



Araştırma Makalesi/Research Article

Kentsel Arıtma Çamurunun Biyobozunur Plastiklerin Kütle Kaybına Etkisi

Nurgül Uzunboy¹ Cafer Türkmen^{1*}

¹ÇOMÜ, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 17020-Çanakkale/Türkiye
*Sorumlu yazar e-mail: turkmen@comu.edu.tr

Geliş Tarihi: 12.06.2018

Kabul Tarihi: 06.12.2018

Öz

İnsanların nüfus baskısı, endüstrileşme ve sosyal refahı yükseltme arzusunun bağlı olarak çevreye baskıları artmış; bu durum endüstriyel atıklar, kentsel atıklar, kanalizasyon suları ve plastik ambalaj atıklarının giderek artmasına neden olmuştur. Benzer durum son yıllarda polilaktikasit gibi doğal materyallerden elde edilen ve biyobozunur plastikler olarak adlandırılan biyoplastikler ve yoğun kentleşmeye bağlı olarak artan arıtma çamurları için geçerli olmaktadır. Oluşan bu tür atıkların bertarafındaki zorluklar ve ekosistemdeki en önemli alıcı ortamlardan toprak ortamındaki birikimleri nedeniyle biyobozunur plastik materyallerin de biyolojik olarak parçalanabilirlik potansiyellerinin iyice bilinmesi gereğini ortaya çıkarmıştır. Bu araştırma; mısır nişastası bazlı polilaktikasitten elde edilen biyobozunur bir plastik materyalin toprak ortamındaki biyobozunurluğuna Çanakkale ileri biyolojik atıksu arıtma tesisinden elde edilen arıtma çamurunun uygulanması durumunda, arıtma çamurunun etkisini belirlemek için kurgulanmıştır. Bu amaçla arıtma çamurunun yönetmelikçe topraklara uygulama için izin verilen dozu, bu dozun yarısı, bu dozun iki katı, bir kısım toprak:bir kısım arıtma çamuru (1:1) uygulama dozu ve hiç arıtma çamur uygulanmayan kontrol dozları olmak üzere beş doz belirlenmiş ve uygulanmıştır.

Dört aylık bir süreçte inkübatörde bekletilen örneklerden edilen verilerin istatistik sonuçlarına göre toprağa gömülen biyoplastik levhalardaki kütle kaybı örnekleme zamanına göre önemli miktarda değişmiştir ($p \leq 0,01$). Bu kütle kaybı, arıtma çamurunun farklı uygulama dozlarına göre de değişmiştir ($p \leq 0,01$). Uygulamalar içinde sekizinci örnekleme (120. Gün) zamanındaki “1:1” dozu uygulanması durumunda, biyoplastiklerin kütle kaybı en fazla olmuştur ($p \leq 0,05$).

Anahtar Kelimeler: Polilaktikasit, biyoplastik, arıtma çamuru, toprak, biyobozunma.

Effects of Municipal Sewage Sludge on Mass Loss of Bioplastic

Abstract

Humans have been exercising increasing pressure on the environment due to population pressure, industrialization, and the desire to promote social welfare, which has led to an ever-growing amount of industrial and urban waste, sewage, and plastic packing material. Lately, a similar case goes true for bioplastics, referred to as biodegradable plastics, which are produced from such natural materials as polylactic acid and for treatment sludge increasing as a result of intense urbanization. Because of the difficulty in discharging these wastes and the associated accumulation in soil which can be listed among the most prominent receiving environment, potential biodegradability of so-called plastic materials should be well known. The present experimental study is intended to investigate the effects of treatment sludge retrieved from advanced biological treatment facility in Çanakkale province on the biodegradability of biodegradable plastic materials in soil produced from (corn) starch-based polylactic acid. For the purpose of the study, the researchers determined and used five different doses, namely the dose as allowed by the regulations on the application of treatment sludge to soil, half this dose, double dose, soil:sludge (1:1), and sludge-free control dose.

The statistical results concerning the data obtained from the samples having been stored in incubator for four months revealed a significant loss in mass of the soil-buried bioplastic plants ($p \leq 0.01$). The mass loss varied according to the applied doses of treatment sludge ($p \leq 0.01$). The most severe loss in mass of the bioplastics was observed in Sample 8 (Day 120) with 1:1 dose applied ($p \leq 0.05$).

Keywords: Polylactic acid, bioplastic, sewage sludge, soil, biodegradability.

Giriş

Plastikler, çok kullanışlı olmalarına rağmen, doğaya bırakıldıklarında yüzlerce yıl parçalanmadan kaldıklarından çevre kirliliği sorununu da beraberinde getirmektedir. Dünyada ve ülkemizde hızla artan sanayileşmeye paralel olarak, atıksuların arıtımı sonucu oluşan arıtma çamurları



miktarı ve biyoparçalanabilir plastiklerin kullanım ve tüketimleri gün geçtikçe artmaktadır. Canlı yaşamını etkileyen, çevreyi kirleten ve kirliliği oluşturan unsurlar; evsel, endüstriyel ve tarımsal kaynaklı atıklardır (Topbaş ve ark., 1998).

Plastik üretimi 1950 yılında 1,5 milyon ton olmuşken, üretiminin 2010 – 2014 yılları arasında %4,1 büyüme ile artarak 2015 yılında 325 milyon tona çıktığı tahmin edilmektedir. 2016 yılında ise 2015 yılına kıyasla üretimin %3 arttığı ve 335 milyon ton olarak gerçekleştiği tahmin edilmektedir (Anonim, 2016a). Günümüzde bir yıllık sentetik plastik üretimi için en az 150 milyon ton civarında petrol kullanılmakta ve 500 milyon tonun üzerinde toksik kimyasal barındıran ve doğada çözünemeyen atık oluşmakta, bunların yanması, küresel ısınmada payı olan dioksin gibi zararlı kimyasalların ortaya çıkmasına yol açmaktadır (Prieto, 2007; Song ve ark., 2009; Rajendran ve ark., 2012).

Petrolde elde edilen sentetik polimerler, plastik atık olarak doğaya terk edildiklerinde, toprakta uzun süre parçalanamadıklarından çevre kirliliğine ve toksik madde birikimine neden olmaktadır. Bu nedenle, biyolojik olarak parçalanabilen polimerlerin üretimi önem kazanmış ve petrol kökenli polimerlerin yerini almalarına yönelik çalışmalar artmıştır (Page, 1992; Beyatlı, 1996).

Yenilenebilir karbon kaynaklarından yani biyolojik kökenli polimerlerden elde edilen plastikler olarak tanımlanan biyoplastikler, bitki, hayvan, mantar, alg veya bakteriler gibi canlı organizmalar tarafından üretilen biyolojik materyallerdir (Luengo ve ark., 2003; Rajendran ve ark., 2012; Reddy ve ark., 2012). Biyoplastikleri geleneksel plastiklerden üstün kılan özellikleri; kolay bir şekilde bozunmaları, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmaları, toksik etki bırakmamaları, geri dönüşümlerinin daha kolay olması, üretimlerinde daha az enerjiye ihtiyaç duymaları, yenilenebilir ve ekolojik olmaları şeklinde özetlenebilir (Luengo ve ark., 2003).

Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen biyoplastiklerde genellikle mısır, patates, arpa, buğday, pirinç, manyok ve sorgumdan elde edilen nişasta kullanılmaktadır (Lörcks, 1998; Momani, 2009; Cheng-Cheng, 2011). Bu grubun en yaygın örnekleri polilaktikasit (PLA) ve polihidroksialkonatlar (PHA) dır.

Polimerin parçalanmasında, bakteri, mantar, ve yüksek organizmalar biyolojik faktörler olarak; hidroliz ve oksidasyon kimyasal faktörler olarak; güneş ışığı, ıslanma ve mekanik aşınma ise fiziksel faktörler olarak etki etmektedir (Madison ve Huisman, 1999).

Atıksu arıtma tesislerinde, atıksudaki süspanse maddelerin giderimi ile ortaya çıkan sıvı ya da yarı katı halde çözünmeyen ve uygulanan arıtma işlemine bağlı olarak ortaya çıkan ağırlıkça %0,25 ile %12 katı madde içeren atıklar, arıtma çamuru olarak isimlendirilmektedir (Filibeli, 1996; Gaspard ve ark., 1997; Bilgin, 1997). Arıtma çamurları, tüm geleneksel atık su arıtma işlemlerinin kaçınılmaz son ürünüdür (Bruce ve ark., 1988).

Ülkemizde organik evsel katı atıklar ile arıtma tesislerinden çıkan arıtma çamurları organik atıklar içerisinde önemli yer tutmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumunun (TÜİK) yayınlanan belediye atıksu istatistikleri haber bülteninde yayınlanan tüm belediyelere uygulanan 2016 yılı “Belediye Atıksu İstatistikleri Anketi” sonuçlarına göre, kanalizasyon şebekesinden deşarj edilen 4,5 milyar m³ atıksuyun 3,8 milyar m³ ü atıksu arıtma tesislerinde arıtılmış ve arıtılan atıksuyun %44,5'ine gelişmiş, %31,6'sına biyolojik, %23,6'sına fiziksel ve %0,3'üne doğal arıtma uygulanmıştır. Arıtılan atıksuyun %44,9'u denize, %45'i akarsuya, %2'si baraja, %1,4'ü göl-gölete, %0,4'ü araziye ve %6,3'ü diğer alıcı ortamlara deşarj edilmiştir. Atıksu arıtma işlemleri sonucunda 299 bin ton (kuru madde bazında) atıksu arıtma çamuru oluştuğu tespit edilmiştir (Anonim, 2016b).

Artan atık çamur miktarları, çamur stabilizasyon yöntemlerinin yanı sıra çamurun yeniden değerlendirilerek değişik alanlarda kullanımını gündeme getirmiştir (Arcak ve ark., 2000; Aydın, 2004). Arıtma çamurlarının T. C. Çevre Bakanlığı katı atıklar yönetmeliği kapsamında tehlikeli atık sınıfında değerlendirildiği durumlarda belediyelerin düzenli çöp deponi alanlarına dökülmesi istenmemektedir. Arıtma çamurları kurutularak fabrikalarda yakıt olarak da tüketilmekte, ayrıca tarım alanlarında toprak düzenleyici olarak yönetmeliklerin izin verdiği sınırlı miktarlarda kullanılabilir. Tüm bu yöntemlere rağmen binlerce ton arıtma çamurunun doğada nerede ne şekilde bertaraf edileceği konusu sıkça gündeme gelmektedir. Tüm bu çalışmalar ışığında yapılan bu çalışmada; Çanakkale ili arıtma çamuruyla, oranı giderek artan biyobozunur plastiklerin birlikte düzenli deponi alanlarında toprak ortamında bastırılması durumunda biyobozunur plastik materyalin bozunma sürecine arıtma çamurunun etkisini belirlemek temel hedefimiz olmuştur.



Materyal ve Metot

Deneme materyalleri

Çanakale Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisinden elde edilen arıtma çamuru ve ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dardanos Yerleşkesi'ndeki deneme parsellerinden alınan toprak örnekleri kurutulup ezildikten sonra 2 mm gözenek çaplı elekten geçirilerek kullanılmıştır. Nature Works LLC firmasından (USA) temin edilen standart Poli Laktik Asit (PLA) topraklarından (Ingeo™ Biopolymer 4043D) ÇOMÜ FEF Kimya Bölümü Laboratuvarında tetrahidrofuran (THF) eklenerek çözülün polimer topraklar eritilmiş sonra temiz petri kaplarına dökülmüş (çözelti dökme yöntemi) ve ince filmler şeklinde elde edilen PLA materyallerden 2,5 cm çaplı dairesel levhalar şeklinde kesilerek kullanılmıştır.

Denemde kullanılan yöntemler

Alınan arıtma çamuru ve toprak örneklerinden temsilen ayrılan kısımlarda yapılan analizler ve yöntemleri Tablo 1'de belirtilmiştir.

Tablo 1. Deneme materyallerinin özellikleri ve belirlenme yöntemleri

Analizler	Uygulanan Yöntemler
Toprakta organik madde	Modifiye Walkley-Black yöntemiyle (Jackson, 1958).
Çamurda organik madde	Nemi uçurulan arıtma çamurunun 500 °C de yakılması ile (DIN EN ISO 1172)
Toprak bünyesi (tekstür)	Hidrometre yöntemi ile belirlenmiştir (Bouyoucos, 1951).
Toprak ve çamurda tarla kapasiteleri	Suya doygun hale getirilen toprak ve çamur örnekleri basınçlı membran aletinde 1/3 atmosfer basınca tabi tutularak belirlenmiştir (Klute, 1986).
Toprakta ve çamurda nem miktarları	Toprakta 105°C'de, arıtma çamurunda 70 °C de sabit ağırlığa gelen örneklerde ağırlık kaybı esasına göre belirlenmiştir (Allmaras ve Gardner, 1956).
Toprakta ve çamurda pH ve EC değerleri	Toprakta 1:2,5 toprak:su karışımında, çamurda 1:5 toprak:su karışımında pH değerleri pH-metre ile potansiyometrik olarak; EC ise EC-metre ile ölçülerek belirlenmiştir (Richards, 1954; Grewelling ve Peech, 1960).
Toprakta ve çamurda toplam ve alınabilir ağır metaller	HNO ₃ ve HCl asitlerle 3:1 oranında karıştırılarak elde edilen asit karışımında (Kral suyu) yaş yakılan örneklerde Perkin Elmer Optima 8000, ICP-OES cihazıyla belirlenmiştir.
Toprakta kireç	Scheibler kalsimetresi kullanılarak tayin edilmiştir (Allison ve Moodie, 1965).
PLA levhalarda kütle kaybı	Ultra hassas terazide PLA ağırlıkları değişimi ölçülerek farklar kaydedilmiştir.
Toprak ve çamurda toplam N	LECO C-N elementel analiz cihazı ile (Kirsten, 1983)
Toprak ve çamurda toplam P	Perkin Elmer Optima 8000, ICP-OES cihazıyla belirlenmiştir.
Toprak ve çamurda toplam K	Perkin Elmer Optima 8000, ICP-OES cihazıyla belirlenmiştir.

İnkübasyon denemesinin kurulması

İnkübasyon denemesinin kurulması amacıyla, 1L'lik silindirik standart cam kavanozlara 400 g toprak ve farklı oranlarda arıtma çamuru konulmuş ve kodlamaları yapılmıştır. Karışım kodları ve deneme materyalleri miktarları aşağıdaki Tablo 2' de verildiği gibidir.

Tablo 2. Denemede uygulanan deneme materyalleri, dozları, PLA adetleri ve karışım kodları

Dozlar	Kod	Arıtma Çamuru Miktarı (g)	Toprak Miktarı (g)	Kavanoz x PLA (Adet)
½ x Max	A	43	400	3 x 4
Max	B	86	400	3 x 4
2 x Max	C	172	400	3 x 4
1:1	D	200	200	3 x 4
Kontrol	K	0	400	3 x 4

Arıtma çamurunun ve toprak örneklerinin ağır metal analizleri yapılarak yönetmelikler kapsamındaki (3 Ağustos 2010 tarih ve 27661 sayılı Resmi Gazete ile çıkarılan yönetmelik Anonim, 2010) topraklara uygulanabilir maksimum çamur dozu belirlenmiştir. Bu dozun yarısı ve iki katı hesaplanarak iki doz daha belirlenmiştir. Ayrıca kütle esasına dayalı olarak 1:1 (1 Kısım Çamur : 1 Kısım Toprak) oranında bir doz, arıtma çamurunun düzenli depolanması durumunda deponi alanlarındaki şartlara benzetme amacıyla denenmiştir. Kontrol olarak ise hiç arıtma çamuru katılmayan kavanozlara biyobozunur PLA plastik filmleri yerleştirilmiştir. Kavanozlara PLA yerleştirme işlemlerinde materyalde belirtildiği şekilde hazırlanan PLA filmler hassas terazide tartılmış olup, her kavanoza 4'er adet önceden hazırlanan 2 mm gözenek açıklığında dayanıklı



polipropilen malzemeden elle yapılmış keselerin içine konularak yaklaşık 45 derecelik açıyla kavanozdaki ortamlara gömülmüştür. Kavanozların ağzı havalanmayı engellemeyecek ve nemi koruyacak şekilde yarı geçirgen plastik film (koroza marka) ile kapatılmış ve mikroorganizmaların PLA levhalarını parçalayabilmesi için gerekli optimum koşulları sağlamak amacıyla tarla kapasitesi düzeyinde her kavanoza farklı miktarlarda su ilavesi yapılmıştır. Hazırlanan örnekler inkübatöre yerleştirilerek ve her iki haftada bir seri örnek seti incelenmek üzere inkübatörden çıkarılmıştır. Toplam dört ay ve her ayda iki kez olmak üzere sekiz hafta 24 °C sabit sıcaklıkta ve karanlıkta inkübasyona tabi tutulan örneklerde kütle kaybı analizleri yapılarak veriler toplanmıştır.

Denemede özetle; kontrol dâhil beş arıtma çamuru dozu, her dozun üç tekrarı ve her tekrarda dört PLA parçası incelenmiştir. Bu da; 5 doz x 3 tekrar x her kavanozda 4 levha x 8 inkübasyon zamanı = 480 adet plastik levha incelendiği anlamına gelmektedir.

Verilerin istatistiksel analizleri

İstatistik analizler MİNİTAB16 İstatistik Paket Programı yarımınıyla genel doğrusal modelleme varyans analizi yapılarak sonuçlar arası farklar En Küçük Asgari Farklara (LSD) göre değerlendirilerek uygulamalar arasındaki değişimler farklı harflerle ifade edilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Deneme toprağının özellikleri:

Araştırmada materyal olarak kullanılan toprak ve arıtma çamurunun özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Araştırma materyallerinin temel özellikleri

İncelenen Özellik	Toprak	Arıtma Çamuru
Organik madde (%)	1,81	42,73
pH	8,01	6,39
EC (dS/m)	0,42	1,46
CaCO ₃ (%)	11,86	-----
Bünye	Tın (%51 Kum, %35 Tın, %14 Kil)	-----
Toplam N (%)	0,07	4,36
Toplam P (mg/kg)	932	19291
Toplam K (mg/kg)	1652	1728
Hava kuru nem (%)	4,21	9,65
Tarla kapasitesi (%)	21,98	48,66

Elde edilen verilere göre deneme toprağı hafif alkali reaksiyon göstermektedir. Organik madde içeriğı az olup, tuzsuz, tınlı bünyeli ve orta derece kireçlidir. Arıtma çamuru ise; organik madde, toplam azot, toplam fosfor ve toplam potasyum bakımından deneme toprağından zengin olup temel analiz değerleri Tablo 3'te görülmektedir.

Deneme materyallerinin toplam ağır metal kapsamı

Araştırmada materyal olarak kullanılan arıtma çamuru ve deneme toprağının alınabilir ve toplam bazı ağır metal kapsamı Tablo 4'te verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, kullanılan arıtma çamurunun toplam Zn kapsamı 364,67 mg kg⁻¹, deneme toprağının toplam çinko kapsamı ise 42,44 mg kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Çanakkale Belediyesi Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi'nden elde edilen arıtma çamurunda yüksek oranda Zn içermesi nedeniyle en kritik olan ağır metal olarak nitelendirilmiştir. Denemede kullanılan maksimum doz miktarını arıtma çamurundaki Zn miktarları dikkate alınarak Çevre Bakanlığı yönetmeliklerinin izin verdiği çinko kapsamına göre hesaplanarak belirlenmiştir.

Tablo 4. Araştırma materyallerinin bazı alınabilir ve toplam ağır metal kapsamı

Metaller (mg kg ⁻¹)	Alınabilir		Toplam	
	Toprak	Arıtma Çamuru	Toprak	Arıtma Çamuru
Cu	1,587	1,009	8,959	46,33
Cr	0,009	0,079	37,93	32,35
Pb	0,028	5,911	11,00	16,21
Ni	0,996	5,251	49,55	24,41
Cd	0,026	0,120	0,228	0,621
Zn	1,202	366,0	42,44	729,34



İnkübasyon süresi ve dozlara göre biyoplastiklerin kütle kaybı

Yapılan istatistik analizlere göre “Örnekleme zamanı x Arıtma çamuru dozları” interaksyonu istatistik olarak önemli olmuş, PLA bazlı biyobozunur plastik levhalarda, sekizinci örnekleme (120. Gün) zamanındaki “1:1” uygulama dozunda ağırlık kaybı en fazla olmuştur ($p \leq 0,05$). Ayrıca örnekleme zamanına göre en az ağırlık kaybı birinci örneklemede (15. Gün) “1/2 x max. doz” uygulama dozunda elde edilmiştir. Deneme öncesi elastikiyete sahip olan biyoplastiklerde zaman ilerledikçe “2 x Max.” doz ve “1:1 Doz” içerisinde ileri derecede elastikiyet kaybı olmuş plastiklerde kırılma ve parçalanma artmıştır (Tablo 5).

Kale ve ark. (2007a), biyoplastiklerin biyodegradasyon oranlarını etkileyen faktörleri; ortam koşulları ve polimer özellikleri olarak iki grupta kategorize etmiştir. Araştırmacı diğer bir araştırmasında PLA malzemeden yapılan iki ambalajı 30 günlük kompostlama koşullarına tabi tutmuş ve fiziksel bozunma özelliklerini 1, 2, 4, 6, 9, 15 ve 30 günlerde ölçmüşler ve plastiklerin başlangıç kristal yapıları ile plastik ambalajların bulunduğu ortam pH'larının bozunma sürecindeki en önemli iki etki olduğunu belirtmişlerdir (Kale ve ark., 2007b).

Plastiklerin bozulma hızları konusunda yapılan bir başka çalışmada; ambalajların başlangıç kristalleri ve L- laktid kapsamları değiştiğinde bozunum oranlarının da değiştiği ifade edilmiştir. Bu çalışmada kompost yığının sıcaklığı, bağıl nemi ve pH değerlerinin paketlerin bozulma hızında önemli bir rol oynadıkları ve bozunma koşullarındaki nispi nem arttıkça bozunma hızlarının hızlı bir şekilde arttığını belirtmişlerdir (Ho ve ark., 1999).

Tablo 5. Plastik levhaların ağırlık kayıpları istatistik analiz sonuçları

Haftalar	Kontrol	½ x Max. Doz	Max. Doz	2 x Max. Doz	1:1 Doz
1	0,000242 D-E*	0,000158 E	0,000825 B-E	0,000533 C-E	0,000675 B-E
2	0,001700 A-D	0,001408 B-E	0,001008 B-E	0,001125 B-E	0,001133 B-E
3	0,001558 B-E	0,001358 B-E	0,001717 A-D	0,001383 B-E	0,001850 A-C
4	0,001117 B-E	0,001383 B-E	0,001333 B-E	0,002042 AB	0,002117 AB
5	0,001058 B-E	0,001067 B-E	0,001425 B-E	0,001458 B-E	0,001533 B-E
6	0,000867 B-E	0,001308 B-E	0,001075 B-E	0,001350 B-E	0,001550 B-E
7	0,000842 B-E	0,001200 B-E	0,001158 B-E	0,001458 B-E	0,002008 A-C
8	0,000867 B-E	0,001250 B-E	0,001283 B-E	0,001758 A-C	0,003600 A

*: Farklı hafler zamana bağımlı olarak uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir.

Sonuç ve Öneriler

Dört aylık bir süreçte elde edilen verilere göre biyobozunur plastiklerin bozunum sürecinde arıtma çamuru oranının artması ile plastiklerin bozunum oranının arttığı gözlenmiştir. Bu çalışma sonucu biyoplastiklerin düzenli katı atık depolama alanlarına kentsel arıtma çamuruyla birlikte uygulanması durumunda biyoplastiklerin bozunma sürecinin artabileceği söylenebilir. Biyobozunur plastiklerin katı atık düzenli deponi alanlarında arıtma çamuru ile birlikte uygulanması durumunda bozunma sürecine en fazla etki eden dozun “1:1” (toprak;çamur) dozu olduğu anlaşılmıştır. Artan çamur dozları ve değişen zamana bağımlı olarak (interaksiyon etkisi), plastiklerin kütle kaybı sayısal olarak görülse de istatistik olarak bu kütle kayıpları önemsiz olmuştur. Arıtma çamuru miktarları katı atıkların kontrolü yönetmeliği gereği en yüksek ağır metal içeriği baz alınarak hesaplandığı için tarım alanlarında uygulanamayacak kadar yüksek dozlarda denenmiştir. Arıtma çamuru dozları her arıtma tesisinden elde edilen çamurlar farklı ağır metal içerebileceğinden her il atıkları için ayrıca araştırılabilir. Arıtma çamurlarının düzenli deponi alanlarında biyobozunur plastiklerle birlikte bastırılmasıyla giderek artan PLA bazlı plastiklerin de deponi alanlarında daha fazla ve hızlı ayrışıp parçalanabileceği anlaşılmıştır.

Not: Bu makale ÇOMÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı Öğrencisi Nurgül Uzunboy'un "Arıtma Çamurunun Toprakta Biyobozunur Plastiklerin Mineralizasyonu Üzerine Etkisinin Araştırılması" isimli Yüksek Lisans tez çalışmasından türetilmiştir. Bu araştırma ÇOMÜ BAP Komisyonu Başkanlığı tarafından ÇOMÜ FYL-2016-1052 No.'lu Proje numarasıyla desteklenmiştir.

Kaynaklar

Allison, L.E., Moodie, C.D., 1965. Carbonate. In:C.A. Black et al.(ed.) Methods of Soil Analysis, Part 2. Agronomy 9;1379-1400. Am. Soc. of Agron., Inc., Madison, Wisconsin, USA.



- Allmaras, R.R., Gardner, C.O., 1956. Soil sampling for moisture determination in irrigation experiments. *Agron Jour.*,48;15-17.
- Anonim, 2010. Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (3 Ağustos 2010 tarih ve 27661 sayılı Resmi Gazete).
- Anonim, 2016a. PAGEV. Dünya Plastik Sektör Raporu 2016, <https://www.pagev.org/dunyaplastik-sektor-raporu-2016-58984b2f8a497> (online erişim; 28.12.2017).
- Anonim, 2016b. TÜİK. Belediye Atıksu İstatistikleri. Haber Bülteni, Sayı: 24875.
- Beyathı, Y., 1996. Mikrobiyal termoplastik üretimi, *KÜKEM Dergisi*, 19(2) 23-32.
- Bilgin, N., 1997. Arıtma çamuru ve Türkiye'de katı atıkların kontrolü yönetmeliği üzerine görüşler, *Standard, Mayıs*, 113-117.
- Bouyoucos, G.J., 1951. A recalibration of hydrometer method for making mechanical analysis. *Agronomy Journal*, 43:434-438.
- Bruce, A.M., Davis, R.D., 1988. "Sewage Sludge Disposal: Current and Future Options", *Water Science Technology Vol.21, No.10-11*, 1113–1128.
- Cheng-Cheng, F., 2011. Bio plastics development planning in Thailand. Invest in Taiwan. http://investtaiwan.nat.gov.tw/news/ind_news_eng_display.jsp?newsid=72 (online erişim; haziran 2015).
- DIN EN ISO 1172, 1998. Prepregs, Formmassen und Laminate – Bestimmung des Textilglas- und Mineralfüllstoffgehalts – Kalzinierungsverfahren [Textile-glass-reinforced plastics – Prepregs, moulding compounds and laminates – Determination of the textile-glass and mineral-filler content; calcination methods]. Deutsches Institut für Normung, Germany.
- Filibeli, A., 1996. Arıtma Çamurlarının İşlenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 255, İzmir.
- Gaspard, P., Wiart, J., Schwartzbrod, J., 1997. Parasitological contamination of urban sludge used for agricultural purposes, *Waste Management and Research* (15), 429-436.
- Grewelling, T., Peech, M., 1960. Chemical Soil Test. *Cornel Univ. Agr. Exp. Sta. Bull. 960. Hand Book. 60. U.S. Dept. of Agriculture.*
- Jackson, M. L., 1958. *Soil Chemical Analysis*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Ho, K-L.G., Pometto, A.L., Hinz, P.N., 1999. Effects of temperature and relative humidity on polylactic acid plastic degradation. *Journal of Polymers and the Environment*, 7: 83. <https://doi.org/10.1023/A:1021808317416>.
- Kale, G., Kijchavengkul, T., Auras, R., Rubino, M., Selke, S.E., Singh, S.P., 2007a. Compostability of bioplastic packaging materials: An overview. *Macromol. Biosci.*, 7: 255–277. doi:10.1002/mabi.200600168.
- Kale, G., Auras, R., Singh, S.P., 2007b. Comparison of the degradability of poly(lactide) packages in composting and ambient exposure conditions. *Packag. Technol. Sci.*, 20: 49–70. doi:10.1002/pts.742.
- Kirsten, W.J., 1983. *Organic Elemental Analysis*. Academic Press, New York, USA.
- Klute, A., 1986. *Water Retention: Laboratory Methods. Methods of Soil Analysis Part1.2nd Ed. Agronomy 9. Am. Soc. Argon., 635-660, Madison. USA.*
- Lörcks, J., 1998. Properties and applications of compostable starch-based plastic material. *Polymer Degradation and Stability* 59(1–3):245–249.
- Luengo, J.M., Garcı́a. B., Sandoval, A., Naharro, G., Olivera, E.R., 2003. Bioplastics from microorganisms. *Current Opinion in Microbiology*, 6:251–260.
- Momani, B., 2009. Assessment of the Impacts of Bioplastics: Energy usage, fossil fuel usage, pollution, health effects, effects on the food supply, and economic effects compared to petroleum based plastics. An Interactive Qualifying Project Report, Submitted to the Faculty of the Worcester Polytechnic Institute, <http://www.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-031609-205515/unrestricted/bioplastics.pdf> (online erişim; 28.12.2017).
- Page, W.J., 1992. Suitability of commercial beet molasses fractions as substrates for polyhydroxyalkanoate production by *Azotobacter vinelandii* UWD, *Biotechnology. Letter* 14 (5): 385-390.
- Prieto, M.A., 2007. From oil to bioplastics, a dream come true?. *Journal of Bacteriology* 189: 289–290.
- Rajendran, N., Puppala, S., Sneha Raj, M., Ruth Angeeleena B., Rajam, C., 2012. Seaweeds can be a new source for bioplastics. *Journal of Pharmacy Research* 5(3): 1476-1479.
- Reddy, M.M., Misra, M., Mohanty, A.K., 2012. Bio-based materials in the new bio-economy. American Institute of Chemical Engineering (AIChE), Chemical Engineering Proses (CEP), www.aiche.org/cep (online erişim 28.12.2017).
- Richards, L.A., 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. United States Department of Agriculture Handbook 60:94.
- Song, J.H., Murphy, R.J., Narayan, R., Davies, G.B.H., 2009. Biodegradable and compostable alternatives to conventional plastics. *Philosophical Transactions of The Royal Society* 364: 2127–2139.
- Topbaş, M.T., Brohi A.R. ve Karaman, M.R., 1998. Çevre Kirliliği, T.C. Çevre Bakanlığı Yayınları, Ankara.