



Effect of Domestic Wastewater Sewage Sludge Applications on Yield and Nutrient Uptake of Tomato Plant

Mustafa Öztürk^{1,a,*}, Şükrü Aslan^{2,b}, Ahmet Demirbaş^{1,c}

¹Department of Crop and Animal Production, Sivas Vocational School of Higher Education, Sivas Cumhuriyet University, 58140 Sivas, Turkey

²Department of Environmental Engineering, Sivas Cumhuriyet University, 58140 Sivas, Turkey

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Research Article</i></p> <p>Received : 18/02/2020 Accepted : 17/03/2020</p> <p>Keywords: Nutrients Sewage Sludge Tomato Yield Disposal</p>	<p>Use of sewage sludge in agriculture is an alternative disposal technique for this waste. Accordingly, the effects of using the sludge obtained from Sivas Waste Water Treatment Plant in different doses (0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% (w/w) and chemical fertilization) on the yield and nutrient concentration of tomato plants were investigated. The study was carried out with three replications according to the experimental pattern of randomized plots in the plastic pots with the capacity of 3 kg under the greenhouse conditions of Plant and Animal Production Department of Sivas Cumhuriyet University. It has been determined that the weight of the plants roots, stems and green components dry matter increases due to the increasing sewage sludge application and the highest efficiency is in the sewage sludge application of 5%. In addition, it has been determined that the concentrations of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) which are among the macro nutrients, tend to increase depending on the increasing dose of the sewage sludge. The concentrations of copper (Cu), manganese (Mn), iron (Fe), and zinc (Zn) which are among the micro nutrients, increased with the increasing amount of sludge. In this context, it is thought that the sludge can be used in plant breeding, provided that it falls within the boundaries of the legal legislation.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(7): 1508-1516, 2020

Evsel Atıksu Arıtma Çamuru Uygulamalarının Domates Bitkisinin Verimi ve Besin Elementleri Alımına Etkisi

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Araştırma Makalesi</i></p> <p>Geliş : 18/02/2020 Kabul : 17/03/2020</p> <p>Anahtar Kelimeler: Arıtma çamuru Besin elementleri Domates Verim Bertaraf</p>	<p>Arıtma çamurlarının tarımda kullanılması bu atık için alternatif bir bertaraf tekniğidir. Bu doğrultuda, Sivas Atıksu Arıtma Tesisinden elde edilen arıtma çamurunun farklı dozlarda (%0, %1, %2, %3, %4, %5 ve kimyasal gübreleme) kullanılmasının domates bitkisinin verimi ve besin elementlerinin derişimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışma 3 kg kapasiteli plastik saksılarda tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü seralarında yürütülmüştür. Bitki kök, gövde ve yeşil aksam kuru madde ağırlığının artan arıtma çamuru uygulamasına bağlı olarak arttığı ve en yüksek verimin %5'lik arıtma çamuru uygulamasında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca makro besin elementlerinden olan azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K)'un bitkideki derişimlerinin arıtma çamurunun artan dozuna bağlı olarak artma eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Mikro besin elementlerinden olan bakır (Cu), mangan (Mn), demir (Fe) ve çinko (Zn)'nun derişimleri ise yine artan arıtma çamuru dozu ile artmıştır. Bu kapsamda arıtma çamurlarının yasal mevzuat sınırları içerisinde kalmak koşuluyla bitki yetiştiriciliğinde kullanılabileceği düşünülmektedir.</p>

^a mozturk@cumhuriyet.edu.tr

^b <http://orcid.org/0000-0002-8825-6283>

^c saslan@cumhuriyet.edu.tr

^d <http://orcid.org/0000-0001-8735-8029>

^e ademirbas@cumhuriyet.edu.tr

^f <http://orcid.org/0000-0003-2523-7322>



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

Giriş

Hızla gelişmekte olan teknoloji ve nüfus artışı çeşitli çevre sorunlarını da beraberinde getirmektedir (Yıldız ve ark., 2009). Bilim adamları başta olmak üzere yasa koyucular tarafından da çevreye ve doğaya zarar veren kirleticilerin olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılması konusu ciddiyle ele alınmaya başlanmıştır. Dünyanın birçok ülkesinde olduğu gibi ülkemizde de atıksuların arıtılmadan çevreye verilmesi yasa ve yönetmeliklerce yasaklanmış ve bu atıkların arıtılması için atıksu arıtma tesisi kurma zorunluluğu getirilmiştir (Akat ve ark., 2015). Çevresel açıdan önemli kirleticiler arasında yer alan atıksular arıtma tesislerinde çeşitli proseslerde işlem gördükten sonra bertaraf edilmektedir (Öden ve ark., 2019). Atıksuların biyolojik olarak arıtılmasında çok ilerleme kaydedilmiş olmasına rağmen, yüksek arıtma çamuru üretimi hala en büyük dezavantajlardan biri olmaktadır. Her geçen gün arıtma çamurunun miktarı artmaya devam etmekte ve bu atıkların arıtma maliyeti toplam işletme maliyetlerinin yaklaşık %60'ını oluşturmaktadır (Nowak 2006; Fantozzi ve Buratti 2009; Yıldız ve Oran 2019).

Arıtma çamuru; atıksu arıtma tesislerinin çıkışında oluşan, sıvı ya da yarı katı halde, kokulu, öncesinde uygulama proseslerine göre çeşitlilik gösterebilmekle birlikte yaklaşık ağırlıkça %0,25–12 katı madde içeren toprak görünümü katı bir atıktır (Uzun ve Bilgili, 2011; Almaz, 2017; Öden ve ark., 2019). Arıtma çamurunun güvenli bir şekilde bertaraf edilmesi de dünya çapında önemli çevresel sorunlardan biridir (Singh ve Agrawal, 2010). Arıtma çamurları üretim kaynağına göre evsel ve endüstriyel arıtma çamuru olarak iki sınıfa ayrılmaktadır (Yaman ve Olhan, 2012). Arıtma çamuru içerisinde makro, mikro besin elementleri, iz elementler, yararlı bileşikler, organik kirleticiler, toksikler, mikroorganizma ve parazitler bulunabilmektedir (Alloway ve Jackson, 1991; Aşır, 2013; Öden ve ark., 2019).

Birçok bertaraf yöntemi arasında, arıtma çamurlarının toprağa verilerek bertarafı ekonomiye katkısı bakımından dikkate değer tekniklerden birisidir. Seçilecek olan bu bertaraf yöntemin ekonomik ve uygulama kolaylığına sahip olması önemli bir avantajdır. Hem atıksuyun hem de çıktısı durumunda olan arıtma çamurlarının değerlendirilmesi bu bakımdan oldukça önemlidir (Öden ve ark., 2019). Ancak, atık çamur bitki besin elementlerine ek olarak ağır metal gibi potansiyel zararlı bileşenlerde içermektedir. Buna ek olarak, organik maddece zengin arıtma çamurunun toprağa verildiğinde hızlanan mikrobiyolojik aktiviteden dolayı kök bölgesinin pH'sını düşürdüğü ve ağır metallerin çözünürlüğünü arttırdığı da bilinmektedir (Çimrin ve ark., 2000).

Arıtma çamurlarının Türkiye ve AB ülkelerinde deponi alanlarında bertarafı birinci sırada tercih

edilmektedir. Türkiye’de en son tercih edilen bertaraf metodu olarak yakma görülürken, ABD’de ise sırasıyla; büyük bir kısmı tarımsal amaçlı kullanım ve yakma, en az da deponi alanında bertaraf yöntemi tercih edilmektedir (Özön, 2014; Öden ve ark., 2019).

Bu çalışmada; Sivas Atıksu Arıtma Tesisi (Sivas AAT)’nden alınan arıtma çamurunun domates üretiminde kullanılabilirliği, domates bitkisinin verimine olan etkisi ve bitkideki çeşitli makro ve mikro besin elementlerinin miktarlarının değişimi incelenmiştir. Arıtma çamurlarının bertaraf edilmesi gereken bir atık olarak değil, besin elementleri içeren bir kaynak olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Materyal ve Metot

Araştırma Cumhuriyet Üniversitesi Sivas Meslek Yüksekokulu Bitkisel Hayvansal Üretim Bölümü araştırma ve uygulama seralarında tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak 2018 yılında yürütülmüştür. Domates bitkilerinin büyüme gözlemlenerek hasat sonrası kuru ağırlık tespitleri yapılmıştır. Bitkilerin çiçeklenme başlangıcında yapraklarından numuneler alınarak analiz amacıyla saklanmıştır. Hasat sonrasında bitkilerin kök, gövde ve yeşil aksamalarında N, P, K, Cu, Mn, Fe ve Zn miktarları belirlenmiştir.

Materyal

Çalışmada kullanılan toprak Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü araştırma uygulama alanından 0-20 cm derinlikten alınmış ve özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Bu toprağa, Sivas Belediyesi İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi susuzlaştırma ünitesi çıkışından alınan stabilize arıtma çamuru kurutulup homojenize edildikten sonra 4 mm’lik elekten geçirilerek ağırlık/ağırlık olarak 6 farklı dozda (%0 (kontrol), %1, %2, %3, %4, %5) ve karşılaştırma yapabilmek amacıyla kimyasal gübreleme (100 mg/kg P ve 125 mg/kg K (KH₂PO₄ formunda), 200 mg/kg N (CaNO₃.4H₂O formunda), 2,5 mg/kg Zn (ZnSO₄.7H₂O formunda) ve 2,5 mg/kg Fe (Fe-EDTA formunda)) uygulamaları yapılmıştır. 3 kg kapasiteli saksılarda farklı arıtma çamuru dozlarının bitki gelişimine, verimine ve kalitesine olan etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

Uygulama materyali olarak kullanılan kurutulmuş arıtma çamuru örneğinin; stabilize arıtma çamurunun kullanma sınırlamaları ile ilgili yayımlanan “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik (EKAÇTKDY)” kapsamında yapılan bazı analiz sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Table 1. Some physical and chemical properties of experimental soil

Parametre	Değer	Parametre	Değer	Parametre	Değer
Derinlik (cm)	0–20	P ₂ O ₅ (kg/da)	3,58	Fe (mg/kg)	3,22
Tekstür	Killi tın	K ₂ O (kg/da)	92,5	Zn (mg/kg)	0,45
pH (1:1 H ₂ O)	7,30	Org. Mad. (%)	1,3	Mn (mg/kg)	2,40
Tuz (%)	0,029	Kireç (%)	15,8	Cu (mg/kg)	1,19

Tablo 2. Sivas AAT çamuru örneğine ait bazı analiz sonuçları ve sınır değerler (Sivas Belediyesi, 2017)
 Table 2. Some analysis results and limit values of Sivas WWTP sludge sample (Sivas Belediyesi, 2017)

Parametre	Birim	EKAÇTKDY Sınır Değerleri	Analiz Sonucu
Kurşun (Pb)	mg/kg	750	23,77
Kadmiyum (Cd)	mg/kg	10	0,67
Krom (Cr)	mg/kg	1000	101,13
Bakır (Cu)	mg/kg	1000	147,07
Nikel (Ni)	mg/kg	300	71,34
Cıva (Hg)	mg/kg	10	1,71
Çinko (Zn)	mg/kg	2500	621,87
Azot (N)	mg/kg		52721
Fosfor (P)	mg/kg		22594
Karbon (C)	%		34,16
pH	-		8,16
İletkenlik	microS/cm		12690
Nern	%		81,35
Organik Madde (550°C'de)	%		14,42
Escherichia coli	EMS/g		95,00

Analiz sonuçlarına göre Sivas Atıksu Arıtma Tesisi stabilize arıtma çamurunun EKAÇTKDY kapsamında kabul edilebilir sınır değerlere sahip olduğu ve toprakta kullanılabilirliği saptanmıştır.

Metot

Araştırmada domates çeşidi olarak H-2274 kullanılmış ve serada hazırlanan torf ve perlit karışımında (1:1 V/V) ekimi yapılmış, düzenli olarak sulanarak fide haline getirildikten sonra aşağıda gösterilen deneme desenine göre her saksıya 1 adet domates fidesi gelecek şekilde saksılara aktarılmıştır (Şekil 1).

Bitki Örneklerinin Analize Hazır Hale Getirilmesi

Domates bitkisinden çiçeklenme başlangıcında sürgün ucundan itibaren 3. ya da 4. yapraklarından alınan numuneler ile hasat sonrasında elde edilen yeşil aksam ve topraktan çıkarılan kök aksamı musluk suyu ile yıkandıktan sonra sırasıyla bir kez saf su, 0,1 N HCl çözeltisi, iki kez saf su ile yıkandıktan sonra, kaba filtre kâğıdı üzerinde fazla suları alınmıştır. Daha sonra kese kâğıdına ayrı ayrı konulan bitki kısımları hava sirkülasyonlu kurutma dolabında 65°C'de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Kuruyan bitki örnekleri kuru ağırlıkları belirlendikten sonra Şimşek Laboratör teknik marka HD-702 model bitki öğütme değirmeninde öğütülmüştür. Öğütülmüş bitki numunelerinde 0,2 g tartılarak Milestone Srl - ETHOS EASY model mikrodalga cihazında yaş yakma metoduna göre H₂O₂-HNO₃ asit karışımında yakılıp saf su ile son hacmi 20 ml'ye tamamlanıp mavi bant filtre kâğıdından süzülerek analize hazır hale getirilmiştir.

Analitik Yöntem

N modifiye Kjeldahl yöntemiyle ölçülmüştür (Bremner, 1965). Bu amaçla yakma işlemi VELP Scientifica marka DKL 12 serisi cihaz ile, distilasyon işlemi ise VELP Scientifica marka UDK 139 serisi cihaz ile yapılmıştır. P ölçümü Biotech Engineering Management Co. Ltd. marka, SpectroScan 60DV model UV-spektrofotometresi ile 882 nm dalga boyunda yapılmıştır (Murphy ve Riley 1962). Bitki örneklerinde K, Cu, Mn, Fe ve Zn ölçümleri Hidrür Oluşturmalı Atomik

Absorpsiyon Spektrometresi (Analytik Jena AG - contrAA 700 model) ile ölçülmüştür (Güzel ve ark., 1992; Kaçar ve İnal, 2008).

İstatistiksel Analizler

Çalışmada elde edilen tüm araştırma bulguları istatistiki analiz için SPSS 23.0 Windows paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ortalamalar arasındaki farklılıklar Tukey testi ile P<0,05 olacak şekilde belirlenmiştir. Ayrıca korelasyon ile uygulamalar arasındaki ilişki tespit edilmiştir.

Kıyasal Gübreleme Durumu	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Var
Arıtma çamuru oranı (ağırlık/ağırlık)	%0	%1	%2	%3	%4	%5	%0
Saksılar	3	5	9	12	15	18	21
	2	5	8	11	14	17	20
	1	4	7	10	13	16	19

Şekil 1. Farklı dozlarda arıtma çamuru uygulamalarının deneme deseni

Figure 1. Experimental design of different sewage sludge doses

Bulgular ve Tartışma

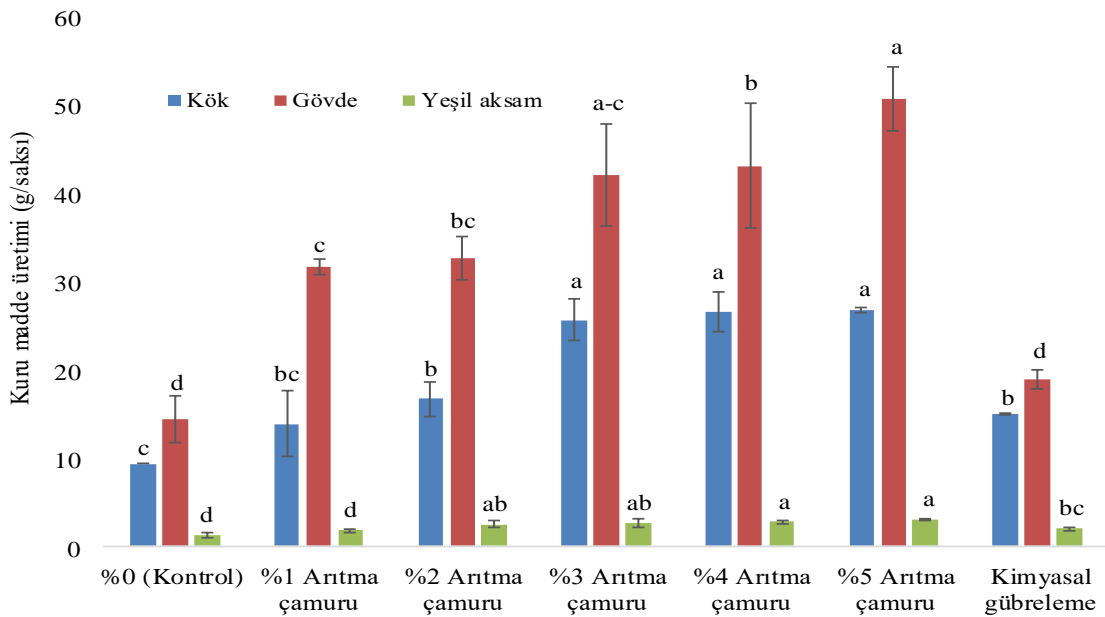
Araştırmada farklı dozlarda arıtma çamuru uygulamalarının domates bitkisinin kuru madde üretimine etkileri belirlenmiş ve Şekil 2'de verilmiştir.

Yapmış olduğumuz çalışmada artan dozlarda arıtma çamuru uygulamalarının bitki gelişimini olumlu yönde etkilediği ve kuru madde üretimini arttırdığı tespit edilmiştir. Kontrol bitkisinde kök ve gövde kuru ağırlıkları sırasıyla 9,34 ve 14,35 g/saksı olarak ölçülürken, en yüksek arıtma çamuru uygulamasında (%5 arıtma çamuru) sırasıyla 26,83 ve 50,86 g/saksı olarak en yüksek kuru ağırlık verimi ölçülmüştür. Kimyasal Gübreleme uygulamasında ise kök kuru ağırlığı yaklaşık olarak %1-%2 arıtma çamuru aralığındaki verime, gövdede ise yaklaşık olarak kontrol %0-%1 arıtma

çamuru uygulaması aralığındaki verime denk gelecek biçimde daha düşük ölçülmüştür. Yeşil aksamda da artan arıtma çamuru uygulamalarının kuru madde üretimini arttırdığı belirlenmiştir. Yeşil aksamda en yüksek kuru ağırlık, en yüksek doz olan %5 arıtma çamuru uygulamasında 2,76 g/saksı olarak tespit edilmiştir. Kimyasal gübreleme uygulamasında ise %1 arıtma çamuru uygulamasından daha yüksek yeşil aksam katı madde üretimi ölçülmüştür.

Eid ve ark. (2020), bioferilizatör olarak kullanılabilen farklı arıtma çamuru uygulamalarının (0, 10, 20, 30 ve 40 g/kg) *Corchorus olitorius* bitkisinin büyümesine ve toprak özellikleri üzerine etkilerini ve ayrıca bitki bölümlerinde ve hasat sonrası toprakta ağır metallerin dağılımını incelemiştir. Yapılan çalışmada 20 g/kg arıtma çamuru uygulamasında, *Corchorus* bitkisinin en yüksek büyüme oranı olarak belirlenmiştir. Çakır ve Çimrin (2020), farklı arıtma çamuru uygulamalarında (%0-%2,5-%5-%7,5-%10) artan arıtma çamuru uygulamalarının mısır bitkisinin verimini önemli ölçüde arttırdığını tespit etmiştir. Singh ve Agrawal (2010), saha çalışması yaparak çeşitli arıtma çamuru uygulamalarında (0-3-4,5-6-9-12 kg/m²) pirinç bitkisinin artan dozlarda kök uzunluğunun azalırken, sürgün uzunluğunun, yaprak sayısının, yaprak genişliğinin ve toplam biyokütle miktarının önemli ölçüde arttığını belirlemiştir. Pirinç bitkisinin verimi, arıtma çamuru uygulanmamış (0 kg/m²) toprakta yetiştirilenlere kıyasla diğer uygulamalar için sırasıyla %60, %111, %125, %134 ve %137 artmıştır. Akat ve ark. (2015), yapmış oldukları çalışmada *Limonium sinuatum* bitkisinin 'Compindi White' çeşidinde toprak ortamına ilave edilen farklı dozlarda arıtma çamurunun (%0 (kontrol), %25, %50, %75 ve %100) artan dozlarda bitki büyümesine katkıda bulunduğunu ancak yüksek dozlarda bitki gelişimini olumsuz yönde etkilediğini belirlemiştir. Yapılan çalışmada üst aksam kuru ağırlığı en yüksek olarak %75 arıtma çamuru uygulamasında tespit edilmiştir. Demirkan

ve ark. (2014), peyzaj düzenlemelerinde mevsimlik süs bitkisi olarak değerlendirilen *Clarkia amoena* türü toprağa 4 farklı dozda (Kontrol, %25, %50 ve %75) uygulanmış atıksu arıtma çamurunun bitki gelişimi ve çiçeklenme üzerine etkileri araştırılmışlar ve bitki başına çiçek sayısı kriterinde toprak + %25 atıksu arıtma çamuru uygulamasında en yüksek değeri tespit etmiştir. Diğer parametreler açısından ise toprak + %75 atıksu arıtma çamuru uygulamasında en yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Demir ve Çimrin (2011), artan dozlarda arıtma çamuru (0, 10, 20 ve %30) ve humik asit (0, 1000, 1500 ve 2000 ppm) uygulamalarının kireçli bir toprakta yetiştirilen mısır bitkisinin gelişimine, besin elementi ve ağır metal kapsamları ve hasattan sonra uygulamaların bazı toprak özelliklerine etkilerini incelemiştir. Arıtma çamuru dozları mısır bitkisinin kök ve kök üstü aksamlarının yaş ve kuru ağırlıkları ile bitki boyunu önemli derecede arttırmıştır. Topcuoğlu ve ark. (2003), yürüttükleri sera denemesinde iki yıl yinelemeli olarak toprağa uygulanan farklı kentsel arıtma çamurlarının domates bitkisinde bitki besinleri ve ağır metal içerikleri üzerine etkilerini incelemiştir. Toprağa mutlak kuru ağırlık esasına göre 0, 75, 150, 300, 600, 1200 g/saksı olarak verilen arıtma çamuru toprakla karıştırılarak, toplam ağırlık 15 kg'a tamamlanmıştır. Toprağa uygulanan çamurlar düşük düzeylerde bitki gelişimini olumlu etkilemiş, fakat yinelemeli uygulamalarda ve yüksek uygulama düzeylerinde, fitotoksiste ve yüksek ağır metal içerikleri tespit edilmiştir. Başka bir çalışmada, arıtma çamuru kompostlarının toprak özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiği ve çim ve yulaf bitkilerinin verimini arttırdığını tespit edilmiştir. Bu çalışmada arıtma çamuru kompostlarının alternatif bir toprak iyileştirici olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır (Yıldız ve ark., 2016). İncelenen bu çalışmaların sonucunda elde edilen veriler arıtma çamuru uygulamalarının bitki gelişimi ve verimine ilişkin olarak yapmış olduğumuz çalışma sonuçları ile benzerlik göstermektedir.



Şekil 2. Farklı dozlarda arıtma çamuru uygulamalarının kuru madde üretimine etkisi (g/saksı)
Figure 2. The effects of different sewage sludge doses on dry matter production (g pot⁻¹)

Tablo 3. Farklı dozlarda arıtma çamuru uygulamalarının N, P ve K derişimlerine etkisi (%), P<0,05
 Table 3. The effects of different sewage sludge doses on N, P and K concentrations (%)

Parametre	Aritma Çamuru Uygulamaları	Kök	Gövde	Yeşil aksam
N (%)	%0 (Kontrol)	1,21±0,32 ^a	1,40±0,06 ^d	1,60±0,02 ^c
	%1	1,23±0,17 ^a	2,40±0,09 ^{ab}	3,03±0,21 ^b
	%2	1,38±0,55 ^a	2,63±0,01 ^a	3,89±0,20 ^a
	%3	1,26±0,76 ^a	2,11±0,14 ^c	2,93±0,40 ^b
	%4	0,99±0,11 ^a	2,18±0,13 ^{bc}	4,03±0,60 ^a
	%5	1,10±0,32 ^a	2,31±0,19 ^{bc}	3,49±0,04 ^{ab}
	Kimyasal gübreleme	1,30±0,22 ^a	2,13±0,10 ^{bc}	3,48±0,09 ^{ab}
P (%)	%0 (Kontrol)	0,09±0,00 ^c	0,13±0,00 ^c	0,12±0,01 ^d
	%1	0,12±0,01 ^{a-c}	0,17±0,04 ^c	0,18±0,01 ^{cd}
	%2	0,19±0,06 ^{a-c}	0,29±0,00 ^b	0,33±0,02 ^b
	%3	0,21±0,06 ^a	0,43±0,01 ^a	0,45±0,03 ^a
	%4	0,17±0,04 ^{a-c}	0,39±0,03 ^a	0,46±0,04 ^a
	%5	0,19±0,06 ^{a-c}	0,43±0,04 ^a	0,49±0,03 ^a
	Kimyasal gübreleme	0,11±0,03 ^{bc}	0,15±0,01 ^c	0,22±0,02 ^c
K (%)	%0 (Kontrol)	0,26±0,07 ^a	1,60±0,03 ^b	1,59±0,10 ^c
	%1	0,38±0,13 ^a	1,84±0,06 ^b	2,02±0,13 ^{bc}
	%2	0,49±0,07 ^a	2,43±0,13 ^a	2,04±0,48 ^{bc}
	%3	0,41±0,18 ^{ab}	2,50±0,02 ^a	1,93±0,67 ^{bc}
	%4	0,38±0,08 ^a	2,72±0,32 ^a	2,25±0,11 ^{a-c}
	%5	0,35±0,14 ^a	2,66±0,15 ^a	2,45±0,38 ^{ab}
	Kimyasal gübreleme	0,49±0,08 ^a	1,91±0,12 ^b	3,07±0,08 ^a

Farklı dozlarda arıtma çamuru uygulamalarının domates bitkisinin kök, gövde ve yeşil aksamında makro besin elementlerinden N, P ve K'ya olan etkileri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3 incelendiğinde farklı dozlarda arıtma çamuru uygulamalarının makro besin elementlerine etkilerinin önemli düzeyde olduğu görülmektedir. Araştırma bulguları N derişimi yönünden değerlendirildiğinde, domates bitkisinin kökünde ve gövdesinde en yüksek N derişimi %2 arıtma çamuru uygulamasında sırasıyla %1,38 ve %2,63 N olarak tespit edilmiştir. Yeşil aksamda ise en yüksek N derişimi %4 arıtma çamuru uygulamasında %4,03 N olarak belirlenmiş ve bu uygulamayı %3,89 N ile %2 arıtma çamuru uygulaması takip etmiştir. Bitkideki N derişimi genel olarak kökten yeşil aksama doğru artma eğiliminde olmuştur. Domates bitkisi P derişimi yönünden incelendiğinde bitki kökünde en yüksek P derişimi %3 arıtma çamuru uygulamasında %0,21 P ve bitki gövdesinde ise %3 ve %5 arıtma çamuru uygulamalarında %0,43 P olarak belirlenmiştir. Yeşil aksamda en yüksek P derişimi ise %5 arıtma çamuru uygulamasında %0,49 P olarak belirlenmiştir. Genel olarak bütün arıtma çamuru uygulamalarının kontrol ve kimyasal gübreleme ile kıyasla domates bitkisinin P derişimini arttırdığı belirlenmiştir. Ayrıca P derişiminin, N derişimi gibi kökten yeşil aksama doğru artma eğiliminde olduğu da tespit edilmiştir. Araştırma verileri K derişimi yönünden değerlendirildiğinde domates bitkisinin kökünde en yüksek K derişimi %2 arıtma çamuru ve kimyasal gübreleme uygulamasında %0,49 K ve gövdede ise %4 arıtma çamuru uygulamasında %2,72 K olarak saptanmıştır. Bitkinin yeşil aksamında ise en yüksek K derişimi kimyasal gübreleme uygulamasında %3,07 K olarak tespit edilmiş ve bu uygulamayı %2,45 K olarak %5 arıtma çamuru uygulaması izlemiştir.

Çakır ve Çimrin (2020), artan arıtma çamuru uygulamalarında deneme toprağının pH ve kireç içeriklerinde istatistiki açıdan önemli azalmalar belirlerken, toprağın tuz, organik madde içeriklerinde ise istatistiki açıdan önemli artışlar tespit etmiştir. Bai ve ark. (2014), artan arıtma çamuru uygulamalarının (0, 30, 75, 150, 300 ton/ha) *Lolium perenne* türünde N ve P derişimlerini artan dozlara paralel olarak arttırdığı saptanmıştır. Demir ve Çimrin (2011), artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun, hasattan sonra deneme toprağının pH ve kireç içeriğinde azalmalara neden olduğunu, toprağın tuz, organik madde P, Ca ve Mg içeriklerinde önemli artışlara neden olduğunu belirlemiştir. Artan arıtma çamuru uygulamaları ile mısır bitkisinin kökünde P ve K, yeşil aksamda ise P, K, Ca ve Mg içeriklerinde önemli artışlar saptanmıştır. Topcuoğlu ve ark. (2003), artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurunun domates bitkisinin N, P, K, Ca ve Mg derişimlerini arttırdığını tespit etmiştir. Çimrin ve ark. (2000), Triple Süper Fosfat (TSP) fosforu ile arıtma çamuru kombinasyonlarının mısır bitkisinin P içeriğini önemli düzeyde arttırdığını bildirmiştir. Larchevêque ve ark. (2006), *Quercus ilex*, *Pinus halepensis* ve *Pinus pinea* bitkilerinde arıtma çamuru ve yeşil atık uygulamalarının (0, 20 ve 40 kg/m²) bitkinin N, P ve K içeriğinde artışa sebep olduğunu bildirmektedir. Yapmış olduğumuz çalışmada artan arıtma çamuru uygulamalarına bağlı olarak artan makro element sonuçları yapılan literatür taramasını desteklemektedir.

Farklı dozlarda arıtma çamuru uygulamalarının domates bitkisinin mikro besin elementlerinden Cu, Mn, Fe ve Zn'ye olan etkileri belirlenmiş ve Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Farklı dozlarda arıtma çamuru uygulamalarının Fe, Zn, Mn ve Cu derişimlerine etkisi (mg/kg), P <0,05

Table 4. The effects of different sewage sludge doses Fe, Zn, Mn and Cu concentrations (mg kg⁻¹)

Parametre	Arıtma Çamuru Uygulamaları	Kök	Gövde	Yeşil aksam
Cu (mg/kg)	%0 (Kontrol)	13,25±2,62 ^b	6,50±0,71 ^d	12,60±0,14 ^c
	%1	15,55±1,20 ^{ab}	7,90±0,14 ^c	12,95±1,77 ^c
	%2	18,35±3,75 ^{ab}	8,95±1,77 ^c	16,10±0,57 ^b
	%3	17,15±4,88 ^{ab}	8,60±0,42 ^c	15,80±0,71 ^b
	%4	16,30±0,57 ^{ab}	8,10±0,14 ^c	15,90±0,42 ^b
	%5	18,07±2,40 ^{ab}	14,40±0,14 ^b	15,90±0,00 ^b
	Kimyasal gübreleme	20,40±0,99 ^a	20,50±1,11 ^a	21,90±0,95 ^a
Mn (mg/kg)	%0 (Kontrol)	223,01±50,08 ^c	21,20±5,66 ^{cd}	84,05±0,21 ^d
	%1	262,00±8,06 ^c	28,10±0,85 ^{bc}	94,45±7,28 ^{b-d}
	%2	329,00±26,45 ^b	24,55±7,42 ^c	132,55±10,68 ^a
	%3	332,05±40,38 ^b	21,55±2,47 ^c	103,95±2,5 ^b
	%4	414,83±25,08 ^a	13,55±3,46 ^d	88,35±0,64 ^{cd}
	%5	395,79±17,25 ^a	49,65±2,05 ^a	100,05±9,83 ^{bc}
	Kimyasal gübreleme	112,30±5,49 ^d	35,30±2,44 ^b	38,60±2,11 ^e
Fe (mg/kg)	%0 (Kontrol)	1093,28±49,01 ^a	38,35±6,15 ^a	92,24±3,01 ^b
	%1	1117,93±52,50 ^a	42,75±0,07 ^a	131,70±8,63 ^{ab}
	%2	1150,92±7,64 ^a	42,05±2,76 ^a	102,55±4,31 ^{ab}
	%3	1138,79±20,73 ^a	57,90±0,99 ^a	100,90±9,48 ^{ab}
	%4	1138,58±8,42 ^a	47,55±7,14 ^a	103,70±8,20 ^{ab}
	%5	1106,59±32,98 ^a	67,35±59,04 ^a	138,65±55,37 ^a
	Kimyasal gübreleme	865,86±6,51 ^b	61,60±5,37 ^a	102,80±4,48 ^{ab}
Zn (mg/kg)	%0 (Kontrol)	30,85±5,93 ^c	14,42±4,36 ^d	20,70±4,54 ^d
	%1	39,84±9,26 ^{bc}	19,14±0,45 ^{cd}	32,56±6,55 ^c
	%2	45,69±5,81 ^{a-c}	28,26±8,53 ^{ab}	42,45±0,31 ^b
	%3	56,77±0,61 ^a	22,74±2,26 ^{bc}	42,11±0,95 ^b
	%4	49,52±1,78 ^{ab}	23,82±1,84 ^{bc}	43,13±1,12 ^b
	%5	57,47±13,2 ^a	33,61±0,46 ^a	52,69±3,08 ^a
	Kimyasal gübreleme	41,60±5,11 ^{a-c}	20,89±2,83 ^{b-d}	28,08±3,11 ^c

Tablo 5. Domates bitkisinde test edilen parametrelere ait korelasyon tablosu *P<0,05, **P<0,01

Table 5. Correlation table for the parameters tested in the experiment

Bitki aksamı	Parametreler	Kuru Madde	N	P	K	Cu	Mn	Fe
Kök	Kuru Madde	1						
	N	-0,295	1					
	P	0,632**	0,342	1				
	K	0,017	0,539*	0,552*	1			
	Cu	0,193	0,431	0,389	0,747**	1		
	Mn	0,743**	-0,343	0,573**	-0,174	-0,153	1	
	Fe	0,298	-0,086	0,505*	-0,122	-0,371	0,779**	1
	Zn	0,772**	-0,77	0,780**	0,327	0,274	0,573**	0,312
Gövde	Kuru Madde	1						
	N	0,524*	1					
	P	0,897**	0,354	1				
	K	0,802**	0,472*	0,875**	1			
	Cu	-0,032	0,228	-0,064	0,043	1		
	Mn	0,228	0,235	0,066	0,057	0,670**	1	
	Fe	0,294	0,137	0,375	0,193	0,464*	0,390	1
	Zn	0,732**	0,621**	0,672**	0,721**	0,336	0,574**	0,338
Yeşil aksam	Kuru Madde	1						
	N	0,708**	1					
	P	0,925**	0,589**	1				
	K	0,342	0,511*	0,166	1			
	Cu	0,265	0,497*	0,170	0,771**	1		
	Mn	0,349	0,159	0,374	-0,537**	-0,555**	1	
	Fe	0,269	0,194	0,145	-0,121	-0,121	0,059	1
	Zn	0,896**	0,635**	0,896**	0,079	0,079	0,521*	0,423

Domates bitkisinin kökünde en yüksek Cu derişimi kimyasal gübreleme uygulamasında 20,40 mg/kg Cu olarak ölçülürken, bu uygulamayı %2 artıma çamuru uygulaması 18,35 mg/kg Cu olarak takip etmektedir. Bitki gövdesinde ise yine en yüksek Cu derişimi kimyasal gübreleme uygulamasında 20,50 mg/kg Cu olarak tespit edilirken, %5 arıtma çamuru uygulaması ise 14,40 mg/kg Cu ile bu uygulamayı takip etmektedir. Yeşil aksamda Cu yine en yüksek kimyasal gübreleme uygulamasında belirlenmiştir (21,90 mg/kg Cu). %2 arıtma çamuru uygulamasında ise Cu derişimi 16,10 mg/kg olarak ikinci en yüksek değer olarak saptanmıştır. Tüm arıtma çamuru uygulamalarında Cu derişimi kontrol uygulamasına göre daha yüksek tespit edilmiştir. Bitki Mn derişimi yönünden incelendiğinde bitki kökünde Mn derişimi %4 arıtma çamuru uygulamasında 414,83 mg/kg Mn ve bitki gövdesinde %5 arıtma çamuru uygulamasında 49,65 mg/kg Mn olarak belirlenmiştir. Yeşil aksamda en yüksek Mn derişimi ise %3 arıtma çamuru uygulamasında 100,05 mg/kg Mn olarak belirlenmiştir. Domates bitkisinin kökünde en yüksek Fe derişimi 1150,92 mg/kg Fe olarak %2 arıtma çamuru uygulamasında tespit edilirken, bitki gövdesinde en yüksek Fe derişimi %5 arıtma çamuru uygulamasında 67,35 mg/kg Fe olarak belirlenmiştir. Yeşil aksamda Fe derişimi ise yine en yüksek %5 arıtma çamuru uygulamasında 138,65 mg/kg Fe olarak tespit edilmiştir. Veriler Zn derişimi yönünden değerlendirildiğinde domates bitkisinin kökünde, gövdesinde ve yeşil aksamında en yüksek Zn derişimi %5 arıtma çamuru uygulamasında sırasıyla 57,47 mg/kg, 33,61 mg/kg ve 52,69 mg/kg Zn olarak saptanmıştır. Genel olarak bütün arıtma çamuru uygulamalarının kontrol ile kıyaslandığında Zn derişimini arttırdığı tespit edilmiştir.

Eid ve ark. (2020), yapmış oldukları çalışmada Co, Cu, Mn ve Ni dahil olmak üzere mikro besin elementlerinin 20 g/kg arıtma çamuru uygulamasında bitkilerin gövdesinde arttığını, bu değerlerin normal bitki büyümesi için yeterli seviyelerde olduğunu ve fitotoksik sınırların altında kaldığını tespit etmiştir. Hasat sonrası topraktaki organik madde içeriği ise 20 g/kg arıtma çamuru uygulamasında %1,38'den %4,83'e önemli ölçüde arttırdığı belirlenmiştir. Ayrıca, hasat sonrası topraklarda kalan ağır metal miktarlarının tarımda izin verilen maksimum konsantrasyonların altında (Cu, Fe, Mn, Mo, Zn ve Pb) veya içinde (Co, Ni, Cd ve Cr) olduğu saptanmıştır. Elmi ve AlOlayan (2020), sera içerisinde çeşitli arıtma çamuru uygulamaları ile yetiştirilen domates bitkilerinde ağır metal seviyelerinin (Cd, Cr, Cu, Pb ve Zn) arasında tutarlı bir ilişki olmadığını gözlemlemiştir. Ağır metal seviyeleri, bitki köklerinde domates bitkisinin diğer kısımlarından sürekli olarak daha yüksek çıkmış ve bunu gövde izlemiştir. Çalışmanın en dikkat çekici bulgusu ise çözünürlükleri ve hareketlilikleri nedeniyle çok önemli iki metal olan Cd ve Pb'nin, domates meyvelerinde, domates bitkilerinin diğer kısımlarına kıyasla herhangi bir çamur uygulamasında tespit edilememiştir. Ağır metallerin transfer eğilimi kökler için $Zn > Cu > Cr > Cd$ ve meyveler için $Zn > Cu > Cr$ olarak belirlenmiştir. Bu çalışma domates meyvelerine ağır metal transfer riskinin minimum olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar yapraklı ve yumru bitkilerin tüketimi yoluyla potansiyel riskin daha büyük olabileceği şeklinde yorumlanmaktadır. Demir ve Çimrin (2011), artan arıtma çamuru ile mısır bitkisinin kökünde Zn'nin

arttığını, Fe, Mn, Cd, Ni, Pb ve Co içeriklerinin ise azaldığını, yeşil aksamında ise Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Ni, Pb ve Co'nun önemli düzeyde arttığını belirlemiştir.

Singh ve Agrawal (2010), farklı arıtma çamuru uygulamalarında toprağın fiziko-kimyasal özelliklerinin değiştiğini, böylece toprakta ağır metallerin bulunabilirliğinin arttığını ve sonuç olarak bitki aksamlarında daha fazla ağır metal biriktiğini gözlemlemiştir. 4,5 kg/m²'nin üzerindeki arıtma çamuru uygulamalarında pirinç tanelerindeki Ni ve Cd derişimleri Hindistan güvenli sınırlarının (1,5 mg/kg) ve 6 kg/m²'nin üzerindeki arıtma çamuru uygulamalarında ise Pb sınır değerinin (2,5 mg/kg) üzerinde kalarak, besin zinciri kontaminasyonu riskine neden olmuştur. Pirincin yerüstü aksamı da 4,5 kg/m²'nin üzerindeki arıtma çamuru uygulamalarında izin verilen Ni, Cd ve Pb seviyelerinden daha yüksek derişim gösterdiğinden, yem olarak kullanılamayacağı bildirilmektedir (Singh ve Agrawal, 2010). Larchevêque ve ark. (2006), tarafından *Quercus ilex*, *Pinus halepensis* ve *Pinus pinea* türlerine arıtma çamuru ve yeşil atık uygulamalarının (0, 20 ve 40 kg/m²) bitkinin, N, P, K içeriğinde artışa sebep olduğu belirtilmiştir. Aşık ve Katkat (2004), tarafından yürütülen arıtma çamurunun mısır bitkisine farklı dozlarda uygulandığı (0-20-40-80-120-160 ton/ha) çalışmada, artan arıtma çamuru dozlarının toprağın, NH₄, NO₃, alınabilir P, değişebilir K, Ca, Mg, Na ve alınabilir Fe, Cu, Mn, Zn ve B içeriklerini arttırdığı bildirilmiştir. Topcuoğlu ve ark. (2003), artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurları ile ilgili olarak her iki yıl domates bitkisinin Fe, Zn, Mn, Cu, Pb, Ni ve Cd içeriklerini arttırdığını belirlemiştir. Çimrin ve ark. (2000), TSP fosforu ile arıtma çamuru kombinasyonlarının mısır bitkisinde P, Zn ve Fe içeriğini önemli düzeyde arttırdığını bildirmiştir. Yapmış olduğumuz çalışmada tespit edilen artan dozlarda arıtma çamuru uygulamalarının bitkinin çeşitli aksamlarında mikro elementlerini arttırdığı literatür kıyaslaması ile desteklenmektedir. Araştırma kapsamında elde edilen tüm verilerin korelasyonu Tablo 5'te verilmiştir (Tablo 5).

Korelasyon tablosu incelendiğinde, domates bitkisinin kök kuru madde miktarı ile Zn, Mn ve P (P<0,01) arasında, N ile K (P<0,05) arasında, P ile Zn, Mn (P<0,01), K ve Fe (P<0,05), arasında, K ile Cu (P<0,01) arasında, Mn ile Fe ve Zn (P<0,01) arasında pozitif ilişki belirlenmiştir. Bitkinin gövde kuru madde miktarı ile P, K, Zn (P<0,01) ve N (P<0,05) arasında, N ile Zn (P<0,01) ve K (P<0,05) arasında, P ile K ve Zn (P<0,01) arasında, K ile Zn (P<0,01) arasında, Cu ile Mn (P<0,01) ve Fe (P<0,05) arasında ve Mn ile Zn (P<0,01) arasında pozitif ilişki tespit edilmiştir. Ayrıca yeşil aksam kuru madde miktarı ile P, Zn ve N (P<0,01) arasında, N ile Zn, P (P<0,01), K ve Cu (P<0,05) arasında, P ile Zn (P<0,01) arasında, K ile Cu (P<0,01) arasında ve Mn ile Zn (P<0,05) arasında pozitif, K ile Mn (P<0,01) arasında ve Cu ile Mn (P<0,01)) arasında negatif ilişki saptanmıştır (Tablo 5).

Sonuçlar ve Öneriler

Evsel nitelikli atıksu arıtma tesisi arıtma çamurlarının toprakta biofertilizer olarak kullanılabilmesi için mutlaka stabilize edilmesi, analiz sonuçlarının ve özellikle ağır metal içeriğinin ülkemiz yasal mevzuatına uygun olması

gerekmektedir. Sivas Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi arıtma çamurunun analiz sonuçları çamurun toprakta kullanılabilirliğini göstermektedir. Bu çalışmada stabilize edilmiş arıtma çamuru kurutulmuş, farklı dozlarda (%0 (kontrol), %1, %2, %3, %4, %5 ve kimyasal gübreleme) domates bitkisinin verimi ve besin elementlerinin alınımına olan etkisinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Araştırma sonucunda artan dozlarda arıtma çamuru uygulamalarının domates bitkisinin verimini doz artışına paralel olarak arttırdığı belirlenmiştir. En yüksek verim, en yüksek arıtma çamuru uygulamasında (%5) tespit edilmiştir. %5 arıtma çamuru uygulamasında bitkinin kök, gövde ve yeşil aksam kuru ağırlığında kontrole kıyasla sırasıyla yaklaşık olarak %187, %254 ve %132'lik artış saptanmıştır. Temel kimyasal gübreleme sonucunda yetiştirilen bitkilerin verimi ise ortalama olarak %1'lik arıtma çamuru uygulamasına denk gelmiştir.

Domates bitkisinde makro element derişimleri incelendiğinde, tüm arıtma çamuru uygulamalarında N, P ve K derişimlerinin kontrol bitkisinden daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Bitkinin gelişimini sürdürürken kendisi için yeterli miktarda besini alabildiği görülmektedir. Bu durum bitkinin gelişimini sürdürürken büyümesi için gerekli besin maddelerinin arıtma çamuru içerisinde yeterli miktarda bulunduğunu göstermektedir. Kimyasal gübreleme uygulaması ile kıyaslayınca da bitki verimine bağlı olarak besin elementlerinin bitkide yeterince olduğunu, hatta P ve K'nın bitkinin tüm aksamalarında artan arıtma çamuru dozlarına bağlı olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir.

Mikro element derişimlerinde de genel olarak artan dozlarda arıtma çamuru uygulamalarına paralel olarak artma eğilimi görülmektedir. Besin elementlerince zengin arıtma çamuru bitkide Cu, Mn, Fe ve Zn'nin derişiminin artmasına neden olmaktadır. Mikro besin elementlerinin bitkideki derişimi genel olarak tüm uygulamalarda kontrol bitkisine göre daha yüksek olmuştur. Kimyasal gübreleme ile kıyaslayınca ise mikro besin elementlerinin bitkideki derişimi ortalama değerlerdedir. Ayrıca tüm mikro besin elementlerinin büyük çoğunluğunun kökte biriktiği, gövde de ise yeşil aksamına göre daha düşük değerlerde olduğu belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, arıtma çamurlarının toprakta uygulamasının arıtma çamurlarının bertarafı için sürdürülebilir ve güvenli bir uygulama olabileceğini ve bitki büyümesini iyileştirebileceğini, yetiştirilen bitkilerin kök, gövde ve meyvesinde toksik seviyelerde ağır metallerin birikmemesi şartıyla hiçbir çevresel tehdit oluşturmayacağını göstermektedir. Yapılacak çalışmalarda arıtma çamurlarının çevre ve insan sağlığına yapacağı etkiler dikkate alınmalı ve gerekli uygulamalarda sınır değerler göz önünde bulundurulmalıdır.

Kaynaklar

Akat H, Demirkan GÇ, Akat Ö, Yağmur B, Yokaş İ. 2015. Arıtma çamuru uygulamalarının *Limonium sinuatum* 'Compindi White' çeşidinde bitki gelişimi, verim ve çiçek kalitesi üzerine etkileri. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 52(1): 107–114.

Alloway B, Jackson P. 1991. The Behaviour of Heavy Metals in Sewage Sludge Amended Soils. Elsevier Science publishers B.V., United Kingdom.

Almaz C. 2017. Arıtma Çamuru Uygulamalarının Kumlu Tın Bünyeli Toprağın Ve Mısırın Ağır Metal İçeriği Üzerine Etkisi, Ege Üniversitesi, FBE, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme, YL Tezi, 30–45.

Aşık BB, Katkat VA. 2004. Gıda sanayi arıtma tesisi atığının (arıtma çamuru) tarımsal alanlarda kullanım olanakları. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 18(2): 59–71.

Aşır B. 2013. Arıtma Çamuru Uygulamalarının Kumlu Kil Bünyeli Toprağın Özellikleri Ve Mısır Verimi Üzerine Etkisi, Ege Üniversitesi, FBE, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme, YL Tezi, 7–26.

Bai YC, Gu CH, Tao TY, Zhu XW, Xu YR, Shan Y, Feng K. 2014. Responses of ryegrass (*Lolium perenne* L.) grown in mudflats to sewage sludge amendment. Journal of Integrative Agriculture, 13(2): 426–433.

Bremner JM. 1965. Total Nitrogen. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. (methodsofsoilab), 1149–1178.

Çakır HN, Çimrin K.M. (2020). The Effect of Sewage Sludge Applications on the Growth of Maize (*Zea mays* L.) and Some Soil Properties. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 23(2): 321–327.

Çimrin MK, Bozkurt MA, Erdal İ. 2000. Kentsel arıtma çamurunun tarımda fosfor kaynağı olarak kullanılması. Tarım Bilimleri Dergisi, 10(1): 85–90.

Demir E, Çimrin KM. 2011. Arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının mısırın gelişimi, besin elementi ve ağır metal içerikleri ile bazı toprak özelliklerine etkileri.

Demirkan GÇ, Akat H, Yokaş İ. 2014. Atık su arıtma çamurunun *Clarkia amoena* (Yer Açelyası) türünde bitki gelişimi ve çiçeklenme üzerine etkisi. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 28(2): 49–58.

Eid EM, Hussain AA, Taher, M.A, Galal T M, Shaltout KH, Sewelam N. 2020. Sewage sludge application enhances the growth of *Corchorus olitorius* plants and provides a sustainable practice for nutrient recirculation in agricultural soils. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 20(1): 149–159.

Elmi A, AlOlayan M. 2020. Sewage sludge land application: Balancing act between agronomic benefits and environmental concerns. Journal of Cleaner Production, 250, 119512.

Fantozzi F, Buratti C. 2009. Biogas production from different substrates in an experimental Continuously Stirred Tank Reactor anaerobic digester. Bioresource technology, 100(23): 5783–5789.

Güzel N, Güllüt KY, Ortaş İ, İbrikçi H. 1992. Toprakta verimlilik analiz yöntemleri laboratuvar el kitabı. Ziraat Fakültesi Yay, 117.

Kaçar B, Inal A. 2008. Plant analysis. Nobel Pres, 1241, 891.

Larchevêque M, Ballini C, Korboulevsky N, Montès N. 2006. The use of compost in afforestation of mediterranean areas: effects on soil properties and young tree seedlings. Science of The Total Environment, Volume 369(1–3): 220–230.

Murphy J, Riley JP. 1962. A modified single solution for the determination of phosphate in naturalwaters. Analytica Chimica Acta. 27: 31–36.

Nowak O. 2006. Optimizing the use of sludge treatment facilities at municipal WWTPs. Journal of Environmental Science and Health Part A, 41(9): 1807–1817.

Öden MK, Özer İ, Horasan BY. 2019. Investigation of Usage Samples of Treatment Sludges in Agricultural Areas. Turkish Journal of Agriculture–Food Science and Technology, 7(5): 743–749.

Özön NN. 2014. Yeni Bir Atık Çamur Kurutma Sisteminin Tasarlanması Ve Arıtma Çamurlarına Uygulanması, Kocaeli Üniversitesi, FBE, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 16–25.

Singh RP, 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.

- Sivas Belediyesi. 2018. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, Marmara Araştırma Merkezi, Çbere ve Temiz Üretim Enstitüsü, Sivas Belediyesi Kentsel AAT çamurlarının bertaraf/gerikazanım yöntemleri için karakterizasyon çalışması Raporu, Rapor No: 49924173-125.05-740/2135: 37s.
- Topcuoğlu B, Önal MK, Arı N. 2003. Toprağa Uygulanan Kentsel Arıtma Çamurunun Domates Bitkisine Etkisi, I. Bitki Besinleri ve Ağır Metal İçerikleri. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 16(1): 87-96.
- Uzun P, Bilgili U. 2011. Arıtma çamurlarının tarımda kullanıma olanakları. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 25(2): 135-146.
- Yaman K, Olhan E. 2012. Arıtma Çamuru Kullanımının Buğdayın Verim, Fiziki Girdi ve Maliyetler Üzerindeki Etkisi. Journal of Agricultural Sciences, 17(2).
- Yıldız Ş, Yılmaz E, Ölmez E. 2009. Evsel nitelikli arıtma çamurlarının stabilizasyonla bertaraf alternatifleri: İstanbul örneği. Türkiye'de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu, TÜRKAY, 1(8).
- Yıldız S, Değirmenci M, Kaplan M. 2016. Windrow Composting of Waste Sludge and Effects Composts on Plant Growth and Soil Characteristics. Global Nest Journal, 18(3): 652-664.
- Yıldız S, Oran E. 2019. Sewage sludge disintegration by electrocoagulation. International journal of environmental health research, 29(5): 531-543.