



Kentsel Arıtma Çamurunun Ispanak Bitkisinin Gelişimi ve Mineral Besin Elementi İçeriğine Etkisi

Erhan Recep İNCE¹  Figen ERASLAN İNAL¹ 

¹ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Çünür-İSPARTA-TÜRKİYE

Öz

Artan dünya nüfusuyla birlikte birçok sorun da ortaya çıkarmaktadır. Bunlardan bir tanesi de kentsel arıtma çamuru ve bunun bertaraf meselesidir. Bu çalışmada, artan düzeylerde uygulanan kentsel atık su arıtma çamurunun ıspanak bitkisinin (*Spinacia oleracea* cv. Matador) gelişimi ve besin elementi konsantrasyonuna etkisini belirlemek amacıyla sera koşullarında bir deneme yürütülmüştür. Denemede atık çamur uygulaması AÇ0: 0, AÇ1: 10, AÇ2: 20, AÇ3: 30, AÇ4: 40 ve AÇ5: 50 g kg⁻¹ dozlarında, tohum ekiminden önce uygulanmıştır. Deneme sonucunda bitkilerin yaş ve kuru ağırlıkları ile N, P, K, Mg, Ca, Fe, Cu, Zn ve Mn konsantrasyonları belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, arıtma çamuru ıspanak bitkisinin yaş ve kuru ağırlığını ve Mg hariç N, P, K, Ca, Fe, Cu, Mn ve Zn konsantrasyonlarını önemli derecede etkilediği belirlenmiştir. Arıtma çamuru uygulaması bitkilerin yaş ve kuru ağırlığını kontrol ve AÇ1 dozu hariç önemli oranda azaltmıştır. Bitkilerin N, P ve Ca konsantrasyonları özellikle 40 ve 50 g kg⁻¹ AÇ uygulamalarında artarken, K konsantrasyonu 10 ve 20 g kg⁻¹ dozlarında azalmıştır. Bitkilerin mikro element konsantrasyonları incelendiğinde ise, Fe ve Cu konsantrasyonlarının 20 ve 30 g kg⁻¹ AÇ uygulaması ile azalırken, Zn ve Mn konsantrasyonlarının ise 40 ve 50 g kg⁻¹ AÇ uygulamaları ile arttığı belirlenmiştir.

Article Info

Received: 06.12.2024

Accepted: 24.12.2024

Anahtar Kelimeler

Bitki besin elementi
Ispanak
Kentsel arıtma çamuru
Verim

The Effect of Sewage Sludge on the Growth and Mineral Nutrient Content of Spinach

Abstract

With the increasing world population, many problems arise. One of them is urban sewage sludge and its disposal. In the present study, an experiment was conducted in greenhouse conditions to determine the effect of increasing levels of sewage sludge on the growth and nutrient content of spinach plant (*Spinacia oleracea* cv. Matador). In the experiment, sewage sludge was applied at the doses of AC0: 0, AC1: 10, AC2: 20, AC3:30, AC4: 40 and AC5: 50 g kg⁻¹ before sowing the seeds. As a result of the experiment, the fresh and dry weights of the plants and the concentrations of N, P, K, Mg, Ca, Fe, Cu, Zn and Mn were determined. According to the research results, the sewage sludge application were determined by significantly affected fresh and dry weight of the spinach plant and the N, P, K, Ca, Fe, Cu, Mn and Zn concentrations, except Mg. Sewage sludge applications significantly decreased the fresh and dry weight of the plants compared to control and first dose. While the N, P and Ca concentrations of the plants were increased especially in 40 and 50 g kg⁻¹ AC applications, the K concentration decreased at 10 and 20 g kg⁻¹ doses. When the micro element concentrations of the plants were investigated, while Fe and Cu concentrations decreased with 20 and 30 g kg⁻¹ AC applications, Zn and Mn concentrations increased with 40 and 50 g kg⁻¹ AC applications.

Keywords

Plant nutrient
Spinach
Urban sewage sludge
Yield



Corresponding Author
figeneraslan@isparta.edu.tr

Giriş

Kentsel arıtma çamuru, endüstriyel veya kentsel atık su arıtma tesislerinin yarı katı yapıda bir yan üründür. Tarım toprakları için hayati önem taşıyan organik madde (OM) kaynağı olarak hareket eder; ayrıca bitki büyümesi ve gelişimi için önemli olan makro ve mikro besin elementlerini sağlar (Latare vd., 2018; Karkush ve Aljorany, 2019). Kentsel arıtma çamurunun uygun maliyetle ve çevreye duyarlı bir şekilde sürdürülebilir bir yolla yönetilmesi ve imha edilmesi, gelişmiş ülkelerin acil bir sorunudur. Atık çamurların tarımda kullanımı çevre dostu bir yönetim tekniği olarak kabul edilmiştir (Bai vd., 2017; Beidokhti vd., 2019).

Arıtma çamurlarının tarımsal amaçla kullanımı yalnızca uygun fiyatlı bir imha yöntemi sunmakla kalmaz aynı zamanda toprağın verimliliğini ve fiziksel özelliklerini de iyileştirir, böylece üründe verim artışının yanında geri dönüşümü de sağlanarak tarımsal girdi maliyetini de azaltır. Avrupa Birliği'nde toplam üretilen arıtma çamurunun % 37'si (3.6 × 106 ton) tarım sektöründe kullanılmaktadır. Bu miktar Çin, ABD ve Mısır'da sırasıyla % 44, % 65 ve % 85'tir (European Commission, 2010).

Kentsel arıtma çamurları bitki besin maddelerinin yanı sıra önemli miktarda kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), krom (Cr), nikel (Ni), arsenik (As) gibi toksik metalleri de taşır (Rastetter ve Gerhardt, 2017). Bu tür ağır metaller bitkiler tarafından alınır ve biriktirilirse besin zincirine katılarak insan sağlığına risk oluşturabilir. Bu sorunun boyutu, arıtma çamurunun bileşimi, kullanım miktarı ve sıklığı, ağır metallerin fitotoksitesisi, toprak özellikleri, ağır metallerin kimyasal özellikleri, yönetim stratejisi ve yetiştirilen ürün türlerine bağlı olarak değişir (Latare vd., 2018; Buaisha vd., 2020; Fazelabdolabadi ve Golestan, 2020). Bu nedenle, arıtma çamurlarının imhası eğer düzgün yönetilmezse çevreyi kirleten ve insan sağlığını tehlikeye sokan kontaminasyona sebep olabilir (Eid vd., 2017). Bu ağır metallerin topraktan bitkiye taşınması ile ortaya çıkan biyomagnifikasyon sonucu ürün kalitesi ve tüketicilerin sağlığı üzerinde zararlı etkileri vardır.

Ağır metallerle kirlenmiş bitkilerin tüketimi, besin zincirinin kirlenmesinde birincil yoldur ve insan sağlığı açısından ciddi rahatsızlıklara yol açacaktır. Ağır metalle kirlenmiş topraklarda yetişen gıda ürünlerini yiyerek oluşan metal tüketimi, insan sağlığına yönelik riskleri değerlendirmek için genellikle tehlike bölümü (HQ) ve kanserojen risk (CR) terimleri kullanılmıştır (Karimi vd., 2020). HQ ve CR değerlerine göre izin verilen maksimum arıtma çamuru uygulama sınırını düzenlemek de mümkündür.

Dünyada ıspanak üretimi bakımından en fazla 30.651.759 ton yıl⁻¹ üretimiyle Çin ilk sırada yer almaktadır. Çin'i sırasıyla ABD 382.356 ton yıl⁻¹, Türkiye 230.071 ton yıl⁻¹, Japonya 208.411 ton yıl⁻¹, Endonezya 170.821 ton yıl⁻¹ izlemektedir (FAO, 2022). Türkiye dünya ıspanak üretim sıralamasında 4. sırada yer almaktadır. Türkiye'de İzmir (30.028 da alanda 52.019 ton yıl⁻¹), Ankara (20.451 da alanda 50.525 ton yıl⁻¹), Adana (9.270 da alanda 11.231 ton yıl⁻¹), Manisa (11.973 da alanda 12.641 ton yıl⁻¹), Sakarya (7.135 da alanda 8.488 ton yıl⁻¹), Isparta'da (400 da alanda 514 ton yıl⁻¹) üretim yapılmaktadır (TÜİK, 2023).

İçerik bakımından yüksek vitamin ve minerale sahip olan ıspanak, kışın insan beslenmesinde en büyük paylardan birisine sahiptir (Goto vd., 1996). Diğer bir ifadeyle; 100 g ıspanak 99 mg kalsiyum (Ca), 79 mg magnezyum (Mg), 0.897 mg mangan (Mn), 49 mg fosfor (P), 2.71 mg demir (Fe), 79 mg sodyum (Na), 0.53 mg çinko (Zn), 558 mg potasyum (K), 91.4 g su, 23 kcal enerji, 2.9 g protein, 0.4 g yağ, 0.4 g şeker, 3.6 g karbonhidrat, 2.2 diyet lifi içermektedir (Welbaum, 2015).

Organik madde miktarının ülkemiz topraklarında az oranda bulunmasından dolayı; toprak kalitesini iyileştirmede ve birim alandan daha fazla verim alabilmek için toprağa organik madde ilavesi çok önemlidir (Yalçın vd., 2010). Artan kentsel nüfusla birlikte tarımsal üretimde gübre olarak kullanabileceğimiz ürünlerden birisi de kentsel arıtma çamurudur. Organik madde bakımından yüksek, kolayca bulunabilir ve uygulanması düşük bütçeli olması; bu atık maddelerin tarımsal üretimde kullanılma düşüncesini desteklemektedir (Uzun ve Bilgili, 2011). Son yıllarda artan kentleşme ile kontrolsüz bir biçimde artan kentsel atıkların patojen ve ağır metallerden arındırılarak tarımda kullanılması büyük önem arz etmektedir.

Avrupa ülkelerinde tarımsal üretimde kentsel arıtma çamuru %10-80 arasında kullanılmaktadır. Ancak, hastalık faktörleri ve toksik madde miktarları oldukça fazla bulunabilir. Tarımsal uygulama için, bu değerlerin yönetmeliğe göre yasal sınırların altında olması gerekir (Delibacak vd., 2007). Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğine göre tarımda kullanılacak arıtma çamurlarında bulunmasına müsaade edilen ağır metal içerikleri için belirli sınır değerler verilmiştir. Dünya'da ve ülkemizde tarımsal amaçlı kullanılacak arıtma çamurlarında izin verilen en yüksek ağır metal içerikleri Tablo 1' de verilmiştir (Arlı, 2006).

Arıtma çamurları, elde edildikleri endüstriyel kuruluşun özelliğine bağlı olarak bileşimlerinde; metal tuzları, fenoller, organik bileşikler, asitler, alkaliler, oksitleyiciler, boyalar, sülfatlar, hidrokarbonlar, yağlar, Fe, Cu, Al, Hg, Cd, As, Co, Pb, Cr gibi ağır metaller ile organik fosfor ve azot gibi bitki besin elementleri de içerebilmektedirler. Atık su arıtma tesislerinden elde edilen arıtma çamurlarının tarımsal amaçlarla

kullanılıp değerlendirilebilmesi için, bu çamurların öncelikle bitki besin elementi içerikleri, tuzluluk, pH ve ağır metal yükleri bakımından detaylı olarak incelenmelerinin yapılması şarttır.

Tablo 1. Dünya’da ve ülkemizde tarımsal amaçlı kullanılacak arıtma çamurlarında izin verilen en yüksek ağır metal içerikleri (Arlı, 2006).

Kirlenici	Üst Limit (mg kg ⁻¹) *						
	ABD	Kanada	AB	İsveç	Danimarka	Almanya	Türkiye
Arsenik	75	75	-	-	-	-	-
Kadmiyum	85	20	20-40	2	0.5	1.5	20
Krom**	3000	-	1000-1750	100	-	-	1200
Bakır**	4300	-	1000-1750	600	40	60	1200
Kurşun**	840	500	750-1200	100	40	100	1200
Cıva	57	5	16-25	2.5	-	-	25
Molibden	75	20	-	-	-	-	-
Nikel**	420	180	300-400	50	15	50	1200
Selenyum	100	14	-	-	-	-	-
Çinko**	7500	1850	2500-4000	100	100	200	3000
PCB 8.6	-	-	-	-	-	-	-

*Kuru ağırlık ** İşlenmiş arıtma çamurunun topraklarda kullanılması ile hasadın alınması arasında en az 3 ay süre varsa ilgili kuruluşların görünüşü alınarak Bakanlıkça cıva ve kadmiyum hariç olmak üzere bu değerler % 5'e kadar artırılabilir.

Kentsel arıtma çamurlarının, makro ve mikro besin elementleri içerikleri kimyasal gübrelerden daha düşüktür, ancak değerli bir gübre materyali olabileceği düşünülmektedir. Arıtma çamurlarının makro besin elementi içeriği yaklaşık olarak N (% 2-8), P (% 1.5-3), K (% 0.1-0.6) arasında değişmektedir (Lu vd., 2012).

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 03.08.2010 tarihi 27661 sayılı "Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik" inde arıtma çamurunun toprakta kullanılıp biyolojik ve kimyasal zararlarını en aza indirmek için bazı sınırlamaları vardır. İçeriğinde yararlı bileşikler olduğu gibi (organik ve inorganik besin elementleri) zararlı bileşiklerde (toksik organik ve inorganik elementler ve bileşikler, hastalık yapıcı organizmalar ve parazit yumurtaları) bulunabilmektedir. Biyolojik ve kimyasal içerik bakımından arıtma, depolama ve bekleme gibi işlemlerden geçirilen arıtma çamurunun, niteliği düşük topraklarda verimliliği artırıcı bir gübre olarak uygulanabileceği belirtilmektedir (Katkat ve Aşık, 2010).

Arıtma çamurunun bitkisel üretimde kullanılması, bertaraf için uygun bir stratejidir; ancak toprak ve insan sağlığına etkisi bakımından olumsuz sonuçlar doğurabilir. Bu nedenle, toprak kirliliğini önlemek için izin verilen arıtma çamuru seviyesinin belirlenmesi önemlidir. Bu çalışmada, kentsel arıtma çamurunun ispanak bitkisinin gelişimi ve bitki besin elementleri içeriklerine etkisi artan dozlarda uygulanarak bir sera denemesi ile belirlenmiştir.

Materyal ve Metot

Deneme toprağı, Isparta ili Yenişarbademli ilçesi Gökönak Köyünde bir üretici bahçesinden 0-20 cm derinlikten alınarak deneme kurmaya ve analize hazır hale getirilmiştir. Denemede kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri aşağıdaki gibidir: Toplam N, 1.86 g kg⁻¹, bitkiye yararlı P, Fe, Mn, Zn ve Cu sırasıyla 83 mg kg⁻¹, 25.6 mg kg⁻¹, 21.2 mg kg⁻¹, 5.8 mg kg⁻¹ ve 1.6 mg kg⁻¹'dir, değişebilir K, Ca ve Mg ise 341 mg kg⁻¹, 1778 mg kg⁻¹ ve 215 mg kg⁻¹'dir. Deneme toprağının pH, 6.8, EC, 0.011 dS m⁻¹, organik madde, 2.61 g kg⁻¹ ve kireç içeriği % 4.03' dür. Kum, kil, silt içeriği sırasıyla; % 25.77, % 33.09 ve % 41.14' dür.

Denemede kullanılan kentsel arıtma çamuru Afyonkarahisar Belediyesi atık su arıtma tesisinden taze olarak alınmış, açık alanda iki hafta süreyle kurutularak uygulamaya hazır hale getirilmiştir. Arıtma çamurunun analizi Afyonkarahisar Gıda Kontrol Laboratuvarı tarafından yapılmıştır.

Deneme, tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak, 2 kg toprak alan saksılarda ve üstü plastik örtü kaplı açık serada yürütülmüştür. Saksılara tohum ekiminden bir hafta önce arıtma çamuru 0, 10, 20, 30, 40 ve 50 g kg⁻¹ (AÇ0, AÇ1, AÇ2, AÇ3, AÇ4, AÇ5) olacak şekilde uygulanarak toprakla eşit şekilde karışması sağlanmıştır. Temel gübreleme olarak tüm saksılara ekimden önce 100 mg N kg⁻¹ olacak şekilde 18.18.18+ME gübresi uygulanmıştır. Daha sonra tüm saksılara 30 Nisan 2022 tarihinde 20 adet ispanak (*Spinacia oleracea* cv. Matador) tohumu ekilmiştir. Bitki çıkışlarından sonra seyreltme yapılarak her

saksıda 4 adet bitki bırakılmıştır. Bitkiler, 30.06.2022 tarihinde toprak yüzeyinden kesilmek suretiyle hasat edilmiştir. Hasat edilen bitkilerin yaş ağırlıkları belirlendikten sonra 65 °C’de 48 saat etüvde kurutulmuş, kuru ağırlıkları tespit edilmiş ve mineral element analizleri için öğütülmüştür. Bitkilerin toplam N kapsamı Kjeldahl yöntemiyle, mikrodalga yaş yakma yöntemiyle (HNO₃) yakılan bitki örneklerinde toplam P, vanadomolibdofosfoik sarı renk yöntemine göre; toplam K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn ve Zn ise K atomik absorpsiyon spektrofotometresiyle belirlenmiştir. (Kacar ve İnal, 2008).

Yapılan uygulamaların sonuçlarının önemliliği “varyans analizi” ile MİNİTAB paket programı kullanılarak, uygulamalar arasındaki farklılıklar ise Tukey testi ile belirlenmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Denemede kullanılan kentsel arıtma çamurunun bazı kimyasal özellikleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Denemede kullanılan kentsel arıtma çamurunun bazı kimyasal özellikleri

Parametreler	Birim	İzin Verilen Sınır Değerler			Ölçülen Değer
		İnert	Tehlikesiz	Tehlikeli	
Arsenik (As)	mg kg ⁻¹	≤ 0.05	0.05-0.2	0.02-2.5	0.104
Baryum (Ba)	mg kg ⁻¹	≤ 2	2-10	10-30	0.970
Kadmiyum(Cd)	mg kg ⁻¹	≤ 0.004	0.004-0.1	0.1-0.5	0.009
T. Krom (Cr)	mg kg ⁻¹	≤ 0.05	0.05-1	1-7	0.008
Bakır (Cu)	mg kg ⁻¹	≤ 0.02	0.2-5	5-10	0.483
Cıva (Hg)	mg kg ⁻¹	≤ 0.001	0.001-0.02	0.02-0.2	0.001
Molibden (Mo)	mg kg ⁻¹	≤ 0.05	0.05-1	1-3	<0.01
Nikel (Ni)	mg kg ⁻¹	≤ 0.04	0.04-1	1-4	0.088
Kurşun (Pb)	mg kg ⁻¹	≤ 0.05	0.05-1	1-5	0.196
Antimon (Sb)	mg kg ⁻¹	≤ 0.006	0.006-0.07	0.07-0.5	0.020
Selenyum (Se)	mg kg ⁻¹	≤ 0.01	0.01-0.05	0.05-0.7	<0.01
Çinko (Zn)	mg kg ⁻¹	≤ 0.4	0.4-5	5-20	2.378
Klorür (Cl ⁻)	mg kg ⁻¹	≤ 80	80-1500	1500-2500	20
Florür (F ⁻)	mg kg ⁻¹	≤ 1	1-15	15-50	8.12
Sülfat	mg kg ⁻¹	≤ 100	100-2000	2000-5000	23.79
Çözünmüş Organik	mg kg ⁻¹	≤ 50	50-80	80-100	508
Top.Çöz.Madde	mg kg ⁻¹	≤ 400	400-6000	6000-10000	494
Fenol İndeksi	mg kg ⁻¹	≤ 0.1	-	-	8.25
pH	-	-	-	-	7.49
EC	dS m ⁻¹	-	-	-	1.640
*Toplam Organik Karbon	%	≤ 30000 (%3)	50000 (%5)	60000 (% 6)	<1.57

Tablo incelendiğinde, ağır metal içeriklerinin kabul edilebilir yani inert (kimyasal olarak aktif olmayan) ve tehlikesiz aralıklarda olduğu, çözünmüş organik karbonun ise 508 mg kg⁻¹değeri ile tehlikeli aralıklarda olduğu tespit edilmiştir.

Kentsel arıtma çamurunun ispanak bitkisinin gelişimi üzerine etkisi

Kentsel arıtma çamurunun ispanak bitkisine artan dozlarda uygulanmasının bitkilerin yaş (p<0.01) ve kuru (p<0.05) ağırlığına etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Kentsel arıtma çamuru AÇ1 ve AÇ2 dozu ile hem yaş (24.6 ve 19.90 g bitki⁻¹) hem kuru (3.12 ve 2.47 g bitki⁻¹) ağırlığı kontrol grubuna göre artırmıştır (Tablo 3). Arıtma çamurunun son iki dozu birinci doza (AÇ1) göre yaş ve kuru ağırlığı önemli oranda düşürmüştür.

Araştırma sonuçlarına göre; uygulanan arıtma çamurunun AÇ1 ve AÇ2 dozlarından sonra bitkilerin yaş ve kuru ağırlıklarının düştüğü belirlenmiştir. Bunun sebebini; artan dozlarla beraber kentsel arıtma çamurunun ağır metal içeriği ve aşırı tuzluluktan dolayı bitkilere zararlı etki yapması olarak düşünebiliriz. Jacobs ve McCreary (2001)’a göre; arıtma çamurunun içeriğindeki tuz konsantrasyonları bitkinin kök bölgesinde biriktiği için bitkininin çimlenmesinde ve büyümesinde yüksek tuz içeriğinin zararlara sebep olabileceği belirtilmektedir. Yapılan çeşitli çalışmalarda da arıtma çamurunun ispanak bitkisinin verimini

artırdığı bulunmuştur. Eid vd. (2017); 0, 10, 20, 30, 40 ve 50 g kg⁻¹ dozlarında arıtma çamuru uyguladıkları ispanak bitkisinin biyokütlesinin 40 g kg⁻¹ doza kadar arttığını bildirmişlerdir. Swain vd. (2021), 20 t ha⁻¹ arıtma çamuru uygulamasının ispanak bitkisinin verimi üzerine en etkili doz olduğunu belirtmişlerdir. Benzer sonuçlar Swain vd. (2020) tarafından da bildirilmiştir.

Tablo 3. Kentsel arıtma çamurunun ispanak bitkisinin yaş ve kuru ağırlığı üzerine etkisi

Uygulamalar	Yaş ağırlık (g bitki ⁻¹)	Kuru ağırlık (g bitki ⁻¹)
AÇ ₀	19.29 ab	2.39 ab
AÇ ₁	24.60 a	3.12 a
AÇ ₂	19.90 ab	2.47 ab
AÇ ₃	17.70 ab	2.32 ab
AÇ ₄	13.61 b	1.72 b
AÇ ₅	13.20 b	1.84 b
F test	4.92**	4.19*

*: p<0.05, **: p<0.01, aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemli.

Kentsel arıtma çamurunun ispanak bitkisinin besin elementi konsantrasyonları üzerine etkisi

Jones vd. (1991)' e göre, genç (30-50 günlük) ispanak yaprağının bitki besin maddesi konsantrasyonlarının kritik düzeyleri Tablo 4' de verilmiştir.

Tablo 4. Genç (30-50 günlük) ispanak yaprağının bitki besin maddelerinin kritik düzeyleri (Jones vd., 1991)

Element	Noksan	Yeterli	Fazla
N (%)	3.50-3.99	4.00-6.00	>6.00
P (%)	0.25-0.29	0.30-0.60	>0.70
K (%)	4.00-4.99	5.00-8.00	>8.00
Ca (%)	0.50-0.69	0.70-1.20	>1.20
Mg (%)	0.40-0.59	0.60-1.00	>1.00
Cu (mg kg ⁻¹)	3-4	5-25	>25
Fe (mg kg ⁻¹)	50-59	60-200	>200
Mn (mg kg ⁻¹)	20-29	30-250	>250
Zn (mg kg ⁻¹)	20-24	25-100	>100

Kentsel arıtma çamuru uygulaması ispanak bitkisinin N, P, K ve Ca konsantrasyonları üzerine istatistiksel olarak önemli etki yaparken (p<0.01), Mg konsantrasyonu üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur (Tablo 5).

Kentsel arıtma çamuru uygulamaları ispanak bitkisinin N konsantrasyonunu AÇ₂, AÇ₄ ve AÇ₅ dozlarda kontrole (%3.82) göre önemli oranda artarak sırasıyla %4.35, %4.39 ve %4.43 olarak tespit edilmiştir. Çakır (2018), Ekleme (2018) ve Başkan (2018) tarafından yapılan araştırmalarda da kentsel arıtma çamuru uygulamasıyla bitkilerin N içeriğinin arttığı belirtilmiştir.

İspanak bitkisinin P konsantrasyonu arıtma çamurunun en yüksek dozunda diğer tüm uygulamalara göre önemli oranda artmıştır. Kontrol uygulamasında bitkinin P konsantrasyonu %0.47 ile yeterli seviyesinde yer almış, son doz olan AÇ₅ dozunda önemli oranda artarak %0.69 olarak tespit edilmiştir. Araştırmamızda, AÇ₅ dozuyla bitki P konsantrasyonunun diğer dozlara göre yüksek belirlenmesini, artan dozlarla birlikte ortamdaki organik madde ve P elementinin artışı ayrıca, AÇ₅ dozunda bitkinin yaş ve kuru ağırlığının düşmesiyle kentsel arıtma çamuru uygulamasının bitkide konsantrasyon (birikme) etkisi yaptığını söyleyebiliriz. Akat (2017) tarafından, gül bitkisi ile yapılan çalışmada uygulanan arıtma çamurunun bitkinin kök ve gövdesinde P elementinin miktarında artışlara sebep olduğu bildirilmiştir.

Kentsel arıtma çamuru uygulaması ispanak bitkisinin K içeriğini AÇ₁ ve AÇ₂ dozlarında kontrol ve diğer uygulamalara göre önemli oranda düşürmüştür. Araştırmamızda kontrol uygulamasında K konsantrasyonu %6.05 ile yeterli seviyesinde yer almış, kentsel arıtma çamuru uyguladığımız ispanak bitkisinin K konsantrasyonları ise %5.30-7.47 aralığında belirlenmiştir. Ekleme (2018) tarafından yapılan çalışmada, çim bitkisine artan dozlarda uygulanan arıtma çamuruyla K içeriğinin kontrole göre arttığı ve istatistiksel olarak önemli olduğu bildirilmiştir.

Tablo 5. Kentsel arıtma çamurunun ispanak bitkisinin N, P, K, Mg ve Ca (%) konsantrasyonları üzerine etkisi

Uygulamalar	N (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)	Ca (%)
AÇ ₀	3.82 b	0.47 b	6.05 a	1.80	0.42 d
AÇ ₁	4.09 ab	0.42 b	5.30 b	1.34	0.77 c
AÇ ₂	4.35 a	0.37 b	5.28 b	1.33	0.71 cd
AÇ ₃	4.07 ab	0.34 b	6.59 ab	1.24	0.81 bc
AÇ ₄	4.39 a	0.38 b	7.47 a	1.25	1.32 a
AÇ ₅	4.43 a	0.69 a	7.42 a	1.19	1.08 ab
F test	4.24**	11.23**	7.59**	1.50 ^{ö.d.}	20.91**

** : p<0.01, aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemli. öd: önemli değil.

Kentsel arıtma çamurunun, bitkinin Mg konsantrasyonuna etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. İspanak bitkisinin Mg içerikleri %1.19 ile %1.80 arasında değişmiştir. Jones vd. (1991) göre, ispanak bitkisinin yaprağında Mg konsantrasyonlarının % 0.40-0.59 arasında noksan, % 0.60-1.00 arasında ise yeterli seviyede olduğunu belirtmiştir. İspanak bitkisinin Ca konsantrasyonu incelendiğinde, kontrol uygulamasında Ca konsantrasyonu % 0.42 ile noksan seviyesinde yer almış, ancak ilk uygulamayla beraber yeterli düzeye gelen Ca miktarı % 0.77-1.32 arasında uygulanan dozun artmasıyla artış göstermiştir. Çakır (2018), mısır bitkisine artan dozlarda uygulanan arıtma çamuru dozlarıyla, bitkinin kök ve kök üstü aksamalarının Ca konsantrasyonunda önemli artışlar tespit etmişlerdir. Zafar vd. (2020), %75 arıtma çamuru + %25 NPK uygulamasının hem lahana hem de ispanakta tüm makro besin maddelerinin (N, P, K, Ca ve Mg) konsantrasyonunu kontrole göre önemli oranda arttığını bildirmişlerdir. Swain vd. (2020), 20 t atık çamur ha-1 uygulamasının ispanak bitkisinde, P ve Mg hariç, yapraklardaki makro ve mikro besin maddelerinin alımını temel gübreleme yapılmış uygulamaya göre önemli ölçüde artırdığını, ispanak bitkisinin besin maddeleri alımının en düşük değerlerinin kontrol grubunda olurken, N, P, K ve Zn için besin maddesi kullanım etkinliğinin sırasıyla %5.33 ile %50.0, %6.06 ile %14.7, %5.51 ile %37.4 ve %2.26 ile %5.64 arasında değiştiğini belirtmişlerdir.

İspanak bitkisine artan dozlarda kentsel arıtma çamuru uygulaması bitkilerin Fe, Cu, Zn ve Mn konsantrasyonları üzerine önemli etkiler yapmıştır (Tablo 6). Jones vd. (1991), ispanak bitkisinin yaprağında Fe konsantrasyonunu 50-59 mg kg⁻¹ arasında noksan, 60-200 mg kg⁻¹ arasında ise yeterli seviyede olduğunu belirtmiştir. İspanak bitkisinin Fe içeriği kontrol ve AÇ5 dozunda 266 ve 275 mg kg⁻¹ olarak diğer uygulamalara göre en yüksek seviyede bulunmuştur. Demir (2010) tarafından bildirildiğine göre, kireçli bir toprakta mısır bitkisinde yapılan arıtma çamuru uygulamasıyla birlikte toprağın ve bitki kök üstü kısmın Fe içeriğinde artışlar gözlenirken, bitkinin kök kısmında önemli azalmalar belirlenmiştir.

Tablo 6. Kentsel arıtma çamurunun ispanak bitkisinin Fe, Cu, Zn ve Mn (mg kg⁻¹) konsantrasyonları üzerine etkisi

Uygulamalar	Fe (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)
AÇ ₀	266 a	8.50 a	77.0 c	110 c
AÇ ₁	232 ab	6.18 bc	95.3 bc	118 c
AÇ ₂	147 bc	4.40 c	87.9 bc	114 c
AÇ ₃	122 c	4.60 c	92.9 bc	136 bc
AÇ ₄	149 bc	6.96 ab	131 ab	210 b
AÇ ₅	275 a	7.46 ab	183 a	559 a
F test	11.06**	11.24**	11.93**	82.35**

** : p<0.01, aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemli.

Bitkinin Cu konsantrasyonu AÇ₁, AÇ₂ ve AÇ₃ dozlarında kontrol ve diğer dozlara göre önemli derecede düşük bulunmuştur. Jones vd. (1991) tarafından ispanak bitkisinin yaprağında Cu içeriği 3-4 mg kg⁻¹ arasında noksan, 5-25 mg kg⁻¹ arasında yeterli olduğu belirtilmiştir. Ekleme (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, çim bitkisine arıtma çamuru uygulamalarıyla, bitkinin Cu konsantrasyonunun arttığı belirlenmiştir. Arıtma çamurunun son iki dozu bitki Zn içeriğini kontrol (77.0 mg kg⁻¹) ve diğer dozlara göre önemli oranda (131 ve 183 mg kg⁻¹) artırmıştır. Jones vd. (1991)'e göre, ispanak bitkisinin yaprağında Zn konsantrasyonu 20-24 mg kg⁻¹ arasında noksan, 25-100 mg kg⁻¹ aralığında yeterli olarak değerlendirilmiştir. Demir (2010), mısır bitkisine yapılan kentsel arıtma çamuru uygulamasıyla bitkinin Zn içeriğinin uygulanan dozlarla beraber istatistiksel olarak önemli oranda arttığını bildirmiştir.

Kentsel arıtma çamuru uygulamasının son iki dozu bitkinin Mn konsantrasyonunu kontrol (110 mg kg^{-1}) ve ilk iki doza (118 ve 114 mg kg^{-1}) göre son üç dozda (136 , 210 , 559 mg kg^{-1}) önemli oranda artmıştır. Jones vd. (1991)'e göre, ıspanak bitkisinin yaprağında Mn içeriği 20 - 29 mg kg^{-1} arasında noksan, 30 - 250 mg kg^{-1} arasında yeterli olarak değerlendirilmiştir. Yaptığımız çalışmaya benzer şekilde Demir (2010), mısır bitkisine yapılan kentsel arıtma çamuru uygulamasıyla bitkinin Mn içeriğinin uygulanan dozlarla beraber istatistiksel olarak önemli oranda arttığını bildirmiştir. Eid vd. (2017), 0 , 10 , 20 , 30 , 40 ve 50 g kg^{-1} dozlarında arıtma çamuru uygulamasının ıspanak bitkisinin kök ve sürgünündeki tüm ağır metal konsantrasyonlarında (kurşun hariç) bir artışa neden olduğunu ancak, tüm ağır metal konsantrasyonları (krom ve demir hariç) normal aralıkta olduğunu ve fitotoksik seviyelere ulaşmadığını bildirmişlerdir. Kumar vd. (2016), ıspanak bitkisinin Cd, Cr, Cu, Mn ve Zn içeriklerinin arıtma çamuru uygulamasıyla arttığını, farklı ağır metallerin kontaminasyon faktörü (CF) sıralamasının, toprak için $\text{Mn} > \text{Cd} > \text{Cr} > \text{Zn} > \text{Cu}$ ve ıspanak bitkisi için $\text{Cr} > \text{Cd} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu}$ şeklinde olduğunu belirtmişlerdir. Swain vd. (2021), 20 t ha^{-1} ve daha yüksek dozda kentsel arıtma çamuru ile yetiştirilen ıspanak bitkisinin Zn ve Cd konsantrasyonunun güvenli sınırını aştığını ve Pb ve Cd'nin translokasyon faktörünün (TF) > 1 olduğu bildirmişlerdir. Zafar vd. (2010), %75 arıtma çamuru + %25 NPK uygulamasının hem lahana hem de ıspanakta mikro besin maddelerinin (Mn, Cu, Zn ve Fe) ve ağır metallerin (Cd, Cr, Pb ve Ni) konsantrasyonunun önemli ölçüde en yüksek olduğunu, buna karşın bu elementlerin kontrol uygulamalarındaki değerlerinin en düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Sonuç

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre; kentsel arıtma çamurunun ıspanak bitkisinin gelişimi ve besin elementi konsantrasyonu üzerine etkisi değerlendirildiğinde AÇ1 ve AÇ2 dozlarının en uygun doz olduğu belirlenmiştir. Arıtma çamurlarının tarımsal olarak üretimde kullanılması ve topraklara uygulanmasında bu çalışmada elde edilen veriler de dikkate alındığında aşağıda belirtilen koşullar göz önünde bulundurulmalıdır.

Öncelikle toprağa uygulanacak arıtma çamurunun karakterizasyon çalışmasının yapılması gerekmektedir. Özellikle arıtma çamurları içermiş oldukları besin elementleri ve ağır metal içerikleri nedeni ile besin elementleri arasında antagonistik etkilerin görülebileceği değerlendirilmelidir. Arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı kullanımı ile ilgili olarak yönetmeliklerin değerlendirilmesi ve yönetmelikte belirtilen sınır değerlerin aşılması gerekmektedir.

Arıtma çamurlarının topraklara uygulanmasında toprak özellikleri dikkate alınmalıdır. Uygulamalara bağlı olarak toprakta meydana gelen değişimler belirlenmelidir. Özellikle kimi kentsel kökenli arıtma çamurlarının toprak tuzluluğunda meydana getirdiği değişimler dikkate alınarak ilgili önerilere uyulmalıdır. Arıtma çamurlarının özellikle içermiş olduğu azot ve fosfor gibi besin elementlerinden dolayı yetiştirilecek bitkinin besin elementi ihtiyacı ve toprakta oluşacak mineralizasyon derecesi göz önünde bulundurulmalıdır. Kentsel arıtma çamuru ilave edilen topraklarda ağır metallerin konsantrasyonu, ağır metallerin seviyesini güvenli sınırdan tutmak için periyodik olarak izlenmelidir.

Teşekkür

Bu araştırma makalesi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalında Erhan Recep İNCE tarafından sunulan Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

Yazar Katkı Oranları

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Bu çalışmanın yazarları olarak herhangi bir çıkar çatışması beyanımız bulunmadığını bildiririz.

Etik Kurul Onayı

Bu çalışmanın yazarları olarak herhangi bir etik kurul onay bilgileri beyanımız bulunmadığını bildiririz.

Kaynaklar

- Akat, H., Altunlu, H., Çetinkale Demirkan, G., Saraçoğlu, A., & Yokaş, İ. (2017). Kesme gül yetiştiriciliğinde arıtma çamuru uygulamalarının bitki gelişme, çiçeklenme ve kalite üzerine etkileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 54(3), 327-332.
- Arlı, S. (2006). Arıtma çamurlarındaki ağır metallerin bitkilerle giderimi. (Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Bai, Y., Zang, C., Gu, M., Gu, C., Shao, H., Guan, Y., Wang, X., Zhou, X., Shan, Y., & Feng, K. (2017). Sewage sludge as an initial fertility driver for rapid improvement of mudflat salt-soils. *Sci Total Environ*, 578, 47-55.
- Başkan, G. (2018). Tarımsal Açıldan Ham ve Kireçli Arıtma Çamurunun Etkinliğinin Tavuk ve Ahır Gübresi ile Karşılaştırılması. (Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü).
- Beidokhti, M.Z., Naeeni, S.T.O., & AbdiGhahroudi, M.S. (2019). Biosorption of nickel (II) from aqueous solutions onto pistachio hull waste as a low cost biosorbent. *Civ Eng J*, 5, 447-457.
- Buaisha M., Balku S., & Yaman, Ö. S. (2020). Heavy metal removal investigation in conventional activated sludge systems. *Civ Eng J*, 6, 470-477.
- Çakır, H.N. (2018). Kentsel arıtma çamuru uygulamalarının mısır bitkisi gelişimine etkileri. (Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Delibacak, S., Kayıkçioğlu, H.H., Okur, İ.B., Yağmur, B., & Ongun, A.R. (2007). Kentsel arıtma çamuru uygulamasının yer fıstığı ve arpa fiğ karışımı üretiminde verim ve bazı toprak özellikleri üzerine etkileri. Yükseköğretim Kurumları Destekli Proje.
- Demir, E. (2010). Arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının mısırın verim, besin elementi ve ağır metal içeriğine etkisi. (Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Eid, E. M., El-Bebany, A. F., Alrumman, S. A., Hesham, A. E. L., Taher, M. A., & Fawy, K. F. (2017). Effects of different sewage sludge applications on heavy metal accumulation, growth and yield of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *International Journal of Phytoremediation*, 19(4), 340-347.
- Ekleme, Y. (2018). Çanakkale evsel atıksu arıtma çamurunun çim bitkisinin bitki besin elementi ve ağır metal içeriği üzerine etkisi. (Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- European Commission (2010). Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land. Consultation report on options and impacts. Belgium, Milieu Ltd.
- FAO (2022). Dünyada ıspanak üretiminin verileri. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (Son erişim tarihi: 17 Aralık 2024)
- Fazelabdelabadi, B., & Golestan, M.H. (2020). Towards bayesian quantification of permeability in micro-scale porous structures—the database of micro networks. *HighTech Innov J*, 1, 148-160.
- Goto, T., Miyazaki, M., & Oku, M. (1996). An improved procedure for protoplast culture and plant regeneration of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Journal of The Japanese Society for Horticultural Science*, 65(2), 349-354.
- Jacobs, L.W., & McCreary, D.S. (2001). Utilizing biosolids on agricultural land. Extension Bulletin, University of Michigan, USA.
- Jones Jr., J.B., Wolf, B., & Mills, H.A. (1991). Plant analysis handbook. *Micro-Macro Publishing*, Inc. Georgia 30607, USA.
- Kacar, B. & İnal, A. (2008). Bitki Analizleri. *Nobel Yayın*, 1241, 842s.
- Karimi, A., Naghizadeh, A., Biglari, H., Peirovi, R., Ghasemi, A., & Zarei, A. (2020). Assessment of human health risks and pollution index for heavy metals in farmlands irrigated by effluents of stabilization ponds. *Environ Sci Pollut Res* 1, 11.
- Karkush, M., & Aljorany A.N. (2019). Numerical evaluation of foundation of digester tank of sewage treatment plant. *Civ Eng J*, 5, 996-1006.
- Katkat, A.V., & Aşık, B.B. (2010). Arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı kullanımı ve gübre değeri. 5. *Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Kongresi*. 15-17 Eylül, İzmir, 580-585.
- Kumar, V., Chopra, A. K., Srivastava, S., (2016). Assessment of heavy metals in spinach (*Spinacia oleracea* L) grown in sewage sludge-amended soil. *Communications in Soil Science And Plant Analysis*. 47(2), 221-236.
- Latore A.M., Singh S.K., & Kumar O. (2018). Impact of sewage sludge application on soil fertility, microbial population and enzyme activities in soil under rice-wheat system. *J Indian Soc Soil Sci*, 66, 300-309.
- Lu, Q., He, Z.L., & Stoffella, P.J. (2012). Land application of biosolids in the USA: A review. *Applied and Environmental Soil Science*, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2012/201462>
- Rastetter, N., & Gerhardt, A. (2017). Toxic potential of different types of sewage sludge as fertiliser in agriculture: ecotoxicological effects on aquatic, sediment and soil indicator species. *J Soils Sediments* 17, 106-121.
- Swain, A., Satish, K., Singh, S., K., Mohapatra, K.K., & Patra, A. (2020) Effect of sewage sludge application on yield, nutrients uptake and nutrient use efficiency of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Annals of Plant and Soil Research*, 22(3), 305-309

- Swain, A., Satish, K., Singh, S., K., Mohapatra, K. K., & Patra, A. (2021) Sewage sludge amendment affects spinach yield, heavy metal bioaccumulation, and soil pollution indexes. *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 717
- TÜİK (2023). Türkiye’de illere göre ıspanak üretimi verileri. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/images/medas-tuik.png> (Son erişim tarihi: 17 Aralık 2024)
- Uzun, P., & Bilgili, U. (2011) Arıtma çamurlarının tarımda kullanılabilecek olanakları. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25(2), 135-146.
- Welbaum, G.E. (2015). Vegetable production and practices. *Printed and Bound by CPI Group (UK) Ltd.*
- Yalçın, G., Yavuz, R., Yılmaz, M., Taşpınar, K., & Ateş, Ö. (2010). Evaluation of sewage sludge on agricultural lands. *Journal of Engineering and Natural Sciences*. Eskişehir Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Eskişehir, 156-164.
- Zafar, S., Farooq, S., Qazi, H. A., Jaweed, T. H., Kadam, A. 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.