

PAPER DETAILS

TITLE: Effects of Sewage Sludge Originated from Urban Waste Water Treatment Plant on Growth of Freesia Spp. and Some Properties of Soil

AUTHORS: Mesude ÜNAL,Ayten KARACA,Sema ÇETİN CAMCI,Aysun ÇELİK

PAGES: 46-56

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3112212>



Araştırma Makalesi

www.ziraat.selcuk.edu.tr/ojs
Selçuk Üniversitesi
Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi
25 (2): (2011) 46-56
ISSN:1309-0550



İçme Suyu Tesisi Arıtma Çamurunun Arpa Zambağı (*Freesia spp.*) Bitkisi Gelişimi ve Bazı Toprak Özellikleri Üzerine Etkileri

Mesude ÜNAL¹, Ayten KARACA^{2,3}, Sema ÇETİN CAMCI⁴, Aysun ÇELİK¹

¹Kocaeli Üniversitesi, Arslanbey Meslek Yüksekokulu, Kocaeli/Türkiye

²Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü, Ankara /Türkiye

⁴Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü, Tokat/Türkiye

(Geliş Tarihi: 28.09.2009, Kabul Tarihi:18.01.2011)

Özet

Bu çalışmada; Kocaeli İli İçme Suyu Tesisi arıtma çamurunun, kesme çiçek çeşitlerinden Arpa Zambağı (*Freesia spp.*) yetiştiriciliğinde kullanılabilirliği belirlenmeye çalışılmıştır. Araştırma, 2004-2006 yılları arasında 2 yıl tekrarlamalı saksı denemesi şeklinde yürütülmüştür. Tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak düzenlenen denemede, arıtma çamuru saksılara 0, 30, 60, 90 ve 180 t ha⁻¹ hesabı ile uygulanmıştır. Arıtma çamuru uygulamasından 7 gün sonra her bir saksıya 50 mg kg⁻¹ NPK gübrelemesi yapılmış ve 23-26 mm çapındaki *Freesia spp.* yumrularından 5'er adet dikilerek tarla kapasitesinde sulanmıştır. Arıtma çamuru uygulamasının toprağın nem, pH, EC, kireç, organik madde, KDK, toplam N, alınabilir P, değişebilir K, toplam ve ekstrakte edilebilir ağır metal kapsamı üzerine etkileri belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, artan çamur dozu ile birlikte toprağın; pH, EC, kireç, organik madde, KDK, alınabilir P, değişebilir K değerleri artmıştır (P<0.05). Topraktaki toplam N miktarı bakımından, çamurun tüm dozları ile kontrol arasında P<0.01 derecesinde farklılık vardır. Arıtma çamuru uygulanan toprakların toplam Cd, Ni, B Pb, Cr ve Zn kapsamı artan çamur dozuna bağlı olarak artmasına rağmen bu artış istatistiksel olarak önemli bulunmamış, buna ilave olarak deneme topraklarında belirlenen söz konusu ağır metal konsantrasyonları Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde pH' sı 6'nın üzerinde olan topraklar için müsaade edilen sınır değerlerin çok altında bulunmuştur. Artan miktarlarda toprağa uygulanan arıtma çamuru *Freesia spp.* bitkisinin gelişimini etkilemiş olup; çamurun farklı dozları bitki başına elde edilen çiçek sayısı, kandel sayısı, yumru çapı ve yumrudan elde edilen yavru sayısını kontrole göre artırmıştır.

Anahtar Kelimeler: İçme suyu arıtma tesisi, arıtma çamuru, toprak, ağır metal, *Freesia spp.*

Effects of Sewage Sludge Originated from Urban Waste Water Treatment Plant on Growth of *Freesia Spp.* and Some Properties of Soil

Abstract

In this study, the effects of sewage sludge on selected soil properties with possible uses of agricultural purpose were determined. Amount of sewage sludge for application was determined based on environmental concern and regulations. For this purpose, a two-year greenhouse experiment (2004-2006) was conducted on a randomized plots experimental design with four replications. Sewage sludge was applied to pots with amount of 0, 30, 60, 90 and 180 t ha⁻¹. After 7 days of sewage sludge application, treatments were applied to each pot were: (i) NPK fertilizer (50 mg NPK kg⁻¹), (ii) planting *Freesia spp.* round, (iii) irrigation (in field capacity). In sewage sludge applied soil, soil properties (moisture, EC, pH, CaCO₃, organic matter, CEC, total N, available P, exchangeable K, total and exchangeable Cd, Ni, B, Pb, Cr and Zn) were measured. In conclusion, AS amount of sewage sludge treatment increased, values of EC, pH, CaCO₃, organic matter, CEC, available P, exchangeable K also increased (P<0.05). There was significant difference between all sewage sludge applications (30, 60, 90 and 180 t ha⁻¹) and control application (0 t ha⁻¹) in total N content of soil (P< 0.01). Although total Pb and Cd content of soil increased with increasing sewage sludge application doses, their content were under safety limit for control regulations of soil pollution in below pH 6 level in soil. Total Cd, Ni, Zn and B content of the soil increased compared to control treatments; however, their contents were not significantly different soil amount treatments. Increasing doses of sewage sludge affected to growth of *Freesia spp.* and increased selected growth parameters such as number of flower, diameter of rhizome, number of regenerated infant rhizome compared to control treatments.

Key Words: Sewage sludge, urban waste water treatment plant, soil, heavy metal, *Freesia spp.*

Giriş

Sanayileşme ile birlikte çoğalan arıtma tesisleri bir yandan temizlik yaparken, diğer yandan oluşturduğu arıtma çamuru ile ortama giderilmesi gereken önemli

bir biyokütle çıkarmaktadır. Arıtma çamurları tesise giren hammadde ve işlem proseslerine göre miktarı değişmekle birlikte yüksek oranda organik madde, makro ve mikro bitki besin maddeleri ile değişebilir katyonlar içerir (Navas ve ark. 1998; Martinez ve

³Sorumlu Yazar: Ayten.Karaca@agri.ankara.edu.tr

ark.2002; Shober ve ark. 2003; Dolgen ve ark. 2007). Uygun oranlarda arıtma çamuru uygulaması ile bitki büyümesi ve toprağın özellikle fiziksel özellikleri gelişmekte ve kullanılabilir besin elementi seviyeleri artmaktadır. Bunlardan azot, fosfor ve potasyum çamurun gübre olarak kullanılmasını sağlayan temel elementlerdir (Soumare ve ark. 2003a ve 2003b). Bunların yanı sıra arıtma çamurları ağır metaller, organik kirleticiler ve patojen mikroorganizmalar da içerebilmekte ve farklı amaçlı kullanımları esnasında çevreye zarar verebilmektedir (Singh ve Agrawal 2007, Çimrin ve ark., 2000; McBride, 1995). Çamur değişen miktarlarda metaller içermekte olup bu metaller düşük konsantrasyonda bulunduğu sorun oluşturmamakta iken yüksek konsantrasyonda bitkiler, dolayısıyla da insanlar ve hayvanlar üzerinde toksik etkiye sahip olmaktadır. Bunların yanında çamur, endüstriyel atıklardan gelen sentetik organik kimyasalları da içerebilir ki bu da insan ve çevre sağlığı üzerinde tehlike oluşturabilir.

Arıtma çamurlarının çevreye vermiş olduğu zararların önüne geçebilmek için değişik giderme metotları kullanılmaktadır. Bu metotlardan biri olan çamurun açık alanda değerlendirme imkanları kapsamında arıtma çamurları i) tarımsal alanda değerlendirme, ii) orman alanlarında değerlendirme, iii) bozulmuş alanlarda (kömür ve maden yatakları, taş ocakları) değerlendirme ve iv) park, bahçe ve rekreasyon alanlarında değerlendirme şeklinde giderilmektedir.

Günümüzde pek çok ülkede, arıtma çamurlarının bir daha kullanılmamak üzere bertarafı yerine yeniden kullanımı üzerine durulmaktadır. Arıtma çamurunun yeniden kullanımı olanakları arasında; tarım alanlarında, yeşil alanlarda ağaçlandırma ve orman alanlarında kullanımı sayılabilir (Küçükhemek ve ark. 2005). Avrupa Birliği Direktifleri ise, arıtma çamurlarının tarım alanlarından ziyade, yeşil alan, arazi rekreasyonu ve şehir peyzajı için kullanılmasını uygun görmektedir.

Son yıllarda arıtma çamurları (Gouin, 1993; Ingelmo ve ark., 1998; Guerrero ve ark., 2002) ve odun atıkları (Hicklenton ve ark., 2001; Chen ve ark., 2002) gibi atıkların fidancılıkta kullanılması üzerine pek çok araştırma yapılmıştır. Raviv ve ark., (1986) ve Ingelmo ve ark., (1998), bu materyallerin kullanımıyla bir yandan atık birikiminin etkisi azaltılmış olunacak, diğer yandan ise ticari materyallere alternatif olacağından ekonomik fayda sağlayacağını belirtmişlerdir. Aral (1990), arıtma çamurlarının refüjlerin çimlendirilmesi, hava alanlarının yeşil alanları, büyük binaların çevresindeki alanlar ve erozyona uğrayan yamaçların çimlendirilmesinde kullanılabileceğini vurgulamıştır. Özdemir ve ark. (2005), arıtma çamurlarının stabilize edildikten sonra süs bitkisi toprağı karışımlarında kullanılabilme potansiyelini araştırdıkları çalışmada, karışıma artan dozlarda çamur ilavesinin organik madde miktarı ve C/N oranını azalttığını ancak toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin istenilen de-

ğerlere ulaştığını, bitki büyüme performansı açısından da süs bitkilerinden *Limoni Servi*'nin %30 ile 550 oranında arıtma çamuru ilave edilmiş karışımlarda yetiştirildiğinde en yüksek bitki büyümesi elde edildiğini belirtmişlerdir. Hernandez-Apaoloza ve ark. (2005), benzer şekilde arıtma çamuru karışımı uyguladıkları topraklarda en iyi sonucun %30 çamur uygulamasında elde ettiklerini belirtmişlerdir. Küçükhemek ve ark. (2005), arıtma çamurunu çiftlik gübresiyle mukayese ederek çim bitkisi üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmada, çamur uygulamasında çim bitkisinin renginin çiftlik gübresine göre daha koyu renk tonunda olduğunu ve çim bitkisi verimini de daha fazla olumlu yönde etkilediğini belirlemişlerdir. Araştırmacılar aynı zamanda arıtma çamurlarının toksik element kapsamı ve patojen mikroorganizmalar açısından uygun olması durumunda, yeşil alan çalışmaları ve toprak ıslahı için kullanılabilecek bir materyal olabileceğini de belirtmişlerdir. Manas ve Castro (2008), orman fidancılığında peat gibi materyallerin ekonomik olmadığını, buna alternatif materyallerin kullanılması gerektiğine dikkat çekerek yaptıkları çalışmada arıtma çamuru dâhil 7 farklı organik materyali denemişlerdir. Araştırmacılar, Deniz Çamı fidanı yetiştiriciliğinde en iyi sonucun belediye atığı çamuru ile kompost edilmiş arıtma çamuru uygulamasından elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Türkiye'nin en önemli sanayi kentlerinden biri olan Kocaeli İli'nde 2002 yılı itibarıyla 395 adet arıtma tesisi bulunmaktadır. İlde 400 civarında 1. sınıf, 7000 civarında 2 ve 3. sınıf gayri sıhhi müessese kapsamına giren sanayi kuruluşu bulunmaktadır (Anonim, 2000). Arıtma tesisinden çıkan atıkların giderimi il için sorundur. İlde atıkların önemli bir kısmı açıkta depolanmakta ve doğaya terk edilmektedir.

Bu çalışmanın amacı; Kocaeli İli'nde bulunan içme suyu tesisi arıtma çamurlarının, Türkiye'de hızla gelişen süs bitkileri sektöründe saksı dolgu malzemesi olarak kullanıma olanaklarının belirlenmesidir.

Materyal ve Metot

Araştırma, 2004-2006 yılları arasında Kocaeli Üniversitesi Arslanbey Meslek Yüksekokulu arazisinde ısıtmasız serada yürütülmüştür. Denemede kullanılmak üzere Kocaeli İli Tarım İl Müdürlüğü Kullar Fidanlık alanından 0-20cm derinlikten alınan toprak güneş görmeyen bir yerde yayılarak hava kurusu duruma gelinceye kadar kurutulduktan sonra iri taşlar ayıklanmış kesekler ezilmiş ve deneme için 4 mm'lik, analizler için ise 2 mm'lik elekten geçirilmiştir. Toprak, çiftlik gübresi, torf, kum materyalleri 5:1:1:1 oranında karıştırılarak her bir saksı için 4'er kg harç hazırlanmıştır.

Denemede Thames Water Alt Yapı Hizmetleri Ltd. Şti. içme suyu arıtma tesisinden çıkan, suyu alınmış kek halindeki arıtma çamuru kullanılmıştır. Deneme için alınan çamur örneği, hava kurusu hale geldikten

sonra saksı harcına ilave etmek üzere 4 mm'lik, analizler için ise 2 mm'lik çelik elekten elenmiştir.

Deneme bitkisi olarak Arpa Zambağı (*Freesia spp.*) kullanılmıştır. Son yıllarda Avrupa'da soğanlı-yumrulu ve rizumlu süs bitkileri içinde özellikle kesme çiçek olarak en çok üretilen bitkilerden birisi *Freesia spp.*' dir. *Freesia spp.* kesme çiçek olarak üretilen bitkiler arasında Avrupa'da karanfilden sonra ikinci sırada yer almaktadır. Anavatanı Güney Afrika olarak bilinen *Freesia spp.*, *Iridaceae* familyasından kormlu bir bitkidir. *Freesia spp.* çiçeğini değerli kılan özelliklerden birisi de parfüm sanayinde kullanılan, kendine has büyüleyici kokusudur. *Freesia spp.* yetiştiriciliğinin avantajlı yanı, kısa bir zaman için serayı kullanması ve kış aylarında sıcaklık isteğinin çok az olması nedeniyle fazla sera sıcaklığına ihtiyaç duymamasıdır (Korkut 1998). Güzel ve keskin kokulu çiçeklidir. Üreticiler daha çok kesme çiçek olarak, *Freesia armstrongii* ve *Freesia refracta*'yı yetiştirirler. Renkleri; beyaz, eflatun, mor, mavi, sarı, portakal, pembe ve kırmızıdır (TAV 1999).

Tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak düzenlenen denemede, arıtma çamuru saksılara 0, 30, 60, 90 ve 180 t ha⁻¹ hesabı ile uygulanmıştır. Her iki yılda, arıtma çamuru uygulamasından 7 gün sonra her bir saksıya 50 mg kg⁻¹ NPK gübrelemesi yapılmış ve 23-24-25-26 mm çapındaki *Freesia spp.* yumrularından 5'er adet dikilerek saksılar tarla kapasitesinde sulanmıştır. İlk çimlenmeden sonra saksılarda 3 adet bitki bırakılmıştır. Deneme boyunca saksılarda; bitki boyu, bitki başına elde edilen çiçek sayısı, kandel sayısı, başak uzunluğu, çiçek sapı uzunluğu, yumru çapı ve yumrudan elde edilen yavru sayısı ölçülerek kaydedilmiştir.

Bitki hasatını takiben her bir saksının toprağın da pH, EC, kireç, organik madde, KDK, toplam N, alınabilir P, değişebilir K ve toplam ve ekstrakte edilebilir Pb, Cd, Ni, Cr, Zn ve B tayinleri yapılmıştır.

Toprakta tekstür hidrometre yöntemi ile (Bouyoucos, 1951); pH ve elektriksel iletkenlik (EC) 1:2.5 toprak:saf su süspansiyonunda pH metre ve EC-metre ile (Richards, 1954); CaCO₃, Scheibler kalsimetresinde (Richards, 1954); organik madde Walkley-Black yaş yakma yöntemiyle (Jackson, 1962), KDK Richards 1954'e göre amonyum asetat ile; nem (U.S. Salinity Lab. Staff 1954); toplam N Kjeldahl yöntemi ile (Bremner, 1965); yarıyışlı P, NaHCO₃ ekstraksiyonu ile (Olsen ve ark., 1954); değişebilir K amonyum asetat ekstraksiyonu ile (Carson 1980), toplam Cd, Pb, Cr, Zn, B ve Ni HNO₃ ve HCl (Kral suyu 3:1) ile yaş yakılarak (ISO/DIS, 1995), DTPA ile ekstrakte edilebilir metaller Lindsay ve Norwell (1978)'e göre ekstrakte edilmiş ve tüm ağır metal okumaları VISTA AX CCD Simultaneous model Inductively Coupled Plasma Spektrofotometrede (ICP) yapılmıştır. Arıtma çamurlarında toprakta belirtilen yöntemler kullanılmış ancak pH ve EC belirle-

mesi için 1:5 sulandırılmış örnek kullanılmış olup, çamurda organik madde ise çamur örneği 550 °C'de 4 saat yakılarak (Jackson 1962) belirlenmiştir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar (iki yılın ortalama değerleri alınarak), "Minitab for Windows (Ver: 2.14)" istatistik paket programı kullanılarak tesadüf parselleri deneme tertibinde faktöriyel düzende varyans analizi tekniğine göre değerlendirilmiş ve yapılan varyans analizi sonucunda farklı grupları tespit etmede çoklu karşılaştırma yöntemlerinden Duncan Testi kullanılmıştır. Ayrıca incelenen parametreler arasındaki korelasyonlar "Pearson-Korelasyon" Testi uygulanarak değerlendirilmiştir.

Yapılan istatistik analizlerde; yıllara göre toprakta belirlenen özellikler arasında istatistiksel açıdan önemli değişim bulunmadığından sonuçlar her iki yılın ortalama verileri ele alınarak değerlendirilmiştir.

Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Denemede kullanılan toprak, çamur ve saksı harcının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Tablo 1'e göre, deneme toprağı silt-kil bün-yede (%22.54 kil, %65.06 silt ve %12.4 kum), az kireçli, nötr karakterli, tuzsuz, toplam azot ve, alınabilir P yeterli, organik madde az, KDK uygun seviyelerdedir (Alganatay, 1968; FAO, 1990; Eyüpoğlu, 1999). Deneme toprağının toplam metal kapsamı tarım toprakları için bildirilen ağır metal konsantrasyon sınırları (Nriagu 1984) içinde kalmaktadır.

Analiz sonuçlarına göre, denemede kullanılan arıtma çamuru; organik maddece zengin, KDK değeri ve su tutma kapasitesi deneme toprağına göre yüksektir. Avrupa ülkelerindeki 209 farklı çamurdan elde edilen verilere göre, çamurun toplam azotu düşük, alınabilir P ve K içeriği yüksek düzeyde bulunmuştur (Kabata Pendias ve Pendias, 1984; Nriagu, 1984; EPA, 1990; EPA, 1993; Alloway, 1995). Arıtma çamurunun elektriksel iletkenliğinin yüksek olması toprakta mikrobiyal aktiviteyi etkileyen önemli bir faktör olup özellikle fazla tuzlu çamurun toprağına ilavesiyle topraktaki besin elementlerinin döngüsü azalmakta ve bitki büyümesinin engellenmesine neden olmaktadır. Denemede kullanılan çamurun EC değeri <2 dS.m⁻¹'nin altında olup tuzluluk etkisinin ihmal edilebileceği düzeydedir (Wong et al, 2001). Arıtma çamurların pH'sının 6.5-7.5 aralığında olması uygun görülmektedir (Ayvaz, 2000). Denemede kullanılan çamurun pH değerinin bu oranlardan yüksek olması (8.03) çamurdaki metallerin çözünürlüğünün düşük olabileceğini göstermektedir.

Türkiye'de 01/05/2003 tarihli ve 4856 sayılı Çevre ve Orman Bakanlığı Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun'un 2. ve 9. maddesi gereğince hazırlanan Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nde araziye verilecek arıtma çamurunda ve çamurun uygulanacağı topraktaki Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg ve Zn gibi ağır metal içeriklerinin sınır değerleri belirlenmiştir. Deneme-

de kullanılan arıtma çamurlarının ağır metal içerikleri Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde belirtilen arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal sınır değerlerinin oldukça altında bulunmuştur.

Denemede kullanılan saksı harcı kireçli, nötr reaksiyonlu, alınabilir fosfor ve potasyumca zengin, organik maddesi yeterli ve KDK kapasitesi yüksektir.

Tablo 1. Denemede Kullanılan Toprağın, Çamurun ve Saksı Harcının Bazı Özellikleri ile Ağır Metal ve İz Element Kapsamları

Parametreler	Toprak	Atık Çamur	Saksı Harcı
Kireç (%)	1.19	4.33	3.72
pH	7.03	8.03	7.50
EC (dS m ⁻¹)	0.31	1.88	1.30
N (%)	0.21	1.63	0.35
Alınabilir P (mg kg ⁻¹)	25	265	229
Değişebilir K (mg kg ⁻¹)	115	1089	971
Organik Madde (%)	0.98	24	3.21
KDK (cmol kg ⁻¹)	25	42	32
Nem (Başlangıç) (%)	8	54	6.35
Su Tutma Kapasitesi (%) Gravimetrik	50.40	112.01	69.75
Toplam B (mg kg ⁻¹)	3.33	14.24	18.37
Toplam Pb (mg kg ⁻¹)	0.56	8.72	10.59
Toplam Cd (mg kg ⁻¹)	0.07	0.21	0.19
Toplam Cr (mg kg ⁻¹)	10.14	19.67	19.55
Toplam Ni (mg kg ⁻¹)	9.32	20.30	22.55
Toplam Zn (mg kg ⁻¹)	39.08	80.88	79.79

Arıtma Çamurunun Toprak pH'sı Üzerine Etkisi

Arıtma çamuru uygulanmış toprakların pH değerleri 7.50 (kontrol)-7.72 (180 t ha⁻¹) arasında değişim göstermiştir (Tablo 2). Arıtma çamurunun toprağa uygulanması sonrası, toprak pH'sı kontrol düzeyi ile 30 ve 60 t ha⁻¹ çamur dozları arasındaki fark yapılan Duncan testinde önemsiz bulunurken, çamurun 90 ve 180 t ha⁻¹ uygulama düzeyi ile farklılık belirlenmiştir (P < 0,05). Topraklara 90 ve 180 t ha⁻¹ çamur uygulanması durumunda toprak reaksiyonu kontrole göre artış göstermiş ve bu artış istatistiki olarak önemli bulunmuştur. Yapılan korelasyon analiz sonucunda çamur ilave edilmiş toprakların pH değerleri ile organik madde (r= 0.776) ve toplam azot (r=0.701) içerikleri arasında P < 0.001 düzeyinde önemli pozitif, kireç ile de P < 0.001 düzeyinde önemli negatif (r= -0.725) ilişki belirlenmiştir.

Çamurun pH'sı toprağın pH'sını değiştirerek metallerin toprak ve bitkiler tarafından alınmasını etkilediğinden ürünler üzerinde etkilidir. Genelde toprak asitliği ağır metallerin çözünürlüğünü arttırmaktadır. Toprağa uygulanacak olan arıtma çamurunun pH'sı toprak pH'sının artmasında etkilidir. Literatürlerde, arıtma çamuru dozu arttıkça pH'daki artışlar vurgulanmaktadır (Jamali ve ark., 2008, Krogstad ve ark., 2005). Arıtma çamurlarının uzun vadeli kullanımı ile içerdikleri ağır metaller toprak ve bitkide fitotoksik

seviyelerde birikebilir ve özellikle düşük pH değerine sahip topraklarda bitkilerde artan metal konsantrasyonları meydana gelebilir. Nötr ve az olarak alkalın pH'da atıksu çamuruyla iyileştirilen topraklarda toksik maddelerin hareketi nispeten daha azdır. Toprağa uygulanacak arıtma çamurlarındaki metallerin çözünmesini kontrol etmek için çamurun ve toprağın pH'sının sürekli takip edilmesi gerekmektedir.

Arıtma Çamurunun Toprağın Elektriksel İletkenliği (EC) Üzerine Etkisi

Arıtma çamuru uygulanan toprakların EC değerleri 1.30 (kontrol)-1.78 dS.m⁻¹ (180 t.ha⁻¹) arasında belirlenmiştir. Tablo 2'de de görüldüğü gibi artan çamur dozuna bağlı olarak toprağın EC değerleri kontrole göre artmış olup, 30 t ha⁻¹ çamur uygulaması dışındaki diğer çamur uygulamaları sonucu toprakta EC'nin kontrole göre artışı P < 0.05 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Yapılan korelasyon analiz sonucunda çamur ilave edilmiş toprakların EC değerleri ile diğer toprak özellikleri ve bitki verim değerleri arasında önemli bir ilişki saptanamamıştır.

Saturasyon ekstraktında 2-4 dS.m⁻¹ arasındaki EC değerleri organik materyaller için en uygun değerler olarak kabul edilmektedir (Kirven 1986). Buna karşın, Wong ve ark. (2001), arıtma çamurunun kendisinin elektriksel iletkenliğinin <2 dS.m⁻¹ olması durumunda tuzluluk etkisinin ihmal edilebileceğini fakat bu miktarın 2-4 dS.m⁻¹ olması durumunda ise çok hassas ürünler için tuzluluğun sınırlandırılabilirliğini ileri sürmüşlerdir. Bu verilere göre, denemede kullanılan arıtma çamurunun EC değeri tuzluluğa yol açacak değerde değildir (1,88 dS.m⁻¹) ve arıtma çamuru uygulamaları sonucu deneme topraklarının tuzluluk miktarlarındaki artışlarda toprağın tuzsuz sınıfından hafif tuzlu sınıfına kaymasına henüz neden olmadığı görülmektedir. Buna rağmen, çamur uygulamalarında yıllık birikimler göz önüne alınarak toprak ve çamur tuzluluğu sürekli kontrol edilmelidir. Yapılan araştırmalarda çamur uygulamalarıyla birlikte tuzluluğun da arttığı belirtilmektedir (Navas ve ark., 1998; Wong ve ark., 2000).

Arıtma Çamurunun Toprağın Organik Madde Kapsamı Üzerine Etkisi

Arıtma çamuru uygulanan toprakların organik madde miktarları %3.21 (kontrol) - 6.17 (180 t ha⁻¹) arasında değişim göstermekte olup artan çamur dozlarına bağlı olarak (60 t ha⁻¹ a kadar) artış göstermiştir (Tablo 2). Arıtma çamurunun kontrol düzeyleri ile çamur dozları arasında P < 0.05 derecesinde farklılık vardır. Ancak çamurun 60 t ha⁻¹ ve daha fazla uygulamalarının (90 ve 180 t ha⁻¹) toprağın organik madde kapsamı üzerine etkileri istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Yapılan korelasyon analiz sonucunda çamur ilave edilmiş toprakların organik madde değerleri ile kireç (r= 0,728), toplam N (r=0.754), toplam Pb (r=0.770),

toplam nikel ($r=0.713$) ve toplam Cr ($r=0.701$) arasında pozitif, pH ($r= -0.776$) ile de $P < 0.001$ düzeyinde

önemli negatif ilişki belirlenmiştir.

Tablo 2. Arıtma Çamuru Uygulamalarının Toprağın Bazı Özellikleri Üzerine Etkisi

Uygulama (ton çamur ha ⁻¹)	pH	EC (dS.m ⁻¹)	OM (%)	Kireç (%)	KDK (cmol kg ⁻¹)
Kontrol	7.50 B	1.30 B	3.21 C	3.72 B	32 B
30	7.57 B	1.51 B	5.02 B	4.10 A	32 B
60	7.61 AB	1.74 A	5.78 A	4.15 A	32.4 B
90	7.70 A	1.72 B	6.16 A	4.28 A	33.3 A
180	7.72 A	1.78 A	6.17 A	4.32 A	35 A
LSD	0.110	0.251	0.720	0.332	1.966

$P < 0.05$: Aynı sütundaki aynı harfli değerler arasında istatistik farklılık yoktur.

Toprağa arıtma çamuru uygulandıktan birkaç hafta sonra organik madde hızlı bir şekilde parçalanmaya uğramakta, anaerobik çamurlar toprakta parçalanmaya karşı çok dayanıklı olup çamurun içerdiği organik karbonun %55-80'ni ise parçalanmadan yıllarca toprakta kalabilmektedir (Haktanır ve Arcak, 1997). Toprağa doğrudan arıtma çamuru uygulamasıyla, organik madde ilavesinin bir sonucu olarak toprakta çözünabilir organik karbon miktarının artışına bağlı olarak Cd, Ni ve Zn metallerinin çim bitkisinde alınabilirliklerinin arttığı belirtilmektedir (Antoniadis ve Alloway, 2002). Wang ve ark. (2008), yaptıkları çalışmada arıtma çamuru dozları arttıkça toprakta besin maddesi içeriklerinin özellikle de organik madde miktarının arttığını bildirmişlerdir.

Arıtma Çamurunun Toprağın Kireç Kapsamı Üzerine Etkisi

Farklı dozlarda arıtma çamuru uygulanan deneme topraklarının kireç değerleri %3.72 (kontrol)-4.32 (180 t ha⁻¹ çamur) arasında değişim göstermiştir (Tablo 2). Arıtma çamurunun toprağa uygulanması sonrası, artan çamur dozuna bağlı olarak toprakların kireç kapsamı artış göstermiş olup, çamurun 180 t ha⁻¹ uygulama düzeyinde en yüksek kireç değerleri elde edilmiştir ($P < 0.05$). Kontrol topraklarının kireç içeriği ile tüm çamur uygulama dozları arasındaki fark $P < 0.05$ düzeyinde önemli bulunmuş ancak, çamur dozlarına bağlı meydana gelen artış istatistiki olarak önem arz etmemiştir. Yapılan korelasyon analiz sonucunda çamur ilave edilmiş toprakların kireç değerleri ile organik madde ($r= 0.728$) arasında $P < 0.001$ düzeyinde önemli pozitif, pH ($r= -0.725$) ve toplam azot ($r= -0.708$) arasında da $P < 0.001$ düzeyinde önemli negatif ilişki belirlenmiştir.

Arıtma Çamurunun Toprağın Katyon Değişim Kapasitesi (KDK) Üzerine Etkisi

Arıtma çamuru uygulanmış toprakların KDK'ları 32 (kontrol)-35 cmol.kg⁻¹ (180 t ha⁻¹) arasında değişim göstermekte olup artan çamur dozlarına bağlı olarak artış göstermektedir. Arıtma çamurunun kontrol düzeyleri ile çamurun yüksek dozları (90 ve 180 t ha⁻¹)

arasında $P < 0.05$ derecesinde farklılık belirlenmiş iken, kontrol ile 30 ve 60 t ha⁻¹ çamur dozları arasındaki fark önemsiz bulunmuştur (Tablo 2).

Toprağın KDK özelliği topraktaki kil tipi ve miktarı ile organik madde miktarından önemli derecede etkilenmektedir. KDK topraklarda besin elementlerinin bitkiler tarafından alımı yanında toksik karakterli elementlerin alınımı açısından da önemli bir toprak özelliğidir (Kabata-Pendias 2001). Arıtma çamurları uygulaması ile toprak KDK değerinde değişimler olduğu ve bu değişimin bu çalışmada elde edilen bulgulara benzer şekilde KDK değerinde artmalar şeklinde olduğu araştırmacılar tarafından belirtilmektedir (Arcak ve ark., 2000; Türkmen, 2005).

Tablo 3. Arıtma Çamuru Uygulamalarının Toprağın Makro Besin Element Kapsamı Üzerine Etkisi

Uygulama (ton çamur ha ⁻¹)	N (%)	P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	K ₂ O (%)
Kontrol	0.34 B	229.85 BC	0.984 B
30	0.41 A	255.51 B	1.019 A
60	0.39 A	269.70 A	1.048 A
90	0.43 A	269.33A	1.037 A
180	0.43 A	286.22 A	1.023 A
LSD	0.054	25.965	0.104

$P < 0.05$: Aynı sütundaki aynı harfli değerler arasında istatistik farklılık yoktur.

Arıtma Çamurunun Toprağın Toplam Azot Kapsamı Üzerine Etkisi

Farklı dozlarda arıtma çamuru uygulanan deneme topraklarının toplam N kapsamı %0,34 (kontrol)-0,43 (180 t ha⁻¹) değerleri arasında belirlenmiştir (Tablo 3). Topraktaki toplam azot miktarı bakımından çamurun tüm dozları ile kontrol arasında $P < 0.05$ derecesinde farklılık vardır. Çamurun kendi içerisinde uygulama dozları arasında belirlenen farklar ise önemsiz bulunmuştur. Yapılan korelasyon analiz sonucunda

çamur ilave edilmiş toprakların N içerikleri ile organik madde ($r=0.754$), pH ($r=0.701$) ve çiçek sapı uzunluğu ($r=0.766$) arasında $P < 0.001$ düzeyinde önemli pozitif ilişki belirlenmiştir.

Warman ve Termeer (2005) yaptıkları çalışmada, arıtma çamuru, septik atık ve çamur kompostunun yetiştiricilikte etkili bir besin elementi kaynağı olabileceğini vurgulamışlardır. Bunun yanında N ve P alınabilirliğinin organik düzenleyiciler tarafından sınırlandırıldığını bildirmişlerdir. Navas ve ark., (1998) yaptıkları çalışmada, arıtma çamuru uygulamalarındaki artışla birlikte azot miktarında bir artışın olduğunu ve bu artış oranının %0.05 ten, 320 t ha⁻¹ uygulamasında %0.20' ye çıktığını bildirmişlerdir.

Arıtma Çamurunun Toprağın Alınabilir Fosfor Kapsamı Üzerine Etkisi

Farklı dozlarda arıtma çamuru uygulanmış olan deneme topraklarının alınabilir fosfor miktarları 229.85 (kontrol)-286.22 mg kg⁻¹ (180 t ha⁻¹) arasında değişim göstermekte olup artan çamur dozlarına bağlı olarak kademeli bir şekilde artış göstermektedir (Tablo 3). Arıtma çamurunun kontrol düzeyleri ile çamur dozları (30 t ha⁻¹ hariç) arasında $P < 0.05$ derecesinde farklılık vardır. Yapılan korelasyon analiz sonucunda çamur ilave edilmiş toprakların yarayışlı fosfor değerleri ile diğer toprak özellikleri ve bitki verim değerleri arasında önemli bir ilişki saptanamamıştır.

Hernandez ve ark., (1991), artan dozda arıtma çamuru uygulamasının toprakta alınabilir fosforu artırdığını belirlemişlerdir. Bunun nedeni toprak+çamur kapsamında fosforun bir kısmının humifikasyon periyodu boyunca mineralizasyona bağlı olarak alınabilir forma dönüşmesinden kaynaklanmaktadır. Krogstad ve ark. (2005), sadece arıtma çamurunun arıtım şekli değil aynı zamanda toprak tipi ve içeriğinin de alınabilir fosfor miktarını etkilediğini bildirmişlerdir. Lundin ve ark. (2004), arıtma çamurunun tarım arazilerinde kullanılmasında ana avantaj fosforun ve diğer tarımsal değeri olan bileşiklerin geri dönüşümünün sağlanmasında bir alternatif yol olduğunu bildirmişlerdir.

Arıtma Çamurunun Toprağın Değişebilir Potasyum Kapsamı Üzerine Etkisi

Farklı dozlarda arıtma çamuru uygulanmış olan deneme topraklarının değişebilir potasyum kapsamı % 0.984 (kontrol)-1.048 (60 t ha⁻¹) değerleri arasında belirlenmiştir (Tablo 3). Topraktaki değişebilir K miktarı bakımından çamurun; 60 t ha⁻¹ düzeyi ile kontrol dahil diğer uygulamalar arasında $P < 0.05$ derecesinde farklılık vardır. Bu durum çamur miktarının artışına bağlı olarak değişebilir K miktarının artış gösterdiğini belirten araştırmalara (Pinamonti et al., 1997; Kunwar ve ark., 2003) genel anlamda uymakla beraber bu çalışmada yüksek dozlardaki çamur uygulamaları ile değişebilir K seviyelerinde azalma eğilimi olmuştur ve sonuçta çamur uygulamalarının

başlangıç seviyeleri ile en yüksek seviyeleri arasındaki fark önemsiz kalmıştır.

Benzer durum Türkmen (2005) tarafından ASKİ arıtma çamuru kullanarak yapılan çalışmada da görülmüştür. Türkmen (2005) ayrıca arıtma çamurunun topraktaki K kapsamlarına etkisinin önemsiz olduğuna dair araştırmaların bulunduğunu (Bozkurt ve ark., 2000), Türkiye topraklarının yarayışlı K kapsamlarının oldukça yüksek değerler gösterdiğini ve topraklarımızın %90'dan fazlası potasyumca yeterli durumda olduğundan arıtma çamurunun yüksek dozlarda uygulanması halinde bile Türkiye toprakları açısından bunun bir önemi olmadığını belirtmiştir.

Arıtma Çamurunun Toprağın Toplam Ağır Metal Kapsamları Üzerine Etkisi

Farklı dozlarda arıtma çamuru uygulanmış olan deneme topraklarının toplam ağır metal kapsamı Tablo 4'de verilmiştir. Arıtma çamuru uygulanan toprakların toplam Pb kapsamı 10.075 (kontrol)-20.253 mg kg⁻¹ (180 t ha⁻¹) değerleri arasında belirlenmiştir. Yapılan korelasyon analiz sonuçlarına göre toprakların organik madde kapsamı ile toplam Pb ($r=0.770$) arasında $P < 0.001$ düzeyinde önemli pozitif ilişki belirlenmiş olup, toprağın çamura bağlı olarak organik madde miktarı arttıkça toplam Pb kapsamı da artmıştır.

Arıtma çamuru uygulanan toprakların toplam Cd kapsamı, 0.190 (kontrol)-0.390 mg kg⁻¹ (180 t ha⁻¹) değerleri arasında belirlenmiş ve artan çamur uygulama dozuna göre Cd içeriği artmıştır. Ancak meydana gelen bu artış istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Arıtma çamuru uygulanan toprakların toplam Ni ve B kapsamı kontrole göre artmış olmasına rağmen topraklarda meydana gelen bu artış istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Yapılan korelasyon analiz sonuçlarına göre toprakların toplam Ni kapsamı ile organik madde kapsamı arasında ($r=0.713$) $P > 0.001$ düzeyinde önemli pozitif ilişki belirlenmiştir. Aitken ve Cummins (1998), sıvı arıtma çamurunun ağır metal davranışlarına etkisini araştırmışlar, 4 yılın sonunda arıtma çamuru uygulanan topraklarda Ni ve Cr konsantrasyonunun arttığını, birikimin özellikle 0-25cm derinlikte olduğunu bildirmişlerdir.

Arıtma çamuru uygulanan toprakların toplam Cr kapsamı, 19,585 (kontrol)-38,295 mg kg⁻¹ (90 t ha⁻¹) değerleri arasında belirlenmiş ve kontrol toprağına göre toplam Cr kapsamı diğer uygulama konularında artmıştır. Bu durum ilgili yönetmelik çerçevesinde değerlendirildiğinde; en yüksek çamur uygulamasında dahi toprakların Cr içerikleri Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde pH'sı 6'nın üzerinde olan topraklar için izin verilen 100 mg kg⁻¹ Cr sınır değerinin çok altında bulunmuştur. Buna rağmen yapılan korelasyon analiz sonuçlarına göre toprakların organik madde kapsamı ile toplam Cr ($r=0.701$) arasında $P < 0.001$ düzeyinde önemli pozitif ilişki belirlenmiş olup, top-

rağın çamura bağlı olarak organik madde miktarı arttıkça toplam Cr kapsamları artmıştır.

Tablo 4. Farklı Dozlarda Arıtma Çamuru Uygulanmış Olan Deneme Topraklarının, Toplam Ağır Metal Kapsamları (mg kg^{-1})

Uygulama (ton çamur ha^{-1})	Pb	Cd	Ni	Cr	Zn	B
Kontrol	10.075 B	0.190 A	22.398 A	19.585 B	79.54 B	18.345 A
30	13.505 B	0.313 A	28.588 A	22.143 B	113.60 A	18.033 A
60	18.328 A	0.380 A	35.705 A	31.605 A	131.26 A	19.428 A
90	18.328 A	0.367 A	33.798 A	38.295 A	119.04 A	17.223 A
180	20.253 A	0.390 A	34.103 A	37.525 A	139.77 A	17.080 A
LSD	4.073	0.263	14.412	8.311	41.892	4.844

$P < 0.05$: Aynı sütündeki aynı harfli değerler arasında istatistik farklılık yoktur.

Toprakların toplam Zn kapsamları 79.54 (kontrol)-139.77 mg kg^{-1} (180 t ha^{-1}) değerleri arasında bulunmuştur. Artan çamur dozuna bağlı olarak toprağın Zn kapsamları artış göstermiş olup, çamurun kendi içerisinde uygulama dozları arasında belirlenen farklar ise önemsiz bulunmuştur. Kontrol toprağına göre çamur uygulamaları sonucu toplam Zn kapsamlarında artış olmasına rağmen, en yüksek çamur uygulamasında dahi Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde pH'sı 6'nın üzerinde olan topraklar için müsaade edilen 300 mg kg^{-1} Zn sınır değerinin altında bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulanan topraklarda Zn'nun Pb, Hg ve Cr'a göre çok daha fazla biyo-alınabilir olduğunu belirtilmektedir (Türkmen 2005).

Ağır metallerin çözünürlükleri, çözünebilir organik kompleks oluşturuşu komponentler tarafından artırılabilir. Zamanla organik maddenin toprakta mineralizasyonu ile organik madde tarafından tutulmuş bulunan ağır metaller toprak çözeltisine geçmektedir (Arnesen ve Singh, 1999 Karaca, 2004). Naim ve ark. (2005) yaptıkları çalışmada, ağır metal seviyelerinin çamur uygulamasıyla arttığını, ancak maksimum konsantrasyonların bile tarımsal uygulamalarda gübre olarak kullanılabilecek değerde kaldığını bildirmişlerdir.

Chaney (1990), arıtma çamurlarından kaynaklanan ağır metal bulaşmasının süs bitkileri yetiştiriciliğinde kullanımının tarım ürünleri yetiştiriciliğinde kullanımı kadar hayati önem taşımadığını, buna rağmen arıtma çamuru uygulanarak yetiştirilen her türlü bitkisel üretimde ağır metalden doğabilecek tehlikenin akıldan çıkarılmaması gerektiğini de vurgulamıştır.

Arıtma Çamurunun Toprağın Ekstrakte Edilebilir Ağır Metal Kapsamları Üzerine Etkisi

Farklı dozlarda arıtma çamuru uygulanan deneme topraklarının ekstrakte edilebilir ağır metal kapsamları Tablo 5'te verilmiştir. Arıtma çamuru uygulanan toprakların ekstrakte edilebilir Cd, Ni, Zn ve B değerleri çamur uygulama dozlarına bağlı olarak artış ve azalmalar göstermiş ancak değişimler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Toprakların

ekstrakte edilebilir Pb ve Cr değerleri ise ICP cihazının okuma değerlerinin (detection limit) altında kaldığından belirlenememiştir.

Arıtma Çamurunun Arpa Zambağı (*Freesia spp.*) Bitkisinin Çiçeklenme ve Bazı Kalite Özellikleri Üzerine Etkileri

Farklı dozlarda arıtma çamuru uygulanan deneme topraklarında yetiştirilen kesme çiçek çeşitlerinden Arpa Zambağı (*Freesia spp.*) bitkisinin çiçeklenme ve bazı kalite özelliklerine etkileri Tablo 6'da verilmiştir.

Freesia spp. bitkisinin çiçeklenme, çiçek kaliteleri ve yumrulara olan etkileri ele alındığında, artan miktarlarda toprağına uygulanan içme suyu arıtma çamurunun çiçek sapı uzunluğu, yumrudan elde edilen yavru sayısı (180 t ha^{-1} hariç), başak uzunluğu ve kandil sayısının artan doza bağlı olarak artış gösterdiği, buna karşın çamur dozunun bitki boyu üzerine herhangi bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Bitki başına elde edilen çiçek sayısı ise en fazla 30 ve 60 t ha^{-1} uygulamasında elde edilmiş olup, 90 ve 180 t ha^{-1} uygulamasında çiçek sayısı kontrol toprağının altına düşmüştür ($P < 0.05$). Yapılan korelasyon analiz sonucunda toprakların organik madde değerleri ile başak uzunluğu ($r = 0.730$) ve çiçek sap uzunluğu ($r = 0.691$) arasında $P < 0.01$ düzeyinde önemli pozitif ilişki belirlenmiştir.

Toprakların çamur uygulanmasına bağlı olarak artan organik madde miktarı ile birlikte bitki başak uzunluğu ile çiçek sap uzunluğunda artış olmuştur. Toprakların toplam azot içerikleri ile çiçek sap uzunluğu ($r = 0.766$) arasında da $P < 0.001$ düzeyinde önemli pozitif ilişki belirlenmiştir.

Sonuç ve Öneriler

Deneme sonuçlarına göre, artan miktarlarda toprağına uygulanan arıtma çamurları toprağın EC değerini artırmış, ancak tuzluluk miktarındaki artışlar toprağın tuzsuz sınıftan, hafif tuzlu sınıfa kaymasına neden olmamıştır. pH değeri dozlara bağlı olarak artmasına rağmen metallerin biyo-alınabilirliğini etkileyecek düzeyde istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Artan arıtma çamuru miktarına bağlı olarak toprakta kireç,

organik madde ve alınabilir P miktarları artış göstermiştir. Değişebilir K kapsamında en yüksek değer 60 t ha⁻¹ uygulamasından elde edilmiştir. Arıtma çamuru uygulanan toprakların toplam azot kapsamı kontro-

le göre artmıştır. Kontrol uygulamasında toplam N kapsamı %0.34 iken, 180 t ha⁻¹ uygulamasında %0.43 olmuştur.

Tablo 5. Arıtma Çamuru Uygulamalarının Toprağın Ekstrakte Edilebilir Ağır Metal* Kapsamlarına Etkisi (mg kg⁻¹)

Uygulama (ton çamur ha ⁻¹)	Pb	Cd	Ni	Cr	Zn	B
Kontrol	ND	0.107	0.557	ND	7.49	0.305
30	ND	0.082	0.430	ND	6.76	0.228
60	ND	0.112	0.550	ND	8.07	0.308
90	ND	0.115	0.546	ND	8.19	0.301
180	ND	0.110	0.517	ND	7.89	0.268
LSD	ND	0.039	0.200	ND	2.87	0.109

$P < 0.05$: Aynı sütundaki aynı harfli değerler arasında istatistik farklılık yoktur.

*: Ekstrakte edilebilir ağır metal ve iz element analizlerinde yapılan istatistik analizlere göre uygulamalar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark belirlenmemiştir. ND: Belirlenemedi

Tablo 6. Arıtma Çamuru Uygulamalarının *Freesia spp.*'de Çiçeklenme ve Bazı Kalite Özellikleri Üzerine Etkileri

Uygulama (ton çamur ha ⁻¹)	Bitki Boyu (cm)	Çiçek Sayısı (adet)	Kandil Sayısı (adet)	Başak Uzunluğu (cm)	Çiçek Sapı Uzunluğu (cm)	Yumru Çapı (mm)	Yavru Sayısı (adet)
Kontrol	52.25 A	3.87 B	7.29 B	5.43 C	20.88 B	21.75 C	14.25 C
30	55.00 A	5.00 A	7.83 A	6.58 B	23.37 AB	25.00 B	15.25 B
60	56.50 A	5.37 A	7.34 B	6.92 AB	24.57 A	28.50 A	18.25 B
90	59.25 A	2.50 C	7.87 A	6.81 AB	24.51 A	29.50 A	23.75 A
180	49.52 A	2.42 C	8.18 A	7.54 A	25.73 A	20.50 C	15.25 B
LSD	11.260	1.116	0.474	0.741	3.160	3.767	3.342

$P < 0.05$: Aynı sütundaki aynı harfli değerler arasında istatistik farklılık yoktur.

Arıtma çamuru uygulamalarının toprağın toplam ağır metal kapsamı üzerine etkileri incelendiğinde ise, kontrole göre Pb, Cd, Ni, Cr ve B değerleri artmıştır. Ancak bu artışlar en yüksek çamur uygulamasında dahi Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde pH'sı 6'nın üzerinde olan topraklar için müsaade edilen sınır değerlerin altında bulunmuştur.

Toprağa uygulanan arıtma çamuru uygulamasına bağlı olarak, artan organik madde miktarı ile birlikte başak uzunluğu ile çiçek sapı uzunluğunda artış olmuştur. *Freesia spp.* bitkisinin gelişimi, arıtma çamuru uygulamaları ile birlikte; bitki başına elde edilen çiçek sayısında 60 t ha⁻¹, kandil sayısında 180 t ha⁻¹, yumru çapında 90 t ha⁻¹ ve yumrudan elde edilen yavru sayısında 90 t ha⁻¹ uygulaması etkili olmuştur.

Arıtma çamurlarının, yığınlar halinde arazilerde depolanarak giderimi önemli çevre kirliliği problemlerine yol açmaktadır. İçme suyu tesisi arıtma çamurunun süs bitkiciliği alanında değerlendirilmesinin tercih edilmesi durumunda; çamurun toprakta yıllık birikiminin fazla olmasını engellemek amacı

ile düşük dozlarda (30 t ha⁻¹) Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'ndeki hükümler yerine getirilerek çevre düzenlemelerinde ve süs bitkileri yetiştiriciliğinde kullanımı önerilebilir. Ancak arıtma çamurunun özellikle toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri ile ağır metal kapsamı üzerine etkilerinin sera denemesi dışında tarla koşullarında incelenmesi, bu konuda daha ayrıntılı ve güncel sonuçların elde edilmesi bakımından fayda sağlayacaktır. Ayrıca arıtma çamurunun yeraltı suyuna etkisinin araştırılmasının ve daha geniş pH değerlerinde tarla koşullarında çalışılması çevresel açıdan son derece yararlı olacaktır.

Kaynaklar

- Aitken, M.N. and Cummins D.I., 1998. The effect of long-term annual sewage sludge applications on the heavy metal content of soils and plants. Healty and environmental aspects. Scottish Agricultural College, p.424-436, Scotland.
- Alganatay, N., 1968. Orta Anadolu kuzey bölgesi topraklarının fosfor durumu ve bu bölge topraklarında alınabilir fosfor miktarı tayininde kullanılacak metotlar üzerine bir araştırma (Doktora Tezi), A.Ü. Ziraat Fa-

- kültesi Toprak Bölümü, Ankara. In: Kacar, B., 1995. Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri III-Toprak Analizleri. A.Ü. Ziraat Fak. Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Yayınları, Yayın No: 3. Ankara.
- Alloway B.J., 1995. Heavy metals in soils. Blackie, p. 122-152, London.
- Anonim, 2000. T.C. Kocaeli Valiliği İl Çevre Müdürlüğü. Kocaeli İli Çevre Durum Raporu. Kocaeli.
- Aral, N., 1990. Arıtma çamurlarının arazide kullanılma olanakları. İTÜ 2. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu 90. s: 13-21, İstanbul.
- Arcak, S., Türkmen, C., Karaca, A. and Erdoğan, E., 2000. A study on potential agricultural use of sewage sludge of Ankara waste water treatment plant. International Symposium on Desertification (ISD), s: 345-349, 13-17 Haziran, Konya.
- Arnesen, A. K. M., Singh, B.R., 1999. Plant uptake and DTPA-ekstractability of Cd, Cu and Ni in a Norwegian alum shale soil as affected by previous addition of dairy and pig manures and peat. Can. J. Soil Sci. 78: 531-539.
- Antoniadis, V. and Alloway, B.J., 2002. The role of dissolved organic carbon in the mobility of Cd, Ni and Zn in sewage sludge amended soils. Envir. Pol. 117: 515-521.
- Ayvaz, Z., 2000. Atıksu Arıtma Çamurlarının Değerlendirilmesi, Ekoloji Çevre Dergisi. 35: 3-12.
- Bouyoucous, G.J., 1951. A Recalibration of Hydrometer for Making Mechanical Analysis of Soils. Agron. J. 43: 9.
- Bozkurt, M.A., Erdal, İ., Çimrin, K.M., Karaca, S., Sağlam, M., 2000. Kentsel arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının mısır bitkisinin besin elementi ve ağır metal kapsamına etkisi. A.Ü. Zir. Fak. Tarım Bil. Der. 6(4): 35-43.
- Bremner, J.M., 1965. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Ed. A.C.A. Black. Amer. Soc. of Agron. Inc. Pub. Agron. Series, 9, Madison, Wisconsin, 400 s., USA.
- Carson, P.L., 1980. Recommended potassium test. P.20-21. In: Recommended Chemical soil test procedures for the North Central Region. Rev. ed. North Central Regional.
- Chaney, R.L., 1990. Twenty years of land application research. Part 1. *BioCycle* 31: 54-59.
- Chen, J., McConnell, D.B., Robinson, C.A., Caldwell, R.D. and Huang, Y., 2002. Production and interior performances of tropical ornamental foliage plants grown in container substrates amended with compost. *Comp. Sci. Utilizat.* 10(3): 217-225.
- Çimrin, K.M., Bozkurt, M.A., Erdal, İ., 2000. Kentsel Arıtma Çamurunun Tarımda Fosfor Kaynağı Olarak Kullanılması. YYÜ Zir. Fak. Tarım Bil. Der. 10 (1): 85-90.
- Dolgen, D., Alpaslan, M.N., Delen, N. 2007. Agricultural recycling of treatment-plant sludge: A case study for a vegetable-processing factory. *J. Envir. Manag.* 84 :274-281.
- EPA, 1990. National Sewage sludge survey: Availability of information and data, and anticipated impacts on proposed regulations; Proposal Rule 40 CFR Part 503. Federal Register 55 (218): 47210-47283., In: The use of reclaimed water and sludge in food crop production. Environmental Protection Agency. National Research Council. National Academy Press, Washington, D.C.
- EPA, 1993. Technical Support Documents for 40 CFR Part 503. Land application of Sewage Sludge, Vol. IPB93-11075., in: Land Application of Sewage Sludge, Vol. II PB93-110583, Appendices A-L; Pathogen and Vector Attraction Reduction in Sewage Sludge PB93-110609; Human Health Risk Assessment for Use and Disposal of Sewage Sludge, Benefits of Regulation PB93-111540; The Regulatory Impact Analysis PB93-110625. Springfield, Virginia: National Technical Information Service.
- Eyüpoğlu, F., 1999. Türkiye Topraklarının Verimlilik Durumu. T.C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Yayınları Genel Yayın No: 220, Teknik Yayın No: T-67, Ankara.
- FAO, 1990. Micronutrient assesment at the country level: an internatinal study. FAO Soils Bulletin 63, Rome.
- Gouin, F.R., 1993. Utilization of sewage sludge compost in horticulture. *HortTechnology* 3: 161-163.
- Guerrero, F., Gascó, J.M. and Hernández-Apaolaza, L., 2002. Use of pine bark and sewage sludge compost as components of substrates for *Pinus pinea* and *Cupressus arizonica* production. *J. Plant Nutr.* 25: 129-141.
- Haktanır, K., ve Arcak, S., 1997. Çevre Kirliliği. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No: 1503, Ders Kitabı: 457, Ankara.
- Hernandez, T., Moreno, J.I., Costa, F., 1991. Infuence of sewage sludge application on crop yields and heavy metal availability. *Soil Sci. Plant Nutr.* 37: 201-210.
- Hernandez-Apaolaza L., Gascó A.M., Gascó J.M., Guerrero F., 2005. Reuse of waste materials as growing media for ornamental plants. *Bioresour Technol* 96:125-131.

- Hicklenton, P.R., Rodd, V. and Warman, P.R., 2001. The effectiveness and consistency of source-separated municipal solid waste and bark composts as components of container growing media. *Sci. Horticult.* 91: 365–378.
- Ingelmo, F., Canet, R., Ibañez, M.A., Pomares, F. and García, J., 1998. Use of MSW compost, dried sewage sludge and other wastes as partial substitutes for peat and soil. *Bioresour. Technol.* 63: 123–129.
- ISO/DIS., 1995. 11047. Soil quality-determination of cadmium, chromium, cobalt, copper, lead, manganese, nickel and zinc flame and electro-thermal atomic absorption spectrometric methods.
- Jackson, M.L., 1962. *Soil Chemical Analysis* Prentice Hall, Inc. Cliffs., USA.
- Jamali, M.K., Kazi, T.G., Aram, M.B., Afridi, H.I., Memon, A.R., Jalbani, N and Shah A., 2008. Use of sewage sludge after liming as fertilizer for maize growth. *Pedosphere*. 18(2): 203-213.
- Kabata-Pendias, A., and Pendias, H., 1984. *Trace Elements in Soils and Plants*. pp: 115, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.
- Kabata-Pendias, A., 2001. Biogeochemical processes affecting soil-plant transfer of trace elements. In: *Proceedings of the 15th International Symposium on Environmental Biogeochemistry*. pp 149-150., Wroclaw, Poland.
- Karaca A., 2004. Effect of organic wastes on the extractability of cadmium, copper, nickel and zinc in soil. *Geoderma an International J. of Soil Science (Special Issue)*. 122: 297-303.
- Kirven, D.M., 1986. “An Industry Viewpoint: Horticultural Testing is Your Language Confusing” *Proc. of the Sym. Interpretation of Extraction and Nutrient Determination Procedures for Organic Potting substrates*, pp 215-217.
- Korkut, A.B., 1998. *Çiçekçilik*. HASAD Yayıncılık Ltd. Şti. ISBN 975-8377-28-0. İSTANBUL
- Krogstad, T., Sogn, T.A., Adsal, A. Sæbø, A., 2005. Influence of chemically and biologically stabilized sewage sludge on plant-available phosphorous in soil, *Ecol. Eng.* 25: 51-60.
- Kunvar, P. S., Mohan, D., Sarita, S. And Dalwani, R., 2003. Impact assessment of treated / untreated wastewater toxicants discharged treatment plants on health, agricultural and environmental quality in the wastewater disposal area. *Chemosphere* 10.050. Published by Elsevier Ltd.
- Küçükhemek, M., Gür, K., uyanöz, R., Çetin, Ü., 2005. Arıtma çamuru ve çiftlik gübresinin çim bitkisi verimine ve renk özelliğine etkisi. 1. Ulusal arıtma çamuru sempozyumu bildiri kitabı, 375-384.
- Lindsay, W. L. and Norvell, W.A., 1978. Development of a DTPA soil test for Zn, Fe, Mn and Cd. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 42: 421 – 428.
- Lundin, M., Olofsson M., Pettersson G.J. and Zetterlund H., 2004. Environmental and economic assessment of sewage sludge handling options. *Resources, Conservation and Recycling* 41 p.255-278.
- Manas, p. And Castro, E., 2008. Quality of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) seedlings using waste materials as nursery growing media. *J. New forest*. 37: 295-311.
- Martinez,F., Cuevas, C., Teresa, Walter, Iglesias I., 2002. Urban organic wastes effects on soil chemical properties in degraded semiarid ecosystem. In: *Seventeenth WCSS, Symposium No. 20, Thailand*, pp.1-9.
- McBride, M.B., 1995. Toxic Metal Accumulation from Agricultural Use of Sewage Sludge: USEPA Reg.24, pp.5-18.
- Naim, M.A., El-Housseini M. and Naeem M.H., 2005. Safety use of sewage sludge as soil conditioner. *Science and Health, Part A, Volume 39, Issue 2* pp 435-444.
- Navas, A., Bermudez, F., Machin J., 1998. Influence of sewage sludge application on physical and chemical properties of Gypsisols. *Geoderma* 87:123-135.
- Nriagu, J.O. (Ed.), 1984. *Changing Metal Cycles and Human Health*. Life Sciences Research Report 28, Dahlem Konferenzen, Springer-Verlag, Berlin.
- Olsen, S.R., Cole, V., Watanabe, F.S. and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate U.S. Dept. of Agr. Cir. 939. Washington, D.C.
- Özdemir, S., Köseoğlu, G., Dede, Ö.H. 2005 Arıtma çamurlarının süs bitkisi toprağı hazırlanmasında kullanımı. 1. Ulusal arıtma çamuru sempozyumu bildiri kitabı, 557-564.
- Pinamonti, F., Stringari, G., Zari, G., 1997. The use of compost; It's effects on heavy metal levels in soil and plants. *Resources, Conversation and Recycling*. 21:129-141.
- Raviv, M., Chen, Y. and Inbar, Y., 1986. Peat and peat substitutes as growth media for container-grown plants. In: *Chen, Y. and Avnimelech, Y., Editors, 1986. Developments in Plant and Soil Sciences: The Role of Organic Matter in Modern Agriculture*, Martinus Nijhoff Publisher, Dordrech, pp. 257–287.
- Richards, L.A., 1954. *Diagnosis and imporvment of saline and alkaline soils*. U.S.D.A. Handbook, no: 60, USA.

- Shober, A.L., Stehouwer, R.C., Macneal, K.E., 2003. On-farm assessment of biosolids effects on soil and crop tissue quality. *J Environ. Qual.*, 32: 1873-1880.
- Sing, R.P. and Agrawal, M., 2007. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste Management* (2007). Doi:10.1016/j.wasman. pp 1-12.
- Soumare, M., Tack, F.M.G., Verloo, M.G., 2003a. Characterization of Malian and Belgian Solid Waste Composts with Respect to Fertility and Suitability for Land Application, *Waste Management*, 23: 517-522.
- Soumare, M., Tack, F.M.G., Verloo, M.G. 2003b. Effects of a Municipal Solid Waste Compost and Mineral Fertilization on Plant Growth in Two Tropical Agricultural Soils of Mali, *Biore-source Technology*, 86, 15-20. Spinosa L, Ves-lind PA. 2001. Sludge into biosolids: processing, disposal, utilization. London, UK.
- TAV, 1999. Süs Bitkileri Yetiştiriciliği Soğanlı ve Yumru Bitkileri. Tarımsal Araştırmaları Destekleme ve Geliştirme vakfı. Yayın No: 40. Yalova
- Türkmen, C., 2005. AMAAT Arıtma Çamurunun toprakta arpa bitkisi verim kriterleri ile bazı toprak özellikleri üzerine etkileri. A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı Doktora Tezi, Ankara.
- U.S. Salinity Laboratory Staff., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S.D.A. Handbook 60, USA.
- Wang X., Chen Tao., Ge Y. and Jia Y., 2008. Studies on land application of sewage sludge and its limiting factors. *Journal of Hazardous Materials*. 160 (2-3): 554-558.
- Warman P.R. and W.C. Termeer 2005. Evaluation of sewage sludge, septic waste and sludge compost applications to corn and forage: yields and N, P and K content of crops and soils. *Biore-source Technology* 96: 955-961.
- Wong J.W.C., Lai K.M., Fang M. and Ma K.K., 2000. Soil biology of low grade landfill soil with sewage sludge amendment. *Envir. Tec.*, 21 (11): 1233-1238.
- Wong, J.W.C., Li, K., Kure, L.K., Su, D.C., 2001. Toxicity Evaluation of Sewage Sludges in Hong Kong, *Envir. Inter.*, 27: 373-376.