

## ARAŞTIRMA MAKALESİ

## Arıtma Çamurlarının Yönetimi ve Maliyeti: Gediz Havzası Arıtma Çamuru Yönetimi Projesi

Ayşe FİLİBELİ<sup>1</sup>, Azize AYOL<sup>2</sup>, Nurdan BÜYÜKKAMACI<sup>3</sup>

Yazışma yazarı:

Ayşe FİLİBELİ,

ayse.filibeli@deu.edu.tr

Referans:

Filibeli, A., Ayol, A., Büyükkamacı, N., (2022), Arıtma Çamurlarının Yönetimi ve Maliyeti: Gediz Havzası Arıtma Çamuru Yönetimi Projesi, Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik, 23(1) 79–90.

Makale Gönderimi : 27 ŞUBAT 2022

Online Kabul : 1 OCAK 2022

Online Basım :30 MAYIS 2022

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Buca, İzmir, Türkiye. ORCID:0000-0003-2475-7246

<sup>2</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Buca, İzmir, Türkiye. ORCID:0000-0002-2095-1132

<sup>3</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Buca, İzmir, Türkiye. ORCID: 0000-0003-4801-9846

**Özet** Atıksu arıtımında giriş atıksuyunun özellikleri ve arıtma için uygulanan işlemlerin verimine bağlı olarak farklı özelliklerde ve miktarda arıtma çamuru oluşmaktadır. Arıtma çamurlarının yararlı amaçlarla kullanılması ve/veya nihai olarak uzaklaştırılmasındaki uygulamalar, çevresel, teknik ve ekonomik uygulanabilirliği olan sürdürülebilir çözüm seçeneklerini içeren bir yönetim sistemi içinde düşünülmelidir. Çevresel kriterlerin sağlanmasına yönelik olarak uygulamadaki mevzuat ve politikalar doğrultusunda değerlendirmelerin yapılması, bölgesel özellikler ve mevcut olanaklar dikkate alınarak en uygun yönetim sistemine karar verilmesi gerekmektedir. Bu makalede, evsel/kentsel ve endüstriyel arıtma çamurlarının yönetimini belirlemek üzere dikkate alınması gereken esaslar verilerek değerlendirilmektedir. Anılan çalışmada, Gediz Havzası örneğinde mevcut/İNŞAAT halinde/planlanan atıksu arıtma tesislerinde oluşan ve gelecekte oluşması muhtemel arıtma çamuru miktar ve özelliklerinin belirlenmesi, atıksu arıtma tesislerinde arıtma çamuru miktarının azaltılmasını sağlayan prosesleri de dikkate alarak, oluşan/oluşacak arıtma çamurlarının işlenmesi, yararlı kullanımı/geri kazanımı ve nihai olarak bertaraf edilmesine yönelik çözüm önerileri getirilmektedir. Mevcut mevzuat doğrultusunda, çevre politikaları ile uyumlu, yenilikçi teknolojilerin kullanımına olanak sağlayabilen, mevcut ve planlanan yatırımları da dikkate alarak; kısa, orta ve uzun vadede çevresel ve ekonomik olarak uygulanabilir bir çamur yönetim sisteminin oluşturulması ve yaklaşık birim maliyetlerin çıkarılmasına yönelik olarak yapılan çalışmaların sonuçları değerlendirilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Arıtma çamuru, çamur yönetimi, atıksu arıtımı, havza planlama

## Sludge Management and Cost of Sludge Treatment: Sludge Management Project of Gediz River Basin

**Abstract** Depending on the influent wastewater characteristics and the efficiencies of the applied treatment processes, sludge have been produced in different amounts and characteristics. The applications to be used for the beneficial use and/or final disposal of sludge should be handled within a management systematic that includes alternative solution options that are environmentally compatible, economically and ecologically viable, and sustainable. It is necessary to make evaluations in line with the legislation and policies in order to meet the environmental criteria, and to decide the most appropriate management system, taking into account regional properties and existing opportunities. In this study, the basic principles that should be taken into account in the preparation of a road map for the management of domestic/urban and industrial sludge are evaluated. In the example of Gediz River Basin; the studies on identification of the existing domestic/urban and industrial wastewater treatment plants; estimation of the amount of sludge produced in the wastewater treatment plants; applications for the sludge reduction; evaluation of the sludge properties with respect to environmental legislation; establishment of alternative management scenarios and cost analysis are discussed in detail.

**Keywords:** Sludge, sludge management, wastewater treatment, water basin planning

## 1. Giriş

Atıksuların sürdürülebilir ve güvenli yönetimi toplum sağlığı ve sürdürülebilir sosyo-ekonomik kalkınmanın esasını oluşturmaktadır. Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi 2030, Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi 6.2, her birey için yeterli ve adil sanitasyon ve hijyene erişimin sağlanması; 2030 yılına kadar ülkelerin arıtılmamış atıksu oranlarını yarıya indirmeleri gerektiği ve geri dönüşüm-yeniden kullanım proseslerinin önemli boyutta artırılması gerektiğini vurgulamaktadır (Spinosa ve Doshi, 2021). Atıksu arıtma tesislerinde, atıksu ve arıtma çamurlarına uygulanan işlemler, elde edilen son ürünün miktar ve kalitesini etkiler; son ürünün yararlı amaçlara yönelik kullanımı ve/veya nihai olarak uzaklaştırılmasında önem taşır. Son yıllarda, arıtma çamuru, nihai olarak uzaklaştırılması gereken bir atık olarak değil, enerji ve materyal kazanımının sağlandığı; toprak şartlandırma, yapı malzemesi olarak kullanım gibi yararlı kullanım alternatifine sahip bir kaynak olarak ele alınmaktadır (Canziani ve Spinosa, 2019; Filibeli, 2019, Grobelak vd., 2019, Papa vd., 2017).

## 2. Arıtma Çamuru Tanımı, Miktar ve Özellikleri

Arıtma çamuru, herhangi bir su/atıksu arıtma işleminin kaçınılmaz atık/yan ürünüdür ve arıtılmış atıksuyun yalnızca %1-2'sini oluşturmasına rağmen, orijinal kirliliğin önemli bir kısmını içerir. Ulusal ve uluslararası mevzuatta arıtma çamuru ile ilgili çeşitli tanımlamalar mevcuttur. Bu tanımlar, arıtma çamuru yönetimi yöntemlerini sınırladıkları için önemlidir. 91/271/EEC AB Kentsel Atıksu Arıtımı Direktifi'nde "arıtılmış veya arıtılmamış, kentsel atıksu arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamuru" tanımının yer aldığı, sadece kentsel atıksu ile ilgili olduğu ve endüstriyel atıksuları kapsamadığı görülmektedir (Council Directive 91/271/EEC, 1991). 86/278/EEC nolu AB Çamur Direktifi'nde, evsel/kentsel veya benzer özellikteki tüm arıtma çamurlarını içeren geniş bir tanım mevcut olup, ham ve stabilize arıtma çamurları ile septik tank çamurlarını içeren geniş bir tanımlama yapılmıştır (Council Directive 86/278/EEC, 1986). USA EPA Part 503 (40 CFR Part 503) Arıtma Çamurlarının Kullanımı veya Nihai Uzaklaştırılması için Standartlar kapsamında sadece evsel atıksu arıtımı sırasında üretilen çamur ve septik tank çamuru ile ilgili tanım verilmektedir. Tehlikeli Atıkların Yönetimini esas alan EPA 40 CFR 260 (40 CFR Part 260, n.d.)'de arıtılmış atıksu hariç, bir kentsel, ticari veya endüstriyel atıksu arıtma tesisinden; su arıtma tesisinden veya hava kirliliği kontrol tesisinden üretilen katı, yarı katı veya sıvı atık şeklinde geniş bir tanım verilmiş olup, elektrokaplama çamuru dâhil hem endüstriyel hem de kentsel arıtma çamurunu içermektedir. Ulusal mevzuatta Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik'te, ham ve stabilize çamur tanımlaması yapılmış olup, evsel ve kentsel atıksu arıtımı sırasında oluşan, evsel/kentsel atıksulara benzer bileşimdeki atıksuların arıtımından kaynaklanan ham ve stabilize arıtma çamurlarının kullanım kısıtları ve yasaklarını kapsamaktadır (Resmî Gazete, Sayı: 27661). Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği ise kentsel atıksuların toplanması, arıtılması ve deşarjı ile belirli endüstriyel sektörlerden kaynaklanan atıksu deşarjları ile ilgili esasları içermektedir; arıtma çamurlarının toprakta kullanımı için ilgili yönetmeliğe atıf yapılmaktadır (Resmî Gazete, Sayı: 26047). Genel anlamda bakıldığında, bu tanımların hem kentsel hem de endüstriyel çamuru kapsadığı; ancak kentsel arıtma çamuru ile ilgili düzenlemelerin daha yaygın olduğu görülmektedir.

Atıksu arıtma tesislerinde (AAT), tipik olarak, yoğunlaştırma ve susuzlaştırma öncesinde, atıksu giriş debisinin yaklaşık %1-2'sini oluşturan arıtma çamuru organik madde, çeşitli besi elementleri, ağır metaller, organik ve inorganik mikro kirleticiler ile bakteri, virüs, helmint veya protozoa gibi patojenler içerir.

Genel olarak, stabilize arıtma çamuru %30-55 organik madde, yaklaşık %3 toplam azot, %0.7-%1.5 toplam fosfor, %0.7 toplam potasyum, %10-20 C/N oranı ve farklı konsantrasyonlarda ağır metal içermektedir. Arıtma çamurunun pH'ı normalde 6.5-7.5 aralığındadır. Kurutulmuş çamurun ısı değeri yaklaşık 12.000–15.000 kJ/kg KM'dir. Septik tanklardan gelen fekal arıtma çamuru, karşılaştırılabilir seviyelerde besin bileşikleri içermekle birlikte, genellikle atıksu arıtma tesislerinde üretilen çamurdan daha yüksek askıda katı madde içeriğine (%1'e karşı yaklaşık %3) ve daha yüksek KOİ değerlerine (> 10.000 mg/L) sahiptir. Yüksek düzeyde fekal koliform ( $1 \times 10^5$  cfu/100 mL) ve helmint yumurtaları (16.000 sayı/L'ye kadar) içerebilir. Bu tür çamurlar benzer şekilde arıtılabilir. Endüstriyel arıtma çamurları sektör ve alt sektör bazında kaynağına göre çok çeşitli fizikokimyasal özelliklere sahiptir, örneğin çok yüksek konsantrasyonlarda toksik bileşimler ve elementler içerebilir (Wiśniowska vd., 2019). Kentsel atıksu arıtma tesislerinde kaynağına göre tipik çamur miktarları, katı madde içeriği (KM) ve besi maddesi içerikleri Tablo 1'de özetlenmektedir (Spinosa ve Doshi, 2021).

Toplam nüfusun yaklaşık 500 milyon olduğu Avrupa Birliği ülkelerinde, çamur üretimi 13 Mt/yıl'ın üzerindedir ve kişi başına yılda kuru madde (KM) olarak 10 ila 15 kg (27-41 g KM/kişi/gün) arıtma çamuru üretilmektedir (Grobelak vd., 2019). Türkiye'de TÜİK Atık İstatistiklerine göre bertaraf ve geri kazanım yöntemlerine göre kentsel atıksu arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamuru miktarı 2020 yılı için toplam 314325,4 ton KM olarak verilmektedir (TÜİK, Atık İstatistikleri, 2020). Ülkemizde kişi başına çamur üretimi yılda kuru madde (KM) olarak 36 g KM/kişi/gün olarak belirlenmiştir (TÜBİTAK KAMAG 108G189, 2013).

Atıksu arıtma tesisine gelen atıksuyun özelliklerine ve kullanılan arıtma işlemine bağlı olarak değişen miktar ve özellikte arıtma çamuru oluşmaktadır. Biyolojik arıtma yöntemi olarak klasik aktif çamur sistemleri ve çeşitli modifikasyonları yaygın kullanılmaktadır. Özellikle nüfus yoğunluğunun fazla olduğu yerleşimlerde biyolojik olarak azot ve fosfor gideriminin sağlandığı anaerobik/aerobik (A/O), anaerobik/anoksik/aerobik (A2/O), ardışık kesikli reaktör (AKR), Bardenpho ve University of Cape Town (UCT) gibi arıtma işlemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Küçük yerleşim birimlerinde ise sıklıkla aktif çamur sistemleri tercih edilmektedir. Endüstriyel atıksu arıtma tesislerinde ise kullanılan atıksu arıtma prosesi gelen atıksu özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Genellikle fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma uygulamaları gerçekleştirilmekte olup, biyolojik arıtma yöntemi olarak aktif çamur ve modifikasyonları kullanılmaktadır. Arıtma çamurlarının işlenmesinde uygulanan belli başlı prosesler: ön işlemler, yoğunlaştırma (graviteli, flotasyon, santrifüj, bantlı yoğunlaştırıcılar ile), stabilizasyon (anaerobik çürütme, aerobik çürütme, alkali işlemler vb.), susuzlaştırma (doğal veya mekanik yöntemler) ve son işlemlerdir (Metcalf ve Eddy, 2003). Bu prosesler, oluşan çamur hacminin azaltılmasının yanı sıra, koku, patojen giderimi ve vektör üremesinin engellenmesi amacıyla belli bir kombinasyonda uygulanmaktadır. Çamur işleme süreçleri sonucunda kalan çamur kuru madde olarak hala önemli miktardadır ve dolayısıyla atıksu arıtma sürecinde toplam işletme maliyetinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Arıtma çamurlarının işlenmesi sırasında uygulanan prosesler, bir sonraki ünitenin performansını ve nihai ürünün kalitesini de etkiler. Bu prosesler, son ürünün farklı amaçlara yönelik olarak yararlı kullanımı ve/veya nihai uzaklaştırılmasında en önemli aşamaları oluşturmaktadır. Uygulanacak son işlem olarak: zirai alanda ve/veya toprakta kullanım, düzenli depolama, kurutma ve yakma seçenekleri tercih edilmektedir. Bu yöntemlerin seçiminde arıtma çamurlarının özellikleri, bölgenin jeolojik, hidrojeolojik ve iklim özellikleri, mevcut ekonomik ve teknik imkânlar göz önünde bulundurulmaktadır. Atıksu arıtma işlemleri sırasında bir yan ürün/atık olarak oluşan ve nihai olarak uzaklaştırılması gereken

arıtma çamuru, kalitesine bağlı olarak enerji ve materyal kazanımının sağlandığı bir kaynak olarak değerlendirilmektedir (Filibeli ve Ayol, 2010, Gediz Havzası Projesi, 2017, Kusch-Brandt vd., 2021).

Ülkemizde evsel/kentsel arıtma çamurlarının yararlı kullanımı amacıyla yaygın kullanılan yöntem zirai alanda ve/veya toprakta uygulamadır. Atıksu arıtma tesislerinin nitrifikasyon ve fosfor giderimi aşamalarından kaynaklanan azot ve fosfor, arıtma çamuru içeriğinde biriken ve gübre değeri olan değerli besi elementleridir. Bu nedenle gübre veya toprak iyileştirici materyal olarak düşünülerek ticarî gübre kullanımı yerine tercih edilebilmektedir. Bu değerli besi maddelerinin yanı sıra, beslenme zincirine girdiğinde zararlı etkileri olabilen ağır metaller, dezenfektanlar, patojenler ve organik kirleticiler gibi diğer bazı elementleri de içerebilir. Dolayısıyla bu kirleticilerin insan, flora, fauna ve çevre sağlığı üzerindeki potansiyel etkileri nedeniyle toprakta kullanım seçeneği çok dikkatle ele alınmalıdır. Sürdürülebilir çamur yönetimi sadece hacim ve kütle azaltılmasını değil, aynı zamanda zararlı bileşenlerin canlı yaşam ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin önlenmesi ve yararlı materyalin geri kazanılmasını da kapsar (Gediz Havzası Projesi, 2017, Filibeli vd., 2018).

Nihai uzaklaştırma amacıyla günümüze kadar en yaygın uygulanan yöntem, kentsel katı atık depolama sahalarında düzenli depolamadır. Bu yöntem, yüksek nakliye gideri, geniş

alan ihtiyacı olması, arazi kontrolündeki sıkıntılar yaşanması, çamur nakliyesindeki zorluklar ve işlem görmeyen çamurların depolanmasında ilave kireç ekleme ve gaz çıkışı kontrolü gerektirmesi gibi bazı dezavantajlara sahiptir. Arazi kullanım ve depolama imkânı yok ise uygun çözüm kurutmadır. Kurutma ile etkili bir dezenfeksiyon sağlanması sonucu arıtma çamuru bünyesindeki patojenik organizmalar da giderilmektedir. Ayrıca yüksek ısı değere sahip olması nedeniyle ek yakıt olarak değerlendirilmesi mümkün olabilmektedir. Kentsel katı atıklarla birlikte veya ayrı yakılması durumunda hacimsel olarak %95 oranında azalma sağlanırken, içeriğindeki patojenler ve toksik organik bileşikler de büyük oranda giderilerek, kokusuz son ürün elde edilmektedir. Enerji geri dönüşümünün sağlanması ve çıkan ürünün çimento üretiminde ara malzeme olarak kullanma imkânı olabilmektedir. Ancak yakma yöntemi, yüksek ilk yatırım ve işletme maliyeti, destek yakıt gereksinimi, karmaşık mekanik ve kontrol sistemi ve baca gazı emisyonlarının kontrolü gibi dezavantajlara sahiptir, karbon ayak izi yüksek olan bir prosestir (27721 sayılı Resmî Gazete, 2010). Bu alternatiflere ek olarak enerji elde edilmesine yönelik prosesler olan piroliz ve gazifikasyon işlemleri de uygulanmaktadır. Ancak bu proseslerin arıtma çamurlarına uygulanmasında tam ölçekli çalışmalardan elde edilen veriler oldukça sınırlıdır.

Tablo 1. Tipik çamur miktar ve özellikleri.

Çamur kaynağı	Miktar (L/kişi/gün)	Katı Madde (%)	Azot (%KM)	Fosfor (%KM)	Potasyum(%KM)
Ham ön çökeltim	0.9–2.2	2.0–8.0	1.5–5.0	0.3–2.8	<1.0
Ham aktif çamur	1.4–7.3	0.2–1.5	3.0–10.0	1.0–7.0	0.1–0.9
Ham ön çökeltim+aktif çamur	1.8–2.8	3.0–6.0	4.0–6.0	1.0–1.2	-
Çürük ön çökeltim+aktif çamur	0.6–1.0	2.0–12.0	1.0–6.8	0.2–5.7	<4.0
İleri arıtma	0.2–8.0	3.0–10.0	-	-	-

### 3. Arıtma Çamuru Miktarının Azaltılması

Sürdürülebilir atık yönetimi, çevrenin korunması ve kalitesinin iyileştirilmesi, insan sağlığının korunması, doğal kaynakların verimli ve rasyonel kullanımı, döngüsel ekonomi ilkelerini teşvik etmek, yenilenebilir enerji kullanımının ve enerji verimliliğinin artırılması için gerekli kriterlerin yerine getirilmesi olarak tanımlanabilir. Ekonomiyi döngüsel hale getirmek için, kaynakların korunması ve döngüyü kapatacak şekilde ürünlerin tüm yaşam döngüsüne odaklanarak sürdürülebilir üretim ve tüketime yönelik ek önlemler almak gereklidir. Kaynakların daha verimli kullanılması ve atığın bir kaynak olarak değerlendirilmesi ile önemli ölçüde tasarruf sağlanırken, toplam yıllık sera gazı emisyonları da azalacaktır. Kaynak kullanımının verimliliğini artırmak, ülkenin hammadde ithalatına olan bağımlılığını azaltmaya katkıda bulunabilir ve daha sürdürülebilir malzeme yönetimine ve döngüsel bir ekonomi modeline geçişi kolaylaştırabilir.

Avrupa Birliği ülkelerinde arıtma çamuru yönetimi, Atık Çerçeve Direktifi ile düzenlenmektedir (EC/2008/98). Atık Çerçeve Direktifine göre, atık önleme ve yönetimi mevzuatı ve politikasında atık hiyerarşisi: 1.Önleme, 2. Yeniden kullanım için ön hazırlık, 3. Geri dönüşüm, 4. Diğer geri kazanım işlemleri, 5. Nihai bertaraf öncelik sıralamasına göre uygulanmaktadır. Sürdürülebilir çamur yönetimi açısından, bu yaklaşımla tüm AB ülkelerinde en uygun teknolojiler kullanılarak mümkün olduğunca az çamur üretiminin sağlanacağı düşünülmektedir. Ülkemizde, arıtma çamurlarının yönetimi konusunda son yıllarda gerekli düzenlemeler Avrupa Birliği uyum süreci kapsamında yeniden gözden geçirilerek ilgili yönetmeliklerin içinde yer almaktadır. Atık önleme, kaynak verimliliğini artırmanın ve atıkların çevresel etkisini azaltmanın en etkili yoludur. Bununla birlikte, kaçınılmaz

bir atık türünü temsil ettiğinden, arıtma çamuru oluşumunu önlemek imkânsızdır. Bu nedenle, atık hiyerarşisinde sonraki önceliklere, yani yeniden kullanım için ön hazırlık (organik geri dönüşüm ve enerji geri kazanımı dâhil) veya nihai bertaraf edilmesine daha fazla önem verilmektedir. Atıkların denize atılması yasaktır ve biyolojik olarak parçalanabilen atıkların (ve dolayısıyla evsel/kentsel arıtma çamurunun) depolanması atıkların düzenli depolanmasına ilişkin 99/31/EC direktif ile sınırlandırılmıştır. Çamur yönetiminde ana esaslar bu tür atıkların doğal ve termal yöntemlerle işlenmesidir. Bu hususlar dikkate alındığında bertaraf etme yöntemleri iki gruba ayrılabilir: 1. Organik madde geri dönüşümü ve 2. Enerji ve materyal geri dönüşümü (Wiśniowska vd., 2019).

Arıtma çamurlarının yönetimi konusunda son yıllarda yeni yaklaşımlara yer verilmektedir. Yasal mevzuatta getirilen kısıtlamalar, maliyet artışı ve çamurun nihai bertarafındaki çeşitli hassasiyetler (mikro kirleticiler, mikroplastikler, toksik bileşenler vb.) gibi sebepler, arıtma çamuru yönetiminde çamur miktarının azaltılmasına (çamur minimizasyonu) yönelik stratejilerin araştırılması ve geliştirilmesi yönünde yapılan çalışmalara hız kazandırmıştır. Çamur minimizasyonu ile çamur işleme ünitelerinin hacim ve maliyetlerinde azalma sağlanırken, bu işlemler sonucunda bertaraf edilmesi gereken çamur miktarında da önemli azalma hedeflenmektedir. Çamur minimizasyonu amacıyla uygulanan işlemler: a) atıksu arıtımı aşamasında oluşan çamur miktarının azaltılmasına yönelik uygulanan ön işlemler (dezentegrasyon), b) oluşan çamurun kütle ve hacmini belli oranda azaltmayı sağlayan teknikler (kaynakta azaltma yöntemleri) olarak iki grupta toplanabilir. Çamur stabilizasyonu aşamasında, aerobik/anaerobik çürütücülerin verimini arttırmak ve çamur minimizasyonu amacıyla mevcut klasik çürütme proseslerinin modifikasyonlarının uygulandığı gerçek ölçekli



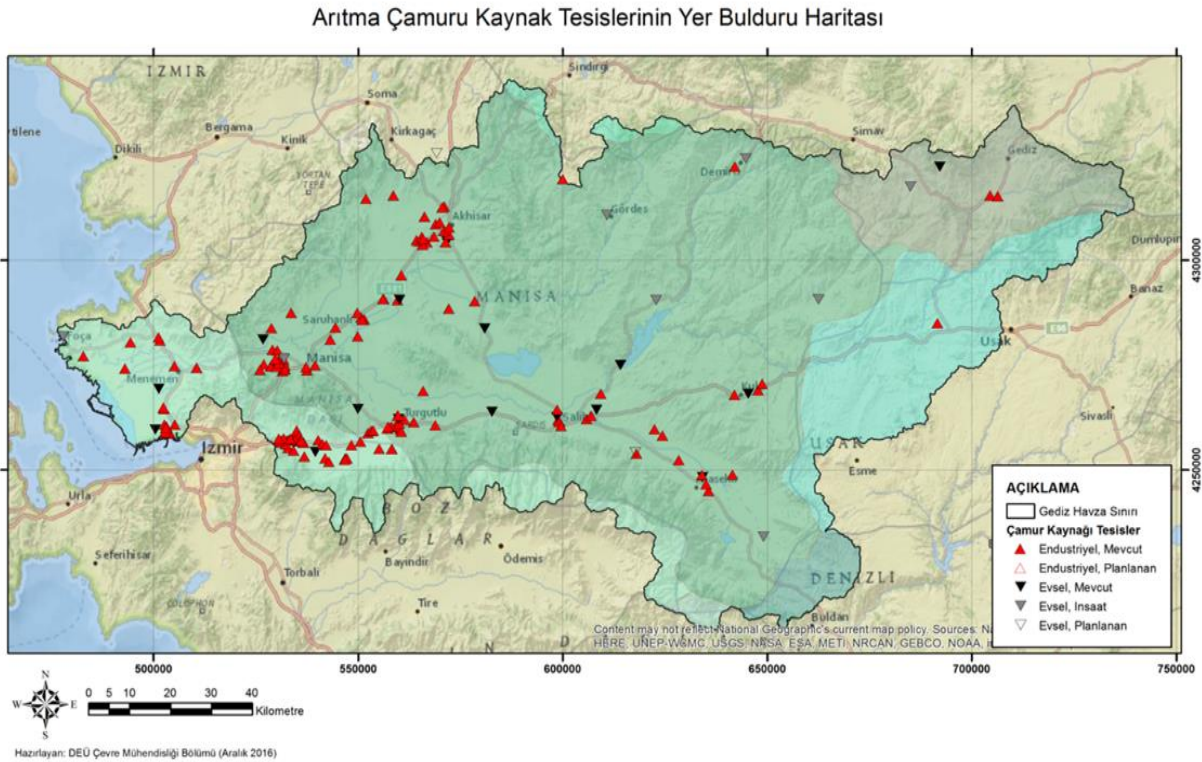
tesisler bulunmaktadır. Isıl işlem, ultrasonikasyon, klasik ve ileri oksidasyon işlemleri, enzim uygulaması gibi bilinen ön işlemler (dezentegrasyon), çamur miktarında azalma sağlarken çamurun su verme özelliklerini de geliştirir. Fakat en önemli dezavantajları ilave arıtma ünitelerinin getireceği yüksek yatırım ve işletme masraflarıdır (Gediz Havzası Projesi, 2017). Atıksu arıtımı aşamasında arıtma çamuru miktarının azaltılmasına yönelik uygulamaların bir kısmı laboratuvar ve pilot ölçekli çalışmalar olmakla birlikte gerçek ölçekte tesis uygulaması ile deneyimlenmiş olan prosesler de mevcuttur. Bu prosesler içsel ve dışsal aerobik, anoksik ve anaerobik çamur döngüleri yapmak ve farklı sistemlerin kombinasyonları olarak uygulanan sistemlerdir. Patentli isimler ile anılan bu proseslerde üretilen çamur miktarında %45-60 oranında azalma sağlanabilmektedir (Demir, O. vd., 2016; Galilee, U. vd., 2014; Erden, G. vd., 2010; Ayol, A., vd. 2008, Filibeli, A. vd., 2008).

#### 4. Gediz Havzası Arıtma Çamuru Yönetim Planı

Çamur arıtımı ve nihai olarak uzaklaştırılmasında, teknik, ekonomik ve sosyal bileşenleri tek başına sağlayabilen bir proses veya yöntem olmadıgından, bu bileşenlerin tamamını içeren bütünlük ve sürdürülebilir bir çamur yönetim sistemi içinde çözüm aramak gerekir (Filibeli, 2018). Bu çalışma kapsamında, Gediz Havzası örneğinde atıksu arıtma

tesislerinde oluşan arıtma çamurlarının yönetimi için yol haritasını belirlemek üzere dikkate alınması gereken temel esaslar verilmektedir. Mevcut/inşaat/planlanan atıksu arıtma tesislerinde üretilen ve gelecek projeksiyonuna göre oluşması muhtemel arıtma çamuru miktar ve özelliklerinin belirlenmesi, atıksu arıtma tesislerinde arıtma çamuru miktarının azaltılmasını sağlayan prosesleri de dikkate alarak, oluşan/oluşacak çamurların işlenmesi, yararlı kullanımı, enerji ve materyal geri kazanımı ve bertaraf edilmesine yönelik çözüm önerileri getirilmektedir. Mevcut mevzuat doğrultusunda, çevre politikaları ile uyumlu, yenilikçi teknolojilerin kullanımına olanak sağlayabilen, mevcut ve planlanan yatırımları da dikkate alarak çevresel ve ekonomik olarak uygulanabilir bir çamur yönetim sisteminin oluşturulmasındaki temel kriterler verilmektedir.

Ülkemizdeki 25 nehir havzasından biri olan Gediz Havzası, nüfusun, tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerin yoğun olduğu bir havzadır ve İzmir, Manisa, Kütahya ve Uşak havza sınırları içerisinde bulunan illerdir. Gediz Havzası'nda yoğunluklu olarak Manisa İli ve ilçeleri olmak üzere Manisa'nın 15, Kütahya'nın 3, İzmir ilinin 4 ilçesi ve Uşak il merkezi bulunmaktadır. Havzada mevcut, inşaat halinde ve planlanan tesislerin konumu Şekil 1'de gösterilmiştir (Gediz Havzası Projesi, 2017).



Şekil 1. Gediz Havzası'ndaki mevcut/inşaat halinde/planlanan evsel ve endüstriyel tesislerin konumu.

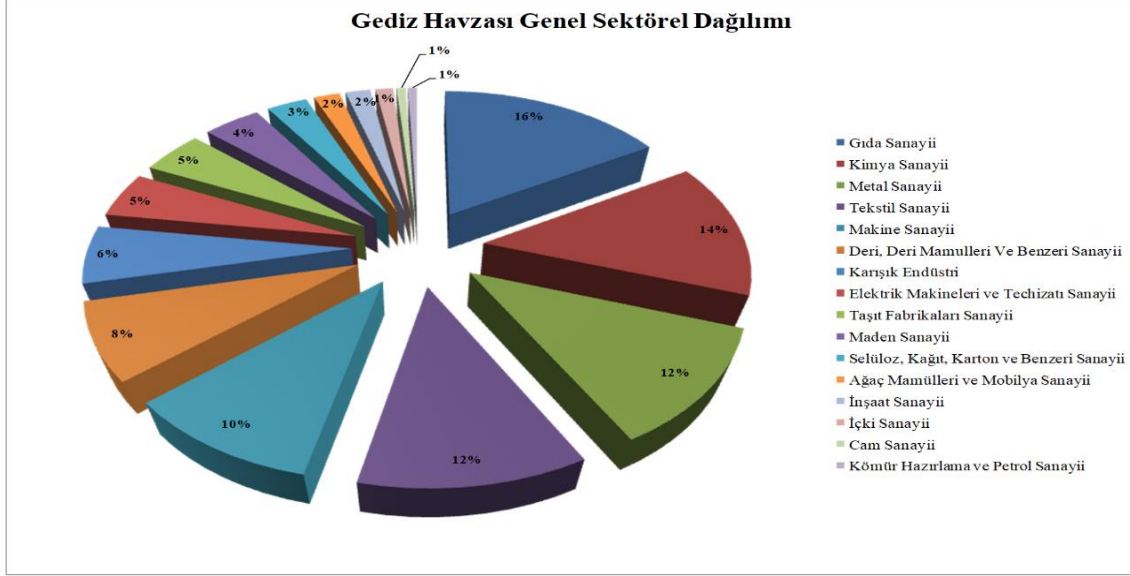
#### 4.1 Mevcut atıksu arıtma tesislerinin belirlenmesi

Mevcut evsel/kentsel/endüstriyel atıksu arıtma tesislerinin durumu, arıtılan atıksu miktarları, proses bilgileri, arıtma çamuru işleme ve bertaraf edilmesine yönelik olarak yapılacak çalışmalar, yönetim sisteminin oluşturulmasında ilk aşama olarak ele alınmaktadır. Havza bazında veya il bazında yürütülecek olan envanter çalışmaları ile daha somut ve basit çözüm alternatiflerine ulaşılması amacıyla ilk aşamada bölgedeki mevcut bilgilerin güncellenmesi önemlidir. Gediz Havzasında, ilgili kurum, kuruluş ve yetkililer ile iletişime

geçilerek havzadaki evsel/kentsel ve endüstriyel tesisler için bilgi formları ile toplanan bilgiler veri tabanına işlenmiştir. Proje çalışmalarının yapıldığı tarih itibarı ile havza sınırları içinde İzmir'de 10 AAT (Çiğli, Foça, Menemen, Kemalpaşa), Manisa'da 17 AAT (Merkez, Turgutlu, Akhisar, Salihli, Alaşehir, Kula, Ahmetli, Saruhanlı, Selendi, Sarıgöl, Gördes, Gölmarmara, Köprübaşı, Salihli-Durasılı, Şehzadeler, Yunusemre, Demirci) ve Kütahya'da 3 AAT (Gediz, Şaphane ve Pazarlar) olmak üzere toplam 30 evsel/kentsel AAT bulunmaktadır. Endüstriyel kuruluşların genel dağılımına ilişkin olarak yapılan değerlendirmelerde ise bu tesislerin münferit ve/veya Organize Sanayi Bölgeleri içinde bulunma durumuna göre

gruplandırılmalar yapılarak, faaliyet alanları ve sektörel dağılımları belirlenmiştir. Her bir tesise ait bilgi ve belgeler bir araya getirilerek tesis kapasitesi, geleceğe yönelik kapasite artırımı planlamaları, atıksu arıtımı için mevcut uygulamalar değerlendirilmiştir. Gediz Havzası genelinde 974 münferit endüstriyel tesisin faaliyette olduğu ve sektör dağılımının ise ağırlıklı olarak, Gıda sektöründe olduğu görülmektedir. Bunu Metal, Kimya ve Makine sanayi takip etmektedir. Havzada yer alan 15 OSB'de toplam 1669 tesis bulunmakta ve sektörel

dağılım olarak sırasıyla Kimya, Tekstil, Metal, Makine, Gıda, Deri, Deri Mamulleri ve Benzeri Sanayi faaliyettedir. Karışık sektörel dağılımı olan endüstrilerin havzada önemli bir yer tuttuğunu söylemek mümkündür. İhtisas OSB olarak da deri plastik, halı-kilim sektörlerine yönelik organize sanayi bölgeleri bulunmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Gediz Havzası'ndaki Endüstriyel Tesislerin Genel Sektörel Dağılımı.

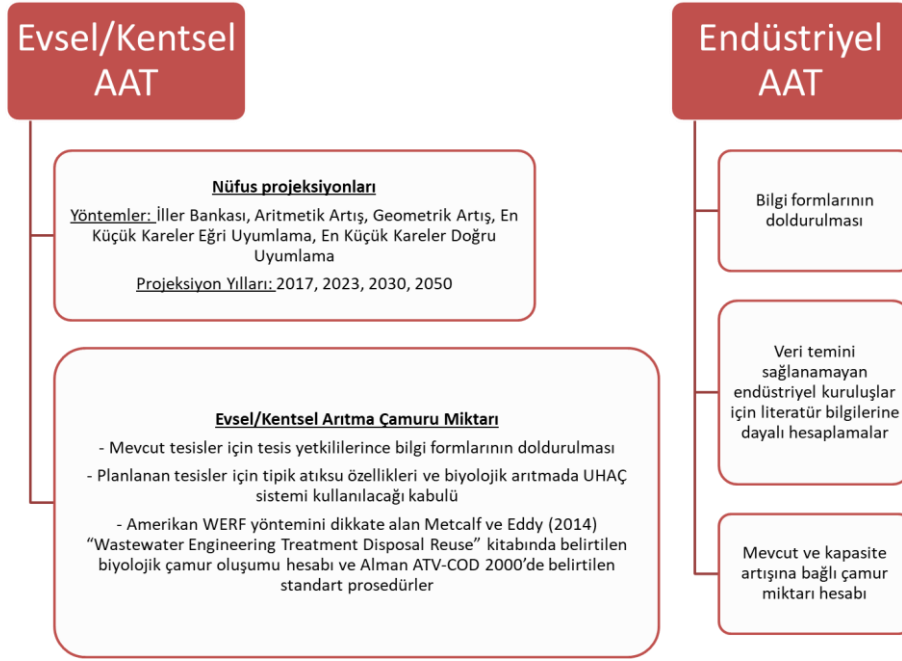
#### 4.2 Evsel/kentsel ve endüstriyel tesislerde oluşan arıtma çamuru miktarının belirlenmesi

Evsel/kentsel nitelikli atıksu arıtma tesislerinde mevcut prosesin özelliğine göre oluşan çamur miktarları hesaplanabilir. Gelecek yıllarda oluşması beklenen arıtma çamuru miktarının hesaplanmasında ise, mevcut nüfus yılı baz alınarak farklı nüfus projeksiyon yöntemleri uygulanmak suretiyle belirlenen nüfus değerleri dikkate alınarak hesaplama yapılır. AAT'lerinin hizmet ettiği eşdeğer nüfus değerlerine göre küçük, orta ve büyük ölçekli sınıflandırma yapılabilir. Literatürde <10.000 EN "küçük ölçekli", 10.000 < EN < 100.000 arası "orta ölçekli" ve >100.000 EN olan tesisler "büyük ölçekli" olarak sınıflandırılmaktadır (PURE, 2012, TÜBİTAK KAMAG 108G189, 2013, Gediz Havzası Projesi, 2017). Arıtma çamuru işleme ve nihai bertaraf seçeneklerine karar verilirken, uygulama kolaylığı ve maliyet faktörleri göz önünde bulundurularak farklı teknolojilerin uygulanabilirliği değerlendirilmelidir. Gediz Havzası'nda mevcut durum ve gelecek projeksiyonuna bağlı olarak evsel/kentsel ve endüstriyel arıtma tesislerinde oluşan/oluşacak arıtma çamuru miktarı hesaplamalarında kullanılan yöntem Şekil 3'te verilmiştir.

Evsel/kentsel atıksu arıtma tesislerinde mevcut ve gelecek yıllarda oluşması beklenen arıtma çamuru miktarları 2017, 2023, 2030 ve 2050 yılları için belirlenen nüfus projeksiyonlarına göre hesaplanmıştır. Havza genelinde 2015 yılı için 725,29 ton/gün, 2017 yılında 816,92 ton/gün, 2023 yılında 992,36 ton/gün, 2030 yılında 1138,31 ton/gün ve 2050 yılında 1349,63 ton/gün olarak hesaplanmıştır.

Bu değerler dikkate alındığında arıtılan birim atıksu miktarı için üretilen birim çamur miktarı yaklaşık 0,59 kg/m<sup>3</sup> atıksu olarak hesaplanmıştır.

Endüstriyel nitelikli atıksu arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamuru miktarları ise endüstrilerden gelen atıksu özellikleri, proses bilgileri, çamur işleme üniteleri dikkate alınarak her bir tesis için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Gediz Havzası genelinde 577,5 ton/gün endüstriyel arıtma çamuru üretimi söz konusudur. Bunların sektörel olarak dağılımı ise Seramik (216,6 ton/gün), Gıda-Konserve-Salça (160 ton/gün), OSB'ler (87,5 ton/gün), Gıda-Et-Tavukçuluk'tur (52 ton/gün). Seramik ve Kağıt-Ambalaj endüstrisi gibi arıtma çamurlarının yeniden kullanıldığı sektörler hariç tutulduğunda günlük toplam çamur üretiminin 360 ton olduğu belirlenmiştir. Arıtılan atıksu miktarlarına bakıldığında ise AAT sayısı bakımından %4'lük paya sahip olmasına rağmen OSB'lerin %45 oranıyla en fazla miktarda atıksuyu arıttığı anlaşılmaktadır. Bunu %22 ile Gıda-Konserve-Salça, %13 ile Gıda-Et-Tavukçuluk, %8 ile Seramik, %4 ile Tarım Ürünleri, %2 ile Kağıt-Ambalaj ve diğer sektörler izlemektedir. Havza'daki endüstriyel tesislerin gelecekte oluşması muhtemel arıtma çamuru miktarları sadece OSB'ler için yapılabilmektedir. Havza'da inşaat ve planlama aşamasında olan Turgutlu OSB, Akhisar Zeytin İhtisas OSB, Menemen Plastik OSB ve Bağyurdu OSB'nin tam kapasitede faaliyet göstermesi halinde havzada mevcut OSB'lerde üretilen çamur miktarına %20 oranında artış sağlayacağı öngörülmüştür. Bu durumda yakın gelecekte OSB'lerde üretilen çamur miktarının 105 ton/gün olacağı tahmin edilmektedir.



Şekil 3. Evsel/kentsel ve endüstriyel çamur miktarı hesap yöntemi.

### 4.3 Evsel/kentsel ve endüstriyel tesislerde kullanılan atıksu arıtma ve arıtma çamuru işleme yöntemleri

Mevcut AAT'lerinde uygulanan atıksu arıtma prosesleri (aktif çamur ve modifikasyonları, biyolojik nutrient giderimi vb.), arıtma çamuru işleme yöntemleri (yoğunlaştırma, susuzlaştırma ve stabilizasyon) ve varsa çamur minimizasyon teknikleri incelenmelidir. Gerek atıksu arıtımında gerekse arıtma çamurunun işlenmesi için uygulanan yöntem, oluşan çamurun özellik ve miktarını, dolayısıyla yararlı kullanım/nihai bertaraf yöntemini belirleyen en önemli unsurlardan biridir.

Evsel/kentsel arıtma çamurlarının toprakta kullanımı için çamur stabilizasyonu gereklidir. Aerobik ve/veya anaerobik stabilizasyon uygulamaları olan AAT'lerde oluşan arıtma çamuru özelliklerinin Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik kapsamında verilen sınır değerleri sağlaması halinde toprakta kullanım için uygundur (27661 sayılı Resmi Gazete, 2010). Nihai bertaraf yöntemlerinden düzenli depolama uygulaması için Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik kapsamında verilen sınır değerlerin sağlanması gereklidir (27533 sayılı Resmi Gazete, 2010). Enerji geri kazanımı amaçlı ek yakıt olarak kullanılması düşünülüyorsa %90 üzerinde kuru madde içeriğine kadar kurutulması ve belli parametreler açısından uygunluk gereklidir (29036 sayılı Resmi Gazete, 2014).

Endüstriyel arıtma çamurlarının özellikleri nihai bertaraf yöntemine karar verilmesinde belirleyici olmaktadır. Atık Yönetimi Yönetmeliği (AYY) (29314 sayılı Resmi Gazete, 2015) kapsamında yapılacak karakterizasyon çalışmalarına göre atık kodları ve sınıfının belirlenmesi ve tehlikeli veya tehlikesiz olması durumuna göre nihai bertaraf seçeneğine karar verilmesi gerekmektedir. Kalorifik değeri yüksek olan arıtma çamurlarının lisanslı atık yakma tesislerinde yakılarak veya çimento fabrikalarında ek yakıt olarak enerji kazanımı amaçlı kullanılması öngörülebilir. Son yıllarda yeni teknolojilerden gazlaştırma ve piroliz yöntemleri de uygulanmaktadır. Enerji geri kazanımı uygulanabilir olmayan arıtma çamurları ise mevzuattaki esaslara göre düzenli depolama tesislerine gönderilir. Evsel/kentsel ve endüstriyel arıtma çamurlarının yararlı kullanım/nihai bertaraf alternatifleri Şekil 4'te özetlenmektedir (Filibeli, A., 2018).

Gediz Havzasındaki evsel/kentsel AAT'lerde atıksu arıtma prosesi olarak genellikle uzun havalandırmalı aktif çamur (UHAÇ) prosesi, biyolojik nutrient giderimi (BNR) ve klasik aktif çamur prosesleri (KAÇ) uygulanmaktadır. Arıtma çamurlarının yoğunlaştırılması ve mekanik su alma proseslerinin yaygın olarak kullanıldığı; fakat çamur stabilizasyonu uygulamalarının az sayıda olduğu belirlenmiştir. Çiğli AAT'de anaerobik stabilizasyon, Alaşehir ve Akhisar AAT'lerde aerobik stabilizasyon ve Salihi AAT'de kireç stabilizasyonu uygulamaları mevcuttur. Çamur susuzlaştırmada genellikle dekantör üniteleri ve birkaç tesiste bantlı pres filtre uygulamasının olduğu; bazı AAT'lerinde ise kurutma yatağı (solar veya klasik) uygulaması vardır. Bu tesislerde oluşan çamur keki için nihai bertaraf yöntemi olarak genellikle arıtma tesisinde geçici depolama, katı atık depolama tesisi veya kurutma işlemleri sonrasında ek yakıt olarak kullanmak üzere çimento fabrikalarına gönderilmesi uygulamalarının olduğu belirlenmiştir. İzmir'de havza sınırlarında kalan AAT'lerde susuzlaştırılan çamur, Çiğli AAT'ne taşınarak, bu tesisdeki termal kurutma tesisinde kurutma sonrasında ek yakıt olarak kullanılmak üzere çimento fabrikasına gönderilmektedir. Manisa ilindeki tesislerin büyük çoğunluğunda su alma işlemi sonrasında tesis sahasında bekletme işlemi uygulanmaktadır. Akhisar evsel AAT'de solar kurutma işlemi sonrasında tesis sahasında bekletme yapılmaktadır. Bu solar kurutma tesisine yakın bölgede yer alan ve yine MASKİ tarafından işletilen Saruhanlı AAT ve Salihi AAT'lerinden susuzlaştırılmış çamur kekinin de taşınması için planlama yapılmıştır. Kütahya Gediz AAT'nde ise susuzlaştırma işlemi sonrasında çamur keki, belediyeye ait eski arıtma tesisinin kullanım dışı lagünlerinde bekletilmektedir.

Havzadaki endüstriyel AAT'lerde genellikle fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma (aktif çamur ve modifikasyonları) uygulamaları mevcut olup, gıda sektöründe ağırlıklı olarak sadece fiziksel ve biyolojik arıtma; metal ve kimya endüstrilerinde fiziksel ve kimyasal arıtma uygulanmaktadır. Çamur işlemede mekanik susuzlaştırma uygulamaları yaygındır; çamur stabilizasyonu uygulamaları çok kısıtlı olup, sadece Manisa OSB ve İzmir Çiğli AOSB AAT'lerinde aerobik stabilizasyon uygulaması vardır. Çamur susuzlaştırmada pres filtre, bantlı pres filtre ve dekantör üniteleri kullanılmaktadır, birkaç tesiste kurutma yatağı uygulamasının olduğu görülmüştür. Havzadaki münferit endüstriyel tesislerin büyük çoğunluğunda ve Organize Sanayi





Şekil 4. Evsel/kentsel ve endüstriyel arıtma çamurlarının nihai bertaraf/yararlı kullanım alternatifleri.

#### 4.4 Evsel/kentsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamuru numunelerinin alınması, karakterizasyonu ve toprak analizleri

Atıksu arıtma işlemleri sonrasında oluşan arıtma çamurlarının özelliklerinin belirlenebilmesi için AAT'lerinin çamur işleme ünitelerinden uygun noktalardan numunelerin alınması, saklanması ve analiz edilmek üzere ilgili laboratuvara ulaştırılması ilgili prosedürler çerçevesinde yürütülür. Karakterizasyon çalışmalarında ilgili mevzuat kapsamında belirtilen analizlerin yapılması gereklidir. Analiz sonuçlarına göre yapılacak değerlendirmeler çamurun işlenmesi, yararlı kullanımı ve/veya nihai bertaraf yöntemine karar verilmesinde belirleyici unsurdur. Ülkemizde uygulamada olan mevzuat esaslarına göre ilgili analizlerin yapılması zorunludur (Tablo 2) (Filibeli, 2018).

Gediz Havzası'ndaki AAT'lerde oluşan arıtma çamurlarının özelliklerinin tespit edilmesi için belirlenen örnekleme noktalarından numune alma ve karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Numune alma programı çerçevesinde, seçilen 8 adet evsel/kentsel ve 35 adet endüstriyel olmak üzere toplam 43 tesisten alınan çamur keki numunelerinde yürütülen karakterizasyon çalışmaları Tablo 2'de verilen mevzuat kapsamındaki analizler ile gerçekleştirilmiştir.

Arıtma çamurlarının toprakta kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için Gediz Havzası içinde yer alan dört ili temsilen seçilen toplam 8 örnekleme noktasından toprak örnekleri alınmıştır. Toprak numunelerinde yapılan EK-1A analiz sonuçlarına göre; İzmir ve Manisa illeri topraklarının "Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik"te belirtilen sınır değerleri sağladığı; Uşak ve

Kütahya illeri topraklarında Ni ve Cr gibi bazı ağır metal konsantrasyonlarının sınır değerlerin üzerinde olması nedeniyle kullanıma uygun olmadığı değerlendirilmiştir.

Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik EK-2 kapsamında verilen Atık Kabul Kriterlerine göre, numune alınan AAT'lerde EK-2A ve EK 2B'de verilen sınır değerler, bir veya daha çok parametre için aşıldığından, bu çamurların III. Sınıf ve II. Sınıf Düzenli Depolama Tesislerine gönderilmeleri uygun değildir. Çözülmüş organik karbon (ÇOK), toplam organik karbon (TOK), fenol indeksi ve mineral yağ parametreleri sınır değerlerin üzerinde olan parametrelerdir. Bunun çözümüne yönelik olarak fiziksel, kimyasal, biyolojik veya ısı ön işlemlerden bir veya birkaçının uygulanarak, EK 2'de verilen parametrelerin sınır değerleri sağlanması halinde düzenli depolama tesislerinde depolanabileceği değerlendirilmiştir.

35 adet endüstriyel tesisten alınan arıtma çamuru örneklerinde Atık Yönetimi Yönetmeliği ekleri kapsamında atık kodları ve sınıfları belirlenerek, analiz sonuçlarına göre tehlikeli/tehlikesiz olma durumları tespit edilmiştir. Bu Yönetmelik gereğince yapılan değerlendirmede, 35 tesisin 15 tanesi (OSB, Kimya, Metal, Halıcılık, Deri, Boya-Mürekkep sektörleri) haricinde tüm tesislerde oluşan endüstriyel nitelikli arıtma çamurlarının "tehlikesiz" atık sınıfında olduğu belirlenmiştir. Gıda Sektöründe (Et-tavukçuluk, Konserve-salça, Yağ, Süt işleme, Üzüm işleme alt sektörleri) bulunan işletmelerde oluşan arıtma çamurlarının çoğunluğunun tehlikesiz atık sınıfında olduğu; Cam, Galvaniz, Seramik, Kâğıt ve Yapı Malzemesi üretimi gibi sektörlerde oluşan arıtma çamurlarının da bu sınıfa dâhil olduğu belirlenmiştir.

Tehlikeli atık sınıfında bulunan arıtma çamurlarının nihai bertaraf edilmesinde tehlikeli ve zararlı atıklar için geçerli esaslar uygulanmalıdır (29314 sayılı Resmi Gazete, 2015). Ekotoksik özellikleri nedeniyle toksik ve çok toksik olarak sınıflandırılan

arıtma çamurlarının geçici olarak depolanmaması, atık bertaraf tesislerine gönderilmesi gerekmektedir. Yapılan analiz sonuçlarına göre kalorifik değeri yüksek olan bu tür arıtma çamurlarının AYY EK-2B'de yer alan (R1-Enerji üretimi amacıyla başlıca yakıt olarak veya başka şekillerde kullanma) işlemi gereği lisanslı atık yakma tesislerinde yakılarak enerji kazanımı amaçlı kullanılması öngörülebilir. Enerji geri kazanımı uygulanabilir olmayan arıtma çamurları Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik EK-2 Atık Kabul Kriterleri kapsamında değerlendirilmelidir. Bu çamurların düzenli depolama tesislerinde depolanması halinde tehlikeli olma özelliklerini azaltmak amacıyla ön işlemlerin uygulanması ve I. Sınıf veya II. Sınıf Düzenli Depolama Tesislerinde depolanması gerekmektedir.

“Tehlikesiz” olarak sınıflandırılan bazı endüstriyel arıtma çamurlarının içeriğinde geri kazanılabilir nitelikteki materyalin bulunması (yüksek feldispat/kuvars, silis içeriği gibi) halinde, AYY EK-2B'de yer alan (R5-Diğer anorganik malzemelerin ıslahı/geri dönüşümü) işlemi gereği çimento, yapı sektörü vb. alanlarda eğer teknik şartları sağlıyorsa geri kazanım uygulaması yapılmalıdır. Geri kazanım sonrasında kalan kısmın Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik EK-2 Atık Kabul Kriterleri kapsamında değerlendirilerek III. Sınıf ve II. Sınıf Düzenli Depolama Tesislerine gönderilmeleri sağlanmalıdır (Gediz Havzası Projesi, 2017).

Tablo 2. Çalışma kapsamında evsel/kentsel ve endüstriyel çamurlar için değerlendirilen mevzuat.

İlgili Mevzuat	Açıklama
<b>Atık Yönetimi Yönetmeliği</b>	
EK-1	Atık Kodu Belirleme Hiyerarşisi ve Atık Kodu Açıklamaları
EK-2A	Bertaraf yöntemleri
EK-2B	Geri kazanım işlemleri
EK-3A	Tehlikeli kabul edilen atık özellikleri
EK-3/B	“Tehlikeli Atık Eşik Konsantrasyonları”na göre tehlikeli/tehlikesiz olarak sınıflandırma, yapılacak analizlere ilişkin açıklamalar
EK-4	Atık Listesine göre “Atık Kodu”nun belirlenmesi
<b>Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik</b>	
EK-1	Testler ve Numune Alma Metotları
EK-2	“Atık kabul kriterleri” kapsamında değerlendirme ile düzenli depolama tesisi sınıfının (Sınıf I, Sınıf II ve Sınıf III) belirlenmesi
EK-3	Düzenli Depolama Tesislerinde Kullanılan Sızdırmaz Malzemeler İle İlgili Standartlar
EK-4	Meteorolojik Veriler
Ek-5	Depo Gazı ve Sızıntı Suyunun Kontrolü ve İzlenmesi
<b>Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği</b>	
<b>Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik</b>	Tehlikeli/tehlikesiz olma durumuna göre yakma için gerekli koşulları sağlama
<b>Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik</b>	
EK-IA	Arıtma çamuru uygulanacak topraktaki ağır metal sınır değerleri
EK I-B	Stabilize arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal içerikleri
EK I-C	Stabilize arıtma çamurunda organik bileşiklerin konsantrasyonları ve dioksinlerin (PCDD/F) sınır değerleri
EK-ID	Stabilize arıtma çamurunda yapılacak mikrobiyolojik analizler

#### 4.5 Arıtma çamurlarının yönetimi için alternatif senaryoların değerlendirilmesi ve maliyet analizi

Bir bölge veya il bazında arıtma çamurlarının yönetimi için yapılacak planlamada, mevcut çevre politikaları ve planlama süreçleri, uygulamadaki mevzuat, mevcut atıksu arıtma tesislerinin durumu: kapasitesi, atıksu arıtma prosesi, çamur işleme ve bertaraf prosesi, bu tesislerde oluşan arıtma çamuru miktarları ve özelliklerinin belirlenmesi amacıyla mevcut analiz sonuçları, bölgede mevcut lisanslı atık işleme ve bertaraf tesisleri: bu tesislerin atık işleme kapasiteleri ve geleceğe yönelik kapasite artırma planlamaları, AAT'ine uzaklığı; mevcut çimento fabrikaları, termik santraller, kireç fabrikaları vb. tesisler; mevcut karayollarının durumu, mevcut tarım alanlarının ve su kaynaklarının durumu gibi unsurların göz önünde bulundurulması gereklidir.

Mevcut AAT'ler ve planlanan AATler için, nihai olarak bertaraf edilmesi/yararlı kullanımı mümkün olan arıtma çamuru miktarları ve özellikleri ile bölgedeki atık işleme ve nihai uzaklaştırma tesislerine ait bilgiler dikkate alınarak, projeksiyon dönemlerine

göre alternatif yararlı kullanım/nihai uzaklaştırma senaryoları hazırlanabilir. Bu senaryolarda ortak ön işlem, geri kazanım ve bertaraf tesislerinin (biyogaz, kurutma, gazlaştırma, yakma ve depolama) yerlerinin belirlenmesi, her bir senaryo için taşıma, ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin belirlenmesi çalışmaları yapılarak ekonomik ve ekolojik açıdan en uygun seçeneğe karar verilebilir. Öngörülecek merkezi tesislerin kurulmasına uygun olası alanların yer belirleme çalışmaları sırasında bu alanlarda arazinin özellikleri, konumu, yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarının konumu, yakınındaki yerleşim alanlarına uzaklığı, ana ve tali yollara olan bağlantıları, sit alanı olup olmadığı vb. konularda yerinde tespitler yapılmalıdır.

Bu değerlendirmelerde gerek evsel/kentsel, gerekse endüstriyel AAT'de oluşacak çamur miktarının azaltılması ve çamur kalitesinin iyileştirilmesine yönelik uygulanabilecek ön işlemler alternatif senaryolara dâhil edilmelidir. Konum itibarıyla birbirine yakın olan evsel AAT'lerden gelecek arıtma çamurları ile gıda ve tarım sektöründen kaynaklanan organik içerikli tehlikesiz endüstriyel çamurlardan biyogaz elde edilmesi amacıyla merkezi biyogaz tesisleri öngörülebilir. Endüstriyel arıtma çamurlarının ek yakıt olarak kullanımı seçeneğinde ürün



kalitesine olabilecek olumsuz etkiler düşünülerek, arıtma çamurlarının ısı değeri, klorür, sülfat ve organik madde içerikleri dikkate alınmalıdır. Alternatif senaryolar içinde uygulamaya yönelik en uygun seçeneklere karar verme aşamasında yetkili kurum ve kuruluşlar ile yürütülecek çalışmalar sonucu nihai senaryolara karar verilir (Filibeli, 2018, Gediz Havzası Projesi, 2017).

Gediz Havzası'nda arıtma çamurlarının yönetimi için geliştirilen alternatif senaryolarda, atıksu arıtma tesislerinde oluşan toplam çamur miktarları dikkate alınarak ölçeklendirme yapılmıştır. Ölçeklendirmede evsel/kentsel AAT için eşdeğer nüfus değerleri esas alınmıştır: küçük ölçekli AAT'ler (EN < 10.000), orta ölçekli AAT'ler (EN = 10.000-100.000) ve büyük ölçekli AAT'ler (EN >100.000) (PURE, 2012; TÜBİTAK-KAMAG 168G167,2013).

Küçük ölçekli AAT'lerinde hesaplanan çamur miktarları 0.12-1.39 ton/gün, orta ölçekli AAT'lerinde 1.75-8 ton/gün ve büyük ölçekli AAT'lerinde 18-108 ton/gün arasında değişmektedir. Ortalama çamur miktarları küçük ve orta ölçekli AAT'leri için 1 ton/gün ve 5 ton/gün civarında belirlenmiştir. Büyük ölçekli AAT'lerinde oluşan çamur miktarları geniş bir aralıkta değişim gösterdiğinden 30 ton/gün ve 100 ton/gün olmak üzere iki farklı değer esas alınmıştır. Endüstriyel AAT'lerinde oluşan arıtma çamurlarının işlenmesi ve bertaraf edilmesi amacıyla oluşturulan

alternatif senaryolarda, münferit tesisler için 1 ton/gün'den az çamur üretimi olan tesisler küçük ölçekli, 1 – 10 ton/gün aralığında çamur üretimi olan tesisler orta ölçekli ve 10 ton/gün'den fazla çamur üreten tesisler ise büyük ölçekli olarak sınıflandırılmıştır.

Gediz Havzası sınırları içinde bulunan alıcı konumundaki mevcut tesislerin arıtma çamuru kullanım potansiyeli dikkate alınarak, gelecek planlamasına yönelik ilave kapasite sağlayacak merkezi tesislerin yapılmasına ihtiyaç olduğu belirlenmiştir. Bu kapsamda merkezi biyogaz tesisleri, merkezi kurutma tesisleri, merkezi gazlaştırma tesisi ve merkezi yakma tesisleri kurulması önerilmektedir. Bu tesislerin yer belirleme çalışmaları, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Manisa İl Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü ve İzmir İl Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü yetkilileri ile birlikte gerçekleştirilmiştir.

Gediz Havzasında oluşan evsel/kentsel ve endüstriyel arıtma çamurlarının yönetimi için 7 adet olası senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolar Tablo 3'te özetlenmiştir (Gediz Havzası Projesi, 2017). Tabloda parantez içerisinde verilen rakamlar, senaryoda önerilen uygulamanın toplam oluşan arıtma çamurunun ne kadarlık kısmı için uygulanabileceğini göstermektedir.

Tablo 3. Gediz Havzası'nda arıtma çamuru yönetimi için oluşturulan alternatif senaryolar.

Senaryo	Açıklama
<b>SENARYO 1</b>	A. Solar Kurutma + Toprakta Kullanım (Toplam çamurun % 14,1), B. Kurutma (Mevcut Evsel Termal Kurutma Tesisleri + Yeni Yapılacak) + Ek Yakıt Olarak Kullanım (Toplam çamurun % 46,4), C. Kurutma + Yakma (Toplam çamurun % 22,6), D. Yapı Malzemesi Olarak Kullanım (Toplam çamurun % 16,9)
<b>SENARYO 2</b>	A. Minimizasyon + Stabilizasyon + Toprakta Kullanım (Toplam çamurun % 22,6), B. Solar Kurutma + Toprakta Kullanım (Toplam çamurun % 0,5), C. Kurutma + Ek Yakıt Olarak Kullanım (Toplam çamurun % 37,3), D. Kurutma + Yakma (Toplam çamurun % 22,7), E. Yapı Malzemesi Olarak Kullanım (Toplam çamurun % 16,9)
<b>SENARYO 3</b>	A. Kurutma + Ek Yakıt Olarak Kullanım (Toplam çamurun % 74), B. Kurutma + Yakma (Toplam çamurun % 8), C. Yapı Malzemesi Olarak Kullanım (Toplam çamurun % 16,9), D. Yakma (Toplam çamurun % 1,1)
<b>SENARYO 4</b>	A. Biyometanizasyon + Toprakta Kullanım (Toplam çamurun % 18,1), B. Kurutma + Ek Yakıt Olarak Kullanım (Toplam çamurun % 56,7), C. Kurutma + Yakma (Toplam çamurun % 8,3), D. Yapı Malzemesi Olarak Kullanım (Toplam çamurun % 16,9'u)
<b>SENARYO 5</b>	A. Kurutma + Yakma (Toplam çamurun % 83,1), B. Yapı Malzemesi Olarak Kullanım (Toplam çamurun % 16,9)
<b>SENARYO 6</b>	A. Kurutma + Gazlaştırma (Toplam çamurun % 81,8), B. Yapı Malzemesi Olarak Kullanım (Toplam çamurun % 16,9), C. Düzenli Depolama (Toplam çamurun % 1,3'ü)
<b>SENARYO 7</b>	A. Kurutma + Ek Yakıt (Toplam çamurun % 74), B. Düzenli Depolama (Toplam çamurun % 8), C. Yapı Malzemesi Olarak Kullanım (Toplam çamurun % 16,9), D. Yakma (Toplam çamurun % 1,1)

Önerilen arıtma çamuru işleme ve bertaraf etme alternatif senaryolarındaki maliyet analizi çalışmalarında, ilk aşamada çamur işleme ve bertaraf tesislerinin ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin belirlenmesi amacıyla, yurtiçi ve yurtdışı gerçek ölçekli kurulu tesisler için araştırma yapılmış; yurtiçi ve yurtdışı uygulamaları olan firmalardan belirli kapasiteler için fiyat teklifi alınmıştır. Gerçek ölçekte kurulu çamur işleme ve bertaraf tesislerinin toplam maliyetlerinin belirlenmesi amacıyla yapılan literatür taraması sonuçları dikkate alınarak, çamur işleme ve bertaraf ünitelerinin kapasiteleri, yatırım ve işletme maliyetlerine göre birim ton kuru madde için birim maliyet tahmini yapılmıştır (Tablo 4). Kullanılan birim işlemler bazında dikkate alınan birim yatırım ve işletme maliyetlerine göre, evsel/kentsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesisleri için oluşturulan alternatif senaryoların toplam maliyet hesabı yapılmıştır.

Oluşturulan senaryoların yatırım, işletme ve taşıma maliyetleri projenin yapıldığı tarihteki maliyetler dikkate alınarak

belirlenmiştir. En yüksek yatırım maliyeti 222 Milyon TL (55,5 Milyon €) gazlaştırma uygulamasının yer aldığı Senaryo 6 için elde edilirken, en düşük yatırım maliyeti 59,2 Milyon TL (14,8 €) yatırımla kurutma+ek yakıt ve depolama seçeneklerini bulunduran Senaryo 7'de oluşmuştur. Bunda da en büyük etken Manisa Uzunburun'da planlanan katı atık depolama tesisinin hâlihazırda finansman desteği sağlanmış ve inşaat aşamasında olmasıdır. İşletme maliyetlerine göre ise en yüksek maliyet yaklaşık 13 Milyon TL/yıl (3.25 Milyon €/yıl) ile 6 nolu senaryoda, en düşük maliyet ise yaklaşık 8.2 Milyon TL/yıl (2.05 Milyon €/yıl) ile 1 nolu senaryoda elde edilmiştir. Taşıma maliyeti açısından en yüksek maliyet yaklaşık 4 Milyon TL/yıl (1 Milyon €/yıl) ile 7 nolu senaryoda, en düşük maliyet ise yaklaşık 1.78 Milyon TL/yıl (0.45 Milyon €/yıl) ile 3 nolu senaryoda elde edilmiştir. Bununla birlikte biyometanizasyon ve gazlaştırma uygulamalarını içeren 4 nolu ve 6 nolu (senaryolarda işletim maliyeti değerlendirilmesinde bu uygulamalardan elde edilen biyogaz ve sentez gazının elektrik enerjisi dönüşümleri de

dikkate alındığında, bu senaryolar için belirtilen işletme maliyetlerinin en az %30-%35 oranında azaltılması söz konusudur (Gediz Havzası Projesi, 2017).

#### 4.6 Arıtma çamurlarının yönetimi için nihai senaryoların belirlenmesi

Nihai senaryolar belirlenirken uygulamaya yönelik alternatif senaryolar göz önünde bulundurulur. Bu aşamada, inceleme bölgesinin özellikleri, bölgede daha önce gerçekleştirilen projelerden sağlanan bilgiler, mevcut ve gelecek ihtiyacını karşılamaya yönelik yapılması planlanan AAT'ler, bu AAT'lerde oluşan/oluşacak çamur miktarları ve özellikleri, bölgede mevcut ve planlanan nihai uzaklaştırma/yararlı kullanıma yönelik tesisler ve kapasiteleri dikkate alınmalıdır. Nihai senaryolarda, hâlihazırdaki durum göz önünde bulundurulurken, gelecek dönemde farklı zaman dilimlerinde uygulamaya alınabilecek bir planlama yapılmalıdır. Böyle bir planlamada mevcut durum, kısa vade, orta vade ve uzun vadede gerçekleştirilecek uygulamalar öngörülebilir.

Mevcut durumu temsil eden senaryoda, bölgede mevcut alıcı tesislerin kullanımına öncelik verilmeli, ilave bir yatırıma gidilmeksizin, nihai uzaklaştırma ve/veya yararlı kullanım sağlanmalıdır. Gelecek planlamasına yönelik olarak belirlenecek senaryolarda ise, her bir süreçte inşaatı devam eden, yapımı planlanan ve önerilen yeni alıcı tesislerinin projelerinin ve yapımının tamamlanması ve işletmeye alınmasına yönelik planlamalar olmalıdır. Farklı zaman periyotlarında işlerlik kazanması düşünülen senaryoların her birinde kullanımı öngörülen tesislerin konum ve kapasitesi,

çamur miktarları ve taşıma mesafeleri göz önünde bulundurularak, taşıma maliyetlerini en aza indirmek için Coğrafi Bilgi Sistemi (ArcGIS gibi) ile mevcut veri tabanı kullanılarak optimizasyon çalışmaları yapılmalıdır. Bu senaryolar için ilk yatırım ve işletme maliyetleri hesaplanarak, bu maliyetlerin karşılanmasına yönelik olası finans kaynaklarının planlamasına gidilmelidir. Nihai senaryolarda gelecek planlamalarında uygulanması öngörülen seçenekler belirlenirken, materyal ve enerji geri kazanımının esas alındığı teknolojiler öncelikli olarak tercih edilmeli; gelecek projeksiyonları için toprakta kullanım ve depolama seçenekleri kademeli olarak azaltılmalıdır (Filibeli, 2018).

Gediz Havzasında bulunan evsel/kentsel/endüstriyel AAT'lerde arıtma çamuru yönetimi için uygulamaya yönelik oluşturulan alternatif senaryolar dikkate alınarak, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü yetkilileri ve proje ekibinin ortak çalışması ile nihai senaryolar belirlenmiştir. Nihai senaryolara karar verirken, mevcut duruma ilave olarak, gelecek planlamasına yönelik üç farklı dönem kapsayan bir planlama yapılması önerilmiştir: Nihai Senaryo 1: Mevcut Durum, Nihai Senaryo 2: Kısa Vade (2017 – 2023 dönemi), Nihai Senaryo 3: Orta Vade (2023 – 2030 dönemi) ve Nihai Senaryo 4: Uzun Vade (2030 – 2050 dönemi) (Gediz Havzası Projesi, 2017).

Nihai senaryo seçenekleri, uygulama yüzdelerini gösterecek şekilde Tablo 5'de verilmektedir. Mevcut durum, kısa, orta ve uzun vade dönemlerine ait nihai senaryo yatırım-işletim-taşıma maliyeti ise Tablo 6'da özetlenmektedir:

Tablo 4. Kullanılan prosesler bazında birim yatırım ve işletme maliyetleri (Gediz Havzası Arıtma Çamuru Yönetim Planının Hazırlanması Projesi, 2017).

PROSES	Birim Yatırım Maliyeti (Euro/tonKM)	İşletme Maliyeti (Euro/tonKM)
<b>KURUTMA</b>		
Termal	350	50
Termal +Kojenerasyon	770	100
Solar	400	45
<b>YAKMA</b>		
Yakma	700	100
<b>GAZLAŞTIRMA</b>		
Gazlaştırma	350	50
Piroliz	200	
<b>ANAEROBİK ÇÜRÜTME</b>		
Anaerobik Çürütme	400	60
<b>AEROBİK ÇÜRÜTME</b>		
Aerobik Çürütme	250	60
<b>SANTRİFÜJ DEKANTÖR</b>		
Santrifüj Dekantör	100	20
<b>DEPOLAMA</b>		
Depolama	300	25
<b>YAPI MALZEMESİ KULLANIM</b>	50	
Solidifikasyon	50	
<b>ULTRASONİKASYON MİNİMİZASYON</b>		
Ultrasonikasyon Minimizasyon	70-150	10

Tablo 5. Gediz Havzası'nda arıtma çamuru yönetimi için oluşturulan nihai senaryolar.

Senaryo	Açıklama
<b>Nihai Senaryo 1: Mevcut Durum</b>	A. Stabilizasyon/ Solar Kurutma + Toprakta Kullanım (Toplam çamurun % 13,9'u) B. Kurutma + Ek Yakıt (Toplam çamurun % 41,6'sı) C. Düzenli Depolama (Toplam çamurun % 25,7'si) D. Yapı Malzemesi Olarak Kullanım (Toplam çamurun % 18,8'i)
<b>Nihai Senaryo 2: Kısa Vade (2017 – 2023 dönemi)</b>	A. Stabilizasyon/ Solar Kurutma + Toprakta Kullanım (Toplam çamurun % 8'i) B. Kurutma + Ek Yakıt (Toplam çamurun % 51,3'ü) C. Düzenli Depolama (Toplam çamurun % 23,5'i) D. Yapı malzemesi olarak kullanım (Toplam çamurun % 17,2'si)
<b>Nihai Senaryo 3: Orta Vade (2023 – 2030 dönemi)</b>	A. Stabilizasyon/ Solar Kurutma + Toprakta Kullanım (Toplam çamurun % 5'i) B. Kurutma + Ek Yakıt (Toplam çamurun % 41,8'i) C. Düzenli Depolama (Toplam çamurun % 2,2'si) D. Biyometanizasyon (Toplam Çamurun % 4'ü)* E. Kurutma + Yakma (Toplam Çamurun % 12,2'si) F. Kurutma + Gazlaştırma (Toplam Çamurun % 19'u) G. Yapı Malzemesi Olarak Kullanım (Toplam çamurun % 15,8'i)
<b>Nihai Senaryo 4: Uzun Vade (2030 – 2050 dönemi)</b>	A. Stabilizasyon/ Solar Kurutma + Toprakta Kullanım (Toplam çamurun % 3'ü) B. Kurutma + Ek Yakıt (Toplam çamurun % 45,1'i) C. Düzenli Depolama (Toplam çamurun % 1'i) D. Kurutma + Yakma (Toplam Çamurun % 14,5'i) E. Kurutma + Gazlaştırma (Toplam Çamurun % 22,3'ü) F. Yapı Malzemesi Olarak Kullanım (Toplam çamurun % 14,1'i)

\*Uzun vadede biyometanizasyon seçeneği alternatif olarak korunacak olup, A-stabilizasyon seçeneğinin içinde değerlendirilmiştir.

Tablo 6. Gediz Havzası'nda arıtma çamuru yönetimi için mevcut durum, kısa, orta ve uzun vade dönemlerine ait nihai senaryo yatırım-ışletim-taşıma maliyetleri (maliyetler projenin yapıldığı tarihteki bedeller dikkate alınarak belirlenmiştir- 1 € = 4 TL).

Senaryo	Yatırım maliyeti (TL)	İşletme maliyeti (TL/yıl)		Taşıma maliyeti (TL/yıl)	
<b>Nihai Senaryo 1: Mevcut Durum</b>	-	12 741 400 (3 185 350 €/yıl)	14 056 900 (3 514 225 €/yıl)	3 026 020 (706 505 €/yıl)	5 656 240 (1 414 060 €/yıl)
<b>Nihai Senaryo 2: Kısa Vade (2017 – 2023 dönemi)</b>	44 850 000 (11 212 500 €/yıl)	<b>2017</b> 17 309 920 (4 327 480 €/yıl)	<b>2023</b> 19 108 750 (4 777 188 €/yıl)	<b>2017</b> 2 869 225 (717 306 €/yıl)	<b>2023</b> 5 212 535 (1 303 134 €/yıl)
<b>Nihai Senaryo 3: Orta Vade (2023 – 2030 dönemi)</b>	101 480 000 (25 370 000 €/yıl)	<b>2023</b> 32 911 870 (8 227 968 €/yıl)	<b>2030</b> 35 942 660 (8 985 665 €/yıl)	<b>2023</b> 4 802 260 (1 200 565 €/yıl)	<b>2030</b> 6 565 560 (1 641 400 €/yıl)
<b>Nihai Senaryo 4: Uzun Vade (2030 – 2050 dönemi)</b>	178 850 000 (44 712 500 €/yıl)	<b>2030</b> 49 214 520 (12 303 630 €/yıl)	<b>2050</b> 61 843 100 (15 460 775 €/yıl)	<b>2030</b> 4 950 895 (1 237 724 €/yıl)	<b>2050</b> 7 809 725 (1 952 430 €/yıl)

## 5. Sonuç

Arıtma çamurlarının işlenmesi ve nihai olarak uzaklaştırılmasında, teknik, ekonomik, sosyal ve çevresel bileşenleri içeren bütünleşik ve sürdürülebilir bir çamur yönetim sistematığının oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında, Gediz Havzası örneğinde arıtma çamurlarının yönetiminde izlenmesi gereken yol haritasının oluşturulması için temel esaslar değerlendirilmiştir. Nihai senaryolarda, mevcut durum dikkate alınarak, gelecek planlamasına yönelik olarak 2017-2050 yıllarını kapsayan Kısa, Orta ve Uzun Vadede uygulamaya geçirilecek bir planlama yapılması öngörülmüştür. Ele alınan dört nihai senaryo için yatırım-ışletme-taşıma maliyetleri belirlenmiştir. Uzun vade senaryolarında daha çok enerji geri kazanımına yönelik uygulamalarda artış planlanırken, düzenli depolama ve toprakta kullanım seçeneklerinde önemli derecede azaltmaya gidilmiştir.

## 6. Teşekkür ve Bilgi

Bu makale, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB) adına Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü tarafından yürütülen "Gediz Havzası Arıtma Çamuru Yönetim Planının Hazırlanması Projesi" kapsamında hazırlanmıştır. Proje sürecinde proje ekibine destekleri ile katkı sağlayan tüm kurum, kuruluş ve işletmelere teşekkür ederiz.

Makale araştırma ve yayın etiğine uygun olarak hazırlanmıştır. Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## 7. Kaynaklar

- Atık Yönetimi Yönetmeliği, 29314 sayılı Resmi Gazete, 2015.
- Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt Ve Alternatif Hammadde Tebliği, 29036 sayılı Resmi Gazete, 2014.
- Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, 27533 sayılı Resmi Gazete, 2010.
- Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik, 27721 sayılı Resmi Gazete, 2010.
- Ayol A., Filibeli A., Sir D., Kuzyaka E. (2008) Aerobic and anaerobic bioprocessing of activated sludge: Floc disintegration by enzymes, Journal of Environmental Science Health, 43, 528-35.
- Canziani, R., Spinosa, L., 2019. Sludge: sources and characterization. In: Prasad, M.N.V. (Ed.), Industrial and Municipal Sludge: Emerging Concerns and Scope for Resource Recovery. Elsevier Inc., Ch. 1, 3-31, ISBN 978-0-12-815907-1.
- COUNCIL DIRECTIVE of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture ( 86 / 278 /EEC).
- Demir, O. and Filibeli A., (2016).The investigation of the sludge reduction efficiency and mechanisms in oxic-settling-anaerobic (OSA) process. Water Science and Technology, V.73, No.10, pp.2311-2323, DOI:10.2166/wst.2016.076.
- EC/2008/98, Waste Framework Directive (Avrupa Birliği Atık Çerçeve Direktifi).
- EPA 40 CFR 260 (40 CFR Part 260, n.d.) PART 260 - Hazardous



- Waste Management System: General, 1980.
- Erden G., Demir O., Filibeli A. (2010) Disintegration of biological sludge: Effect of ozone oxidation and ultrasonic treatment on aerobic digestibility, *Bioresource Technology*, 101 (21), 8093-8098.
- Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik, 27661 sayılı Resmi Gazete, 2010.
- Filibeli A., ve Demir, O., (2008). Aşırı çamur üretiminin kaynağa azaltılmasına yönelik uygulamalar. Kent Yönetimi, İnsan ve Çevre Sorunları 08 Sempozyumu. 537-534.
- Filibeli A., Ayol A., (2008) Sludge/Biosolid Management in Turkey from Point View of Practical Applications by Local Authorities and Legal Aspects of Turkish Environmental Policy on Sludge/Biosolid Treatment and Handling. *Global Biosolid Atlas*, UNEP.
- Filibeli, A., "Arıtma Çamurlarının Sürdürülebilir Yönetiminde Yeni Yaklaşımlar: Enerji ve Materyal Geri Kazanımı", IEECC Uluslararası Çevre Mühendisliği Kongresi, 10-12 Ekim 2019, Kocaeli-Gebze.
- Filibeli, A., "Principles of Generating a Sludge Management System", Eurasia 2018 Waste Management Symposium, 2-4 May 2018, YTU Davutpaşa Congress Center, İstanbul/Türkiye.
- Filibeli, A., Ayol, A., Büyükkamacı, N., Saygılı, G., Şener, G., "Investigation of Beneficial Usage Alternatives of Domestic/Municipal/Industrial Treatment Plant Sludges: Case Study of Gediz Watershed Area in Turkey", 4th International Conference on Sustainable Development, 11-15 April, 2018, Athens, Greece.
- Galilee U. Semblante, Faisal I. Hai, Huu H. Ngo, Wenshan Guo, Sheng-Jie You, William E. Price, Long D. Nghiem, (2014) Sludge cycling between aerobic, anoxic and anaerobic regimes to reduce sludge production during wastewater treatment: Performance, mechanisms, and implications. *Bioresource Technology*, 155, 395-409.
- Gediz Havzası Arıtma Çamuru Yönetim Planının Hazırlanması Projesi Nihai Raporu, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı adına Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği tarafından hazırlanmıştır, Şubat 2016 – Ağustos 2017.
- Grobelak, A., Czerwińska, K., Murtaś, A., General considerations on sludge disposal, industrial and municipal sludge, *Industrial and Municipal Sludge Emerging Concerns and Scope for Resource Recovery*, Chapter 7, pp. 135-153, 2019.
- Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği, 26047 sayılı Resmi Gazete, 2006.
- Kusch-Brandt, S., Mohammad A. T. Alsheyab, "Wastewater Refinery: Producing Multiple Valuable Outputs from Wastewater", 2021.
- Metcalf ve Eddy, 2003. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*.
- Papa, M., Foladori, P., Guglielmi, L., & Bertanza, G. (2017). How far are we from closing the loop of sewage resource recovery? A real picture of municipal wastewater treatment plants in Italy. *Journal of Environmental Management*, 198, 9–15, doi:10.1016/j.jenvman.2017.04.061.
- PURE (2012) Good Practices in Sludge Management, Project on Urban Reduction of Eutrophication (PURE), Union of the Baltic Cities Environment Commission, Finland
- Spinosa, L. and Doshi, P. (2021) "Re-thinking sludge management within the Sustainable Development Goal 6.2", *Journal of Environmental Management*, 287 112338.
- TÜBİTAK-KAMAG 108G167 Nolu Proje, Evsel/Kentsel Arıtma Çamurlarının Yönetimi, İTÜ, DEÜ, ODTÜ, BÜ, 2010-2013.
- US EPA PART 503 (40 CFR Part 3)- Standards For The Use or Disposal Of Sewage Sludge, 1993.
- Wiśniowska, E., Grobelak, A., Kokot, P., Kacprzak, M., Sludge legislation-comparison between different countries, *Industrial and Municipal Sludge*, Chapter 10, pp. 201-224, 2019.