

İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ

**ATIKSU ARITMA ÇAMURU BERTARAFINDA YENİ YAKLAŞIMLAR
"GÜMÜŞHANE İLİ ÖRNEĞİ"**

Rasim AHMETOĞLU

UZMANLIK TEZİ

MAYIS 2017



İL BANK
TÜRKİYE'NİN YAPICI GÜCÜ

İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ

**ATIKSU ARITMA ÇAMURU BERTARAFINDA YENİ YAKLAŞIMLAR
"GÜMÜŞHANE İLİ ÖRNEĞİ"**

Rasim AHMETOĞLU

UZMANLIK TEZİ

Tez Danışmanı (Kurum)

Dr. Elif PUL

Tez Danışmanı (Üniversite)

Doç.Dr. Mustafa ŞAHMARAN

Rasim AHMETOĞLU tarafından hazırlanan “Atıksu Arıtma Çamuru Bertarafında Yeni Yaklaşımlar Gümüşhane İli Örneği” adlı tez çalışması aşağıdaki Yeterlik Sınav Kurulu tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile UZMANLIK TEZİ olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı	Adı ve Soyadı	İmzası
Başkan	Genel Müdür Yardımcısı	Salih YILMAZ	
Üye	Daire Başkanı	Hüseyin TÖREN	
Üye	Daire Başkanı	Hakkı ÇIRAK	
Üye	Daire Başkanı	Orhan IŞIK	
Üye	Daire Başkanı	Doç. Dr. Birol KAYRANLI	

Tez Savunma Tarihi: Mayıs 2017

Tez Danışmanı (Kurum)	Tez Danışmanı (Üniversite)
Dr. Elif PUL	Doç.Dr. Mustafa ŞAHMARAN

ETİK BEYAN

“İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ Uzmanlık Tezi Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Rasim AHMETOĞLU

Atıksu Arıtma Çamuru Bertarafında Yeni Yaklaşımlar Gümüşhane İli Örneği

(Uzmanlık Tezi)

Rasim AHMETOĞLU

İLBANK A.Ş.

Kasım 2016

ÖZET

Günümüzde gelişmekte olan ülkelerde kentleşme arttıkça çevre kirliliği sorunları da artmakta ve çevreyi daha az kirletici çözümler araştırılmaktadır. Türkiye de kırsaldan kentleşmeye doğru hızlıca yönelmekte ve şehirlerde çevreye zarar verici etkenlerin etkisi çoğalmaktadır. Bu nedenle ülkemizde atıksu arıtma tesisi sayısı artmakta ve yüksek miktarda arıtma çamuru meydana gelmektedir. Oluşan bu çamurun bertarafı da atık suyun arıtılması kadar önem taşımakta olup, çevreye minimum derecede zarar verecek şekilde bertaraf edilmesi ve geri dönüşüm metotlarının araştırılması gerekmektedir. Maalesef arıtma çamurları çevre mevzuatı ve yönetmeliklerine göre işlenmemekte ve birçok yerde ise işlenmemiş olarak çevreye atılmaktadır. Bu durumda, atıksu arıtma için harcanan paranın ve yapılan atıksu arıtma işlemlerinin çevrenin korunmasına hiçbir katkısı olmamakta ve çevre kirliliği oluşturmaktadır. Kentlerin atıksu yönetiminde sorumlu olan yerel yönetimler için atıksu arıtma tesislerinin işletme safhasında en çok maliyet gerektiren atık çamurun nihai bertarafı ekonomik bir yük getirmekte ve toplam arıtma maliyetinin yaklaşık yarısını oluşturmaktadır. Bu sebeplerden dolayı çamurların işlenmesi ve nihai bertarafında çamurun özellikleri, kaynağı, arıtma prosesi, miktarı ve çevresel etkileri gibi parametrelerin iyi analiz edilerek, hem arıtma çamurlarının zararlı etkilerini bertaraf etmek hem de geri dönüşüm yöntemleri araştırarak çevreye verdiği zararı faydaya dönüştürmektir. Bu nedenle tez çalışmasında çamur arıtımı ve bertarafında yeni yaklaşımlar araştırılmış ve Gümüşhane ilindeki atıksu arıtma tesisleri incelenerek en uygun nihai çamur bertaraf yöntemi konusu irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Atıksu arıtma çamuru, Yeni yaklaşımlar, Gümüşhane

Sayfa Adedi : 75

Tez Danışmanı : Dr. Elif PUL (Kurum)
Doç. Dr. Mustafa ŞAHMARAN (Üniversite)

New Approaches Of The Sewage Treatment Sludge Disposal: Instance Of Gümüşhane
(Expertise Thesis)

Rasim AHMETOĞLU

İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ

Mayıs 2017

ABSTRACT

As urbanization increases in developing countries today, environmental pollution problems are increasing and environmentally less polluting solutions are being investigated. Turkey is also rapidly heading towards urbanization from rural areas and the effects of harmful factors in the cities are multiplying. For this reason, the number of wastewater treatment plants in our country is increasing and high amount of sewage sludge occurs. The disposal of sewage treatment sludge is also as important as the treatment of the wastewater and it is necessary to dispose of it in such a way as to cause minimum damage to the environment and to investigate the recycling methods. Unfortunately, sewage sludges are not processed according to environmental legislation and regulations, and in many places they are disposed unprocessed. In this case, the money spent on wastewater treatment and the wastewater treatment operations made have no contribution to the protection of the environment and create environmental pollution. The disposal of wastewater sludges constitutes half of the operating costs of wastewater treatment plants. Therefore, The ultimate disposal of sewage sludge is a major economic burden for municipalities. It is necessary to produce regional solutions at low cost without damaging the environment of treatment sludge by taking into consideration parameters such as sludge characteristics, source, treatment process in the processing and final disposal of sludge. For this reason new approaches in sludge treatment and disposal have been researched and the most suitable final sludge disposal method of Gümüşhane wastewater treatment plant has been examined.

Key Words : Wastewater treatment, New approaches of the sewage treatment
: Sludge, Gümüşhane

Page Number : 75

Supervisor : Dr. Elif PUL (Corporate)
: Assoc. Prof. Mustafa ŞAHMARAN (University)

TEŞEKKÜR

GerçekleŐtirilen bu çalışma sırasında değerli bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yardımlarını ve vaktini hiçbir zaman esirgemeyen, içten ve pozitif yaklaŐımları ile enerji veren danışmanlarım Sayın Doç. Dr. Mustafa ŞAHMARAN'a ve Sayın Dr. Elif PUL'a ve değerli yardımlarından dolayı Gümüşhane(Merkez) Atıksu Arıtma Tesisi İŞletme Müdürü İlyas Taner DEMİREL'e bitmez tükenmez bir sabırla beni destekleyen ve her konuda olduğu gibi çalıŐmalarım sırasında da yardımlarını benden esirgemeyen sevgili eŐime teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	ix
RESİMLERİN LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
GİRİŞ	1
1. ATIKSU ARITMA ÇAMURLARI	3
1.1. Arıtma Çamuru Tanımı	3
1.2. Arıtma Çamuru Kaynağı	4
1.2.1. Birincil arıtma çamuru	5
1.2.2. İkincil arıtma çamuru.....	6
1.2.3. İleri (üçüncül) arıtma çamuru	6
1.3. Arıtma çamurlarının özellikleri.....	6
1.3.1. Arıtma çamurlarının fiziksel özellikleri	7
1.3.2. Arıtma çamurlarının kimyasal özellikleri.....	10
1.3.3. Arıtma çamurlarının biyolojik özellikleri.....	13
1.4. Arıtma Çamuru Miktarı.....	13
1.5. Çamur Arıtım Sistemleri Akış Şeması	15
1.6. Arıtma Çamurlarına Uygulanan Ön İşlemler	17
1.6.1. Çamur öğütme	18
1.6.2. Kum ayırıcı	18
1.6.3. Çamur karıştırma	18
1.6.4. Disintegrasyon	19
1.6.5. Çamur depolama.....	19
1.7. Çamur Şartlandırma İşlemi	19
1.8. Çamurun Yoğunlaştırılması	21
1.9. Çamurun Stabilizasyonu	23
1.9.1. Kireç stabilizasyonu	23
1.9.2. Isıl arıtım.....	24
1.9.3. Anaerobik (havasız) çamur çürütme.....	24
1.9.4. Aerobik (havalı) çamur çürütme.....	24
1.9.5. Kompostlama.....	25
1.9.6. Susuzlaştırma ve Kurutma	26
1.9.7. Çamurun Dezenfeksiyonu	28
2. ARITMA ÇAMURLARININ BERTARAFI KONUSUNDA YASAL	
MEVZUAT	30
2.1. Türkiye’deki Arıtma Çamurları Yönetimi ile İlgili Yönetmelikler	30
2.1.1. Evsel ve kentsel arıtma çamurlarının toprakta kullanılmasına dair	
yönetmelik (03.08.2010 tarih ve 27661 sayılı resmi gazete).....	31

2.1.2. Su kirliliği kontrolü yönetmeliği (31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı resmi gazete) ve su kirliliği kontrolü yönetmeliği idari usuller tebliği (10.10.2009 tarih ve 27372 sayılı resmi gazete).....	32
2.1.3. Katı atıkların kontrolü yönetmeliği (14.03.1991 tarih ve 20814 sayılı resmi gazete)	32
2.1.4. Tehlikeli atıkların kontrolü yönetmeliği (14.03.2005 tarih ve 25755 sayılı resmi gazete)	32
2.1.5. Atıkların düzenli depolanmasına dair yönetmelik (26.03.2010 tarih ve 27533 sayılı resmi gazete)	33
2.1.6. Atıkların yakılmasına ilişkin yönetmelik (06.10.2010 tarih ve 27721 sayılı resmi gazete)	34
2.1.7. Kentsel atıksu arıtımı yönetmeliği (08.01.2006 tarih ve 26047 sayılı resmi gazete)	34
2.1.8. Atık yönetimi genel esaslarına ilişkin yönetmelik (05.07.2008 tarih ve 26927 sayılı resmi gazete)	34
2.1.9. Atıksu arıtma tesisleri teknik usuller tebliği (20.03.2010 tarih ve 25527 sayılı resmi gazete)	35
2.1.10. Tehlikesiz ve inert atıkların geri kazanımı tebliği (12.05.2010 tarih ve 27579 sayılı resmi gazete)	35
2.2. Arıtma Çamurlarının Yönetim ve Bertarafına İlişkin Türk ve Dünya Çevre Mevzuatının Karşılaştırılması	36
3. DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE ARITMA ÇAMURU DURUMU	37
3.1. Dünyada Arıtma Çamuru Bertarafı Uygulamaları	37
3.2. Türkiye’de Arıtma Çamurları Bertarafı Uygulamaları	39
4. ARITMA ÇAMURLARININ BERTARAFI ve GERİ DÖNÜŞÜM YÖNTEMLERİ	42
4.1. Düzenli Depolama Yöntemi.....	42
4.2. Çamur Lagünlerinde Depolama	43
4.3. Kompostlaştırma	44
4.4. Araziye Serme	45
4.5. Tarımsal Amaçlı Kullanımı.....	46
4.6. Ormanlık ve Ağaçlık Alanlarda Kullanımı	48
4.7. İslah Amaçlı Kullanımı	48
4.8. Yeşil Alanlarda Kullanımı	48
4.9. Karayolu İnşaatında Dolgu Maddesi Olarak Kullanımı.....	49
4.10. Reklamasyon	49
4.11. Kimyasal Sabitleme / Solidifikasyon	49
4.12. Yakma	50
4.13. Islak Oksidasyon	50
4.14. Gazlaştırma.....	51
4.15. Fermantasyonla Biyogaz Elde Edilmesi	51
4.16. Piroliz	52
4.17. Hidroliz.....	52
4.18. Hidrotermal Oksidasyon	53
4.19. Mikrodalga-Yüksek Basınç İşlemi.....	54
4.20. Dağıtım ve Pazarlama	54
4.21. Atıksu Arıtma Çamurlarının Çimento Üretiminde Kullanılması.....	54
4.22. Atıksu Arıtma Çamurlarının Kömürlü Santrallerde Kömürle Birlikte Yakılması	56

5. ARITMA ÇAMURLARININ BERTARAFINDA YENİ YAKLAŞIMLAR.....	57
5.1. Çamur Azaltma Tekniklerinin Arıtma Tesislerine Entegrasyonu.....	57
5.1.1. Hücre parçalanması ve kriptik (gizli) büyüme	58
5.1.2. Ayrık metabolizma	58
5.1.3. İçten büyüyen metabolizma.....	58
5.1.4. Mikrobiyal predasyon.....	59
5.2. Atıksu Arıtımı Sırasında Uygulanan Çamur Minimizasyonu Teknikleri	59
5.2.1. Ozonlama.....	59
5.2.2. Membran biyolojik reaktörleri (MBR).....	59
5.2.3. Elektrokoagülasyon prosesi ile endüstriyel atıksu arıtımı.....	60
6. GÜMÜŞHANE İLİ ATIKSU ARITMA ÇAMURLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	61
6.1. Gümüşhane(Merkez) Atıksu Arıtma Tesisi	61
6.2. Kelkit (Gümüşhane) Atıksu Arıtma Tesisi.....	65
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	75

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Klasik atıksu arıtma sisteminde arıtma çamuru ve katı atık kaynakları	5
Çizelge 1.2. Arıtma sistemlerinde oluşan son maddeler ve çamurların özellikleri	6
Çizelge 1.3. Arıtma proseslerinde ortaya çıkan çamurların katı madde içerikleri.....	8
Çizelge 1.4. Ham ve çürütülmüş çamurun kimyasal içerikleri	10
Çizelge 1.5. Farklı karakteristiklere sahip çamurların ısı değeri	11
Çizelge 1.6. Arıtma çamurları ve suni gübrelerdeki besi maddesi değerlerinin kıyaslanması	12
Çizelge 1.7. Arıtma çamurlarında bulunan ağır metal içerikleri	12
Çizelge 1.8. Farklı arıtma proseslerinde oluşan çamur miktarları ve fiziksel özellikleri	13
Çizelge 1.9. Farklı arıtma yöntemleriyle elde edilen çamurlarda katı madde yüzdeleri	14
Çizelge 1.10. Çamur öğütmeyi gerektiren uygulamalar	18
Çizelge 1.11. En yaygın kullanılan şartlandırma proseslerinin kıyaslanması	21
Çizelge 1.12. Yoğunlaştırma yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları	22
Çizelge 1.13. Farklı susuzlaştırma proseslerinin karşılaştırılması.....	28
Çizelge 2.1. Topraktaki ağır metal sınır değerlerinin karşılaştırılması.....	31
Çizelge 2.2. Toprakta kullanılacak stabilize arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal muhtevalarının karşılaştırılması.....	31
Çizelge 2.3. Toprakta on yıllık ortalama esas alınarak bir yılda verilmesine müsaade edilecek ağır metal yükü sınır değerlerinin karşılaştırılması	32
Çizelge 2.4. III. sınıf düzenli depolama tesisi sınır değerleri eluat testi.....	33
Çizelge 3.1. Arıtma çamurlarının nihai uzaklaştırma yöntemleri.....	40
Çizelge 4.1. Çürütülmüş çamur içeriği	46
Çizelge 4.2. Çamur katı madde içeriğinin besleyici yüzdeleri	47
Çizelge 4.3. Dünya’da ve ülkemizde tarımsal amaçlı kullanılacak arıtma çamurlarında müsaade edilen maksimum ağır metal değeri.....	47
Çizelge 4.4. Islak oksidasyon teknolojileri	51

Çizelge 6.1. Gümüşhane AAT arıtma çamurlarının eluate analiz sonuçları.....	63
Çizelge 6.2. Gümüşhane AAT çamurlarının eluate analiz sonuçlarının Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik Ek-2 limit değerleri ile karşılaştırılması.....	64

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1.Imhoff konisi düzeneği	9
Şekil 1.2. Çamur işleme ve bertaraf yöntemi akış diyagramı	15
Şekil 1.3. Biyolojik çürütmeye ilişkin ve değişik çamur susuzlaştırma yöntemi ile çamur arıtma akış diyagramı: a) Bant fitre, b) Santrifüj, c) Kurutma yatağı	17
Şekil 1.4.Çamurdaki katı madde oranı ve ilişkisi	21
Şekil 1.5. Aerobik (havalı) çamur çürütme sistemine ait şematik görüntü.....	25
Şekil 1.6. Kompostlaştırma mekanizması.....	26
Şekil 1.7. Türkiye'de atıksu arıtma proseslerin de uygulanan çamur susuzlaştırma işlemlerinin yüzdeleri	27
Şekil 1.8.Planlanan atıksu arıtma prosesleri için çamur susuzlaştırma işlemleri	27
Şekil 3.1. Avrupa Birliği'ne üye ülkeler genelinde uygulanan çamur bertaraf yöntemlerinin yüzde dağılımı	38
Şekil 3.2. Amerika Birleşik Devletleri'nde uygulanan çamur bertaraf yöntemlerinin yüzde dağılımı	39
Şekil 3.3. Arıtma çamurlarının nihai uzaklaştırma yöntemlerinin çamur miktarlarına göre dağılımı	40
Şekil 4.1. Düzenli depolama alanında meydana gelen reaksiyonlar.....	43
Şekil 5.1.Elektrokoagülasyon prosesi	60

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Gümüşhane çimento fabrikası yakınlarında bulunan atıksu arıtma tesisleri ve mesafeleri	56
Resim 6.1. Gümüşhane AAT belt-press ünitesinden görünüm.....	62
Resim 6.2.Gümüşhane AAT polielektrolit dozlama ünitesinden görünüm.....	62

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış olan kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Al(OH)₃

°C

gr

Fe(OH)₃

K

kg

m³

mg

ml

N

NH₃

NH₄

P

Açıklamalar

Alüminyum hidroksit

Santigrat, Sıcaklık birimi

Gram

Demir III hidroksit

Potasyum

Kilogram

Metreküp

Miligram

Mililitre

Azot

Amonyak

Amonyum

Potasyum

Kısaltmalar

AAT

AB

ADDDY

BOİ

BTEX

EKAÇTKİY

GAAT

KOİ

KM

KAAT

MBR

MLSS

OSA

PH

PCB

PCT

SVI

TAKM

TDS

TOK

TÇKM

UAKM

USEPA

Açıklamalar

Atıksu arıtma tesisi

Avrupa Birliği

Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik

Biyolojik oksijen ihtiyacı

Benzen, tolüen, etilben ve xylens

Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta

Kullanılmasına İlişkin Yönetmenlik

Gümüşhane (Merkez) Atıksu Arıtma Tesisi

Kimyasal oksijen ihtiyacı

Katı madde

Kelkit (Gümüşhane) Atıksu Arıtma Tesisi

Membran biyoreaktör prosesi

Mikroorganizma sayısı

Oksit çöktürmeli anaerobik

Hidrojenin gücü

Poliklorlu Bifenil

Poliklorlu Terfeniller

Çamur hacim indeksi

Toplam askıda katı madde

Toplam çözünmüş madde

Toplam organik karbon

Toplam çözünen katı madde

Uçucu askıda katı madde

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı

GİRİŞ

Toprağımız, suyumuz, havamız her geçen gün daha fazla kirlenmektedir. Artan şehirleşme ve sanayileşme ile birlikte çevre kirliliği ve çevresel sorunlar hızla artacaktır. Çevre kirliliğini etkileyen bu sorunlardan biriside atıksuların arıtılması sonucu geride kalan çamur yığınlarıdır. Son zamanlarda Türkiye de arıtma tesislerinden yaklaşık 10.000 ton/gün, başka bir ifadeyle 3 200 000 ton/yıl veya 128 bin adet konteyner arıtma çamuru çıkmaktadır. Bu çamurlar doğada depolanmaya çalışılsa da sorun çözümsüz kalıyor. Yetersiz olan bu yöntemler ve alternatif çözüm olmaması nedeniyle arıtma çamurunda yüksek oranda bulunan patojenik mikroorganizmalar ve zararlı kimyasallar depolandığı alanda toprak ve havaya karışarak sera gazı etkisiyle asit yağmurlarından küresel ısınmaya, enfeksiyon hastalıklarından kansere kadar birçok alanda çevre sağlığını tehdit etmektedir.

Türkiye’de atıksuların büyük oranda arıtılması ve atıksu arıtma tesislerinin her yerde olması gerektiği ne kadar önemli ise bunun sonucunda çeşitli kademelerde ortaya çıkacak olan maddeler ve tutulan arıtma çamuruna uygulanan işlemler ve bunların nihai bertarafı da o kadar önemlidir. Arıtma çamurlarının nihai bertarafında bölgesel ekonomik çözümler araştırılmalı, çamurun karakterizasyonu iyi belirlenerek en uygun nihai bertarafı ve geri dönüşüm yöntemleri seçilmesi gerekmektedir. Günümüzde en büyük sorunlardan biri de çevre sorunudur. İnsanlığın doğaya verdiği zararı minimize edecek ekonomik etkenler de dikkate alacak şekilde gelecekte daha çok büyüyecek bu çevresel soruna karşı ekolojik çözümler üretmemiz gerekmektedir.

Çamurun arıtılması ve uzaklaştırılması yöntemlerinin dünya genelindeki uygulamaları daha çok yerel çözüm odaklıdır. Yani seçilecek veya uygulamaya esas bertaraf yöntemi, o yerin karakteristik özelliklerine göre şekillenmektedir. Örneğin nüfus sayısı ve yapısı, coğrafi şartlar, iklim özellikleri, toprak yapısı, yerleşim merkezine uzaklığı, çamur miktarı, çamurun içeriği ve niteliği, çamurun kalitesi, yerel kültür özellikleri ve mevcut yasa veya yönetmelikler vb. kriterler nihai bertaraf yönteminin seçiminde yol gösterici olmaktadır. Dolayısıyla ön görülen yöntemin başarılı olabilmesi, bahsi geçen bu kriterlerin uygulanma süresi ile etkin bir şekilde uygulanabilirliğine bağlı olarak değişmektedir.

Günümüzde atıksu arıtma çamurlarının gerek miktarının minimize edilmesi ile nihai bertarafı gerekse de yeniden değerlendirilmesi konusunda birçok yöntem

kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin değerlendirilmesi ve seçiminde, önceleri sadece yatırım ve işletme maliyeti kriterleri dikkate alınmaktayken özellikle son dönemlerde küresel ısınmadan dolayı ekolojik dengenin korunması ve son ürünün yenilenebilir enerji kapsamında kullanılıp kullanılmayacağı hususları, arıtma çamurlarının değerlendirilmesinde uygulanacak yöntemin seçiminde önemli rol oynamaktadır. Bu bağlamda, “*Atıksu Arıtma Çamuru Bertarafında Yeni Yaklaşımlar Gümüşhane İli Örneği*” tez konusu kapsamında literatür taraması yapılarak yeni teknolojik gelişmeler araştırılmış ve Gümüşhane ilinde bulunan atıksu arıtma tesislerinde çıkan çamurlar üzerinde incelemeler yapılarak, nihai bertarafında planlanan düzenli depolama yöntemi irdelenmiş ve bu tesisler üzerinde alternatif geri dönüşüm yöntemleri araştırılmıştır. Bu konuda İller Bankası A.Ş.’nin gelecek vizyonunu şekillendirmesi açısından, atıksu arıtma tesisi çamurlarının yönetiminin ve değerlendirilmesinde ne gibi rolü ve katkıları olabileceği konusunda çalışma yapılmıştır.

- Arıtma işleminden çıkan çamur için arıtma ve bertaraf yöntemi, son üründen maksimum fayda-minimum zarar hedefine uygun olarak seçilmeli ve seçilen yöntem sürdürülebilirlik açısından da analiz edilmelidir.
- Çamur arıtma ve bertarafında başlıca yöntemler, çamurun su içeriğinin azaltılması, içerikteki organik maddeleri arıtmak ve/veya kararlı hale getirmek, geri kazanım ve arazi uygulamalarıdır.
- Gümüşhane Merkez – Şiran – Kelkit Atıksu Arıtma Tesisinde oluşan çamurlar mevcut durumda depolama sahasında biriktirilmektedir. Ancak mevcut durumda sorun teşkil etmese dahi gelecekte çamur problemi her yerde olduğu gibi burada da problem oluşturacaktır. Bu sebeple tez çalışmasının amaçlarından bir tanesi oluşan çamurların en ekonomik ve en efektif şartlarda oluşan çamurların mevzuata uyumluluğu da incelenerek bölgesel çözüm alternatiflerinin araştırılmasıdır.

1. ATIKSU ARITMA ÇAMURLARI

1.1. Arıtma Çamuru Tanımı

Atıksu arıtımı sonucunda sahip oldukları karakteristiklerinden dolayı arıtılması gerekmekte olan, arıtılmadıklarında çevreye ve doğaya zarar verebilecek nitelikteki sıvı ya da yarı katı halde açığa çıkan maddeler “arıtma çamurları” olarak nitelendirilir [1]. Arıtma çamurları; atıksuların arıtılmasında fiziksel ve kimyasal arıtma proseslerinde askıda ve çökeltiyerek ayrılan maddeler ile biyolojik arıtım sonunda çözünmüş haldeki maddelerin mikroorganizmalar vasıtasıyla, mikroorganizmaların sistemden yüzdürme ve çökeltiyerek alınması sonucu meydana gelen % 95,0 – 99,00 oranında su içeren ve akışkan özellikteki maddelerdir [2].

Atıksu arıtımı sonucunda meydana gelen arıtma çamurlarının yapısı, tesiste uygulanan arıtma proseslerine göre değişiklik göstermekte ve çıkan karbon içeriği fazla olan organik yapıdaki potasyum, azot, fosfor, kükürt ve metal bileşenleri de içerebilmektedir. Oluşan çamur hacimce çok fazla olması, işlenebilmesi ve nihai bertaraf atıksu arıtma tesislerinin işletiminde karmaşık ve önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır [3].

Arıtma çamurlarının işlenebilmesi ve nihai bertaraf probleminin karmaşık olmasının sebepleri;

- Arıtılmış atıksuların içinde çok fazla bulunan ve koku oluşturan maddelerin bulunması,
- Biyolojik arıtım sonucunda meydana gelen ve bertaraf edilmesi gereken çamur, ham atıksu içerisinde bulunan maddelerin bileşimi halinde bozulma ve kokuşma eğiliminde bulunmaktadır.
- Çamur oluştuğunda küçük bir kısmı katı durumda geri kalanı su olduğundan çok fazla hacim kaplamaktadır [4].

Atıksuların arıtılmasından sonra oluşan çamurların miktarı ve karakteristikleri pişsuyun bileşimine, uygulanan proseslere ve çamura uygulanan arıtma tipi ile ilişkilidir. Arıtma tesisine gelen pis suların bileşimlerindeki ve arıtma tesisindeki proseslerin değişimlerinden dolayı oluşan atık çamurun miktarları ve karakteristikleri günlük, mevsimlik ve yıllık düzeyde değişim göstermektedir [5].

1.2. Arıtma Çamuru Kaynağı

Atıksu arıtma sistemlerinde çıkan en son ve en önemli madde olan çamurun arıtılması, işlenilmesi ve nihai bertaraf çözüm sistemlerini planlayabilmek için arıtma sonucu çıkan çamurların kaynağının, özelliklerinin ve miktarlarının bilinmesinin önemi oldukça büyüktür [6].

Çamurun arıtılması için gerekli sistemler ile nihai bertaraf konusunda çözüm yolları; çamurun kaynağına, arıtma tekniğine ve işletme yöntemine göre farklılık gösterir. Arıtma proseslerinde ortaya çıkan çamurların ve atıkların kaynakları Çizelge 1.1.'de gösterilmiştir. Örnek vermek gerekirse tam karışımli aktif çamur metodunda çamur metodunda, çamur uzaklaştırma havalandırma havuzundan uygulanıyorsa, son çöktürme havuzu çamur kaynağı olamaz. Ayrıca çamur uzaklaştırma geri devir hattından meydana geliyorsa çamur kaynağı çöktürme tankı olarak ifade edilebilir. Çamur işleme yöntemleri olan yoğunlaştırma, şartlandırma, susuzlaştırma ve çürütme için kullanılan yöntemler de çamur kaynağıdır [6].

Eş zamanlı olarak heterotrofik mikroorganizmaların biyolojik çürümesi meydana gelir ve bunun sonucunda iki fraksiyon oluşur;

- Biyobozunur partiküler KOİ,
- Endojen artık madde atıl parçacık KOİ olarak düşünülmüş olup sistemde birikir [6].

Biyolojik olarak parçalanabilir halinde KOİ fraksiyonu ilk olarak hidrolize olur ve ayrıca yeni selüler biokütle (kriptik büyüme) üretmek için oksitlenirken Endojen kalıntı %8-20 oranında kalır ve çamurda birikir [7].

Evsel veya endüstriyel nitelikli atıksular farklı özellikler taşıdıklarından dolayı uygulanan arıtma teknikleri de farklı olmakta ve genel olarak arıtma tesislerinde üç tip arıtma prosesi uygulanmaktadır [8]. Bu proseslerden sonra çamurlar birincil, ikincil ve ileri arıtma proseslerinden meydana gelmektedir. Her proses atıksuların kirlilik yükleri üzerinde farklı sonuçlar doğurduğundan, ortaya çıkan çamurlar da farklı karakteristiklere sahiptir. Çizelge 1.1.'de arıtma çamuru ve katı atık kaynakları verilmiştir [6].

Çizelge 1.1. Klasik atıksu arıtma sisteminde arıtma çamuru ve katı atık kaynakları [6]

Proses	Çamur Çeşidi	Notlar
Elek	Kaba Katı Atık	Kaba katılar mekanik olarak veya çubuk ızgaralardan elle toplanarak atılır.
Kum Tutucu	Kum ve Köpük	Köpük giderme işlemi kum tutucularda kum ile birlikte gerçekleştirilir.
Ön Havalandırma	Kum ve Köpük	Bazı sistemlerde ön havalandırma tankında köpük giderici yoktur, kum tutucunun bulunmaması tankta kum birikimine sebep olabilir.
Birincil(Ön) Çöktürme	Birincil Çamur ve Köpük	Çamur ve köpük miktarı toplama sistemine ve giren atıksuyun özelliklerine göre değişir.
Biyolojik Arıtma	Askıda Katı Maddeler	Askıda katı madde biyolojik arıtma sonucu oluşur. Arıtma sisteminde oluşan fazla çamuru yoğunlaştırmak gerekebilir.
İkincil(Son) Çöktürme	Biyolojik Çamur ve Köpük	Amerika'da Çevre Koruma Ajansına (EPA) göre köpük tutucu şart koşulmuştur.
Çamur İşleme Birimleri	Çamur, Kompost ve Kül	Son ürünün özelliği, kullanılan proses ve işletme tipi ile çamur özelliklerine bağlıdır. Bu konudaki yasal düzenlemeler giderek ağırlaşmaktadır.

Atıksu arıtma çamurlarının en önemli kaynakları ön çöktürme ve biyolojik arıtma prosesleridir. Ön çöktürme havuzlarında oluşan çamur birincil çamur, son çöktürme sonucu oluşan çamur aktif çamur veya biyolojik çamur olarak isimlendirilmektedir. Kimyasal katkı ilavesiyle oluşan çamurlara da kimyasal çamur denilmektedir [9].

1.2.1. Birincil arıtma çamuru

Bu yöntemle oluşan çamur daha çok fiziksel yöntemlerle arıtılan atıksu proseslerini kapsar. Fiziksel arıtma proseslerinde oksijen ihtiyacı olan maddelerin giderimi sağlanmamasına rağmen çökelebilen maddelerde BOİ'nin bir bölümü giderilmiş olur. Birincil arıtma çamuru; kaba ve ince ızgaralarda, kum tutucu yapılarda ve ön çökeltme havuzlarında tutulan ve çökeltme özelliği bulunan inorganik özellikteki maddelerden oluşmaktadır. Çoğunlukla ızgaralarda tutulan katı maddeler katı atık niteliği taşıdığından hiçbir işleme tabi tutulmadan kentsel katı atıklarla birlikte uzaklaştırılırlar. Bu özellikteki atıkların su içeriği önemli ölçüde yüksek olmakla birlikte organik madde içeriği de %60-80 arasındadır [4].

1.2.2. İkincil arıtma çamuru

İkincil arıtma sistemleri aynı zamanda aktif çamur sistemi olarak bilinmektedir. Havalandırma tankında bulunan biomas kültürü son çökeltim havuzunda çökeltmesi gerekmektedir. Bunun bir bölümü kullanılmak üzere aktif çamur tesisine gönderilir. Bu tesiste ortaya çıkan mikroorganizma miktarının proses için ihtiyaç olan miktardan fazla olması durumunda, fazla katı maddelerin sistem döngüsünden uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu son çıkan madde arıtma çamuru olarak bilinir ve arıtma sistemleri ve çevreye etkisinden dolayı en önemli problemlerdendir [10].

1.2.3. İleri (üçüncül) arıtma çamuru

İleri arıtma, fiziksel veya biyolojik arıtma prosesleri yardımıyla mekanik arıtma işlemlerinde giderilemeyen askıda ve çözünmüş haldeki maddelerin giderilmesi amacıyla yapılan işlemdir. Bu prosesle giderilmesi gereken maddeler kalsiyum, potasyum, organik maddeler, sülfat, nitrat ve fosfat gibi maddelerdir [11].

1.3. Arıtma çamurlarının özellikleri

Arıtma çamurlarının işlenebilmesi ve nihai bertaraf çözümlerini tasarlayabilmek için çamurun kaynağının, miktarının ve özelliklerinin bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Arıtma çamurlarının bazı özellikleri Çizelge 1.2.'de verilmiştir [12].

Çizelge 1.2. Arıtma sistemlerinde oluşan son maddeler ve çamurların özellikleri [12]

Katı Madde veya Çamur	Özellikleri
Izgara Atıkları	Izgara çubukları arasında tutulabilecek organik ve inorganik maddelerdir.
Kum Tutucu Atıklar	Farklı hızlarda çökme özelliğine sahip inorganik katı maddelerden oluşmaktadır.
Köpük, Yağ ve Gres	Köpük, ön ve son çökeltim havuzları yüzeyinden sıyrılarak yüzebilir nitelikli maddelerden oluşmaktadır. Gres, bitkisel yağlar, hayvansal yağlar, sabun, yiyecek atıkları, saç, kağıt, plastik vb. içerir.
Ön Çökeltim Çamuru	Ön çökeltim çamurları genellikle gri- kahve rengi, kötü kokuludur. Uygun işletme koşullarında kolayca çürütülebilir.

Çizelge 1.2.(devam)Arıtma sistemlerinde oluşan son maddeler ve çamurların özellikleri
[12]

Kimyasal Çökeltim Çamurları	Metal tuzlarının kimyasal çökmesi sonucu oluşan çamurlar koyu renklidir. Çok fazla demir içeriyorsa kırmızımtıraktır. Kireç çamurları gri-kahve rengidir. Kimyasal çamurlar ön çökeltim çamurları kadar kötü kokulu değildir. Çamurdaki demir ve alüminyum hidratları, çamuru jelatimsi yapar. Tankta bırakılması durumunda birincil çamur gibi yavaş bir çürümeye uğrar. Önemli oranda gaz oluşumu olur ve uzun depolama zamanına bağlı olarak çamur yoğunluğu artar.
Aktif Çamur	Kahverengi ve flok ağırlıklıdır. Koyu renk gözleniyor ise septik şartlar oluşmuş demektir. Çamur kolaylıkla septikleşmeye meyillidir ve istenmeyen kokular yayabilir. Yalnız veya ön çökeltim çamurla karıştırılarak aktif çamur kolayca çürütülebilir.
Damlatmalı Filtre Çamuru	Damlatmalı filter hamusu, floklu ve taze olduğu zaman nispeten kokusuzdur. Diğer çamurlara göre daha yavaş parçalanmaya uğrar ancak kolay çürütülebilir.
Aerobik Çürümüş Çamur	Bu çamurun rengi açık kahverenginden koyu kahveye değişir ve floklu görünümündedir. Kötü kokulu olmayıp çoğunlukla küf kokuludur. İyi çürütülmüş çamur kurutma yataklarında kolaylıkla susuzlaştırılabilir.
Anaerobik Çürümüş Çamur	Koyu kahve-siyah renklidir ve büyük oranda gaz içermektedir. Tamamıyla çürüdüğünde kötü koku oluşumu görülmez. Çamur kuruma zamanında gaz oluşumu gözlenir ve zengin bahçe toprağı niteliğindedir.
Kompostlanmış Çamur	İyi kompostlanmış çamur koku barındırmamakta olup, zengin bahçe toprağı niteliğın de ticari amaçlı kullanılabilir.
Foseptik (Septik Tank Çamur)	Foseptik çamuru siyah renkli olup, tam çürümemesi halinde hidrojen sülfür gazı çıkışından dolayı kötü koku oluşumu meydana gelmektedir. İnce tabakalarda serilirse kurutma yataklarında kurutulabilir ancak tam çürümemiş ise ciddi koku problemi ile karşılaşabilir.
Atık-Alum Çamur	Gri-sarı renkte ve kokusuzdur. Kurutma yataklarında kurutulması oldukça zordur.

1.3.1. Arıtma çamurlarının fiziksel özellikleri

Arıtma sonucunda ortaya çıkan çamurun özelliklerinin bilinmesi önemlidir. Çamurun karakterizasyonu, uygulanan arıtma tiplerine, çamurun kaynağına bağlıdır.

Arıtma tesislerinde farklı kademelerde ortaya çıkan çamurların katı madde konsantrasyonları Çizelge 1.3.'te verilmektedir [12].

Çamurların fiziksel özelliklerine bakıldığında; katı madde içeriği %14'e kadar olan değerler için-akışkan özellikli; %14-20 arasında olanlar için pastöz; %40 katı madde değerinin üzerinde gözenekli; %75 katı madde değerinin üzerinde kuru olarak değerlendirilmektedir [11].

Çizelge 1.3. Arıtma proseslerinde ortaya çıkan çamurların katı madde içerikleri [12]

Uygulanan Arıtma İşlemi		Çamur Katı Madde Konsantrasyonu %KM	
Ön Çökeltim Tankı (Ön çökeltim çamuru)		5,0-9,0	6,0
Siklona gönderilen ön çökeltim çamuru		0,5-3,0	1,5
Ön çökeltim çamuru ve atık aktif çamur		3,0-8,0	4,0
Ön çökeltim ve damlatmalı filtre humusu		4,0-10,0	5,0
Fosfor bertarafı için demir ilaveli ön çökeltim çamuru		0,5-3,0	2,0
Fosfor bertarafı için kireç ilaveli ön çökeltim çamuru (düşük dozda)		2,0-8,0	4,0
Fosfor bertarafı için kireç ilaveli ön çökeltim çamuru (yüksek dozda)		4,0-16,0	10,0
Köpük		3,0-10,0	5,0
<u>Son Çökeltim Tankı Atık Aktif Çamur</u>	Ön çökeltim havuzu olan	0,5-1,5	0,8
	Ön çökeltim havuzu olmayan	0,8-2,5	1,3
<u>Saf oksijenli aktif çamur</u>	Ön çökeltim havuzu olan	1,3-3,0	2,0
	Ön çökeltim havuzu olmayan	1,4-4,0	2,5
Damlatmalı filtre humusu		1,0-3,0	1,5
Dönen Biyodisk sistemi		1,0-3,0	1,5
<u>Gravite Yoğunlaştırıcı</u>	Sadece ön çökeltim çamuru	5,0-10,0	8,0
	Ön çökeltim çamuru ve atık aktif çamuru	2,0-8,0	4,0
	Ön çökeltim çamuru ve damlatmalı filtre humusu	4,0-9,0	5,0
Flotasyonlu yoğunlaştırma	Kimyasal madde ilavesi ile	4,0-6,0	5,0
	Kimyasal madde ilavesi olmadan	3,0-5,0	4,0
Santrifüj yoğunlaştırıcı sadece atık aktif çamur		4,0-8,0	5,0
Graviteli bant yoğunlaştırıcı kimyasal madde ilavesi ile		4,0-8,0	5,0
Anaerobik çürütücü	Sadece ön çökeltim çamuru	2,0-5,0	4,0
	Ön çökeltim çamuru ve atık aktif çamuru	1,5-4,0	2,5
	Ön çökeltim çamuru ve damlatmalı filtre humusu	2,0-4,0	3,0
Aerobik çürütücü	Sadece ön çökeltim çamuru	2,5-7,0	3,5
	Ön çökeltim çamuru ve atık aktif çamuru	1,5-4,0	2,5
	Sadece atık aktif çamuru	0,8-2,5	1,3

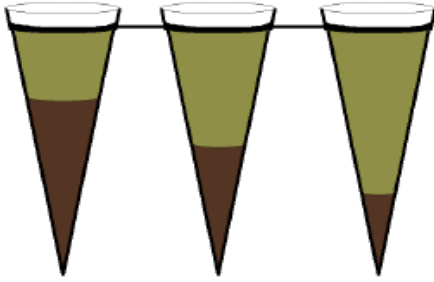
Çökelme Özellikleri

Arıtma tesislerinin işletilmesinde en önemli problemlerden biri olan çamurun çökebilme özelliğidir. İşletme sırasında çamurun nihai bertaraf çözümünde sonuca varmak adına, çamurun çökelme karakteristiğinin belirlenmesinde Çamur Hacim İndeksi (Sludge

Volume Indeks) parametresi kullanılır. SVI, 1 gr kuru maddenin ml oranında kapladığı hacim olarak tanımlanmaktadır. SVI hesaplamak için; 1 litrelik mezür kaptaki alınan çamur numunesi 30 dakika bekletilir ve çökelen çamur, ml cinsinden çamur miktarı ölçülerek ve mg/L çamur askıda katı madde konsantrasyonuna bölünerek çamur hacim indeksi hesaplanır [11].

$SVI = \frac{mL * 1000}{MLSS \text{ mg/L}}$	(1.1)
---	-------

Arıtma tesislerinde oluşan çamurların $SVI \leq 100$ ise çökebilir çamur, $SVI \geq 100$ ise problemlili çamur olarak adlandırılmaktadır. Pratik ve ekonomik bir metot olan Çamur Hacim İndeksini bulmak için Şekil 1.1.'de gösterilen Imhoff konisi düzeneği kullanılmaktadır [13].



Şekil 1.1.Imhoff konisi düzeneği [13]

Çamurdaki Suyun Dağılımı:

Çamurdaki su, partiküllere yapışık veya serbest halde olan ve değişik karakteristiklere sahiptirler. Bu suyu 4 gruba ayırabiliriz:

- Çamuru kolayca çökelebilen ve suyu kolayca ayrılan, 'serbest su',
- Mekanik yöntemlerle ayrılabilen, floklar içinde hapsolan, 'flok suyu',
- Partiküller yapışık halde bulunan ve ancak sıkıştırılarak uzaklaştırılabilen 'kapiler su',
- Çamur içindeki partiküllere kimyasal bağlarla bağlanmış 'kimyasal bağlı su' [14].

Çamurdaki sıvıları sınıflandıran bu metot, çamurun nihai bertarafında susuzlaştırma ve yoğunlaştırma proseslerini değerlendirirken kullanılabilir [14].

1.3.2. Arıtma çamurlarının kimyasal özellikleri

Kimyasal maddelerin çoğu, işlenen çamur susuzlaştırma prosesleri sırasında açığa çıkan suyun bertarafı düşünüldüğünde problem oluşturmaktadır. Anaerobik çürüme prosesinde pH, alkalinite ve organik asit içeriği önem kazanmaktadır. Çamurun nihai bertarafında kullanılan yöntemlerden biri olan yakma ve arazide bertaraf yöntemleri planlandığında ağır metaller, hidrokarbonlar ve pestisitlerin miktarı belirlenmelidir. Yakma yönteminde çamurun yakıt değeri iyi araştırılmalıdır [12].

Çizelge 1.4. Ham ve çürütülmüş çamurun kimyasal içerikleri [6]

Parametre	Ham ön çökeltim çamuru		Çürütülmüş ön çökeltim çamuru		Aktif çamur
	Aralık	Tipik	Aralık	Tipik	Aralık
Kuru madde	5-9	6	2,5	4	0,8-1,2
Uçucu katı madde (KM'nin %)	60-80	65	30-60	40	59-88
Yağ ve gres (KM'nin %)	-	-	-	-	-
Eter çözültisi (KM'nin %)	6-30	-	5-20	18	-
Eter ekstraktı (KM'nin %)	7-35	-	-	-	-
Protein (KM'nin) (KM'nin %)	30-30	25	15-20	18	34-4
Azot (KM'nin %)	1,5-4	2,5	1,6-6	3	2,4-5
Fosfor (KM'nin %)	0,8-2,8	1,6	1,5-4	2,5	2,8-11
Potasyum (KM'nin %)	0-1	0,4	0-3	1	0,5-0,7
Selüloz (KM'nin %)	8-15	10	8-15	10	-
Demir (sülfid olmayan)	2-4	2,5	3-8	4	-
Silisyum (KM'nin %)	15-20	-	10-20	-	-
pH	5-8	6	6,5-7,5	7	6,5-8,0

Çamurun ısı değeri

Çamurun ısı değeri, kalorimetre testleri (bomb-calorimeter test) ile bulunmaktadır. Değişik karakteristikteki çamurların ısı değerlerinin dikkate alınmasıyla sonuca varılan bağıntı aşağıda gösterilmiştir [11].

$$Q = a \frac{[Pv(100)]1000}{[100 - Pc] - b} * \frac{100 - Pc}{100} \quad (1.2)$$

Ampirik bağıntıda:

Q : Isıl değer, kj/kg kuru madde

a : Katsayı (çökeltim çamurları için 131, atık aktif çamur için 107)

b : Katsayı (çökeltim çamuru için 10, atık aktif çamur için 5)

Pv: Çamur bulunan uçucu katı maddenin yüzdesi

Pc: Çamura katılan koagülant maddesinin yüzdesi

Çamurun ısıl değeri, çamurun karakteristiğine ve katı madde içeriğine bağlıdır. Yağ ve gres içeren arıtılmamış çökeltim çamurlarının ısıl değeri yüksektir. Ham çamur çürümüş çamurdan daha fazla ısıl değere sahiptir. Farklı karakteristiklere sahip çamurların ısıl değeri Çizelge 1.5.'te verilmiştir [15].

Çizelge 1.5. Farklı karakteristiklere sahip çamurların ısıl değeri [15]

Çamur Tipi	Isıl değerler. kJ/kg kuru madde	
	Aralık	Tipik
Ön çökeltim çamuru	23 250 - 29 000	25 550
Aktif çamur	16 270 - 23 250	20 900
Anaerobik çürümüş çamur	9 300 – 13 950	11 620
Kimyasal madde ilave edilen ön çökeltim çamuru	13 950 - 18 600	11 620
Biyolojik filtre çamuru	16 270	19 750

Çamurun gübre değeri

Çamurun gübre olarak değerlendirilmesi içerisindeki N, P ve K oranlarına bağlı olarak değerlendirilmektedir. Çamurda bulunan bu maddelerin miktarları iyi olan kimyasal gübrede istenilen değerlerden daha düşük olmaktadır. Arıtma çamurlarını gübre malzemesi olarak düşündüğümüzde içinde bulunan ağır metaller ile diğer toksik maddelerle birlikte incelenmelidir. Bazen arıtma çamurunun fosfor ve potasyum muhtevası toprağın ve bitkinin ihtiyacını karşılamayabilir. Böyle zamanlarda kimyasal madde ilavesi ile gerekli olan besi maddesinin gereksinimi karşılanabilir [12].

Farklı arıtma çamurlarının ihtiva ettiği besin değerleri ve ağır metal içerikleri Çizelge 1.6. ve 1.7.'de verilmektedir [6].

Çizelge 1.6. Arıtma çamurları ve suni gübrelerdeki besi maddesi değerlerinin kıyaslanması [6]

	Besi maddesi %		
	Azot	Fosfor	Potasyum
Tarımda kullanılan gübre	5	10	10
Stabilize aktif çamur tipik değeri	3,3	2,3	0,3

Çizelge 1.7. Arıtma çamurlarında bulunan ağır metal içerikleri [6]

Metal	Kuru çamur, mg/kg	
	Aralık	Ortalama
Arsenik	1,1 - 230	10
Kadmiyum	1 - 3 410	10
Krom	10 - 99 000	500
Kobalt	11,3 - 2 490	30
Bakır	84 - 17 000	800
Demir	1 000 - 154 000	17 000
Kurşun	13 - 26 000	500
Manganez	32 - 9 870	260
Cıva	0,6 - 56	6
Molibden	0,1 - 214	4
Nikel	2 - 5 300	80
Selenyum	1,7 - 17,2	5
Kalay	2,6 - 329	14
Çinko	101 - 49 000	1 700

Çamur bazen besi kaynağı olarak da kullanılabilir. Kuru çamurun hayvan yemine katılması örnek olarak gösterilebilir. Evsel atıksuların arıtımı sonucu oluşan çamurları çok fazla protein ihtiva etmektedir. Arıtma çamurundan hayvan yemi üretebilmek için farklı teknikler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Sonuç olarak, arıtma çamurlarının içinde ihtiva ettikleri maddelerden dolayı besi değerleri olmaktadır ve gelecek zamanlarda bu hedefle yaygın olarak kullanılabilir [15].

1.3.3. Arıtma çamurlarının biyolojik özellikleri

Arıtma çamurlarının biyolojik olarak sınıflandırılmasında; taksonomi (organizmaların sınıflandırılması) ve patojen organizmalar araştırılmaktadır. Arıtma çamurlarının kaynağı çok farklı olabilmekle birlikte farklı patojen organizmaların bulunması mümkündür. Arıtma çamurlarının içeriğinde suyu azaltan enzimlerin bulunması ile çamurların su verme özellikleri arasında bir ilişki olduğu düşünülmektedir [16].

Arıtma çamurlarında patojen (hastalık yapıcı) organizma içeriği yüksek olup, çok çeşitli olduğundan hepsinin belirlenmesi mümkün değildir. Sabit nutrient etkisi altında bu organizmalar değişim ve çoğalma halindedirler. Bakteriler en yaygın mikroorganizmalardandır. Bu tür organizmaların varlığı çürütme yöntemiyle ilişkilidir. Patojenik mikroorganizmalar çoğunluğu çürütme metoduyla bertaraf edilebilirler [14].

1.4. Arıtma Çamuru Miktarı

Farklı metotlar ve uygulamalar sonucunda ortaya çıkan çamur miktarı ve özelliklerine ilişkin veriler Çizelge 1.8.'de gösterilmektedir. Bu veriler önemli ve yararlı olup, oluşan çamur miktarının farklılık gösterdiği dikkate alınmalı ve iyi araştırılmalıdır [6].

Çizelge 1.8.Farklı arıtma proseslerinde oluşan çamur miktarları ve fiziksel özellikleri [6]

Arıtma İşlemleri ve prosesleri	Çamur katısının özgül ağırlığı	Çamurun özgül ağırlığı	Kuru madde kg/10 ³ m ³	
			Aralık	Tipik
Birincil çamur	1,4	1,02	108-167	151
Aktif çamur (atık çamur)	1,25	1,005	72-96	84
Damlatmalı filtre humusu çamur	1,45	1,025	60-96	72
Uzun havalandırmalı sist.(atık çamur)	1,3	1,015	84-120	96
Havalandırmalı lagün(atık çamur)	1,3	1,01	84-120	96
Filtrasyon tesisi	1,2	1,005	12-24	18
Alg giderimi	1,2	1,005	12-24	18
Ön çöktürme(fosfor giderimi için)				
Düşük dozda kireç(350-500mg/l)	1,9	1,04	241-398	301
Yüksek dozda kireç(800-1600mg/l)	2,2	1,05	602-1 325	795
Askıda büyüyen A.Ç. ile				
Dentrifikasyon	1,2	1,005	12-30	48
Kaba kum filtreler	1,28	1,02	-	-

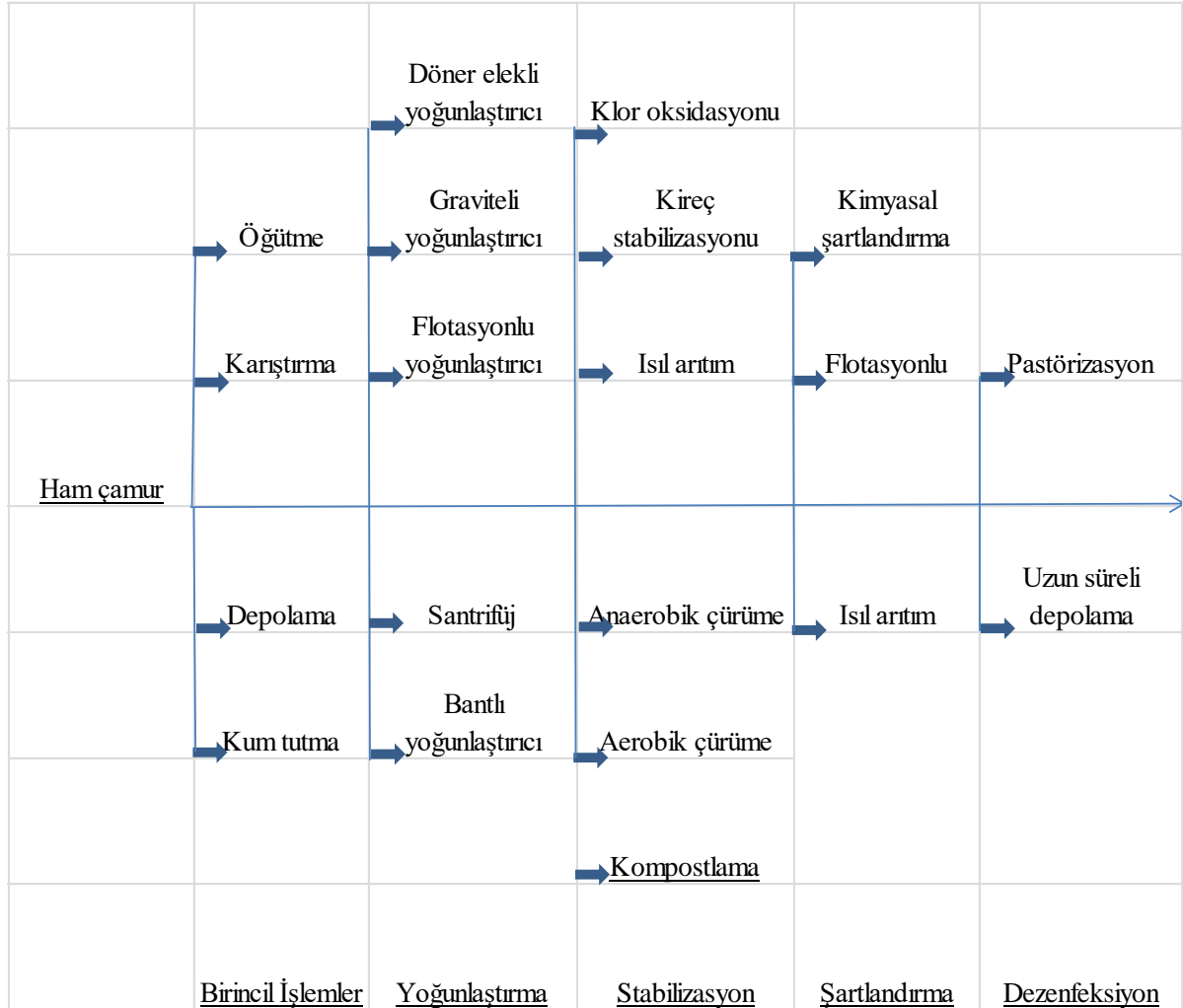
Farklı arıtma yöntemleriyle elde çamurun konsantrasyonuna ilişkin veriler Çizelge 1.9.'da gösterilmektedir [6].

Çizelge 1.9. Farklı arıtma yöntemleriyle elde edilen çamurlarda katı madde yüzdeleri [6]

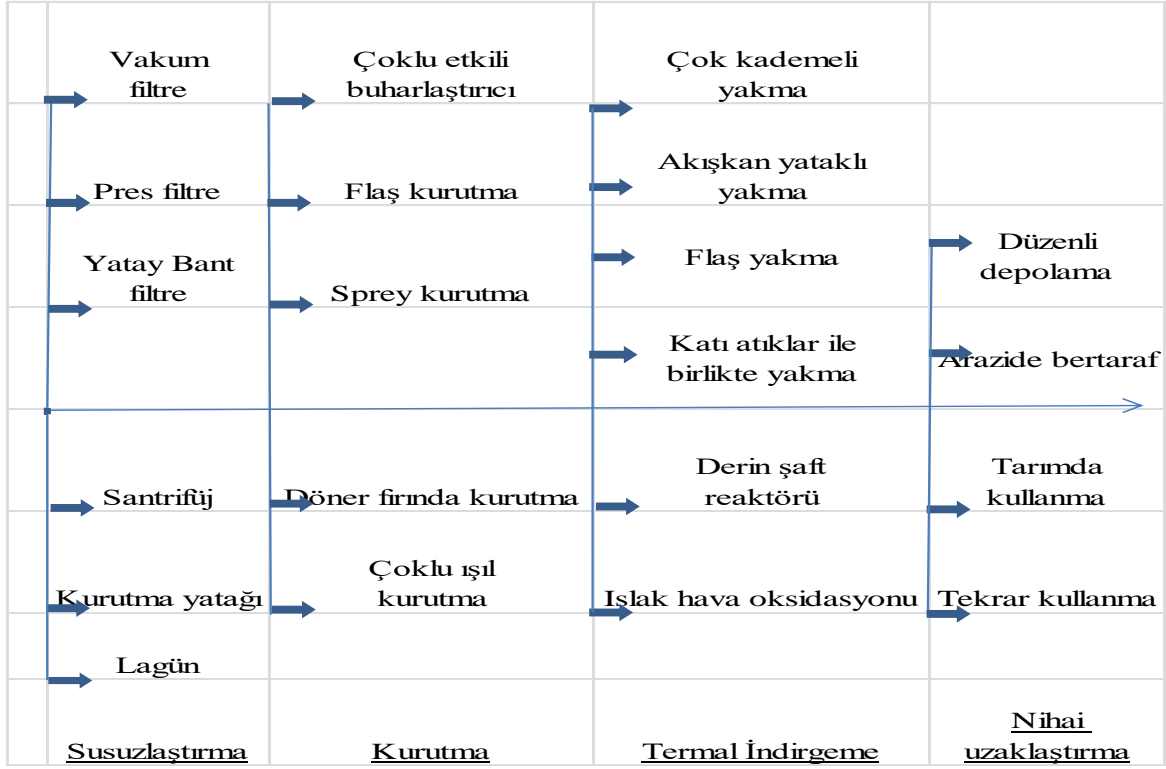
Arıtma işlemleri	Çamur kuru madde yüzdeleri % kuru madde	
	Aralık	Tipik
<u>Ön çökeltim tankı</u>		
Ön çökeltim çamuru	4-10	5
Siklona gönderilen ön çökeltim çamuru	0,5-3	1,5
Ön çökeltim çamuru ve atık aktif çamur	3-8	4
Ön çökeltim ve damlatmalı filtre humusu	4-10	5
P giderimi için demir ilaveli ön çökeltim çamuru	0,5-3	2
P giderimi için kireç (düşük doz) ilaveli	2-8	4
P giderimi için kireç (yüksek doz) ilaveli	4-16	10
Köpük	3-10	5
<u>Son çökeltim tankı</u>		
Aktif çamur		
Ön çökeltim havuzu olan	0,5-1,5	0,8
Ön çökeltim havuzu olmayan	0,8-2,5	1,3
Saf oksijenli aktif çamur		
Ön çökeltim havuzu olan	1,3-3	2
Ön çökeltim havuzu olmayan	1,4-4	2,5
Damlatmalı filtre humusu	1-3	1,5
Döner Biyodisk sistemi	1-3	1,5
Graviteli yoğunlaştırıcı		
Sadece ön çökeltim çamuru	5-10	8
Ön çökeltim çamuru ve atık aktif çamur	2-8	4
Ön çökeltim çamuru ve damlatmalı filtre humusu	4-9	5
Flotasyonlu yoğunlaştırma		
Sadece aktif çamur		
Kimyasal madde ilavesi ile	4-6	5
Kimyasal madde ilavesi olmadan	3-5	4
Santrifüj yoğunlaştırıcı		
Sadece atık aktif çamur	4-8	5
Bantlı yoğunlaştırıcı		
Kimyasal madde ilavesi ile sadece atık aktif çamur	3-6	5
Anaerobik çürütücü		
Sadece ön çökeltim çamuru	5-10	7
Ön çökeltim çamuru ve atık aktif çamur	2,5-7	3,5
Ön çökeltim çamuru ve damlatmalı filtre humusu	3-8	4
Aerobik çürütücü		
Sadece ön çökeltim çamuru	2,5-7	3,5
Ön çökeltim çamuru ve atık aktif çamur	2,5-7	3,5
Ön çökeltim çamuru ve damlatmalı filtre humusu	1,5-4	2,5
Sadece atık aktif çamur	0,8-2,5	1,5

1.5. Çamur Arıtım Sistemleri Akış Şeması

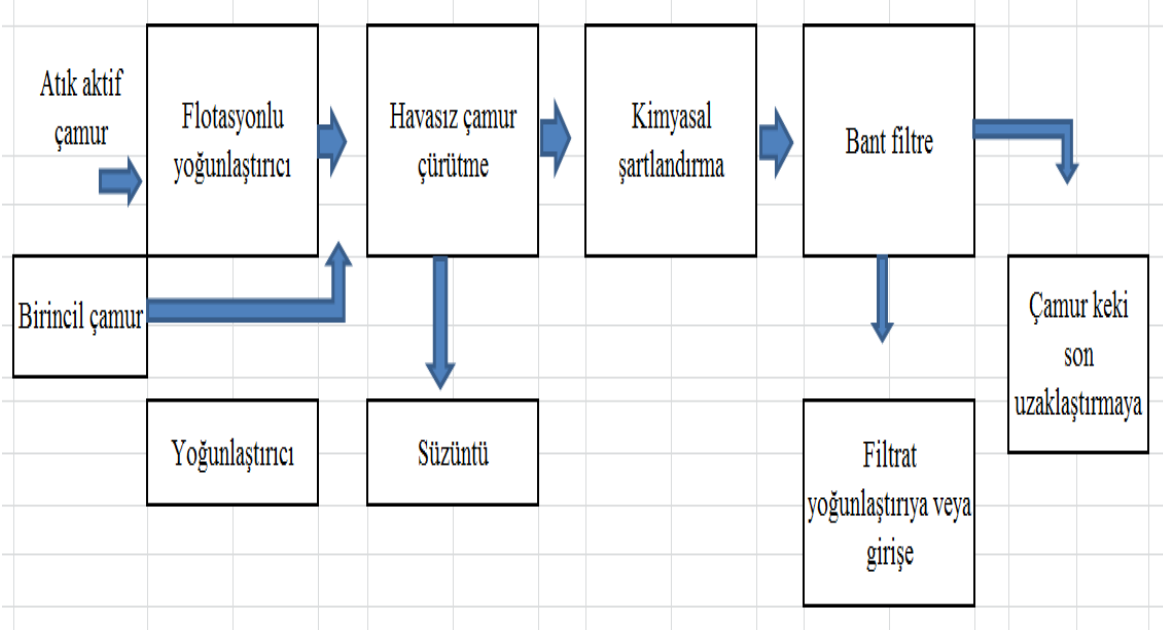
Çamur arıtma metot ve uygulamalarının adım adım gösterilen genelleştirilmiş akım şeması, Şekil 1.3'te verilmektedir. Genelde biyolojik arıtmanın olup olmaması dikkate alındığında akış diyagramları iki sınıfa ayrılabilir. Şekil 1.4'te biyolojik arıtımında olduğu akım şeması gösterilmektedir. Arıtma çamurunun kaynağına ve özelliklerine işleme yöntemleri, çamur stabilizasyonu, susuzlaştırma ve uzaklaştırma yöntemlerine göre de yoğunlaştırıcılar kullanılmaktadır. Biyolojik çürütmenin sonrasında şartlara göre çamur susuzlaştırmada yöntemi de uygulanabilir. Endüstriyel arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurların da farklı toksik atıklar içerdiğinden çamur arıtımı ve bertarafında farklı metotlar incelenmelidir [6].



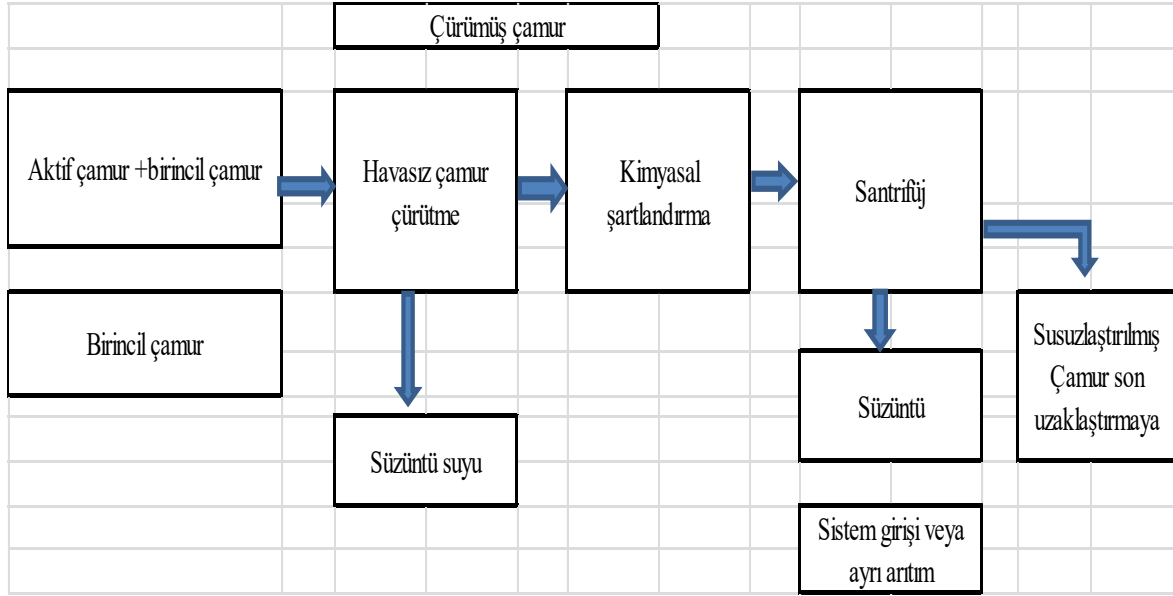
Şekil 1.2. Çamur işleme ve bertaraf yöntemi akış diyagramı [6]



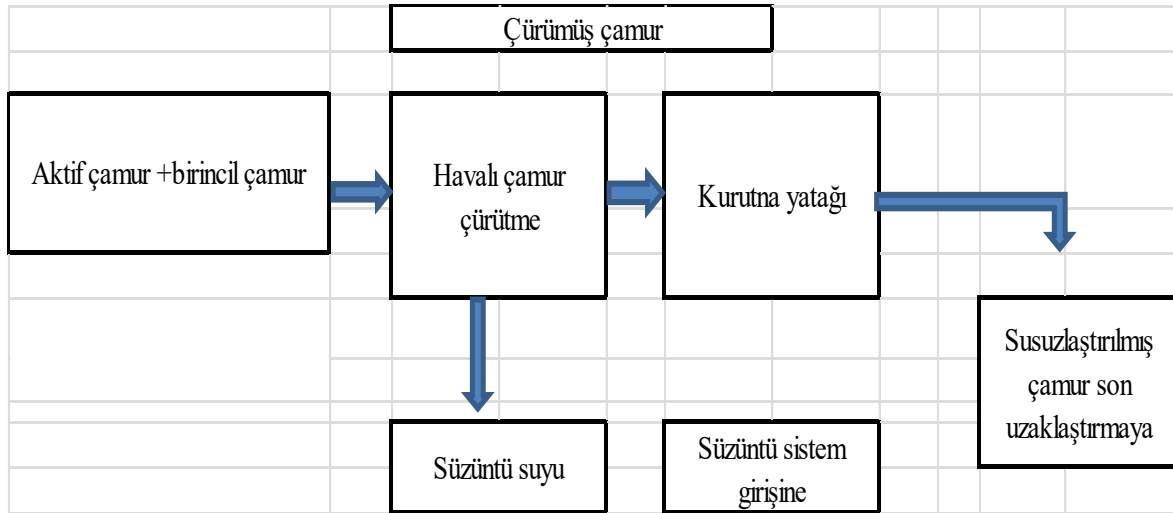
Şekil 1.2. (devam) Çamur işleme ve bertaraf yöntemi akış diyagramı [6]



(a)



(b)



(c)

Şekil 1.3. Biyolojik çürütmeye ilişkin ve değişik çamur susuzlaştırma yöntemi ile çamur arıtma akış diyagramı: a) Bant filtre, b) Santrifüj, c) Kurutma yatağı [6]

1.6. Arıtma Çamurlarına Uygulanan Ön İşlemler

Çamur işleme ünitelerinin istenen verimde çalışması için; çamur öğütme, kum ayırma, karıştırma ve depolama kademeleri önem taşımaktadır [6].

1.6.1. Çamur öğütme

Öğütme işlemi, çamurdaki büyük maddelerin küçük parçacıklar haline getiren bir yöntemdir. Bu işlem ile makine ekipmanların da sarılmaları ve tıkanmaları engellemek için gereklidir. Çamur öğütme işlemini gerektiren bazı prosesler ve amaçları Çizelge 1.10.'da gösterilmektedir [6].

Çizelge 1.10.Çamur öğütmeyi gerektiren uygulamalar [17]

<u>İşlem veya proses</u>	<u>Öğütmenin amacı</u>
Mono pompayla pompalama	Tıkanmayı önleme ve aşınmayı azaltma
Santrifüjle ayırma	Tıkanmayı önleme, genellikle büyük parçacıkları tutulduğu için çamur öğütme gerekmez.
Bant filtre ile susuzlaştırma	Çamur dağıtma sisteminin tıkanmasını önlemek, merdanenin eğrilmesini önlemek ve daha uniform
Isıl arıtma	Yüksek basınç pompasının ısı değiştiricinin tıkanmasını önlemek.
Klorla oksidasyon	Çamur partikülleri ile klorun temasını arttırmak.

1.6.2. Kum ayırıcı

Birincil çökeltme tanklarının ön bölümünde kum tutucuların yetersiz olduğu zamanlarda, çamurun verimi işlenebilmesi için önceden kumun ayrılması gereklidir. Yoğunlaştırılma yapılacaksa, çamurdan kum ayrılması kolay bir çözümdür ve en iyi metodu ise, santrifüj kuvveti uygulamaktır. Bu metodu gerçekleştirmek için siklon kum ayırıcılar kullanılabilir. Çamur takviye bölümüne gönderilir ve santrifüj kuvveti etki edilir. Böylece ağır kum partikülleri silindirin dış kısmına gider ve konik besleme kısmından dışarı atılır. Organik çamur ise üstten dışarı atılır [6].

1.6.3. Çamur karıştırma

Homojen bir arıtma çamuru elde etmek için iyi karıştırma işlemi uygulanması gerekmektedir. Çamurun homojen karakterinde olması, susuzlaştırma, ısıl arıtım ve yakma gibi işlemler için önemli görülmektedir. Homojen özellikte iyi karıştırılmış çamur, çamur işleme sistemlerinin işletme verimliliğini ciddi derecede artırır [6].

1.6.4. Disintegrasyon

Disintegrasyon, dışarıdan uygulanan fiziksel, kimyasal veya biyolojik kuvvetlerle çamurun yapısının deformeye uğraması olarak adlandırılmaktadır. Bu işlemin sonucunda flok yapısının bozulması, mikrobiyal hücre duvarlarının tahrip olması gibi çoğu özelliği değişebilmektedir. Hücre duvarının tahrip olması yani parçalanması sonucunda hücre duvarı ile korunmakta olan maddeler sıvı faza geçmekte olup, çözünebilen faza geçmektedir [18].

Disintegrasyon ile çamur içindeki organik maddelerin çoğunluğu sıvı faza dönüşmekte, sıvı faza dönüşemeyen katı çamur partiküllerinin büyük bir bölümü ise inorganik maddeleri barındırmakta ve bu nedenle disintegrasyona uğramış çamurlar susuzlaştırma uygulamasının sonunda daha yüksek katı madde konsantrasyonuna sahip olmaktadır [18].

1.6.5. Çamur depolama

Sabit debili çamur elde etmek ve çamurun biriktirilmesi amacıyla depolanmaktadır. Çamurun depolanması; kireç stabilizasyonu, ısıl arıtım, mekanik susuzlaştırma, kurutma ve yakma tesislerinde sabit besleme hızı sağlaması açısından önemlidir [6].

1.7. Çamur Şartlandırma İşlemi

Çamurun biyolojik, kimyasal veya fiziksel işlemler ile şartlandırılmasındaki amaç susuzlaştırma işleminden önce, susuzlaştırma verimini arttırmak için uygulanır. Çamur yoğunlaştırma işlemi öncesi çoğunlukla çamurun katı ve sıvı fazlarını ayırmak için kimyasal şartlandırma işlemi uygulanır. Bu nedenle, çamur yoğunlaştırma ve susuzlaştırma işlemlerinden önce çamur şartlandırma işlemi ele alınmıştır [6].

Çamur şartlandırma, katı ve sıvı fazlarını birbirinden ayırmak için uygulanan işlemlerdir. Mekanik yoğunlaştırmanın ve çamur susuzlaştırma işlemlerinin önemli işlemlerinden biri de şartlandırma işlemidir. Organik veya inorganik kimyasallar, çamur yakma fırınlarından çıkan uçucu küller ilave edilmesiyle veya ısıtma gibi fiziksel metotlar kullanılarak şartlandırma işlemi uygulanabilir. Şartlandırma işleminde, ısıtma, dondurma-eritme metotları ile suyun uzaklaştırılmasını sağlasa da, belli oranlarda kimyasal madde eklemek daha iyi sonuçlar alınması neden olur. Bu da çamurun susuzlaştırmasının yanı sıra, çamurun kokusunun azaltılmasını, dezenfekte olmasını, atıksuyun içindeki katı

maddelerin fiziksel olarak yapısının değişmesini ve kısmi olarak parçalanmasına da neden olmaktadır [18].

Çamur şartlandırma amacıyla uygulanan farklı metotlar vardır. Bunlardan bazıları; kimyasal şartlandırma, dondurarak şartlandırma, ısıl şartlandırma, yıkama ile şartlandırma, radyasyonel şartlandırma, solvent ekstraksiyonu ile şartlandırmadır. Kimyasal şartlandırma yöntemi en çok uygulanan yöntemdir. Diğer yöntemler ise genellikle laboratuvar deneylerine bağlı olarak pratik uygulaması nadir olan yöntemlerdir. Kimyasal şartlandırma işleminde çoğunlukla; demir klorür, kireç, çeşitli polimerler kullanılmakta olup, sıvı olarak enjekte edilirler. Toz olarak bulunması durumunda, ilave edilmeden önce çözündürmeleri gerekmektedir. Şartlandırıcı maddeler direkt olarak mekanik susuzlaştırma ekipmanının giriş borusu içine enjekte edilmektedir [11].

Çamur şartlandırıcı için kullanılması gerekli olan kimyasal madde seçiminde ve oranının belirlenmesinde önemli olan etkenler; çamurun karakteristiği, hangi karıştırma işleminin uygulandığı ve kullanılan susuzlaştırma ekipmanıdır. Şartlandırma, yoğunlaştırma veya susuzlaştırma işlemlerini etkileyen çamur karakteristiklerine baktığımızda, çamurun kaynağı, katı madde içeriği, çamurun yaşı, pH ve alkalinitesi akla gelmektedir. Çamur şartlandırma için ihtiyaç olan kimyasal madde dozajı çoğunlukla laboratuvar ortamında belirlenmektedir [18].

Çamur kurutma prosesleri dışında susuzlaştırma yöntemlerinin verimli olabilmesi için çamurun şartlandırılma işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Çamur şartlandırma işlemi, nihai bertaraf öncesinde yoğunlaştırma işlemlerinde çamurun daha kolay susuzlaştırmasını sağlamak hedeflenmektedir [19].

Isıl şartlandırma çamurun ısıtılmasıyla uygulanan işlemdir. Isıtma yöntemi ile çamurda fiziksel değişim gözlemlenerek su muhtevası azaltılır. Isıl işlem diğer yollarla şartlandırılması zor olan biyolojik çamurlar için etkili bir işlemdir. Bu işlem diğer yöntemlere göre oldukça verimli olmasına karşın çok maliyetli bir yöntemdir. Bu nedenle zorunlu durumlar dışında çok fazla uygulaması olmayan bir yöntemdir [19].

Şartlandırma prosesinde kullanılan uygulamaların ilk yatırım maliyetleri fazla olduğu aynı zamanda da yüksek enerji tüketimi gibi dezavantajlarının bulunmasından dolayı uygulamada çok fazla yaygın değildir [20]. Şartlandırma proseslerinin sahip olduğu avantajlar, dezavantajlar Çizelge 1.11.'de verilmiştir [20].

Çizelge 1.11. En yaygın kullanılan şartlandırma proseslerinin kıyaslanması [20]

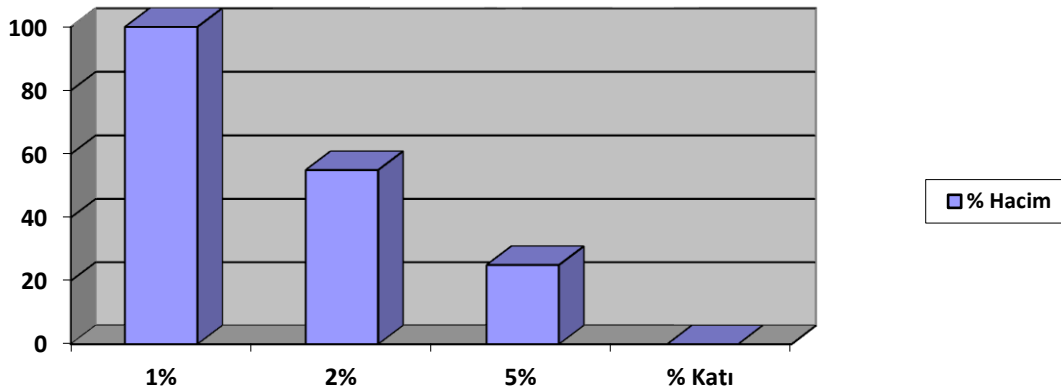
Şartlandırma	Avantajları	Dezavantajları
Mineral Kimyasal	-Yoğunluğun artması	-Çamur miktarı artması -Organik madde miktarının azalması -İşlemin uzun sürmesi
Organik Kimyasal	-Çamur kütlelerinin azalması -Tarımsal değerine etkisinin olmaması -Düşük dozajlarda kullanımı -Pratik kullanım ve taşınabilirliği	-Ürünlerin maliyetinin yüksek oluşu
Termal	-Bütün çamurlara uygulanabilir. -Stabilizasyon ve dezenfeksiyon -Düşük çamur miktarı oluşur.	-Enerji tüketiminin fazla oluşu -Koku oluşumu -Filtrelerde kirlilik yükü artışı

1.8. Çamurun Yoğunlaştırılması

Çamurun yoğunlaştırılması işlemi, çamur arıtım prosesleri de hem kolay hem ekonomik olan bir prosestir. Bu prosesler çamurun katılaşmasında çok önemlidir [11].

Çamur yoğunlaştırma, hem çamurdaki su muhtevasını hem de hacminin azalmasına neden olan bir prosestir. Yoğunlaştırma, çürütme ve susuzlaştırma gibi prosesler büyük önem arz etmektedir [18].

%1 katı madde muhtevasına sahip çamur %100 hacim kaplarken; yoğunlaştırma metoduyla katı madde muhtevası %2'ye kadar çıkartılan çamurun kapladığı hacim %50 azalmaktadır. Su muhtevasını %95'e kadar düşürdüğümüzde çamurun kapladığı hacim başlangıçtaki hacmin sadece %20'sine kadar düşecektir. Bu ilişki Şekil 1.4.'te daha iyi anlaşılmaktadır [21].



Şekil 1.4.Çamurdaki katı madde oranı ve hacim ilişkisi [21]

Başlıca kullanılan yoğunlaştırıcı yöntemleri, graviteli yoğunlaştırıcı, çözülmüş hava yüzdürmeli yoğunlaştırıcı, bantlı yoğunlaştırıcı ve döner tamburlu yoğunlaştırıcı çeşitleridir. Çizelge 1.12.'de yoğunlaştırma metotlarının en çok kullanılanlarının kıyaslaması verilmiştir. Hangi yoğunlaştırma yönteminin seçileceği arıtma tesislerinin büyüklüğüne ve devam eden proseslere bağlıdır. Yoğunlaştırma yöntemini etkileyen önemli değişkenler aşağıdaki gibidir;

- Katı madde oranları ve debileri,
- Şartlandırma prosesin de hangi tür kimyasal kullanılıyorsa dozajının ne kadar olduğu,
- Askıda çözülmüş katı madde muhtevası,
- Yoğunlaştırılmış çamurun miktarı ve katı madde muhtevası [18].

Çizelge 1.12. Yoğunlaştırma yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları [18]

Graviteli Yoğunlaştırma	--En az operasyonel beceri --Düşük işletme maliyet	--Yüksek alan gereksinimi --Atık aktif çamur için düzensiz ve düşük çamur konsantrasyonu --Yüzen çamur
Çözülmüş hava flotasyonu	--Küçük artıma tesisleri için idealdir. --Kimyasal ve atık aktif çamurlar gibi hızlı çökelen çamurlar için iyidir --Şartlandırma kimyasalları gerekli değildir. --Graviteli yoğunlaştırıcıdan daha az alan ihtiyacı gerekir. --Kimyasal madde ilavesiz veya az miktarda kimyasal madde ile çalışabilme	--Orta derecede eğitimli operatör ihtiyacı --Koku potansiyeli --Mekanik metotlara kıyasla daha fazla alan gereksinimi --Graviteli yoğunlaştırıcıya kıyasla daha küçük depo kapasitesi --Yüksek katı tutma veya artan yükleme oranları için polimer ilavesi
Santrifüjlü Yoğunlaştırma	--Atık aktif çamuru yoğunlaştırılmasında etkili --Proses performansını kontrol edebilme --Daha az koku problemi ve temizlik ihtiyacı	--Yüksek yatırım maliyeti --Yüksek güç tüketimi --Eğitimli personel gereksinimi --Karmaşık bakım gereksinimleri --Daha yüksek katı tutmak için polimer ilavesi
Bantlı Yoğunlaştırıcı	--Atık aktif çamurda etkilidir --Proses performansını kontrol edebilme --Yüksek katı tutma verimi	--Polimer gereksinimi --Temizlik ihtiyacı --Koku problemi --Orta seviyede eğitimli operatör
Döner tambur yoğunlaştırıcı	--Atık aktif çamur içi etkili --Düşük alan gereksinimi --Düşük güç tüketimi	--Temizlik ihtiyacı --Koku problemi --Orta seviyede eğitimli operatör ihtiyacı

1.9. Çamurun Stabilizasyonu

Arıtma çamurların muhtevasında bulunan hastalık yapıcı patojen organizmaların bertaraf edilmesi, bozulma ve kokuşma gibi problemlerin yok edilmesi, kötü kokuların giderilmesi nedenleriyle stabilizasyon işlemi uygulanmaktadır. Bu hastalık yapıcı organizmaların bulunmasının nedeni çamur içindeki organik bileşenlerdir. Bu nedenle bu istenmeyen durumları ortadan kaldırmak için çamurun uçucu içeriğinin biyolojik olarak giderilmesi ve patojen organizmaların üremesine neden olan şartların engellenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, çamur içine uygun kimyasal maddeler ilave edilebilir. Ayrıca bu işlem çamurun zarar verici etkilerini kaldırmanın dışında, çamurdaki su muhtevasının azaltılması, biyogaz üretimi amaçlarıyla uygulanmaktadır [18].

Stabilizasyon işleminin uygulama sürecinde en dikkat edilmesi gereken husus, ne kadar çamurun arıtılacağı ve sonraki arıtma ünitelerinin ne olduğudur. Çamurun arazide nihai bertarafında, patojen organizmaların varlığı çok önem arz etmektedir [68]. Stabilizasyon işleminde kullanılan uygulamalar; Kireç stabilizasyonu, Isıl arıtım, Anaerobik (Havasız) stabilizasyon, Aerobik (Havalı) stabilizasyon, ve Kompostlama olarak söylenebilir [6].

1.9.1. Kireç stabilizasyonu

Katı madde konsantrasyonu düşük olan çamura kireç katılmasıyla pH'ı 12'nin üzerine çıkmakta olup, patojen mikroorganizmalar için uygun ortam kaybolmuş ve stabilizasyon işlemi uygulanmış olur. Böylelikle çürüme olayı meydana gelmez, kötü kokular giderilmiş olup, hastalık yapıcı etkenler engellenmiş olur. Bu işlemin maliyeti ve uygulaması kolaydır. Bu işlemin sonucunda oluşan çamurun kapladığı hacim büyür ve kireç gibi kimyasal madde ilave edildiğinden dolayı kararlı değildir [19].

Kireç stabilizasyonunun iki yöntemi bulunmaktadır;

- Susuzlaştırma işleminden önce kireç takviyesi yapılır, bu uygulamaya işleme kireçle ön stabilizasyon,
- Susuzlaştırma işleminden sonra kireç takviyesi yapılır, bu uygulamaya da kireçle son stabilizasyon denir [6].

1.9.2. Isıl arıtım

Bu işlem ile çamurun su muhtevasını azaltarak hem stabilizasyon hem de şartlandırma proseslerinin yüksek basınç altında ısıtılmasını sağlamaktadır. Yüksek sıcaklık ve basınç altında katıyı koagüle ederek çamurdaki su açığa çıkar ve katı maddelerin flokleşmelerine neden olmaktadır. Ayrıca protein içeren maddelerin hidrolizi gerçekleşir, hücre bozunması sonucu organik bileşikler açığa çıkar. Çamurun ısıl işlemi sonucu kötü kokular giderilmiş bir ürün oluşur ve çamur içinde bulunan hastalık yapıcı patojen mikroorganizmalar da bertaraf edilmiş olur. Ortaya çıkan son çamur gübre veya toprak şartlandırıcı olarak kullanılabilir [23].

1.9.3. Anaerobik (havasız) çamur çürütme

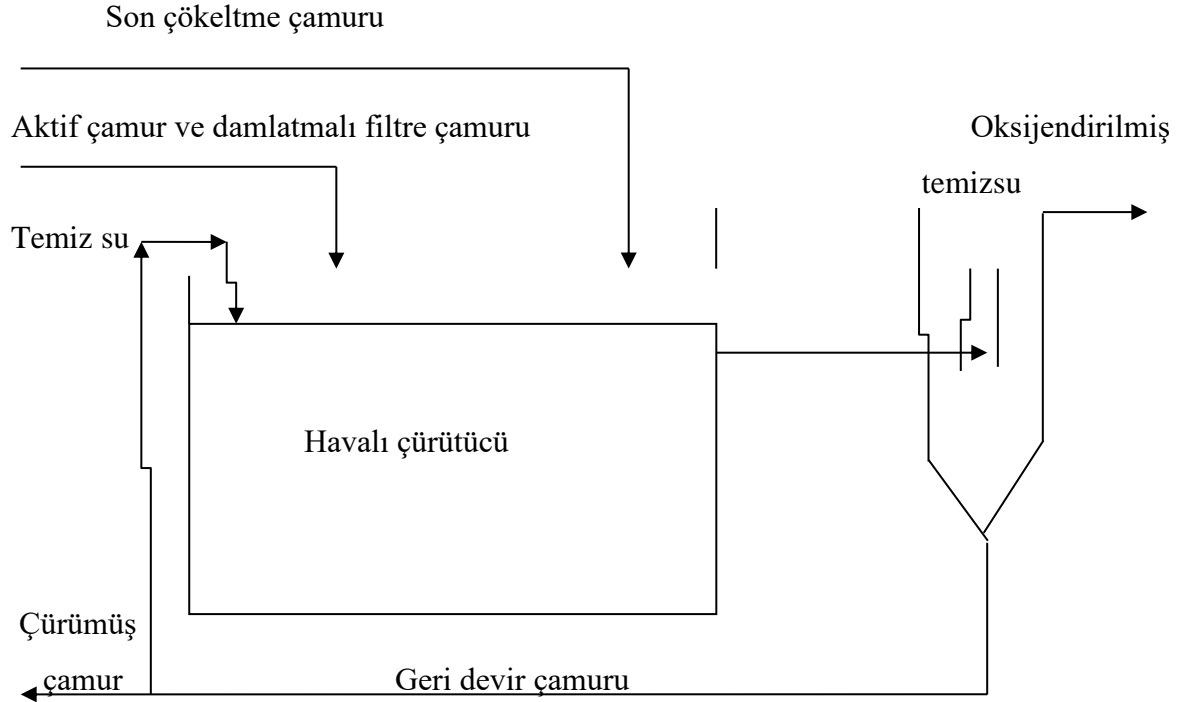
Anaerobik çamur çürütme, stabilizasyon proseslerin de en eski yöntemlerdendir. Oksijen olmadığında organik ve inorganik maddelerin birbirinden ayrılması işlemi olarak tanımlanabilir. Arıtma çamurlarının biyolojik stabilizasyonunda ve bazı endüstriyel arıtma çamurları arıtımında hala kullanılmaktadır. Çürütme işlemi havasız bir ortamda meydana gelmektedir. Anaerobik çürütme bir çeşit biyolojik bozunma işlemidir. Düşük hızlı ve yüksek hızlı olmak üzere iki çeşit anaerobik çamur çürütücü bulunmaktadır. Düşük hızlı (standart) çürütücülerde ısıtma ve karıştırma işlemi yoktur. Bekleme süreleri iklime bağlı olarak 30-60 gün arasında değişebilmektedir. Yüksek hızlı çürütücülerde, havasız ayrışmayı hızlandırmak amacıyla ısıtma ve karıştırma işlem uygulanmaktadır. Bu çürütücüler çoğunlukla seri bağlı 2 reaktörden oluşmaktadır. İkinci reaktör katıların çökeltmesini ve çamur yaşının kontrol etmek amacıyla kullanılır [6].

1.9.4. Aerobik (havalı) çamur çürütme

Çamurun açık havuzlarda havalandırılarak biyolojik olarak parçalanması olayıdır. Biyolojik çürütme sonucunda karbondioksit ve su açığa çıkmaktadır. Bu maddeler oksitlenir ve mikrobiyal kütle aerobik mikroorganizmalar tarafından parçalanarak aerobik çürütme işlemi meydana gelmiş olur [12].

Sıcaklık 70 °C'nin üzerine yükselmektedir. Yükselen sıcaklıkla, patojenlerin büyük bir bölümü bertaraf edilmektedir. 65°C sıcaklıklarda 5-6 gün bekleyen çamurda uçucu maddeler %40 oranında azalma göstermektedir. Aerobik çürütme pratik ve kolay olmasına karşın anaerobik çürütme göre 5-10 kat daha fazla enerjiye ihtiyaç vardır [24].

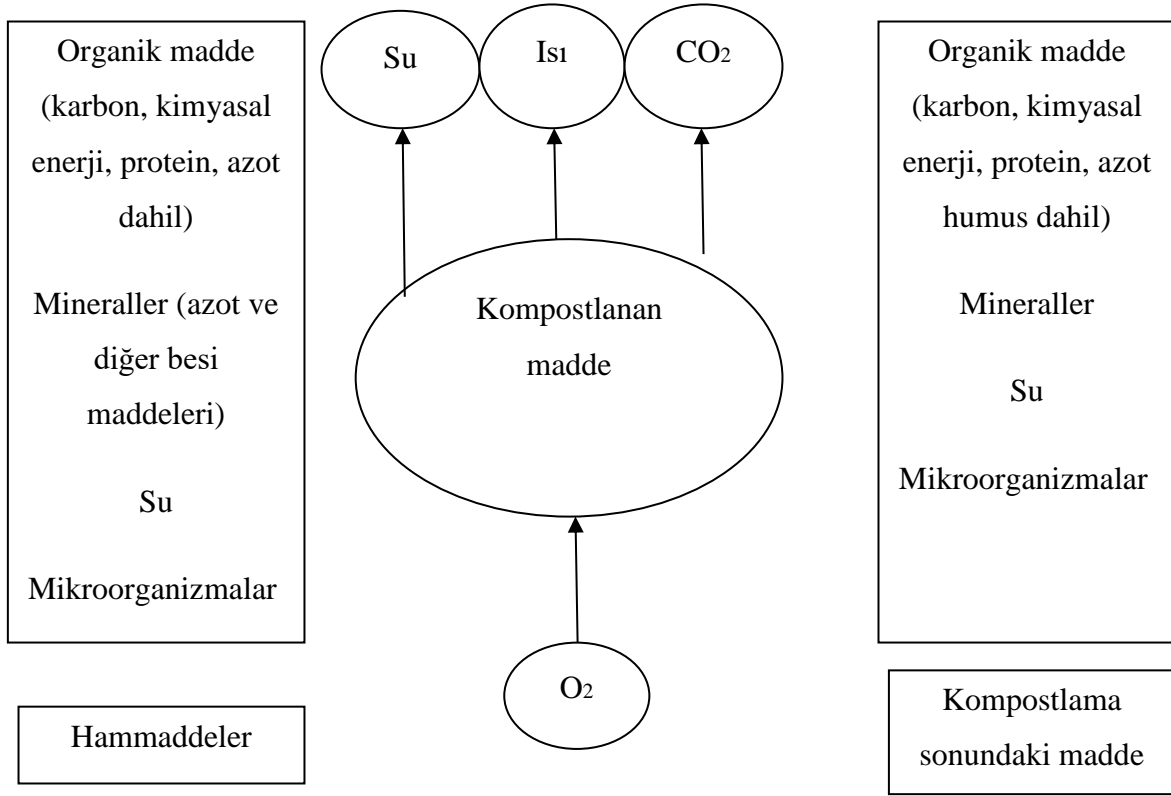
Aerobik çürütmenin avantajları, ilk yatırım maliyetinin düşük olması, işletmenin kolay olması, işlem sonucunda koku giderilmiş çamur elde edilmesidir. Dezavantajları ise işletme maliyetinin yüksek olması, çok fazla enerji tüketmesi ve büyük alanlara ihtiyaç duyulmasıdır [25].



Şekil 1.5. Aerobik (havalı) çamur çürütme sistemine ait şematik görüntü [25]

1.9.5. Kompostlama

Kompostlaştırma yöntemi organik atıkların, havalı ortamda çürüme ile mümkün olduğunca stabil çamur benzeri humusa çevrilmesidir. Humusa benzer çamurun içeriğinde %25'e kadar canlı veya cansız organizma bulunabilir. Kompostlaştırma prosesin de kontrol edilmesi gereken en önemli parametreler karbon/azot oranı, sıcaklık ve havalandırmadır. Kompostlaştırma prosesin de karbon/azot oranı 40'tan fazla olmamalı ve nem oranı %60'ı geçmemesi gerekmektedir. Proses için en uygun sıcaklığın da 60 °C olması gerekmektedir [6].



Şekil 1.6. Kompostlaştırma mekanizması [6]

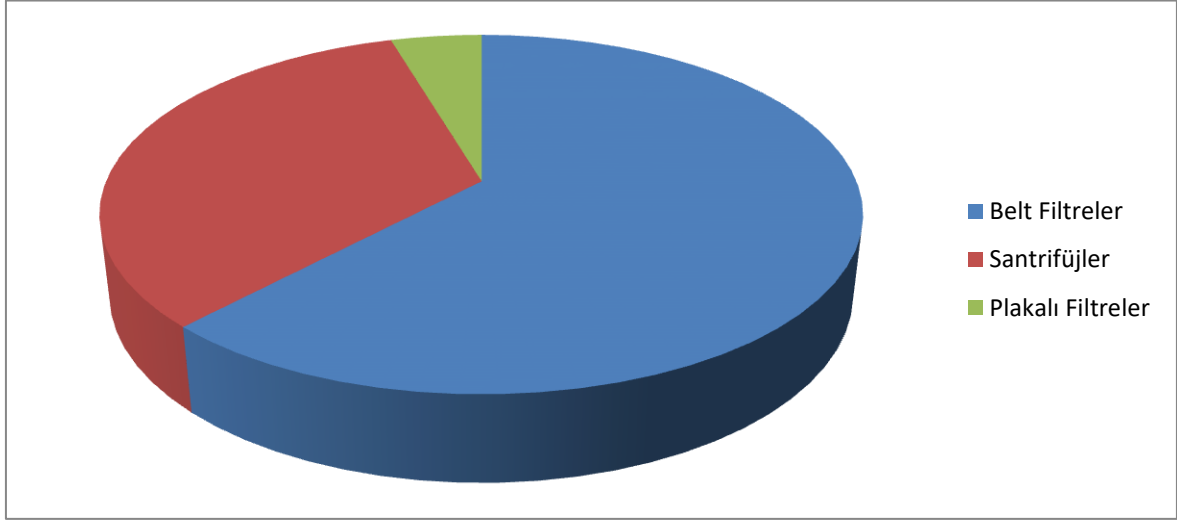
Çamur yığınının üst kısmındaki olgunlaşmamış kompost madde içerisinde yüksek oranda organik asit bulunabilir veya karbon/azot oranı yüksek olabilir. Olgunlaşmamış kompostun canlı ve bitki türlerine zarar verebilmektedir. Kompost karbon/azot oranı, oksijen ihtiyacı, sıcaklık ve koku ile değerlendirilmektedir [6].

1.9.6. Susuzlaştırma ve Kurutma

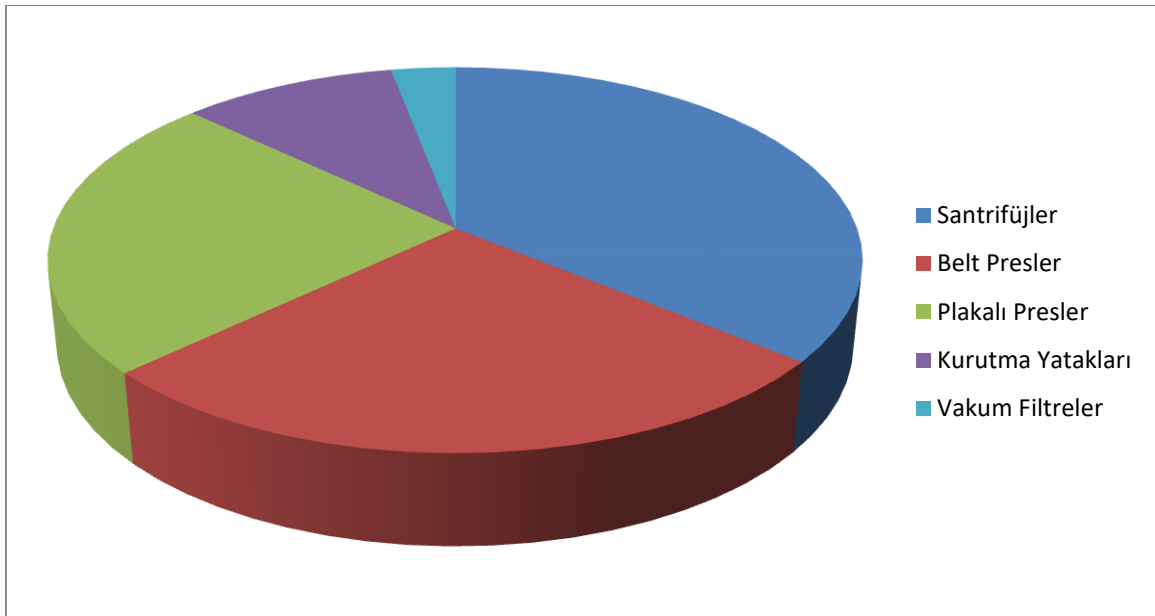
Susuzlaştırma işlemi, çamurun su muhtevasının düşüren ve çok fazla miktarda kapladığı hacmi azalmasına neden olan yoğunlaştırıcıdan sonraki prosestir. Susuzlaştırma işleminden sonra çamur kek durumuna gelir ve su muhtevası azalmış olur buna bağlı olarak katı madde oranı da yükselir. Susuzlaştırılan çamurun taşınması ve işlenmesi daha kolay olmaktadır [19].

Susuzlaştırma prosesi için 2 çeşit metot bulunmaktadır; doğal su alma yöntemleri ile mekanik su alma yöntemleridir. Doğal olarak susuzlaştırma yöntemleri; çamur kurutma yatakları ve çamur lagünleridir. Mekanik olarak susuzlaştırma yöntemleri ise; santrifüjler, bantlı pres filtreler, plakalı pres filtreler, vakum filtreler olarak söylenebilir [26].

Şekil 1.7.'de Türkiye'de atıksu arıtma proseslerinde uygulanan çamur susuzlaştırma işlemlerinin yüzdeleri gösterilmektedir. Şekil 1.8.'de ise planlanan atıksu arıtma prosesleri için çamur susuzlaştırma işlemleri gösterilmiştir [26].



Şekil 1.7. Türkiye'de atıksu arıtma proseslerin de uygulanan çamur susuzlaştırma işlemlerinin yüzdeleri [26]



Şekil 1.8. Planlanan atıksu arıtma prosesleri için çamur susuzlaştırma işlemleri [26]

Çizelge 1.13.'te farklı susuzlaştırma proseslerinin karşılaştırılması verilmiştir [19].

Çizelge 1.13. Farklı susuzlaştırma proseslerinin karşılaştırılması [19]

Susuzlaştırma prosesleri	Avantajları	Dezavantajları
Kurutma yatakları	--Kolay işletme --Küçük arıtlara uygun --Yıl boyunca fonksiyonel --Düşük işletme maliyeti --Yüksek kuru madde içeriği	--Alan ihtiyacı --Hava koşullarına bağlılık --Koku riski --İş gücü gereksinimi
Santrifüj ile susuzlaştırma	--Sürekli işletme --Kompakt sistem --Otomasyon imkanı	--Özel bakım ve koku --Çamur özelliği --Yüksek enerji tüketimi --Yüksek yatırım maliyeti
Bant filtreler	--Sürekli işletme --Kolay işletme --Orta yatırım maliyeti	--Sınırlı su içeriği giderimi --Temiz su ihtiyacı --Uzmanlık gerekli
Filtre pres	--Yüksek su içeriği giderimi --Çamurun yapısal değişimi --Otomasyon imkanı	--Kesikli işletme --Şartlandırma gereksinimi --Uzmanlık gerekli --Yüksek yatırım maliyeti

1.9.7. Çamurun Dezenfeksiyonu

Yönetmeliklerin getirmiş olduğu kısıtlamalardan dolayı çamurun araziye yayılması ve tekrar kullanımını için çamurun dezenfeksiyonu her geçen gün önemli hale gelmektedir. Çamurun araziye uygulandığı alanlarda hastalık yapıcı patojen organizmaların kontrol altına alınması gerekmektedir. Bu zararlı patojenleri ortadan kaldırmak için aşağıdaki yöntemler uygulanabilir:

- Pastörizasyon
- Isıl kurutma, yakma ve piroliz gibi diğer ısıl prosesler
- Yüksek pH arıtımı, (kireç ile pH 12'nin üzerine getirilir, 3 saat kalma süresi)
- Çürütülmüş sıvı çamurun belli süreli depolanması
- Çamurun dezenfeksiyonu için klorür katılması
- Diğer kimyasal maddelerle dezenfeksiyon
- Yüksek enerjili ışın metodu ile dezenfeksiyon

- 55 °C'nin üzerinde tam kompostlama ve minimum 30 gün olgunlaştırma işlemine tabi tutulur [6].

Aerobik ve anaerobik stabilizasyon işlemi çamuru tamamıyla dezenfekte edememekte olup, ancak fazla miktarda patojen mikroorganizmaların giderilmesine neden olmaktadır. Tam dezenfeksiyonu sağlamak için, pastörizasyon veya uzun süreli depolama ile uygulanabilir [6].

Pastörizasyon

Pastörizasyon Avrupa'da uygulanmakta olup, Almanya'da ve İsviçre'de bahar ve yaz mevsimlerinde toprağa verilecek çamurlar için uygulanan işlemdir. Su muhtevası yüksek çamurun pastörizasyonu için 30 dakikalık temas süresi ve 70 °C sıcaklık parazit larvaları ve kistleri zararsız duruma getirecektir [6].

2. ARITMA ÇAMURLARININ BERTARAFI KONUSUNDA YASAL MEVZUAT

Türkiye'deki mevcut çevre mevzuatında arıtma çamurlarının yönetimi ile ilgili hükümler çeşitli yönetmeliklerde yer almaktadır.

2.1. Türkiye'deki Arıtma Çamurları Yönetimi ile İlgili Yönetmelikler

Arıtma çamurları ile ilgili tüm yönetmelikler incelenerek çamur yönetimi konusunda hüküm içeren bölümler değerlendirilmiştir. İlgili yönetmeliklerin içerikleri farklı başlıklar içinde açıklanmıştır [27].

- Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik (03.08.2010 tarih ve 27661 sayılı Resmi Gazete)
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Resmi Gazete) ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği İdari Usuller Tebliği (10.10.2009 tarih ve 27372 sayılı Resmi Gazete)
- Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (14.03.1991 tarih ve 20814 sayılı Resmi Gazete)
- Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (14.03.2005 tarih ve 25755 sayılı Resmi Gazete)
- Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik (06.10.2010 tarih ve 27721 sayılı Resmi Gazete)
- Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik (26.03.2010 tarih ve 27533 sayılı Resmi Gazete)
- Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği (08.01.2006 tarih ve 26047 sayılı Resmi Gazete)
- Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik (05.07.2008 tarih ve 26927 sayılı Resmi Gazete)
- Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (20.03.2010 tarih ve 27527 sayılı Resmi Gazete)

- Tehlikesiz ve İnerit Atıkların Geri Kazanımı Tebliği (12.05.2010 tarih ve 27579 sayılı Resmi Gazete)

2.1.1. Evsel ve kentsel arıtma çamurlarının toprakta kullanılmasına dair yönetmelik (03.08.2010 tarih ve 27661 sayılı resmi gazete)

Bu yönetmeliğin içeriğinde atıksu arıtma çamurlarının toprakta uygulanabilirliği, toprağın organik içeriği, toprağın pH değeri, kullanılacak bölgenin su kaynaklarına yakınlığı, arazinin topografik yapısı gibi özelliklerine göre analiz yapılmalıdır [27].

Önceki Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nden farklı olarak pH değeri 6,0'dan düşük topraklarda stabilize edilmiş çamurun kullanılmaması durumu, bu yönetmelik de eklenmiştir. Her iki yönetmelikte verilen limit değerler Çizelge 2.1., Çizelge 2.2. ve Çizelge 2.3.'te gösterilmektedir [28].

Çizelge 2.1. Topraktaki ağır metal sınır değerlerinin karşılaştırılması [28]

	Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği		Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik (EK I-A)	
	pH 5- 6	pH>6	6≤pH<7	pH≥7
Ağır Metal (Toplam)	(mg/kg Fırın Kuru Toprak)	(mg/kg Fırın Kuru Toprak)	(mg/kg Fırın Kuru Toprak)	(mg/kg Fırın Kuru Toprak)
Kurşun	50	300	70	100
Kadmiyum	1	3	1	1,5
Krom	100	100	60	100
Bakır	50	140	50	100
Nikel	30	75	50	70
Çinko	150	300	150	200
Cıva	1	1,5	0,5	1

Çizelge 2.2. Toprakta kullanılabilir olacak stabilize arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal muhtevalarının karşılaştırılması [28]

	Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği	Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik (EK I-B)
Ağır Metal (Toplam)	Sınır Değerler (mg/kg fırın kuru materyal)	Sınır Değerler (mg/kg kuru madde)
Kurşun	1200	750
Kadmiyum	40	10
Krom	1200	1000
Bakır	1750	1000
Nikel	400	300
Çinko	4000	2500
Cıva	25	10

Çizelge 2.3. Toprakta on yıllık ortalama esas alınarak bir yılda verilmesine müsaade edilecek ağır metal yükü sınır değerlerinin karşılaştırılması [28]

	Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği	Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik (EK I-E)
Ağır Metal (Toplam)	Sınır Yük Değeri (gr/da/yıl, kuru maddede)	Sınır Yük Değeri (gr/da/yıl, kuru madde)
Kurşun	1500	225
Kadmiyum	15	3
Krom	1500	300
Bakır	1200	300
Nikel	300	90
Çinko	3000	750
Cıva	10	3

2.1.2. Su kirliliği kontrolü yönetmeliği (31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı resmi gazete) ve su kirliliği kontrolü yönetmeliği idari usuller tebliği (10.10.2009 tarih ve 27372 sayılı resmi gazete)

Bu yönetmeliğe göre her türlü atıksuyun alıcı ortama direk olarak deşarjı için izin alma prosedürünü kapsamaktadır. Arıtma çamurlarına uygulanan stabilize uygulamalarından sonra toprakta kullanılabilmesi için yapılması gereken işlemler ile ilgili Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'ne atıfta yapılmıştır [29].

2.1.3. Katı atıkların kontrolü yönetmeliği (14.03.1991 tarih ve 20814 sayılı resmi gazete)

Bu yönetmelik, evsel nitelikli katı atıkların, bahçe atıkların ve zararlı olmayan evsel nitelikli sanayi atıklarının, evsel atıksu arıtma çamurlarının toplanılması, taşınması, yeniden değerlendirilmesi, bertaraf edilmesi ve zararlı etkilerini en aza indirilmesine ilişkin yapılması gerekli adımları kapsar [30].

2.1.4. Tehlikeli atıkların kontrolü yönetmeliği (14.03.2005 tarih ve 25755 sayılı resmi gazete)

Yönetmelik temel olarak, tehlikeli sınıfta bulunan atıkların fiziksel ve kimyasal uygulamalar haricinde direkt olarak başka bir atıkla karıştırılmaması ve seyreltilmemesi gerekmektedir. Atık bertaraf tesislerine gelen zararlı ve zararsız atıkların ayrıştırılmaması durumunda gelen atığın tamamının tehlikeli olarak kabul edilmesi durumlarını içermektedir [31].

2.1.5. Atıkların düzenli depolanmasına dair yönetmelik (26.03.2010 tarih ve 27533 sayılı resmi gazete)

Bu yönetmelikle amaç, düzenli depolama sahalarında depolanan atıklardan meydana gelebilecek depo gazlarının ve sızıntı sularının çevreye verebilecek olumsuz sonuçlarını en aza indirmektir. Çevre kirliliğini önlemek amacıyla düzenli depolama tesislerine gelen atıkların türüne göre depolama alanlarının tasarımının yapılması, kabul işlemleri, tesislerin işletilmesi, üzerlerinin kapatılması ve mevcut düzenli depolama tesislerinin ıslahı ve bakım periyotlarına ilişkin hukuki ve teknik açıdan yapılması zorunlu genel kuralları içermektedir [32].

Çizelge 2.4. III. sınıf düzenli depolama tesisi sınır değerleri eluat testi [32]

Parametre	Birim	Sınır değer
Arsenik	mg / lt	0,05
Baryum	mg / lt	2
Kadmiyum	mg / lt	0,004
Krom	mg / lt	0,05
Bakır	mg / lt	0,2
Cıva	mg / lt	0,001
Molibden	mg / lt	0,05
Nikel	mg / lt	0,04
Kurşun	mg / lt	0,05
Antimon	mg / lt	0,006
Selenyum	mg / lt	0,01
Çinko	mg / lt	0,4
Klorür	mg / lt	80
Florür	mg / lt	1
Sülfat	mg / lt	100
Fenol indeksi	mg / lt	0,1
ÇOK(Çözünmüş organik karbon) ¹	mg / lt	50
TÇK (Toplam çözünen katı)	mg / lt	400
TOK (Toplam organik karbon)	mg/kg	30000
BTEX	mg/kg	6
PCB	mg/kg	1
Mineral yağ	mg/kg	500

¹) Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK) sınır değeri atığın kendi pH değerinde sağlanamıyorsa, pH 7,5-8 değerinde test tekrarlanır ve sınır değer aşılındığı tespit edilir. Sınır değeri aşılmıyorsa; Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK) değerinin kabul kriterlerine uygun olduğu kabul edilir.

2.1.6. Atıkların yakılmasına ilişkin yönetmelik (06.10.2010 tarih ve 27721 sayılı resmi gazete)

Bu yönetmelikle, yakılması planlanan atıkların çevreye verebilecek zararları, emisyonlar sonucunda meydana gelen kirliliği ve halk sağlığını tehdit edebilecek olumsuzları en uygun yöntemlerle önlemek ve sınırlamalar getirmektir. Bu yönetmelik, atıkların tek başına veya beraber yakılmasında gerekli önlemleri ve sınırlamaları kapsar [33].

Bu yönetmeliğe göre;

- Yakma tesisi, oluşan yakıt anma ısı güç değerinin %40 veya daha azını atıktan sağlıyorsa bu tesis beraber yakma tesisi olarak ele alınır.
- Yakma tesisi emisyon limit değerleri olarak Ek-2’de sınır değerlere tabidir.
- Yakma tesisi oluşan yakıt anma ısı güç değerinin%40’ dan fazlasını atıktan sağlıyorsa bu tesis yakma tesisi olarak değerlendirilir.
- Atıkları beraber yakan tesisler (çimento fabrikaları dahil) için özel hükümler de Ek-2’de tanımlanmıştır. Baca gazında toplam toz, HCl, HF, ağır metaller, dioksin ve furanlar ile Sülfat dioksit ve karbon monoksit sınır değerleri bulunmaktadır [33].

2.1.7. Kentsel atıksu arıtımı yönetmeliği (08.01.2006 tarih ve 26047 sayılı resmi gazete)

Bu yönetmelik kapsamında alıcı ortamlara arıtma çamurları ve fosseptik çamurlarının verilmesi yasal değildir. Bu yönetmelikte, arıtma çamurlarının toprakta uygulanması veya nihai bertarafında ise Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği’ne atıf yapmaktadır. Yönetmelik çerçevesinde, kentsel atıksu ve arıtma çamurunun bertarafı hakkında bölgesel bazda durum bilgilerinin bölgenin ilgili idarelerince hazırlanıp Çevre ve Şehircilik Bakanlığına gönderilmesi gerekmektedir [34].

2.1.8. Atık yönetimi genel esaslarına ilişkin yönetmelik (05.07.2008 tarih ve 26927 sayılı resmi gazete)

Atık Çerçeve Direktifi hükümlerinin ulusal yönetmeliklerimizde bir bütün olarak ele alınması, tek bir politika etrafında toplanması amacıyla mülga Çevre ve Ormancılık Bakanlığı tarafından 05.07.2008 tarihinde “Atık Yönetimi Genel Esaslarına ilişkin

Yönetmelik” hazırlanmış ve yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelikle, halk sağlığına zarar vermeden en efektif atık yönetim sistematığının oluşturulmasına yönelik genel hükümleri kapsamaktadır [35].

2.1.9. Atıksu arıtma tesisleri teknik usuller tebliği (20.03.2010 tarih ve 25527 sayılı resmi gazete)

Tebliğde stabilizasyon, kompostlaştırma ve yakma gibi prosesler kullanılarak arıtma çamurlarının organik içeriklerinin minimize edilerek, arıtma çamurlarının kararlı duruma gelebileceği belirtilmektedir. Tebliğde uygun zararsız özellikteki susuzlaştırılmış arıtma çamurların düzenli depolama alanlarında bertaraf edilebileceği ifade edilmektedir. Tebliğde arıtma çamurlarının birlikte yakma ya da gazlaştırma uygulamaları ile enerji elde edilebilmektedir. Ayrıca kurutulmuş tarım alanlarında veya toprak iyileştirici olarak kullanılabilirliği belirtilmiştir [36].

2.1.10. Tehlikesiz ve inert atıkların geri kazanımı tebliği (12.05.2010 tarih ve 27579 sayılı resmi gazete)

Tehlikesiz ve İnert Atıkların Geri Kazanımı Tebliği; bir faaliyet sonucunda ortaya çıkan tehlikesiz ve inert atıkların çevreye olabilecek olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi, atık miktarının azaltılması, geçici depolanması, geri kazanım tesislerinin kurulması ve bu tesislerin çevreyle uyumlu yönetiminin sağlanmasına yönelik prensip, politika ve programların belirlenmesi için gerekli idari ve teknik esasları içermektedir. Tebliğ; sınaî ve ticari faaliyetlerden, üretim tesislerinden ve ürünlerin kullanımından kaynaklanan tehlikesiz ve inert atıkların üretildikleri yerlerde ayrı toplanması, geçici depolanması, taşınması, geri kazanılması, yeniden kullanılması ve değerlendirilmesine ilişkin esasları kapsamaktadır [37].

Bu kapsamda bakıldığında tebliğ, “atık yönetim tesislerinden, tesis dışı atık su arıtma tesislerinden ve insan tüketimi ve endüstriyel kullanım için su hazırlama tesislerinden kaynaklanan atıklar” kategorisi altında yer almakta olan arıtma çamurlarını kapsamaktadır [37].

Tebliğde, sınaî ve ticari faaliyetlerden, üretim tesislerinden ve ürünlerin kullanımından kaynaklanan tehlikesiz ve inert atıkların üretildikleri yerlerde ayrı toplanması, geçici depolanması, taşınması, geri kazanılması, yeniden kullanılması ve değerlendirilmesine ilişkin esaslara yer verilmektedir [37].

2.2. Arıtma Çamurlarının Yönetim ve Bertarafına İlişkin Türk ve Dünya Çevre Mevzuatının Karşılaştırılması

Gelişmekte olan ülkelerdeki yönetmelikler incelendiğinde arıtma çamurunun ve çamurun kullanılacağı toprağın ağır metal konsantrasyonu bakımından sınırlamalar bulunmaktadır. Ülkemizde 2010'da yürürlüğe giren Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik kapsamında daha önce yürürlüğe giren Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğine kıyasla bazı metallerin limit değerlerinin %30 ila %75 oranlarında azaltılarak daha alt sınır değerlere çekilmiştir. AB'de halen yürürlükte olan Çerçeve Direktif'te sınır değerler Türkiye'de olan metaller (krom hariç) daha yüksek sınır değerlerle kullanılmaktadır. ABD'de ise krom hariç Türkiye'de kullanılan çoğu metal için limit değerler arıtma çamurunda toplam konsantrasyonlar, toplam kirletici oranları ve aylık ortalama sınır değerler olarak verilmektedir. Bu limit değerlerin çoğunluğunda (kurşun hariç) Türkiye'deki yönetmelik içeriğindeki sınır değerlerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Genel olarak arıtma çamurlarının toprakta kullanılmasına dair uygulamalarda ülkemiz yönetmeliğinin incelenen diğer gelişmiş ülkelere kıyasla daha katı ve ileri seviyede olduğu görülmüştür [27].

Arıtma çamurlarının bertaraf yöntemlerinden biri olan yakılarak bertarafı için incelenen ülkelerde çeşitli mevzuatlar bulunmaktadır. ABD ve Güney Afrika gibi ülkelerde mevzuatın sadece çamurun tek ya da ek yakıt olarak yakılmasını kapsadığı ve çamur yakma hükümlerinin bulunduğu, AB üyesi ülkeler ile Türkiye gibi ülkelerin ise mevzuatın genel olarak atık yakma üzerine oluşturulduğu ve arıtma çamurunun da yakılabilecek olan atıkların içinde dikkate alındığı fakat arıtma çamurları ile ilgili özel hükümlerin yer almadığı görülmüştür. İncelenen yönetmeliklerde arıtma çamurunun tek başına yakma veya birlikte yakma metotları ele alınmıştır. Bu yönetmelikler baktığımızda emisyonlar için limit değerlerin bulunduğu görülmektedir. Yakma esnasında işletme şartları ve gaz temizleme zamanında oluşan atıksuların arıtılması ile ilgili hükümler de halen araştırılmaktadır. Normal şartlarda yakma sırasında baca gazı emisyonlarında kontrol edilecek parametreler CO, SO₂, TOK, asit gazlar (HCl ve HF), bazı metaller ve dioksinlerin izlenmesi gerekmektedir. İzleme ve kontrol zamanları ve kayıt tutma zorunlulukları de mevzuatta belirtilmiştir [27].

3. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE ARITMA ÇAMURU DURUMU

3.1. Dünyada Arıtma Çamuru Bertaraf Uygulamaları

Dünya genelinde çamurun nihai bertaraf konusunda birbirinden farklı yöntemler kullanılabilmektedir. En yaygın kullanılan nihai bertaraf yöntemleri; arazide kullanım veya tarımda kullanım, depolama, yakma ve denize deşarj uygulamalarıdır [38].

Avrupa ülkelerinde ortaya çıkan yıllık toplam arıtma çamuru miktarı 8 milyon ton civarındadır ve bunun yaklaşık %37'si arazide veya tarım alanlarında değerlendirilmektedir. Bu oran Danimarka, Fransa, İngiltere, İsveç ve İspanya'da daha fazla olmaktadır [39].

Günümüzde kullanılmakta olan yöntemlerin dağılımına baktığımızda, çamurun %37'si düzenli depolama ile uzaklaştırılmaktadır. Yakma ile uzaklaştırılan çamur oranı % 9, denize boşaltma, araziye uygulama yöntemlerinin oranı ise %16'dır. Denize boşaltma uygulamasının 1998 yılında yasaklanmasından sonra İngiltere ve İrlanda bu yöntemi kullanmamıştır [20].

Son zamanlarda Avrupa'da doğal yollarla bertaraf edilen çamur nüfusun artışıyla birlikte gerekli arazinin bulunmaması insan emeğinin pahalı oluşu nedenlerinden dolayı termik kurutma ve yakma gibi yeni ve pahalı yöntemler uygulanmaya başlanılmıştır [40].

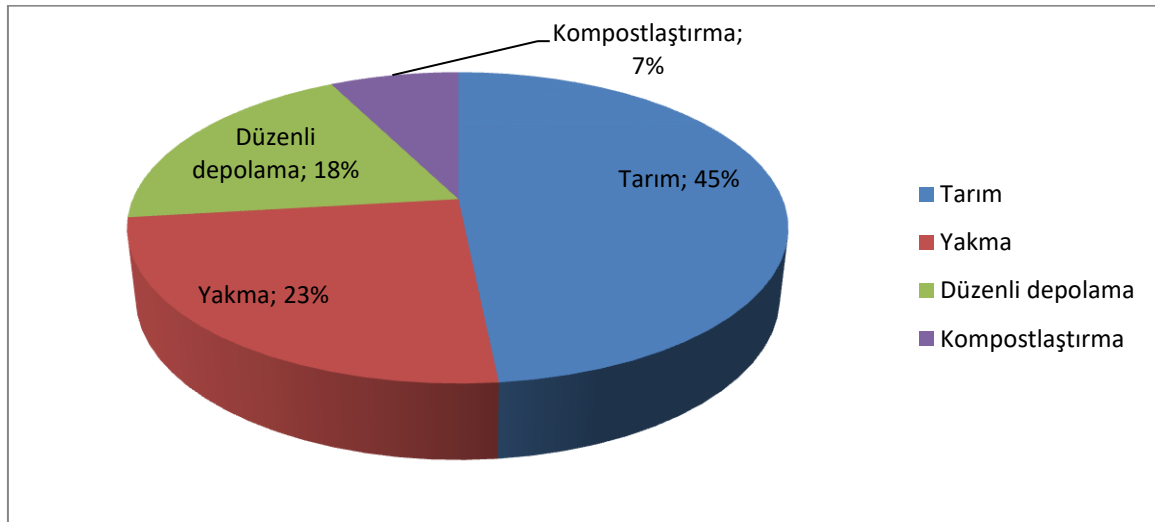
Çoğu ülkelerde olduğu gibi Rusya'da arıtma çamurların bertarafında atıksu arıtma tesislerinin farklı iklimsel koşullarda işletilmesi, arazi gerekliliği, tarımda kullanılan gübrelere olan ihtiyaç gibi farklı faktörlere bağlı olarak çamurların yakılmasında ve depolanmasında çevresel sorunlar yaşanmaktadır. Rusya Federasyonu'nda temel prensip çamurların gübre olarak kullanılmasında çamurların karakteristiklerinin belirlenmesine bağlı olarak yöntemlerin geliştirilmesi amaçlanmıştır [41].

Avrupa Birliği'ne katılım sürecinde arıtma çamurlarının çevreye en az zararlı en uygun metotlarla nihai bertaraf zorunluluk arz etmektedir. Bu nedenlerle, Avrupa Birliği ülkeleri tarafından uygulanan organik katı atık bertaraf standardı düzenli depolama yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak, Avrupa Birliği tarafından 1999/31/EC no'lu katı atık düzenli depolama yönetmenliğine göre 2013 yılından itibaren atıkların %50'den, 2020 yılından sonra da % 35'ten fazlasını düzenli depolama yöntemiyle bertaraf

edilmesiyle ilgili kısıtlamalar bulunmaktadır. Bazı devletlerde atık yönetmeliklerinde bu konuda verilen kısıtlamalar ve şartlar aşağıda verilmektedir:

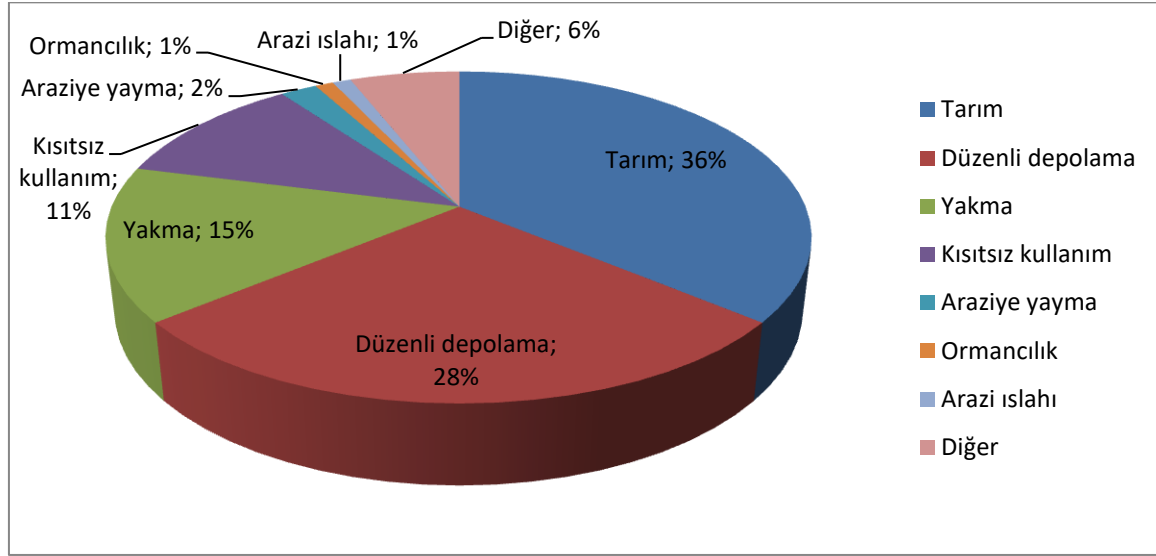
- Avusturya’da, arıtma çamurlarının düzenli depolama şeklinde bertarafı isteniyorsa biyolojik aktivitesini azaltıcı bir arıtma işleminden geçmesi gerekmektedir.
- Hollanda’da amaç, arıtma çamurlarının düzenli depolamaya sadece çamur yakma tesisi külleri ve organik madde içeriği %10’u geçmemesi şartıyla verilebilmektedir.
- Fransa’da, 2002 yılından önce arıtma çamurlarının düzenli depolamaya verilebilmesi için katı madde içeriğinin %30’un üzerinde olmasını şartı aranmakta iken, 2002 yılından sonra sadece nihai atıkların düzenli depolanmasına izin verildiğinden arıtma çamurlarının düzenli depolanmasında son derece kısıtlamalar getirilmiştir.
- İsveç’te, 2005’den sonra arıtma çamurları dahil bütün organik atıkların arazide depolanması yasaklanmıştır [42].

Avrupa ülkelerinde atıksu arıtma çamurlarının düzenli depolanması tamamıyla yasak değildir. Ancak arıtma çamurları biyolojik olarak parçalanabildikleri için düzenli depolamaya kısıtlamalar getirilmiştir [28]. Avrupa Birliği üye ülkeler genelinde uygulanan çamur bertaraf yöntemlerinin yüzdeler dağılımı Şekil 3.1.’de gösterilmektedir [27].



Şekil 3.1. Avrupa Birliği’ne üye ülkeler genelinde uygulanan çamur bertaraf yöntemlerinin yüzde dağılımı [27]

Amerika Birleşik Devletleri'nde uygulanan çamur bertaraf yöntemlerinin yüzde dağılımı Şekil 3.2.'de gösterilmektedir [27].



Şekil 3.2. Amerika Birleşik Devletleri'nde uygulanan çamur bertaraf yöntemlerinin yüzde dağılımı [27]

3.2. Türkiye'de Arıtma Çamurları Bertarafı Uygulamaları

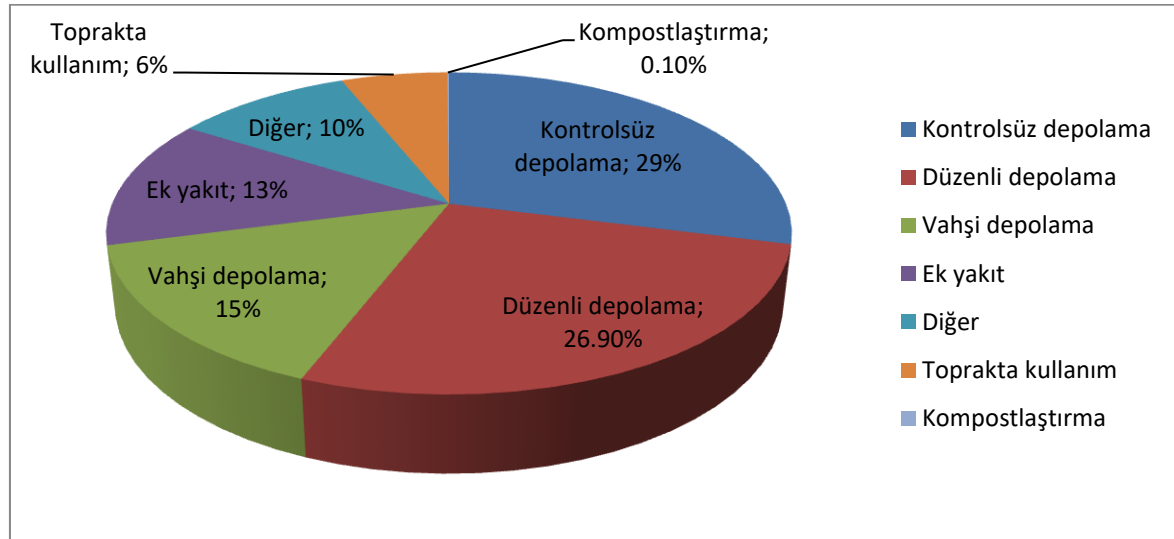
Türkiye'de farklı proseslere sahip atıksu arıtma tesislerinde değişik kademelerde oluşan fizikokimyasal ve biyolojik reaksiyonlar sonucunda meydana gelen farklı konsantrasyonlara ve içeriklere sahip çamurların doğrudan alıcı ortama verilmesi kanun ve yönetmelikler ile yasaklanmıştır. Maalesef ülkemizdeki çamurlarının % 42'sini (1 milyon ton/yıl) oluşturan endüstriyel arıtma çamurlarının büyük kısmı tehlikeli atık özelliğinde olmasına rağmen, ancak düşük oranda Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre bertaraf edilebilmektedir. Çevreye ve doğaya zarar verebilecek içeriğe sahip olmalarından dolayı ile bugünkü teknoloji değerlendirilmeleri mümkün olmayan bu çamurların da kurutularak hacimlerinin azaltılması, böylece daha kolay bertaraf edilebilmeleri teknik ve ekonomik açıdan uygun bir yöntem olarak değerlendirilmektedir [43].

Türkiye genelinde toplam üretilen ortalama çamur miktarı 1.087 ton KM/gün olarak bulunmuştur. Türkiye genelinde üretilen arıtma çamuru nihai uzaklaştırma yöntemlerinin mevcut durumu ve üretilen çamurun uzaklaştırma yöntemine göre dağılımı aşağıdaki Tablo 1.11'de verilmektedir. Tabloda "diğer" olarak ifade edilen bertaraf yöntemi çamur oluşmayan yeni tesisleri, çamurun 1-2 yılda bir çekildiği ve günlük çamur oluşumu miktarı çok az olan tesisleri, çamurun savaklardan kaçması ve/veya çamurun

kanalizasyona verilmesi gibi işletme hatalarından dolayı çamur oluşmayan tesisleri, çamurlarını lisanslı firmalar ile bertaraf eden tesisleri ve çamurlarını yakmaya gönderen tesisleri içermektedir. Çamur miktarlarına göre Türkiye'deki kentsel atıksu arıtma tesislerindeki arıtma çamurlarının bertaraf yöntemlerinin çamur miktarlarına göre dağılımı Çizelge 3.1.'de verilmektedir [27].

Çizelge 3.1.Arıtma çamurlarının nihai uzaklaştırma yöntemleri [27]

Nihai Uzaklaştırma Yöntemleri	AAT Sayısı(adet)	Çamur Miktarı (ton KM/gün)
Belediye katı atık depolama sahası(vahşi)	35	166
Belediye katı atık depolama sahası(düzenli)	34	287
Kontrolsüz depolama(tesis civarında biriktirme/tesis içinde lagünlerde biriktirme/maden ocakları, vb.)	56	316
Kompostlaştırma	2	1
Toprakta kullanım (park, bahçe, tarım, orman, mera)	20	67
Ek yakıt (çimento fabrikaları vb.)	9	145
Diğer	45	105
Toplam	201	1.087



Şekil 3.3. Arıtma çamurlarının nihai uzaklaştırma yöntemlerinin çamur miktarlarına göre dağılımı [28]

İmalat sanayisinde meydana gelen atıksuyun %60'ı hiçbir arıtma işlemine tabi tutulmadan doğrudan deşarj edilmekte ve oluşan atıksuyun ancak %25'i ü atıksu arıtma tesislerinde arıtılmaktadır. Atıksu arıtımı sonucu 3 265 000 ton sulu arıtma çamuru oluşmakta ve imalat sanayisindeki arıtma tesislerinde ortaya çıkan arıtma çamurlarının %40'ı araziye boşaltılmakta, %22'si belediye çöplüğüne atılmakta, %7'si depolanmakta, %4'ü denize boşaltılmakta, %6'sı tarımda kullanılmakta, %4'ü yakılmakta ve %17'si diğere yöntemlerle bertaraf edilmektedir [20].

Akdeniz bölgesinde bulunan atıksu arıtma tesislerinin çoğunda çamur bertaraf sistemleri verimli çalışmamakta ve yetersiz olmaktadır. Bu nedenle arıtma çamurları boş arazilere ya da vahşi depolama sahalarında yüzeye serilerek bertaraf edilmektedir. Katı madde konsantrasyonu %20 oranında ve miktarı günlük 100 ton civarında oluşan bu çamurların vahşi depolamayla çevreye rastgele bırakılması sonucu patojen organizmaların üremesine ve kötü koku sorunlarının ortaya çıkmasına sebep olmaktadır [42]

4. ARITMA ÇAMURLARININ BERTARAFI VE GERİ DÖNÜŞÜM YÖNTEMLERİ

Arıtma çamurları, atıksu arıtma tesisleri sonucu oluşan çevreye zarar vermeyecek şekilde ekonomik bir şekilde uzaklaştırılması gereken son üründür. Atıksu arıtma tesislerinin sayısı arttıkça çamur miktarı da her geçen gün artmakta ve bertaraf seçenekleri de azalmaktadır. Bertaraf yöntemlerinin önemi giderek artmakta olup, çamurun iyi analiz edilerek tasarlanması gerekmektedir [44].

Arıtma çamurlarının nihai bertarafı konusunda çok farklı metotlar uygulanmaktadır. Arıtma çamurlarının bertaraf yöntemi seçiminde; çamurların özellikleri, bölgenin iklim özellikleri, mevcut ekonomik ve teknik imkânlar en önemli karar etkenleridir [44].

4.1. Düzenli Depolama Yöntemi

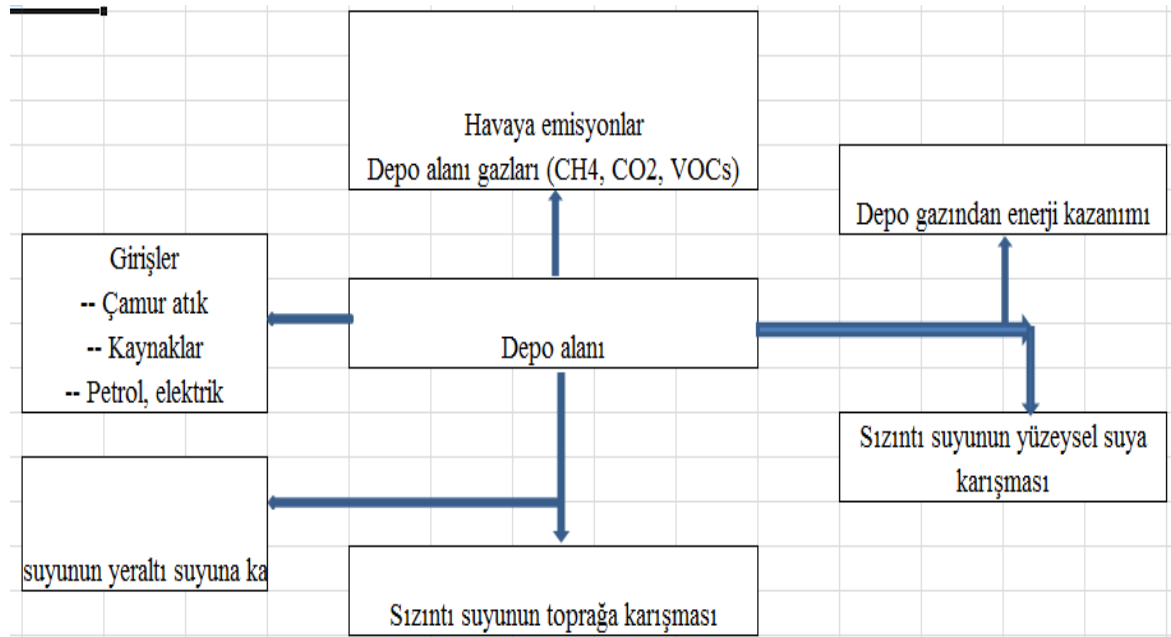
Çok önce zamanlara uzanan ve hala çamur uzaklaştırma metotların başında gelen düzenli depolama, Avrupa Birliği tarafından yayınlanan ve 16.07.2003'ten itibaren uygulanmak amacıyla, "Avrupa Birliği'ne üye ülkeler depolama alanlarına gönderilecek biyolojik olarak parçalanabilen atıkların azaltılması amacıyla ulusal stratejilerini belirlemek zorundadır" şeklindeki "Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the Landfill of Waste" yönetmenliği ile kısıtlanmaktadır. Düzenli depolama yöntemi ancak başka bertaraf seçeneklerinin bulunmadığı aşağıda verilen durumlarda uygulanacaktır.

- Kirletici konsantrasyonları araziye uygulamada ve diğer geri dönüşüm metotları için uygun değilse,
- Tarım alanları, ormancılık ve arazi ıslahı için yer, topografya ve maliyetler için ekonomik yöntem değilse,
- Yakma tesislerinin ekonomik ve yakın olmaması durumunda [24].

Çoğunlukla çürütülmüş, kurutulmuş ve suyu alınmış çamurlar düzenli depolamaya gönderilirler. Su muhtevası %65-80 civarında olan çamurlar, sorunlara sebep olup, katı madde içeriği yüksek olanlar ise problemsiz bir şekilde depolanabilirler. Düzenli depolama alanlarında depolanan çamurlar üzerleri toprakla örtülerek çevreye verdikleri zarar minimize edilir [45].

Yakın gelecekte arıtma çamurlarının düzenli depolama alanlarında bertarafı, zorunlu hallerde başka hiçbir işleme yöntemi olmadığı şartlar için geçerli olacak ve bu yöntemle bertaraf en son düşünülecek metot olacaktır. Günümüzdeki arıtma çamurunun nihai bertarafı daha çok tarımsal kullanıma ve termal yöntemlere yöneliktir [41].

Depolama alanlarının yalnız arıtma çamurları için kullanılması, çamur yapısının hücrelerden oluşan kompakt yapısı sebebiyle gaz oluşumu için uygun olmamaktadır. Arıtma çamurlarının evsel katı atıklarla birlikte karışık depolandığında çamurların ana ürün olmadığından ve toplam atık bileşimindeki oranı çoğunlukla %25 civarında olmaktadır. Şekil 4.1.'de birlikte bulunan evsel atıklar ve arıtma çamurlarının düzenli depolama alanında meydana gelen reaksiyonlar gösterilmiştir. Bu uygulamada sızıntı sularının arıtılması gerekmektedir [20].



Şekil 4.1. Düzenli depolama alanında meydana gelen reaksiyonlar [20]

4.2. Çamur Lagünlerinde Depolama

Lagünler; arıtma çamurların uzaklaştırılmasında, çürütülmesinde, yoğunlaştırılmasında, kurutulmasında ve depolanmasında kullanılabilen yararlı uygulamalardır [46].

Lagünlerin fazla saha ihtiyacı, yeraltı sularının kirlenme riski ve koku sorununa sebep olma gibi olumsuzlukları olmasına karşın; işletme maliyetinin az olması ve bu

yöntemin kullanıldığı alanlarda arazinin ekonomik olması ve ilk yatırım maliyetlerinin de yüksek olmaması nedenlerinden dolayı çamurun nihai uzaklaştırılmasında tercih edilen bir yöntemdir [46].

4.3. Kompostlaştırma

Çamurun kompost hali, biyokimyasal olarak ayrışabilen, değişik organik maddelerin mikroorganizmalar aracılığıyla stabilize edilmek suretiyle, mineral içerikli ürünlerdir [47]. Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği ve Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliğine göre kompostlaştırılmış ürün: organik içeren katı atıkların havalı ve havasız ortamlarda ayrıştırılması ile oluşan toprak iyileştirici madde isminde tanımlaması yapılmaktadır [44].

Atıksu arıtma çamurlarının kompostlaştırılması, nüfusun yoğunluğu fazla olan Avrupa ülkelerinde ve Amerika'da, oluşan çamurların düzenli depolama tesislerine gönderilmesine alternatif bir yol olarak görülmektedir [44].

Kompostlaştırmanın faydaları aşağıdaki verilmiştir:

- Kompostlaştırma ile arıtma çamurları daha az hacim kapladığından düzenli depolama için gerekli olan hacim ve alanlarda ekonomik fayda sağlamaktadır,
- Kompostlaştırma ile çamur içeriğinde bulunan hastalık yapıcı patojen mikroorganizmaların büyük çoğunluğu kompostlaştırmadaki ısıl işlemlerin sonucunda ölmektedir. Olgunlaşmış kompostta patojen bakteri, böcek yumurtası ve bitki tohumlarının zarar gördüğü görülmüştür,
- Kokusuz, zararlı mikroorganizmalarından giderilmiş, humus yapısına benzer bir madde olan kompost toprak yapısını iyileştirdiği gözlenmiştir [47].

Kompost olarak oluşan ürünün olumsuzlukları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Kompostlaştırma işleminde, işletme maliyeti yüksek olduğundan ekonomik değildir,
- Kompostlaştırma işlemi için üç farklı alana ihtiyaç vardır. Bunlar; Kompostlaştırmanın uygulanacağı alan, kompostlaştırılmamış çamurun depolanması için alan ve kompostlaştırılmış çamurun depolanması için gerekli alan,

- Kompostlaştırma yanlış uygulanırsa koku sorunu olabilmektedir,
- Kompostlaştırma işleminin hızlı yürütülmesi için hava koşullarının iyi olması gerekir,
- Kompostlaştırılmış çamurun içerdikleri besin maddeleri genellikle organik yapıda ve bu durumda besin maddelerinin yavaş olarak bırakılmaktadır [48].

Kompostlaştırma işlemini etkileyen parametreler; mikroorganizmalar, havalandırma, su içeriği, sıcaklık, besin maddeleri, pH, katkı maddeleri, zaman ve parçacık boyutudur [48].

4.4. Araziye Serme

Araziye serme yöntemi, arıtma çamurlarının içeriğindeki tarımsal nitelikli bileşenlerin toprağı iyileştirilmesi için yapılan uygulamadır. Arıtma çamurları sıvı-yarı katı, katı ve kuru çamur olarak araziye serilebilir. Ancak bu yöntemler çamurların biriktirilmesi, taşınması ve serilmesindeki uygulama sıkıntıları ortaya çıkmaktadır. Yıl boyunca oluşan çamur miktarları değişkenlik göstermesine karşın çamurun tarımsal kullanımı da sezonluk olmaktadır [20].

Arıtma çamurları araziye serilirken traktörler kullanılmakta olup, işlem sırasında ortaya çıkacak kokunun azalmasını engellemek için toprağı doğrudan enjekte edilirler. Araziye serme uygulaması çamur tiplerine göre farklı ekipmanlar seçilebilmektedir. Araziye serme diğer çamur bertaraf yöntemlerine göre daha pratik, kolay ve pahalı olmayan bir uygulama olup, araziye serilecek çamurun zararlı etkileri iyi incelenmelidir [20].

Arıtma çamurlarının araziye serilmesinde en önemli konu, yeterli ve uygun bir alanın olmasıdır. Çamur serilecek alanın özellikleri ve uygulama yöntemi de önem arz etmektedir. Alan seçiminde en önemli parametreler, topografya, toprak özellikleri, yeraltı suyu derinliği ile hassas alanlara olan uzaklık kriterlerine göre sahanın seçilmesi gerekmektedir. Her farklı durum için yaklaşık alan gereksinimi belirlenmelidir. Araziye uygulamada dikkat edilmesi gereken hususlar, yer altı su seviyesinin 3m'den fazla olması, %0-3 eğimli, yakınlarda kuyuların, sulak alanların, dere ve yerleşimlerin olmadığı alanlar olmasıdır [18].

4.5. Tarımsal Amaçlı Kullanımı

Avrupa yönetmeliğine göre arıtma çamurlarının depolanması ile ilgili kısıtlama ve yasaklamalar nedeniyle, çamur bertarafında en iyi yöntem çamurların kompostlaştırma işlemine tabi tutularak tarımsal amaçlı kullanılmasıdır. Çamurun kompost ürün olarak kullanılabilmesi için mevcut durumda kullanılan çamur bertaraf tekniklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Arıtma çamurlarının organik atıklarla birlikte kompostlaştırılması Avrupa birliği yönetmeliklerine uyumlu olmaktadır [49].

Çamurun tarımsal amaçlı kullanılması için belirlenmesi gereken özellikler; uçucu katı miktarı, pH'ı, organik madde içeriği, patojenler, ağır metaller ve tehlikeli kirletici içeriklerdir. Çürütme işlemine uğramış çamurun özellikleri Çizelge 4.1.'de verilmektedir [50].

Çizelge 4.1. Çürütülmüş çamur içeriği [50]

Toplam kuru madde (KM), %	6-12
Uçucu katı madde, %	30-60
Gres ve yağlar (KM içindeki %'si)	5-20
Protein (KM içindeki %'si)	15-20
Azot (KM içindeki %'si)	1,6-6,0
Fosfor (KM içindeki %'si)	1,5-4,0
Potasyum (KM içindeki %'si)	0,0-3,0
Selüloz (KM içindeki %'si)	8,0-15,0
Demir (KM içindeki %'si)	3,0-8,0
Silika (KM içindeki %'si)	10-20
pH	6,5-7,5
Alkalite (mg/l)	2500-3000
Organik asit (mg/l)	100-600

Arıtma çamurlarının içeriğinde, farklı konsantrasyonlarda bitkiler için gerekli besleyiciler bulunmaktadır. Bunlardan azot, fosfor ve potasyum toprak için temel besleyici maddelerdir. Arıtma çamurunda bulunan kuru maddenin besleyici yüzdesi Çizelge 4.2.'de gösterilmektedir [50].

Çizelge 4.2. Çamur katı madde içeriğinin besleyici yüzdeleri [50]

Besleyici	KM İçinde Yüzde
Toplam azot	3,90
NH4+ formundaki azot	0,65
NO3- formundaki azot	0,05
Fosfor	2,50
Potasyum	0,40
Sodyum	0,57
Kalsiyum	4,90
Demir	1,30

Çizelge 4.3. Dünya’da ve ülkemizde tarımsal amaçlı kullanılacak arıtma çamurlarında müsaade edilen maksimum ağır metal değeri [27]

Üst Limit (mg/kg)							
Kirletici	ABD	Kanada	AB	İsveç	Danimarka	Almanya	Türkiye
Arsenik	75	75	-	-	-	-	-
Kadmiyum	85	20	20-40	2	0.5	1.5	20
Krom	3000	-	1000-	100	-	-	1200
Bakır	4300	-	1000-	600	40	60	1200
Kurşun	840	500	750-1200	100	40	100	1200
Cıva	57	5	-	2.5	-	-	25
Molibden	75	20	300-400	-	-	-	-
Nikel	420	180	-	50	15	50	1200
Selenyum	100	14	2500-	-	-	-	-
Çinko	7500	1850		100	100	200	3000
PCB	8.6	-		-	-	-	-

İşlenmiş arıtma çamurları, bitkisel üretim için gerekli olan bütün bitki besin maddelerini bir arada bulundurlar. Bu sayede kullanıldığı alanlarda ticari gübre kullanımı azalmakta veya işlenmiş arıtma çamuru tamamen gübrelerin yerini almaktadır [51].

Çamurun hangi periyotlarla toprağa verileceği bölgenin iklim şartlarına, bitki üretim programına, müsaade edilen yüke göre değişmektedir. Toprağa verilebilecek yükün hesabında en önemli faktör toprağın taşkın ve göllenmeye sebep olmaksızın absorbe edebileceği maksimum çamur miktarıdır. İkinci önemli faktör, azot ve fosfor gibi besin maddeleridir [51].

Çoğu arıtma çamurunda potasyum düşük miktarlarda bulunmaktadır. Arıtma çamurunda bulunan potasyumun hemen hemen tümü inorganik formlarda bulunmaktadır.

Bu nedenle çamur toprağa verildiğinde bitkiye yarayışlı hale geçmesi için mineralize olmasına gerek yoktur [27].

4.6. Ormanlık ve Ağaçlık Alanlarda Kullanımı

Arıtma çamurlarının ormancılık uygulamalarında, değişik türler için fidanlık alanları oluşturulmakta ve kullanılmaktadır. Ormanlık alanlar için çoğunlukla vahşi ve düzensiz depolama alanları olarak kullanılması ilk akla gelen düşünce olmakta fakat çeşitli özelliklere sahip, çok fazla üretimin yapılabilmesi için planlanmış küçük kavaklık fidanlığı uygulamaları silvikültür olarak tanımlanmaktadır. Arıtma çamurlarının ormanlık alanlarda ve silvikültür uygulamalarında kullanılması, tarımsal sahalarda kullanılmasına alternatif bertaraf yöntemi olarak düşünülmektedir. Avrupa Birliği ülkelerinde arıtma çamurlarının araziye serilmesinde kısıtlamalar bulunmakta olup ancak küçük sahalarda uygulanmasına izin verilmektedir [24].

4.7. İslah Amaçlı Kullanımı

Kapatılmış maden, taş, kömür ve tuğla ocakları ile erozyona uğramış alanlar ıslah alanları arasında sayılabilir. İslah çalışmaları kapsamında ele alınması gereken en önemli konu, diğer ekolojik özelliklerinin yanı sıra toprak varlığı ve verimliliğini yitirmiş bu alanlarda yeniden bitkilendirmenin sağlanacağı ortamların oluşturulmasıdır [A].

İslah amacıyla işlenmiş arıtma çamurlarının uygulanacağı alanlarda, uygulama başlatılmadan önce bu alanın ıslah edildikten sonra ne şekilde kullanılacağına kararlaştırılması gerekmektedir. İslah edilecek alan tarımsal üretim veya hayvan otlatma amaçlı kullanılacaksa uygulanacak işlenmiş arıtma çamuru miktarının uygulama zamanının ve şeklinin belirlenmesinde yönetmeliklerin öngördüğü düzenlemelerin yerine getirilmesi gerekmektedir [51].

4.8. Yeşil Alanlarda Kullanımı

Yeşil alanlar arasında parklar, futbol sahaları, mezarlıklar, otoyol kenarları, golf sahaları ve havaalanları sayılabilir. İşlenmiş arıtma çamurları belirtilen bu alanlarda ilk tesis aşamasında kullanılabildiği gibi, önceden tesis edilmiş alanlarda daha sonraki yıllarda yapılan gübre uygulamaları yerine vejetasyonu geliştirmek amacıyla kullanılabilmektedir. İşlenmiş arıtma çamurlarının yeşil alanlara uygulanması halk sağlığı açısından patojenik

organizmalarla temasın kontrol altında tutulmasını gerektirmektedir. Bu nedenle bu tür uygulamalar projeye dayalı olarak yapılmalıdır [51].

4.9. Karayolu İnşaatında Dolgu Maddesi Olarak Kullanımı

İspanya’da yapılan araştırmalarda arıtma çamurlarının karayolu inşaatında mevcut durumda kullanılan dolgu malzemelerine alternatif olacak şekilde kullanımı ve sağladığı faydaları konu alınmıştır. Sonuç olarak mevcut durumda kullanılan dolgu malzemelerinin 1 hektar genişliğindeki karayolu inşaatının maliyeti 50 000 € (toplam maliyetin % 4’ü) iken, ham arıtma çamur kullanıldığında ise hektara 3 600 € (toplam maliyetin % 0,3’ü) olduğu hesaplanmıştır [52].

Araştırmacılara göre, Arıtma çamurlarının yol inşaatlarında dolgu malzemesi olarak kullanımı ile ilgili daha önce çalışma olmamıştır. Araştırmacılar bu yöntemin halk sağlığı için sakıncalı olmayacağını da belirtmektedirler. Fakat bu yöntemin halk sağlığı için bir risk oluşturmadığını anlayabilmek için daha uzun dönemli bilimsel çalışmalara gereksinim duyulmaktadır [52].

4.10. Reklamasyon

Arıtma çamurlarının tarımsal amaçla uygulanmasında yeterli görülmeyen alanların çamurların katkısıyla tarımsal niteliğe sahip alanlara çevrilmesi mümkün olabilmektedir, fakat bu uygulama çok fazla masrafa neden olmaktadır. Ağır metal içeriği fazla ve zararlı maddeler içeren çamurlar reklamasyon amaçlı kullanımı uygun değildir [53].

4.11. Kimyasal Sabitleme / Solidifikasyon

Arıtma çamurlarında solidifikasyon yöntemi, sıvı fazdan katı faza geçişinde; çamurun yapısını ve fiziksel özelliklerini değiştiren farklı maddelerin katılmasıdır. Bu işlemin sonucunda ortaya çıkan çamurun yapısı basitçe işlenebilir ve taşınması da kolaydır. Solidifikasyon yöntemi, kimyasal stabilizasyon uygulamasını da kapsamakta olup, aynı zamanda katı madde partiküllerinin fiziksel olarak gelişmesi olayı da bulunmaktadır [11].

Stabilizasyon-solidifikasyon uygulamasının inorganik solidifikasyon ve organik kapsülleme olmak üzere iki yöntemi bulunmaktadır. İki yöntem içinde farklı prosesler kullanılmaktadır. Organik kapsülleme yöntemi maliyetli bir uygulama çeşididir [15].

4.12. Yakma

Yanma işlemi oksidasyon bir reaksiyonudur. Arıtma çamurları doğrudan veya dolaylı olarak yakılabilmektedir. Doğrudan yakma işleminde arıtma çamurları genellikle evsel katı atıklarla beraber yakılırken, dolaylı yakma işleminde yakıt olarak enerji üretmek için kullanılmakta veya çimento üretim tesislerinde ek yakıt olarak değerlendirilmektedir [24].

Yakma tesislerinin devamlı çalıştırılabilmesi için sisteme sürekli ve sabit çamur miktarının oluşması gerekmekte ve bu durum sistemin verimini etkilemektedir. Oluşan emisyonlar prosese ve çamurun tipine bağlıdır. Yakma işlemi sonucunda elde edilen enerji genellikle çamuru susuzlaştırma işlemleri için harcanmaktadır. Yanma gazları uçucu kül, ağır metaller, asit gazları, karbondioksit, uçucu organik bileşikler içermektedir. Yakma fırınlarında çıkan gazların emisyonlarının giderilmesi arıtım işlemi uygulanması gerekmektedir [24].

Arıtma çamurlarında termal prosesler son yıllarda yaygınlaşan bir teknolojik yöntemlerdir. Çoğunlukla susuzlaştırılmış çamurların kullanıldığı fırınlarda veya daha fazla tercih edilen %40-60 kuru madde oranına sahip çamurların kullanıldığı akışkan yataklı fırınlar yakma işlemi için kullanılan ekipmanlardır. Arıtma çamurlarının karakteristiğine göre yakma işleminin verimini etkilemektedir. Arıtma çamurlarında uçucu organik madde oranı, yakmaya prosesine gönderilen çamurun kuru madde oranı, yakma sonucunda oluşan küller, yakılma işlemini etkileyen faktörler olarak dikkate alınıp incelenmelidir [54].

4.13. Islak Oksidasyon

Islak oksidasyon işlemi yanabilir özellikteki maddelerin 120-370 °C arası ısılarda sulu şartlarda oksitlenmesiyle ilgilidir. Normal şartlar, uygun sıcaklık, tepkime süresi ve yeterli basınçlı oksijen sağlanmasıyla yakma işleminde yüksek verime ulaşmaktadır. Islak oksidasyon işleminden önce susuzlaştırma veya kurutma proseslerine gerek kalmamaktadır [55].

Arıtma çamurlarındaki katı madde oranı %1 seviyesinde olabilir. Çamurdaki mevcut kükürt, klor ve fosfat çözünen ve işlemi sıvı fazda giderilen sülfat, fosfat ve klorit hallerine dönüşmekte ve işlem süresince meydana gelen küller susuzlaştırılıp çözünen su

biyolojik olarak artırılmaktadır. Islak oksidasyon prosesinde çoğunlukla Çizelge 4.4'te verilen teknolojiler ve uygulamalar kullanılmaktadır [56].

Çizelge 4.4. Islak oksidasyon teknolojileri [56]

Proses	Sıcaklık °C	Basınç MPa	Kullanım alanı	Oksitleyici
Loprox	190	1,7	Atıksu arıtma	Saf O ₂
Modar	600	25	Tehlikeli atık	Hava
Osaka gas	250	9	Atıksu ve çamur arıtma	Hava
Vertech	280	10,4	Atıksu ve çamur arıtma	Saf O ₂
Zimpro	260	9-12	Çamur şartlandırma	Hava
Kenox	250	5	Atıksu arıtma	Saf O ₂
Stignas	300	11	Atıksu arıtma	Sıvı O ₂

Su muhtevası fazla çamurlar sürekli olarak bir işlemde 70-150 bar basınç altında 250 °C civarında ısılarda ve nemli bir ortamda oksijen ile yakılabilmektedir. Yakılan çamurlar kolayca ayrışabilen organik madde içerikli bir faza ve arıtma gerektirmeyen temiz gazlara dönüşürler [45].

4.14. Gazlaştırma

Gazlaştırma işlemi, yanabilir özellikteki çamurların belli oranlarda oksijen ile gaz fazına dönüşümünü sağlayan ısı işlemidir. Günümüze kadar kömür ile gaz üretiminde kullanılmakta olan bu işlem 900-1000 °C ısılarda hava ile veya 1000-14000 °C gibi yüksek ısılarda oksijen kullanılarak uygulanan işlemidir. Yakma işlemi sonucunda 1 kg kuru maddeden 24-30 m³ baca gazı oluşurken saf oksijen ile gazlaştırma işleminde 1 kg kuru maddeden 1.7 m³ baca gazı elde edilmektedir [57].

Gazlaştırma işleminde amaç, yanabilen zararsız ve kullanılabilir gaz üretmektir. Gazlaştırma teknolojisi, arıtma çamurlarından enerji üretmek amacıyla kullanılabilir bir procestir. Ancak, bu teknolojinin arıtma çamur bertaraf sistemlerinde uygulanması konusunda daha fazla araştırma ve incelemelere ihtiyaç vardır [54].

4.15. Fermantasyonla Biyogaz Elde Edilmesi

Organik atıklar oksijensiz ortamlarda farklı mikroorganizmalar ile parçalanmaktadır. Mikroorganizmalar ilk olarak çözünmüş maddelerde işlev görürler. Asit fermantasyonu adı verilen bu işlemin sonunda organik asitler, karbondioksit ve hidrojen

sülfür ortaya çıkmaktadır. Bu süreçteki tepkimeler hızlı gerçekleşmektedir. Asidik Çürüme adı verilen 2. adımda ise organik asitler ve azotlu bileşenlerin bozunma süreci daha yavaş olmaktadır [50].

Fermantasyon işlemi, çeşitli mikroorganizmalarla gerçekleşebileceğinden dolayı bu canlıların var olabileceği şartlar oluşturulmalıdır. Nem oranı, sıcaklık ve baziklik derecesi limit sınırları içinde ve kontrol altında olmalıdır. Ayrıca arıtma çamurlarında, mikroorganizmalar için gerekli maddeler bulunmalıdır. Fermantasyon sonucu oluşan gaz %70 metan ve %30 yanmayan karbondioksit ve hidrojen sülfür gazlarını içermektedir [50].

4.16. Piroliz

Piroliz işlemi, oksijen bakımından fakir koşullarda 300–900 °C ısı değerinde organik maddenin bozunmasına neden olan yüksek ısı gerektiren kontrollü bir yanma işlemidir. Yakma işlemine göre daha az kirlilik yükü potansiyeli vardır. Bu işlemde, arıtma çamurundaki organik madde içeriklerinin metan, karbondioksit, karbonmonoksit, hidrojen gazlarına ve enerjiye dönüşümü gerçekleşmektedir [44].

Piroliz işlemi iki adımda gerçekleşmektedir. Arıtma çamuru 750 °C’de gazlaştırılmakta olup ortaya çıkan gaz, zararlı maddelerin indirgenmesi amacıyla 850 °C sıcaklıkta piroliz ünitesinde yakılmaktadır. Piroliz işleminde, gaz tamamıyla bozunmaya uğradığından dolayı temizlemek için ilave işleme ihtiyaç duyulmamaktadır. Oluşan üründe uçucu kül oranı çok düşük olmakta ve toz içeriği de 3 mg/m³tür. Bu işlemlerin sonucunda olması gereken değer çok altındadır. Toz içeriğinin az olması işletme maliyetini düşürmektedir. Bu nedenle siklon uygulamasına ve elektrostatik filtre kullanımına ihtiyaç duyulmamaktadır. Gazlaştırma işlemi sonucunda oluşan gaz tekrar yakılacağı için üretilen enerji miktarı da artmaktadır. Karbonmonoksit konsantrasyonları azalmaktadır. Böylece işletme masrafları da azalmaktadır. İşletimi otomasyon sistemi ile gerçekleştirebilmektedir [50].

4.17. Hidroliz

Hidroliz işleminde gerçekleşen tepkimelerde hem organik hem de inorganik maddeler parçalanmaktadır. Bu işlemde daha yüksek ısı uygulanmaktadır. Bu işlem için kullanılacak olan ekipmanlar yüksek basınca dayanıklı olan malzemeden olmalıdır. Yüksek ısılarda çamur biokütlesinin hücre yapısı parçalanacağından dolayı ağır metaller

açığa çıkmaktadır. Çoğunluğu sıvı faza dönüşen ağır metaller, pH'nın yükseltilmesiyle selektif olarak çöktürülmektedir. Bu işlemin sonunda katı fazdaki maddeler büyük oranda ağır metalden arınmıştır. Bu işlemle halojenli organik bileşikler de parçalanmakta olup, sonraki aşamada yeni bileşik meydana getirmezler. Bu işlem yüksek ısılarla aktifleştirilmiş sıvı hidrolizi olarak Still Otto firması tarafından bulunmuş ve sanayi amaçlı oksidatif kok gazından kükürttün gidermesi için kullanılan bir prosestir. Ayrıca bazik çözelti atıklarının arıtılması için kullanılmaktadır. Firmanın belirttiğine göre, arıtma çamurlarının giderilmesinde de kullanımı uygundur [50].

4.18. Hidrotermal Oksidasyon

Hidrotermal oksidasyon, su için kritik reaksiyon noktası olan 221 bar ve 374 °C üzerinde suyun fiziksel özelliklerinin değiştirilerek, organik maddelerin parçalanarak sınırsız karışabilecek şekilde değişmesine olaydır. Bu nedenle bu özellikteki su, organik maddelerin oksidasyonu için en uygun şartları meydana getirir. Gazlaştırma işleminde olduğu gibi, kritik üzeri su içindeki organik maddelerin karbonmonoksit ve suya dönüşümü gerçekleşmektedir. Organik bağlı azottan amonyak ve nitrojen, halojenlerden ve kükürten ise asitler oluşmaktadır. Nötralizasyon işlemi ile bu maddelerden inorganik tuzlar oluşmaktadır. Basıncın ve sıcaklığın yükseltilmesiyle bu işlemler hızlandırılır ve giren maddelerin parçalanma derecesi de uygun hale getirilir. Fraunhofer Institut tarafından Pfinzthal şehrinde uygulanan bir deneme yöntemi ile tesisdeki işletme parametrelerinin uygunluğu, malzeme seçimi ve korozyona karşı dayanıklılığı konularında çalışmalar yapılmaktadır. Lentjes- Ratingen ve Modek firmaları ile Fraunhofer Institut firması arasında ortak çalışma ile pilot ölçekte deneme yöntemi için tesis yapmışlardır. Bu prosesin işleme kapasitesi % 5-10 organik madde içeriğine sahip saatte 50 lt arıtma çamurudur. Farklı organik bileşikler için, % 99,99'un üzerinde parçalama kabiliyetine ulaşmıştır. Parçalanma ürünleri olarak karbondioksit, su ve bir katı madde karışımından oluşmaktadır. Parçalanma sürecinde tuzlar ve diğer katılar olarak geriye katan veya nötralizasyonla meydana gelen organik zararlı maddeler katı karışımın içinde toplanmakta ve giderilmektedir. Deneme verilerine göre bu işlemin en uygun olduğu durumlar, sıvı fazdaki atıklarda bulunan veya ortaya çıkan çamurlarda bulunan parçalanması zor zararlı organik bileşiklerin olabildiğince tamamen parçalanmasının gerçekleştiği durumlardır [50].

4.19. Mikrodalga-Yüksek Basınç İşlemi

Mikrodalga yüksek basınç uygulaması, sulu fazdaki organik atıkların kimyasal maddelerle yüksek basınç ve ısı ile dönüşümü olarak tanımlanmaktadır. Bu işlemde kullanılacak olan kimyasal madde ilavesi için ihtiyaç olan enerjiyi yüksek verimle gerçekleştirmektedir. Yüksek organik içerikli maddeler, 400 °C'lik ısıyla ve 180 bar'lık basınç altında karbondioksit ve yağ ürünün oluşmaktadır [21].

4.20. Dağıtım ve Pazarlama

Arıtma tesislerinin kapasitesine göre, ortaya çıkan arıtma çamurunun %11-19 oranında dağıtım ve pazarlama yöntemi ile uzaklaştırılabilmektedir. Park ve bahçeler, golf alanları ve meyve bahçelerinde yüzey toprağını iyileştirmek için kompostlaştırılmış çamur kullanılabilir. Kompostlaştırılmış çamurlar kapalı paketlerde veya açık bir şekilde satılabilmektedir. Kompostlaştırılmış arıtma çamurlarının bu tür amaçlar kullanılması, uygulanacak bitki türlerine göre sınırlandırmalar mevcut olup, iyi analiz edilmesi gerekmektedir [11].

4.21. Atıksu Arıtma Çamurlarının Çimento Üretiminde Kullanılması

Türkiye'de Çimento Sanayi, Belediye katı atıklarından enerji kazanımı konusunda deneyimlere sahiptir. Atıktan türetilmiş yakıtlar ön işlem tesislerinde fiziksel ayrıştırma, sınıflama ve kurutma gibi proseslerle üretilmektedir. Ülkemizde özellikle büyük şehirlerde uygulama örnekleri bulunmaktadır [56].

Günümüzde ve gelecekte Büyükşehir Belediyeleri ve yerel yönetimlerle işbirliği ve koordinasyonun sağlanması halinde, vahşi depolama sahalarında bertaraf edilecek birçok atığın enerji ve malzeme olarak çimento fabrikalarında geri kazanımı mümkün olacaktır [56].

İstanbul, İzmir ve Antalya Belediye Atıksu Arıtma Tesislerinde oluşan arıtma çamurlarının ülkemizdeki çimento fabrikalarında beraber yakılması ile ilgili mevcut ve verimli çalışan uygulamalar bulunmaktadır [56].

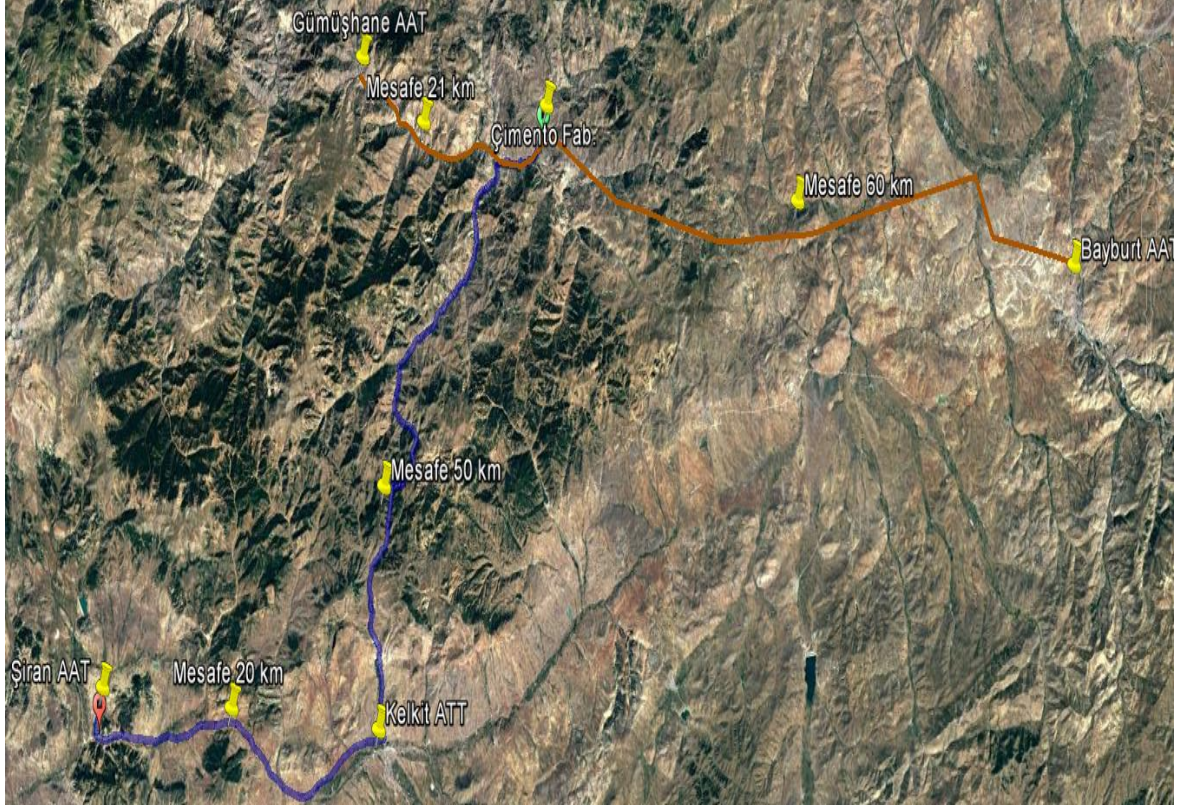
Almanya'da çimento sanayi endüstrisinde yılda yaklaşık 350 000-400 000 ton ek yakıtlar kullanılmaktadır. Bunun çoğunluğunu eski lastikler oluşturmaktadır. Çimento

sanayisinde enerji tüketimi çok yüksektir. Günümüzde %15 olan ek yakıt olarak kullanılan atık kullanımının gelecek yıllarda ciddi oranda artması planlanmaktadır [50].

Arıtma çamurlarının çimento üretim tesislerinde ek yakıt olarak kullanılması için çok fazla sebep verilebilir;

- Çimento üretiminde kullanılan hammaddelerin içeriğinde bulunan kalsiyum, Silisyum, Alüminyum ve demir oksitleri çoğunlukla ek yakıt olarak kullanılan maddelerin de ana bileşenleridir.
- Çok yüksek ısılarda ve uzun süreli uygulanan yanma işlemi, organik bileşenlerin dönüşebilmesi için uygun koşullar sağlamaktadır.
- Isıl işlem sonrası yanmış gazlar kireç içerikli hammaddeler ile ters akımda bir araya gelir ve kuru adsorpsiyon uygulaması ile yanmış gazların arıtımı gerçekleşmiş olmaktadır.
- Arıtma çamurlarının yakılması ile oluşan küller çimento içinde kaldığı için bu işlemde katı atık oluşumu gerçekleşmez.
- Arsenik, krom, nikel, vanadyum ve çinko gibi uçucu özellikte olmayan elementler de klinker içinde kalmaktadır [50].

Resim 4.1.'de Gümüşhane çimento fabrikası yakınlarında bulunan atıksu arıtma tesisleri ve mesafeleri gösterilmektedir. Bu bölgede bulunan atıksu arıtma tesislerinin düşük kapasiteli olmalarından dolayı ve kendi içinde teknolojik bertaraf çözümlerinin maliyetli olması dolayısıyla en uygun çözümün arıtma çamurlarının çimento fabrikasına verilmesidir.



Resim 4.1. Gümüşhane çimento fabrikası yakınlarında bulunan atıksu arıtma tesisleri ve mesafeleri

4.22. Atıksu Arıtma Çamurlarının Kömürlü Santrallerde Kömürle Birlikte Yakılması

Kömür santrallerinde ek yakıt olarak kullanılabilen arıtma çamurlarının içeriğinde bulunan kirletici maddelerde bu uygulama ile stabilize edilerek giderilmiş olmaktadır. Yanma işlemi sonucunda emisyon açığa çıkmaktadır. Arıtma çamurlarından kaynaklanan ağır metal molekülleri ayrışmadan sonra elektro filtreler yardımıyla fırın içinde absorbe edilmektedirler [57].

5. ARITMA ÇAMURLARININ BERTARAFINDA YENİ YAKLAŞIMLAR

Atıksu arıtma tesislerinin her geçen gün hızlı bir şekilde artmasından dolayı günümüzde yeterince önemsenmeyen arıtma çamuru sorununun gelecekte çok büyük sorun teşkil edeceği açıktır. Bu yüzden yapılması planlanan atıksu arıtma tesislerinde ortaya çıkacak olan yüksek miktarlardaki çamurun sorun yaratacak olması ve çamurun bertaraf edilmesinin de ekonomik bir çözüm olmaması dolayısıyla çamur minimizasyonu çamur yönetiminde önemli bir konu haline gelecektir. Düzenli depolama sahalarında kısıtlamalar bulunması, çamurun bertarafında fisibil uygulamaların olmaması vb. nedenlerle, arıtma çamurlarının yönetimi konusunda yeni yaklaşımlar gündeme gelmektedir. Mevcut yasal sınırlamalar, ekonomik olmayan yöntemler ve arıtma çamuru bertaraf yöntemlerine karşı halkın duyarsız olması aşırı çamur minimizasyonunda yeni teknolojilerin geliştirilmesini gerektirmektedir [58].

5.1. Çamur Azaltma Tekniklerinin Arıtma Tesislerine Entegrasyonu

Çamur oluşumunun yerinde azaltılması için alternatif teknolojiler 1990'lı yıllardan beri çalışılmaktadır [59]. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlere dayalı daha az çamur üretimi için bazı yaklaşımlar kullanılabilir [60]. Çamurda bakteri hücrelerinin katı olarak çözünebilmesi ve parçalanması bu yöntemlerin temel hedefidir. Çamur azaltma işlemleri aşağıdaki hedeflerle gerçekleştirilebilir:

- Çamur üretimini direkt olarak atıksu arıtma ünitelerinde azaltmak,
- Çamur işleme ünitelerinde çamur kütlesi azaltılır ve aynı anda anaerobik sindirimde biyogaz üretiminin geliştirilmesi,
- Denitrifikasyonu desteklemek için ek bir karbon kaynağı üretmek ve atıksu arıtma ünitelerinde fosfor giderimini sağlamak [61].

Çamur azaltma tekniklerinin mekanizmaları aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

- Hücre parçalanması ve kriptomatik (gizli) büyüme
- Ayırık metabolizma
- İçten büyüyen metabolizma

- Mikrobiyal predasyon [7].

Atık su işleme ünitelerinde entegrasyonun amacı, üretiminden sonra çamurun arıtılması yerine atık su arıtma ünitelerinde doğrudan çamur üretimini azaltmaktır [7].

5.1.1. Hücre parçalanması ve kriptik (gizli) büyüme

Gizli büyüme terimi hücrelerden salınan hücre içi bileşiklerin tekrar kullanılmasını gösterir. Hücre yıkımı, sonuçta hücresel bileşenlerin oluşturulmasıyla sağlanır; birkaç çamur azaltma teknolojisinin neden olduğu biyolojik bozulmayı önler. Bu durumda, çamur üretiminin genel olarak azalmasına neden olan kriptik büyüme süreci başlatılır [62].

Kriptik büyüme koşulları altında, aktif çamur sisteminde biokütle büyümesi azaltılabilir. Hücre muhteviyatı, hücre parçalanması ortama salınır. Böylece, mikrobiyal metabolizmada yeniden kullanılan substrat maddesi ek bir organik yükleme olarak üretilir. Ayrıca, karbon içeriğinin bir kısmı solunum ürünü olarak salınır ve daha sonra indirgenmiş biokütle üretilir. Substrat üzerindeki bu biokütlenin büyümesi orijinal organik substratın büyümesinden ayırt edilemez. Bu nedenle bu büyüme, şifreli büyüme olarak tanımlanabilir [62].

5.1.2. Ayrık metabolizma

Hücrenin tüm kimyasal süreçlerinin toplamı metabolizmadır. Katabolizma ve anabolizma olarak ayrılabilir. Anabolizma, karbon kaynaklarından hücresel bileşenlerin sentezi için tüm işlemleri yaparken, Katabolizma enerjiyi elde etmek için substratların oksidasyonu veya güneş ışığının kullanılması süreçlerinde yer alır. Böylece, katabolizma, anabolizma ve hareket için gerekli olan enerjiyi ve enerji gerektiren işlemleri sağlar [62].

5.1.3. İçten büyüyen metabolizma

Bakteriler, bakım gereksinimleri ve dış substrat mevcut olduğunda yeni hücresel biokütlenin sentezi için substrat biyolojik bozunumundan elde edilen enerji kullanılır. Harici substrat yok olduğunda, hücresel bileşenlerin yalnızca bir kısmı enerjiyi üretmek için karbon dioksit ve suya okside edilebilir [7].

Çamur üretimi, mikrobik predasyonun artırılmasıyla azaltılabilir. Bakteri ve diğer organizmalar için bir yaşam alanı olarak biyolojik bir atık su süreci düşünülüyor [7].

5.1.4. Mikrobiyal predasyon

Bakteri ve diğer organizmalar için yaşam alanı olarak biyolojik bir atıksu arıtma prosesini dikkate alarak, mikrobiyal predasyonun arttırılmasıyla çamur üretimi azaltılabilir [7].

5.2. Atıksu Arıtımı Sırasında Uygulanan Çamur Minimizasyonu Teknikleri

Son yıllarda birçok bildiri, aktif çamur biyolojik arıtma sisteminde fazla biokütle üretimini azaltmak için birçok araştırma yapılmıştır. Arıtma çamuru ile ilgili problemlerin çözmenin en ideal yöntemi, üretilen çamurun arıtılması yerine atık su arıtımındaki çamur üretimini azaltmaktır [7].

Ayrışma ve kriptik büyüme dayanan redüksiyon teknikleri, ek enzimler olan/olmayan enzimatik hidroliz, mekanik işlemlerdir. Termal işlemler ise, kimyasal ve termokimyasal hidroliz, ozon veya diğer güçlü oksidanlarla ile oksidasyon, elektrik tedavisi ve bunların bir kombinasyonudur. Kimyasal metabolik açıcıların ve yan akımlı anaerobik reaktörün eklenmesi sonucu metabolizmanın ayrılmasına dayanır. Genişletilmiş havalandırma süreçleri, membran bioreaktörler, granül çamur teknikleri, protozoa ve metazoanın predasyonu, daha önce belirtildiği gibi sırasıyla endojen mekanizma ve mikrobiyal predasyona dayanmaktadır [7].

5.2.1. Ozonlama

Çamurun azaltılması için atık su işleme ünitelerinde entegre ozon temelli tedavi 1990'lı yılların ortasında önerilmiştir. Günümüze kadar, hem endüstriyel hem de belediye atık su arıtma tesislerinde çamur ozonasyonu tam ölçekte başarıyla uygulanmaktadır. Çamur ozonlanması parçalanmaya, hücre ayrışmasına, organik madde çözünürlüğüne ve mineralizasyona neden olmaktadır [7].

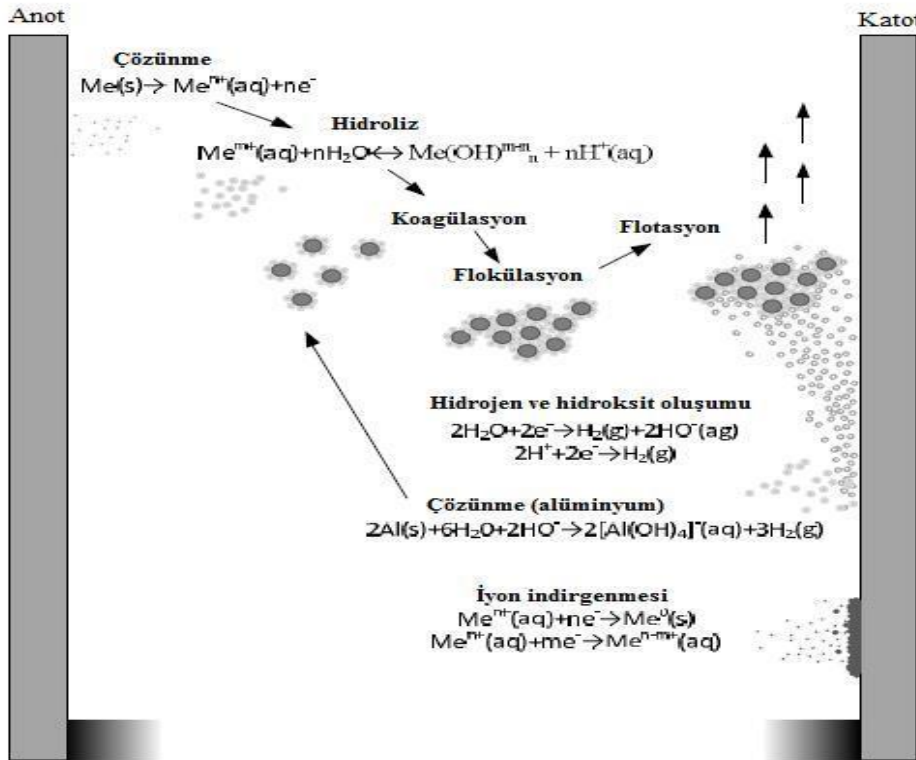
5.2.2. Membran biyolojik reaktörleri (MBR)

Membran biyolojik reaktörler, çamur tutma ve ayrılma da aktif çamur prosesi için alternatif bir proses sunar. Aktif çamur prosesi membran prosesine bağlanarak katı / sıvı ayrıştırma için çökeltme tankının yerine geçer ve klasik yöntemlerle emprese edilebilen koliform bakteriler için gelişmiş bir işlem ünitesi sunar [7].

MBR ekonomik açıdan cazip bir yöntem olarak kabul edilemez. Arz, bakım ve işletme ve kirlenmenin yüksek maliyeti, MBR uygulamasının bazı dezavantajlarıdır. Uygulamada, kirlenme, artan temizleme gereksinimleri, oksijen transfer sınırlamaları, artan çamur viskozitesi, çamur filtreleme kabiliyetinde kötüleşme ve biyolojik aktivitenin azalması gibi membranlar üzerindeki olumsuz etkilerle MBR'nin dezavantajlarıdır [7].

5.2.3. Elektrokoagülasyon prosesi ile endüstriyel atıksu arıtımı

Endüstriyel atıksu arıtma tesislerinde, elektrokimyasal proses de kullanılan elektrotun cinsi çok önemlidir. Elektrokoagülasyon yönteminde çoğunlukla alüminyum (Al^{+3}) ve demir (Fe^{+3} veya Fe^{+2}) elektrot çeşitleri ile uygulanmaktadır. Uygulama sırasında bu elektrotlar atıksuyla tepkime vererek $Al(OH)_3$ ve $Fe(OH)_3$ gibi metal hidroksit bileşikleri oluşturmaktadır. Atıksu olduğu şartlarda metal hidroksitler değişik kirlilik parametrelerini adsorbe yaparak çökmesini gerçekleştirmektedirler. Atıksuyun içindeki kirlenici yükler böylece uzaklaştırılırlar. Elektrokoagülasyon yöntemi çalışma mekanizması Şekil 5.1.'de verilmiştir. Bu yöntem günümüzde farklı sanayi alanlarında kullanımına başlanılmıştır [63].



Şekil 5.1. Elektrokoagülasyon prosesi [66]

6. GÜMÜŞHANE İLİ ATIKSU ARITMA ÇAMURLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada Gümüşhane ve Kelkit Atıksu Arıtma Tesislerinde oluşan arıtma çamurları üzerinde değerlendirme yapılarak bölgesel çözüm önerileri üzerinde çalışılmıştır.

6.1. Gümüşhane(Merkez) Atıksu Arıtma Tesisi

Gümüşhane(Merkez) Atıksu Arıtma Tesisi, evsel atıksuların biyolojik olarak arıtılması amacıyla iki kademeli olarak tasarlanmıştır. İlk kademe hedef yılı 2023, ikinci kademe ise 2043 yılıdır. Tasarım debileri ve eşdeğer nüfuslar: 1. kademe 3975 m³/gün, 36650 kişi, 2. kademe 5960 m³/gün, 51220 kişi nüfusa hitap edecektir. Arıtma prosesi, biyolojik fosfor ve azot arıtımının da yapıldığı uzun havalandırılmalı aktif çamur prosesidir. Atıksu arıtma tesisi ızgara yapısı, havalandırılmalı kum tutucu, giriş terfi istasyonu, fosfor giderimi için anaerobik havuzu, havalandırma tankları (nitrifikasyon+ denitrifikasyon), son çökeltme tankları, geri devir ve fazla çamur pompa istasyonu, çamur susuzlaştırma ünitesi, idare binası, blower binası, trafo binası, bekçi kulübesi ve diğer yardımcı yapılardan oluşmaktadır.

Gümüşhane Atıksu Arıtma Tesisinden çıkan çamurlar ilk zamanlarda tamamı geri devir çamuru olarak kullanılmıştır. Çamur üretimi sadece bir ayda ortalama 10 gün gerçekleşmektedir. Kış aylarında ise çamur oluşumu debiye bağlı olarak düşmektedir. Gümüşhane Atıksu Arıtma Tesisinde aylık ortalama 30 ton çamur oluştuğu gözlemlenmiştir. Geçici çözüm olarak arıtma çamurları düzenli depolama sahalarında kabul edilmediğinden mevzuata uygun olmayan hafriyat alanlarına dökülmektedir. Ayrıca 2. kademe inşaatı da devam etmekte olup önümüzdeki yıllarda çamur miktarının daha fazla artmasıyla çamurun nihai bertarafı büyük sorun teşkil edecektir. Önümüzdeki yıllarda çevreye zarar vermeden nihai bertaraf çözümleri üzerinde daha detaylı havza bazında çözümlerin üretilmesine ihtiyaç duyulacaktır.

Tesis 25 Kasım 2014 tarihinde devreye alınmıştır. Devreye alma süresinde çamurun tamamı geri devir olduğundan çamur çıkmamıştır. Tesisin devreye alınması sırasında MLSS miktarının ayarlanması ve biyolojik faaliyetlerin başlaması için zamanla geri devir miktarlarındaki azalma ile birlikte çekilen çamur miktarları artmaya başlamıştır. belt-preslerden çıkan çamur yaklaşık %25-30 katı madde içermektedir.

Son çökeltim havuzlarından çamur susuzlaştırma ünitesine gelen çamur, ilk olarak polielektrolit ile şartlandırıldıktan sonra susuzlaştırılması için belt-press makinesine gönderilmektedir. Çamur şartlandırma için polielektrolit, belt-presslerden memba tarafından çamur besleme borularının içine basılmaktadır. Susuzlaştırma ekipmanları bir adet polielektrolit dozlama ünitesi ve bir adet belt-press makinesinden oluşmaktadır. Resim 6.1. ve Resim 6.2.'de Gümüşhane Atıksu Arıtma Tesisi çamur susuzlaştırılmasında kullanılan ekipmanlar gösterilmiştir.



Resim 6.1. Gümüşhane AAT belt-press çamur susuzlaştırma ünitesinden görünüm



Resim 6.2. Gümüşhane AAT polielektrolit dozlama ünitesinden görünüm

Gümüşhane AAT atık çamurları için Gümüşhane Belediyesi tarafından Enerji Sistemleri ve Çevre Etüt San. Ve Tic. Ltd. Şti'ne yaptırılan eluate analizine ait sonuçlar Çizelge 6.1'de verilmiştir. Bu sonuçların Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik Ek-2 limit değerleri ile karşılaştırılması da Çizelge 6.2.'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Gümüşhane AAT arıtma çamurlarının eluate analiz sonuçları

<u>PARAMETRE (mg/l)</u>	<u>SONUÇ</u>
Arsenik	< 0,005
Baryum	0,03
Kadmiyum	< 0,0005
Krom	0,002
Bakır	0,02
Cıva	< 0,0005
Molibden	0,007
Nikel	0,006
Kurşun	< 0,005
Antimon	< 0,005
Selenyum	0,009
Çinko	0,05
Klorür	12,2
Florür	50,7
Sülfat	10,8
Çözülmüş organik karbon (ÇOK)(Ph:7,8-8,0)	529
Toplam çözünen katı madde(TÇKM)	2300
Fenoller (C6H5OH)	5,5
Toplam organik karbon(TOK mg/kg)	14,52 (% 1,45)
BTEX (Benzen, toluen, etilben)	<0,25
PCB ler(mg/kg)	0,52
Mineral yağ (mg/kg)	413,9
Yanma kaybı(%)	84,1

Çizelge 6.2. Gümüşhane AAT çamurlarının eluate analiz sonuçlarının Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik Ek-2 limit değerleri ile karşılaştırılması

Parametre (mg/l)	Arıtma çamuru	Atıkların düzenli depolanmasına dair yönetmelik Ek-2 limit değerleri				Sınıfı
		İnert atıkların depolanabilme kriterleri III. Sınıf depolama tesisleri için sınır değerler	Tehlikesiz atıkların depolanabilme kriterleri II. Sınıf depolama tesisleri için sınır değerler	Tehlikeli atıkların depolanabilme kriterleri I.sınıf depolama tesisleri için sınır değerler		
Arsenik	< 0,005	0,05	0,2	2,5	II	
Baryum	0,03	2	10	30	II	
Kadmium	< 0,0005	0,004	0,1	0,5	II	
Krom	0,002	0,05	1	7	II	
Bakır	0,02	0,2	5	10	II	
Cıva	< 0,0005	0,001	0,02	0,2	II	
Molibden	0,007	0,05	1	3	II	
Nikel	0,006	0,04	1	4	II	
Kurşun	< 0,005	0,05	1	5	II	
Antimon	< 0,005	0,006	0,07	0,5	II	
Selenyum	0,009	0,01	0,05	0,7	II	
Çinko	0,05	0,4	5	20	II	
Klorür	12,2	80	1500	2500	II	
Florür	0,7	1	15	50	I	
Sülfat	10,8	100	2000	5000	II	
Çözünmüş organik karbon (ÇOK) (Ph:7,8-8,0)	529	50	80	100	Depolanamaz	
Toplam çözünen katı madde (TÇKM)	2300	400	6000	10000	I	
Fenoller (C6H5OH)	5,5	0,1	-	-	I	
Toplam organik karbon (TOK mg/kg)	14,52 (%1,45)	3000 (%3)	5000 (%5)	6000 (%6)	-	
BTEX (Benzen, toluen, etilben) Benzen ve xylens) (mg/kg)	<0,25	6	-	-	III	
PCB ler(mg/kg)	0,52	1	-	-	III	
Mineral yağ (mg/kg)	413,9	500	-	-	III	
Yanma kaybı(%)	84,1	-	-	10000 (%10)	Depolanamaz	

Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmenlikte arıtma çamurunun düzenli depolanması geçici madde 4’de Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmeliğin Ek IV’ inde tehlikesiz atık olarak sınıflandırılan arıtma çamurlarının Ek-2’de verilen diğer tüm parametreleri sağlaması, ağırlıkça en az %50 kuru madde ihtiva etmesi, ön işleme tabi tutularak kötü kokunun giderilmesi ve atığın kararlı hale getirilmesi kaydıyla II. Sınıf düzenli depolama alanına kabulünde 01.01.2020 tarihine kadar çözünmüş organik karbon (ÇOK) limit değerine uygunluk aranmaz olarak ifade edilmektedir. Gümüşhane Atıksu Arıtma Tesisi çamurlarında Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmeliğin Ek-2 kapsamında yapılan eluate analizleri sonuçlarına göre kirletici parametrelerin büyük çoğunluğunun limit değerlerin altında olduğu görülmektedir. Ancak eluate analizi sonuçlarına göre ortalama yanma kaybı ve çözünmüş organik karbon (ÇOK) değerleri sırası ile %84,1 ve 529 mg/l olarak bulunmuştur. Ortalama değerler bazında; Yanma Kaybı ve ÇOK değerlerinin Tehlikeli Atıkların Depolanabilme Kriterleri I. Sınıf Düzenli Depolama Tesisleri için ön görülen sınır değerlerini dahi aştığı görülmektedir. Yanma Kaybı parametresinin ise sınır değeri (10%) 8 kat oranında aştığı ve dolayısıyla bu atıkların I. Sınıf düzenli depolama tesislerinde dahi depolanamayacağı görülmektedir.

6.2. Kelkit (Gümüşhane) Atıksu Arıtma Tesisi

Evsel atıksuların biyolojik olarak arıtılması amacıyla ile tasarlanmıştır. İlk kademe hedef yılı 2028, ikinci kademe ise 2048 yılıdır. Tasarım debi ve eşdeğer nüfuslar: 1. kademe 4732.8 m³/gün ve 23100 kişi, 2. kademe 7190.4 m³/gün ve 38200 kişi nüfusa hitap edecektir. Arıtma prosesi, biyolojik fosfor ve azot arıtımının da yapıldığı uzun havalandırmalı aktif çamur prosesidir. Atıksu arıtma tesisi ızgara yapısı, havalandırmalı kum tutucu, giriş terfi istasyonu, fosfor giderimi için anaerobik havuzu, havalandırma tankları (nitrifikasyon+ denitrifikasyon), son çökeltme tankları, geri devir ve fazla çamur pompa istasyonu, çamur susuzlaştırma ünitesi, idare binası, blower binası, trafo binası, bekçi kulübesi ve diğer yardımcı yapılardan oluşmaktadır.

Tesisin işletmeye alınma zamanından bir yıl dolmamıştır. Devreye alma süresinde çamurun tamamı geri devir olduğundan çamur çıkmamıştır. Tesisin devreye alınması sırasında MLSS miktarının ayarlanması ve biyolojik faaliyetlerin başlaması için zamanla geri devir miktarlarındaki azalma ile birlikte çekilen çamur miktarı yeni yeni oluşmaya başlamıştır. Dekantörlerden çıkan çamur yaklaşık % 25-30 katı madde içermektedir.

Son çökeltim havuzlarından çamur susuzlaştırma ünitesine gelen çamur, ilk olarak polielektrolit ile şartlandırıldıktan sonra susuzlaştırılması için dekantör makinesine gönderilmektedir. Çamur şartlandırma için polielektrolit, dekantör memba tarafından çamur besleme borularının içine basılmaktadır. Susuzlaştırma ekipmanları bir adet polielektrolit dozlama ünitesi ve bir adet dekantör makinesinden oluşmaktadır.

Resim 6.2’de Kelkit AAT çamur susuzlaştırılmasında kullanılan dekantör ve polielektrolit dozlama ünitesi gösterilmiştir.



Resim 6.3.Kelkit AAT dekantör ve polielektrolit dozlama ünitesinden görünüm

Kelkit Atıksu Arıtma Tesisinde çıkan çamurlar ilk zamanlarda tamamı geri devir çamuru olarak kullanılmıştır. Çamur üretimi ayda ortalama 10 gün gerçekleşmektedir. Kış aylarında ise çamur oluşumu debiye bağlı olarak düşmekte olup, oluşan çamurun hepsi geri devir çamuru olarak kullanılmaktadır. Kelkit AAT’de aylık ortalama 20 ton çamurun çıktığı görülmüştür. Geçici çözüm olarak arıtma çamurları düzenli depolama sahalarında kabul edilmediğinden yönetmeliklere uygun olmayan hafriyat alanlarına dökülmektedir. Gelecek yıllarda çamur miktarının da artmasıyla çamurun nihai bertarafı büyük sorun teşkil edecektir. Önümüzdeki yıllarda çevreye zarar vermeden nihai bertaraf çözümleri üzerinde daha detaylı havza bazında çözümlerin üretilmesine ihtiyaç duyulacaktır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Atıksu arıtma tesislerinde son ürün olarak ortaya çıkan arıtma çamurlarını hem çevreye en az zarar verecek şekilde hem de düşük maliyetli çevre dostu teknolojilerle uzaklaştırılması veya geri dönüşümünün yapılması gerekmektedir. Arıtma çamurlarının gerek hacminin azaltılması gerekse yeniden kullanımı ve bertarafı için çeşitli alternatif yöntemler vardır. Bu yöntemlere baktığımızda açık alanlarda depolama veya araziye uygulama, kompostlaştırma, kurutma, biyogaz elde etmek için yakma, çimento üretiminde veya kömürlü santralde birlikte yakma, gazlaştırma, ıslak oksidasyon, piroliz, hidroliz, hidrotermal oksidasyon, mikrodalga-yüksek basınç işleme yöntemleri bulunmaktadır. Arıtma çamurunun kalitesi ve yerel şartlar (iklim, bitki örtüsü, tarım faaliyetleri ve toprak yapısı gibi) çamurun bertaraf yöntemini belirlemede çok önemlidir.

Arıtma çamurları sorununun çözümünde yeni yaklaşımlardan birisi de, arıtma çamurlarının kaynağında azaltılmasıdır. Kapasitesi yüksek olan ve arıtma çamuru üretimi fazla olan tesislerde çamur minimizasyon teknikleri üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bununla birlikte, arıtma çamuru üzerinde ozonlama ile yapılan çalışmalar sonucu işletme masraflarında ciddi oranda azalma olacağı hesaplanmıştır. Diğer yandan, ozonlama yöntemi dışında söz konusu bu çamura anaerobik çürütme işlemi de uygulanabilir. Bu durumda; arıtma tesisi düşük çamur yaşında çalıştırılıp anaerobik çürütme ile desteklenirse buradan elde edilecek ısı enerjisiyle sistemde oluşacak nihai çamurun termal kurutması da sağlanabilecektir.

Gümüşhane AAT' de yapılan uygulamalarda, tesisten susuzlaştırma sonrası çıkan ve başka herhangi bir işleme tabi tutulmamış % 28-30 katı madde muhtevastaki çamur, tesis dışında geçici olarak hafriyat sahalarına dökülmektedir. Gümüşhane AAT çamuru analiz sonuçları Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği Ek-11A sınır değerleriyle karşılaştırılmıştır. Çözünmüş organik karbon parametresi dışındaki tüm parametreler sınır değerlerin altındadır. Çözünmüş organik karbonun arıtma tesisinden çıkan çamurlarda yüksek çıkması beklenen bir sonuçtur. Bu değer diğer arıtma tesisi çamurlarında da yüksek olduğu bilinmektedir. Tesiste ileri biyolojik arıtma gerçekleştirilerek atıksudaki karbon, azot ve fosfor giderilmektedir. Atıksudan uzaklaştırılan karbonun arıtma çamuruna geçtiği için çamurda bu değer yüksek çıkması normaldir.

Gümüşhane AAT çamurlarında Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmeliğin Ek-2 kapsamında yapılan eluate analizlerin genel incelemesi neticesinde çamur metalik - elementel kirlilik değerlerinin büyük çoğunluğunun sınır değerlerin altında olduğu görülmektedir. Ancak organik kirletici indikatörlerinin ise sınır değerlerini önemli ölçüde aşmakta olduğu belirlenmiştir. Ham arıtma çamuru numunelerinde ölçülen ortalama Yanma Kaybı ve Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK) değerleri sırası ile %84,1 ve 529 mg/l olarak ölçülmüştür. Ortalama değerler bazında; Yanma Kaybı ve ÇOK değerlerinin Tehlikeli Atıkların Depolanabilme Kriterleri I. Sınıf Düzenli Depolama Tesisleri için ön görülen sınır değerleri aştığı görülmektedir. Yanma Kaybı parametresinin ise sınır değeri (10%) 8 kat oranında aştığı ve dolayısıyla bu atıkların I. Sınıf düzenli depolama tesislerinde dahi depolanamayacağı görülmektedir. Bu sonuçlara göre bertaraf yöntemlerinden biri olan çamurların yakılması hem ilk yatırım maliyeti hem de işletme maliyeti yüksek olmakla birlikte çözüm olarak önerilir. Ancak bu yöntemin uygulanması için oluşan çamur miktarının çok fazla olması gerekmektedir. Çünkü yapılan yatırımın maliyeti diğer sistemlerle kıyaslandığında oldukça fazladır. Gümüşhane AAT'nin kapasitesi yeterli olmadığından yakma yöntemi uygun olmamaktadır.

Arıtma çamurlarının bertarafında ve geri kazanılmasında gazlaştırma, fermantasyon ve piroliz yöntemleri çevre dostu teknolojilerdir. Arıtma çamurlarının çevreye olan zararlarını azaltarak enerji üretimine de katkı yaptıklarından dolayı üzerinde çalışmalar yapılan akılcı ve yararlı yöntemlerdir [50]. Bu yöntemler maliyetli yatırımlar olduğundan dolayı büyük ölçekli tesislerde daha uygun olacağı düşünülmektedir.

Resim 4.1'de de gösterildiği üzere bölgede bulunan arıtma tesislerinin çimento fabrikasına mesafeleri verilmiştir. Bölgede bulunan arıtma tesislerinin İşletme Müdürleri ile yapılan görüşmeler neticesinde arıtma çamurunun bertarafı için başka bir alternatif olan çimento fabrikasında beraber yakılması planlanmış il sınırları içerisindeki bir çimento tesisi ile görüşülmüş ancak mevcut durumda yeterli miktarda arıtma çamurunun üretilmemesi ve çamurun taşıma problemi söz konusu olmasından dolayı bu bertaraf yöntemi üzerinde araştırmalar halen devam etmektedir.

Gelecekte çamur üretimindeki artışı göz önüne alarak, Türkiye’de özellikle atıksu arıtma tesisi proje ve inşaat yapım aşamasında ulusal düzeyde önemli sorumluluğu olan İlbank A.Ş’nin öncülüğünde ulusal çevre politikaları ile uyumlu Çamur Yönetim Politikaları geliştirilmeli, uygulamaya geçirilmeli ve bu politikalar ulusal düzeyde geliştirilecek olan atık yönetim politikaları içinde yer alacak şekilde düzenlenmelidir.

Atıksu arıtma tesisleri konusunda nüfusu az olan Belediyelerin yeterli bilgi ve birikimi olmamasından dolayı 1933’ten bu yana altyapı çalışmalarında öncü kurum olan ve halen bu görevini en iyi şekilde yerine getiren İlbank A.Ş’nin atıksu arıtma tesislerinin proje ve inşaat sürecinde fizibilite çakışmaları yapılarak havza bazında çamur yönetim sistemi geliştirilmesi ve çamur yönetim politikalarına uygun olarak atıksu arıtma tesisi prosesinin seçiminde dikkate alınmalıdır. Havza bazında oluşturulacak bu yönetim sistemi ile İlbank A.Ş olarak daha köklü çevreci çözümler üreterek ülkemiz ve çevre adına daha faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Sanin, D., (2007). Atıksu çamurlarının arıtımı ve uzaklaştırılması, *Çevre ve Orman Bakanlığı*. Ankara
2. ÖZTÜRK İ., ÇALLI B., ARIKAN O., ALTINBAŞ M., (2015) *Atıksu Arıtma Çamurlarının İşlenmesi ve Bertarafı (El Kitabı)*, Ankara.
3. Milli Eğitim Bakanlığı, (2011), *Aile ve Tüketici Hizmetleri Arıtma Çamurları*. Ankara.
4. Filibeli, A. (2005). *Arıtma çamurlarının işlenmesi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir.
5. Öztürk, İ., (2007). Anaerobik arıtma ve uygulamaları, *Su Vakfı Yayınları*, İstanbul.
6. İnternet: Öztürk, İ., Timur, H. ve Koşkan, U. . Atıksu Arıtımının Esasları, Evsel, Endüstriyel Atıksu Arıtımı ve Arıtma Çamurlarının Kontrolü. URL: http://www.hasanege.com/download/hasanege_atiksuaritimiesaslari.pdf, Son Erişim Tarihi: 12.03.2017.
7. Özlem D., (2012). *Minimization of Sludge Production*, (Doctoral dissertation, Dokuz Eylül University İzmir, 2012).
8. Öztürk, İ. (2007). *Anaerobik arıtma ve uygulamaları*. Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
9. Tezcan, E. (2007). *Adapazarı Karaman atıksu arıtma tesisi çamurlarının giderimi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
10. Spinoso, L., and Vesilind, P.A., (2001). *Sludge into Biosolids Processing, Disposal and Utilization*, London: IWA Publishing, 394p.
11. Karımov, E., (2015). *Kentsel Atıksu Arıtma Çamurlarının Yönetimi*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Estirüsü, İzmir.
12. Metcalf and Eddy., (2003). *Wastewater Engineering: Treatment, and Reuce*, New York: The McGraw-Hill Companies Inc., 1819p.
13. Vesilind, P.A., (1979). *Treatment and disposal of wastewater sludges*, Ann Arbor: Ann Arbor Sciences Publishers, Inc., 323p.
14. Spinoso, L., and Vesilind, P.A., (2001). *Sludge into Biosolids Processing, Disposal and Utilization*, London: IWA Publishing, 255p.
15. Filibeli, A., (2013), Arıtma Çamurlarının İşlenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları*, İzmir, 289s.
16. Randall, C.W., King, P.H. and Richards, J.B., (1975). Temperature Effects on Aerobic Digestion Kinetics, *Journal of the Environmental Engineering Division*, Vol. 101, No. 5, 795-811p.

17. Metcalf & Eddy, (1991). *Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse*, McGraw-Hill International Editions.
18. Öztürk, İ., Çallı, B., Arıkan, O., ve Altınbaş M., (2015). *Atıksu Arıtma Çamurlarının İşlenmesi ve Bertarafı (El Kitabı)*, Ankara.
19. Buket, E., (2013). *Kayseri İli Atık Çamuru Yönetim Alternatiflerinin Geliştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri
20. Terzi, D., (2007). *Türkiye'deki Bazı Atıksu Arıtma Tesislerinden Çıkan Çamurların Bitki Besin Elementleri ve Ağır Metal İçeriklerinin Yıl İçindeki Değişimi*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 85 s.
21. Ayvaz, Z., (2000). Atıksu Arıtma Çamurlarının Değerlendirilmesi, *Ekoloji dergisi*, 3-12s.
22. Kocaeli F.O., Başkaya H.S., (2004). *Arıtma Çamurlarının Stabilizasyonunda Uçucu Kül Kullanımı*, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
23. Muhcu, A., (2012). *Arıtma Tesisi Atık Çamurlarının Anaerobik Kontakt Reaktör İle Arıtımı* Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 76 s.
24. Aydın, S., (2004). *Atıksu arıtma tesisi çamurlarının değişik amaçlarla kullanımının araştırılması*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
25. Alpaslan, N., (2004). Atıksu arıtma tesislerinin tasarım ve işletim esasları, *TMMOB Çevre Mühendisleri Odası*. İzmir.
26. Insel, G., Kendir E., and Ayol A., (26-27 May 2014). *Domestic/municipal wastewater treatment and sludge management in Turkey*, 4th European Conference on Sludge Management, İzmir.
27. Insel, H. G., Arıkan, O. A. ve Çokgör, E. U. (2013). *Evsel/Kentsel Arıtma Çamurlarının Yönetimi Projesi*; Tübitak Kamag 108G167, Ankara.
28. *Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik (03.08.2010 tarih ve 27661 sayılı Resmi Gazete)*
29. *Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Resmi Gazete) ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği İdari Usuller Tebliği (10.10.2009 tarih ve 27372 sayılı Resmi Gazete)*
30. *Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (14.03.1991 tarih ve 20814 sayılı Resmi Gazete)*
31. *Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (14.03.2005 tarih ve 25755 sayılı Resmi Gazete)*
32. *Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik (06.10.2010 tarih ve 27721 sayılı Resmi Gazete)*

33. Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik (26.03.2010 tarih ve 27533 sayılı Resmi Gazete)
34. Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği (08.01.2006 tarih ve 26047 sayılı Resmi Gazete)
35. Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik (05.07.2008 tarih ve 26927 sayılı Resmi Gazete)
36. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (20.03.2010 tarih ve 27527 sayılı Resmi Gazete)
37. Tehlikesiz ve İnert Atıkların Geri Kazanımı Tebliği (12.05.2010 tarih ve 27579 sayılı Resmi Gazete)
38. Salihoğlu, N.K. (2007). *Atıksu Arıtma Çamurlarının Susuzlaştırılması Ve Stabilizasyonunda Kapalı Kurutma Yataklarının Kullanımı*, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 152s.
39. Göçmez, S. (2006). *Menemen Ovası Topraklarında İZSU Kentsel Arıtma Çamuru Uygulamalarının Mikrobiyal Aktivite Ve Biyomas ile Bazı Fiziksel Ve Kimyasal Toprak Özellikleri Üzerine Etkisi*, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 244s.
40. Samsunlu, A. (2006). *Atık Suların Arıtılması*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 647s.
41. Öztürk, C.D. (2008). *Biyolojik arıtma atık çamurlarının aerobik ve anaerobik stabilizasyonunun değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
42. Aksu, T. (2008). *Isparta Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisinde Oluşan Çamurun Bertaraf Stratejilerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 55s.
43. İşgenç, F. ve Kınay, H.E. (23-25 Mart 2005). *Türkiye’de Arıtma Çamurları*, I. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İzmir, 519-528.
44. Yıldız, S. (2011). *Arıtma Çamurlarının topraklaştırma Yöntemi ile Yeniden Kullanımı Sivas Örneği*, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.
45. Doğan, V., (2011). *Gıda Endüstrisi Atıksu Arıtma Çamurları Kullanılarak Vanadyum ve Florür Giderimi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 139 s.
46. Toprak, H., (2011), *Atıksu Arıtma Sistemlerinin Tasarım Esasları*, (İkinci Cilt), *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları*, İzmir, 501s.
47. Özten, A.F., Hanecio, L., Er, M.K., Nilli, G., Kılıç, Y., Demir, E. (2009). *Sfır Atık Projesi Kapsamında Yeni Kompost Teknolojilerinin Uygulanması*, II. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İzmir, 282-292.

48. Çetin, S.C., Ekinci, K., Haktandır, K. (11-13 Ekim 2004). *Kompost Yapım Tekniği*, Türkiye 3. Ulusal Gübre Kongresi, Tarım-Sanayi-Çevre, Tokat, 1313-1445.
49. AKSU, T., (2008). *Isparta Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisinde Oluşan Çamurun Bertaraf Stratejilerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
50. AYVAZ, Z., (2000). Atıksu Arıtma Çamurlarının Değerlendirilmesi. *Çev-Kor Dergisi*. (Cilt 9, Sayı 35), Ege Üniversitesi, İzmir.
51. Uzun, P., Bilgili, U., (2011). *Arıtma Çamurlarının Tarımda Kullanılma Olanakları*, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
52. Özdemir, S., (2013). *Avrupa Birliğinde Arıtma Çamuru ve Standartı, Arıtma Çamuru Kontrolü*, Sakarya Üniveristesi Basım Merkezi, Sakarya.
53. Ayol, A. (2009). *Arıtma Çamurlarından Enerji Elde Edilmesi*, II. Ulusal Çamur Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İzmir, 229-234.
54. Cantürk, A., (2005). *Yüksek Kül İçerikli Atık Arıtma Çamurlarının Absorban Olarak Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 72 s.
55. Güney, Z., (2006). *Bursa'da Tehlikeli Atıkların ve Arıtma Çamurlarının Bertarafı*. Bursa.
56. Türk Çimento Müstahsiller Birliği, *Türk Çimento Sektörünün alternatif yakıt hammadde kullanım yaklaşımı*, URL: http://www.tcma.org.tr/images/file/Turk_cimento_sektorunun_alternatif_yakit_hammadde_kullanim_yaklasimi_Kasim_2014.pdf, Son Erişim Tarihi: 15.03.2017.
57. Dilek, S. (2016). *Atıksu Arıtma Atıklarının Bertarafı ve Yeniden Değerlendirilmesi İlgili Mevcut ve Yeni Teknolojik Yöntemlerin Karşılaştırılması*. Yayınlanmamış Uzmanlık Tezi, İller Bankası Anonim Şirketi Genel Müdürlüğü, Ankara
58. Yeşil, E., (2011). *Atık Çamur Dezentegrasyonu Yöntemlerinin Çamur Minimasyonu Açısından Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
59. Foladori, P., Andreottola, G.& Ziglio, G. (2010). *Sludge reduction Technologies in wastewater treatment plants*, London: *IWA Publishing*, ISBN 13: 9781843392781, UK.
60. Mahmood, T. & Elliott, A. (2006). A review of secondary sludge reduction technologies for the pulp and paper industry. *Water Research*, 40, 2093-2112.
61. Wei, Y., Houten, R., Borger, A., Eikelboom, D. & Fan, Y. (2003). Minimization of excess sludge production for biological wastewater treatment. *Water Research*, 37, 4453-4467.

62. Rittman, B.E. & McCarty, P. L. (2001). *Environmental Tehnology:Principles and Applications*. Mc-Graw-Hill International Editions. ISBN: 0-07-118184-9, Singapore.
63. Akarsu, C., Elektrokoagülasyon Prosesi ile Endüstriyel Atıksu Arıtımı, Mersin Üniversitesi, Mersin.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : AHMETOĞLU, Rasim
Doğum Tarihi ve Yeri : 17.08.1987 Çamlıhemşin / RİZE
Medeni Hali : Evli
Telefon Numarası : 0 (462) 334 60 40
Faks Numarası : 0 (462) 334 55 90
E-posta Adresi : rahmetoglu@ilbank.gov.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	KTÜ/ Fen Bilimleri Enstitüsü / İnşaat Müh.	2015-
Lisans	Anadolu Üniversitesi/ İşletme Bölümü	2014-
Lisans	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi/ İnşaat Müh.	2007-2012
Lise	Ardeşen(RİZE) Lisesi /Fen Bölümü	2003-2006

İş Deneyimi		
Yıl	Yer	Görev
Ocak 2013-Temmuz	Su Yapıları Denetim Firması-RİZE	Kontrol Mühendisi
2013-devam ediyor	İlbank A.Ş Trabzon Bölge Müdürlüğü	Teknik Uzman Yrd.

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Hobiler

Seyahat etmek, iş ve sosyal organizasyonlarda görev almak.



İL BANK
TÜRKİYE'NİN YAPICI GÜCÜ