



Mısır Bitkisinin İkinci Ürün ve Silajlık Olarak Yetiştirilmesinde Kullanılan Arıtma Çamurunun Topraktaki Makro Besin Elementleri Üzerine Etkisi

Erhan GEZER^{1*}, Fatih KONUKCU¹, Aydın ADILOĞLU², Ali Rıza DİNÇER³

¹Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ

²Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Tekirdağ

³Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ

*Sorumlu Yazar (Corresponding author): egezer@nku.edu.tr

Özet

Bu araştırma, artan dozlarda uygulanan arıtma çamurlarının (2, 4, 8 ton da⁻¹) düşük organik madde içeriğine sahip ve erozyon probleminin yoğun bir şekilde yaşandığı Trakya Bölgesi topraklarının fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Deneme arazisi toprakları üzerine uygulanan arıtma çamuru, toprakların organik madde, toplam azot, yarayışlı fosfor, değişebilir potasyum içeriklerinde artışlar meydana getirmiş ve bu artış istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.01$). Atıksu arıtma çamuru uygulaması toprakların değişebilir magnezyum içeriğinde azalmaya neden olmuştur. Toprakların değişebilir kalsiyum içeriğinde ise herhangi bir değişim söz konusu olmamıştır. Araştırma sonuçlarına göre organik madde içeriği yüksek, Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne uygun ve tarımda kullanılmasında bir sakınca bulunmayan arıtma çamurlarının, organik madde içeriği yetersiz durumda olan Trakya Bölgesi topraklarına uygulanması tarımda sürdürülebilirliğin ve verimliliğin artırılması için büyük önem taşımaktadır.

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi

Geliş Tarihi :11.07.2023
Kabul Tarihi :24.08.2023

Anahtar Kelimeler

Arıtma çamuru
organik madde
makro besin elementleri
toprak

The Effect of Sewage Sludge Used in the Cultivation of Corn Plants as Second Crop and Silage on the Macro Nutrient Elements in the Soil

Abstract

This research was carried out to determine the effects of sewage sludge applied in increasing doses (2, 4, 8 tons da⁻¹) on the physical and chemical properties of the soils of the Thrace Region, which has low organic matter content and where erosion problems are intense. The sewage sludge applied to the soil of the experiment field increased the organic matter, total nitrogen, available phosphorus and exchangeable potassium contents of the soil and this increase was found to be statistically significant ($p < 0.01$). Wastewater treatment sludge application caused a decrease in the exchangeable magnesium content of soils. There was no change in the exchangeable calcium content of the soil. According to the research results, the application of sewage sludge, which has a high organic matter content, complies with the Soil Pollution Control Regulation and has no harm in using it in agriculture, to the soils of the Thrace Region with insufficient organic matter content, is of great importance for increasing sustainability and productivity in agriculture.

Research Article

Article History

Received :11.07.2023
Accepted :24.08.2023

Keywords

Sewage sludge
organic material
macro plant nutrients
soil

1. Giriş

Tarım yapılan arazilerin verimliliklerinin belirlenmesi ve toprakların niteliklerinin artırılması hem tarımsal üretimin devamlılığı hem de toprak yönetimi açısından bir zorunluluk olarak karşımıza çıkmaktadır (Kabir ve ark., 2020). Birim alandan amaçlanan miktar ve kalitede verim elde edilmesine olanak veren önemli bir faktör olan verimlilik toprakların bulunduğu konuma göre farklılıklar göstermektedir (Güçdemir ve ark., 2004; Nath ve Lal, 2017). Sürdürülebilir bir toprak verimliliği için bitki besin maddeleri toprakta yeter düzeyde bulunmalıdır. Bitki besin elementleri makro (N, P, K, Ca, Mg) ve mikro (Fe, Cu, Zn, ve Mn) besin elementleri olarak ikiye ayrılır. İyi bir bitki gelişimi için makro besin elementlerine daha fazla gereksinim duyulmaktadır (Fageria, 2009).

Son yıllarda atık suların arıtılarak doğaya daha az zararlı şekilde geri kazandırılması amacıyla atık su arıtma sistemlerinin sayıları ve dolayısıyla atık suların arıtılması sonucunda oluşan atık su arıtma çamurlarının miktarı da giderek artmaktadır. Çeşitli çevre sorunlarına neden olan ve tekrar kullanılabilir veya farklı yollarla geri kazanılabilen bu atıklardan tekrar faydalanma fikri ön plana çıkmıştır. Bünyelerinde organik madde ve bitkilerin gelişmesi açısından önemli olan makro ve mikro besin maddeleri yönünden zengin bir içeriğe sahip, buna bağlı olarak ta toprak özellikleri üzerinde iyileştirici etkisinin olması nedeniyle tarımsal faaliyetlerin gerçekleştirildiği arazilerde kullanılmasına öncelik verilmeye başlanmıştır (Epstein, 2003; Alpaslan, 2004; Öbek ve ark., 2004; Tepecik ve ark., 2022; Tepecik ve ark., 2023). TÜİK verilerine göre 2009-2022 yılları arasında ülkemiz içerisinde toprağa atılan kimyevi gübre miktarı 9-14,5 milyon ton aralığında değişirken 2022 yılında 11,3 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (Anonim, 2023). TÜİK verileri ışığında, arıtma

çamurlarının tarımsal alanlarda organik gübre olarak kullanılmasının sağlayacağı ekonomik katkının ne kadar önemli olduğu görülebilmektedir.

Yüksek miktarda bitki besin maddesi içeren, toprak özelliklerini iyileştirme özelliği olan ve çevre üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilme riski yüksek olan atıksu arıtma çamurlarının (Lasaridi ve ark., 2018) çevre problemlerine neden olmadan bertaraf edilmesi konusu üzerinde dünya genelinde önemle durulmaktadır (Singh ve Agrawal, 2010). Oluşan arıtma çamurları, tarım arazilerine uygulanarak (% 42), enerji elde etmek için yakılarak (% 27), çeşitli sanayi alanlarında yeniden değerlendirilmek suretiyle (% 17) ve depolama alanlarında biriktirilerek (% 14) bertaraf edilmektedir (Faria ve ark., 2018).

Tarımsal üretimde toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri, toprakta daha iyi bitki gelişiminin elde edilmesinde etkili bir faktördür. Bu nedenle toprak içerisine organik madde, makro ve mikro besin maddeleri açısından zengin atıksu arıtma çamurlarının ilave edilmesi, sürdürülebilir bir tarımsal üretim, içeriklerinde bulunan besin maddelerinin doğal döngü sürecine yeniden katılması, toprak koşullarının iyileştirilmesi ve kesin olarak bertaraf edilmesi açısından en çok tercih edilen metottur (Bender ve ark., 1998; Uzun ve Bilgili, 2011). Bu yöntem, hem arıtma çamurlarının bertaraf edilme maliyetlerinin hem de çevre sorunlarının azaltılmasında katkıda bulunmaktadır (Göçmez, 2006).

Ülkemiz tarımında önemli bir yere sahip olan Trakya bölgesi topraklarının kesintisiz her sene işlenmesi ve ekim yapılması, hasat sonrasında bitki atıklarının yakılarak bertaraf edilmesi, organik kökenli gübrelemenin yeterli düzeyde yapılmaması gibi hatalı tarımsal uygulamalar sebebiyle düşük olan organik madde miktarlarının sürdürülebilir bir tarım ve verimlilik için yükseltilme zorunluluğu bulunmaktadır. Bu nedenle toprakların beslenmesi için belirli

bir zaman aralığında organik gübreleme yapılması gerekmektedir (Bellitürk ve Sağlam, 2005; Gürbüz ve ark., 2019; Kocagöz ve ark., 2022; Bellitürk ve Çelik, 2022; Büyükfiliz ve ark., 2023).

Bu araştırma, organik madde açısından fakir, sürekli tarım yapılması nedeniyle bitki besin maddeleri yönünden desteklenmesi gereken, uzun yıllar erozyon nedeniyle yıpranmış ve ağır bünyeye sahip Trakya Bölgesi toprakları üzerine arıtma çamurlarının uygulanması ile bölge topraklarının fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerinde meydana gelecek değişimleri belirlemek amacıyla yapılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Araştırma, Tekirdağ şehir merkezine 30 km mesafedeki Karaevli Köyü'nde bulunan bir çiftçi arazisinde gerçekleştirilmiştir. Araştırma alanında, 60 parsel oluşturulmuş ve her biri 4.2 m genişliğe, 6.0 m uzunluğa sahiptir. Deneme parselleri 33 m genişliğe, 105 m uzunluğunda ve toplamda 3465 m²'lik bir alanda kurulmuştur. Parsellerden temin edilen toprak örnekleri üzerinde yapılan analizler sonucunda topraklar tınlı tekstürde ve pH'sı 7.55 olup, yüksek taban suyu, tuz ve sodyum problemleri yoktur. Deneme parsellerinde İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) atıksu arıtma tesislerinden temin edilen arıtma çamuru kullanılmıştır.

2.2. Yöntem

Deneme alanı topraklarından alınan bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri alınmıştır. Tarla kapasitesi ve hacim ağırlığı değerleri toprak profillerinden alınan bozulmamış toprak örnekleri ile (Blake, 1965), solma noktası ve bünye sınıfı değerleri ise bozulmuş toprak örnekleri ile (Benami ve Diskin, 1965) tespit edilmiştir. Toprakların mevcut verimlilik durumunu belirlemek için alınan toprak örnekleri üzerinde; pH (saturasyon), toplam tuz, kireç (kalsimetrik), tekstür, saturasyon, organik madde (Walkey-Black), toplam azot (Kjeldahl), yarayışlı fosfor (Olsen-ICP), bazı katyonlar (Ca, K, Mg) (Amonyum Asetat-ICP) metotları kullanılarak analizler yapılmıştır (Sağlam, 2012).

İlk ürünün (buğday bitkisi) hasadı yapıldıktan sonra, arazi işlenerek denemenin iki yılında da sabit olacak olan parseller düzenlenmiştir. Çalışmanın sadece ilk senesinde arıtma çamuru uygulaması yapılmış ve her bir parsel ne kadar çamur kullanılacağı yaş ağırlık dikkate alınarak belirlenmiştir (Tablo 1). İnkübasyon süresi tamamlandıktan sonra (30 gün) ekim işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 5 farklı arıtma çamuru dozu kullanılmış ve konular üç tekrarlı olacak şekilde tesadüf blokları bölünmüş parseller deneme desenine göre dizayn edilmiştir (Düzgüneş, 1963; Yurtsever, 1984).

Tablo 1. Deneme parselleri üzerine uygulanan atıksu arıtma çamuru miktarları

Aritma Çamuru Dozları (D _n)	Arazi Üzerine Uygulanan Arıtma Çamuru Miktarı (ton ha ⁻¹)	Deneme Parseli Üzerine Uygulanan Arıtma Çamuru Miktarı (kg)
D ₀	0	0
D ₁	20	50.4
D ₂	40	100.8
D ₃	80	201.6
D ₄	0	0

Tablo 2. Toprak ve arıtma çamuru örneklerinin analiz sonuçları

Parametre	Birim	Toprak	Arıtma Çamuru
pH		7.55	6.69
Tekstür		Tın	
Tuz	$\mu\text{mhos cm}^{-1}$	969	8160
Kireç	%	7.80	-
Organik Madde	%	1.45	69.52
Toplam Azot (N)	%	0.07	3.47
Yarayışlı Fosfor (P)	$\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ da}^{-1}$	0.68	715.05
Değişebilir Kalsiyum (Ca)	mg kg^{-1}	4310	2037
Değişebilir Potasyum (K)	$\text{kg K}_2\text{O da}^{-1}$	107.40	1129.31
Değişebilir Magnezyum (Mg)	mg kg^{-1}	954.20	1334.00

Tablo 3. Arıtma çamuru uygulamasından sonra alınan toprak örneklerinin bazı özellikleri

		pH		Tuz ($\mu\text{mhos cm}^{-1}$)		Kireç (%)		Doğunluk (%)		Organik Madde (%)	
		1. Yıl	2. Yıl	1. Yıl	2. Yıl	1. Yıl	2. Yıl	1. Yıl	2. Yıl	1. Yıl	2. Yıl
D0	S0	6.99	6.31	727	986	-	-	47	52	1.52	2.71
	S1	7.2	6.77	980	1022	0.21	-	49	51	1.17	2.34
	S2	6.6	6.59	798	1010	-	-	46	52	1.44	2.46
	S3	6.72	6.78	1081	1169	-	-	47	50	1.48	2.34
D1	S0	6.43	6.35	1292	851	-	-	48	51	1.58	2.75
	S1	6.61	6.62	1610	1043	-	-	49	50	1.50	2.40
	S2	6.31	6.41	1458	995	-	-	48	52	1.76	2.11
	S3	6.75	6.27	1167	1037	-	-	46	50	1.56	2.23
D2	S0	5.57	6.32	2221	975	-	-	47	52	1.96	2.54
	S1	6.82	6.4	1670	993	-	-	48	54	1.60	2.82
	S2	5.82	6.41	1507	1077	-	-	48	52	1.82	2.84
	S3	5.65	6.27	2877	1146	-	-	49	53	1.78	2.70
D3	S0	6.53	6.65	1521	1050	-	-	49	54	1.58	2.73
	S1	6.45	6.53	1217	991	-	-	46	51	1.94	2.32
	S2	5.19	6.55	1940	1273	-	-	48	54	1.68	2.85
	S3	6.85	6.53	1593	988	-	-	46	52	1.69	2.84
D4	S0	6.52	6.3	984	1028	-	-	49	52	1.30	2.17
	S1	6.98	6.54	1309	951	-	-	46	51	1.38	2.39
	S2	6.41	6.38	1116	930	-	-	46	52	1.38	2.50
	S3	6.2	6.14	1349	1145	-	-	46	54	1.76	2.69

Tablo 4. Arıtma çamuru uygulamasından sonra alınan toprak örneklerinin makro besin elementi içerikleri

		Toplam N (%)		Yararışlı Fosfor (kg P ₂ O ₅ da ⁻¹)		Potasyum (kg K ₂ O da ⁻¹)		Kalsiyum (mg kg ⁻¹)		Magnezyum (mg kg ⁻¹)	
		1. Yıl	2. Yıl	1. Yıl	2. Yıl	1. Yıl	2. Yıl	1. Yıl	2. Yıl	1. Yıl	2. Yıl
D0	S0	0.076	0.135	11.74	23.15	85.03	173.2	5913	3648	801.9	754.3
	S1	0.058	0.117	6.88	6.45	62.89	161.0	6270	3718	652.5	620.3
	S2	0.072	0.123	16.88	13.70	77.62	166.6	4295	3485	1010	774.4
	S3	0.074	0.116	8.70	10.38	76.49	158.0	5253	3724	814.4	573.4
D1	S0	0.079	0.137	39.13	33.14	90.29	185.6	5800	3575	674.8	609.9
	S1	0.075	0.120	22.82	18.75	69.73	149.9	5585	3645	1089.0	823.3
	S2	0.088	0.155	26.66	13.47	86.66	148.3	5164	3791	845.4	587.3
	S3	0.078	0.111	45.03	16.36	88.57	148.1	5656	3525	829.2	836.4
D2	S0	0.098	0.127	100.36	45.06	136.08	187.0	4725	3700	961.0	653.7
	S1	0.080	0.141	45.13	22.65	139.41	184.0	5391	3645	866.1	632.2
	S2	0.091	0.142	45.17	28.38	89.04	160.6	4895	3761	1069.0	757.7
	S3	0.089	0.135	45.23	42.52	121.92	171.8	4366	3752	984.4	676.6
D3	S0	0.079	0.136	23.49	30.07	79.52	191.7	5367	4078	842.1	567.8
	S1	0.097	0.116	36.82	18.71	104.54	168.5	4462	3600	975.7	765.6
	S2	0.084	0.142	79.12	35.05	128.91	195.9	4133	3608	954.9	705.1
	S3	0.084	0.142	22.68	38.29	81.90	183.9	6544	3902	665.4	604.6
D4	S0	0.065	0.108	35.37	16.13	66.02	162.9	4562	3517	976.7	703.3
	S1	0.069	0.119	21.43	11.03	72.08	151.4	6620	3904	661.9	574.8
	S2	0.069	0.125	15.90	22.07	96.36	154.3	5154	3743	717.7	763.3
	S3	0.088	0.134	24.70	25.15	78.42	163.8	7913	3316	1239.0	791.6

3. Bulgular ve Tartışma

Arıtma çamurları sahip oldukları zengin organik madde içeriği, iyi bir toprak iyileştirici olması yanında tarım ürünlerinin özellik ve kaliteleri üzerindeki olumlu etkileri nedeniyle pek çok ülkede hali hazırda kullanımı devam ederken, gün geçtikçe de daha yaygın hale gelmektedir (Strauch, 1991; Düring ve Gäth, 2002). Çalışmamızda kullanılan çamurun organik madde oranı % 69,52 olduğu tespit edilmiştir. Uygulama öncesinde % 1.45 olan organik madde içeriğinin birinci yılın sonunda % 1.40- % 1,78, ikinci yılın sonunda ise % 2.432- % 2.757 arasında olduğu tespit edilmiş ve konular arasındaki farklılıklar $p < 0.01$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 3). Yüksek organik madde içeriğine sahip arıtma çamuru, beklenildiği gibi denemenin yürütüldüğü arazi topraklarının organik madde içeriğini

olumlu yönde etkilemiş ve bu durum literatür çalışmalarının sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Atıksu arıtma çamuru uygulamaları, toprağın tuz, organik madde, N ve P (Özyazıcı ve Özyazıcı, 2012), Ca ve Mg içeriklerinde önemli artışlara neden olmaktadır (Demir ve Çimrin, 2011).

Atıksu arıtma çamurlarının tarım arazileri üzerine uygulanıp uygulanmayacağına ve kullanılacak arıtma çamuru miktarı belirlenirken toprakların pH değeri sınırlandırıcı bir etkidir (Ok, 2021). Toprak pH'sının düşmesi, kation konsantrasyonunun düşmesine ağır metal konsantrasyonunun ise yükselmesine neden olur (Guo ve Zhang, 2007). Toprak ve atıksu arıtma çamuru örnekleri üzerinde yapılan verimlilik analizi sonuçlarına göre 40 cm'lik toprak katmanı içerisinde toplam tuz miktarı 969 mmhos cm⁻¹ ve pH değeri

ise 7.55, atıksu arıtma çamuru örneklerine ait toplam tuz miktarı $8160 \text{ mmhos cm}^{-1}$, pH değeri ise 6.69 olarak belirlenmiştir (Tablo 2.). Tablo 3 incelendiğinde atıksu arıtma çamuru uygulaması yapılan parsellerden elde edilen değerler literatür ile benzerlik göstererek, toprağın toplam tuz miktarı değerlerini belirgin şekilde arttırırken tüm parsellerde pH değerinde genel bir azalma eğilimi olduğu görülmektedir. Atıksu arıtma çamuru uygulaması yapılan toprakların pH inkübasyon süresine bağlı olarak bir azalma meydana gelmektedir (Aşık ve Katkat, 2004).

Azot toprak içerisinde elementel, organik ve inorganik halde bulunmakta ve bu azot formlarının birbirlerine dönüşümleri ise azot döngüsünü meydana getirmektedir (Demir ve Topaç, 2019). Toprak örnekleri analiz sonuçlarına göre toplam azot miktarı % 0.070, atıksu arıtma çamurunda % 3.47 olarak belirlenmiştir (Tablo 2). İlk yılın sonunda parsellerden alınan toprak örneklerinin toplam azot içeriği % 0.075-% 0.098, ikinci yılın sonunda ise % 0.111-% 0.155 aralığında oranlara sahip olduğu ve gerçekleştirilen çamur uygulamalarının toprak içerisindeki toplam azot değişiminde olumlu yönde etkili olduğu Tablo 4 incelendiğinde görülmektedir. Farklı dozlarda uygulanan arıtma çamuru konuları arasındaki farklılıklar denemenin ilk yılında $p < 0.01$ seviyesinde önemli bulunurken ikinci yıl önemsiz bulunmuştur. Deneme alanı topraklarının toplam azot miktarları ilk yıl “Az (% 0.045-0.09)” düzeyinde iken ikinci yıl “Yeterli (% 0.09-0.17)” düzeyine yükselmiş ve meydana gelen artış daha önce yapılan çalışmalarla benzerlik göstermektedir (FAO, 1990). Deneme arazisine uygulanan arıtma çamuru miktarındaki artışla birlikte toprağın toplam azot içerikleri de paralel olarak artma eğilimindedir (Samaras ve ark., 2008).

Okyanus tabanlarında büyük miktarda yatakları bulunmasına rağmen fosfor (P)

elementinin tabii prosesler ile doğaya karışımı oldukça yavaştır. Bu nedenle tarımsal üretim yapılan alanlarda takviye yapılmadığı takdirde fosfor değerlerinde azalma meydana gelmektedir (Von Uexkull, 1989). Deneme arazisinden alınan toprak örnekleri analiz sonuçlarına göre yararışlı fosfor miktarı $0.68 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ da}^{-1}$, atıksu arıtma çamurunda $715.05 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ da}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Tablo 2). İlk yılın sonunda arıtma çamuru uygulanan parsellerden alınan toprak örneklerinin yararışlı fosfor miktarları $18.04 - 100.36 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ da}^{-1}$, ikinci yıl $16.36 - 45.06 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ da}^{-1}$ değerleri arasındadır (Tablo 4). Farklı dozlarda uygulanan arıtma çamuru konuları arasındaki farklılıklar ilk yıl $p < 0.01$ seviyesinde, ikinci yıl $p < 0.05$ seviyesinde önemli bulunmuştur. Farklı çalışmalarda artan dozlarda atıksu arıtma çamuru uygulanan toprakların fosfor içeriğinin arttığı belirtilmiştir (Lopez-Mosquera ve ark., 2000).

Bitkiler için önemli besin maddelerinden biri olan kalsiyum elementi, toprak strüktürünün ve pH'sının düzenlenmesinde, bitkiler için zararlı olan maddelerin bitki kök bölgesinden uzaklaştırılmasında (Güneş ve ark., 2000), toprağın kolayca işlenebilen ve geçirgen bir hal almasına yardımcı olur (Kanber ve ark., 1992). Deneme arazisinden alınan toprak örnekleri analiz sonuçlarına göre toprağın içeriğinde bulunan değişebilir kalsiyum miktarı 4310 mg kg^{-1} , atıksu arıtma çamurunda 2037 mg kg^{-1} olarak belirlenmiştir (Tablo 2). Denemenin ilk yılındaki ortalama kalsiyum miktarları $4133 - 6270 \text{ mg kg}^{-1}$, ikinci yıl elde edilen ortalama kalsiyum miktarları $3316 - 4078 \text{ mg kg}^{-1}$ değerleri arasındadır (Tablo 4). Yapılan varyans analizi sonucuna göre, ilk yılın sonunda farklı dozlarda uygulanan arıtma çamuru konuları arasındaki farklılıklar $p < 0.01$ seviyesinde önemli, ikinci yılın sonunda ise önemsiz bulunmuştur. Analiz sonuçları incelendiğinde çalışma öncesinde ve çalışmanın yürütüldüğü yılların sonunda

toprakların ortalama kalsiyum miktarı yeterli düzeyde olduğu görülmektedir. Arıtma çamurlarının toprak üzerine uygulanması neticesinde, toprak içerisinde kalsiyum miktarında artış gözlemlenmiştir (Lopez-Mosquera ve ark., 2000).

Ülkemizin toprakları zengin potasyum içeriğine sahiptir ve var olan toprakların çok büyük bir çoğunluğu potasyum yönünden yeterli düzeydedir (Eyüpoğlu, 1999). Deneme arazisinden alınan toprak örnekleri analiz sonuçlarına göre toprağın içeriğinde bulunan değişebilir potasyum miktarı $107.4 \text{ kg K}_2\text{O da}^{-1}$, atıksu arıtma çamurunda $1129.31 \text{ kg K}_2\text{O da}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Tablo 2). İlk yılın sonunda arıtma çamuru uygulanan parsellerden alınan toprak örneklerinin ortalama değişebilir potasyum içerikleri $62.89\text{--}139.41 \text{ kg K}_2\text{O da}^{-1}$, ikinci yılında $148.1\text{--}191.7 \text{ kg K}_2\text{O da}^{-1}$ değerleri arasında olduğu Tablo 4'te görülmektedir ve arıtma çamuru konuları arasındaki farklılıklar $p<0.01$ seviyesinde önemli bulunmuştur. Bazı araştırmalarda, artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun toprakta değişebilir K miktarını artırdığı belirtilmişken (O'Riordan ve ark., 1987) bazı araştırmalarda ise artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun pek çok makro ve mikro elementlerin içeriklerinde artışa neden olurken, potasyum içeriğinde herhangi bir değişiklik olmadığı belirtilmiştir (Lopez-Mosquera ve ark., 2000; Bozkurt ve ark., 2000). Arıtma çamurlarının topraklar üzerine uygulanması durumunda bitkisel üretim açısından az miktarda bile olsa olumlu yönde etkili olacağı belirtilmiştir (Topaç ve Başkaya, 2008). Görüldüğü gibi çalışmamızda değişebilir potasyum içeriği artma eğilimindedir. Ancak toprağa atıksu arıtma çamuru uygulaması sonucunda toprağın değişebilir potasyum içeriği ile ilgili literatür bulguları farklılık göstermektedir.

Deneme arazisini temsilen alınan toprak örneği analiz sonuçlarına göre toprağın içeriğinde bulunan değişebilir magnezyum

miktarı $954.20 \text{ mg kg}^{-1}$, atıksu arıtma çamurunda 1334 mg kg^{-1} olarak belirlenmiştir (Tablo 2). İlk yılın sonunda arıtma çamuru uygulanan parsellerden alınan toprak örneklerinin ortalama değişebilir magnezyum içerikleri $652.5\text{--}1239 \text{ mg kg}^{-1}$, ikinci yılında $567.8\text{--}836.4 \text{ mg kg}^{-1}$ değerleri arasında olduğu Tablo 4'te görülmektedir. Farklı dozlarda uygulanan arıtma çamuru konuları arasındaki farklılıklar ilk yıl $p<0.01$ seviyesinde önemli bulunurken, ikinci yıl önemsiz bulunmuştur. Toprağa arıtma çamuru ilavesi ile değişebilir potasyum, değişebilir kalsiyum ve değişebilir magnezyum içeriğinde kayda değer bir değişim olmamıştır (Pinamonti ve ark., 1997; Bozkurt ve ark., 2000). Kâğıt sanayiinden temin edilen çamur kullanılarak elde edilen kompostun toprak üzerine serilmesi neticesinde, toprak bünyesindeki magnezyum miktarı artmıştır (Baziramakenga ve ark., 2001). Domates bitkisi yetiştirmek amacıyla artan dozlarda uygulanan arıtma çamurları; bitkilerden elde edilen ürün miktarında, ürünlerin kuru madde miktarında ve N, P, K, Mg, Fe içeriklerinde artış olduğunu bildirmişlerdir (Önal ve ark., 2003). Görüldüğü gibi toprağa atıksu arıtma çamuru uygulaması sonucunda toprağın değişebilir magnezyum içeriği ile ilgili literatür bulguları çeşitlilik arz etmekte ve çalışmamızda değişebilir magnezyum içeriğinin azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.

4. Sonuçlar

Araştırmada, organik madde miktarı açısından düşük değerlere sahip, ağır bünye sınıfına giren ve uzun yıllar boyunca kesintisiz tarımsal faaliyetlerin devam etmesi nedeniyle erozyon probleminin yoğun bir şekilde yaşandığı Trakya Bölgesi topraklarının fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla İSKİ'den temin edilen arıtma çamurunun farklı dozlarda (2 ton da^{-1} , 4 ton

da⁻¹, 8 ton da⁻¹) araziye tatbik edilmesi neticesinde makro besin maddeleri üzerinde ki değişimler değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Bitki besin elementleri ve organik madde yönünden zengin olan atıksu arıtma çamurlarının tarım alanlarında kullanılması, toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerinde olumlu etkilerinin olduğu bilinmektedir. Beklenildiği gibi arıtma çamurları denemenin yürütüldüğü arazi topraklarının toplam tuz miktarı değerlerini belirgin şekilde arttırırken tüm parsellerde pH değerinde genel bir azalma eğilimi olduğu görülmektedir. Araştırmanın yürütüldüğü arazi toprakları üzerine uygulanan arıtma çamuru, organik madde, toplam azot, yarıyışlı fosfor, değişebilir potasyum, içeriklerinin artmasını sağlamış ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0.01). Atıksu arıtma çamuru uygulaması toprakların değişebilir magnezyum içeriğinde azalmaya neden olurken bu durum istatistiksel olarak p<0.01 düzeyinde önemli bulunmuştur. Toprakların değişebilir kalsiyum içeriği arıtma çamurunun etkisi ile ilk yıl artma (p<0.01), ikinci yılın sonunda miktar olarak azalma eğiliminde olmasına rağmen, toprak içerisinde bulunması gereken sınır değerle ile kıyaslandığında araştırma öncesinde ve sonrasında yeterli düzeyde değişebilir kalsiyum içeriği bulunduğu tespit edilmiştir.

Bu bağlamda organik madde içeriği yüksek, Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne uygun ve tarımda kullanılmasında bir sakınca bulunmayan arıtma çamurlarının organik madde içeriği yetersiz durumda olan Trakya Bölgesi topraklarına uygulanması tarımda sürdürülebilirliğin ve verimliliğin artırılması için büyük önem taşımaktadır.

Yazarların Katkı Beyanı

Yazarlar makaleye eşit katkıda bulduklarını, makalenin yayına hazır son halini gördüklerini/okuduklarını ve onayladıklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Tüm yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Finansman

Araştırmayı maddi olarak destekleyen TÜBİTAK Bilimsel Araştırma Kurumuna (Proje no: 108O324) teşekkür ederiz.

Açıklama

Bu makale birinci yazarın “İkinci Ürün Silajlık Mısır Üretiminde İSKİ Atıksu Arıtma Çamuru Kullanımının Toprak Özellikleri, Bitki Gelişimi ve Su Kullanımına Etkisi” başlıklı TÜBİTAK projesi (108O324) ve aynı zamanda doktora çalışmasının bir bölümünden yararlanılmak suretiyle güncellenerek hazırlanmıştır.

Kaynaklar

- Alpaslan, N., 2004. Arıtma çamurları. Atıksu arıtma tesislerinin tasarım ve işletim esasları kurs notları, İzmir.
- Anonim, 2023. Kimyasal gübre kullanımı, 2009-2022. (<https://data.tuik.gov.tr/Bul ten/DownloadIstatistikselTablo?p=3Fp ReuQQvdDqlq8CQ/umsGwCtmoZMF 1WuAaZYPXiH7rOYBLF Xu9v6qNWP 7KS4Zeo>), (Erişim tarihi: 20.06.2023).
- Aşık, B.B., Katkat, A.V., 2004. Gıda sanayi arıtma tesisi atığının (arıtma çamuru) tarımsal alanlarda kullanım olanakları. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(2): 59-71.
- Baziramakenga, R., Sımar, R.R., Lalande, R., 2001. Effect of de-inking paper sludge compost application on soil chemical and biological properties. *Canadian Journal of Soil Science*, 81: 561-575.
- Bellitürk, K., Sağlam, M.T., 2005. Tekirdağ ili topraklarının mineralize olan azot miktarları ile mineralizasyon kapasiteleri üzerinde bir araştırma. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2(1): 89-101.

- Bellitürk, K., Çelik, A., 2022. Is the debate on organic vs. mineral fertilization meaningful? *II-International Conference on Global Practice of Multidisciplinary Scientific Studies*, Conference Proceedings Book, 26-28 July, Batumi, Georgia, pp. 754-762.
- Benami, A., Diskin, M.H., 1965. Design of Sprinkling Irrigation. Lowdermilk Faculty of Agricultural Engineering Publication 23. Technicon. Israel Institute of Tecnology. Haifa, Israel.
- Bender, D., Erdal, İ., Dengiz, O., Gürbüz, M., Tarakçıoğlu, C., 1998. Farklı organik materyallerin killi bir toprağın bazı fiziksel özellikleri üzerine etkileri. *International Symposium On Arid Region Soil*, Conference Proceedings Book, 21-24 September, Menemen, İzmir, s. 506-510.
- Blake, G.R., 1965. Bulk Density. Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling. Chapter 30.
- Bozkurt, M.A., Yılmaz, İ., Çimrin, K.M., 2000. Kentsel arıtma çamurunun kışlık arpada azot kaynağı olarak kullanılması. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 7(1): 105-110.
- Büyükfiliz, F., Bellitürk, K., 2023. Determination of plant nutrition capacities of agricultural areas by soil analysis: the case of çorlu district of tekirdag province. *4th International Black Sea Modern Scientific Research Congress*, Conference Proceedings Book, 6-7 June, Rize, Türkiye, s. 1327-1339.
- Demir, E., Çimrin, 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(2011): 204-216.
- Demir, E., Topaç, F.O., 2019. Arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı kullanımı: topraktaki azot proseslerinde meydana gelen değişimler. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 2(24).
- Düring, R.A., Gäth, S., 2002. Utilization of municipal organic wastes in agriculture where do we stand, where will we go? *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 165: 544-556.
- Düzgüneş, O., 1963. İstatistik Prensipleri ve Metotları. Ege Üniversitesi Matbaası, İzmir.
- Epstein, E., 2003. Land Application of Sewage Sludge and Biosolids. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- 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.
- Fageria, N.K., 2009. The Use of Nutrients in Crop Plants. CRC Pres, Boca Raton, Florida, New York.
- FAO, 1990. Micronutrient, Assesment At The Country Level: An International Study. Fao Soils Bulletin, No:63, Rome.
- Faria, W.M., Figueiredo, C.C., de Coser, T. R., Vale, A.T., Schneider, B.G., 2018. Is sewage sludge biochar capable of replacing inorganic fertilizers for corn production? evidence from a two-year field experiment. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64: 505-519.
- 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.

- Guo, T.R., Zhang, G.R., 2007. Physiological changes in barley plants under combined toxicity of aluminum, copper and cadmium, colloids and surfaces. *B: Biointerfaces*, 57: 82–188.
- Güçdemir, İ.H., Türker, U., Karabulut, A., Arcak, Ç., 2004. Gübreleme teknolojilerindeki yenilikler (Hassas tarım uygulamaları) ve bunun tarımsal üretime etkileri üzerine bir çalışma. 3. Ulusal Gübre Kongresi “Tarım Sanayi Çevre”, Kongre Bildiri Kitabı, 11-13 Ekim, Tokat, Cilt 1, s. 1005-1014.
- Güneş, A., Alpaslan, M., İnal, A., 2000. Bitki Besleme ve Gübreleme. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No:1514.
- Gürbüz, M.A., Kayalı, E., Bahar, E., Öz, T.A., Kurşun, İ., 2019. Trakya topraklarının veri tabanının oluşturulması ve bazı toprak özellikleri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 7(1): 1-9.
- Kabir, B.E., Bashari, H., Bassiri, M., Mosaddeghi, R.M., 2020. Effects of land-use/cover change on soil hydraulic properties and pore characteristics in a semi-arid region of central Iran. *Soil&Tillage Research*, 197: 104478.
- Kanber, R., Kırdı, C., Tekinel, O., 1992. Sulama Suyu Niteliği ve Sulamada Tuzluluk Sorunları. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Genel Yayın No:21, Adana.
- Kocagöz, Y.M., Bellitürk, K., Hurma, H., 2022. Comparison of organic and chemical fertilizer use: the case of muratlı district of Tekirdağ province. *Adyutayam*, 10(2): 108-127.
- Lasaridi, K.E., Manios, T., Stamatiadis, S., Chroni, C., Kyriacou, A., 2018. The evaluation of hazards to man and the environment during the composting of sewage sludge. *Sustainability*, 10(8): 2618.
- Lopez-Mosquera, M.E., Moiron, C., Carral E., 2000. Use of dairy-industry sludge as fertilizer for grassland in northwest spain: heavy metal levels in the soil and plants. *Resource Conservation and Recycling*, 30: 95-109.
- Nath, J.A., Lal, R., 2017. Effects of tillage practices and land use management on soil aggregates and soil organic carbon in the north appalachian region. USA. *Pedosphere*, 27(1): 172-176.
- O’Riordan, E.G., Dodd, V.A., Tunney, H., Fleming, G.A., 1987. The fertiliser nutrient value of activated sewage sludge under grassland field conditions. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 26: 213-229.
- Ok, H., 2021. Recycling of Sewage Sludge in Agriculture. Academic Research And Reviews in Agriculture, Forestry and Aquaculture Sciences, Chapter-2.
- Öbek, E., Tatar, Ş.Y., Hasar, H., Arslan, E.I., İpek, U., 2004. Kentsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesisi arıtma çamurlarındaki ağır metal düzeylerinin değerlendirilmesi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(1): 31-38.
- Önal, M.K., Topçuoğlu, B., Arı, N., 2003 Toprağa uygulanan kentsel arıtma çamurunun domates bitkisine etkisi 2. gelişme ve meyve özellikleri ile meyvede mineral içerikleri. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(1): 97-106.
- Özyazıcı, M.A., Özyazıcı, G., 2012. Arıtma çamurunun toprağın bazı temel verimlilik parametreleri üzerine etkileri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 27(2): 101-109.
- Pinamonti, F., Stringari, G., Zari, G., 1997. The use of compost: its effects on heavy metal levels in soil and plants. *Resources, Conversation and Recycling*, 21: 129-141.

- Sağlam, M.T., 2012. Toprak ve Suyun Kimyasal Analiz Yöntemleri (5. Baskı). Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No:2, Tekirdağ.
- Samaras, P., Papadimitriou, C.A., Haritou, I., Zouboulis, A.I., 2008. Investigation of sewage sludge stabilization potential by the addition of fly ash and lime. *Journal of Hazardous Material*, 154: 1052-1059.
- Singh, R.P., Agrawal, M., 2010. Variations in heavy metal accumulation, growth and yield of rice plants grown at different sewage sludge amendment rates. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73(4): 632-641.
- Strauch, D., 1991. Survival of pathogenic micro-organisms and parasites in excreta, manure and sewage sludge. *Revue Scientifique Et Technique (International Office Of Epizootics)*, 10(3): 813-846.
- Tepecik, M., Ongun, A.R., Kayıkcıoğlu, H.H., Delibacak, S., Elmaci, O.L., Celen, A.E., İlker, E., 2022. Change in cotton plant quality in response to application of anaerobically digested sewage sludge. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29: 615-621.
- Tepecik, M., Ongun, A.R., Kayıkcıoğlu, H.H., Delibacak, S., Birişçi, T., Aktaş, E., Önaç, A.K., Balık, G., 2023. Effects of sewage sludge on marigold (*Tagetes erecta* L.) garden verbena (*Verbena hybrida*) plants and soil nutrient elements and heavy metal. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 26(1): 161-171.
- Topaç, O.S., Başkaya, H.S., 2008. Evsel nitelikli arıtma çamurlarının bitki besin düzeylerinin değerlendirilmesinde azot formlarının önemi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 13(1).
- Uzun, P., Bilgili, U., 2011. Arıtma çamurlarının tarımda kullanım olanakları. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25(2): 135-146.
- Von Uexkull, H.R., 1989. Nutrient cycling. In: E. Pushparajah (Ed), *Soil Management and Smallholder Development in the Pacific Islands. Proceedings of the Workshop the International Board for Soil Research and Management*, Bangkok, Thailand, pp. 121-132.
- Yurtsever, N., 1984. Deneysel İstatistik Metotlar. T.C. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.

Atıf Şekli	Gezer, E., Konukcu, F., Adiloğlu, A., Dinçer, A.R., 2023. Mısır Bitkisinin İkinci Ürün ve Silajlık Olarak Yetiştirilmesinde Kullanılan Arıtma Çamurunun Topraktaki Makro Besin Elementleri Üzerine Etkisi. <i>ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi</i> , 7(4): 798-808. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.10224305 .
To Cite	Gezer, E., Konukcu, F., Adiloğlu, A., Dinçer, A.R., 2023. The Effect of Sewage Sludge Used in the Cultivation of Corn Plants as Second Crop and Silage on the Macro Nutrient Elements in the Soil. <i>ISPEC Journal of Agricultural Sciences</i> , 7(4): 798-808. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.10224305 .