

TOPRAĞA UYGULANAN KENTSEL ARITMA ÇAMURUNUN DOMATES BİTKİSİNE ETKİSİ* I. BİTKİ BESİNLERİ VE AĞIR METAL İÇERİKLERİ

Bülent TOPCUOĞLU¹ M. Kubilay ÖNAL¹ Nuri ARI²

¹Akdeniz Üniv. Teknik Bilimler MYO Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü Programı, Antalya

²Narenciye ve Seracılık Araştırma Enstitüsü, Antalya

Özet

Sera denemesinde iki yıl yinelemeli olarak toprağa uygulanan farklı kentsel arıtma çamurlarının domates bitkisinde bitki besinleri ve ağır metal içerikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Toprağa artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurları ile ilgili olarak her iki yıl domates bitkisinin N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, Pb, Ni ve Cd içerikleri artmıştır. Arıtma çamurlarının niteliklerindeki farklılık, uygulandığı toprakta yetişen bitkilerin mineral içeriklerine yansımıştır. Arıtma çamurlarının yinelemeli uygulamalarında bitkide daha yüksek mineral içerikleri belirlenmiştir. Toprağa uygulanan çamurlar düşük düzeylerde bitki gelişimini olumlu etkilemiş, fakat yinelemeli uygulamalarda ve yüksek uygulama düzeylerinde, fitotoksosite ve yüksek ağır metal içerikleri belirlenmiştir. Yüksek düzeyde tuz ve mineral içeren çamur tipinin ikinci yıl uygulamaları, domates bitkisinde gelişimde duraklama ve toksik etkisi yapmış, Cd ve Pb gibi ağır metaller bitkide insan sağlığı için izin verilen sınır değerleri aşmıştır. Kentsel arıtma çamurunun sera toprağına yinelemeli uygulamalarının sonucu olarak, bitkide saptanan fitotoksosite ve ağır metallerin birikimi, çamur etkilerinin farklılıkları üzerindeki bulgular arıtma çamurlarının tarımda güvenli geri kazanımı üzerindeki endişelere örnek teşkil etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Arıtma Çamuru, Domates, Bitki Besinleri, Ağır Metaller.

Effects of The Soil Applications of Municipal Sewage Sludge on Tomato Plant I. Plant Nutrients and Heavy Metal Contents

Abstract

In greenhouse experiment, the effects of different sewage sludges applied repeatedly to soil at different application rates for two years on plant nutrient and heavy metal contents of tomato plant were examined. N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, Pb, Ni, and Cd in leaves of tomato plant were increased by the increasing applications of sludge rates for each year. Differences of the sludge characteristics are reflected to mineral contents of plants grown on sludge-applied soil. Mineral contents of tomato plant were higher in the second year by successive sludge applications. At low rates either of these sludges affected plant growth well, but phytotoxicity and heavy metal accumulation were determined by higher sludge application rates and successive sludge treatments. The second year, growth retard and phytotoxic effects were observed and accumulation of Pb and Cd in tomato were exceeded the acceptable range limits for human consumption in sludge type used which containing higher salt and mineral contents. The findings on the effects of sludge differences, phytotoxicity and heavy metals accumulation in plant as a result of successive years applications of municipal sludge to greenhouse soil could be thought a noticeable examples for the safety reuse concerns of sludge in agriculture.

Keywords: Sewage sludge, tomato, plant nutrients, heavy metals

1. Giriş

Günümüzde çevre kirliliğinin giderilmesinde geliştirilen ve uygulamaya konulan çevre teknolojisi sistemlerinden kentsel ve endüstriyel arıtma tesislerinde atık sular arıtılıp doğaya tekrar kullanılabilir olarak salınırken, sistemin diğer çıktısında dikkate değer miktarda arıtma çamuru bulunmaktadır. Kentsel atıksu arıtma çamuru (arıtma çamuru) kentsel atıksu arıtımının kaçınılmaz bir son ürünüdür ve atıksuyun arıtımından kalan birçok

kirleticileri içermektedir. Arıtma çamuru çoğunlukla organik madde ve besin yüklü organik katılardan oluşan ve arıtma tekniğine bağlı olarak kıvamı bulamaç yada kuru formda değişebilen konsantre katılar süspansiyonudur. Arıtma çamuru miktarının; kanalizasyondan yararlanan nüfusun artışı, endüstrileşmenin yaygınlaşması ve daha fazla sayıda atıksu arıtma tesislerinin hizmete girmesiyle daha da artacağı beklenmektedir. Arıtma çamuru miktarının

*: Bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından desteklenmiştir.

giderek artması ve ayrıca kimyasal madde çeşitliliğinin gittikçe çoğalması sonucu çamurların yok edilmesi büyük bir sorun haline gelmiştir.

Çamur bertarafı atıksu idaresi maliyetinin daima önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Mevcut yöntemlerle bu sorun çözülemediği için, bu konuda yeni araştırmalar yapma zorunluluğu doğmuştur. Birçok ülkede geçmiş 20 yıldan uzun bir süredir belirli çamur bertarafı pratikleri (okyanus deşarjları ve arazi dolguları gibi) üzerinde yasal sınırlamalar getirilmiş, buda arıtma çamurunun tarımsal kullanımının artan bir şekilde ekonomik bir alternatif bertaraf yolu görülmesine yol açmıştır. Bu güne kadar yapılan araştırmaların ortak bulgusu, çamurların bitki yetiştirmek bakımından ekonomik bir değer taşıdığı hususunda hiç bir kuşkunun bulunmamasıdır.

Tarımda üretimin sürdürülebilirliği ve bitkiden yüksek verimliliğin elde edilmesinde toprak verimliliğinin korunması ve geliştirilmesi en önemli etmenler arasındadır. Örtü altı yetiştiricilikte toprak fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin verim ve kalite üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Örtü altı yetiştiricilikte yoğun sulama, toprak işleme, kimyasal gübreleme, ilaç vb. uygulamaları ile toprak fiziksel ve kimyasal özellikleri çoğu kez olumsuz etkilenmektedir. Yoğun tarım sistemlerinde toprak verimliliğinin korunması ve geliştirilmesinde toprağa yeterince organik madde ilavesinin gereği kaçınılmazdır.

Arıtma çamurları yaklaşık olarak kuru madde de % 50-70 oranında organik madde ve önemli derecede bitki besinleri içerdiklerinden son yıllarda dikkate değer bir sıra dışı toprak organik maddesi ve organik gübre kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Arıtma çamurunun bitki besin değerinin ahır gübresi ve organik komposta benzer olduğu (Tabatabai ve Frankerberger, 1979; Sommers, 1997) ve bitkilerin gelişimi için gerekli tüm elementleri içerdiği (Linden ve ark., 1983) bildirilmiştir. Uzun yıllar işlenen topraklarda Zn ve Cu gibi iz elementlerin sık sık eksikliğinin ortaya çıkabileceği (Martens ve Westermann, 1991) ve arıtma çamuru uygulamalarının bu metallerin eksikliğini

gidermede yardımcı olabileceği (Logan ve Chaney, 1983) bildirilmiştir. N ve P için arıtma çamuru agronomik oranlarda uygulandığında gerekli diğer besin elementlerinin çoğunun (potasyumun istisnasıyla) bitkinin ihtiyacını yeterince karşılayabileceği bildirilmiştir (Chaney, 1990).

Arıtma çamurunda bitki gereksinmesini karşılamak üzere formüle edilen ticaret gübrelere benzemeyen şekilde bitki besin içerikleri kontrol dışı bulunmaktadır. Bu nedenle bir besinin gereksinmesini karşılamak için agronomik miktarlarda uygulanan arıtma çamuru diğer besinlerin düzeylerinin fazla yada eksik olmasına neden olabilmektedir (Anonymous, 1996). Ayrıca arıtma çamurunda, arıtma sistemine gelen atık suyun özelliklerine ve arıtma sisteminin prosesine bağlı olarak sistemden çıkan çamurun yüksek tuz, pH, ağır metal ve toksik maddeler vb. içerebilmesi ve bu materyalin uygulandığı bir çok toprakta ağır metal birikimine rastlanması, bu zengin organik madde kaynağının kullanımında sınırlayıcı unsurlar olarak değerlendirilmektedir

Birçok patojen ve kirlenici içeren arıtma çamurunun kullanımına artan ilgi ve teşvik, bu geri kazanım pratiklerinin çevresel sonuçları ve potansiyel sağlık tehlikesi üzerinde artan bir sosyal endişe yaratmaktadır. Göreceli olarak yüksek düzeylerde ağır metal içeren arıtma çamurunun büyük miktarlarda üretimi, bu materyalin yeni ekolojik problemlere yol açmaksızın güvenli bertarafı için çözüm gereksinimini artırmaktadır.

Bu çalışmada bitkiye etkisi yönünden; iki farklı bölgenin arıtma tesisinden alınan ve toprağa uygulanan ihtimar edilmiş kentsel arıtma çamurunun domates bitkisinde yapraktaki bitki besin maddeleri ve ağır metal içerikleri ile sonraki yetiştirme dönemlerinde birikim etkileri incelenmiştir.

3. Materyal ve Yöntem

Sera denemesinde toprağa değişik miktarlarda uygulanan kentsel arıtma çamurunun 2 yıl toprağa yinelemeli

uygulamalarında domates bitkisinde N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu Cd, Ni, Pb ve Cr içerikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Deneme plastik örtülü serada gerçekleştirilmiş ve domates bitkisi 15 kg mutlak kuru toprak alan plastik saksılarda yetiştirilmiştir.

Denemede Antalya merkez ilçe topraklarının çoğunluğunu oluşturan Akdeniz kuşağı toprak grubunda yer alan 'Kırmızı Akdeniz Toprağı' bakir alandan alınarak kullanılmıştır. Toprak örneği 0-20 cm' den alındıktan sonra 2 mm'den elenerek hava kuru halde denemede kullanılmıştır.

Denemede kullanılan arıtma çamurları için materyal olarak; arıtma tesisine giren atıksu karakteristikleri farklı olan ve arıtma çamurunun özellikleri yönünden farklılık gösteren iki ayrı bölgedeki arıtma ünitesinden:

1. *Akdeniz Çamuru*: Akdeniz Üniversitesi Arıtma Tesisinden (Akdeniz üniversitesi kampüs alanındaki tüm hizmet binaları, Üniversite personel mutfağı, lojmanlar, hastane binaları, öğrenci yurtları ve laboratuvarlardan gelen atıksuları arıtmaktadır) ve

2. *Gatab Çamuru*: GATAB Altyapı A.Ş. Arıtma Tesisinden (Antalya-Kemer ilçesinin tüm belediye sınırları içindeki konutlar, işyerleri ve turizm tesislerinden gelen atık

suları arıtmaktadır) yaz mevsiminde (Haziran) alınmıştır.

Taze arıtma çamuru alındıktan sonra, 3 ay süre ile açıkta ihtimar edilmiş, havada kurutulmuş ve 2 mm'den elenerek toprağa uygulanmışlardır.

Deneme Toprağında ve Arıtma Çamuru Örneklerinde tekstür hidrometre yöntemi ile (Bouyoucos, 1951); pH (1:2.5 sulandırılmış örnekte) pH metre ile (Grewelling ve Peech, 1960); iletkenlik, saturasyon çamurunda E.C. metre ile (Hızalan ve Ünal, 1966); CaCO₃, kalsimetre ile (Çağlar, 1949); organik madde, Walkley-Black yaş yakma yöntemiyle (Jackson, 1962); toplam azot Kjeldahl yöntemiyle (Bremner, 1965); yarıyışlı fosfor, NaHCO₃ ekstraksiyonu ile (Olsen ve ark., 1954); değişebilir K, Ca, Mg ve Na 1 N nötr amonyum asetat ekstraksiyonu ile (Pratt, 1965); yarıyışlı Fe, Cu, Zn, Mn, DTPA ekstraksiyonu ile (Lindsay ve Norwell, 1978); ekstrakte edilebilir Pb, Ni, Cd, DTPA ekstraksiyonu yöntemi ve bitkiye yarıyışlı Cr, kolorimetrik difenilkarbazid yöntemi ile (Kacar, 1995) belirlenmiştir.

Denemede kullanılan organik materyallerin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Toprak analizlerinde deneme toprağının killi-tın bünyeli, düşük düzeyde

Çizelge 1. Deneme Toprağının ve Arıtma Çamurlarının Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.

Ölçütler	Deneme Toprağı	Akdeniz Çamuru	Gatab Çamuru
Tekstür	Killi tın	-	-
pH, (1:2 w/v)	7,8	6,1	7,6
CaCO ₃ , %	3,4	10,5	1,6
E.C. , µS/cm	300	1659	4590
Organik Madde, %	2,5	44	58
Toplam N, %	0,148	3,24	4,66
Yarıyışlı Fosfor (NaHCO ₃ ekst.), µg g ⁻¹	11	200	597
Değişebilir Potasyum (1 N NH ₄ Ac ekst.), µg g ⁻¹	282	700	2700
Değişebilir Kalsiyum (1 N NH ₄ Ac ekst.), µg g ⁻¹	2251	1750	800
Değişebilir Magnezyum (1 N NH ₄ Ac ekst), µg g ⁻¹	403	550	1850
Değişebilir Sodyum (1 N NH ₄ Ac ekst), µg g ⁻¹	315	588	674
Çinko (DTPA Ekstrakte Edilebilir), µg g ⁻¹	3,2	910	554
Demir (DTPA Ekstrakte Edilebilir), µg g ⁻¹	0,54	14,6	56,4
Mangan (DTPA Ekstrakte Edilebilir), µg g ⁻¹	7,6	26,6	73
Bakır (DTPA Ekstrakte Edilebilir), µg g ⁻¹	0,82	4,04	4,84
Kurşun (DTPA Ekstrakte Edilebilir), µg g ⁻¹	1,06	7,38	15,8
Nikel (DTPA Ekstrakte Edilebilir), µg g ⁻¹	0,82	16,0	22,2
Kadmiyum (DTPA Ekstrakte Edilebilir), µg g ⁻¹	0,11	0,54	0,60
Krom (Difenilkarbazid Yöntemi), µg g ⁻¹	0,20	0,43	0,43

tuzlu, hafif alkalin reaksiyonlu, az kireçli, organik madde miktarı orta derecede, yarayışlı P yeter düzeyde, değişebilir K ve Ca yüksek, Mg yeter düzeyde, ekstrakte edilebilir Zn, Mn ve Cu düzeylerinin yüksek, Fe düzeyinin düşük olduğu saptanmıştır.

Denemede kullanılan arıtma çamurlarından Akdeniz çamurunun hafif asit reaksiyonlu, orta düzeyde kireçli, az tuzlu olduğu, Gatab çamurunun hafif alkalin reaksiyonlu, çok az kireçli, ve çok tuzlu olduğu belirlenmiştir. Her iki çamur örneğinde organik madde, değişebilir K, Ca, Mg, Na ekstrakte edilebilir Zn, Fe, Mn, Cu içeriklerinin çok yüksek olduğu belirlenmiştir. Arıtma çamurlarının ekstrakte edilebilir Pb, Ni, Cd ve Cr içerikleri deneme toprağının içeriğinden yüksek bulunmuştur. Yarayışlı P, değişebilir K, Mg, Na, ekstrakte edilebilir Fe, Mn, Cu, Pb, Ni ve Cd içerikleri Gatab çamurunda daha yüksek iken değişebilir Ca ve ekstrakte edilebilir Zn içerikleri Akdeniz çamurunda daha yüksek belirlenmiştir.

Arıtma çamuru Çizelge 2’de verilen miktarlarda hava kuru olarak mutlak kuru ağırlık esasına göre saksılara uygulanarak toprakla karıştırılmış, toplam ağırlık 15 kg’ma tamamlanmıştır.

Çizelge 2. Arıtma Çamuru Uygulama Düzey ve Miktarları.

Çamur Uygulama Düzeyleri	Uygulama Miktarı, g/saksı
0 (Kontrol)	0
1	75
2	150
3	300
4	600
5	1200

Tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak serada saksılar düzenlenmiştir. Denemede her bir saksıya bir adet sağlıklı hibrid domates fidesi (Target F1) bahar yetiştirme döneminde şaşırtılmış, denemede saksıdaki topraklar tarla kapasitesinde sulanarak, sera koşullarına uygun yetiştirme ve düzenli fenolojik gözlemler yapılmıştır. Domates bitkileri 6. meyve salkımı aşamasına kadar yetiştirilmiştir. Denemede bitkilerden analiz

için yaprak örnekleme I. çiçek salkımındaki meyvelerin olgunlaşma aşamasında gelişimini tamamlamış yapraklardan yapılmıştır. Analiz için alınan yaprak örnekleri usulüne uygun olarak yıkanıp, 65°C’ de fırında kurutulduktan sonra öğütülmüş ve sonraki analizler için muhafaza edilmiştir.

Arıtma çamurunun bitki gelişimi ile yapraktaki bitki besin maddeleri ve ağır metal içeriklerinin birikimi üzerine sonraki yetiştirme dönemlerinde yineleme etkilerinin incelenmesi bakımından aynı saksılardaki toprağa bir sonraki yıl aynı yetiştirme döneminde deneme deseninde belirtilen düzeylerde ilave çamur uygulanarak, deneme ikinci dönem bitkilerinde yinelenmiş, sonuçlar birlikte toplu olarak değerlendirilmiştir.

Kurutulmuş bitki örneklerinde toplam N Kjeldahl yöntemiyle (Bremner, 1965); HNO₃+HClO₄ karışımı ile yaş yakılmış bitki örneklerinde, toplam P molibdofosforik sarı renk yöntemi ile, toplam K, Na alev fotometresi ile (Kacar, 1972), toplam Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr atomik absorpsiyon spektrometresi ile (Anonymous, 1973) belirlenmiştir.

Elde olunan verilerde varyans ve LSD analizleri MSTAT bilgisayar programında yapılmıştır.

4. Bulgular

Toprağa I. ve II. yıl uygulanan arıtma çamurlarının domates bitkisinin yaprak mineral içeriğine ilişkin bulgular Çizelge 3’de sunulmuştur. İlgili çizelgelerde, uygulanan çamur düzeylerinin etkilerine ilişkin varyans ve LSD analizleri ile çamur farklılığının ve yineleme (yıl) varyasyonunun etkilerine ilişkin varyans analizleri de verilmiştir.

4.1. Arıtma Çamurlarının Uygulama Düzeylerinin Domates Bitkisine Etkileri

4.1.1. Akdeniz Çamurunun Etkisi

Toprağa uygulanan arıtma çamurlarının uygulama düzeyleri her iki yıl

domates bitkisinin N, P, K, Ca, Fe, Zn, Cu, Ni, Cd ve Cr içerikleri üzerine önemli etki yapmış, Mg ve Mn içerikleri üzerine I. yıl, Pb içeriği üzerine II. yıl önemli etki yapmıştır (Çizelge 3).

Domates bitkisinde, toprağa artan miktarlarda arıtma çamuru uygulamalarıyla ilgili olarak; yaprakta N, P, K, Ca, Fe, Zn, Ni, Cd, Cr içerikleri her iki yıl artmış, Mg ve Mn içerikleri I. yıl, Cu ve Pb içerikleri II. yıl artış göstermiştir (Çizelge 3).

4.1.2. Gatab Çamurunun Etkisi

Toprağa uygulanan arıtma çamurlarının uygulama düzeyleri yaprakta N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, Pb ve Cr içerikleri üzerine her iki yıl önemli etki yaparken, Ni ve Cd içerikleri üzerine I. yıl önemli etki yapmıştır (Çizelge 3).

Toprağa uygulanan arıtma çamurlarının uygulama düzeyleriyle ilgili olarak yaprakta N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Pb, Cr içerikleri artan çamur uygulama düzeyleriyle ilgili olarak her iki yıl, Ni ve Cd içerikleri I. yıl artış göstermiştir (Çizelge 3).

Çamur uygulamalarının 5. düzeyinde II. yıl domates bitkileri bütün yinelemelerde gelişmemiş ve ürün alınamamıştır.

4.2. Domates Bitkisinde İncelenen Ölçütler Üzerine Toprağa Farklı Arıtma Çamuru Uygulamalarının Etkisi

Toprağa uygulanan Akdeniz ve Gatab çamurlarının I. yıl yaprakta P, K, Mg ve Zn, II. yıl, yaprakta Pb ve Cd içerikleri üzerine etkileri önemli bulunmuştur (Çizelge 3)

Toprağa Gatab çamuru uygulamalarında her iki yıl yetişen domates bitkisinin yaprakta N, Ca, Mn ve Ni içerikleri toprağa Akdeniz çamuru uygulamalarının oluşturduğu etkiden daha yüksek saptanmıştır. I. yaprakta, P, K ve Mg Gatab çamuru uygulamalarında daha yüksek bulunurken, Zn içeriği Akdeniz çamuru uygulamalarında daha yüksek saptanmış, II. yıl yaprakta Pb ve Cd içerikleri Gatab çamuru uygulamalarında daha yüksek belirlenmiştir.

4.3. Toprağa Uygulanan Arıtma Çamurlarının II. Yıl Yinelemeli Uygulamalarının Domates Bitkisinde İncelenen Ölçütler Üzerine Etkisi

4.3.1. Akdeniz Çamurunun Etkisi

Akdeniz çamurunun II. yıl toprağa yinelemeli uygulamalarının domates bitkisinde yaprakta N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, Pb ve Ni içerikleri üzerine etkisi önemli bulunmuştur (Çizelge 3).

II. yıl yinelemeli çamur uygulamalarında yaprakta N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, Pb ve Ni içerikleri daha yüksek belirlenmiştir.

4.3.2. Gatab Çamurunun Etkisi

Gatab çamurunun II. yıl toprağa yinelemeli uygulamaları domates bitkisinde yaprakta K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, Pb ve Ni içerikleri, önemli etki yapmıştır (Çizelge 3).

Gatab çamuru uygulamalarında yetişen domates bitkisinin II. yıl çamur uygulamalarının 5. düzeyinde bütün yinelemelerde ürün alınamamıştır. II yıl çamur uygulamalarında; yaprakta K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, Pb ve Ni içerikleri artmıştır.

5. Tartışma ve Sonuç

Arıtma çamurunun bitki besin değeri bir çok araştırmacı tarafından incelenmiş ve besin bileşiminin ahır gübresi ve kompost gibi tarım alanlarına rutin olarak uygulanan organik atık esaslı toprak düzenleyicilere benzer olduğu belirlenmiştir (Sommers, 1997). Yüksek bitkilerin gelişimi için bütün mutlak gerekli elementleri içeren arıtma çamurunda N ve P en bol bulunan temel bitki besin maddeleridir (Anonymous, 1996). Bu konuda arıtma çamuru N ve P besini için agronomik miktarlarda uygulandığında K'un olası istisnasıyla mutlak gerekli diğer besinlerin çoğunu genellikle ürünün ihtiyacını karşılayabilecek miktarda sağlayacağı bildirilmiştir (Chaney, 1990). Çizelge 1'in incelenmesinden de anlaşılacağı gibi her iki çamur örneğinde

Çizelge 3. Toprağa Uygulanan Arıtma Çamurunun Domates Yaprağının Mineral Madde İçerikleri Üzerine Etkileri.

Çamur	Düzy	N, %		P, %		K, %		Ca, %		Mg, %		Fe, mg kg ⁻¹		Zn, mg kg ⁻¹	
		I. Yıl	II. Yıl	I. Yıl	II. Yıl	I. Yıl	II. Yıl	I. Yıl	II. Yıl	I. Yıl	II. Yıl	I. Yıl	II. Yıl	I. Yıl	II. Yıl
Akdeniz	0	1,00 ¹ b	1,30c	0,12c	0,11e	1,92c	2,07c	2,05e	2,98c	0,40b	0,41	79b	73b	21d	21c
	1	1,35b	1,80bc	0,13bc	0,20cd	2,09b	3,96a	3,33b	3,75ab	0,75a	0,92	142a	263a	22d	49bc
	2	1,20b	1,65bc	0,13bc	0,21c	1,92c	4,02a	3,00c	3,38bc	0,73a	0,77	99b	133b	24d	51b
	3	1,05b	1,43bc	0,12c	0,19d	1,88c	3,51ab	2,75d	3,55abc	0,64a	0,72	83b	143b	30c	51b
	4	1,30b	1,98b	0,14b	0,30b	2,39a	3,88ab	2,68d	3,48abc	0,68a	0,70	86b	138b	51b	66ab
	5	1,93a	2,97a	0,16a	0,39a	2,51a	2,93bc	3,58a	4,00a	0,86a	0,95	161a	138b	70a	86a
Anova	Yıl	**		**		**		**		*		*		*	
	Düzy	**	**	**	**	**	**	**	**	**	ÖD	**	*	**	*
LSD, % 5		0,36	0,61	0,016	0,016	0,13	0,97	0,25	0,61	0,23	-	23	87	3,4	29
Gatab	0	1,24f	1,33e	0,13e	0,10d	1,96d	2,04c	2,73d	2,98d	0,38d	0,39c	58d	79c	21b	29c
	1	1,70e	1,73d	0,14e	0,18c	2,41c	4,09a	3,28c	3,48c	0,73c	0,79b	83c	132b	21b	34bc
	2	2,23d	2,23c	0,17d	0,19c	2,74a	3,38b	3,78b	4,20b	0,79b	1,02a	123ab	132b	24b	46b
	3	2,45c	3,38b	0,22c	0,37b	2,78a	3,51b	4,30a	4,53a	0,86a	1,06a	107b	125bc	25b	57a
	4	3,02b	4,43a	0,27b	0,69a	2,68ab	4,38a	3,75b	4,37ab	0,84ab	1,00a	128a	204a	23b	69a
	5	3,35a	-	0,35a	-	2,53bc	-	3,93b	-	0,80b	-	132a	-	33a	-
Anova	Yıl	ÖD		ÖD		**		**		*		*		**	
	Düzy	**	**	**	**	**	**	**	*	**	*	**	*	*	**
LSD, % 5		0,16	0,32	0,029	0,041	0,16	0,58	0,19	0,20	0,05	0,18	17	47	5,1	18
Anova Çamur		**	*	**	ÖD	**	ÖD	**	**	**	ÖD	ÖD	ÖD	*	ÖD

* P < 0.05, ** P < 0.01, ÖD: Önemli Değil, ¹ Değerler dört yinelemenin ortalamasıdır, ² Ürün alınmadı.

Çizelge 3. Toprağa Uygulanan Arıtma Çamurunun Domates Yaprağının Mineral Madde İçerikleri Üzerine Etkileri (Devamı).

Çamur	Düzy	Na, mg kg ⁻¹		Mn, mg kg ⁻¹		Cu, mg kg ⁻¹		Pb, mg kg ⁻¹		Ni, mg kg ⁻¹		Cd, mg kg ⁻¹		Cr, mg kg ⁻¹	
		I. Yıl	II. Yıl	I. Yıl	II. Yıl	I. Yıl	II. Yıl	I. Yıl	II. Yıl	I. Yıl	II. Yıl	I. Yıl	II. Yıl	I. Yıl	II. Yıl
Akdeniz	0	615	746	52 ¹ b	43	12b	16bc	1	1b	0,5b	0,4c	<0,1d	<0,1b	<0,1c	<0,1b
	1	814	966	53b	69	17a	20b	8	18a	0,4b	2,3bc	1,7a	1,3a	0,2b	0,2a
	2	616	588	42c	49	11bc	18bc	5	19a	0,5b	3,4ab	1,3bc	1,0a	0,2b	0,2a
	3	756	616	39c	43	12b	13c	8	20a	0,5b	3,7ab	1,1c	1,0a	0,3a	0,2a
	4	848	714	49b	49	10c	16bc	7	20a	0,4b	4,2ab	1,2bc	0,8a	0,2b	0,2a
	5	916	896	63a	69	12b	27a	9	26a	1,2a	4,8a	1,5ab	0,9a	0,2b	0,2a
Anova	Yıl	ÖD		*		**		**		**		ÖD		ÖD	
	Düzy	ÖD	ÖD	**	ÖD	**	**	ÖD	*	*	*	**	**	*	*
LSD, % 5		-	-	5,2	-	1,8	6,8	-	1,96	0,46	2,1	0,31	0,62	0,03	0,04
Gatab	0	540	480	46c	55c	15b	13d	1b	1b	0,4b	0,5	<0,1e	<0,1	<0,1b	<0,1b
	1	667	674	42c	56c	7d	23c	9a	25a	0,9ab	5,0	1,7bc	1,0	0,2a	0,2a
	2	819	516	62b	82b	6d	23c	7ab	24a	0,9ab	5,4	1,9ab	1,3	0,2a	0,2a
	3	918	661	78a	89b	14b	25b	11a	29a	1,2a	4,9	2,1a	1,3	0,2a	0,2a
	4	778	714	67b	120a	9c	28a	11a	28a	1,2a	5,4	1,5cd	0,9	0,2a	0,2a
	5	796	801	79a	- ²	18a	-	9a	-	1,5a	-	1,4d	-	0,2a	-
Anova	Yıl	ÖD		*		**		**		**		ÖD		ÖD	
	Düzy	ÖD	ÖD	**	*	**	**	*	**	*	ÖD	**	ÖD	*	*
LSD, % 5		-	-	5,8	18	1,6	1,3	4,8	5,6	0,6	-	0,25	-	0,06	0,06
Anova Çamur		ÖD	ÖD	*	*	ÖD	ÖD	ÖD	*	**	**	ÖD	*	ÖD	ÖD

* P < 0.05, ** P < 0.01, ÖD: Önemli Değil, ¹ Değerler dört yinelemenin ortalamasıdır, ² Ürün alınmadı.

mutlak gerekli bitki besin maddelerinin yüksek olduğu görülmektedir. Diğer yandan arıtma çamuru uygulanmayan kontrol işleminde yetişen domates bitkilerinin vejetatif kuru madde ve meyve ürün miktarlarının düşük olduğu ve iyi gelişemedikleri görülmektedir. Bu yöndekibulgular, arıtma çamurunun bitki beslenmesine önemli ölçüde katkı sağlayacağı görüşünü desteklemektedir.

Uygulama düzeyi etkisi bakımından Gatab çamurunda 5. düzeyde kuru madde elde olunmamasının, bu çamurun Akdeniz çamuruna göre daha yüksek tuz ve mineral madde içeriğine sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Arıtma çamurlarının toprağa artan uygulamalarıyla domates bitkisinin yaprağında mineral içerikleri çoğunlukla artmıştır. Bu konuda yapılan çalışmalarda (Miller ve ark., 1995; Kadunc ve ark., 1994; Paulraj ve Ramulu, 1994; Tirmizi ve ark., 1996. Gomez ve ark., 1993; Pinemonti ve ark., 1997; Topcuoğlu ve ark. 2001) domates ve diğer test bitkilerine uygulanan arıtma çamurunun bitkide mineral madde içeriğini artırdığını belirlemişlerdir.

Denemede kullanılan arıtma çamurlarının içeriklerindeki farklılıklar domates bitkisinin gelişme, ürün miktarı ve mineral içeriklerine yansımıştır. Çizelge 1'de Gatab çamurunun Ca ve Zn içerikleri dışında diğer özellikler yönünden Akdeniz çamurundan daha yüksek ölçüm değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Çizelge 2'nin incelenmesinden de anlaşılacağı gibi Gatab çamuru uygulamalarında yetişen bitkilerde daha yüksek N, P, K, Ca, Mg, Mn, Ni, Pb ve Cd içerikleri saptanırken Zn içeriği yüksek olan Akdeniz çamurunda yetişen domates bitkilerinde daha yüksek Zn içeriği saptanmıştır.

İkinci yıl toprağa yinelemeli uygulanan arıtma çamurları domates bitkisinin mineral içeriklerinde, değişkenliği çamur niteliğe bağlı olarak önemli etkiler yapmıştır. Genel olarak II. yıl yetiştirilen domates bitkilerinde mineral içerikleri artmıştır. Denemede domates bitkilerinin, destekleyici gübre vb. kimyasal uygulanmayan ve tarımda kullanılmayan doğal bakır araziden alınan toprakta yetiştirilmesi, çamur uygulamalarının

etkilerini kıyaslama bakımından kontrol işlemi olarak alınmıştır. Bu yüzden besin gereksinimi yüksek olan hibrid domates çeşidinin yetişmesi için doğal sistemdeki deneme toprağının besin sağlama kapasitesinin temel gübreleme uygulanmaksızın yeterli olamayacağı düşünülmektedir. Öte yandan zengin mineral içeriğine sahip olan arıtma çamurlarının toprağa II. yıl yinelemeli olarak uygulanması, bitkinin en çok tükettiği besin maddelerinin göreceli olarak azalması bakımından besin maddeleri dengesizliğinin ortaya çıkmış olması muhtemel görülmektedir.

İkinci yıl arıtma çamurlarının yinelemeli uygulamalarıyla ilgili olarak domates bitkisinin mineral içeriklerinde dikkate alınması gerekli en önemli hususlardan birinin de ağır metal içeriğinin artışıdır. Domates yaprağında her iki çamur uygulamalarında, II. yıl ağır metallerden Pb, Ni ve Cd içerikleri, I. yıl içeriklerinden önemli ölçüde daha yüksek olmuştur. Bu konuda Gomez ve ark.(1993) domates bitkisine II. yetiştirme döneminde yinelemeli olarak uygulanan arıtma çamurunun N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu ve Zn içeriklerini artırdığını; Villarroel ve ark. (1993) toprağa sekiz yıl süre ile arıtma çamuru uygulanması sonucu bitkide P ve ağır metal içeriklerinin birkaç katı arttığını bildirmişlerdir.

Bitki beslenmesi ve mineral düzeyleri yönünden domates bitkisinin yaprağında mineral içeriklerine bakıldığında; kontrol uygulamasında yetiştirilen domates bitkisinin her iki yılda N, P ve K içeriklerinin bu elementler için bildirilen sırasıyla % 2, % 0.2 ve % 2,5 sınır değerlerinin (Roorda van Eysinga ve Smilde, 1981) altında olduğu ve bu elementlerin noksanlığının olduğu anlaşılmaktadır. Ca, Mg, Fe, Zn, Mn ve Cu içerikleri ise yeterli görülmektedir. Arıtma çamuru uygulamalarıyla domates yaprağında bitki besin içerikleri artmış, ancak uygulama düzeyleri, kullanılan çamur tipi ve tekerrür edilen yıla bağlı olarak bitkinin besin içeriği noksanlık ve yeterlik düzeylerinin altında ve üstünde görülebilmektedir. Akdeniz çamuru uygulamalarında N içeriğinde I. yıl her uygulama düzeyinde noksanlık görülürken, II. yıl yalnızca 5. uygulama düzeyinde

noksanlık değerinin üstünde bir içerik sağlanmıştır. Gatab çamuru uygulamalarında ise her iki yıl 2. ve sonraki çamur uygulama düzeylerinde N içeriği noksanlık değerinin üstüne çıkmıştır. P içeriği Akdeniz çamuru uygulamalarında I. yıl sınır değerinin altında iken, II. yıl noksanlık değerinin üstüne çıkmış, Gatab çamurunda ise her iki yıl 3. ve sonraki çamur uygulama düzeylerinde noksanlık sınır değeri aşılmıştır. K içerikleri bir kaç istisnaıyla, Akdeniz çamuru uygulamalarında I. yıl noksanlık sınırının altında iken, II. yıl noksanlık sınırının üstünde belirlenmiş, Gatab çamuru uygulamalarında ise her iki yıl noksanlık sınırının üstünde değerler elde olunmuştur. Bu durumun Çizelge 1'den de anlaşılacağı üzere Gatab çamurunun N, P ve K içeriklerinin Akdeniz çamurundan daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Domates bitkisinin yaprak mineral içeriğinde yeterli görülen Ca, Mg, Fe, Zn, Mn ve Cu içeriklerinin (Roorda van Eysinga ve Smilde, 1981) çamur uygulamalarıyla daha da arttığı, fakat toksiklik sınırına ulaşmadığı görülmektedir. Bitkide ağır metal içeriklerinin normal aralıktaki değerleri Pb için $0,1-6,0 \mu\text{g g}^{-1}$, Ni için $0,1-3,9 \mu\text{g g}^{-1}$, Cd için $0,05-0,4 \mu\text{g g}^{-1}$ ve Cr için $0,1-1,0 \mu\text{g g}^{-1}$ bildirilmiştir (Özbek ve ark., 2000). Çamur uygulamalarıyla ilgili olarak domates yaprağında Pb ve Cd içerikleri normal değerlerin üstünde, Ni içeriği I. yıl normal değerlerin altında, II. yıl Akdeniz çamurunun yüksek uygulama düzeylerinde ve Gatab çamurunun tüm uygulamalarında normal değer üstünde, Cr içerikleri ise normal değerler içinde bulunmuştur (Çizelge 3).

Aritma çamurunun tarım alanlarında kullanımında elde olunan deneysel bulgular genelde besin içeriği ve organik özellikleri bakımından yararlı etkilerinin bulunduğu ancak uzun süreli uygulamalarında risklerinin göz ardı edilemeyeceği yönündedir. Aritma çamurlarının zengin organik madde ve mineral içeriği ile bitki beslenmesine ve toprak verimliliğine önemli katkı sağlayacağı düşüncesine, içerdiği yüksek tuz ve ağır metaller gölge düşürmektedir. Aritma çamuru içeriğinin kaynağına bağlı değişkenliği, tarımsal geri kazanım değerlendirilmesinde önemle dikkate

alınmalıdır. Yinelemeli uygulamalarında toprakta ve bitkide tuz, mineral maddeler ve daha önemlisi ağır metal birikimleri, sürdürülebilir toprak idaresi ve tarımda güvenli geri kazanımı üzerindeki endişelere örnek teşkil etmekte ve sera tarımında kullanımının riskli olduğu görülmektedir.

Bu gün halen tesis işletmecileri tarafından arıtma çamurlarının tarımsal kullanımı en ekonomik bertaraf yolu olarak görülmektedir. Arıtma çamurunun ülkemizde kullanımı, ülkemizin çok sınırlı bölgelerinde olsa da giderek yaygınlaşmaktadır. Bu konuda yürürlükteki mevzuata uyulmaksızın ve de yeterli eğitim programları düzenlenmeden arıtma çamurlarının tarımsal alanlarda kullanılmasına yönelik olabilecek özendirici uygulamaların (ücretsiz dağıtım, uygulama sahasına kadar ücretsiz nakliye, olumlu yöndeki deneysel bulguların örnek gösterilmesi, vb.) kontrol altına alınması, arıtma çamurunu kullanan tarım üreticilerinin çamur kullanımına ilişkin ilgili yönetmelik standartları üzerinde eğitilmesine yönelik programların düzenlenmesinin gerekli olduğu düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Anonymous, 1973. Analytical methods for atomic absorption spectrophotometry. Perkin Elmer Catalog, Norwalk, Connecticut, U.S.A.
- Anonymous, 1996. The use of reclaimed water and sludge in food crop production. Environmental Pollution Agency. National research council. National Academy Press, Washington, D.C.
- Bouyoucos, G.D. 1951. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of the soil. *Agronomy Journal*, 43: 434-438.
- Bremner, J.M. 1965. Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and microbiological properties. In Ed. C.A. Black, American Society of Agronomy, Inc. Pub. Agron Series, No. 9., Madison, Wisconsin, U.S.A.
- Chaney, R.L. 1990. Twenty years of land application research. *Biocycle*, september 54-59.
- Çağlar, K.Ö. 1949. Toprak Bilgisi. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları, No. 10, Ankara.
- Gomez, I., Navarro-Pedreno, J., Mataix, J., Frago, M.A.C. and Beusichem, M.L. 1993. Effects of organic waste fertilization and saline irrigation on mineral composition of tomato leaves and fruits. Eighth International Colloquium for the

- Optimization of Plant Nutrition, 31 August-8 September, Lisbon, Portugal, 333-337.
- Grewelling, T. and Peech, M. 1960. Chemical soil tests. Cornell University, Agr. Expt. Station Bull., 960.
- Hızalan, A. ve Ünal, H. 1966. Topraklarda önemli kimyasal analizler. A.Ü. Ziraat Fak. Yayınları: 278, Yardımcı Ders Kitabı: 97, A.Ü. Basımevi, Ankara.
- Jackson, M.L. 1962. Soil chemical analysis. Prentice-Hall, Inc. Eng. Cliffs, U.S.A.
- Kacar, B. 1972. Bitki ve toprağın kimyasal analizleri, II. Bitki analizleri. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları: 453, Uygulama Klavuzu:155, A.Ü. Basımevi, Ankara.
- Kacar, B. 1995. Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri, III. Toprak analizleri. A.Ü.Ziraat Fakültesi Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları, No. 3, Bizim Büro Basımevi, Ankara.
- Kadunc, V., Mihelic, R. and Lobnik, F. 1994. Usability of compost from municipal sewage sludge and conifer bark in the plant production. *Kmetijstvo*, 63: 191-203.
- Linden, D.R., Clap, C.E. and Dowdy, R.H. 1983. Hydrologic management: nutrients. pp 79-103 in Proceedings of the workshop on utilization of municipal wastewater and sludge on land. Riverside, University of California.
- Lindsay, W.L. and Norwell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42:421-428.
- Logan, T.J. and Chaney, L. 1983. Metals. pp In utilization of municipal wastewater and sludge on land. A.L. Page, T.L. Gleason, J.E., Smith, I.K., Iskender and C.E. Sommers, eds. Riverside.
- Martens, D.C. and Westermann, D.T. 1991. Fertilizer applications for correcting micronutrient deficiencies in micronutrients in agriculture. Mortvedt, J.J. et al., eds., *Soil Sci. Soc. of Amer. Book Series*, No. 4, Madison, Wisconsin, Amer. Soc. of Agronomy.
- Miller, R.W., Azzari, A.S. and Gardiner, D.T. 1995. Heavy metals in crops as affected by soil types and sewage sludge rates. *Communications in soil science and plant analysis*, 26:5-6, 703-711.
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and Dean, H.C. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Department of Agr. Cir. No. 939, Washington D.C.
- Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M. ve Kaptan, H. 2000. Toprak Bilimi. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Ders Kitapları, Genel Yayın No. 73, Yayın No. 16, Adana.
- Paulraj, C. and Ramulu, U.S. 1994. Effect of soil application of low levels of urban sewage sludge on the uptake of nutrients and yield of certain vegetables. *Journal of the Indian society of soil science*, 42(3):485-487.
- Pinamonti, F. Stringari, G. and Zorzi, G. 1997. Use of compost in soilless cultivation. *Compost science and utilization*, 5(2):38-46.
- Pratt, P.F. 1965. Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and microbiological properties. In Ed. C.A. Black, American Society of Agronomy, Inc. Pub. Agron. Series, No. 9., Madison, Wisconsin, U.S.A.
- Roorda van Eysinga, J.P.N.L. and Smilde, K.W. 1981. Nutritional disorder in glasshouse tomatoes, cucumbers and lettuce. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen.
- Sommers, L.E. 1997. Chemical composition of sewage sludges and analysis of their potential use as fertilizer. *J. Environmental Quality*, 6:225-232.
- Tabatabai, M.A. and Frankerberger, W.T. 1979. Chemical composition of sewage sludges in Iowa. Agriculture and Home Economics Experimental Station, Iowa State University of Sci. and Technology Research Bulletin, 586.
- Tirmizi, S.A., Javed, I., Saeed, A. and Samina, F. 1996. A study of the inorganic elements in vegetable and soil samples of the polluted and nonpolluted areas of Bahawalpur city (Pakistan). *Hamdard-Medicus*, 39(3):90-95.
- Topcuoğlu, B., Önal, M.K. ve Arı, N. 2001. Toprağa kentsel katı atık kompostu ve kentsel atıksu arıtma çamuru uygulamalarının sera domatesinde kuru madde miktarı ve bazı bitki besin içerikleri üzerine etkisi. GAP II. Tarım Kongresi, 24-26 Ekim, Şanlıurfa.
- Villarroel De, J.R., Chang, A.C. and Amrhein, C. 1993. Cd and Zn Phytoavailability of a field-stabilized sludge treated soil. *Soil Science*, 155(3):197-205.