

## Aritma Çamurlarının Stabilizasyonuna Alternatif Bir Yaklaşım: Vermistabilizasyon

İlker ANGIN

Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü  
25240-ERZURUM (iangin@atauni.edu.tr)

Geliş Tarihi : 20.10.2016

Kabul Tarihi : 14.11.2016

**ÖZET:** Atıkların tarım, ormancılık ve ıslah amaçlı kullanımı gerek toprak verimliliğinin artırılması gerekse de toprak koruma açısından oldukça önemlidir. Atıkların tarımda kullanılması bu malzemelerin ekonomik olarak değerlendirilmesinin yanı sıra çevre üzerine olan olumsuz etkilerini de minimize edecektir. Atıkların yeni kirliliklere yol açmadan değerlendirilmesi, ekosistemin işlevselliğinin ön koşuludur. Aritma çamurları bünyelerinde büyük oranda organik madde ve bitki besin elementi içeren yoğun bir süspansiyondur. Aritma çamurları içerisindeki makro bitki besin elementlerine ilave olarak bitki gelişmesi için gerekli olan mikro besin elementlerini de içermektedirler. Ham çamurların tarım alanlarına yararlı ve çevreye uyumlu bir şekilde uygulanması için stabilize edilmeleri bir zorunluluktur. Ham çamurlar ancak stabilize edildikten sonra arıtma çamuru olarak isimlendirilirler. Stabilizasyon işlemi ise hiç kuşkusuz hem yatırım maliyetini hem de işletme masrafını artıran bir girdi olarak karşımıza çıkmakta ve birçok işletme tarafından göz ardı edilmektedir. Bu derleme arıtma çamurlarının mevcut stabilizasyon yöntemlerine alternatif olarak öngörülen, daha ekonomik ve her işletmenin kolayca yapabileceği vermistabilizasyon yöntemini irdelemek amacıyla hazırlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Aritma çamuru; stabilizasyon; vermistabilizasyon

### An Alternative Approach to the Stabilization of Sewage Sludge: Vermistabilization

**ABSTRACT:** The use of wastes in agriculture, forestry and land reclamation is increasingly being identified as an important issue for soil fertility and conservation. Using wastes in agriculture not only helps to dispose these materials economically, but also reduces negative effects of them on environment. Evaluation of waste for not to cause new pollutions, is a prerequisite for the functioning of ecosystem. Sewage sludge is a concentrated suspension of solids, largely composed of organic matter and nutrient-laden organic solids. In addition to major plant nutrients in its content, sewage sludge also contains trace elements that are essential for plant growth. To ensure the application of sludge onto agricultural lands in a beneficial and environmentally acceptable manner, stabilization is a must. The raw sludge is named as sewage sludge only after stabilization process. Stabilization of sludge undoubtedly increases both the investment and cost operations of the treatment plants and ignored by many treatment plants. This study was prepared to evaluate effectiveness of an economic and easy stabilization method, vermistabilization, as an alternative to the existing sludge stabilization methods.

**Keywords:** Sewage sludge; stabilization; vermistabilization

### GİRİŞ

Günümüzde giderek önem kazanmakta olan doğal çevrenin korunması, atıkların büyük ölçüde çevre ile uyumlu hale getirilerek bilinçli bir şekilde ortadan kaldırılması veya arazide kullanımı ile olasıdır. Atıkların yeni kirliliklere yol açmadan değerlendirilmesi, ekosistemin işlevselliğinin ön koşuludur.

İçme suyu ve/veya atık sulara uygulanan fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma işlemleri sonucu ortaya çıkan çökebilir veya yüzebilir maddeler çamur olarak adlandırılabilir. Ülkemizde arıtma tesisi sayısının her geçen gün artması, elde edilen çamurların nasıl değerlendirileceği konusunu yoğun olarak gündeme getirmektedir. Sanin vd. (2011)'ne göre Türkiye'de kişi başına tahmini günlük çamur üretim miktarı 33 g (kuru madde) olup, bu değer ülke toplamı için günlük 2530 ton'a karşılık gelmektedir. Elde edilen bu çamurları bertaraf etme işlemleri arıtma tesisinin toplam yatırım masrafının %20-30'unu, işletme masrafının ise %50'sini oluşturmaktadır (Yıldız vd., 2009). Söz konusu maliyetlerden dolayı elde edilen bu çamurların büyük

bir bölümü herhangi bir stabilizasyon yöntemine tabi tutulmadan direkt olarak tarım alanlarında kullanılmakta veya oluşturulan çöplüklerde kontrolsüz bir şekilde depolanmaktadır. Ancak, önemli bir organik gübre kaynağı olan bu çamurların konvansiyonel tarım alanlarında ve ağaçlandırma sahalarında kullanımında veya depolanmasında potansiyel çevre kirliliği olmasına izin verilmemelidir. Bu ve benzeri atıkların çevreye zarar vermeden bertaraf edilmesi, mevzuat çerçevesinde kullanımı ile ekonomiyi de yakından ilgilendirmektedir.

Atık suların işlendiği arıtma tesislerinde kendiliğinden çöken, sıvı veya yarı katı halde, kokulu, uygulanan arıtma işlemine bağlı olarak ağırlıkça %0,25 ile %12 katı madde içeren atıklar "ham çamur" olarak isimlendirilmektedir (Riffat, 2012). Atık su arıtma tesislerinden elde edilen ham çamurların içerisindeki bakteri, enterik virüs, protozoa ve helmintler gibi patojenleri gidermek, istenmeyen kötü koku oluşumunu bertaraf edebilmek ve potansiyel bozunmayı azaltmak amacıyla stabilize

edilmeleri gerekmektedir. Ham çamurlar stabilize edilerek ekolojik yönden kullanıma uygun hale getirildikten sonra “arıtma çamuru” veya “biyokati” olarak tanımlanmaktadır (Anonim, 1996; Bilgin vd., 2002; Epstein, 2003). Ancak bu gibi işlemlerden sonra arıtma çamurları tarım alanlarında kullanılabilir, düzenli depolanabilir, ilave ham madde olarak kullanılabilir veya enerji geri kazanım seçeneği olarak değerlendirilebilirler. Ham çamurun stabilizasyon işlemi hiç kuşkusuz hem yatırım maliyetini hem de işletme masrafını artırmaktadır. Bu itibarla küçük ve orta ölçekli arıtma tesisine sahip işletmelerde bu maliyetten kaçınılmakta, ham çamurlar stabilizasyon işlemine uğratılmadan direkt olarak ya kullanılmakta ya da depolanmaktadır. Doğru kullanımında önemli bir kaynak, hatalı kullanımı da öngörülemez pek çok probleme sebep olabilecek bu çamurların stabilizasyonu bir zorunluluktur. Bu derleme arıtma çamurlarının mevcut stabilizasyon yöntemlerine alternatif olarak öngörülen, daha ekonomik ve her işletmenin kolayca yapabileceği vermistabilizasyon yöntemini irdelemek amacıyla hazırlanmıştır.

#### **ARITMA ÇAMURLARININ TARIMDA KULLANIM ESASLARI**

Arıtma çamurları; bünyelerinde organik bileşikler ve bitki gelişimi için gerekli makro ve mikro bitki besin elementlerini bulundurmaktadırlar. Azot, fosfor ve potasyum içerikleri arıtma çamurlarının gübre değerini ortaya koymakta, organik madde içerikleri de bu materyalin toprak düzenleyicisi olarak kullanılabilirliği açısından ayrı bir önem taşıdığını göstermektedir (Epstein, 2003). Arıtma çamurlarının içerisinde bulunan besin elementlerinin kullanımı ile toplam ticari gübre ihtiyacı azaltılmakla kalmaz, aynı zamanda toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinde de iyileştirmeler sağlanabilir. Ülkemizde 2014 yılında kullanılan kimyasal gübre miktarının 11 milyon ton (TÜİK, 2015) olduğu göz önüne alındığında, bu materyalin tarımda kullanımının ülke ekonomisi açısından ne derece önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Arıtma çamurlarının kullanımında en önemli ölçütlerden birisi ham çamurun uğradığı stabilizasyon/dezenfeksiyon işlemidir. Stabilizasyon ile ham çamurların içerisindeki patojenler yok edilir, istenmeyen kötü koku oluşumunun önüne geçilir ve potansiyel bozunma azaltılır. Stabilizasyon yöntemlerinin bazıları ham çamurun

dezenfeksiyonunu sağlarken, bazıları dezenfeksiyonu tam olarak sağlayamamaktadır. Çamur stabilizasyonu için kullanılan yöntemler 3 ana grup altında toplanabilir (Filibeli, 2013). Bu yöntemlerden herhangi biri ile stabilizasyona uğramış olan ham çamur “arıtma çamuru” olarak adlandırılır ve bu sayede bir kaynak olarak değerlendirilebilir. Bunlar;

- *Kimyasal yöntemler*: Kireç stabilizasyonu,
- *Biyolojik yöntemler*: Aerobik çürütme, Anaerobik çürütme, Kompostlama ve
- *Termal yöntemler*: Isıl işlem olarak sıralanabilirler.

Avrupa Birliği atık politikasına göre yönetim önceliği sırası ile minimizasyon, geri kazanım, enerjiyi tekrar kazanarak yakma ve düzenli depolamadır. Yönetim önceliğinden de anlaşıldığı gibi atık miktarının azaltılmasından sonraki en önemli öncelik geri kazanımdır. Geri kazanımda da en birincil kullanım alanı tarımdır. Amerika Birleşik Devletlerinde ortaya çıkan arıtma çamurlarının %55’i, Avrupa Birliğinde ise ülkelere göre farklılık göstermekle birlikte %10-80’i tarımda kullanılmaktadır (Spinosa ve Vesilind, 2001). Arıtma çamurlarının tarımda kullanımı ile ilgili olarak ABD, Avrupa Birliği ve Türkiye’de yürürlükte olan yönetmelikler aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Amerika Birleşik Devletlerinde arıtma çamurlarının tarımda kullanımı USEPA’nın hazırladığı “40 numaralı Federal Yönetmelik Kısım 503” ile düzenlenmiştir. Bu yönetmeliğe göre arıtma çamurları “A Sınıfı (Doğrudan temas için güvenli)” ve “B Sınıfı (Arazide veya bitkisel üretimde kısıtlı kullanım)” olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır (USEPA, 1994) (Çizelge 1). A ve B Sınıfı arıtma çamurlarını birbirlerinden ayıran tek parametre, tabi tutuldukları işlem sonucu içerdikleri bakteri/patojen miktarlarıdır. A sınıfı arıtma çamurlarının içerisindeki fekal koliform miktarının 1000 MPN (en muhtemel sayı)/g’ın, *Salmonella* sp. bakteri miktarının ise 3 MPN/4 g’ın altında olması gerekmektedir. A Sınıfı arıtma çamurları içerisindeki bakteri/patojen miktarı belirli çevre koşulları altında doğal olarak görülebilir. Bununla birlikte yönetmelik içerisinde araziye uygulanacak arıtma çamurları için izin verilen kirlilik konsantrasyon limitleri belirtilmiştir (USEPA, 1995) (Çizelge 2). Eyaletler arasında söz konusu kirlilik konsantrasyon limitlerinde azaltıma gidilememekte ancak artırımı gidilememektedir.

Çizelge 1. ABD Çevre Koruma Ajansı'na göre arıtma çamurlarının arazide kullanım esasları (USEPA, 1994)

Kullanım Alanları	A Sınıfı	B Sınıfı
Arıtma çamuruna veya toprağa temas eden gıda ürünlerinin yetiştirildiği alanlar	Kullanılır	Arıtma çamuru uygulaması ile hasat arasında en az 14 aylık bir süre olmalıdır.
Kök bitkilerinin yetiştirildiği alanlar	Kullanılır	Arıtma çamuru toprağa karıştırılmadan önce toprak yüzeyinde 4 ay veya daha fazla kalıyorsa, arıtma çamurunun toprağa uygulanması ile bitkinin hasadı arasında en az 20 aylık bir süre olmalıdır. Arıtma çamuru toprağa karıştırılmadan önce toprak yüzeyinde 3 ay veya daha az kalıyorsa, arıtma çamurunun toprağa uygulanması ile bitkinin hasadı arasında en az 38 aylık bir süre olmalıdır.
Yenen kısımları toprağa temas etmeyen diğer gıda, lif ve yem bitkilerinin yetiştirildiği alanlar	Kullanılır	Arıtma çamuru uygulaması ile hasat arasında en az 30 günlük bir süre olmalıdır.
Otlama alanları	Kullanılır	Arıtma çamuru uygulamasını takip eden ilk 30 günde otlama yaptırılmamalıdır.
Halka temasın yüksek olduğu yeşil alanlar	Kullanılır	Uygulanan alanın kullanımı için 1 yıl beklenmelidir.
Halka temasın düşük olduğu yeşil alanlar	Kullanılır	Uygulanan alanın kullanımı için 30 gün beklenmelidir.

Çizelge 2. ABD Çevre Koruma Ajansı'na göre araziye uygulanacak arıtma çamurları için izin verilen kirlilik konsantrasyon limitleri (USEPA, 1995)

Kirletici*	Azami Konsantrasyon (mg/kg) <sup>1</sup>	Kümülatif Konsantrasyon (kg/ha)	Yıllık Konsantrasyon (kg/ha)
Arsenik	75	41	2
Kadmiyum	85	39	1,9
Bakır	4300	1500	75
Kurşun	840	300	15
Cıva	57	17	0,85
Molibden <sup>2</sup>	75	-	-
Nikel	420	420	21
Selenyum	100	100	5
Çinko	7500	2800	140

\* Krom 1995 yılında yönetmelikten çıkarılmıştır; <sup>1</sup> Kuru madde olarak; <sup>2</sup> Molibden için geçerli olan değerler 25 Şubat 1994 tarihinde yönetmelikten çıkarılmıştır.

Arıtma çamurlarının Avrupa Birliği ülkelerinde kullanımına ilişkin tüm yönetim stratejileri AB Çamur Direktifinde (86/278/EEC) tanımlanmıştır. Daha sonra yapılan revizyonlar neticesinde direktif 27 Nisan 2000 tarihinde son şeklini almıştır. Bu yönetmeliğe göre arıtma çamurları “Yüksek Standart” ve “Geleneksel Standart” olmak üzere iki grup altında değerlendirilmektedir (Anonim, 2000) (Çizelge 3). Tıpkı USEPA’da olduğu gibi bu iki

sınıfı birbirlerinden ayıran tek parametre tabii tutuldukları işlem sonucu içerdikleri bakteri/patojen miktarlarıdır. Ancak AB Çamur Direktifinde (86/278/EEC) bu patojen/bakteri miktarları spesifik olarak tanımlanmamıştır. Yönetmelik içerisinde araziye uygulanacak arıtma çamurları için izin verilen kirlilik konsantrasyon limitleri de belirtilmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 3. Avrupa Birliği'nde arıtma çamurlarının arazide kullanım esasları (Anonim, 2000)

Kullanım Alanları	Yüksek Standart	Geleneksel Standart
Mer'a alanları	Kullanılır	Kullanılır ancak derine enjekte edilmeli ve arıtma çamuru uygulaması ile otlama arasında en az 6 haftalık bir süre olmalıdır.
Yem bitkilerinin yetiştirildiği alanlar	Kullanılır	Kullanılır ancak uygulamadan sonra 6 hafta geçmeden hasat yapılmamalıdır.
İşlenebilir tarım alanları	Kullanılır	Kullanılır ancak derine enjekte edilmeli veya derhal sürülerek toprakla karıştırılmalıdır.
Toprakla temas eden sebze ve meyvelerin yetiştirildiği alanlar	Kullanılır	Kullanılamaz. Uygulamadan sonra 12 ay geçmeden hasat yapılmamalıdır.
Toprakla temas eden ve çiğ olarak tüketilen sebze ve meyvelerin yetiştirildiği alanlar	Kullanılır	Kullanılamaz. Arıtma çamuru uygulamasından sonra 30 ay geçmeden hasat yapılmamalıdır.
Meyve ağaçları, bağlar, ağaçlandırma alanları ve ormanların yeniden ağaçlandırılması	Kullanılır	Kullanılır ancak derine enjekte edilmeli ve uygulamadan sonraki 10 ay boyunca halkla temas olmamalıdır.
Halka temasın yüksek olduğu yeşil alanlar	Kullanılır ancak iyi stabilize olmalı ve koku oluşturmamalıdır	Kullanılamaz
Doğal ormanlar	Kullanılamaz	Kullanılamaz
Arazi ıslahı	Kullanılır	Kullanılır ancak uygulamadan sonraki 10 ay boyunca halkla temas olmamalıdır.

Çizelge 4. Avrupa Birliği'nde araziye uygulanacak arıtma çamurları için izin verilen kirlilik konsantrasyon limitleri (Anonim, 2000)

Kirletici	Azami Konsantrasyon (mg/kg) <sup>1</sup>	Yıllık Konsantrasyon (g/ha) <sup>2</sup>
Kadmiyum	20 – 40	150
Bakır	1000 – 1750	12000
Cıva	16 – 25	100
Nikel	300 – 400	3000
Kurşun	750 – 1200	15000
Çinko	2500 – 4000	30000

<sup>1</sup> Kuru madde olarak; <sup>2</sup> 10 yıllık süre göz önüne alınarak her yıl uygulanmasına izin verilen miktar

Ülkemizde arıtma çamurlarının kullanımına ait kriterler ve sınırlandırmalar 3 Ağustos 2010 tarih ve 27661 sayılı Resmi Gazete de yayınlanarak yürürlüğe giren “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik” ile belirlenmektedir. Bu yönetmeliğe göre, stabilize edilmemiş olan çamurların her şekildeki kullanımın yasak olduğu, stabilize edilmiş çamurların ise ancak meyve ağaçlarında kullanılabileceği ifade edilmiştir. Hayvan otlatma ya da hayvan yemlerinin hasadının yapılacağı alanlarda ise arıtma çamuru uygulamasından sonra en az 4 haftalık bir sürenin

geçmesi gerektiği belirtilmiştir. Bunun haricindeki bütün kullanımlar yasaklanmıştır. Yönetmelik içerisinde yer alan ve araziye uygulanacak arıtma çamurlarında izin verilebilecek maksimum ağır metal içerikleri Çizelge 5'te verilmiştir (Resmi Gazete, 2010).

Çizelge 5. Türkiye'de Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmeliğe göre arıtma çamurlarında izin verilebilecek maksimum ağır metal içerikleri (Resmi Gazete, 2010)

Kirletici	Azami Konsantrasyon (mg/kg) <sup>1</sup>	Yıllık Konsantrasyon (g/da) <sup>2</sup>
Kurşun	750	225
Kadmiyum	10	3
Krom	1000	300
Bakır	1000	300
Nikel	300	90
Çinko	2500	750
Cıva	10	3

<sup>1</sup> Kuru madde olarak; <sup>2</sup> 10 yıllık süre göz önüne alınarak her yıl uygulanmasına izin verilen miktar

İncelenen bütün standartlarda da görüldüğü üzere ham çamurun her şekildeki kullanımı yasaktır. Ham çamurlar ancak stabilize edilerek ekolojik yönden uygun hale getirildikten sonra belirtilen kriterler altında tarımda kullanılırlar. ABD Çevre Koruma Ajansı ve Avrupa Birliği tarafından ortaya konulan kullanım esasları dikkate alındığında arıtma çamurlarının uğradıkları stabilizasyon yöntemlerine bağlı olarak 2 gruba ayırdıkları ve kullanımlarının bu yöntemlere göre belirlendiği görülmektedir. Ancak ülkemizde yürürlükte olan yönetmelikte ne stabilizasyon yöntemleri belirtilmiş ne de diğer arazi kullanım izinleri ve kısıtları ifade edilmiştir. Mevcut yönetmelikte arıtma çamurları bir kaynak olarak nitelendirilmekten daha çok bir atık olarak görülmüş ve kullanımından kaçınılmıştır. Oysa gelişmiş olan ülkelerde bu kaynaktan çok daha fazla yararlanılmakta ve kullanımı teşvik edilmektedir. Mevcut yönetmeliğimizin bu gerçekler dikkate alınarak en kısa zamanda revize edilmesi gerekmektedir. Yapılması gereken revizyonda kuşkusuz en önemli hususu ham çamurların uğrayacakları stabilizasyon yöntemleri oluşturacaktır. Bu yüzden arıtma çamurlarının mevcut stabilizasyon yöntemlerine alternatif olabilecek yeni bir takım stabilizasyon yöntemleri de bu yönetmelik içerisinde yer alabilir. Vermistabilizasyon yöntemi arıtma çamurlarının stabilizasyon yöntemlerine yeni bir yaklaşım sunması, son ürün olarak biyogübre eldesi ve bunun ekonomiye olan katkısı düşünüldüğünde oldukça rasyonel bir yaklaşım olduğu belirtilebilir.

### VERMİSTABİLİZASYON

Vermikompost (solucan gübresi); sebze ve/veya gıda artıklarının değişik solucan türleri (Kırmızı veya kızıl solucan-*Eisenia fetida*, Beyaz solucan-*Enchytraeus buchholzi* veya diğer solucan türleri) ile ayrıştırılarak solucanların sindirim sistemlerinden geçirilmesi sonucu elde edilen organik bir gübre türüdür. Vermikompost üretimi küçük, orta ve büyük ölçekli farklı üretim hacimlerinde gerçekleştirilebilir. Solucanların ortam istekleri türlere göre değişmekle birlikte genel olarak 15-20°C'lık bir sıcaklık, %70-90 civarı bir nem ve 7-8 arası bir pH arzu edilmektedir. Dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan birisi de havalandırmadır (Munroe, 2007).

Vermikompost, fiziksel, kimyasal ve biyolojik açıdan aerobik (termofilik) kompost ürünlerinden çok daha üstün özelliklere ve ekonomik değere sahiptir. Vermikompost ürünlerinin en önemli özelliklerinden birisi de içerisinde insan sağlığını tehdit eden seviyede bakteri/patojen içermemeleridir (Dominguez vd., 1997; Şimşek-Erşahin, 2007). Bunun yanı sıra vermikompostlar mikroorganizmalar tarafından salgılanan bitki büyümeyi teşvik edici hormonları da içermektedirler (Joshi ve Vig, 2010).

Vermikompost işleminden geçirilmiş materyallerin bitki besin elementi içeriği vermikompost işleminden geçirilmemiş materyallere oranla çok daha yüksek seviyelerdedir (Namlı vd., 2014). Tüm bu faydalı özelliklerinden dolayı vermikompost tekniği tüm dünyada yoğun olarak uygulanmaktadır. Vermistabilizasyon ise şehir ve/veya endüstriyel atıkların solucanlar kullanılarak faydalı hale dönüştürülmesi ve bertaraf edilmesi işlemi olarak tanımlanabilir. Vermistabilizasyon teknikleri çok düşük maliyet gerektiren düşük işlemler olması açısından arıtma çamurlarının stabilizasyonunda alternatif bir yöntem olarak kullanılabilir. 5000 m<sup>3</sup> ham çamura 5 kg solucan ilave edilmesi sonucu 8 ay içerisinde vermistabilizasyon işlemine uğramış vermikompost elde edilebildiği Sinha vd. (2010) tarafından bildirilmektedir.

Contreras-Ramos vd. (2005), şehir ve tekstil endüstrisi ham çamurlarını ahır gübresi ve saman ile karıştırarak 60 gün boyunca vermistabilizasyon işlemine tabi tutmuşlardır. Araştırma sonucu, vermistabilizasyon işlemine uğramış ürünün içerisindeki uçucu katı madde miktarının kontrole göre 5 kat azaldığı, ağır metal konsantrasyonları ile patojen miktarlarının ise ABD Çevre Koruma Ajansı'nın bildirdiği değerlerin altında olduğu bildirilmiştir. Vigueros ve Camperos (2002), vermistabilize edilmiş ham çamurların içerisindeki helmint yumurtalarının tamamının giderildiğini, fecal koliform miktarının ise %90 oranında azaldığını belirtmişlerdir. Bajsa vd. (2004) vermistabilizasyon işleminin ham çamurların içerisinde bulunan *E. coli*, *S. typhimurium* ve *E. faecalis* gibi patojenlerin giderimi üzerine etkilerini araştırdıkları bir çalışmada 4-5 aylık bir süre sonrası güvenle kullanılabilir bir ürün elde etmişlerdir.

Iwai vd. (2013) %5 oranında ham çamur ilave edilen cassava küspesi ile kabuğu karışımlarını 30 gün süre ile vermistabilizasyon işlemine tabi tutmuşlardır. Araştırma sonucu, karışımlara ilave edilen solucanların %96 ile %100 oranında yaşamlarına devam ettiklerini ve Cr, Cu, Cd, Pb ve Hg gibi ağır metallerin miktarlarında önemli oranlarda düşüşler olduğunu bildirmişlerdir. Suthar (2009) farklı oranlarda arıtma çamuru ve şeker pancarı küspesi içeren karışımları 90 gün boyunca vermistabilizasyon işlemine tabi tutmuştur. Araştırma sonucu, organik C ve değişebilir K seviyelerinde azalışlar saptamasına karşın, toplam N, elverişli P, değişebilir Ca ve Mg içeriklerinde artışlar belirlemiştir. Ayrıca ekstrakte edilebilir Cu, Fe, Mn, Zn ve Pb miktarlarında önemli düzeyde azalışlar saptamıştır. Bununla birlikte, ham çamurların içerisine ilave edilen sap, saman, küspe gibi katkı maddelerinin solucanların gelişmelerinin yanı sıra ölüm oranlarını da düşürerek, vermistabilizasyon işleminin daha sağlıklı yürütülmesini sağladığını

bildirmiştir. Parvaresh vd. (2004) %15 saman %85 ham çamur içeren karışımı 9 hafta boyunca vermistabilizasyon işlemine tabi tutmuşlar ve deneme sonrası elde edilen son ürünün elverişli P miktarında artışlar tespit etmişlerdir. *Eisenia andrei* türü solucan kullanılarak vermistabilize edilen arıtma çamurunun N ve P içeriği bakımından daha zengin olduğu, daha az miktarda ağır metal içerdiği, daha düşük iletkenliğe ve daha yüksek hümitik asit içeriğine sahip olduğu saptanmıştır (Elvira vd., 1998). Hait ve Tare (2011), *Eisenia fetida* kullanılarak vermistabilize edilmiş ham çamurların uçucu katı madde miktarlarında, pH'larında, spesifik oksijen tüketim hızlarında, toplam organik karbon içeriklerinde, C/N oranlarında ve patojen miktarlarında önemli oranda azalışlar belirlemelerine karşın, elektriki iletkenlik, toplam azot ve toplam fosfor içeriklerinde önemli düzeyde artışlar saptamışlardır. Benzer sonuçlar Khwairakpam ve Bhargava (2009) tarafından da bildirilmiştir. Vermistabilizasyon süresinin farklı oranlarda arıtma çamuru, fındık zuru ve ahır gübresi içeren karışımların Zn, Cu, Cd, Pb, Ni ve Cr içeriklerine olan etkilerinin incelendiği bir çalışmada, vermikompostlama süresinin artışı ile bu maddelerin miktarının azaldığı belirlenmiştir (Kızılkaya ve Hepşen Türkay, 2014).

## SONUÇ

Doğru kullanımında önemli bir kaynak, hatalı kullanımı da öngörülemez pek çok probleme sebep olabilecek ham çamurların stabilizasyonu bir zorunluluktur. Elde edilen bu çamurları stabilize ve/veya bertaraf etme işlemleri ise hiç kuşkusuz arıtma tesisinin toplam yatırım masrafını artırması yanı sıra işletme masraflarını da önemli ölçüde artırmaktadır. Çevre dostu ve düşük maliyet gerektiren vermistabilizasyon uygulamaları, özellikle küçük ve orta ölçekli arıtma tesislerine sahip işletmeler için düşük girdili stabilizasyon faaliyetlerini mümkün kılacak bir potansiyele sahiptir. Sistemin başarısı ham çamura ilave edilecek katkı maddesi miktarı ile vermistabilizasyon süresine bağlıdır. Doğru uygulanmış ve iyi takip edilmiş bir vermistabilizasyon süreci sonunda, çevre ile uyumlu hale getirilmiş, insan sağlığını tehdit etmeyecek düzeyde patojen/bakteri içeren ve ağır metal içeriği düşük arıtma çamurları elde etmek mümkündür. Bu işlemler sonucu stabilize edilen ham çamurlar insan sağlığını tehdit etmeyecek bir kaynak olarak nitelendirilerek ülke ekonomisine kazandırabilir ve kullanımını teşvik edilebilir.

## KAYNAKLAR

Anonim, 1996. Use of Reclaimed Water and Sludge in Food Crop Production. National Academy Press, Washington, D.C.

- Anonim, 2000. Working document on sludge (3<sup>rd</sup> draft). 27 April 2000, EEC, Brussels, Belgium.
- Bajsa, O., Nair, J., Mathew, K., Ho, G.E., 2004. Pathogen die-off in vermicomposting process. In: 6th Specialist Conference on Small Water and Wastewater Systems, 11-13 February, Fremantle, Western Australia.
- Bilgin, N., Eyüpoğlu, H., Üstün, H., 2002. Biyokatıların (Arıtma Çamurlarının) Arazide Kullanımı. ASKİ Arıtma Tesisi Başkanlığı – KHGM Ankara Araştırma Enstitüsü.
- Contreras-Ramos, S.M., Escamilla-Silva, E.M., Dendooven, L., 2005. Vermicomposting of biosolids with cow manure and wheat straw. *Biology and Fertility of Soils*, 41(3): 190-198.
- Dominguez, J., Edwards, C.A., Subler, S., 1997. A comparison of vermicomposting and composting. *Biocycle*, 38(4): 57-59.
- Elvira, C., Sampedro, L., Benitez, E., Nogales, R., 1998. Vermicomposting of sludges from paper mill and dairy industries with *Eisenia andrei*: A pilot-scale study. *Bioresource Technology*, 63: 205-211.
- Epstein, E., 2003. Land Application of Sewage Sludge and Biosolids. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- Filibeli, A., 2013. Arıtma Çamurlarının İşlenmesi (7. Baskı). Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 255, İzmir.
- Hait, S., Tare, V., 2011. Vermistabilization of primary sewage sludge. *Bioresource Technology*, 102: 2812-2820.
- Iwai, C.B., Ta-Oun, M., Chuasavatee, T., Boonyotha, P., 2013. Management of municipal sewage sludge by vermicomposting technology: Converting a waste into a bio fertilizer for agriculture. *International Journal of Environmental and Rural Development*, 4(1): 169-174.
- Joshi, R., Vig, A.P., 2010. Effect of vermicompost on growth, yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *African Journal of Basic & Applied Sciences*, 2(3-4): 117-123.
- Khwairakpam, M., Bhargava, R., 2009. Vermitechnology for sewage sludge recycling. *Journal of Hazardous Materials*, 161: 948-954.
- Kızılkaya, R., Hepşen Türkay, F.Ş., 2014. Vermicomposting of anaerobically digested sewage sludge with hazelnut husk and cow manure by earthworm *Eisenia foetida*. *Compost Science & Utilization*, 22: 68-82.
- Munroe, G., 2007. Manual of On-Farm Vermicomposting and Vermiculture. Publication of Organic Agriculture Centre of Canada.
- Namlı, A., Akça, O., Perçimli, C., Beşe, S., Gür, Ş., Arkan, H., Eser, İ., İzci, E., Gümüştay, E., Tunca, G., Khálau, I.J., Mutafoçular, Z., Demirtaş, Ö., 2014. Evsel ve endüstriyel arıtma çamurlarının solucanlar (*Eisenia fetida*) ile kompostlanması. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 2(2): 46-56.
- Parvaresh, A., Movahedian, H., Hamidian, L., 2004. Vermistabilization of municipal wastewater sludge with *Eisenia fetida*. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 1(2): 43-50.
- Resmi Gazete, 2010. Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik. Ankara.
- Riffat, R., 2012. Fundamentals of Wastewater Treatment and Engineering. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Sanin, F.D., Clarkson, W.W., Vesilind, P.A., 2011. Sludge Engineering –The Treatment and Disposal of Wastewater Sludges. DEStech Publications, Lancaster.
- Sinha, R.K., Herat, S., Bharambe, G., Brahmabhatt, A., 2010. Vermistabilization of sewage sludge (biosolids) by earthworms: converting a potential biohazard destined for landfill disposal into a pathogen-free, nutritive and safe biofertilizer for farms. *Waste Manag. Res.*, 28(10): 872-881.
- Spinosa, L., Vesilind, P.A., 2001. Sludges into Biosolids Processing, Disposal and Utilization. IWA Publishing, London.

- Suthar, S., 2009. Vermistabilization of municipal sewage sludge amend with sugarcane trash using epigeic *Eisenia fetida* (Oligochaeta). *Journal of Hazardous Materials*, 163: 199-206.
- Şimşek-Erşahin, Y., 2007. Vermikompost ürünlerinin eldesi ve tarımsal üretimde kullanım alternatifleri. *GOÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24(2): 99-107.
- TÜİK, 2015. Türkiye İstatistik Kurumu-Bitkisel Üretim İstatistikleri. <http://www.tuik.gov.tr/> (14 Kasım 2015).
- USEPA, 1994. A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule, EPA/832/R-93/003. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- USEPA, 1995. Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge: Final Rule and Proposed Rule. U.S. Environmental Protection Agency, Fed. Reg. Vol: 60, No: 206, Washington, D.C.
- Vigueros, L.C., Camperos, E.R., 2002. Vermicomposting of sewage sludge: a new technology for Mexico. *Water Science & Technology*, 46(10): 153-158.
- Yıldız, Ş., Yılmaz, E., Ölmez, E., 2009. Evsel nitelikli arıtma çamurlarının stabilizasyonla bertaraf alternatifleri: İstanbul örneği. *Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu: 15-17 Haziran 2009 – İstanbul* (s. 1-8).