun elden çıkarılması bakımından da önemli bir yaklaşım tarzı olarak kabul görmektedir. Arıtma çamurundaki besin elementlerine ek olarak, kentsel arıtma çamurunun toprağa uygulanması belediyelere yıllık işletim masraflarında da önemli kazançlar sağlayabilir.

Arıtma çamurunun toprağa uygulanması, hem toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirmekte hem de bitkisel verimi artırmaktadır. Ancak, arıtma çamurunun toprağa uygulanması mangan (Mn), çinko (Zn), bakır (Cu), krom (Cr), kobalt (Co), nikel (Ni), kurşun (Pb), selenyum (Se) ve kadmiyum (Cd) gibi ağır metallerin yüksek

oranlarda bulunabilmesi bakımından tehlike oluşturmaktadır. Bu elementlerin bazılarının yüksek oranda bulunması bitkilere toksik etki yapabilmekte iken, kimileri de gıda zincirinde birikerek insan ve hayvanlara bir tehdit oluşturabilmektedir. Bu nedenle, çevre tehlikelerine yol açmamak için, arıtma çamurunun özellikleri ile uygulama sonrası bitki ve topraktaki ağır metal düzeyleri, bitki türüne, iklim ve toprak koşullarına göre deneysel olarak belirlenmelidir.

Tarım topraklarına arıtma çamuru uygulaması, ticari gübreye alternatif olarak veya en azından katkı sağlamak amacıyla yapılmaktadır. Sommers and Nelson (1978), arıtma çamurunun önemli miktarda azot ve fosfor içerdiğini, potasyumun düşük miktarda bulunduğunu bildirmişlerdir. Bununla birlikte, arıtma çamuru önemli fakat değişken miktarlarda Ca, Mg, S ve mikrobeyin elementlerini ve ayrıca düşük miktarlarda da Cd ve Ni gibi metalleri içerebileceği bildirilmiştir (Sommers, 1977). Berthet ve ark. (1989), arıtma çamuru uygulamasına bağlı

¹ Yüzüncü Yıl Üniv. Ziraat Fak. Toprak Bölümü - Van

olarak toprakta ve bitkideki ağır metal (Zn, Cu, Cd, Pb) birikiminin düşük olduğunu ve bu durumun muhtemelen ağır metallerin biyoyararlılığının düşük olmasından kaynaklandığını bildirmişlerdir. Gardiner ve ark. (1995), 5 yıl süreyle hektara 20 ton düzeyinde verilen arıtma çamurunun kireçli bir toprakta yetiştirilen arpa ve ıspanak bitkilerinde ağır metal birikimine etkilerini incelemişlerdir. Arıtma çamuru uygulamaları ile her iki bitkide de Cd kapsamı 6 kat artmış ve toksik sınırı geçmiştir. Araştırmacılar, Zn, Cu ve Ni kapsamının Cd kadar artmadığını ve toksik düzeyin altında kaldığını belirlemişlerdir.

Reed ve ark. (1991) tarafından New York State Üniversitesi ve Amherest Belediyesi işbirliği ile yapılan araştırmada, tarım topraklarına uygulanan arıtma çamurunun ticari gübre alternatifleri olarak kullanım potansiyelini ve ağır metal birikimine yol açıp açmayacağını belirleyebilmek için, toprak ve bitkinin Zn, Cu, Ni, Pb ve Cd konsantrasyonundaki değişiklikler incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, arıtma çamuru ilavesiyle toprağın Cu ve bitkinin Zn içeriklerinde hafif artışlar olduğu ve arıtma çamuru uygulamasının faydalı olduğu görülmüştür. Buğday bitkisi ile yapılan saksı denemelerinde, toprağa artan oranlarda verilen arıtma çamurunun bitki kuru ağırlığı ve azot, fosfor ve potasyum alımını artırdığı belirlenmiştir (El-Dawwey, 1993).

Ormanlıkta arıtma çamuru kullanmanın etkilerini belirleyebilmek amacıyla, Henry ve ark.'nın (1993) 20 yılı aşkın bir süre yaptıkları araştırmada, arıtma çamuru uygulamasının hem genç fidanların hem de ağaçların gelişmesini artırdığını ve genç fidanlara, hektara 47 ton arıtma çamuru uygulamasının bitki boyunda artışa neden olduğunu bildirmişlerdir. Tarımda endüstriyel arıtma çamuru uygulamasının etkilerini değerlendirmek için yaptıkları araştırmada Bellamy ve ark. (1995), kağıt fabrikası arıtma çamurunun besin elementi içeriğinin düşük olduğunu bu nedenle, arıtma çamurunun kimyasal bir gübreden ziyade toprağa organik bir katkı sağlamak için kullanılabileceğini ve çeşitli tarım ürünlerinde arıtma çamuru uygulamasının gelişme ve verimi artırdığını belirlemişlerdir.

Kırımhan ve ark. (1983) Erzurum'da kentsel atık sular ile sulanan topraklarda ve yetiştirilen lahanalar bitkisinde ağır metal birikimini araştırmışlardır. Buna göre, atık su uygulamasına bağlı olarak, Fe, Mn, Zn ve Cu gibi metallerin toprakta ve bitkide biriktiği, ancak bu miktarın toksik düzeyin altında olduğu belirlenmiştir. Anaç ve ark.'nın (1993) Ege Bölgesi zeytinliklerinde, yağ fabrikası arıtma tesisi atıklarının organik gübre alternatifleri olarak kullanımı ve ağır metal toksitesinin belirlenmesi amacıyla yaptıkları araştırmada, arıtma çamurunun ağır metal toksitesine neden olmadığı, incelenen ağırmetallerden, demir, çinko, mangan, bakır, molibden, krom, kobalt, kadmiyum, nikel, talyum ve alüminyumun bitkide toksite sınırına ulaşmadığı ve tarımda gübre olarak kullanılabileceği saptanmıştır.

Humik maddelerin toprakta, fiziksel, kimyasal ve biyolojik olayları etkilediği belirlenmiştir. Yapılan çeşitli araştırmalarda humik asit ve benzer organik materyallerin respirasyon, nitrifikasyon ve azot mineralizasyonu gibi biyokimyasal toprak aktiviteleri ile birlikte çeşitli besin elementlerinin çözünürlüğünü artırdığı bildirilmektedir (Bermudez ve ark. 1993, Benedetti ve ark. 1996)

Humik asitin bitki gelişimi, fosfor ve diğer besin elementleri alımını olumlu yönde etkilediği bilinmektedir (Chen ve Aviad 1990, Wang ve ark. 1995, Escobar ve ark. 1996). Bununla birlikte, arıtma çamuru ilavesiyle toprakta miktarı artan ağır metallerle humik asitin interaksyonuna göre değişmekle beraber, humik maddeler metal kanyonlara kompleksler oluşturarak bitkiler tarafından alınımı etkileyebilmektedirler (Pujola ve ark. 1992, Aleshin ve ark. 1994). Hue ve ark. (1986), EDTA ve organik asitlerin Al toksitesini önlediğini bildirmişlerdir. Blaskova (1994), patates bitkisi ile yaptığı tarla denemelerinde, verilen organik gübrenin sonucu olarak oluşan humik asit ve fulvik asidin Cd ve Pb ile kompleks oluşturduğunu, dolayısıyla, patatesin Cd ve Pb alımlarının etkilendiğini ileri sürmüşlerdir. Yonebayashi ve ark. (1994), humik maddelerin şelatlama etkisinin yüksek pH'da daha belirgin olduğunu ve bu etkiyle topraktaki ağır metallerin alınmaz formlara dönüştüğünü ve humik maddelerin metalleri adsorbe etme gücünün şu sırayı takip ettiğini bildirmişlerdir; Cu>Fe>Zn>Mn.

Toprak reaksiyonu verimliliği etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Bitkilerde mineral beslenme ve ağır metallerin çözünürlüğü büyük ölçüde toprak pH'sına bağlıdır. Arıtma çamuru içerdiği yüksek oranda organik maddeden dolayı toprak pH'sında önemli değişiklikler yapabilmektedir. Little ve ark. (1991) asit topraklarda (pH=4.4-5.5) yetiştirilen mısır bitkisinin gelişmesine ve kimyasal kompozisyonuna kireçle stabilize edilmiş ve kimyasal olarak fikse edilmiş arıtma çamuru uygulamalarının etkisini belirlemek için yürüttükleri sera denemesinde, toprak pH'sını 6.5'e yükseltmek için artan dozlarda kireç uygulamışlardır. Araştırmacılar, hem kireçle stabilize edilmiş hem de kimyasal olarak fikse edilmiş arıtma çamuruna %100 oranında kireç katıldığında maksimum bitki gelişiminin görüldüğünü ve katılan kireç miktarının daha da artırılması durumunda bitki gelişiminde bir azalma ve Zn noksanlığı ortaya çıktığını bildirmişlerdir. Evans ve ark. (1995), arıtma çamuru uygulamasından sonra toprak pH'sındaki değişikliğin Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn gibi ağır metallerin çözünürlüğünü önemli düzeyde artırdığını ve çözünürlüğün muhtemelen mineral veya humik yüzeylerdeki değişken yük alanlarının desorpsiyonu ile ilgili olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Bu araştırmanın amacı, kentsel arıtma çamurunun gübre değerini belirlemek ve bitkide ve toprakta ortaya çıkabilecek toksiteye karşı humik asitin etkisini incelemektir.

Materyal ve Yöntem

Araştırma Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi serasında saksı denemesi olarak yürütülmüştür. Arifiye kompozit mısır çeşidi kullanılan araştırmada her saksıda 4 adet mısır bitkisi 6 hafta süreyle yetiştirilmiştir. Deneme toprağı Yüzüncü Yıl Üniversitesi kampüs alanındaki İnseptisol ordosuna dahil olan toprak grubundan, denemede kullanılan arıtma çamuru ise Yüzüncü Yıl Üniversitesi kanalizasyon arıtma tesisinden alınmıştır. Deneme toprağı ve arıtma çamuruna ilişkin kimi özellikler Çizelge 1'de verilmiştir.

Denemede kullanılan humik asitin özellikleri; organik madde %86, pH 3.5, azot %1, fosfor 44 ppm, potasyum 900 ppm, kalsiyum %3, magnezyum %0.57, kükürt %2.30, demir 8800 ppm, mangan 200 ppm, çinko 23 ppm ve bakır 29 ppm şeklindedir.

Deneme, 1 kg toprak alan saksılarda, 4 tekrarlmalı olarak ve tesadüf parselleri deneme desenine göre yürütülmüştür. Kullanılan arıtma çamuru ağırlık ilkesine göre artan dozlarda (0, %5, %10, %20 ve %30) ve humik asit tek dozda (250 ppm) verilmiş ve buna göre deneme konuları şöyle oluşmuştur;

1. %100 toprak (kontrol)
2. %95 toprak +%5 arıtma çamuru (% 5 AÇ)
3. %90 toprak +%10 arıtma çamuru (%10 AÇ)
4. %80 toprak +%20 arıtma çamuru (%20 AÇ)
5. %70 toprak +%30 arıtma çamuru (%30 AÇ)
6. %95 toprak +%5 arıtma çamuru+250 ppm humik asit (%5 AÇ+HA)
7. %90 toprak+%10 arıtma çamuru+250 ppm humik asit (%10 AÇ+HA)
8. %80 toprak+%20 arıtma çamuru+250 ppm humik asit (%20 AÇ+HA)
9. %70 toprak+%30 arıtma çamuru+250 ppm humik asit (%30 AÇ+HA)
10. %100 toprak +250 ppm humik asit (HA)

40 saksıda yürütülen denemede arıtma çamuru havada kuru hale getirildikten sonra her saksı için ayrı ayrı tartılarak, saksı toprağına karıştırılmıştır.

6 haftalık vejetatif dönem sonunda hasat edilen bitki örnekleri saf su ile yıkanıp sabit ağırlığa gelinceye kadar 70 °C'de kurutulularak, toprak üstü organ ve kök kuru ağırlıkları kaydedilmiştir. Öğütülen bitki örneklerinde (toprak üstü organ) azot Kjeldahl yöntemiyle, fosfor Spektrofotometre ile sarı renk yöntemine göre, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Cr, Ni ve Cd konsantrasyonları, Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresiyle ölçülmüştür (Munos 1968, Kacar 1984).

Deneme toprağında bünye Bouyoucous hidrometresiyle (Bouyoucous 1951), eriyebilir toplam tuz saturasyon çamurunda kondaktivimetre ile Richard

(1954)'e göre belirlenmiştir. pH Jackson'a (1958) göre, kireç kalsimetrik olarak Allison ve Moodie (1965) göre, organik madde modifiye edilmiş Walkley Black metoduyla (Walkley 1947), alınabilir fosfor sodyum bikarbonat yöntemiyle (Olsen ve ark. 1954), değişebilir potasyum, kalsiyum ve magnezyum Thomas'a (1982) göre, nötr 1 N amonyum asetat ile elde edilen ekstraktında, yarayıklı Fe, Mn, Zn, Cu DTPA ile çalkalanarak (Lindsay ve Norvell, 1978) yapılmıştır. Toprakta toplam K, Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Ni, Cr ve Cd yaş yakma metodu ile Khan ve Frankland'a (1983) göre belirlenmiştir.

Arıtma çamurunda organik madde, modifiye edilmiş Walkley Black yöntemiyle (Walkley 1947), pH Jackson'e (1958) göre, toplam azot Kjeldahl yöntemiyle, toplam fosfor yaş yakma yöntemiyle kolorimetrik olarak (Kacar, 1994), yarayıklı fosfor Bray ve Kurtz (1945) tarafından bildirildiği şekilde yapılmıştır. Arıtma çamurunda toplam K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Ni, Cr ve Cd yaş yakmayla Khan ve Frankland'a (1983) göre, Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresinde ölçülmüştür.

Araştırma sonuçlarının varyans analizi ve ortalamalar arasındaki Duncan testi, Costat istatistiksel paket programı ile belirlenmiş, sonuçlar Düzgüneş ve ark. (1987)'nin bildirdiği şekilde değerlendirilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Denemede kullanılan arıtma çamurunun ağır metal içerikleri (Çizelge 1), arıtma çamuru için izin verilen kritik düzeylerle karşılaştırıldığında, Mn, Zn, Cu, Co, Ni, Cr ve Cd yönünden kullanılabilir özellikte olup ve ağır metal tehlikesi taşımamaktadır (Schachtschabel ve ark. 1989).

Çizelge 1. Deneme toprağı ve denemede kullanılan arıtma çamuruna ilişkin kimi özellikler

Deneme toprağı		Arıtma çamuru	
Özellikler		Özellikler	
Tekstür sınıfı	Siltli kil	Organik madde, %	25.0
Organik madde, %	0.81	pH (1:1 Su)	6.06
Kireç, %	10.4	Toplam N, %	1.30
pH (1:1 Su)	8.05	Toplam P, %	0.59
Tuz, %	0.028	Yarayıklı P, ppm	561
Değişebilir K, ppm	507	Toplam K, %	0.41
Yarayıklı P, ppm	6.0	Toplam Ca, %	1.72
Yarayıklı Fe, ppm	2.29	Toplam Mg, %	1.76
Yarayıklı Zn, ppm	0.53	Toplam Fe, %	1.86
Yarayıklı Mn, ppm	4.94	Toplam Zn, %	0.19
Yarayıklı Cu, ppm	4.15	Toplam Mn, ppm	402
Toplam Fe, %	2.52	Toplam Cu, ppm	74
Toplam Mn, ppm	601	Toplam Co, ppm	13.2
Toplam Zn, ppm	56	Toplam Ni, ppm	12
Toplam Cu, ppm	28	Toplam Cr, ppm	51
Toplam Co, ppm	11.5	Toplam Cd, ppm	0.73
Toplam Ni, ppm	26		
Toplam Cr, ppm	61		
Toplam Cd, ppm	0.68		

Artan oranlarda uygulanan arıtma çamuru ve humik asilin mısır bitkisinin toprak üstü organ ve kök kuru ağırlıklarına etkisi Çizelge 2' de verilmiştir. Toprak üstü organ kuru ağırlığı arıtma çamuru uygulanmayan parsellerde en düşük olarak belirlenirken, arıtma çamuru uygulama dozları ile bitki kuru ağırlığı artmıştır. Kontrolde 2.24 g/saksı olan kuru ağırlık, arıtma çamuru ilavesi ile 7.50 g/saksı düzeyine ulaşmıştır. Duncan testi sonuçlarına göre, arıtma çamuru verilen bitkilere 250 ppm humik asit verilmesi veya verilmemesi durumundaki fark istatistiksel olarak önemli olmamıştır (Çizelge 2). Benzer olarak, kök kuru ağırlığı, kontrol ve toprak+humik asit uygulanan saksılarda istatistiksel olarak en düşük belirlenirken, %5 arıtma çamuru dozunda en yüksek kök kuru ağırlığı elde edilmiştir. Arıtma çamuru ile birlikte humik asit uygulaması kök kuru ağırlığını etkilememiştir. Bellamy ve ark. (1995), endüstriyel arıtma çamurunu çeşitli tarım ürünlerinde organik madde kaynağı olarak kullandıkları denemelerde, arıtma çamurunun bitki gelişmesini ve verimi artırdığını bildirmişlerdir. Humik asitin etkisi ile ilgili yapılan bir araştırmada Sözüdoğru ve ark. (1996), artan dozlarda humik asit uygulamalarının fasulye bitkisinin kuru ağırlığını etkilemediğini bildirmişlerdir.

Arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının mısır bitkisinin (toprak üstü organlar) azot içeriğine etkisi Çizelge 2' de görülmektedir. Bitki azot içeriğine arıtma çamuru uygulamalarının etkisi %0.1 düzeyinde önemli olmuştur. Azot içeriği kontrolde %0.68 olarak belirlenirken, arıtma çamurunun artan dozlarına bağlı olarak, bitki azot içeriğinde önemli bir artış olmuş ve en yüksek azot içerikleri arıtma çamurunun %20 ve %30 oranlarında toprağa katılmasıyla elde edilmiştir. Humik asit uygulamasının bitki azot içeriğine etkisi önemli görülmemiştir. En düşük fosfor içerikleri arıtma çamuru verilmeyen saksılardan elde edilirken, arıtma çamuru verilmesiyle bitki fosfor içeriğinde önemli artışlar sağlanmış ve en yüksek fosfor içeriği, toprağa %30 oranında arıtma çamuru ilavesi ile elde edilmiştir. Artan oranlarda arıtma çamuru ilavesi ile bitki fosfor içeriği %0.094' ten, %0.282' ye yükselmiştir. Arıtma çamuru

verilen topraklara 250 ppm humik asit ilave edildiğinde, humik asit verilmeyen uygulamalara göre, bitki fosfor içeriğinin daha düşük olduğu belirlenmiştir (Çizelge 2). Bu azalış humik asit ilavesi ile yararışlılığı artan çinkonun fosforla oluşturduğu antagonistik etkiye bağlanabilir.

Arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının mısırdaki potasyum içeriğine etkisi Çizelge 2' de verilmiştir. Arıtma çamuru ve humik asit uygulamaları bitki potasyum içeriğini önemli düzeyde etkilememiştir. Potasyum içeriği kontrolde %4.97 olarak belirlenirken, %5 arıtma çamuru dozunda % 5.40' a yükselmiştir. Uygulamaların etkisinin önemli bulunmaması, toprağın potasyum içeriğinin yüksek olması ile ilişkilili olabileceği gibi, arıtma çamurunun potasyum içeriğinin düşük olması ile de açıklanabilir. El Dawwey (1993) iki yıl süreyle yürüttüğü denemelerde, toprağa artan oranlarda arıtma çamuru verilmesinin buğdayda azot, fosfor ve potasyum alımlarını artırdığını saptamıştır.

Bitki Ca ve Mg içeriklerine arıtma çamuru uygulamalarının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Kontrol saksılarında kalsiyum içeriği %0.89 olarak belirlenirken, arıtma çamuru toprağa %30 oranında katıldığında, bitki kalsiyum içeriği önemli düzeyde artarak % 1.59 değerine yükselmiştir. Arıtma çamuru verilen saksılara humik asit verilir verilmemesi kalsiyum içeriğini etkilememiştir (Çizelge 2). Bitki magnezyum içeriği arıtma çamuru verilmeyen uygulamalarda (kontrol ve toprak+humik asit) en düşük olarak belirlenirken, artan arıtma çamuru dozları ile düzenli bir şekilde artmış ve %20 -30 arıtma çamuru düzeylerinde en yüksek değerler olan % 0.52 ve % 0.55 'e ulaşmıştır. 250 ppm humik asit ilavesi bitki magnezyum içeriğini etkilememiştir (Çizelge 2). Yapılan bir saksı denemesinde arıtma çamuru ilavesiyle bitkide Ca ve Mg içeriklerinin arttığı belirlenmiştir (Roszyk ve ark. 1989).

Arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının bitkide Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Ni, Cr ve Cd kapsamına etkisi Çizelge 3' te verilmiştir.

Çizelge 2. Arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının mısırdaki bitki kuru ağırlıkları ile toprak üstü organların N, P, K, Ca ve Mg içeriklerine etkisi*

Uygulamalar	Toprak üstü organ kuru ağı. g/saksı	Kök kuru ağı. g/saksı	N %	P %	K %	Ca %	Mg %
Kontrol	2.24 e	2.15 d	0.68 d	0.094 f	4.97	0.89 c	0.22 e
% 5 AÇ	6.56 cd	3.30 a	1.45 c	0.152 de	5.40	0.86 c	0.36 cd
%10 AÇ	6.98 bcd	2.67 bcd	2.48 b	0.225 bc	4.98	0.94 c	0.48 ab
%20 AÇ	7.65 ab	2.83 abc	3.34 a	0.249 b	4.61	1.28 b	0.52 a
%30 AÇ	7.50 ab	2.95 abc	3.41 a	0.282 a	4.43	1.59 a	0.55 a
%5 AÇ+HA	6.32 d	3.26 ab	1.56 c	0.126 e	4.80	0.79 c	0.30 d
%10 AÇ+HA	7.41 ab	2.95 abc	2.75 b	0.165 d	4.97	0.85 c	0.44 bc
%20 AÇ+HA	7.50 ab	3.04 ab	3.39 a	0.206 c	4.86	1.25 b	0.51 ab
%30 AÇ+HA	8.14 a	2.85 abc	3.47 a	0.242 b	4.86	1.49 a	0.55 a
Toprak+HA	2.51 e	2.38 cd	0.59 d	0.096 f	4.99	0.92 c	0.21 e
Önem düzeyi	***	**	***	***	Ö.D.	***	***

x: Değerler 4 tekerür ortalamasıdır.

a, b, c, d, e, f: Aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark kendi grubunda önemli (P>0.05) değildir.

** ve *** ile gösterilen F değerleri sırasıyla %1 ve %0.1 düzeylerinde önemlidir. Ö.D.: Önemli Değil

Bitki Fe içeriğine arıtma çamuru uygulamalarının etkisi istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Duncan testi sonuçlarına göre, en düşük Fe içeriği kontrolde (107 ppm) belirlenirken, artan miktarlarda arıtma çamuru ilavesiyle bitki Fe içeriği (168 ppm) artmıştır. Fe içeriği humik asit verilmeyen arıtma çamuru uygulamalarında biraz daha yüksek bulunurken, bu fark Duncan gruplandırmasında istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Toprağa sadece humik asit verildiğinde elde edilen Fe içeriği kontrolden farksız olmuştur.

Mısır bitkisinde toprak üstü organların Mn, Zn ve Cu içeriklerine arıtma çamuru uygulamalarının etkisi istatistiksel olarak önemli ($P<0.001$) olmuştur. Bitki Mn içeriği kontrolde 31 ppm olarak belirlenirken, %30 arıtma çamuru uygulamasında 158 ppm'e ve %30 arıtma çamuru + 250 ppm humik asit uygulamasında 175 ppm'e yükselmiştir. En düşük bitki Zn kapsamı kontrolde (24 ppm) elde edilirken, uygulamalara bağlı olarak 192 ppm'e kadar ulaşmıştır. Arıtma çamuru ile birlikte humik asit verilmesi Duncan testi sonuçlarına göre, bitkinin Mn ve Zn kapsamını istatistiksel olarak etkilememiştir (Çizelge 3).

Benzer olarak, bitki Cu kapsamı arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarına bağlı olarak artmıştır. Arıtma çamuru %5 ve %10 oranlarında toprağa karıştırıldığında elde edilen bitki Cu kapsamı (7.8 ppm ve 9.7 ppm) kontrolden (8.3 ppm) farksız bulunurken, bu uygulama dozlarına humik asit verilmesi durumunda belirlenen Cu kapsamı (10.5 ppm ve 13.9 ppm) istatistiksel olarak kontrolden yüksek bulunmuştur. Toprağa sadece humik asit verilmesi ile elde edilen bitki Mn, Zn ve Cu kapsamı Duncan harflendirmesinde kontrol ile aynı grupta yer almıştır (Çizelge 3). Farklı dozlarda arıtma çamuru deneyerek yaptığı saksı denemesinde Gültekin (1995), arıtma çamuru uygulamalarının bitki kuru ağırlığını azalttığını ancak, marul bitkisinin N, P, K, Fe, Mn, Zn ve Cu miktarlarını artırdığını belirlemişlerdir. Menelik ve ark. (1991)'nin buğday bitkisi ile yaptıkları tarla denemesi sonuçlarına göre, arıtma çamuru uygulamasının tanede çinko ve bakır kapsamını artırdığı ve mangan, çinko ve

bakır kapsamının arıtma çamuru uygulanan alkalın reaksiyonlu topraklarda daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Bitkide kobalt, nikel, krom ve kadmiyum içeriklerine arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının etkisi Çizelge 3'te görülmektedir. Mısır bitkisinin Co içeriğine arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının etkisi istatistiksel olarak önemli ($P<0.05$) olmuştur. Bitki kobalt içeriği kontrol ve %5, %10, %20 oranlarında arıtma çamuru dozlarında birbirinden farksız bulunmasına karşılık, %30 oranında uygulanan arıtma çamuru ile elde edilen kobalt içeriği bu uygulamalardan yüksek bulunmuştur (Çizelge 3). Arıtma çamuru ile birlikte humik asit verilmesi, Co içeriğinin artmasını istatistiksel olarak önemli düzeyde engellemiştir. Ni içeriğine uygulamaların etkisi önemli olmamıştır. Toprağa arıtma çamuru ve humik asit verilmediğinde bitki Ni içeriği 3.2 ppm olarak belirlenirken, arıtma çamuru uygulamaları ile Ni içeriğinde bir artış görülmüş, ancak istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 3).

Bitkide krom ve kadmiyum kapsamına arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının etkisi önemli bulunmamıştır. Bitkinin Cr kapsamı kontrolde 0.92 ppm olarak belirlenirken, arıtma çamuru uygulamalarıyla 1.32 ppm'e yükselmiştir. Cd kapsamı uygulamalardan hafif bir şekilde etkilenecek 0.42 ppm'den 0.51 ppm'e çıkmıştır. Arıtma çamurunun artan dozlarına paralel olarak Cr ve Cd içeriklerinde bir artış görülse de istatistiksel anlamda önemli olmamıştır.

Artan dozlarda arıtma çamuru uygulanan topraklara sabit dozda humik asit (250 ppm) verildiğinde, istatistiksel olarak önemsiz olmakla birlikte, bitkinin kobalt, nikel, krom ve kadmiyum kapsamlarında azalma eğilimi görülmüştür. Sommers (1984), arıtma çamuru uyguladığı saksılara bitkisel kaynaklı organik gübre verilmesinin bitkinin Zn, Ni ve Cd gibi ağır metal alımlarını azalttığını belirlemiştir. Araştırmacı, bu etkinin mineralizasyon boyunca humik ve fulvik asit gibi materyallerle ağır metallerin şelat oluşmasıyla ortaya çıktığını bildirmiştir.

Çizelge 3. Arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının mısırdaki toprak üstü organların Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Ni, Cr ve Cd kapsamına etkisi (ppm)^x

Uygulamalar	Fe	Mn	Zn	Cu	Co	Ni	Cr	Cd
Kontrol	107 c	31 d	24 d	8,3 c	0,72 b	3,2	0,92	0,42
%5 AÇ	114 c	37 d	73 c	7,8 c	0,80 ab	3,4	1,09	0,49
%10 AÇ	164 ab	101 c	137 b	9,7 bc	0,68 b	2,9	0,97	0,46
%20 AÇ	168 a	141 b	180 a	13,8 a	0,86 ab	3,3	1,03	0,48
%30 AÇ	163 ab	158 ab	180 a	14,7 a	0,96 a	4,3	1,32	0,51
%5 AÇ+HA	117 c	47 d	90 c	10,5 b	0,74 b	2,8	0,94	0,49
%10AÇ+HA	130 abc	88 c	149 b	13,9 a	0,66 b	2,9	0,83	0,50
%20AÇ+HA	138 abc	137 b	192 a	14,0 a	0,64 b	3,0	1,04	0,45
%30AÇ+HA	135 abc	175 a	182 a	13,1 a	0,66 b	4,3	1,29	0,45
Toprak+HA	120 bc	36 d	28 d	8,8 bc	0,70 b	3,4	0,94	0,42
Önem düzeyi	*	***	***	***	*	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.

x: Değerler 4 tekerür ortalamasıdır.

a, b, c, d: Aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark kendi grubunda önemli ($P>0.05$) değildir.

* ve *** ile gösterilen F değerleri sırasıyla %5 ve %0.1 düzeylerinde önemlidir. Ö.D.: Önemli Değil.

Aritma çamuru ve humik asit uygulamaları ile elde edilen besin elementi içerikleri benzer gelişme döneminde mısır bitkisinde bulunabilecek kritik düzeylerle karşılaştırıldığında, bitkinin azot ve fosfor içeriğinin noksanlık-yeterlik sınırında, potasyum, kalsiyum ve magnezyum içeriklerinin fazla, demir, mangan ve bakır içeriklerinin yeterli, çinko içeriğinin ise yüksek olduğu anlaşılmaktadır (Jones ve ark. 1991).

Bitkide belirlenen Co, Ni, Cr ve Cd içeriklerinin izin verilebilir sınır değerlerin altında olduğu belirlenmiştir (Austenfeld 1979, Anonim 1984).

Ağır metallerin topraktaki çözünürlüğü toprak reaksiyonu ile yakından ilgili olduğundan, deneme toprağı pH'sının alkalın ve kireç kapsamının yüksek olması ağır metal toksitesi görülmemesinin nedenlerinden biri olabilir (Little ve ark. 1991, Evans ve ark. 1995).

Aritma çamuru ve humik asit uygulamalarının toprak pH'sı, toprakta yarayışlı fosfor, toplam potasyum, kobalt, nikel, krom ve kadmiyum kapsamlarına etkisi Çizelge 4'te gösterilmiştir. Uygulamaların toprak pH'sına etkisi istatistiksel olarak önemli ($P < 0.001$) bulunmuştur. Kontrolde toprak pH'sı 8.08 olarak belirlenirken, artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile pH sırasıyla, 8.04, 8.01, 7.85 ve 7.44 olarak ölçülmüştür. Arıtma çamuru + humik asit uygulamasının etkisi sadece %20 arıtma çamuru dozunda farklı olmuştur. %20 arıtma çamuru verildiğinde toprak reaksiyonu 7.85 olarak belirlenirken, bu uygulama dozuna 250 ppm humik asit ilave edildiğinde toprak pH'sı önemli derecede düşerek 7.73 olarak ölçülmüştür. Toprağına sadece humik asit verildiğinde belirlenen pH kontrolden farksız olmuştur (Çizelge 2). Arıtma çamuru verilmesinin kontrole göre toprak pH'sında yaptığı 0.64 birimlik önemli düşüş, arıtma çamurunun içerdiği organik maddeye ve dolayısıyla organik maddenin parçalanması ile oluşan organik asitlerin etkisi ile açıklanabilir. Menelik ve ark. (1991), yaptıkları tarla denemesinde, 7.5 olan toprak pH'sının arıtma çamuru uygulaması sonrası 5.7'ye düştüğünü bildirmişlerdir.

Aritma çamuru ve humik asit uygulamalarının sodyum bikarbonat yöntemiyle belirlenen yarayışlı fosfor miktarına etkisi istatistiksel olarak önemli ($P < 0.001$) bulunmuştur. Yarayışlı fosfor miktarı kontrolde (6 ppm) ve toprak + humik asit uygulamalarında (5 ppm) en düşük olarak belirlenirken, arıtma çamuru verilmesiyle önemli düzeyde artarak 69 ppm'e kadar yükselmiştir. %5 arıtma çamuru dozuna humik asit ilave edildiğinde fosfor miktarı 21 ppm'den 27 ppm'e yükselmiştir. Diğer arıtma çamuru dozlarında humik asit ilavesi yarayışlı fosforu önemli derecede değiştirmemiştir. Arıtma çamuru ilavesiyle topraktaki yarayışlı fosfor miktarının bu denli yüksek oranda artması, hem toprak pH'sındaki düşüşten, hem de arıtma çamurunun yarayışlı fosfor içeriğinin yüksek olmasından kaynaklanmış olabileceği tahmin edilmektedir. Kyle ve McClintock (1995), kentsel arıtma çamurunun yarayışlı fosfor içeriğinin oldukça yüksek olduğunu belirlemişlerdir.

Aritma çamuru ve humik asit uygulamalarının toprakta potasyum miktarına etkisi önemli olmamıştır. Uygulamalar potasyum miktarında küçük değişikliklere neden olmakla birlikte, istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Toprakta Co ve Ni içeriklerine uygulamaların etkisi önemli olmamıştır. Kobalt ve nikel içerikleri kontrolde sırasıyla 11.5 ppm ve 22 ppm olarak belirlenirken, arıtma çamuru ve humik asit uygulamaları ile önemli düzeyde değişmemiştir.

Toprakta Cr ve Cd kapsamlarına arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının etkisi önemli olmamıştır. Cr kapsamı kontrolde 61 ppm olarak belirlenirken, uygulamalar ile 66 ppm'e kadar yükselmiştir. Toprak Cd kapsamı kontrolde 0.68 ppm olarak belirlenmesine karşılık, arıtma çamuru uygulamaları ile 0.75 ppm'e çıkmıştır. Ancak, her iki ağır metal için de arıtma çamuru uygulamalarının etkisi istatistiksel anlamda önemli bulunmamıştır.

Çizelge 4. Arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının toprak pH'sı, toprakta yarayışlı P, toplam K, Co, Ni Cr ve Cd kapsamlarına etkisi*

Uygulamalar	pH	Yarayışlı P ppm	K %	Co ppm	Ni ppm	Cr ppm	Cd ppm
Kontrol	8.08 a	6 f	0.41	11.5	21	61	0.68
%5 AÇ	8.04 a	21 e	0.41	12.6	21	63	0.66
%10 AÇ	8.01 a	34 c	0.43	11.3	19	64	0.72
%20 AÇ	7.85 b	56 b	0.40	10.7	16	62	0.68
%30 AÇ	7.44 d	69 a	0.38	10.9	18	62	0.7
%5AÇ+HA	8.02 a	27 d	0.42	12.6	18	62	0.66
%10AÇ+HA	8.02 a	35 c	0.41	12.4	23	65	0.68
%20AÇ+HA	7.73 c	52 b	0.42	11.5	21	66	0.74
%30AÇ+HA	7.44 d	69 a	0.39	10.8	17	61	0.75
Toprak+HA	8.07 a	5 f	0.41	12.4	19	64	0.67
Önem düzeyi	***	***	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.

x: Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

a, b, c, d, e, f: Aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark kendi grubunda önemli ($P > 0.05$) değildir.

*** ile gösterilen F değerleri %0.1 düzeyinde önemlidir. Ö.D.: Önemli Değil

Arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının toprakta bulunan toplam Fe, Mn, Zn ve Cu kapsamına ve DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe Mn Zn ve Cu içeriklerine etkileri Çizelge 5' te gösterilmiştir. Arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının toprakta toplam Fe ve Mn içeriklerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Kontrolde %2.52 olarak belirlenen Fe kapsamı arıtma çamuru + humik asit uygulamaları ile %2.60'a ve kontrolde 601 ppm olarak belirlenen Mn kapsamı %10 arıtma çamuru dozunda 607 ppm'e yükselmesine karşılık, bu değişiklikler istatistiksel anlamda önemli görülmemiştir. Bu etki büyük ölçüde arıtma çamurunun Fe ve Mn içeriklerinin düşük olmasına bağlanabilir.

Toprağın Zn kapsamı uygulamalar ile istatistiksel olarak önemli ($P<0.001$) düzeyde artmıştır. Arıtma çamuru ve humik asit verilmediğinde, Zn kapsamı 52 ppm olarak ölçülürken, uygulanan arıtma çamuru dozlarına paralel olarak toprak Zn kapsamı aşırı düzeyde artmıştır. Arıtma çamuru %30 oranında uygulandığında Zn Kapsamı 448 ppm'e, %30 arıtma çamuru+humik asit uygulamasında 511 ppm'e yükselmiştir (Çizelge 5).

Toprağın Cu kapsamına uygulamaların etkisi önemli ($P<0.001$) olmuştur. Cu kapsamı kontrolde 28 ppm olarak belirlenirken, arıtma çamurunun artan dozları ile sırasıyla 26 ppm, 30 ppm, 29 ppm ve 38 ppm olarak ölçülmüştür. Arıtma çamuru (%30) ilavesi ile elde edilen Cu kapsamı kontrol ve diğer uygulamalardan istatistiksel olarak yüksek bulunmuştur (Çizelge 5). Reed ve ark. (1991) arıtma çamuru uygulamasıyla toprakta Cu miktarının arttığını, ancak bu artışın küçük olduğunu, inceledikleri diğer ağır metaller (Zn, Cd, Ni, Pb) için de toprakta birikmenin olmadığını saptamışlardır.

Toprakta ekstrakte edilebilir Fe kapsamına uygulamaların etkisi istatistiksel olarak önemli ($P<0.001$)

olmuştur. Fe miktarı kontrolde 2.3 ppm iken, arıtma çamurunun artan dozları ile düzenli bir şekilde artarak, %30 arıtma çamuru düzeyinde 11.6 ppm'e ulaşmıştır. Arıtma çamuru ile birlikte humik asit verilmesi demirin yarıyışlılığını artırmıştır. Arıtma çamurunun %5 dozu dışındaki diğer uygulamalarda humik asit ilavesiyle yarıyışlı Fe miktarı daha yüksek bulunmuştur.

Toprakta ekstrakte edilebilir Mn miktarına arıtma çamuru ve humik asit verilmesinin etkisi önemli ($P<0.001$) bulunmuştur. Arıtma çamuru verilmesi ile toprakta yarıyışlı Mn miktarı 4.9 ppm'den, % 30 arıtma çamuru dozunda 20.6 ppm'e yükselmiştir (Çizelge 5). Arıtma çamuru ile birlikte humik asit verilmesi toprakta ekstrakte edilebilir Mn miktarını önemli düzeyde etkilememiştir.

Ekstrakte edilebilir Zn miktarına uygulamaların etkisi çok önemli ($P<0.001$) olmuştur. Arıtma çamuru verilmediğinde Zn miktarı 0.53 ppm olarak belirlenmesine karşılık, artan dozlardaki arıtma çamuru ile sırasıyla, 16.8 ppm, 31.8 ppm, 54.1 ppm ve 87.7 ppm olarak saptanmıştır (Çizelge 5). Arıtma çamurunun %10, %20 ve %30 dozlarına humik asit ilavesi, humik asit verilmemesine göre, ekstrakte edilebilir Zn miktarını artırmıştır.

Arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının Cu miktarına etkisi istatistiksel olarak önemli ($P<0.001$) olmuştur. Kontrolde 4.2 ppm olarak belirlenen Cu miktarı, %30 arıtma çamuru dozunda 5.9 ppm'e yükselmiştir. Arıtma çamuru verilen saksılara humik asit ilavesi, arıtma çamurunun tüm dozlarında, ekstrakte edilebilir Cu miktarında azalmaya neden olmuştur. Bu azalma arıtma çamurunun %5 ve %10 dozlarında istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Benzer olarak, Yonebayashi ve ark. (1994), humik maddelerin şelatlama etkisiyle ağır metallerin alınmaz formlara dönüşebileceğini bildirmişlerdir.

Çizelge 5. Arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının toprakta toplam Fe, Mn, Zn, Cu kapsamına ve DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe, Mn, Zn, Cu içeriklerine etkisi*

Uygulamalar	Toplam				Ekstrakte edilebilir			
	Fe %	Mn ppm	Zn ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm	Cu ppm
Kontrol	2.52	601	56 f	28 cd	2.3 f	4.9 c	0.53 h	4.2 de
%5 AÇ	2.52	568	120 e	26 b	5.6 e	8.1 bc	16.8 g	5.2 abc
%10 AÇ	2.55	607	182 d	30 c	5.9 e	8.6 bc	31.8 f	4.8 bcd
%20 AÇ	2.27	601	254 c	29 cd	7.6 d	10.8 b	54.1 d	4.9 bcd
%30 AÇ	2.26	600	448 b	38 a	11.6 b	20.6 a	87.7 b	5.9 a
%5AÇ+HA	2.52	589	94 ef	26 d	5.4 e	8.9 bc	18.5 g	3.8 e
%10AÇ+HA	2.55	587	173 d	28 cd	7.8 d	9.9 bc	38.8 e	3.9 e
%20AÇ+HA	2.45	580	280 c	36 ab	9.7 c	9.8 bc	67.1 c	4.5 cde
%30AÇ+HA	2.60	580	511 a	34 b	13.8 a	18.4 a	93.9 a	5.5 ab
Toprak+HA	2.32	597	59 f	30 c	2.4 f	6.8 bc	0.53 h	4.5 cde
Önem Düzeyi	Ö.D.	Ö.D.	***	***	***	***	***	***

x: Değerler 4 tekkerür ortalamasıdır.

a, b, c, d, e, f, g, h: Aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark kendi grubunda önemli ($P>0.05$) değildir.

*** ile gösterilen F değerleri %0.1 düzeyinde önemlidir. Ö.D.: Önemli Değil

Toprakta ekstrakte edilebilir Zn ve Fe, kontrol toprağında kritik düzeyde iken, arıtma çamuru uygulamaları sonrası yüksek düzeye ulaşmıştır. Mn ve Cu ise, hem kontrol toprağında hem de uygulama sonrası yeterli düzeyin üzerinde olduğu belirlenmiştir (Follet ve Lindsay 1970; Lindsay ve Norvell 1978).

Arıtma çamuru verilmesiyle toprakta toplam Fe ve Mn kapsamlarının önemli düzeyde değişmemesi, çamurun Fe ve Mn kapsamlarının düşük olmasından dolayı olduğu tahmin edilmektedir. Arıtma çamuru ilavesi ekstrakte edilebilir Fe, Mn, Zn ve Cu miktarları önemli düzeyde artmıştır. Bu etki arıtma çamurunun doğrudan etkisine bağlanabileceği gibi, toprak pH'sındaki önemli azalmanın dolaylı etkisine de bağlanabilir. Kırımhan ve ark. (1983) atık su ile sulanan tarım topraklarında ekstrakte edilebilir Fe, Mn, Zn ve Cu miktarlarının kontrole göre arttığını bildirmişlerdir.

Arıtma çamuru ile birlikte humik asit verilmesi yarayışlı Cu miktarını azaltmıştır. Ancak, bu etki ekstrakte edilebilir Fe, Mn ve Zn'de net olarak görülmemiştir. Humik asitin etkisi arıtma çamurunun yüksek dozlarında azalmış veya verilen humik asit miktarı düşük olabilir. Çünkü, arıtma çamurunun %5 dozuna humik asit ilave edildiğinde, yarayışlı Fe, Mn ve Zn miktarları önemli düzeyde artmamış, hatta Fe miktarında azalma görülmüştür. Cu'da da bu etki zaten %5 ve %10 arıtma çamuru dozlarında daha açık gözlenmiştir (Çizelge .5).

Toprağın incelenen ağır metal içerikleri bulunmasına izin verilen kritik düzeylerle karşılaştırıldığında, Mn, Cu ve Cr kapsamlarının toksik sınırların altında hatta, kontamine olmamış normal topraklarda bulunabilecek değerler civarında olduğu belirlenmiştir. Cd kapsamı biraz yüksek fakat, arıtma çamuru verilmeyen deneme toprağının Cd içeriğine oldukça yakın olduğu, Zn kapsamının ise, izin verilen sınırın üzerinde olduğu görülmüştür (Schachtschabel ve ark. 1989).

Sonuç

Artan oranlarda arıtma çamuru mısır bitkisinin toprak üstü ve kök kuru ağırlığını artırmıştır. Bitkinin N, P, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu ve Co içerikleri arıtma çamuru uygulaması ile kontrole oranla önemli düzeyde artmıştır. Bitkinin Ni, Cr ve Cd içeriklerinde kontrole göre bir artış görülmekle beraber, bu artış istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Bitkide belirlenen ağır metaller toksik düzeyin altında bulunmuştur.

Arıtma çamuru ile birlikte humik asit verildiğinde, humik asit verilmeyen uygulamalara göre, bitkinin Co içeriğinde önemli bir azalma görülmüştür. Arıtma çamuru+humik asit uygulamaları, humik asit verilmemesine göre, istatistiksel olarak önemsiz olmakla birlikte, Ni, Cr ve Cd içeriklerinde düşüş ve bitki kuru ağırlıklarında artış sağlamıştır.

Deneme toprağına %5, %10, %20 ve %30 oranlarında arıtma çamuru uygulanması toprak pH'sında

azalmaya ve toprakta yarayışlı fosfor miktarında artışa neden olmuştur. Toprakta toplam Fe, Mn, Co, Ni, Cr ve Cd kapsamlarına uygulamaların etkisi önemli bulunmamıştır. Toprakta, toplam Zn, Cu ve ekstrakte edilebilir Fe, Mn, Zn ve Cu miktarları arıtma çamuru uygulamaları ile istatistiksel olarak çok önemli düzeyde artmıştır. Arıtma çamuru ile birlikte humik asit verilmesi, sadece arıtma çamuru verilmesine göre, ekstrakte edilebilir Fe ve Zn miktarlarında artış, Cu' da ise azalmaya neden olmuştur.

Kentsel arıtma çamuru, bitkinin azot ve fosfor gereksinimini karşılamada ve Fe, Mn, Zn, Cu miktarlarının artırılmasında önemli katkılar sağlayabileceği düşünülmektedir. Van Yöresi toprakları genellikle alkalin reaksiyonlu oldukları için, bitkilerde sıkça mikrobeselementi eksiklikleri görülmektedir. Bu nedenle, toprakların kireç bakımından da zengin olduğu göz önüne alındığında, arıtma çamuru kullanımının uygun olacağı görüşüne varılabilir. Denenen arıtma çamuru dozlarında ve incelenen ağır metaller için, Zn dışında toksite tehlikesi görülmemiştir. Toksite sınırına arıtma çamuru %30 oranında uygulandığında ulaşılmıştır. Humik asit uygulamalarının etkisi arıtma çamuru kadar belirgin olmamıştır. Ancak, humik asit uygulamaları bitkide Cu ve Co ile toprakta ekstrakte edilebilir Fe, Zn ve Cu miktarlarını istatistiksel olarak önemli düzeyde etkilemiştir. Humik asitin etkisinin çok belirgin olmaması uygulama dozunun düşük olmasından kaynaklanmış olabilir.

Kaynaklar

- Aleshin, E. P., T. F.Bochko and A. K. Sheudzhen, 1994. Change in fractional and group composition of humus in the soils of rice fields when using microfertilizers. Russian Agricultural Sciences, No: 9 33-35.
- Allison, L. E. and C. D. Moodie, 1965. Carbonate. In: C. A. Black et al (ed.) Method of Soil Analysis, Part 2, 9: 1379-1400. Am. Soc. of Agron, Inc. Madison, Winconsin, U.S.A.
- Anaç, D., H. Hakerlerler, M. E. ve İrgüt, 1993. Yağ fabrikası arıtma tesisi atıklarının zeytinliklerde organik gübre alternatif olarak kullanılması. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 30 (3) 23-32.
- Anonymous, 1984. Manuel for Land Application of Treated Municipal Wastewater and Sludge. Environmental Protection Programs Directorate.
- Austenfeld, F. 1979. Zur phytoxisalat von nickel und cobaltsalzen in hidro culture bei phaseolus vulgaris. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd., 142 786-791.
- Bellamy, K. L., C. Chang and R. A. Cline, 1995. Paper sludge utilization in agriculture and container nursery culture. Journal of Environmental Quality, 24 (6) 1074-1082.
- Benedetti, A., A. Figliolla, C. Izza, S. Canali and G. Rossi, 1996. Some thoughts on the physiological effects of humic acid: interactions with mineral fertilizers. Agrochimica, 40 (5-6) 229-240.
- Bermudez, D., M. Juarez, J. Sanchez-Andreu and J. D. Jorda, 1993. Role of EDDHA and humic acids on the solubility of soil phosphorus. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 24 (7-8) 673-683.
- Berthet, B., J. C. Amiard, C. Amiard Triquet, C. Maillet, C. Metayer, J.L. Bahec, M. Letard and J. Pelletier, 1989. Fate of metals linked with sewage sludge or municipal refuses used as improvements in market gardening. Wat. Sci. Tech., 21 (12) 1917-1920.

- Blaskova, E. 1994. Cadmium, lead, mercury, in the soil and in potatoes under irrigated conditions. *Vedecke Prace Vyskumneho Ustavu Zavlaha Hospodarstva v Bratislava*, 21 127-138.
- Bouyoucous, G. D. 1951. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of the soil. *Agronomy J.*, 43 434-438.
- Bray, R. H. and L. T. Kurtz, 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, 59 39-45.
- Chen, Y. and T. Aviad, 1990. Effects of humic substances on plant growth. In: *Humic substances in soil and crop science; selected readings*, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, pp. 161-186.
- Düzgüneş, O., T. Kesici, O. Kavuncu ve F. Gürbüz, 1987. *Araştırma ve Deneme Metotları (İstatistik Metotları -II)*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 1021, Ankara, 381 s.
- El Dawwey, G. M. 1993. Effectiveness of sewage sludges and basic slag on wheat plants grown in sandy calcareous and loamy soils. *Assuit Journal of Agricultural Sciences*, 24 (4) 171-184.
- Escobar, R. F., M. Benloch, D. Barranco, A. Duenas and J. A. G. Ganan, 1996. Response of olive trees to foliar application of humic substances extracted from Leonardite. *Scientia*, 66 191-200.
- Evans, L. J., G. A. Spiers and G. Zhao, 1995. Chemical aspects of heavy metal solubility with reference to sewage sludge amended soils. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 59 (2-4) 291-302.
- Follet, R. H. and W. L. Lindsay, 1970. Profile distribution of zinc, iron, manganese and copper in Colorado soils. *Colorado Exp. Sta. Tech. Walsh and J.D. Bealon, Soils Science Society of America. Inc. Medison, Winconsin, USA*.
- Gardiner, D. T., R. W. Miller, B. Badamchian, A. S. Azzari and D. R. Sisson, 1995. Effects of repeated sewage sludge applications on plant accumulation of heavy metal. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 55 (1) 1-5.
- Gültekin, N. 1995. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi kanalizasyon atıklarının gübre değerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, Van*.
- Henry, C. L., D. W. Cole, T. M. Hinckley and R. B. Harrison, 1993. The use of municipal and pulp and paper sludge to increase production in forestry. *Journal of Sustainable Forestry*, 1 (3) 41-55.
- Hue, N. V., G. R. Cradack and F. Adams, 1986. Effects of organic acids on aluminum toxicity in subsoil. *Soil Sci. Soc. Am.*, 50 28-34.
- Jackson, M. 1958 *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall, Inc. New-Jersey, USA.
- Jones, J. R., J. B. Wolf and B. Mills, 1991. *Plant Analysis Handbook*. Micro Macro Publishing, Inc.
- Kacar, B. 1984. *Bitki Besleme Uygulama Klavuzu*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 900, Uygulama Klavuzu: 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, K. D. and B. Frankland, 1983. Chemical forms of Cd and Pb in some contaminated soils. *Environmental Pollution*, 6 15-31.
- Kırımhan, S., M. T. Sağlam ve S. Karakaplan, 1983. Erzurum'da kentsel atık sular ile sulanan tarım topraklarında kimyasal kirlenme II. Toprakta ve bitkide ağır metal birikimi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 14 (3-4) 13-22.
- Kyle, M. A. and S. A. McClintock, 1995. The availability of phosphorus in municipal wastewater sludge as a function of the phosphorus removal process and sludge treatment method. *Water Environment Research*, 67 (3) 282-289.
- Lindsay, W. L. and W. A. Norvell, 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of American Journal*, 42: 421-428.
- Little, D. A., R. B. Renau and D. C. Martens, 1991. Lime stabilized and chemically fixed sewage sludge as lime amendents. *Bioresource Technology*, 37 (1) 93-102.
- Menelik, G., R. B. Renau, D. C. Martens and T. W. Simpson, 1991. Yield and elemental composition wheat grain as influenced by source and rate of nitrogen. *Journal of Plant Nutrition*, 14 (2) 205-217.
- Munos, R. C. 1968. *Atomic Absorbsiyon Spectroscopy* Elsevier P. Company, Newyork.
- Olsen, S. R., V. Cole, F. S. Watanabe and L. A. Dean, 1954. Estimations of available phosphorus in soils by extractions with sodium bicarbonate. U.S. Dept of Agric. *Circ.* 939.
- Pujola, M., J. Sana, N. Senesi and T.M. Miano, 1992. Effect of organic fertilizer on functional groups of humic acids in soil. Humic substances in the global environment and implications on human health: Proceedings of the 6 th International Meeting of the International Humic Substances Society, September 20-25, 1992, 695 -700.
- Reed, B. E., P. E. Carriere and M. R. Matsumoto, 1991. Applying sludge on agricultural land. *Biocycle*, 32 (7) 58-60.
- Richard, L. A. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils*. Handbook: 60, U.S. Dept. of Agriculture.
- Roszyk, E., Z. Splak and S. Roszyk, 1989. The influence of sewage sludge on yield and chemical composition of plant. *Polish Journal of Soil Science*, 22 (2) 79-84.
- Schachtschabel, P., Blume, H. P., Brümmer, G., Hartge, K. H. and U. Schwertmann, 1989. *Toprak Bilimi. Çevirenler. Özbek, H., Z. Kaya, M. Gök, ve H. Kaptan, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 73, Ders Kitapları Yayın No:16, 1993, Adana, 816 s.*
- Sommers, L. E. 1977. Chemical composition of sewage and analysis of their potential use as fertilizers. *J. Environmental Quality*, 6 225-232.
- Sommers, B. 1984. Causes, development, and diagnosis of symptoms resulting from mineral element deficiency and excess. In: *Nutritional Disorders of Plants*. Ed.: W. Bergmann, Leipzig.
- Sommers, L. E. and D. W. Nelson, 1978. Analysis and their interpretation for sludge application to agricultural land. In *Application of Sludges and Wastewaters on Agricultural Land: A Planning and Educational Guide*, Ed. B.D. Knezek and R.H. Miller McD 35, USEPA, Washington.
- Sözüdoğru, S., C. Kütük, R. Yalçın ve S. Usta, 1996. Humik asitın fasulye bitkisinin gelişimi ve besin maddeleri alımı üzerine etkisi. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 1452, Bilimsel Araştırma ve İncelemeler: 800, Ankara*.
- Thomas, G. W. 1982. Exchangeable cations. P. 159-165. *Chemical and Microbiological Properties*. Agronomy Monography No:9, A.S.A.-S.S.S.A., Madison, Winconsin, USA.
- Walkley, A. 1947. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and inorganic soil constituents. *Soil Science*, 63 251-263.
- Wang, J., J. Q. Wang and S. G. Li, 1995. The effect of humic acids on the availability of phosphorous fertilizers in alkaline soils. *Soil Use and Management*, 11 (2) 99-102.
- Yonebayashi, K., M. Okazaki, J. Pechayapisit, P. Vijarnsom, A. B. Zahari and K. Kyuma, 1994. Distribution of heavy metals among different bonding forms in tropical peat soils. *Soil Science and Plant Nutrition*, 40 (3) 425-434.