

Yaygın Fiğ+Arpa Karışımına Uygulanan Kentsel Nitelikli Arıtma Çamurunun Toprağın Bazı Bitki Besin Maddeleri Kapsamına Etkisi*

Seda RAJABİ KHIABANİ**, Ahmet Esen ÇELEN

Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Bornova-İzmir, TÜRKİYE

Geliş Tarihi/Received: 24.09.2020

Kabul Tarihi/Accepted: 05.11.2020

ORCID ID (Yazar sırasına göre / by author order)

orcid.org/0000-0002-5020-6029 orcid.org/0000-0002-6351-0396

**Sorumlu Yazar/Corresponding Author: sedakhiabani@gmail.com

Öz: Bu çalışma, yaygın fiğ+arpa karışımına uygulanan kentsel arıtma çamurunun bazı toprak bitki besin maddelerine etkisini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Araştırmada tarla denemeleri, 2015-2017 yılları arasında iki yıl süreyle Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi'ne ait Bornova'daki deneme arazisinde, tesadüf blokları deneme desenine göre dört tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Çalışmada; arıtma çamurunun 1, 2 ve 3 t da⁻¹ dozları ile kontrol ve mineral gübre uygulamaları araştırmanın konusunu teşkil etmiştir. Yaygın fiğ+arpa hasadından sonra her parselden alınan toprak örneklerinde; toplam azot (N), alınabilir fosfor (P), alınabilir potasyum (K), alınabilir demir (Fe), alınabilir bakır (Cu), alınabilir mangan (Mn) ve alınabilir çinko (Zn) analizleri yapılarak topraktaki bu besin maddeleri yönünden değişim incelenmiştir. Araştırma sonucunda uygulamaların toprağın besin maddesi üzerinde farklı etkilerinin ortaya çıktığı görülmüştür. Toplam N ve alınabilir Cu üzerinde uygulamaların ilk yıl, alınabilir Zn üzerinde ikinci yıl, alınabilir P ve alınabilir Fe üzerinde ise her iki yılda da anlamlı etkileri ortaya çıkarken, alınabilir K ve alınabilir Mn üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde üretim yapılacak tarım arazisinin toprak analiz sonuçlarına göre ve arıtma çamurunun toprakta bırakılabileceği ağır metaller göz önünde bulundurularak 2 t da⁻¹ arıtma çamurunun yaygın fiğ+arpa karışımında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Arıtma çamuru, besin elementi, yaygın fiğ, arpa, mineral gübre

The Effect of Treated Sewage Sludge Applied to Common Vetch + Barley Mixture on the Content of Some Plant Nutrients of Soil

Abstract: This study was carried out to determine the effect of sewage sludge applied to common vetch + barley mixture on some soil plant nutrients. The research was conducted in a randomized complete block design with four replications in the experimental fields of Ege University, Faculty of Agriculture in Bornova for two years between 2015-2017. In the study, 1, 2, and 3 t da⁻¹ doses of sewage sludge, control, and mineral fertilizer applications were the subjects of the study. In soil samples taken from each plot after the common vetch + barley harvest; Total nitrogen (N), available phosphorus (P), available potassium (K), available iron (Fe), available copper (Cu), available Mangan (Mn) and available zinc (Zn) analysis were made and changes in the soil were investigated. As a result of the research, it was seen that the applications had different effects on the nutrient content of the soil. Applications had significant effects on total N and available Cu in the first year, whereas they had a significant effect on available Zn in the second year. Available P and Fe were affected in both years of the study. Applications had no significant effect on available K and Mn. When the results are evaluated in general, according to the soil analysis results and heavy metal amounts from the sewage sludge, it is concluded that 2 t da⁻¹ sewage sludge can be used in common vetch + barley mixtures.

Keywords: Sewage sludge, nutrient, common vetch, barley, mineral fertilizer

*: Bu çalışma, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından kabul edilen birinci yazara ait "Kentsel arıtma çamurunun fiğ+arpa karışımının verimi ve kalitesi ile bazı toprak özelliklerine etkisi üzerinde araştırmalar" isimli Doktora Tez çalışmasının bir bölümünden üretilmiştir.

1. Giriş

Günümüzde belediyelerin en büyük sorunlarından birisi, kentsel ve endüstriyel arıtma sistemlerinde ortaya çıkan arıtma çamurlarının bertaraf edilmesidir. gelişmekte olan ülkelerde kentsel su kaynaklarının artışı atık su bertarafı sorununu artırmıştır (Mazen ve ark., 2010). Birçok araştırmacı da gelecekte ortaya çıkacak bu arıtma gereksinimleri nedeniyle arıtma çamuru miktarının artacağını varsaymaktadır (Rizzardini ve Goi, 2009; Vural, 2013).

Toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin iyileştirilmesinde toprağın organik madde oranı önemli bir detaydır. Türkiye topraklarının organik madde miktarı oldukça düşüktür. Topraklarımızın % 21.0'inin organik madde miktarı % 1'den az, % 43.2'i % 1-2 arasında, % 22.7'si % 2-3 arasında, % 8.0'ı % 3-4 arasında olup, toprakların % 5.1'i % 4'ün üzerinde organik madde içermektedir (Güçdemir, 2006). Bu durum dikkate alındığında organik kökenli kaynakların toprağa karıştırılmasının ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Sommers (1977), arıtma çamurlarının içerdikleri organik madde, azot (N), fosfor (P), potasyum (K) ve diğer besin elementleri nedeniyle tarımsal olarak toprağa uygulanma imkanına sahip olduğunu belirtmiştir. Türkiye'de de bu tip uygulamalara ağırlık verilmesi yararlı olacaktır.

Toprak organik maddesinin arttırılmasında; içerisinde baklagillerin de yer aldığı ekim nöbeti sistemleri, ahır gübresi, yeşil gübreleme, toprak düzenleyicilerin (gidya, leonardit vs.) uygulandığı birtakım tarımsal pratikler önemli yer tutmaktadır. Bu amaca yönelik olarak, kolay elde edilebilir ve düşük maliyetli olması nedeniyle özellikle organik kökenli kentsel arıtma çamurlarının da tarım alanlarında kullanılması söz konudur. Birincil bileşenleri olan organik madde, P ve N yanında, diğer eser elementlerle zenginleştirilmiş arıtma çamuru bitki büyümesi için iyi bir besin kaynağı ve toprağın bazı kimyasal ve fiziksel özelliklerini iyileştirmek için de iyi bir toprak düzenleyicidir (Matthews, 1984; Mazen ve ark., 2010; Uzun ve ark., 2011; Özyazıcı ve Özyazıcı, 2012; Özyazıcı, 2013).

Uzun yıllar işlenen topraklarda çinko (Zn) ve bakır (Cu) gibi iz elementlerin sık sık eksikliğinin ortaya çıkabileceği (Özyazıcı ve ark., 2015) ve arıtma çamuru uygulamalarının bu elementler dahil, bitki için gerekli diğer bazı makro ve mikro besin elementlerinin çoğunu yeterince karşılayabileceği bildirilmiştir (Zafar ve ark., 2020). Gilmour ve Skinner (1999), arıtma çamuru uygulama oranını ağır metaller, patojenler, toksik organik bileşikler ve elementlerin

konsantrasyonları gibi çeşitli faktörlerin etkilediğini belirtmişlerdir. Aynı araştırmacılar uygulama oranına karar verirken, sıklıkla yetiştirilecek bitkinin N ihtiyacı ile arıtma çamurundaki kullanılabilir N miktarının dikkate alınması gerektiğini vurgulamışlardır. Arıtma çamurlarından toprak bitki besin kaynağı olarak da yararlanıldığı düşüncesinden hareketle, yaygın fiğ+arpa karışımına uygulanan kentsel nitelikli arıtma çamurunun toprağın bazı bitki besin elementleri kapsamına etkisini araştırmak bu çalışmanın amacını oluşturmuştur.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışma, 2015-2016 ve 2016-2017 yıllarında iki yıl süreyle Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü deneme alanında yürütülmüştür. Araştırmada; İzmir Büyükşehir Belediyesi, İZSU Genel Müdürlüğü'ne ait Atık Su Arıtma Tesisi'nden temin edilen % 90 kuru madde içeriğine sahip granül halde arıtma çamuru materyali olarak kullanılmıştır. Arıtma çamurunun bazı özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Araştırmada kullanılan arıtma çamurunun bazı özellikleri

Özellik	Birim	Değeri
pH		7.18
Elektriksel iletkenlik (EC)	$\mu\text{S cm}^{-1}$	1945
Organik madde	%	51.20
Organik karbon	%	29.66
Kireç	%	5.35
Toplam N	%	2.99
Toplam P	%	0.23
Toplam K	%	0.34
Toplam kalsiyum (Ca)	%	6.36
Toplam magnezyum (Mg)	%	2.04
Toplam sodyum (Na)	mg kg^{-1}	1390.5
Toplam demir (Fe)	mg kg^{-1}	12755.0
Toplam Cu	mg kg^{-1}	176.5
Toplam Zn	mg kg^{-1}	1376.6
Toplam mangan (Mn)	mg kg^{-1}	350.0
Toplam nikel (Ni)	mg kg^{-1}	69.73
Toplam kurşun (Pb)	mg kg^{-1}	17.44
Toplam krom (Cr)	mg kg^{-1}	112.53
Toplam kadmiyum (Cd)	mg kg^{-1}	2.83

Tablo 1 incelendiğinde, kullanılan arıtma çamuru materyali yüksek organik madde içeriğine sahip olup; içerdiği ağır metal değerleri ise "Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik"te (Anonim, 2010) belirtilen sınır değerinin altındadır. Arıtma çamurunun mikrobiyolojik analizleri sonucu kullanımını sınırlandıracak Fekal coli seviyesi de tespit edilmemiştir.

Araştırmanın bitkisel materyalini, Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nden

temin edilen Alper yaygın fiğ (*Vicia sativa* L.) çeşidi ile Sancak arpa (*Hordeum vulgare* L.) çeşidi oluşturmuştur.

Denemeler kurulmadan önce araştırma alanından alınan toprak örneğinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 2’de verilmiştir. Araştırma alanının toprağı killi-tınlı bünyeye sahip

olup, hafif alkalin karakterlidir. Tuzluluk tehlikesi bulunmayan araştırma topraklarının; organik madde içeriğı “az”, kireç içeriğı “orta kireçli”, alınabilir P kapsamı “yeterli” ve alınabilir K kapsamı “çok yüksek” düzeydedir. Toprakların alınabilir Cu ve Zn kapsamının yeterli, alınabilir Mn miktarının “az”, Fe içeriğinin ise “orta” düzeyde olduğıu belirlenmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Araştırma alanı toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri (0-20 cm)

Toprak özelliğı	Değeri	Yöntem
Kum (%)	40.80	
Kil (%)	34.94	Bouyoucos hidrometre yöntemiyle (Bouyoucos, 1951)
Silt (%)	24.26	
pH	7.51	Saturasyon çamurunda cam elektrotlu pH metre ile ölçülerek (Richards, 1954)
EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	920	Saturasyon çamurundan çıkartılan ekstrakta kondaktivite cihazı ile ölçülmesiyle (Richards, 1954)
Organik madde (%)	1.17	Modifiye Walkley-Black yaş yakma yöntemiyle (Nelson ve Sommers, 1982)
Kireç (%)	9.9	Scheibler kalsimetresi ile volümetrik metotla (Çağlar, 1949)
Toplam N (%)	0.094	Modifiye Kjeldahl yöntemine göre (Jackson, 1958)
Alınabilir P (mg kg^{-1})	21.1	Olsen yöntemine göre (Olsen ve ark., 1954)
Alınabilir K (mg kg^{-1})	352	
Alınabilir Ca (mg kg^{-1})	6875	
Alınabilir Na (mg kg^{-1})	30.8	
Alınabilir Mg (mg kg^{-1})	304.2	
Alınabilir Fe (mg kg^{-1})	4.39	
Alınabilir Mn (mg kg^{-1})	7.58	
Alınabilir Zn (mg kg^{-1})	1.38	
Alınabilir Cu (mg kg^{-1})	1.66	

Araştırmada tarla denemeleri tesadüf blokları deneme desenine göre dört tekrarlamalı olarak kurulmuştur. Araştırmanın konusunu; arıtma çamurunun 0, 1, 2 ve 3 t da^{-1} dozları ile mineral gübre uygulaması (geleneksel gübre uygulaması) oluşturmuştur. Geleneksel gübre uygulamasının yapıldığı parsellerde; deneme öncesi yapılan toprak analiz sonucuna göre gübreleme yapılmış olup, 6 kg da^{-1} N, P_2O_5 ve K_2O olacak şekilde 15-15-15 kompoze gübre ekim öncesi toprağına uygulanmıştır. Arıtma çamuru uygulaması yapılan parsellerde ise ekim öncesi arıtma çamuru belirlenen dozlara göre toprağına karıştırılmıştır.

Araştırmada, her parselde 20 cm sıra aralığında ve 10 sıra olacak şekilde ekim yapılmış olup, parsel boyutları 2 m x 5 m= 10 m^2 olarak tutulmuştur. Çalışmada, çimlenmesi ve safiyeti tam tohumluktan 15 kg da^{-1} yaygın fiğ (% 25) ve 5 kg da^{-1} arpa (% 75) olacak şekilde, yaygın fiğ ve arpa tohumları bir arada aynı sıralara elle ekim gerçekleştirilmiştir (Tan ve Serin, 1996; Çirmin ve ark., 2001). Ekim işlemi; birinci yıl 08.12.2015 tarihinde, ikinci yıl ise 12.12.2016 tarihinde yapılmıştır. Yabancı otlar görüldüğünde elle mücadelesi yapılmıştır.

Çalışmada hasat sonunda her parselden genel kurallara uygun olarak (Jackson, 1958) paslanmaz çelik kürek ile 0-20 cm derinlikten toprak örnekleri alınmıştır. Alınan toprak örneklerinde; toplam N, alınabilir P, K, Fe, Cu, Mn ve Zn analizleri Tablo 2’de verilen yöntemlerle yapılarak, arıtma çamuru uygulamalarının toprağın bu özellikleri yönünden değışimi araştırılmıştır.

Araştırmadan elde edilen veriler TARİST istatistik programı kullanılarak tesadüf blokları deneme desenine göre varyans analizine tabi tutulmuş ve uygulamalar arasındaki ortalamaların karşılaştırılmasında LSD testi (0.05) kullanılmıştır (Açıkgöz ve ark., 1993).

3. Bulgular

Arıtma çamurunun farklı dozları ve kimyasal gübre uygulamalarının toprağın bazı kimyasal özelliklerine etkileri Tablo 3’te verilmiştir. Araştırmada ele alınan uygulamaların toprağın toplam N ve alınabilir Cu içeriğı yönünden ilk yıl, alınabilir Zn içeriğı yönünden ikinci yıl, alınabilir P ve alınabilir Fe içeriğı yönünden de her iki yılda istatistiki açıdan $p<0.01$ düzeyinde önemli etkisi

Tablo 3. Arıtma çamuru ve mineral gübre uygulamalarının toprağın bazı besin elementi miktarlarına etkisi*

Uygulamalar	Toplam N (%)		Alınabilir P (mg kg ⁻¹)		Alınabilir K (mg kg ⁻¹)		Alınabilir Fe (mg kg ⁻¹)	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016
Kontrol	0.09 b	0.12	4.73 c	6.53 b	451	467	10.73 c	13.75 b
1 t da ⁻¹ A.Ç.	0.14 b	0.12	19.25 bc	39.60 a	437	447	14.93 bc	20.22 a
2 t da ⁻¹ A.Ç.	0.22 a	0.15	33.95 ab	39.20 a	485	477	25.58 ab	24.27 a
3 t da ⁻¹ A.Ç.	0.21 a	0.13	47.45 a	41.30 a	466	476	33.43 a	23.72 a
Mineral gübre	0.10 b	0.14	8.95 c	15.90 b	491	492	9.70 c	13.82 b
LSD _{0.05}	**	Öd.	**	**	Öd.	Öd.	**	**
	Alınabilir Cu (mg kg ⁻¹)		Alınabilir Zn (mg kg ⁻¹)		Alınabilir Mn (mg kg ⁻¹)			
	2015	2016	2015	2016	2015	2016		
Kontrol	2.93 bc	2.77	1.76	1.81 c	2.43	2.54		
1 t da ⁻¹ A.Ç.	4.30 b	4.67	1.91	2.09 b	2.52	2.52		
2 t da ⁻¹ A.Ç.	6.04 a	4.47	1.92	2.35 a	2.46	2.78		
3 t da ⁻¹ A.Ç.	7.30 a	3.15	2.06	2.20 ab	2.61	2.78		
Mineral gübre	2.84 c	3.07	1.92	1.87 c	2.50	2.38		
LSD _{0.05}	**	Öd.	Öd.	**	Öd.	Öd.		

A.Ç.: Arıtma çamuru, **: p<0.01 düzeyinde önemli farklılık, Öd.: Önemli değil, *: Aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemli değildir.

görüldürken; toplam N ve alınabilir Cu kapsamına ait ikinci yıl, alınabilir Zn içeriğine ait ilk yıl verileri ile alınabilir potasyumun ve alınabilir manganın her iki yılında da uygulamaların önemli bir etkisi ortaya çıkmamıştır (Tablo 3).

Toprağın en yüksek toplam N içeriği ilk yıl % 0.22 ve % 0.21 ile sırasıyla 2 t da⁻¹ ve 3 t da⁻¹ arıtma çamuru uygulamalarıyla alınırken, en düşük toplam N içeriği ise % 0.09-0.14 aralığında değişmek suretiyle istatistiksel yönden aynı grupta yer alan kontrol (0 t da⁻¹ arıtma çamuru), mineral gübre ve 1 t da⁻¹ arıtma çamuru uygulamalarından elde edilmiştir. İkinci yıl toplam N içerikleri % 0.12-0.15 arasında değişim göstermiştir (Tablo 3).

Yaygın fiğ+arpa hasadı sonunda toprağın alınabilir P içeriği incelendiğinde; artan arıtma çamuru dozlarına bağlı olarak toprağın alınabilir P içeriklerinin arttığı, her iki yılda da en yüksek değerlerin 47.45 mg kg⁻¹ ve 41.30 mg kg⁻¹ ile 3 t da⁻¹ arıtma çamuru uygulamasından elde edildiği saptanmıştır. Bununla birlikte P yönünden, ilk yıl verilerine göre 3 t da⁻¹ ve 2 t da⁻¹ arıtma çamuru dozları arasında, ikinci yıl verilerine göre ise 1-3 t da⁻¹ dozları arasındaki farklılıklar istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur. Araştırmanın her iki yılında da kontrol (sırayla, 4.73 mg kg⁻¹ ve 6.53 mg kg⁻¹) ve mineral gübre (sırayla, 8.95 mg kg⁻¹ ve 15.90 mg kg⁻¹) uygulamalarının yapıldığı topraklarda en düşük alınabilir P miktarları belirlenmiştir (Tablo 3).

Alınabilir K içeriklerinde iki yılda da önemli bir farklılık gözlenmemiş ve değerler ilk yıl 437-491 mg kg⁻¹, ikinci yıl ise 447-492 mg kg⁻¹ arasında değişmiştir (Tablo 3).

Toprağın alınabilir Fe içeriğine bakıldığında, 2015 yılında en yüksek değer 33.43 mg kg⁻¹ ile 3 t da⁻¹ arıtma çamuru uygulamasının yapıldığı parsellerde belirlenmiştir. Aynı yıl en düşük Fe içeriklerinin ise 10.73 mg kg⁻¹ ve 9.70 mg kg⁻¹ ile sırasıyla kontrol ve mineral gübre uygulamalarıyla alındığı ve iki değer de aynı istatistik grupta yer aldığı anlaşılmaktadır. Alınabilir Fe yönünden ikinci yıl verileri incelendiğinde, en yüksek Fe miktarlarının istatistiksel olarak aynı grupta yer alan 1, 2 ve 3 t da⁻¹ arıtma çamuru dozlarında saptandığı, en düşük değerlerin ise ilk yıl olduğu gibi kontrol (13.75 mg kg⁻¹) ve mineral gübre (13.82 mg kg⁻¹) uygulanan parsellerden elde edildiği görülmüştür (Tablo 3).

Alınabilir Cu yönünden ise 2015 yılında en yüksek değer 7.30 mg kg⁻¹ ve 6.04 mg kg⁻¹ ile sırasıyla 3 ve 2 t da⁻¹ çamur uygulamalarıyla elde edildiği, en düşük alınabilir Cu içeriğinin ise 2.84 mg kg⁻¹ ile mineral gübre uygulanan parsellerde saptandığı görülmüştür. Çalışmanın ikinci yılı olan 2016 yılında ise alınabilir Cu değerleri 2.77-4.67 mg kg⁻¹ arasında değişim göstermiştir (Tablo 3).

Toprağın alınabilir Zn içeriğine bakıldığında, ilk yıl değerlerin 1.76 ile 2.06 mg kg⁻¹ arasında değiştiği görülmektedir. İkinci yıl ise en yüksek alınabilir Zn içeriği 2.35 mg kg⁻¹ olarak 2 t da⁻¹ çamur uygulamasıyla elde edilirken, en düşük alınabilir Zn içeriklerine ise aynı istatistik gruba giren 1.81 mg kg⁻¹ ve 1.87 mg kg⁻¹ olarak sırasıyla kontrol ve mineral gübre uygulamalarıyla ulaşıldığı anlaşılmaktadır (Tablo 3).

Alınabilir Mn içeriğine bakıldığında ise ilk yıl değerlerin 2.43 mg kg⁻¹ ile 2.61 mg kg⁻¹ arasında

değişirken, ikinci yıl 2.38 mg kg^{-1} ile 2.78 mg kg^{-1} arasında değişim gösterdiği görülmüştür (Tablo 3).

4. Tartışma ve Sonuç

Aritma çamurları yüksek miktarda organik maddeyle birlikte bitkilerin gereksinim duydukları birçok makro ve mikro besin elementlerini de bünyelerinde bulundurmaktadırlar (Uzun ve Bilgili, 2011). Aritma çamuru uygulaması ile toprakların toplam N, alınabilir P, K, Fe, Cu, Zn ve Mn içeriklerinde artışlar meydana geldiği birçok araştırmacı tarafından bildirilmektedir (Aşık ve Katkat, 2004; Göçmez, 2006; Angın ve Yağanoğlu, 2009; Gezer, 2012; Özyazıcı ve Özyazıcı, 2012).

Çalışmada kullanılan arıtma çamuru % 2.99 toplam N, % 0.23 (2300 mg kg^{-1}) toplam P ve % 0.34 (3400 mg kg^{-1}) toplam K gibi yüksek miktarlarda makro besin maddeleri içermektedir (Tablo 1). Buna bağlı olarak da arıtma çamuru uygulaması ile özellikle 2 ve 3 t da^{-1} çamur uygulaması ile toprağın toplam N içeriği ilk yılda artış göstererek % 21-22 düzeyine çıkmıştır. İkinci yılda ise uygulamalar arasında önemli farklılık olmamasına rağmen, özellikle 2 t da^{-1} çamur uygulaması ile rakamsal olarak da kontrol uygulamasından farklı bir sonuçla karşılaşmıştır. Özyazıcı ve ark. (2012) buğday-sebze münavebe çalışmasının ilk yılında rakamsal olarak, ikinci yılında ise istatistik olarak farklı olmak üzere 4 ve 5 t da^{-1} arıtma çamuru uygulamasıyla çamur verilmeyen parsellere göre toprakta daha yüksek toplam N içeriği elde edildiğini, Çakır ve Çimrin (2018) de artan arıtma çamuru ilavesiyle toprağın toplam N içeriğinin arttığını belirterek bulgularımızı desteklemişlerdir. Lerch ve ark. (1990) da arıtma çamuru uygulamasının buğdayın N içeriğine etkisini araştırdıkları çalışmalarında; çamurun, N içeriği ve bitki tarafından alınımının inorganik azotlu gübreden daha fazla etkilediğini belirtmişler ve daha yüksek tane proteinini, büyüme mevsiminin ikinci kısmında daha yüksek toprak N seviyelerinin bir sonucu olarak ifade etmişlerdir.

Aritma çamurunun toprakların alınabilir P içeriği üzerinde de olumlu etkisini gösteren birçok çalışma vardır (Johanson ve ark., 1999; Aşık ve Katkat, 2004; Çakır ve Çimrin, 2018). Çalışmamızda da artan çamur uygulaması her iki yılda da toprağın alınabilir P içeriğini arttırmıştır. İlk yıl 3 t da^{-1} ve ikinci yıl tüm çamur uygulamaları aynı istatistik grupta olmak üzere P miktarını arttırmışlardır. Özellikle 3 t da^{-1} çamur ile ilk yıl kontrole göre 10 kat, ikinci yıl da yaklaşık 9 kat bir artış meydana gelmiştir. Küçükhemek ve ark. (2008) toprağa uygulanan arıtma çamurunun çim

bitkisinin bazı makro ve mikro besin elementlerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında, çamur miktarındaki artışın bitkinin P içeriğini arttırdığını vurgulamışlardır. Çalışmamızda kullanılan arıtma çamurunun yüksek toplam P içeriğinin olması da (Tablo 1) topraktaki alınabilir P miktarının artışına yol açmış olabileceği düşünülmektedir. Sonuçlarımız bu araştırmacının sonuçlarıyla benzerlik gösterirken; Bouriouğ ve ark. (2014) da çamur uyguladıkları saksı çalışmalarında, uygulanan çamur miktarının artışıyla toprağın üst katmanlarındaki P miktarının arttığını belirterek çalışmamız sonuçlarıyla benzer sonuçlar almışlardır.

Alınabilir K içeriğinde ise uygulamalar arasında istatistik bir farklılık olmamasına rağmen, özellikle 2 t da^{-1} çamur uygulamasının rakamsal olarak daha iyi bir sonuç verdiği görülmektedir.

Aritma çamuru uygulamalarının topraklarda toplam N ve alınabilir P içerikleri yanında alınabilir K içeriği üzerinde de olumlu etkilerini gösteren çalışmalar olduğu gibi (Johanson ve ark., 1999; Uzun ve Bilgili, 2011); arıtma çamurunun toprağın alınabilir K kapsamı üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığını gösteren çalışmalar (Özyazıcı ve Özyazıcı, 2012) da bulunmaktadır. Çalışmamızda da arıtma çamuru uygulamasının alınabilir K içeriği üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Tablo 2'den de görüldüğü gibi araştırma alanı topraklarının K içeriğinin yüksek olması, aynı zamanda ülke topraklarının potasyumca zengin olduğunun bilinmesi, çamur uygulamalarının toprağın alınabilir K içeriğinin artışına neden olmamasının sebebi olduğunu düşündürmektedir.

Aritma çamuru uygulamasının toprağın alınabilir Fe içeriğine etkisine bakıldığında, her iki yılda da uygulamalar arasında $p < 0.01$ düzeyinde önemli farklılıklar olduğu görülmektedir. Alınabilir P içeriğine benzer şekilde ilk yıl 3 t da^{-1} arıtma çamuruyla en yüksek alınabilir Fe içeriğine ulaşırlarken, ikinci yıl tüm çamur uygulamalarının alınabilir Fe içeriğinde artışa neden olduğu anlaşılmıştır. Aritma çamuru uygulamasıyla alınabilir Fe içeriğini arttırdığını gösteren çalışmalar olduğu gibi (Özyazıcı ve ark., 2012), çamur uygulamasının Fe içeriğinde bir değişikliğe neden olmadığını gösteren çalışmalar (Aşık ve Katkat, 2004) da vardır. Saksı toprağında mısır yetiştirerek çamur uygulamasının etkisini araştıran bu araştırmacılar her ne kadar uygulamalar arasında istatistik olarak bir farklılık bulmasalar da, sonuçlarına rakamsal olarak bakıldığında kontrole göre özellikle yüksek miktarda çamur uygulamasıyla rakamsal olarak daha yüksek Fe değerleri elde etmişlerdir. Sonuçlarımız, genel

ifadeler çerçevesinde bildirilen, arıtma çamurunun toprakların alınabilir Fe içeriğini arttırdığı gösteren sonuçlarla paralellik göstermiştir.

Arıtma çamuru ilavesi alınabilir Cu miktarını ilk yıl $p < 0.01$ önem düzeyinde arttırırken, ikinci yıl bir değişikliğe neden olmamıştır. Ancak ikinci yıl verilerine bakıldığında istatistik olarak önemli olmasa da çamur verilen uygulamalarda kontrole göre ortalama % 60'lar düzeyinde yüksek bir alınabilir Cu içeriği elde edilmiştir. Özyazıcı ve Özyazıcı (2012) çamurun bu etkisinin arıtma çamurunun doğrudan etkisine bağlanabileceği gibi, toprak pH'sındaki azalmanın etkisine de bağlı olabileceğini bildirmişlerdir. Tablo 2'de araştırma alanı toprağının pH'sının 7.51 olduğu görülmektedir. Tablo 1'de ise çalışmada kullanılan arıtma çamurunun pH'sının 7.18 gibi daha düşük bir düzeyde olduğu görülmektedir. Adı geçen araştırmacıların çalışmasında hiç arıtma çamuru verilmeyen uygulamada 7.88 olan pH'nın 40 t ha⁻¹ arıtma çamuru uygulaması ile 7.75'e düştüğü de göz önüne alındığında, araştırmamızda elde edilen sonuçların tutarlı olduğu düşünülmektedir. Özyazıcı ve ark. (2012) ile Aşık ve Katkat (2014) da artan arıtma çamuru uygulamaları ile topraktaki alınabilir Cu miktarının arttığını belirterek çalışmalarımızla paralellik göstermişlerdir.

Arıtma çamuru ilavesinin topraktaki alınabilir Zn miktarını ikinci yıl $p < 0.01$ gibi yüksek bir düzeyde etkilediği görülmektedir. Özyazıcı ve ark. (2012) arıtma çamuru ilavesinin ekstrakte edilebilir Zn miktarını arttırdığını vurgulamışlardır. Arıtma çamurunun 0-160 t ha⁻¹ aralığındaki miktarlarıyla çalışan Aşık ve Katkat (2004) ile Mohammad ve Athamneh (2004) de artan arıtma çamuru dozlarına bağlı olarak toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir Zn içeriklerinin arttığını ve bu artışın istatistiksel açıdan önemli olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmanın ilk yılında uygulamalar arasında önemli farklık olmasa da rakamsal olarak da benzer bir durumun izlenmiş oluşu, bu sonuçlarımızın da diğer araştırmacıların sonuçlarıyla paralellik gösterdiği söylenebilir.

Arıtma çamuru uygulamasıyla toprakların alınabilir Mn içeriğinin arttığını gösteren çalışmalar yanında (Demir ve Çimrin, 2011), Mn miktarının değişmediğini gösteren çalışmalar (Bettiol ve Ghini, 2011; Özyazıcı ve ark., 2012) da bulunmaktadır. Çalışmamızda kullanılan arıtma çamurunun 350 mg kg⁻¹ gibi yüksek bir Mn içeriğine sahiptir (Tablo 1). Çalışmanın yapıldığı toprakta da 7.58 mg kg⁻¹ gibi yüksek sayılabilecek bir alınabilir Mn içeriği söz konusudur (Tablo 2). Kontrol parselleri ile arıtma çamuru uygulanan parseller arasında istatistik farklılığın

bulunmamasının bu durumla ilişkilendirilebileceği düşünülmektedir.

Araştırma sonuçlarına göre, arıtma çamurlarının bitki yetiştirmede ihtiyaç duyulan besin maddelerinin birçoğunu karşıladığını söyleyebiliriz. Arıtma çamurunun her ne kadar makro ve mikro besinler açısından zengin olduğunu kabul etsek de, çamurların elde edildiği bölge, çamurun elde edilme prosesi vb. gibi birçok etkene bağlı olarak çamurların bünyelerinde barındıracağı yüksek konsantrasyonlarda ağır metallerin ürünler tarafından alınması ve bu ürünleri tüketen canlılarda meydana getirebileceği toksik etkilenmeler göz önünde bulundurularak, çamur kullanılmasına dikkat edilmesi ve çamurun analizlerinin yapılarak ve ülke ve dünya çamur kullanma yönetmelikleri çerçevesinde hareket edilmesinin gerekliliği unutulmamalıdır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, toprakların makro ve mikro besin elementlerindeki değişimler dikkate alındığında, yaygın fiğ + arpa karışımlarında 2 t da⁻¹ arıtma çamurunun kullanılmasının uygun olduğu düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından "16-ZRF-033" No'lu proje ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Açıkgöz, N., Akkaş, M.E., Moghaddam, A., Özcan, K., 1993. Tarist PC'ler için istatistik ve kantitatif genetik paketi. *Uluslararası Bilgisayar Uygulamaları Sempozyumu*, 19 Ekim, Konya, s. 133.
- Angın, İ., Yağanoğlu, A.V., 2009. Application of sewage sludge as a soil physical and chemical amendment. *Ekoloji*, 19(73): 39-47.
- Anonim, 2010. Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik. Resmi Gazete, 03 Ağustos 2010, Sayı: 27661.
- Anonymous, 1992. Procedures for Collecting Soil Samples and Methods of Analysis for Soil Survey. Soil Survey Staff, Soil Survey Invest. Rep. I. U.S. Gov. Print. Office, Washington D.C.
- Aşık, B.B., Katkat, A.B., 2004. Gıda sanayi arıtma tesisi atığının (arıtma çamuru) tarımsal alanlarda kullanım olanakları. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8(2): 59-71.
- Bettiol, W., Ghini, R., 2011. Impacts of sewage sludge in tropical soil: a case study in Brazil. *Applied and Environmental Soil Science*, doi:10.1155/2011/212807.
- Bourioug, M., Alaoui-Sossé, L., Laffray, X., Raouf, N., Benbrahim, M., Badot, P.M., Alaoui-Sossé, B., 2014. Evaluation of sewage sludge effects on soil

- properties, plant growth, mineral nutrition state and heavy metal distribution in european larch seedlings. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(7): 1319-8025.
- Bouyoucos, G.J., 1951. A Recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soil. *Agronomy Journal*, 43: 434-438.
- Çağlar, K.Ö., 1949. Toprak Bilgisi. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları No: 10, Ankara.
- Çakır, H.N., Çirmin, K.M., 2018. Kentsel arıtma çamur uygulamalarının etkisi, mısır bitkisi ve topraktaki bazı besin maddesi (N, P, K, Ca, Mg) içerikleri üzerine etkisi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 21(6): 882-89.
- Çirmin, K.M., Karaca, S., Bozkurt, M.A., 2001. Fiğ+arpa karışımlarında gübrelemenin otun verim ve kimyasal kompozisyonuna etkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 7(4): 32-36.
- Demir, E., Çirmin, K.M., 2011. Arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının mısırın gelişimi, besin elementi ve ağır metal içerikleri ile bazı toprak özelliklerine etkileri. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 17(3): 204-216.
- Gezer, E., 2012. İkinci ürün silajlık mısır üretiminde İSKİ atıksu arıtma çamuru kullanımının toprak özellikleri, bitki gelişimi ve su kullanımına etkisi. Doktora tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Gilmour, J.T., Skinner, V., 1999. Predicting plant available nitrogen in land-applied biosolids. *Journal of Environmental Quality*, 28(4): 1122-1126.
- Göçmez, S., 2006. Menemen ovası topraklarında İZSU kentsel arıtma çamuru uygulamalarının mikrobiyal aktivite ve biyomas ile bazı fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri üzerine etkisi. Doktora tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Güçdemir, İ., 2006. Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi (5. Baskı). T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tarımsa Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın No: 231, Teknik Yayın No: T.69, Ankara.
- Jackson, M.L., 1958. Soil Chemical Analysis. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc.
- Johanson, M., Stenberg, B., Torstensson, L., 1999. Microbiological and chemical changes in two arable soils after long-term sludge amendments. *Biology and Fertility of Soils*, 30(1): 160-167.
- Küçükhemek, M., Gür, K., Uyanöz, R., 2008. Toprağa uygulanan arıtma çamuru, ahır gübresi ve karışımlarının, çim bitkisinin bazı makro-mikro besin elementleri ve verimi üzerine etkisi. *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(45): 94-104.
- Lerch, R.N., Barbarick, K.A., Westfall, D.G., Follett, R.H., McBride, T.M., Owen, W.F., 1990. Sustainable rates of sewage sludge for dryland winter wheat production I. Soil nitrogen and heavy metals. *Journal of Production Agriculture*, 3(1): 60-65.
- Lindsay, W.L., Norvell, W.A., 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42(3): 421-428.
- Matthews, P.J., 1984. Control of metal application rates from sewage sludge utilization in agriculture. *Journal of Critical Reviews in Environmental Control*, 4(3): 199-250.
- Mazen, A., Fayza, A., Faheed, A., Ahmed., 2010. Study of potential impacts of using sewage sludge in the amendment of desert reclaimed soil on wheat and jews mallow plants. *Brazilian Archives of Biology and Technology an International journal*, 53(4): 917-930.
- Mohammad, M.J., Athamneh, B.M., 2004. Changes in soil fertility and plant uptake of nutrients and heavy metals in response to sewage sludge application to calcareous soils. *Journal of Agronomy*, 3(3): 229-236.
- Nelson, D.W., Sommers, L.E., 1982. Total carbon, organic carbon, organic matter. In: A.L. Madison (Ed.), *Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, Second Edition, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy Inc., pp. 539-579.
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., Dean, L.A., 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. United States Department of Agriculture (USDA), Circular No. 939, Washington, D.C.
- Özyazıcı, M.A., 2013. Effects of sewage sludge on the yield of plants in the rotation system of wheat-white head cabbage-tomato. *Eurasian Journal of Soil Science*, 2(1): 35-44.
- Özyazıcı, M.A., Dengiz, O., Aydoğan, M., Bayraklı, B., Kesim, E., Urla, Ö., Yıldız, H., Ünal, E., 2015. Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi tarım topraklarının bazı makro ve mikro bitki besin maddesi konsantrasyonları ve ters mesafe ağırlık yöntemi (IDW) ile haritalanması. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 16(2): 187-202.
- Özyazıcı, M.A., Özyazıcı, G., 2012. Arıtma çamurunun toprağın bazı temel verimlilik parametreleri üzerine etkileri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 27(2): 101-109.
- Özyazıcı, M.A., Özyazıcı, G., Bayraklı, B., 2012. Arıtma çamuru uygulamalarının toprağın ekstrakte edilebilir demir, bakır, çinko ve mangan kapsamı üzerine etkileri. *Toprak Su Dergisi*, 1(2): 110-118.
- Richards, L.A., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils. U.S.A: U.S. Department of Agriculture, Handbook 60.
- Rizzardini, C.B., Goi, D., 2009. Considerations about European Directives and Italian Regulation on sludge from municipal wastewater treatment plants: current status and future prospective. *The Open Waste Management Journal*, 2(1): 17-26.
- Sommers, L.E., 1977. Chemical composition of sewage sludges and analysis of their potential use as fertilizer. *Journal of Environmental Quality*, 6(2): 225-232.

- Tan, M., Serin, Y., 1996. Değişik fiğ+tahıl karışımları için en uygun karışım oranı ve biçim zamanının belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(4): 475-489.
- Uzun, P., Bilgili, U., 2011. Arıtma çamurlarının tarımda kullanılma olanakları. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25(2): 135-146.
- Vural, A., 2013. Assessment of heavy metal accumulation in the roadside soil and plants of robinia pseudoacacia, in Gumushane. *Ekoloji Dergisi*, 22(89): 1-10.
- Zafar, S., Farooq, S., Qazi, H.A., Jaweed, T.H., Kadam J.K., Lone, F.A., 2020. Evaluation of nutrient status of kale and spinach as affected by sewage sludge and mineral fertilizers. *Journal of Plant Nutrition*, 43(17): 2633-2644.