



Investigation of Usage Samples of Treatment Sludges in Agricultural Areas

Muhammed Kamil Oden^{1,a,*}, İrfan Özer^{2,b}, Bilgehan Yabgu Horasan^{1,c}

¹Department of Environmental Protection Technologies, Sarayönü Vocational High School, Selçuk University, 42430 Konya, Turkey

²Seed Department, Sarayönü Vocational High School, Selçuk University, 42430 Konya, Turkey

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Review Article</i></p> <p>Received : 27/12/2018 Accepted : 12/03/2019</p> <p>Keywords: Soil Sewage sludge Agricultural use Recycling Land development</p>	<p>Nowadays, due to some reasons, soil quality deteriorates, soil organic matter decreases, and plant growth is adversely affected such as damaging agricultural practices, unconscious pesticide and fertilizer use. There is also treatment sludge among the methods that will contribute to the soil. Sewage sludge, the inevitable by-product of municipal and other wastewater treatment plant operations, is a key issue in many countries due to its increasing volume and the impacts associated with its disposal. This environmentally hazardous treatment sludge can be significantly reduced by anaerobic digestion. However, the resulting gas and the residues from anaerobic digestion process need to be treated or stabilized. The use of sewage sludge in agriculture will provide both soil nutrient elements and waste sludge can be disposed with this application. Definitely, it is possible to evaluate the treatment sludges in many different areas. After cleaning the sludge from contaminants, it can be used as a good compost or soil improvement material. In this study, agricultural applications with sewage sludge were investigated.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi 7(5): 743-749, 2019

Arıtma Çamurlarının Tarımsal Alanlarda Kullanım Örneklerinin Araştırılması

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Derleme Makalesi</i></p> <p>Geliş : 27/12/2018 Kabul : 12/03/2019</p> <p>Anahtar Kelimeler: Toprak Arıtma çamuru Tarımsal kullanım Geri dönüşüm Arazi geliştirme</p>	<p>Günümüzde uygun olmayan tarım teknikleri, bilinçsiz gübre ve ilaç kullanımı ile toprak kalitesi bozulmakta, toprak organik maddesi azalmakta ve bitki gelişimi olumsuz etkilenmektedir. Toprağa katkı sağlayacak birçok yöntem arasından arıtma çamurlarının kullanımı son yıllarda tercih edilenler arasında yer almaktadır. Kentsel ve diğer atıksu arıtma tesisleri işletmelerinin kaçınılmaz yan ürünü olan arıtma çamuru, artan hacmi ve bertarafına ilişkin etkileri nedeniyle birçok ülkede çevre sorunları arasında önemli bir etken olmuştur. Çevre açısından tehlikeli olan bu arıtma çamurunu anaerobik parçalanma ile önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Ancak yine de oluşan gazın ve son ürünlerin arıtmaya veya stabilize edilmeye ihtiyacı vardır. Tarımda arıtma tesislerinden elde edilen çamurun kullanımı hem toprağa besin elementlerini sunması hem de bu uygulama ile atık çamurun bertaraf edilmesini sağlamaktadır. Elbette arıtma çamurlarının daha farklı birçok alan içerisinde değerlendirilmesi mümkündür. Arıtma çamurları kirletici maddelerden temizlendikten sonra iyi bir kompost veyahut toprak geliştirme malzemesi olarak kullanılabilir. Bu çalışmada arıtma çamuru ile daha önce yapılmış tarımsal uygulamalar incelenmiştir.</p>

^a muhammedkoden@selcuk.edu.tr

^b <https://orcid.org/0000-0002-0573-5634>

^c irfanozer@selcuk.edu.tr

^d <https://orcid.org/0000-0001-5857-8938>

^e bilgehanyabgu@gmail.com

^f <https://orcid.org/0000-0003-1899-0041>



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

Giriş

Çevresel açıdan önemli kirleticiler arasında yer alan atıksular arıtma tesislerinde çeşitli proseslerde işlem gördükten sonra seçilen en uygun metot ile bertaraf edilmektedir. Atıksu arıtımı sonucunda oluşan, çamur bertarafı kısmında farklı yöntemler denenmiş ve oldukça fazla sayıda araştırma yürütülmüştür. Birçok bertaraf yöntemi arasında, arıtma çamurlarının toprağa verilerek bertarafı ekonomiye katkısı bakımından dikkate değer tekniklerden birisidir. Seçilecek olan bertaraf yöntemlerinin ekonomik ve uygulama kolaylığına sahip olması önemli bir avantajdır. Hem atıksuyun hem de çıktısı durumunda olan arıtma çamurlarının değerlendirilmesi bu bakımdan oldukça önemlidir.

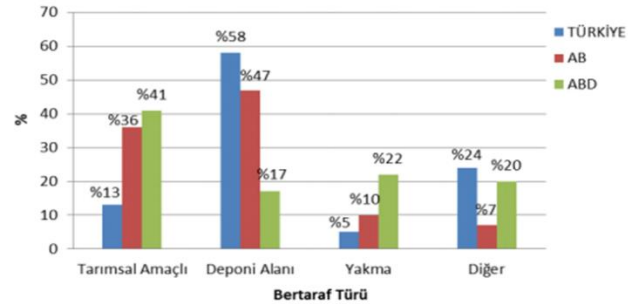
Dünyada birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de kuraklık nedeniyle özellikle tarımsal sulamada, iyi kaliteli suların kullanılması yerine alternatif su kaynaklarının devreye sokulması son derece önemlidir. Ancak kentsel atıksular; içermiş oldukları toksik maddeler, deterjanlar ve patojen mikroorganizmalar nedeniyle önemli sağlık sorunlarının ortaya çıkmasına neden olmakta, kullanım sıklığı ve miktarına bağlı olarak da toprak özelliklerini önemli ölçüde etkileyebilmektedir (Kudal ve Müftüoğlu, 2014).

Arıtma çamurlarından bünyesinde risk oluşturan ağır metallerin toprağa olan etkisinin en aza indirmek amacıyla, metal stabilizasyonu uygulanmaktadır. Bunun için, kimyasal işlemlerle metallerin kararlı hale getirilip pH, katyon değişim kapasitesi vb. toprak özelliklerinin değişmesi gerekmektedir. Kirli alanlarda organik, inorganik veya bunların karışımıyla metal stabilizasyonu artırılabilir (Gusiatin ve Kulikowska, 2016; Günay ve Dursun, 2018). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından 2003-2016 yıllarında yapılan çalışmalara ait bazı çevresel istatistikler bulunmaktadır (Tablo 1).

Özön (2014) tarafından Türkiye, Avrupa Birliği ve Amerika Birleşik Devletinin arıtma çamurlarını bertaraf etme teknikleri üzerine yapılan araştırmada 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 (Şekil 1).

Arıtma Çamuru Genel Özellikleri

Genel anlamıyla 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 görünümlü katı bir atıktır (Almaz, 2017). Arıtma çamuru çeşidi uygulanan atıksu arıtma prosesi çeşitliliği ile doğru orantılıdır. Atıksu arıtımında tercih edilen prosesler arasında ise kimyasal koagülasyon (Erkan ve ark., 2018), adsorpsiyon (Öden ve ark., 2017), fenton ve çeşitleri (Akkaya ve ark., 2018), elektrokoagülasyon (Oden ve Sari-Erkan, 2018), membran (Özkan ve ark., 2018), biyolojik arıtım (Gürtekin, 2009) gibi farklı arıtım prosesleri kullanılmaktadır. Proseslerin çeşidine göre atıksu arıtma çamurları da değişiklik gösterebilmektedir. Ayrıca ham çamurun kapsamını gruplayacak olursak; (1) Evsel ya da kentsel atıksuları işleyen arıtma tesislerinden, evsel ve kentsel atıksulara benzeyen bileşimdeki atık suları arıtan diğer arıtma tesislerinden gelen arıtma çamurları, (2) Fosseptik tanklarından ve diğer benzer arıtma tesislerinden gelen arıtma çamurları, (1) ve (2) numaralı maddelerde sayılanlar dışındaki diğer arıtma tesislerinden gelen arıtma çamurlarıdır (Mevzuat, 2010). Arıtma çamuru olarak karşılaşılan malzeme içerisinde makro, mikro besin elementleri, iz elementler, yararlı bileşikler, organik kirleticiler, toksikler, mikroorganizma ve parazitler bulunabilmektedir (Alloway ve Jackson, 1991; Aşır, 2013).



Şekil 1 Arıtma çamurunun Türkiye, AB ve ABD’de ki bertaraf türleri (Özön, 2014)

Figure 1 Disposal types of Sewage sludge of Turkey, EU and USA

Tablo 1 Türkiye’nin Yıllara göre Çevre istatistikleri*

Table 1 Environment statistics by years of Turkey

Yıl	Nüfus, Kişi	Atıksu Miktarı ¹ (Bin m ³ /Yıl)	Atıksu Arıtma Tesisi Sayısı			Atık miktarı ² (Kg/kişi-gün)
			Fiziksel	Gelişmiş	Biyolojik	
2003	67.803.927	2860980	31	4	121	1,38
2004	67.803.927	2922783	35	4	133	1,31
2006	70.586.256	3366894	26	23	135	1,21
2008	70.586.256	3261455	29	32	158	1,15
2010	73.722.988	3582131	39	53	199	1,14
2012	75.627.384	4072563	57	70	244	1,12
2014	77.695.904	4296851	49	92	345	1,08
2016	79.814.871	4484075	55	135	492	1,17

*TÜİK, 2018, ¹Alıcı Ortamlara Göre Şebekeden Deşarj Edilen, ²Kişi başı ortalama

Tablo 2 Ham ve çürütülmüş çamur özellikleri
Table 2 Properties of raw and digested sludge

Parametre	Birim	Ham Ön		Çürütülmüş Ön		Ham Aktif Çamur
		Çökeltim Çamuru		Çökeltim Çamuru		
		Aralık	Ortalama	Aralık	Ortalama	Aralık
Toplam katı Madde	%	5-9	6	2-5	4	0,8-1,2
Uçucu Katı Madde	%	60-80	65	30-60	40	59-88
Yağ-Gres (Çözünmüş)	%	6-30	-	5-20	18	-
Yağ-Gres (Ekstrakte)		7-35	-	-	-	5-12
Protein	%	20-30	25	15-20	18	32-41
Azot (N)	%	1,5-4,0	2,5	1,6-3,0	3,0	2,4-5,0
Fosfor (P ₂ O ₅)	%	0,8-2,8	1,6	1,5-4,0	2,5	2,8-11
Potasyum	%	0-1,0	0,4	0-0,3	1,0	0,5-0,7
Demir	%	2,0-4,0	2,5	3,0-8,0	4,0	-
Alkanite	mg CaCO ₃ /L	500-1500	600	2500-3500	3000	580-1100
Organik Asitler	mg Hac/L	200-2000	500	100-600	200	1100-1700

*Metcalf&Eddy, 2003

Tablo 3 Toprakta kullanılacak stabilize arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal muhtevaları
Table 3 Maximum heavy metal content to be allowed in stabilized treatment sludge to be used in soil

Ağır Metal (Toplam)	Sınır Değerler (mg kg ⁻¹ kuru madde)
Kurşun	750
Kadmiyum	10
Krom	1000
Bakır	1000
Nikel	300
Çinko	2500
Civa	10

03.08.2010 tarih ve 27661 sayılı Resmi Gazete yayımlanarak yürürlüğe giren “Evsel Ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik” ekinde yer alan EK I-B kapsamında deşarj limitleri yer almaktadır (Tablo 3).

Çamur Kaynakları ve Karakteristiği

Atıksu arıtımı sonucunda oluşturulan çamur tipleri, farklı yüzdelerde kirletici içerebilmektedir. Genel olarak tipik bir arıtma çamuruna ilişkin miktar ve fiziksel özellikler Tablo 2’de verilmiştir.

Çamur Arıtımı Stabilizasyon ve Bertaraf Yöntemleri

Konvansiyonel bir su arıtma akış şeması sırasıyla pıhtılaşma, flokülasyon, çökeltme, filtrasyon ve dezenfeksiyon işlemlerini içermektedir (Teh ve Wu, 2014). Su arıtma sürecinde koagülasyon-flokülasyon proseslerinden su arıtma çamuru (WTS) olarak bilinen büyük miktarda atık veya kalıntı üretilmesine neden olmaktadır. Bu kaçınılmaz atıkların iyi değerlendirilmesi ve sürdürülebilir yönetimi tesis operatör ve yöneticilerinin dikkat etmesi gereken durumlardandır (Ahmad ve ark., 2016).

Ham çamurların stabilize edildikten sonraki aldığı isim biyokatıdır. “Biyokatı” tanımı, “arıtma çamuru” ve “işlenmiş arıtma çamuru” ile eş anlamlı olarak kullanılmaktadır (Bilgin ve ark., 2002). Çamurun stabilizasyonu veya biyokatının durağanlaştırılması işlemleri arasında en önemlileri anaerobik çürütme, aerobik çürütme, kurutma, kompostlama ve kireç ile stabilizasyon olarak sayılabilmektedir.

Anaerobik Çürütme: Organik maddenin oksijensiz ortamda mineralize olması (bozunması) işlemi olarak tanımlanmaktadır. Bu süreç ilk aşamada organik maddeler organik asitlere, ikinci aşamada ise organik asitler metan ve karbondioksit dönüştürülerek biyogaz oluşturulması şeklinde iki aşamada gerçekleşir. Oluşan biyogaz, tesisin işletilmesi için gerekli ısı ve elektrik enerjisini sağlamada kullanılmaktadır (Aşır, 2013).

Aerobik çürütme: Oluşan çamurların, yeterli oksijenin sağlandığı koşullarda biyolojik stabilizasyonu için kullanılan bir yöntem olarak tanımlanmaktadır. Aerobik süreçlerin işletilmesinde; sıcaklık, bekleme süresi, oksijen gereksinimi, karıştırma ve ortam pH’ı gibi faktörler denetim altında tutulmalıdır (Almaz, 2017).

Kompostlama: Aerobik bir işlem olarak ifade edilmektedir. İyi işletilen bir sistemde organik maddenin bozunması sırasında sıcaklık 70°C’ye çıkartılarak, patojen bakterilerin yok olması sağlanabilmektedir.

Kurutma: Arıtma çamuru içerisindeki suyun buharlaştırılması ve nem içeriğinin azaltılması dışında patojen giderimi sağlanmaktadır (Demirkıran, 2015).

Kireç ile Stabilizasyon: Kireç, çamurun suyunu verme özelliklerini geliştirmenin yanı sıra, çamur stabilizasyonu amacıyla da kullanılmaktadır. Bu yöntemde çamura, pH değerini 12’ye çıkaracak miktarda kireç ilave edilmekte ve yüksek pH değeri, mikroorganizmalar için uygun olmayan bir ortam oluşturmaktadır. Bunun sonucu olarak da çamur ayrışmaz, koku kaybolur ve sağlık riskleri oluşmaz (Filibeli, 1996).

Arıtma çamurları ile ilgili genel uygulama su yollarına veya düzenli depolama alanlarına deşarj edilmesidir (Geraldo ve ark., 2017). Atıksu çamuru birçok mikrobiyal süreç için çok iyi bir karbon, azot, fosfor ve diğer besin

kaynağı olabilmektedir. Ayrıca antioksinler gibi bazı değerli metabolik ürünleri üretmek daha değerli hale gelebilmektedir. Günümüzde halen atıksu arıtma çamurlarının bertaraf etmenin en cazip yolları arasında ise tarım ve orman arazileri uygulamalarıdır (De Lourdes ve ark., 2001). Arıtma çamurlarının farklı işleme seçeneklerine ilişkin uygulamalar bulunmaktadır (Tablo 4).

Arıtma çamurunun bertaraf edilmesi çevresel koruma çalışmaları açısından nihai bir işlemdir. Elde edilen çamurun bertarafı sırasında enerji üretim uygulamaları son yıllarda en çok istenen yaklaşımlar arasında yer almaktadır. Bu sayede hem atıktan kurtulmak, hem de enerji üretimi ile toplam maliyetin azaltılması sağlanmaktadır.

Arıtma çamurlarının uzaklaştırılması için kullanılan bazı yöntemler arasında; Düzenli depolama, kompostlaştırma, termik yöntemlerle yakma, denize boşaltma, arazide bertaraf, çamur lagünlerinde toplama, arazi iyileştirme, kimyasal sabitleme (stabilizasyon), dağıtım ve pazarlamadır (Aşır, 2013). Anaerobik çürütme ile biyogaz üretimi dışında, diğer bütün ısıl metotlar çamurun organik içeriğini ortadan kaldırıp, bertaraf edilecek yan ürün olarak sadece kül veya kömürün kalmasını sağlar (Salan, 2014).

Düzenli Depolama: Arıtma çamurları ve tüm katı atıkların, yaşayanların güvenliği ve sağlığına zarar vermeyecek şekilde alıcı ortamda depolanması ve üzerinin örtülmesi işlemidir. Burada genel olarak hedeflenen, arıtma çamurunun hacminin azaltılması ve depolanan

alanda kalitesinin artmasını sağlamaktır (Aksu, 2008).

Yakma: Arıtma çamurlarının doğrudan zirai amaçlı olarak kullanılması veya düzenli depolama sahalarına gönderilerek bertaraf edilmesi, giderek artan yasal kontrollere tabi olmaktadır. Yakma ve arazide bertaraf metodunun uygulanması durumunda çamurdaki ağır metal, pestisit ve hidrokarbonlar ölçülmelidir. Yakma gibi termal proses kullanılacağına çamurun enerji içeriği de hesaplanmalıdır. Yakmanın Türkiye’de en son düşünülen bertaraf türü olduğu görülmektedir. Katı Atık Yakma Tesisi İZAYDAŞ, Türkiye’de ilk Kocaeli’nde kurulmuştur (Özön, 2014).

Kompostlaştırma: Kompostlaştırma, organik maddenin oksijenli ortamda (aerobik) parçalanması demektir. Arıtma çamurlarının kompostlaştırılması, bu çamurların biyolojik olarak stabilize edilip kirletici risklerinin kontrol altına alınmasını ve böylelikle zirai açıdan veya sahip oldukları besleyici maddeler ve organik değer nedeni ile son ürün olarak değerlendirilmelerine imkan sağlar. (Bilici, 2014).

Denize Boşaltma: Arıtma tesislerinin ilk kurulduğu dönemlerde ortaya çıkan çamur, tüm dünya ülkelerinde çöp depolama alanlarına ve denizlere dökülmüştür. Ancak çamurların denizlere dökümü 1 Ocak 1999 tarihinden itibaren yasaklanmıştır (Arıkan ve Öztürk, 2008).

Arazide bertaraf yöntemleri: Çamurun araziye uygulanmasına ilişkin tankerle yayma, püskürtme yöntemi, Toprak Yüzeyi Altına Enjeksiyon Yöntemi, Karık Yöntemi gibi yöntemler bulunmaktadır (Damar,2002; Almaz, 2017).

Tablo 4 Arıtma çamuru işleme alternatifleri*

Table 4 Treatment sludge processing alternatives

Alternatifler	Amaç	Uygulama
Kullanmama	Çevreye zararlı olanların tespit edilip kullanımının yasaklanması	Endüstriyel deşarjlarda etkili kaynağında kontrol yöntemleri ile çevre dostu üretim girdileri tercih edilerek, çamurun tarım alanlarında ve diğer değerlendirme seçeneklerinde kullanımını kolaylaştırmak
Yeniden Kullanma	Çevreye salınan malzeme miktarını azaltarak, mineral (doğal) kaynak kullanımının sınırlandırılması	Dahili yeniden kullanım (örn. çökeltim kimyasallarının yeniden kullanımı) ile harici yeniden kullanım (örn. Fosforun gübre olarak yeniden kullanılması) seçenekleri
Geri Kazanım	Çevreye doğrudan bırakılması uygun olmayan maddelerin uygun forma dönüştürülmesi	Organik maddelerin metan gazına dönüştürülmesi (enerji kaynağı olarak kullanmak amacıyla), çamurun çözünürleştirilerek geri kazanımı (uçucu yağ asitleri, N,P, vb.) ve çamurdan kompost eldesi
Tecrit (İçerde hapsedme)	Çevreye sızma ve taşınma potansiyeli olan atık unsurlarının geçişinin mümkün olduğunca azaltılması	Çamurun bünyesindeki zehirli maddelerin uygun stabilizasyon ve katılaştırma yöntemleriyle bünye içinde hapsedilmesi ve önlenmesi
Çevreye (araziye veya yanma yaparak atmosfere) verme	Olumsuz etki oluşturmadan araziye uygulama veya deşarj	Çamurun araziye serilerek tarımda kullanımı, çamur yakma sonucu oluşan arıtılmamış baca gazlarının bacalarda yeterince seyreltilerek atmosfere verilmesi

*TBB, 2015

Arıtma Çamurları ile Yapılan Araştırma ve Geliştirme Çalışmaları

Arıtma çamurunun yüksek organik madde, N, P, K, Fe, Cu, Mn, Zn gibi makro ve mikro bitki besin maddelerini içermesi tarımda kullanımını sağlamaktadır. Ancak tarımda kullanılacak arıtma çamurlarının potansiyel toksik element içeriğinin ve hastalık yapıcı etmenlerin yasa ve

yönetmeliklerde belirtilen sınır değerlerin altında olması gerekir (Aşır, 2013).

Arıtma çamurları içerisinde oldukça fazla çeşitte kirleticinin olması bunların geri kazanılmasına ilişkin araştırmaları desteklemektedir. Bu bakımdan Malezya’da yapılan bir araştırmada, arıtım çalışmaları sırasında kullanılan koagülanların alüminyum varlığından esinlenerek arıtma çamuru içerisindeki alüminyumları geri kazanmayı veya bu metalden faydalanmayı amaçlamıştır.

Ayrıca çalışmanın temelinde çamur içerisindeki alüminyumun çevresel etkilerinin araştırılması da yer almaktadır. Çalışma sonuçlarında RSM (Yüzey-Yanıt Metodolojisi) metoduyla alüminyum geri kazanımının optimal değerlerde %70,3'e olduğu hesaplanmıştır (Ooi ve ark., 2018).

Yapılan bir başka çalışmada "Gökova-Akyaka Atık Su Arıtma Tesisi'nden alınan arıtma çamurunun *Liquidambar orientalis* Mill. (Anadolu Sığla Ağacı), *Platanus orientalis* L. (Çınar) ve *Pinus pinea* L. (Fıstık Çamı) isimli farklı türlerin toprağına karıştırılarak bitki gelişimi ve toprak üzerine etkileri tespit edilmiştir. Toplam 450 m²'lik açık bir alanda yürütülen çalışma 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan arıtma çamuru *L. orientalis* türünde 20 kg/m²'yi aşmayacak şekilde kullanımının uygun olduğu ve bu miktarda bitkilerde zararlı etkilerin ortaya çıkmadığı tespit edilmiştir. *P. orientalis* türün için ise artan arıtma çamuruna daha rahat tepki verdiği ve yılda 60 kg/m² miktarında kullanımı uygun bulunmuştur. Ancak *P. pinea* türünde arıtma çamuru kullanımının uygun olmadığına değinilmiştir (Demirkıran, 2015).

Özyazıcı ve Özyazıcı (2012) tarafından yapılan çalışmada, tesadüf blokları deneme desenine göre farklı bitki (buğday, beyaz baş lahana, domates) türlerine farklı dozlarda (0, 10, 20, 30, 40, 50 t/ha) arıtma çamuru ile kimyasal gübreleme (N+P) uygulaması denemesi gerçekleştirilmiştir. Artan arıtma çamuru dozlarındaki uygulamada toprağın; pH'sında azalma, EC, organik madde, toplam N ve alınabilir P değerlerinde artış, kireç ve alınabilir K içeriklerinde ise herhangi bir değişimin olmadığını tespit etmişlerdir.

Evsel atıkların biyolojik olarak arıtımı, yaygın olarak kullanılan arıtma yöntemlerinden birisidir. Ancak aktif çamur prosesi sonucunda yüksek miktarda atık çamur oluşmaktadır. Çamurun anaerobik stabilizasyondan önce uygulanan ultrases dezentegrasyon yönteminin, stabilizasyon sonucunda kalan çamurun özelliklerinde meydana getirdiği değişimi (TOK, KOİ, uçucu katı madde) ortaya koymak ve ultrases dezentegrasyon yönteminin kalan çamurun miktarına olan etkisi üzerine çalışma yapılmıştır (Yeşil, 2011).

Tablo 5 Arıtma çamuru ile yapılan bazı çalışmalar ve sonuçları

Table 5 Result of some studies using sewage sludge

Arıtma Çamuru Türü	Uygulama Alanı	Değerlendirme/Sonuç	Referans
Gıda Sanayi Arıtma Çamuru	Mısır bitkisinin gelişim ve mineral element içeriği üzerine etkisi	Bitkinin mineral element içeriğini artırmış ve bitki gelişimini olumlu yönde etkilemiştir	(Aşık ve Katkat, 2004)
Şehir İçme Suyu Arıtma Tesisi Çamuru	Tarımsal açıdan uygunluğu için sera deneyleri tercih edilmiş	Saksı deneylerinde atık çamur içinde çimlenme olabilmekte ancak kontrol grupları ile karşılaştırıldığında çimlenme süresinin uzadığı kök ve yaprak boyunun kısaldığı görülmektedir.	(Arslan ve Atakol, 2005)
Arıtma Çamuru	Toprağına katkısı ve bitki büyümesi üzerine etkisinin araştırılması	Z. japonica ve P. Annua biyokütlesinde ve toprakda besin içeriği artmıştır.	(Wang ve ark., 2008)
Arıtma Çamuru	Tuzlu-alkali toprağına uygulanması	Değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) dışındaki bütün fiziksel ve kimyasal parametreler için 12 t/da uygulamasında en yüksek olumlu etki elde edilmiştir.	(Angın ve Yağanoğlu, 2009)
Arıtma Çamuru	Clarkia amoena (yer açelyası) türünde bitki gelişimi ve çiçeklenme üzerine etkisi	İstatistiksel veriler değerlendirildiğinde; sürgün uzunluğu, bitki başına çiçek sayısı ve üst aksam yaş ağırlığına ait değerler %1 düzeyinde önemli bulunurken, kök uzunluğu ile üst aksam kuru ağırlığına ait veriler istatistiksel açıdan %5 önem düzeyinde etkili bulunmuştur.	(Demirkan ve ark, 2014)
Arıtma Çamuru	Limonium sinuatum 'Compindi White' çeşidinde bitki gelişimi ve verimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır.	Yetiştirme ortamlarına ilave edilen arıtma çamuru; bitki başına çiçek sayısı ve kök uzunlukları üzerinde %95, çiçek sapı uzunluğu, yaprak sayısı ve bitki üst aksam yaş ağırlığı parametreleri üzerinde ise %99 güvenle önemli bir farklılık yaratmıştır.	(Akat ve ark, 2015)
Arıtma Çamuru	Seramik fayans endüstrisinde kullanımının araştırılması	Karo karışımına kuru arıtma çamuru eklenmiş ve ISO standartlarına uygun fayans elde edilmiştir	(Amin ve ark., 2018)
Arıtma Çamuru	Kil tuğla üretiminde arıtma çamurunun kullanımı	Kanalizasyon çamuru tuğlanın mukavemeti üzerinde olumsuz bir etkisi görülmüş	(Esmeray ve Atıs, 2019)

Arıtma Çamurlarının İçeriğindeki Zararlı Bileşikler

Bilim adamları tarafından yapılan çalışmalarda belediye arıtma çamurunun birçok tehlikeli madde, patojen, zehirli ağır metaller, endokrin bozucular, kanalizasyon atıkları, yağmur suyu, hastaneler ve endüstriyel tesislerin bileşiklerini içerdiğini kanıtladı. Kanalizasyon çamuru çevreye çok yüksek ekolojik tehlike oluşturmaktadır (Amin ve ark., 2018).

Eryiğit (2018) tarafından yapılan çalışmada ise, arıtma çamurundaki farmasötik atıklar araştırılmıştır. Normal şartlarda insanların kullandığı farmasötik gruplar tüketildikten sonra %30-90 civarında vücuttan idrar ve dışkı yoluyla atılmaktadır. Araştırma sonucunda ise Ocak, Şubat ayında antibiyotikler, Mart, Nisan, Mayıs, Temmuz, Kasım, Aralık aylarında kolestrol düşürücü ilaçlar, Haziran, Ağustos, Eylül ve Ekim ayında ise analjezik ilaç gruplarına ait bileşikler baskın olarak tespit edilmiştir. Araştırmanın sonuçlarına bakıldığında kentsel atıksu arıtma tesislerindeki atıksu içerisinde farmasötik bileşikler bulunmakta olup, konvansiyonel aktif çamur prosesi ve çamur stabilizasyon işlemleri sonucunda bu bileşiklerin giderilmediği ve çıkış çamurunda varlığını devam ettirdiği iddia edilmektedir. Stabilize edilmiş olan arıtma çamurlarının kullanımına ilişkin mevzuat hükümleri arasında farmasötikler ile ilgili limit değerlerin yer almadığından da bahsedilmektedir. Bu yüzden şayet arazi uygulamaları yapılması durumunda kuvvetli yağış yoluyla yüzeysel kaynakların kirlenebileceği ve uygulama alanı içerisindeki yetiştirilen bitkiye geçmesinin ihtimali üzerinde durulmuştur.

Hayvan gübresinden elde edilen arıtma çamurları da bulunmaktadır. Bunların anaerobik çürüme işleminden sonra içindeki amonyum konsantrasyonu artmaktadır. Arıtılmış gübre mineral gübre gibi hareket etmektedir. Çürümüş gübrenin aşırı derecede uygulanması bitkilerin yanmasına sebep olabilmektedir. Çünkü gübre içinde bulunan çözünmüş haldeki tuzlar toprakta birikerek toprağın tuzlulaşmasına neden olmakta olduğu unutulmamalıdır (Öztürk, 2017). Arıtma çamurları içerisinde besleyici ve organik maddelerin katkısının yanında yasal ve bilimsel düzenlemelerin getirdiği kısıtlamalar iyi araştırılmalıdır. Çünkü yasal olarak tam uyum kontrolünün yapılmasının güçlüğü, azotlu muhtevaların yeraltı/yerüstü sularına karışıp kirlenmesi, bazı floraya aşırı yük oluşturma veya toksik etkilerinin olduğu, patojenler yüzünden sebze gruplarında uygulanamaması, hayvanlara olan zararı nedeniyle otlak alanlar için uygun olmayışı, kötü koku oluşturabilme olasılığı, uygulama sırasında maliyet ve toksik maddelerin (ağır metaller, patojenler, zehirli organikler) yer altı ve yerüstü suyuna geçiş riskini artırması en önemli dezavantajlarından olduğu unutulmamalıdır (Yıldız ve Demir, 2010)

Sonuçlar

Toprak en önemli üretim prosesidir. İçerisinde tüm flora ve fauna bir denge içerisinde hem yaşamakta hem de diğer varlıkları yaşatmaktadır. Ekolojistlerin yaptığı araştırma ve gözlemler sonucunda 1 cm'lik örtü toprağının oluşması için yüzlerce yıl gerektiği kanısına varmışlardır. Fakat insanoğlu hem teknolojik gelişmeler hem de sınırsız

arzuları doğrultusunda yeryüzünü imar ederken toprağa, ormanlara ve zirai alanlara zarar vermekte veya yok olmasına sebep olmaktadır. Tarımsal uygulamalarda karşılaşılan en önemli sorunlar arasında sulama suyu ihtiyacı ve organik madde eksikliği yer almaktadır. Bu problemlere ilave olarak uygun olmayan toprak geliştirme çalışmaları, bilinçsiz gübre ve pestisit kullanımı, anız yakma ve yanlış bilinen zirai teknikler takip etmekte ve durumu içinden çıkılmaz bir hale getirmektedir.

Arıtma çamurları zararlı maddelerden arındırılıp stabilize hale getirildikten sonra yüksek organik içeriğine sahip olduğundan toprak için önemli bir katkı teşkil etmektedir. Bu bakımdan uygun bahçe ve tarla bitkilerinin seçilip, arıtma çamuru ile karıştırılmış bir toprakta yetiştirilmesi, ürünün gelişme verimine olumlu katkı sağlayacağı bir gerçektir. Bu bakımdan yapılacak olan sera ve gerçek saha uygulamaları oldukça önem arz etmektedir. Fakat dikkat edilmesi gereken kısmın kullanılacak olan arıtma çamurlarının spesifik endüstriyel atıklar ile karıştırılmamış, ağır metal, toksik madde ve kanserojen atıklardan arındırılması gerektiği gerçeğidir. Bu kirleticilerin limit değerlerin üzerinde olması durumunda hem toprağa hem de ürüne zarar vereceği unutulmamalıdır.

Kaynaklar

- Ahmad T, Ahmad K, Ahad A, Alam M. 2016. Characterization of water treatment sludge and its reuse as coagulant. J Env. Man. 182: 606-611.
- Akat H, Demirkan ÇG, Akat Ö, Yokaş İ. 2015. 'Limonium sinuatum' Yetiştiriciliğinde Farklı Ortamlara İlave Edilen Atık Su Arıtma Çamurunun Süs Bitkisi Yetiştirme Materyali Karışımı Olarak Kullanımı. Tekirdağ Zir. Fak. Derg., 12 (1): 81-90.
- Akkaya GK, Sarı-Erkan H, Sekman E, Top S, Karaman H, Bilgili MS, Engin GO. 2018. Modeling and optimizing Fenton and electro-Fenton processes for dairy wastewater treatment using response surface methodology. Int J Env. Sci &Tech., 1-16.
- Aksu T. 2008. Isparta Belediyesi Atık Su Arıtma Tesisinde Oluşan Çamurun Bertaraf Stratejilerinin Araştırılması, Süleyman Demirel Üniv., FBE, YL Tezi, 1-45.
- Alloway B, Jackson P. 1991. The Behaviour of Heavy Metals in Sewage Sludge Avened 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
- Amin SK, Hamid EA, El-Sherbiny SA, Sibak HA, Abadir MF. 2018. The use of sewage sludge in the production of ceramic floor tiles. HBRC Journal, 14(3): 309-315.
- Angin İ, Yağanoğlu V. 2009. Arıtma Çamurlarının Fiziksel ve Kimyasal Toprak Düzenleyicisi Olarak Kullanımı. Ekoloji 19(73): 39-47.
- Arıkan OA, Öztürk İ. 2008. Arıtma çamuru Kompostlaştırılmasında Organik Evsel Katı Atık İlavesinin Etkisi, İTÜ FBE, Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı, İstanbul.
- Arslan G, Atakol O. 2005. Şehir İçme Suyu Arıtma Tesislerinde Çamur Atıklarının Değerlendirme Yollarının Araştırılması. SÜ Fen Ed Fak Fen Derg. 25: 73- 78
- Aşık BB, Katkat AV. 2004. Gıda Sanayi Arıtma Tesisi Atığının (Arıtma Çamuru) Tarımsal Alanlarda Kullanım Olanakları. Uludağ Üniv Zir Fak Derg. 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.
- Bilgin N, Eyüpoğlu H, Üstün H. 2002. Biyokatların (Arıtma Çamurlarının) Arazide Kullanımı. ASKİ Arıtma Tesisi Başkanlığı – KHGM Ankara Araştırma Enstitüsü.
- Bilici İS. 2014, Konya Kulu Atıksu Arıtma Tesisinde Oluşan Çamurun Nitelikleri Ve Çamurun Bertarafında İzlenecek Yolların Araştırılması, Cumhuriyet Üniversitesi, FBE, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, YL Tezi, Sivas.
- De Lourdes MTM, Tyagi RD, Valero JR. 2001. Wastewater treatment sludge as a raw material for the production of bacillus thuringiensis based biopesticides. Water Research 35(16): 3807-3816.
- Damar Y. 2002. Petrokimya Endüstrisinden Kaynaklanan Sülfürik Asit Atıklarının Kireçli Toprakların Islahı Amacıyla Değerlendirilmesi, Sakarya Üniversitesi, FBE, YL Tezi.
- Demirkan ÇG, Akat H, Yokaş İ. 2014. Atık Su Arıtma Çamurunun *Clarkia amoena* (Yer Açelyası) Türünde Bitki Gelişimi ve Çiçeklenme Üzerine Etkisi. Uludağ Üniv Zir Fak Derg, 2014, 28(2): 49-57.
- Demirkıran GÇ. 2015. Arıtma Çamuru Uygulamalarının Bazı Ağaç Türlerindeki Etkilerinin Araştırılması, Çukurova Üniversitesi, FBE, Doktora Tezi, 9-48, Adana.
- Erkan HS, Guvenc SY, Varank G, Engin GO. 2018. The investigation of chemical coagulation and electrocoagulation processes for tannery wastewater treatment using response surface methodology. Des & Water Treat, 113: 57-73.
- Eryiğit E. 2018. Kentsel Arıtma Çamurunda Farmasötiklerin Araştırılması, Necmettin Erbakan Üniversitesi, FBE Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, YL Tezi, Konya.
- Esmeray E, Atıs M. 2019. Utilization of sewage sludge, oven slag and fly ash in clay brick Production. Const & Building Materials, 194(10): 110-121.
- Filibeli A. 1996. Arıtma Çamurlarının İşlenmesi, DEU Müh Fak Yayınları No:255, İzmir.
- Geraldo RH, Fernandes LF, Camarini G. 2017. Water treatment sludge and rice husk ash to sustainable geopolymer production. J Clean Produc 149: 146-155.
- Gusiatin ZM, Kulikowska D. 2016. Behaviors of Heavy Metals (Cd, Cu, Ni, Pb and Zn) in Soil Amended with Composts. Env Tech, 37(18): 2337–2347.
- Günay Ü, Dursun Ş. 2018. Arıtma Çamuru ve Zirai Atıkların Kompostlanarak Tarım Arazilerinde Kullanımı. Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, Sayı 1(1): 14-19
- Gürtekin E. 2009. Ardışık Kesikli Reaktörde Süt Endüstrisi Atıksularının Biyolojik Arıtımı. S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Derg., 24(1): 1-6.
- Kudal M, Müttüoğlu NM. 2014. Kentsel Atıksu ile Sulanan Topraklarda Bazı Verimlilik Özelliklerinin İncelenmesi. ÇOMÜ Zir Fak Derg, 2 (1): 77–81.
- Metcalfe L. 2003. Wastewater engineering: treatment and reuse. Book, Metcalf & Eddy Inc.
- Mevzuat. 2010. Evsel Ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik, Resmi Gazete Tarihi: 03.08.2010 Resmi Gazete Sayısı: 27661.
- Ooi TY, Yong EL, Din MFM, Rezania S, Aminudin E, Chelliapan S, Rahman, AA, Park J. 2018. Optimization of aluminium recovery from water treatment sludge using Response Surface Methodology. J Env Man, 228, 13-19.
- Öden MK, Şahinkaya S, Küçükçongar S. 2017. Pirina Kullanılarak Adsorpsiyon Prosesinde Renk Giderimi. Cumhuriyet Sci J, 38(4): 215-219.
- Oden MK, Sari-Erkan H. 2018. Treatment of metal plating wastewater using iron electrode by electrocoagulation process: Optimization and process performance. Process Safety and Env Protect, 119: 207-217.
- Özay C, Mammadov R. 2013. Ağır Metaller ve Süs Bitkilerinin Fitoremediasyonda Kullanılabilirliği. BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi, 15 (1): 67-76.
- Özkan M, Yılmaz H, Çelik MA, Şengezer Ç, Erhan E, Keskinler B. 2018. Application of *Bdellovibrio bacteriovorus* for reducing fouling of membranes used for wastewater treatment. Turkish J Biochemistry, 43(3): 296-305.
- 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.
- Öztürk M. 2017. Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi. Müsteşar. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara: 64-68.
- Özyazıcı MA, Özyazıcı G. 2012. Arıtma Çamurunun Toprağın Bazı Temel Verimlilik Parametreleri Üzerine Etkileri. Anadolu Tar Bilim. Derg., 27(2): 101-109.
- Salan T. 2014. Atıksu Arıtma Çamurlarının Türkiye'deki Durumu Ve Enerji Üretiminde Değerlendirilme Olanakları, ICCI, Proceeding Book, 190-195.
- TBB. 2015. Türkiye Belediyeler Birliği, Atıksu Arıtma Çamurlarının İşlenmesi ve Bertarafı (El Kitabı), Ankara, 2-10.
- Teh CY, Wu TY. 2014. The potential use of natural coagulants and flocculants in the treatment of urban waters. Chem Eng Trans, 39(Special Issue): 1603-1608.
- TÜİK. 2018. Türkiye İstatistik Kurumu, Çevre İstatistikleri, Erişim Tarihi: 12/12/2018, http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1019
- Yeşil E. 2011. Atık Çamur Dezentegrasyonu Yöntemlerinin Çamur Minimasyonu Açısından Değerlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, FBE, Çevre Mühendisliği, YL Tezi, 5-25.
- Yıldız Ş, Demir A. 2010. Biyokatların Aerobik Stabilizasyonu. Organik Atıklardan Kompost ve Yenilenebilir Enerji Üretimi & Kompostun Kullanım Alanları Çalıştayı, ORAK 2010, Bildiriler Kitabı, 63-74, İstanbul
- Wang XT, Chen YG, Jia Y. 2008. Studies on land application of sewage sludge and its limiting factors. J Haz Materials, 160(2): 554-558.