



**ERZURUM BİYOLOJİK ATIKSU
ARITMA TESİSİ ARITMA ÇAMURU
YÖNETİMİNİN İNCELENMESİ**

Selim AYDIN

**Yüksek Lisans Tezi
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Çevre Teknolojileri Bilim Dalı
Prof. Dr. Filiz Nuran ACAR
2020
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ERZURUM BİYOLOJİK ATIKSU ARITMA TESİSİ ARITMA
ÇAMURU YÖNETİMİNİN İNCELENMESİ**

Selim AYDIN

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
Çevre Teknolojileri Bilim Dalı**

**ERZURUM
2020**

Her Hakkı Saklıdır



**T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



TEZ KABUL VE ONAY FORMU

**ERZURUM BİYOLOJİK ATIKSU ARITMA TESİSİ ARITMA ÇAMURU
YÖNETİMİNİN İNCELENMESİ**

Prof. Dr. Filiz Nuran ACAR danışmanlığında, Selim AYDIN tarafından hazırlanan bu çalışma, 17/01/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Çevre Teknolojileri Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği (3./3.)** ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Prof. Dr. Alper NUHOĞLU
Atatürk Üniversitesi

Danışman: Prof. Dr. Filiz Nuran ACAR
Atatürk Üniversitesi

Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi Sinan KUL
Bayburt Üniversitesi

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım. **30.01.2020 - 05.45**

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ERZURUM BİYOLOJİK ATIKSU ARITMA TESİSİ ARITMA ÇAMURU YÖNETİMİNİN İNCELENMESİ

Selim AYDIN

Atatürk Üniversitesi
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Çevre Teknolojileri Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Filiz Nuran ACAR

Ülkemizde son yıllarda atıksu arıtma tesislerinin sayılarında ve proses sonucu içerik olarak farklı karakterizasyonlardaki çamur miktarında önemli bir artış meydana gelmiştir. Bununla birlikte atıksu arıtımı ve çamur bertarafı ile ilgili yasal mevzuatlarda düzenleme ve iyileştirmelerle birlikte yeni kısıtlamaların getirmiştir. Bu durum, en çok atıksu arıtma tesislerinde üretilen çamurun değerlendirilmesi ve bertarafını içeren Çamur Yönetimi ve stratejilerinin oluşmasını zorunlu hale getirmiştir.

Tez çalışmasında 2017 ve 2018 verileri dikkate alınıp, 81.000 m³/gün debide atıksuyun arıtıldığı ve günde %22-25 KM içeren 30 ton/gün stabilize çamurun üretildiği Erzurum Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'nin atıksu ve çamur arıtma hatları incelenmiştir. Tesiste oluşan ön (birincil) ve son (ikincil) çamurun oluşum ve arıtma aşamaları ile içeriği belirlenmiş olup, çamurun stabilizasyonu ve biyogaz üretimine etkisi değerlendirilmiştir.

Anaerobik çürütücülerden çıkan susuzlaştırılan stabilize çamurun nihai bertarafında Erzurum ili özelinde uygulanabilecek en ekonomik ve sürdürülebilir yöntemler üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır. Tesiste üretilen stabilize çamurun en uygun ve ekonomik bertaraf yöntemlerinin toprakta (tarım alanları, meralar, yapay orman alanları, toprak iyileştirme, kireçli toprakların iyileştirilmesi, park ve yeşil alanlar gibi) kullanım ve $\geq$ %75 KM değerine kadar getirilmesinin ardından Aşkale (Erzurum) Çimento'da ek yakıt olarak kullanılabilceği değerlendirilmiştir.

2020, 190 sayfa

Anahtar Kelimeler: Atıksu, Arıtma, Arıtma Çamuru, Stabilize Çamur, Çamur Yönetimi

ABSTRACT

Master's Thesis

INVESTIGATION OF ERZURUM BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT PLANT'S SEWAGE SLUDGE MANAGEMENT

Selim AYDIN

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering
Department of Environmental Technologies

Supervisor: Prof. Dr. Filiz Nuran ACAR

In our country, there is a significant increase in the number of wastewater treatment plants and processed sludge amount for different sludge characterizations in recent years. Moreover, new regulations and improvements have been made in the legislation related to wastewater treatment and sludge disposal. The regulations has introduced new restrictions. To establish Sludge Management and strategies, including the evaluation and disposal of sludge produced in wastewater treatment plants has become a neccesity.

Taking into consideration the data of 2017 and 2018 period, waste water was treated at a flow rate of 81.000 m³/day and 30 tons/day stabilized sludge was produced per day in Erzurum Wastewater Treatment Plant. In this study, wastewater and sludge treatment lines of Erzurum Biological Wastewater Treatment Plant were examined. The content of the primary and final (secondary) sludge was identified by observing the formation and treatment stages and the effect on the sludge stabilization and biogas production was evaluated.

For the final disposal of the dewatered and stabilized sludge that obtained from anaerobic digesters, the most economical and sustainable methods that can be applied in Erzurum province were evaluated. It is proposed to use the sludge which was produced with the most suitable and economical disposal methods in the plant, in the Aşkale (Erzurum) Cement Plant (after %75 KM). Also, the sludge can be used in the soil (agricultural areas, pastures, artificial forest areas, soil improvement, calcareous soil improvement, parks and green areas).

2020, 190 pages

Keywords: Wastewater, Treatment, Sewage Sludge, Stabilized Sludge, Sludge Management

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım esnasında bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam ve danışmanım Sayın Prof. Dr. Filiz Nuran ACAR'a teşekkür ederim.

Lisans, Yüksek Lisans ve çalışma hayatımda bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemeyen Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği'nin değerli hocalarından Sayın Prof. Dr. Ergün YILDIZ'a, Sayın Prof. Dr. Alper NUHOĞLU'na, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Şahset İRDEMEZ ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Sinan KUL'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarımda ihtiyaç duyduğum tüm bilgi ve belgeleri temin etmemde ve kullanımda yardımcı olan ESKİ Genel Müdürlüğü İdaresine ve başta Genel Müdür Remzi ERTEK ve Arıtma Tesisleri Daire Başkanı M. Tayyib ÇUBUKCU olmak üzere tüm mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca, tez yazım aşamasında daima yanımda bulunan, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aile büyüğüm Sayın Prof. Dr. Hasan GÜRBÜZ'e, sevgili eşim Hatice AYDIN'a, değerli oğlum Ahmet Furkan ve biricik kızlarım Fatma Zehra ve Ahsen hanımefendilere en içten teşekkürlerimi sunarım.

Selim AYDIN

Ocak, 2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xx
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	6
2.1. Atıksular	6
2.1.1. Atıksuların üretildiği kaynaklar.....	6
2.1.1.a. Evsel nitelikli atıksular	10
2.1.1.b. Endüstriyel nitelikli atıksular	11
2.1.1.c. Yeraltı sızıntı suları	11
2.1.1.d. Düzenli deponi sahaları sızıntı suları	12
2.1.2. Atıksuların arıtılmasında uygulanan işlemler.....	12
2.1.2.a. Fiziksel arıtma işlemleri	13
2.1.2.b. Biyolojik arıtma işlemleri.....	16
2.1.2.c. Kimyasal arıtma işlemleri.....	17
2.1.2.d. İleri arıtma işlemleri	17
2.2. Arıtma Çamurları	20
2.2.1. Tanımı	20
2.2.2. Arıtma çamurlarının kaynakları	20
2.2.3. Arıtma çamurlarının özellikleri	21
2.2.4. Çamur işleme metodları ve arıtmada uygulanan adımlar.....	22
2.2.4.a. Arıtma çamurlarının minimizasyon ve dezentegrasyonu	27
2.2.4.b. Çamurun yoğunlaştırılması ve susuzlaştırılması	31
2.2.4.c. Çamur yönetiminde stabilizasyon ve bertaraf işlemleri	38
2.3. Ülkemizdeki Mevcut AAT'lerin Durumu	49
2.3.1. Ülkemizdeki AAT'lerden çıkan çamur miktarı.....	52

2.4. Ülkemizde Arıtma Çamurlarını İşleme ve Bertaraf Yöntemleri	53
2.6. Çamur Yönetimine İlişkin Çalıştay ve Proje Bildirileri	54
2.7. Bazı Dünya Ülkeleri ve AB’de Çamur Yönetimi	55
2.8. Ülkemizde Çamur Arıtımı ve Bertarafına İlişkin Yasal Çerçeve.....	64
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	65
3.1. Materyal.....	65
3.1.1. ERBASAT’ın tanıtımı	65
3.1.1.a. Genel bilgilendirme	65
3.1.1.b. Proje finansmanı.....	66
3.1.1.c. Proje dizayn parametreleri.....	66
3.1.1.d. Tesisin ana hatlarının işleyiş özeti.....	71
3.1.1.e. Tesis prosesinin işleyiş ve tanımları	73
3.1.1.f. Ara terfi, geri devir ve fazla çamur pompa istasyonu	83
3.1.2. Biyolojik arıtma.....	84
3.1.2.a. Biyolojik havalandırma havuzları dağıtım yapısı.....	85
3.1.2.b. Biyolojik havalandırma havuzları	85
3.1.2.c. Son çökeltme havuzları dağıtım yapısı.....	87
3.1.2.d. Son çökeltme havuzu.....	87
3.1.2.e. Blower binası	89
3.1.3. Çamur işleme ve çürütme hattı.....	90
3.1.3.a. Birincil (ön) çamur yoğunlaştırma	91
3.1.3.b. İkincil (son) çamur yoğunlaştırma	92
3.1.3.c. Anaerobik çamur çürütme (AÇÇ) tankı (digester)	93
3.1.3.d. Isı ve enerji temini (kojenerasyon ünitesi)	94
3.1.3.e. Isı (boiler) kazanları ve ısı eşanjörleri	95
3.1.3.f. Biyolojik kükürt giderim veya biyolojik desülfürizasyon (BD)	97
3.1.3.g. Gaz balonları (GB)	99
3.1.3.h. Atık gaz yakma bacası (Gas flare)	100
3.1.3.ı. Çürütülmüş çamur depolama tankı (ÇÇDT)	101
3.1.4. Çamur susuzlaştırma (ÇS).....	101
3.1.5. Koku giderim üniteleri (biyofiltre).....	104
3.1.6. Arıtılmış su geri kazanım sistemi.....	105

3.1.7. Sürekli atıksu izleme sistemi (SAİS).....	106
3.1.8. ERBASAT'ta yapılan atıksu ve çamur analiz ve yöntemleri.....	107
3.2. Yöntem	109
3.2.1. Arıtma tesisinde yapılan analiz yöntemleri	110
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	111
4.1. ERBASAT'ın Giriş ve Çıkış Atıksu Karakteristiğinin İncelenmesi	111
4.2. Tesisten Atılan Katı Atık ve Üretilen Çamur Miktarlarının Değerlendirilmesi	119
4.3. Tesiste Üretilen Çamur Miktarının Değerlendirilmesi.....	122
4.4. Ham ve Stabilize Çamurun Organik ve İnorganik İçeriğinin Değerlendirilmesi	123
4.5. Çamurun Çürütülmesinden Elde Edilen Biyogaz Miktarı ve Enerji Üretimi ...	131
4.6. Çamurun Nihai Bertarafı ve Nihai Bertaraf Alternatiflerinin Değerlendirilmesi	133
4.6.1. Çamurun kurutulması ve çimento fabrikalarında ek yakıt olarak kullanımı..	137
4.6.1.a. Mekanik (ısı) kurutma	138
4.6.1.b. Solar kurutma	140
4.6.2. Çamurun toprakta kullanımı.....	142
4.6.3. Çamurun kompost haline getirilmesi	156
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	159
KAYNAKÇA	165
EKLER.....	172
EK 1.....	172
EK 2.....	174
EK 3.....	185
EK 4.....	189
ÖZGEÇMİŞ	191

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

%	yüzde
μ s	mikrosimens (iletkenlik değeri)
°C	santigrad derece
C	Karbon
C/N	Karbon'un Azot'a oranı
Ca	Kalsiyum
Ca(OH)	Sönmüş Kireç
CaCO ₃	Kalsiyum Karbonat
Cd	Kadmiyum
CH ₄	Metan
CO ₂	Karbondioksit
Cu	Bakır
Cr	Krom
g	gram
gr BOİ/gün	Günlük üretilen BOİ'nin gr cinsinden ifadesi
ha	hektar
H ₂ O	Su
Hg	Civa
K	Potasyum
kg	kilogram
kg/gün	1 günde çıkan ürünün kilogram cinsinden değeri
kW	kilowatt
L	litre
m	metre
m ²	metrekare
m ³	metreküp
m ³ /ay	1 ayda geçen debi miktarı

$m^3/gün$	1 günde geçen debi miktarı
m^3/sa	1 saatte geçen debi miktarı
$m^3/yıl$	1 yılda geçen debi miktarı
mbar	milibar
Mg	Magnezyum
mg	miligram
mL	mililitre
mm	milimetre
mV	Milivolt
MWsa	Megawatt saat
N	Azot
NH ₃	Amonyak
NH ₄	Amonyum
NH ₄ -N	Amonyum Azotu
Ni	Nikel
Nm ³ /sa	Normal m ³ /saat (hava debisi)
NO ₃ -N	Nitrat Azotu
Org. N	Organik Azot
P	Fosfor
P ₂ O ₅	Fosfor Penta Oksit
Pb	Kurşun
pH	1 lt sudaki hidrojen iyonlarının matematiksel değeri
PO ₄ -P	Fosfat Fosforu
ppm	Milyonda bir parçacık
SO ₄	Sülfat
TN	Toplam Azot
TP	Toplam Fosfor
Zn	Çinko
θc	Çamur yaşı, zaman

Kısaltmalar

% KM	Kuru Madde Yüzdesi
AAT	Atıksu Arıtma Tesisi
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ABYD	Avrupa Birliği Yatırımları Dairesi
AÇÇ	Anaerobik Çamur Çürütücü
AİBAAT	Ataköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi
AKM	Askıda Katı Madde
ASAT	Atıksu Arıtma Tesisi
ATV-131-E	Tek Aşamalı Aktif Çamur Tesislerinin Boyutlandırılması (Alman Standartı)
BD	Biyolojik Desülfürizasyon
BNR	Biyolojik Nutrient Giderim prosesi
BOİ	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
BUSKİ	Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi
CAPEX	Kurulum Masrafları
CHP	Merkezi Isıtma ve Elektrik Üretim Sistemi
ÇÇDT	Çürütülmüş Çamur Depolama Tankı
ÇO	Çözünmüş Oksijen
ÇOB	T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı
ÇOK	Çözünmüş Organik Karbon
ÇS	Çamur Susuzlaştırma
ÇŞB	T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
ÇY	Çamur Yönetimi
ÇYGM	Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü
ÇYS	Çamur Yönetim Stratejisi
DAF	Çözünmüş Hava Flotasyonu
dBa	Desibel (Gürültü ölçüm birimi)
DO	Çözünmüş Oksijen

EEC	Avrupa Ekonomik Topluluğu
EN	Eşdeğer Nüfus
ERBASAT	Erzurum Biyolojik Atıksu Arıtma Tesis
ESKİ	Erzurum Su ve Kanalizasyon İdaresi
EU	Avrupa Birliği
F	Gıda
GB	Gaz Balonları
GES	Güneş Enerji Sistemi
H ₂ S	Hidrojen Sülfür Gazı
HRT	Hidrolik Kalış Süresi
IPA	Katılım Öncesi Mali Yardım Aracı
İSKİ	İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
İSU	Kocaeli Su ve Kanalizasyon İdaresi
İZSU	İzmir Su ve Kanalizasyon İdaresi
KAAD	Kentsel Atıksu Arıtım Direktifi
KAAT	Kentsel Atıksu Arıtma Tesis
KAAY	Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği
KM	Katı Madde
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MLSS	Karışık sıvıda katı madde
MLVSS	Karışık sıvıda uçucu katı madde
OM	Organik Madde
OPEX	Operating Expenses (işletme masrafları)
ORP	Oksidasyon İndirgenme Potansiyeli
Ort.	Ortalama
PUB	Proje Uygulama Birimi
RO	Ters Ozmoz
SAİS	Sürekli Atıksu İzleme Sistemi
SCADA	Merkezi Kontrol ve Veri Toplama Sistemi
SKKY	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
SRT	Çamur Kalış Süresi
SUKİ	Su ve Kanalizasyon İdareleri

SVI	Çamur Havim İndeksi
TOK	Toplam Organik Karbon
TR	Türkiye
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UAKM	Uçucu Askıda Katı Madde
UKM	Uçucu Katı Madde
UV	Ultraviyole (dezenfeksiyon ünitesi)
VFA	Uçucu Yağ Asidi
VOC	Uçucu Organik Bileşikler
WWTP	Wastewater Treatment Plant (Atıksu Arıtma Tesisi)
YAS	Yer Altı Suları
ZSF	Zehirlilik Seyrelme Faktörü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kepçe tipi ızgara, mekanik kaba ve ince ızgaralarda tutulan atıklar	16
Şekil 2.2. Kum ve yağ tutucu ünite ve atıkları.....	16
Şekil 2.3. Çamur arıtma seçeneklerinin şematik gösterimi	26
Şekil 2.4. Graviteli çamur yoğunlaştırıcı	32
Şekil 2.5. Filtre preslerin çalışma şekli.....	33
Şekil 2.6. Graviteli belt yoğunlaştırıcı işletim akım şeması	33
Şekil 2.7. Santrifüj dekantör ve çalışma prensibini gösterir şematik gösterimler	35
Şekil 2.8. Vidalı pres yoğunlaştırıcı.....	37
Şekil 2.9. Belt filtre pres şeması	38
Şekil 2.10. AB üye ülkelerinde çamur bertaraf yöntemlerinin dağılımı.....	60
Şekil 3.1. Proje finansman oranları.....	66
Şekil 3.2. ERBASAT'ın uydu görüntüsü.....	67
Şekil 3.3. ERBASAT'ın üstten görüntüsü	68
Şekil 3.4. ERBASAT proses akım şeması gösterimi	70
Şekil 3.5. Ön arıtma akım şeması	74
Şekil 3.6. Kepçe tipi ızgarada tutulan katı atıklar	75
Şekil 3.7. Izgara ve kum atık konteynırlarını taşıma kamyonu (skip-loader).....	75
Şekil 3.8. Mekanik temizlemeli kaba ızgaralar görünümü	76
Şekil 3.9. Mekanik temizlemeli perfore tip ince ızgaraların görünümü	78
Şekil 3.10. Havalandırmalı kum ve yağ tutucu ünite ve blowerler.....	80
Şekil 3.11. Tambur elek (yüzen çamur, yağ-köpük) ve kum ayırıcı ekipmanı.....	80
Şekil 3.12. Ön çökeltme ve ara terfi merkezi akım şeması.....	82
Şekil 3.13. Ön çökeltme havuzu ve birincil çamur pompaları.....	83
Şekil 3.14. Biyolojik arıtma üniteleri akım şeması.....	84
Şekil 3.15. Biyolojik havalandırma havuzu difüzörleri	86
Şekil 3.16. Havalandırma (biyolojik proses) havuzları	87
Şekil 3.17. Son çökeltme havuzu gösterimi.....	88
Şekil 3.18. Son çökeltme havuzları.....	89
Şekil 3.19. Havalandırma blowerleri ve basınçlı havalandırma hatları	90

Şekil 3.20. Çamur arıtma hattı genel akım şeması.....	90
Şekil 3.21. Graviteli çamur yoğunlaştırıcı ve yoğun çamur pompa ve maseratörleri.....	91
Şekil 3.22. Mekanik çamur yoğunlaştırıcı (belt filtre pres) ve polimer hazırlama ünitesi	92
Şekil 3.23. AÇÇ'ye ait ve gaz ve enerji üretim hattı akım şeması	94
Şekil 3.24. AÇÇ tankları (Digester) ve şematik görünümü	94
Şekil 3.25. Biyogaz yakma motorları (kojenerasyon)	95
Şekil 3.26. Biyogaz ve doğalgaz yakma ısı kazanları (boiler).....	96
Şekil 3.27. Isı eşanjörleri (ısı değiştiriciler).....	97
Şekil 3.28. BD ünitesi	98
Şekil 3.29. Çakıl filtreler, yoğunlaşma tankı ve gaz booster pompaları.....	99
Şekil 3.30. GB (Gas Holder).....	100
Şekil 3.31. Atık gaz yakma bacası	100
Şekil 3.32. Çamur arıtma ve stabilizasyon hatları akım şeması	103
Şekil 3.33. Çamur susuzlaştırma ekipmanları (santrifüj dekantör).....	103
Şekil 3.34. Katyonik polielektrolit hazırlama ve dozlama üniteleri	104
Şekil 3.35. Çamur besleme pompaları ve sızdırmaz tip çamur taşıma kamyonları	104
Şekil 3.36. Izgara ve çamur binaları koku arıtma üniteleri (biyofiltre)	105
Şekil 3.37. Arıtılmış su geri kazanım sistemi	106
Şekil 3.38. Sürekli atıksu izleme sistemi (SAİS) görünümü	107
Şekil 4.1. ERBASAT Dizayn debileri ile işletme debisinin karşılaştırılması	115
Şekil 4.2. ERBASAT dizayn ve işletme aşamasındaki tesis giriş kirlilik parametrelerinin karşılaştırılması.....	116
Şekil 4.3. ERBASAT deşarj (arıtılmış su) kalitesi ve verimliliği.....	118
Şekil 4.4. ERBASAT katı atık ve çamur oluşum şeması.....	119
Şekil 4.5. 2017-2018 yıllarına ait ERBASAT'ta üretilen çamur miktarları	122
Şekil 4.6. ERBASAT'ta üretilen çamur miktarının dizayn aşamasındaki değerlerle karşılaştırılması	123
Şekil 4.7. Birincil çamur UAKM oranı.....	128
Şekil 4.8. İkincil çamur UAKM oranı	129
Şekil 4.9. Birincil ve ikincil çamurun UAKM değerleri.....	129
Şekil 4.10. Çürütücü çamuru UAKM oranı	130

Şekil 4.11. Dekantörden çıkan çamurun UAKM oranı.....	130
Şekil 4.12. 2016 yılında üretilen ham biyogaz içerisindeki H_2S oranı	132
Şekil 4.13. 2016 yılında çamur çürütücülerde üretilen biyogaz içerisindeki CH_4 % oranı.....	133
Şekil 4.14. Çamur, kömür, klinker ve hammadde kompozisyonu (Öztürk 2018)	139
Şekil 4.15. Türkiye'nin güneşlenme potansiyeli haritası	141
Şekil 4.17. Çamur döngüsü.....	143
Şekil 4.18. Atıksu ve çamurun hacim, kirlilik yükü ve maliyet karşılaştırılması.....	144
Şekil 4.19. Stabilize çamurun çim yetiştiriciliğinde uygulama örneklerinin 2019 yılı Kasım ayı (a,b,c) ve 2020 yılı (d,e) Ocak ayındaki son durumu.....	155
Şekil 4.20. Üretilen kompostun paketlenerek satışa sunulması.....	157
Şekil 5.1. ERBASAT çamur hattında oluşan strüvit malzeme	164

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Atıksu içeriğindeki kirlilik yükleri	9
Çizelge 2.2. Ülkelere göre kişisel kirlilik yükleme değişimleri (kg/kışı.yıl).....	9
Çizelge 2.3. Az miktarda endüstriyel atıksuyun karıştığı tipik bir belediye atıksuyu	10
Çizelge 2.4. Atıksu arıtımında kullanılan tipik fiziksel işlemler.	13
Çizelge 2.5. Çamuru susuzlaştırma kalite yüzdeleri.....	34
Çizelge 2.6. Anaerobik çürütücülerin optimum ve ekstrem işletme koşulları.....	42
Çizelge 2.7. Belediye atıksu 2012-2016 yılları arasındaki atıksu verileri	50
Çizelge 2.8. 2016 yılı arıtma çamur miktarları	52
Çizelge 2.9. Çamurun toprakta uygulanmasına ilişkin ağır metal konsantrasyonları için sınır değerler.....	56
Çizelge 2.10. Topraktaki uygulanacak çamurdaki ağır metal konsantrasyonlarının sınır değerleri.....	57
Çizelge 2.11. Toprakta uygulanacak çamurun on yıllık ortalaması esas alınarak bir yılıda tarımsal alana verilmesi istenilen müsaade edilecek ağır metal yükü sınır değerleri.....	57
Çizelge 2.12. AB’de çamur üretimi	61
Çizelge 3.1. Tesis dizaynında kabul edilen parametreler	68
Çizelge 3.2. Tesis girişi debi (kapasite) değerleri.....	69
Çizelge 3.3. Dekantör çıkış çamuru kuruluk oranı ve miktarları.....	69
Çizelge 3.4. Tesis girişi kirlilik yükleri	69
Çizelge 3.5. Tesise ait proses üniteleri.....	71
Çizelge 3.6. Kepçe tip kaba ızgara özellikleri	74
Çizelge 3.7. Mekanik temizlemeli kaba ızgara özellikleri.....	76
Çizelge 3.8. Giriş terfi pompaları özellikleri	77
Çizelge 3.9. Mekanik temizlemeli ince ızgara özellikleri.....	78
Çizelge 3.10. Havalandırılmalı kum ve yağ tutucu özellikleri.....	79
Çizelge 3.11. Ön çökeltme havuzu teknik özellikleri	81
Çizelge 3.12. Ön çökeltme havuzu dizaynında kirlilik yükleri ve çökeltme verimleri ..	82
Çizelge 3.13. Ara terfi, geri devir çamuru terfi ve fazla çamur pompa istasyonu	84

Çizelge 3.14. Proses havuzu teknik özellikleri	86
Çizelge 3.15. Son çökeltme havuzu teknik özellikleri.....	88
Çizelge 3.16. Turbo tip havalandırma bloweri teknik özellikleri	89
Çizelge 3.17. Birincil (ön) çamur yoğunlaştırıcı tankı teknik özellikleri	91
Çizelge 3.18. Çamur yoğunlaştırıcı ünitesi teknik özellikleri.....	92
Çizelge 3.19. Anaerobik çamur çürütücü (AÇÇ) teknik özellikleri	93
Çizelge 3.20. Isı kazanları teknik özellikleri	96
Çizelge 3.21. Isı eşanjörleri teknik özellikleri	97
Çizelge 3.22. BD ünitesi teknik özellikleri.....	98
Çizelge 3.23. GB teknik özellikleri.....	99
Çizelge 3.24. Atık gaz yakma bacası teknik özellikleri.....	101
Çizelge 3.25. ÇÇDT teknik özellikleri	101
Çizelge 3.26. ÇS Teknik özellikleri.....	102
Çizelge 3.27. Koku giderim ünitesi (biyofiltre) teknik özellikleri.....	105
Çizelge 3.28. Tesis işletme laboratuvarında yapılan/yapılabilen analizler.....	108
Çizelge 4.1. 2017 yılı AAT'ine giriş suyu karakteristik değerleri.....	113
Çizelge 4.2. 2018 yılı AAT'ine giriş suyu karakteristik değerleri.....	114
Çizelge 4.3. 2018 yılına ait ERBASAT'da arıtılmış su deşarj limitleri ve akredite laboratuvar analiz sonuçları.....	117
Çizelge 4.4. 2017 yılı tesiste tutulan katı ve sıvı atıklar ile üretilen çamur miktarları .	120
Çizelge 4.5. 2018 yılı tesiste tutulan katı ve sıvı atıklar ile üretilen çamur miktarları .	120
Çizelge 4.6. 2017 yılı ERBASAT'da üretilen ham ve işlenmiş çamurun analiz sonuçları	125
Çizelge 4.7. 2018 yılı ERBASAT'da üretilen ham ve işlenmiş çamurun analiz sonuçları	127
Çizelge 4.8. Tesiste üretilen biyogaz miktarı ve üretilen enerji miktarı.....	131
Çizelge 4.9. Çamurun ağır metal sonuçlarının TR-AB sınır değerleriyle karşılaştırılması	146

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun artması ile birlikte, içme ve kullanma suyuna olan ihtiyaç artarak ve çeşitlilik arz ederek devam etmektedir. Sanayileşme ve üretim sektöründe olan değişim ve artışlar, çevre kirliliği, ekolojik dengenin bozulması, iş bulma ve bazı zorunluluklardan kaynaklı bölgesel bazda kitlesel göçlerin artması ve nüfus popülasyonunun hızlı değişimi ile birlikte çeşitli çevresel sorunlar oluşmaya ve ciddi olumsuz etkiler göstermeye başlamıştır.

Türkiye, çevre sorunlarının olduğu ve yaşandığı gelişmekte olan bir ülke konumundadır. Çevre sorunlarının ana kaynağı yalnızca sanayileşme olmayıp, bunun yanında kırsal alanlardaki nüfusun şehir merkezlerine olan düzensiz göçü, çarpık ve altyapısız kentleşme ile birlikte nüfus oranında ve taşıt sayısındaki artışı beraberinde getirmiştir. Bu durum hava, su ve toprak gibi yaşamımızın ana kaynağı olan unsurlara olumsuz etki yaparak kirlenmesine ve tüketilmesine yol açmıştır.

Son yıllarda, çevre ve altyapı eksikliklerinin tamamlanmasına ilişkin politikalar geliştirilmesi, banka kredileri ve AB hibe fonlarıyla desteklenmesi gibi yatırım kaynaklarının bulunması, evsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesislerinin sayısını artırmıştır. Türkiye'nin AB'ye adaylık süreci ve ilerlemeye ilişkin çeşitli yatırım başlıklarının açılması, çevre ve altyapı alanında ilerlemeleri de beraberinde getirmiştir.

AAT'lerin inşa ve kurulumlarına 1970'li yıllarda başlanmış olup, tamamen dışarı bağımlı olması nedeniyle ülke geneline yayılarak gelişmemiş, fakat günümüzde proje ve danışmanlık, inşaat, mekanik ve elektrik-otomasyon gibi sektörlerin milli kaynaklarımızla ve yerli olarak yapılıyor olması yatırımlara ivme kazandırmıştır.

Evsel ve endüstriyel atıksuların arıtılmasıyla birlikte arıtma tesislerinin çeşitli kademelerinde çamur oluşumu gerçekleşmektedir. Özellikle endüstriyel atıksuların artması ve gün geçtikçe çoğalması ve çeşitlenmesi sonucunda oluşan çamur, çok farklı

karakteristiğe sahip olmaktadır. Bu tür farklılıkların oluşması, atıksuların arıtılmasına ilişkin yöntemlerin geliştirilmesine ve dolayısıyla ÇY'nin atıksu sektörü içerisinde ayrılmaz bir parçası haline getirilmesi gerektiği gerçeğini ortaya koymaktadır.

Arıtma çamurlarının yönetimi'ne ilişkin stratejilerin belirlenmesi, uygulanması ve sürdürülebilir hale getirilmesi son derece önemlidir. Ülkemizde yapılan ilk AAT'de arıtma çamuru ile ilgili gerek projelendirme, gerekse işletme aşamasında nihai bertaraf kısmen göz ardı edilmiştir. Tesislerden çıkan çamurların bertaraf yöntemi olarak genel itibariyle belediye çöp depolama veya çamur depolama alanlarına gönderilmesi bir çözüm olarak görülmüştür. Şehirleşmenin artmasıyla birlikte çevre ve insan sağlığının daha da önem kazanmaya başladığı ve bu tür geçici çözümlerin sürdürülebilir olmadığı ortaya çıkmıştır.

Özellikle 1980 ve sonrasında AAT yapımının ivme kazanmış olması ile birlikte projelendirme aşamasında herhangi bir plan dahiline alınmayan ve yalnızca belirli bir kuruluğa kadar getirilerek susuzlaştırılması öngörülen ve bertaraf aşamasına ilişkin yöntem ve stratejileri belirlenmemiş olan çamur, SUKİ ve yönetimlerin ilk defa karşılaştığı önemli bir sorun haline gelmiştir.

AAT'lerin kuruluyor olması ve yaygın hale getirilmesi olumlu bir gelişme olarak kabul edilse de, aslında projelerde birlikte değerlendirilmesi gereken ve arıtma sonucu oluşan biyolojik ve endüstriyel çamur ile ilgili sektör gelişmemiş olduğundan, çamurun işlenmesi ve bertarafı, değerlendirilme alternatifleri, çamur minimizasyonu, dezentegrasyonu ve ÇY gibi konular önem kazanmaya başlamıştır.

Ülkemizde AAT'lerinin yapılmaya başlandığı dönemlerde ve yakın zamana kadar çamurla ilgili yasal mevzuat ve yönetmelikler halihazırda yürürlükteki kadar kapsamlı değildi. Sanayi sayısının artması, çeşitlenmesi ve teknolojik gelişmelerle birlikte çamur miktarındaki artışlar sonucu farklı karakteristiklerde çamurun çıkması, yeniden kullanım veya bertarafı konusunda iteleyici bir güç olarak karşımıza çıkmış bulunmaktadır. AB'ye üyelik sürecinde yasalarda yapılan iyileştirme ve dönemsel

olarak açılan uyum başlıkları (çevre, enerji vb.) sayesinde belirli bir ilerleme kat edilmiştir.

Öncelikle AAT çamurları üzerindeki olumsuz düşünceler, yeni arayış ve alternatif yöntemlerin geliştirilmesi ile farklı bir boyut haline dönüşmeye başlamıştır. Çamur içeriğinin zenginleştirilerek toprak iyileştirilmesi ve besi maddesi olarak kullanılması, inşaat sektöründe yapı malzemesi olarak kullanılma olanakları, çimento fabrikalarında alternatif yakıt ve enerji kaynağı olarak kullanılması, çamurun değerlendirilemez veya atık anlayışından ziyade bir hammadde haline dönüşmesinin önünü açmıştır.

AAT'lerden çıkan ve çamur olarak tanımladığımız, ürünün ihtiva ettiği içeriği itibariye gübre ve yakıt özelliklerini taşıyabilmektedir. Çamurun karakteristiği belirlendiğinde tarımda gübre, çimento fabrikalarında alternatif yakıt, kırılaştırmış ve özelliğini yitirmiş veya faydaya dönüştürülmesi istenilen alanlarda iyileştirici ve düzenleyici, yapay orman alanlarında ve meralarda uygulama gibi geniş bir kullanma potansiyeline sahiptir.

AAT'leri özelinde, atıksuyun deşarj kriterlerine göre arıtılmasının yanı sıra, fizibilite çalışmaları, danışmanlık hizmetleri, proses dizaynı, inşaat, mekanik, elektrik-otomasyon ve işletme gibi safhalarda önemli bir aşama kat edilmesine karşın, çamurun işlenmesi, değerlendirilmesi ve bertarafı (yakma, kurutma vb.) gibi hususlarda ise milli imkanlar yetersiz kaldığından, dışa bağımlılık devam etmektedir. Bundan dolayı, yerel ve özel statüde işletilen AAT'lerinin sayıları arttıkça çamur miktarındaki artma ve çeşitliliğe bağlı olarak Atıksu ve ÇY konusu ön plana çıkmaya başlamıştır. ÇY'nde temel amaç, çamur karakteristiğinin belirlenmesi ve nihai bertarafı için uygulanabilir, işletilebilir olmak kaydıyla fizibil ve ekonomik seçeneklerin belirlenmesidir.

Arıtma prosesi sonucunda oluşan birincil (ön) ve ikincil (son) çamur, çamur işleme ünitelerinde yoğunlaştırma, çürütme ve susuzlaştırma gibi aşamalardan geçmesi sonucu nihai ürün olan biyokatı elde edilir. Bu aşamalar, tesisin ana işletme maliyetlerinden olan elektrik, personel, kimyasal, servis, yedek parça ve bakım giderlerinde önemli bir paya sahiptir. Bu maliyetler, yeni uygulama ve teknolojilere göre de değişim

gösterebilmektedir. İşletme maliyetleri de göz önünde bulundurulduğunda, ÇY ile ilgili çalışmaların yapılmasının önemi daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

Günümüzde çevresel kirlilikler ve küresel etkiler göz önünde bulundurularak her türlü strateji geliştirilmelidir. Yapılması gereken işlemler gözardı edildiğinde karşımıza daha büyük sorunlar çıkacak veya oluşan bu etkilerin değerlendirilmesi veya azaltılması yönünde herhangi bir şey yapılamayacaktır (Hospido *et al.* 2004). Bu sebeple, ÇY'nin AAT'lerinin plan ve projelendirme aşamasının bir parçası olarak kabul edilmesi gerekmektedir. Çünkü, bir projenin ÇED'i yapılırken, proje özelinde hangi birimler mevcut ise bunlar değerlendirmede bulundurulmaktadır. Aksi takdirde, atıksu arıtma tesislerinin yapılmasının ardından yeni proje ve uygulamalar için tesis alanının yetersiz kalması, elektrik ve enerji hatlarının sonradan yapılacak ünite ve ekipmanları karşılayamaması ve çevre açısından ekstra koku problemi oluşturabileceğinden, yapılacak olan ilave tesisler daha maliyetli hale gelebilecektir.

Kentsel nüfusun artması, kentleşme, sanayileşme ve arazi kullanımında olan değişiklikler, suya olan ihtiyacın artması ve su kalitesinin önemi daha da belirgin hale getirmeye başlamıştır. Atıksu yönetimi, su kaynaklarının azalmaya başlaması ve bunun stresinin yaşanmaya başladığı günümüzde, dünya üzerinde su güvenliğinin sağlanması önemli ve merkezi bir rol oynayacaktır (Buonocore *et al.* 2018). Dolayısıyla ÇY, hem çevre açısından hem de su yönetiminin bir parçası olması hasebiyle büyük bir öneme haizdir. Çünkü ÇY'nin olmadığı kabul edilirse, plansız ve gelişigüzel çamur bertarafı yer altı ve yüzeysel sular ile birlikte toprak ve havayı kirletmeye devam edecektir.

ÇY'nde; AAT'ne gelen atıksuyun kirlilik karakteristiğinin belirlenmesi ve mevsimsel debi ve sıcaklık gibi değişimlerin gözlemlenmesi, atıksu arıtma, çamur arıtma ve çamur çürütme işlemlerini kapsayacak şekilde proses ünitelerinin tanımlamalarının yapılarak, tesiste üretilen çamur kaynaklarının, miktarlarının ve içeriğinin belirlenmesi, atılan çamur miktarının ve çamur keki kuruluk oranı analiz değerlerinin tespitinin yapılarak bertaraf alternatiflerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Arıtma prosesi sonucu oluşan çamurun içerik analizi yapılarak kirlilik içeriği belirlenmeden zararlı bir atık gibi değerlendirilmesi uygun olmayacaktır. Çünkü çamurlar tarım ve sanayi sektöründe ek yakıt veya yeniden kullanılabilirliği olan bir hammadde olabilmektedir. Bu çalışmada, çamurun oluşumu, arıtım yöntemleri, stabilizasyonu ve susuzlaştırma aşamaları incelenerek, oluşan çamurun numune analizleri ve miktarları yapılarak alternatif ve sürdürülebilir bertaraf yöntemlerinin belirlenmesi üzerinde durularak, toprak ve tarımda kullanılabilirliği ve ekonomiye kazandırılmasının önünü açıcı, uygulanabilir ve maliyet açısından tercih edilebilir yöntem ve stratejilerin belirlenmesi ve bölgesel bazda ÇY'nin oluşturulması için SUKİ'lere yol gösterici bir el kitabı nev'inden çalışma olması amaç edinilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Atıksular

Atıksu; Evsel, endüstriyel, tarımsal ve diğer kullanımlar sonucunda kirletilmiş veya özellikleri kısmen veya tamamen değiştirilmiş suları,

Atıksu altyapı tesisleri; Evsel ve/veya endüstriyel atıksuların toplandığı kanalizasyon sistemi ile atıksuların arıtmaya tabi tutulduğu ve alıcı ortama verilmesinin sağlandığı sistem ve tesislerin tamamını,

Arıtma tesisi; Her türlü faaliyetin neticesinde oluşan katı, sıvı ve gaz halindeki atıkların yönetmeliklerle belirlenmiş olan standartların sağlandığı seviyeye kadar arıtıldığı tesisleri ifade eder (Anonim 1983).

Atıksuların miktar ve özellikleri kaynaklarına göre değişim göstermektedir. Atıksu kaynakları evsel ve endüstriyel nitelikli atıksular ve düzenli deponi sahaları sızıntı suları olarak değerlendirilecektir. Yer altı ve yerüstü sularından kanalizasyon sistemine giren veya sızma kaynaklı sular, herhangi bir kullanım kaynaklı oluşmadığından dolayı atıksu kaynağı olarak değerlendirilmemiştir.

2.1.1. Atıksuların üretildiği kaynaklar

Bir insan topluluğuna bağlı olarak oluşan atıksuların, kullanılan toplama sistemine bağlı olan bileşenleri aşağıdaki gibi yer alabilir:

- Evsel (sıhhi) atıksular: Konutlardan ve ticari, kurumsal ve benzeri tesislerden kaynaklanan atıksular.
- Endüstriyel atıksular: Ağırlığını endüstriyel atıkların oluşturduğu atıksular.

- Sızıntı ve ek girişler: Kanalizasyon sistemine yeraltında çeşitli yollarla giren dışsal sular ve çatı saçakları, temel birikintileri, yağış kanalları vb. yoluyla dahil olan yağış suları.
- Yağış suları: Biriken yağış ve kar erime sularından kaynaklanan sular.

Atıksu ve yağış sularının toplanmasında üç tür kanalizasyon sistemi kullanılmaktadır. Bunlar; evsel kanalizasyon sistemleri, yağış kanalizasyon sistemleri ve birleşik kanalizasyon sistemleridir. Atıksu ve yağış sularının ayrı kanalizasyon sistemleriyle toplandığı durumlarda evsel kanalizasyonlarda evsel atıksular, endüstriyel atıksular, sızıntı ve ek girişler olmak üzere üç ana atıksu türü bulunmaktadır (Metcalf and Eddy 2003).

Faaliyet ve üretimleri neticesinde atıksu oluşumuna; konutlar, ticari binalar, endüstri kuruluşları, maden ocakları, cevher yıkama ve zenginleştirme tesisleri, kentsel bölgeler, tarımsal alanlar, sanayi bölgeleri, tamirhaneler, atölyeler, hastaneler ve benzeri kurum, kuruluş ve işletmeler ve alanlar yol açar (Anonim 2004). Atıksu kanalizasyon alt yapısı veya diğer toplama sistemleri ile yağmur suyu taşıma hatlarından ayrı olarak toplanmak suretiyle tesise gelmektedir. Bazı yerleşim yerlerinde ise birleşik sistemle atıksu ve yağmur suyu aynı altyapıda toplanarak tesise iletilebilir (Öztürk vd 2016).

Evlerden kanalizasyon sistemine giren atıksular kendi aralarında evsel atıksu ve kullanım suları (gri su) olarak ayrılabilir. Gri sular; evlerde ve işyerlerinde suyun kullanıldığı mutfak, banyo veya çamaşırhane gibi yerlerden gelen atıksulardır. Kimyasal içeriğinde ise, ev kimyasalları, yemek ve yiyecek atıkları, yıkama, temizlik ve borulardan kaynaklı kirlilikler mevcuttur. Gri su içeriğinde tuvalet kaynaklı atıklar olmadığından normal atıksuya oranla daha düşük organik madde ve besin içermektedir (Eriksson *et al.* 2002).

AAT'lerden çıkan başlıca katı maddeler aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Izgaralarda tutulan malzemeler,

- Kum, yağ-köpük veya yüzen çamur,
- Ön çökeltme çamuru,
- Son çökeltme çamuru,
- Kimyasal çamur (fiziksel-kimyasal prosesler dahil ise),

Atıksu arıtmada katı malzemelerin elde edilmesi önemli aşamalardandır (Von Sperling 2007).

İnsan vücudunda aktiviteler sonucu bir atık çıkacağı kaçınılmaz bir olaydır. Bu atığında büyük bir kısmı da atıksu olarak sonuçlanmaktadır. Atıksuların miktarları ve kalitesi birçok faktöre dayanmaktadır. Bunun yanında atıklar sadece insan kaynaklı olmayıp, endüstriyel kaynaklı atıklarda bulunmaktadır. Hanelerden gelen atıksuların türü ve miktarı insanların yaşam stilleri ve hayat standartları ve çalışma hayatları gibi durumlardan da etkilenmekte olup, evlerden katı ve sıvı atık olmak üzere iki tür atık çıkmaktadır. Endüstriler için de benzer hususlar geçerlidir. Kanalizasyon sisteminin dizaynında bu hususlar dikkate alınmaktadır. Birçok gelişmiş ülkede kanalizasyon sistemleri ayrık olarak kullanılmaktadır. Yağmur suları tünellerle, kanal veya borularla taşınmaktadır. Eski şehir alt yapılarında ise kanalizasyon ve yağmur suyu aynı kanalla taşınarak AAT'lerine gelmektedir (Henze and Comeau 2008).

Şehirlerden gelen atıklar genellikle birim eşdeğer nüfus (EN) olarak ifade edilmektedir. EN, kullanılan su miktarı veya BOİ cinsinden ifade edilmektedir. Genelde bu iki değer çok değişmemekle birlikte bunlar kişi başı kirlilik yüklemesi olarak tanımlanmakta ve insanların yaşam tarzlarına ve hayat standartlarına, çalışma şart ve koşullarına, sosyo-ekonomik faktörlere göre eşitlik 2.1'de olduğu gibi gösterebilmektedirler.

$$1 \text{ EN} = 0,2 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$= 60 \text{ gr BOİ/gün} \dots\dots\dots 2.1.$$

Atıksu içeriğindeki değişik parametrelere göre kişi başına düşen kirlilik yükleri de insanların yaşam koşulları ile alakalı olarak farklı değerler alabilmektedir. Çizelge 2.1

çeşitli kirlilik parametreleri ve atıksu miktarı ile ilgili değişimleri göstermektedir (Henze and Comeau 2008).

Çizelge 2.1. Atıksu içeriğindeki kirlilik yükleri

Parametre	Birim (g/kişi.gün)	Aralık
KOİ	g/kişi.gün	25-200
BOİ	g/kişi.gün	15-80
N	g/kişi.gün	2-15
P	g/kişi.gün	1-3
Atıksu	m ³ / kişi.gün	0,05-0,40

Çizelge 2.2’de atıksu içeriklerindeki kirlilik yüklerinin ülkelerin kültürleri, gelişmişlik düzeyleri gibi durumlardan etkilendiğini göstermektedir (Henze and Comeau 2008).

Çizelge 2.2. Ükelere göre kişisel kirlilik yükleme değişimleri (kg/kişi.yıl)

Parametre	Brezilya	Mısır	Hindistan	Türkiye	ABD	Danimarka	Almanya
BOİ	20-25	0-15	10-15	10-15	30-35	20-25	20-25
AKM	20-25	15-25	-	15-25	30-35	30-35	30-35
TN	3-5	3-5	-	3-5	5-7	5-7	4-6
TP	0,5-1	0,4-0,6	-	0,4-0,6	0,8-1,2	0,8-1,2	0,7-1

Atıksu içeriği kirlilik konsantrasyonlarına göre incelendiğinde 3 farklı kirlilik seviyesinde değerlendirilebilir. Çizelge 2.3’de az miktarda endüstriyel atıksuyun karıştığı belediye atıksularında kirlilik parametrelerinin kuvvetli, orta ve düşük konsantrasyonlarına ait değerleri ifade etmektedir (Henze and Comeau 2008).

Çizelge 2.3. Az miktarda endüstriyel atıksuyun karıştığı tipik bir belediye atıksuyu

Parametre	Kuvvetli (mg/L)	Orta (mg/L)	Düşük (mg/L)
KOİ (toplam)	1.200	750	500
KOİ (çözünmüş)	480	300	200
KOİ (askıda)	720	450	300
BOİ ₅	560	350	230
VFA	80	30	10
TN	100	60	30
NH ₄ -N	75	45	20
TP	25	15	6
Ortofosfor	15	10	4
AKM	350	220	100
UAKM	480	320	200

2.1.1.a. Evsel nitelikli atıksular

Evsel nitelikli atıksular; evlerde oluşan atıksuları, endüstriyel olmayan işyerlerinden gelen evsel nitelikteki atıksuları ve kurumsal yerlerden kanalizasyona karışan atıksuları içermektedir. Küçük yerleşim yerlerindeki evsel atıksuların arıtılması amacıyla kurulmuş, merkezi olmayan AAT haricindeki çoğu büyük tesis, evsel atıksularla birlikte bir kısım ticari ve endüstriyel atıksuyu da arıtmaktadır. Genellikle, tesise sadece evsel atıksu gelmekteyse, atıksuyun karakterinde çok fazla değişken bulunmamaktadır. Yalnızca bölgeden bölgeye evsel atıksu içeriği, bölgenin sosyo-ekonomik, coğrafik ve meteorolojik özelliklerine göre değişim gösterebilmektedir. Bununla birlikte, aynı bölgede de olsa atıksuyun karakteri ve miktarı, okulların açılması ya da kapanması, tatil beldelerinde meydana gelen nüfus değişkenliği gibi sebeplerle mevsimsel veya dönemsel olarak önemli ölçüde değişebilmektedir (Öztürk vd 2016).

Evsel nitelikli ve orta kirlilikte olan bir atıksuyun içerisindeki asılı katı maddelerin %75'i ve filtre edilebilen kısmın ise %40'ı organik içeriklidir (Muslu 2002).

2.1.1.b. Endüstriyel nitelikli atıksular

İnsanların ticari ve üretim maksatlı kurmuş oldukları sanayi, fabrika, üretim ve imalat sektörünün yoğun olduğu veya birleştiği yerlerde kullanılan proses, yıkama, soğutma ve özel kullanım sularının hepsi endüstriyel kaynaklı atıksular olarak adlandırılmaktadır.

Endüstriyel atıksular, içerik açısından evsel nitelikli atık sulara göre kimyasal ve fiziksel kirlilik parametreleri daha yüksektir. Bundan dolayı doğrudan arıtılmadan doğaya salınması çok ciddi zararlara yol açabilmektedir (Köymen 2019).

Endüstriyel atıksular; endüstrilerin faaliyetlerini sürdürebilmeleri için kullandıkları ham madde, üretimle birlikte ortaya çıkan yan ürünler ile hedeflenen ve üretilmiş olan son ürünlerin içeriğindeki bileşenlerden oluşmaktadır. Endüstrilerden gelen atıksuyun karakteri ve miktarı, üretim tipi ve iş yoğunluğu ve dağılımına göre oldukça değişiklik arz etmektedir Endüstriyel atıksu karakteristiğindeki değişim evsel atıksulara göre daha fazladır (Öztürk vd 2016).

2.1.1.c. Yeraltı sızıntı suları

Yeraltı sularının yükselmesi sonucu kanalizasyon şebekesindeki kaliteye bağlı olarak bir miktar sızıntı suyu kanalizasyon hattı ve bacalardan sisteme girer. Sızıntı suları temiz olarak kabul edilmektedirler. AAT'leri dizaynından sızıntı suları da dikkate alınarak aşağıdaki bazı kriterler çerçevesinde hesaplanır;

- Hesaplanan atıksu debisinin %50 ile %100 bir oran alınarak atıksu debisine dahil edilmektedir,
- Atıksu toplama havza alanının bir hektar başına 0,1-0,2 lt/sn.ha miktarındaki sızıntı suyu atıksu debisine dahil edilmektedir,
- Kanal uzunluğuna bağlı olarak, uzunluk başına 0,8 lt/sn.km sızma debisi atıksu debisine dahil edilmektedir (Samsunlu 2006). Bu bilgilere ek olarak kanal uzunluğu ve çapına bağlı olarak tahmin yürütülebilmekte olup, borulardan sızma miktarı 0,5-5

$\text{m}^3/\text{gün.km.cm}$, muayene bacalarından girebilecek sızma miktarı ise $0,4 \text{ m}^3/\text{gün/baca}$ sayısı olarak alınabilmektedir (Eroğlu 2014).

2.1.1.d. Düzenli deponi sahaları sızıntı suları

Sızıntı suyu, depolanan katı atıkların çürümesi sonucu süzülerek bir takım kimyasal, biyolojik ve fiziksel olaylara maruz kalmak suretiyle oluşmakta ve sızıntı suları yapılan toplama hatlarıyla dışarı alınmaktadır. Katı atıkların içerisinden süzülerek oluşan sızıntı suları, katı atıkların içeriğinde bulunan çeşitli miktarda element ve bileşiği içermektedirler (Bayhan 2015). Düzenli depolama sahalarında arıtılan atıksuların kirlilik değerleri atıksu karakteristiğini bozabilecek düzeyde olduklarından dolayı, SUKİ'ler bu sahalardan çıkan sızıntı sularını almayı pek istememektedirler. Bundan dolayı, ya münferit AAT'leri inşa ederek arıtım yapılmakta ya da özel koşullar dahilinde belediyelerin belirlemiş oldukları kanalizasyon sistemlerine deşarj kriterlerinde belirlenen limit değerlere kadar arıtılarak, denetleme ve deşarj kontrol ruhsatı verilmek suretiyle kanalizasyona verilmekte ve arıtma tesislerine alınabilmektedirler.

Atık içerisinde bulunan maddelerin bir kısmı suda çabuk çözünebilme özelliğinden dolayı biyolojik ayrışma esnasında diğer maddeler de çözünebilir forma dönüşürler. Bu maddelerin sızıntı suyunda olması ve konsantrasyonları zamanla değişebilir (Bilgili 2006).

2.1.2. Atıksuların arıtılmasında uygulanan işlemler

Atıksularda fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere üç tür kirlilik çeşiti bulunmakta olup, atıksuların arıtılmasında uygulanan yöntemlerde başlıca üç grupta sıralanabilmektedir (Tan 2006). Birincisi mekanik işlemlerin kullanıldığı fiziksel arıtma, ikincisi mikroorganizmaların varlığında biyokimyasal reaksiyonların gerçekleştiği biyolojik arıtma, üçüncüsü kimyasal proseslerin uygulandığı kimyasal arıtma ve son olarak dördüncüsü biyolojik arıtma ile giderilemeyen veya yetersi kalan ve

atıksu içeriğindeki organikler, bulanıklılığı azot, fosfor, metaller ve patojenlerin giderilmesi işlemi olan ileri arıtmadır (Samsunlu 2006).

2.1.2.a. Fiziksel arıtma işlemleri

Fiziksel arıtma prosesleri, atıksu arıtımında ön arıtmadan ileri arıtma aşamalarına kadar her aşamada uygulanabilirliği söz konusudur. Bu nedenle arıtma tesislerinde proses, ekipman ve hatların işletilebilirliği açısından önemli bir yere sahiptir.

Mekanik arıtmada, atıksu içeriğinde bulunan ve proses boyunca işlemleri yavaşlatacak, engel oluşturacak ve ekipmanların donanım ve aksamalarını bozacak özellikte olan, gözle görülen büyüklükteki kirlleticilerin giderilmesi sağlanmaktadır (Samsunlu 2006). Fiziksel arıtmada en çok kullanılan birim işlemler; ızgaralama, öğütme, akım dengeleme, karıştırma, flokleştirme, çökeltme, flotasyon ve filtreleme olarak sıralanabilmekte olup, bu işlemlerin temel uygulamaları Çizelge 2.4'te özetlenmektedir (Metcalf and Eddy 2003).

Çizelge 2.4. Atıksu arıtımında kullanılan tipik fiziksel işlemler.

İşlem	Uygulama	Ekipman
Izgaralama, kaba	Kaba ve çökebilen katı maddeleri durdurarak giderme (yüzey sıyırması, elemesi)	Çubuk
Izgaralama, ince	İnce partiküllerin giderilmesi	İnce ızgara
Izgaralama, mikro	İnce malzeme, yüzen madde ve alglerin giderilmesi,	Mikroızgara
Parçalayıcı/maseratör	Kaba katı maddelerin az çok uniform boyuta gelecek şekilde öğütülmesi	Öğütücü
Akım eşitleme	BOİ'nin ve kütle kirlilik yüklerinin ve AKM'lerin eşitlenmesi, dengelenmesi	Dengeleme tankı
Karıştırma	Kimyasal maddenin ve gazların atıksulara karıştırılması ve AKM'lerin çökmemesi	Hızlı mikser
Flokleştirme	Küçük partiküllerin büyük partiküllerle birleşmeye zorlanarak yerçekimli çökeltmeyle giderilebilir hale getirilmesi	Yoğunlaştırıcı

Çizelge 2.4. (devam)

Hızlandırılmış Çökeltme	Kum giderimi Kum ve katı madde giderimi	Kum tankı Vortex ayırıcı
Çökeltme	Kendiliğinden çökebilen katıların giderimi, Katı ve biyokatıların yoğunlaştırılması	Ön çökeltme, yüksek hızlı çöktürücü Graviteli yoğunlaştırıcı
Flotasyon	Oldukça küçük parçalara ayrılmış AKM'lerin ve yoğunlukları suyunkine yakın partiküllerin giderilmesi ve aynı zamanda biyolojik çamur tabakasını kalınlaştırır Yağ ve gres giderimi,	Çözülmüş hava flotasyonu (DAF)
Havalandırma	Biyolojik prosese havanın verilmesi, Çıkış suyunun havalandırılması	Difüzörle havalandırma, Mekanik havalandırıcılar Kaskad havalandırıcı
Uçucu Organik Bileşiklerin Kontrolü (VOC)	Atıksudan uçucu ve yarı uçucu organik bileşiklerin giderimi,	Gaz sıyrıcı, Difüzör veya Mekanik havalandırma
Derin filtrasyon	AKM giderimi	Dip filtreler
Membran filtrasyon	Çözülmemiş organik ve inorganik maddeler ile askıda ve koloidal maddelerin giderimi	Ters ozmoz (RO) ve diğer Membran filtreler
Hava sıyırma	Çamur çürütücülerinin süpernatant ve atıksudan amonyum, hidrojen sülfid ve diğer gazların giderimi	Paket kule arıtmalar

Atıksulara karışan çeşitli maddeler suyun fiziki görünüş ve içeriğini bozmakta, suda istenmeyen kötü tad, koku, renk ve bulanıklık vermektedir (Eroğlu 2014). Fiziksel sistemler; iyi bir arıtmanın gerçekleşmesi için biyolojik ve kimyasal proseslerle kombine halinde kullanılmaktadırlar (Pattanshetti *et al.* 2015).

Fiziksel ön arıtma, AAT'nin en önemli ünitelerinin barındırıldığı ve atıksuya ilk müdahalenin yapıldığı aşamaları kapsamaktadır. Hasta veya yaralıya yapılan ilk müdahale ve ölçümler hastalığın belirlenmesi, teşhis ve ileriki tetkik aşamaları için ne kadar önemliyse, AAT'lerinde yapılan fiziksel müdahale, analiz ve ölçümler son derece önemlidir. Dolayısıyla fiziksel arıtmanın verimli işletilmesi, sonraki ünite ve ekipmanların verimini birebir etkileyecektir.

Atıksular kanallar ve pompa istasyonları vasıtasıyla arıtma tesislerine iletebilmektedirler. Toplama sistemleri temelde ayrı ve birleşik sistemler olarak ikiye ayrılırlar. Ayrık sistemler, atıksu ve yağmur suyu farklı kanallarla taşınırken, birleşik sistemler ise atıksu ve yağmur suyu aynı kanallarda taşınmaktadır (Topacık 2000). İzgaralara gelen atıklar, kanalizasyon sisteminin birleşik veya ayrık olmasına göre ciddi değişim gösterebilmektedirler. Yağışlı havalarda, arıtma tesislerine birleşik sistemlerle gelen atıksuların debileri artmakta ve kirletici konsantrasyonlarında azalma meydana gelmektedir (Topacık 2000). Ayrık sistemlerin getirdiği atıklar ızgara ve diğer sistemleri çok fazla zorlamazken, birleşik sistemlerde hem atıkların aşırı fazla ve çeşitli gelmesi, hem atıksuyun karakteristiğindeki salınımlar hemde yağmur suyunun drenaj ve sızıntı olarak kanallara girmesiyle debide meydana gelen pik artışlar ön arıtma ekipmanlarını ve özellikle biyolojik arıtmanın işletmesinde zorluklar meydana getirmektedir.

Kanalizasyonla gelen ve atıksu içerisinde yüzer halde bulunan iri maddeleri ayırmak için ızgaralar, diğer mekanik donanım ve aksamaların zarar görmemesi ve aşınmaması için kum tutucu (özellikle birleşik sistem ve yağmur sularında çok önemli), gelen atıksuyu ölçme ekipmanları, pompalar ve ön çökeltim havuzlarından oluşturmaktadır (Berkün 2006).

İzgara ve kum tutucu ünitelerinde meydana gelen herhangi bir işletme sorunu ve performansındaki azalma, devamındaki arıtma proseslerini direkt etkiler ve arıtma veriminin düşmesine sebep olur. Tesise gelen ham atıksuyun ileri arıtma ünitelerinde etkin bir şekilde arıtımının sağlanabilmesi için fazlaca değişik yapı ve tertibatta ön arıtma çeşitleri mevcuttur (Öztürk vd 2016).

Ön arıtma ünitelerine gelen atıksu, getirdiği kirlilik ve çabuk bozunabilirlik özellikleri fazla olduğundan koku oluşumuna neden olmaktadır. Özellikle kapalı alan haline getirilmiş (havuzların üstleri kapatılmış) ve bina içerisinde kalan ekipman ve hatlarında oluşan rahatsız edici ve bazen zehirleyici nitelikteki kokunun giderilmesi için koku arıtma üniteleri de ön arıtmanın bir parçası haline gelmiştir. Genel itibariyle uygulanan

koku arıtma üniteleri kimyasal yıkamalı kule tip koku arıtma (scrubber) ve biyofiltre olarak uygulanmaktadır. Şekil 2.1 ve Şekil 2.2 fiziksel ön arıtma proseslerini ve tutulan kaba maddeleri göstermektedir.



Şekil 2.1. Kepçe tipi ızgara, mekanik kaba ve ince ızgaralarda tutulan atıklar



Şekil 2.2. Kum ve yağ tutucu ünite ve atıkları

2.1.2.b. Biyolojik arıtma işlemleri

Biyolojik arıtmada uygulanan ana işlemler mikroorganizma faaliyetleridir. Yani; doğadaki biyolojik yaşamdan faydalanılarak geliştirilmiş olan ve organik maddelerin bertarafını ve ortamdan uzaklaştırılmasını sağlayan sistemler olup, “2. Kademe Arıtma” olarak da adlandırılmaktadır (Samsunlu 2006). Biyolojik işlemler, ÇO ortamında biyolojik olarak çözünebilen organik maddeleri ve koloidal malzemeyi inorganik ve biyolojik katılara (biyokütle) dönüştürmek için kullanılmaktadır. Burada birkaç ikincil

arıtma işlemi uygulanır. Bunlar; sabit film prosesleri (damlatmalı filtreler, döner biyolojik diskler gibi) ve askıda yaşayan (aktif çamur prosesi gibi) proseslerdir. Bu arıtma sistemlerin son aşaması olarak oluşan çamurun sistemden uzaklaştırılmasını ihtiva eder. İkincil arıtmada elde edilen çamur ile birincil arıtmadan çıkan çamur birleştirilerek tek bir arıtma sisteminde arıtılırlar (Godfree 2003). Temel amaç, atıksu içerisinde mevcut olan organik kirleticilerin ÇO ortamında mikroorganizmalar tarafından parçalanılarak son ürünlere dönüştürülmesidir. Yani; atıksu içerisinde askıda, kolloid ve çözünmüş halde bulunan organik maddelerin biyolojik proses ortamında okside olması sağlanırken, biyokütleyle dönüşerek yumak haline getirilmesi veya CO₂ gibi inorganik maddeye dönüşmesi gerçekleşmektedir (Eroğlu 2014). Biyolojik prosesler genel prensip olarak kimyasal oksidasyon ve redüksiyon (redoks) reaksiyonlarını içerir. Karbon, azot, oksijen, demir ve kükürt bileşiklerini içeren mikrobiyal metabolizma bu tür işlemlerin ana kaynağını oluşturur (Fenchel *et al.* 2012). Aktif çamur işlemlerinin performansını birçok faktör etkilemektedir. Mikroorganizmaların büyümesi ve substrat kullanımı ile ilgili parametreler, gün içinde ortalama hücre kalma süresi, çamur yaşı, (Θ_c), besin - mikroorganizma (F/M) oranı ve ÇO konsantrasyonu biyolojik arıtma proseslerinin başarısını etkileyen en önemli parametreler arasında yer almaktadır (Suehara *et al.* 2005).

2.1.2.c. Kimyasal arıtma işlemleri

Evsel atıksuların kimyasal arıtma işlemleri de ön arıtma ve ileri arıtmada kullanılan proseslerdir. Alüm, demir tuzları veya kireç kimyasallarının ilavesiyle kendiliğinden çökelemeyen maddelerin ortamdan uzaklaştırılması, ileri arıtmada fosfor gideriminin sağlanması veya çeşitli dezenfektan maddelerle patojen mikroorganizmaların bertarafı gerçekleşmektedir (Samsunlu 2006).

2.1.2.d. İleri arıtma işlemleri

İleri (üçüncül) arıtma; biyolojik arıtma ile giderilemeyen veya yetersiz kalan ve atıksu içeriğindeki organikler, bulanıklılık, azot, fosfor, metaller ve patojenlerin giderilmesi

işlemidir. Fizikokimyasal olarak adlandırılan birçok prosesi içerisinde barındırmaktadır. Bunlar; pıhtılaştırma, filtrasyon, organik maddelerin aktif karbon ile tutulması, ters ozmoz ve dezenfeksiyon işlemlerini kapsamaktadır. İleri arıtma, göl ve nehirlerin korunmasının yanında yaban hayatı da korumak için uygulanır. Yaygın olarak, atıksuyun sulama amaçlı (gıda ürünleri ve golf sahaları gibi), rekreasyon amaçlı (göl ve nehirler gibi) veya içmesuyu olarak tekrar kullanımı gerektiği hallerde kullanılırlar (Pepper 2015). Çoğu ikincil atıksu arıtma proseslerinin birçoğu suyun yeniden kullanımına dair arıtma verimliliğini ve doğal suları katı atık kirlenmesinden tatmin edici bir şekilde korunmasını sağlamaz. İyi işletilen modern biyolojik AAT'ler AKM ve BOİ'nin %90'ını giderebilmektedirler. Bu proseslerin biyolojik AAT'lerine eklenmesi de önemli miktarlarda bir ek maliyet getirmektedir (Weber *et al.* 1970).

AAT'ne gelen atıksuların kaynaklarında oluşan çeşitlilikler beraberinde kirlilik parametrelerini de değiştirmeye başlamıştır. Evlerden kanalizasyon sistemlerine sadece evsel nitelikli atıksular gelebilirken, evde kullanılan kimyasalların çoğunluğu ve hergün bir yenisinin günlük hayatımıza girmesi biyolojik AAT'lerin işini zorlaştırmaya başlamıştır. Çözünmüş organik maddeler ve yüzey aktif maddelerin varlığındaki artış, araştırma ve teknolojik geliştirme sahasını ileri arıtma yöntemlerine çevirmeye başlamıştır. Çünkü AAT'leri kuruluşundan itibaren uzun yıllar hizmet vermek amaçlı tasarlanmaktadır. Fakat buna karşın proses hesaplarının yapıldığı dönemlerdeki atıksu karakteristiklerinin zamanla değişim göstermesinden dolayı mevcut sistemlere revize prosesler veya ekipmanlar eklenerek güncellenebilmektedir. Bunun yanında, mevzuatlardaki değişimler ve arıtılmış olan atıksuyun tekrar kullanımı gibi konular işi daha popüler hale getirmektedir.

Özellikle kimyasal içerikli ve endüstriyel kaynaklı atıksularda kullanılan ileri arıtma yöntemleri, evsel atıksulardaki azot ve fosforun gideriminde önemli yer tutmaktadır (Sözen vd 2010). AB ülkelerince 1991 yılında kabul edilerek yürürlüğe giren “Kentsel Atıksuların Arıtımı Direktifi (91/271/EEC)”, Çevre ve Orman Bakanlığı'nca, ülkemiz mevzuatlarına göre uyarlanmış ve 8 Ocak 2006 tarihli ve 26047 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak Kentsel Atıksuların Arıtılması Yönetmeliği olarak yürürlüğe girmiştir.

Yönetmelik kapsamında yapılan “Hassas Bölge” tanımı dâhilindeki tüm alıcı ortamlara yapılacak atıksu deşarjlarında, konvansiyonel parametrelerin yanı sıra, azot ve fosfor (besi maddesi) parametrelerinin de giderilmesi zorunlu kılınmıştır.

Halen atıksu arıtma sektöründe kullanılan mikroorganizmalar ile ilgili yeni arıtım teknolojileri geliştirilmektedir. Standartların katılaşmasıyla birlikte, azotun atıksudan uzaklaştırılması için yeni teknik ve stratejiler uygulanmaktadır. Azot gideriminde yüksek amonyum konsantrasyonlu veya düşük C/N oranlı atıksularda yapılan teknik çalışmaların uygulanabilir ve ekonomik olduğu ortaya çıkmıştır. Nitrifikasyon prosesini; sistemdeki ÇO konsantrasyonu, mikroorganizmaların sistemde kalış süresi (SRT), pH, sıcaklık, substrat konsantrasyonu ve yüklemesi, işletme, havalandırma ve inhibitörler etkileyebilmektedir (Wiesmann 1994).

Atıksularda toksik nitelikli ve kalıcı özellikteki organik maddelerin varlığı, biyolojik proseslerin vazifelerini yapmasını zorlaştırmakta ve bu tür atıksularda BOİ'nin KOİ'den çok küçük olması arıtım için uygun değildir. Bu tür atıksuların arıtımında fizikokimyasal yöntemlerin (koagülasyon-flokülasyon, filtrasyon, aktif karbon adsorbsiyonu, hava ile sıyırma) etkili bir şekilde kullanılabilir olması rağmen, kirleticilerin bir ortamdan başka bir ortama transferi nedeniyle tam arıtma sağlanmış olmamaktadır. Bundan dolayı, özellikle de biyolojik arıtmadan önce organik yükte ve toksiditenin azaltılmasında ileri oksidasyon prosesleri kullanılmaktadır (Gürtekin ve Şekerdağ 2008). İleri oksidasyon ile ilgili çalışmalar atıksu araştırma safhasında daha ileri bir boyut olarak, güncel sayılabilecek mikrokirleticilerin tespit ve giderim yöntemlerinin belirlenmesinde de kullanılmaya başlanmıştır. Topal vd (2013) tarafından yapılan araştırmalarda, atıksu içerisinde bulunan ve mikrokirletici olarak tanımlanan antibiyotiklerin arıtımında ileri oksidasyon prosesinin performansı ile ilgili çalışmalar yapılmış ve etkili olduğu tespit edilmiştir. İlaç atıksuları, hastane çıkış suyu ile insanlar ve çiftlik hayvanlarında kullanılan ilaçların çıkan atıksularıyla birlikte sucül ortama ulaşabildiği, yapılan çalışmalarda kentsel atıksu, nehir, göl ve hatta yer altı suyuna girerek su numunelerinden tespit edildiği bildirilmiştir. Bu tür kalıntıların gübre veya atıksu çamurları ile birlikte çevreye giriş yaptığı, bu antibiyotiklerin farklı çevresel

şartlarda tekrar aktive olabildiği ve farklı formlara girdiği ve antibiyotiğe dayanıklı farklı bakteri türleri geliştiğinden dolayı, bu nedenle antibiyotik içeren atıksuların deşarj edilmeden önce tespit edilerek uygun arıtmadan geçirilmesi gerektiği bildirilmiştir.

Ülkemizde de mikrokirleticiler ve mikroplastikler üzerine üniversite ve araştırma merkezleri ciddi araştırmalar yapmakta olup, bu konuda proje ve tezler hazırlanmaktadır. Bu araştırma ve bulgular ileride atıksu ve çamur içeriğinde bulunan mikrokirleticilerin arıtılmasını zorunlu kılacak veya mevcut proseslere yeni ve teknolojik, ekipman ve üniteler eklenebilecektir. Bundan dolayı, ileri arıtmanın tesis dizayn proseslerine girmesiyle birlikte sektörel bazda da olsa evsel ve endüstriyel atıksu deşarj kalite standartlarında da bazı kirlilik parametreleri mevzuatlara eklenebilecektir.

2.2. Arıtma Çamurları

2.2.1. Tanımı

Su ve atık suların arıtılması sonucu ortaya çıkan, taşıdıkları ve içerdikleri özellikler nedeniyle ayrıca arıtılmasına ihtiyaç duyulmakta olup, arıtmaya tabi tutulmadan çevreye verilmeleri halinde ise çevrenin olumsuz etkilenebileceği katı ve sıvı karışımından oluşan maddelerdir (Sanin 2007).

2.2.2. Arıtma çamurlarının kaynakları

AAT'lerinde, uygulanan arıtma proseslerine bağlı olarak birincil çamur (ön çökeltme çamuru), biyolojik çamur (ikincil çamur) ve kimyasal çamur olmak üzere genel olarak üç farklı kategoride arıtma çamuru meydana gelmektedir. AAT'lerden kaynaklanan çamur, genel itibarıyla sıvı veya yarı katı formlarda olup, tabi tutulduğu arıtma işlemine göre değişim göstermekte ve ağırlıkça %0,25-12 oranında katı madde (KM) ihtiva etmektedir (Filibeli 2002). Evsel AAT çamurları birincil (ön) çamur ve aktif çamur prosesi sonucu çıkan çamurlar olmak üzere genel olarak iki şekilde karakterize edilmektedirler (Vesilind *et al.* 1988). Ön çökeltim havuzlarında kendi ağırlıklarıyla

çökelen çamur, organik ve inorganik KM'leri ihtiva etmektedir. Ortalama %1-2 KM içermekte, su içeriği yüksek ve kokulu çamurlardır (Filibeli 1997). Özetle kimyasal çamur, endüstriyel atıksu arıtma faaliyetleri sonucu, birincil ve biyolojik çamur ise genellikle evsel atıksu arıtma faaliyetleri sonucunda oluşmaktadır.

Genel olarak çamur 3 ana kategoriden kaynaklanmaktadır. Bunlar;

- Temiz su arıtma tesislerinden gelen arıtma çamurları,
- Evsel AAT'lerden gelen birincil ve ikincil çamurlar,
- Endüstriyel AAT'lerde üretilen arıtma çamurlarıdır.

Arıtma tipine ve amacına göre arıtma çamurlarının cinsleri farklılık göstermektedir. Bunlar;

- Çökebilien maddelerin oluşan ön çökeltim çamurları,
- Kimyasal arıtma ve koagülasyonla elde edilen kimyasal çamurlar,
- Biyolojik arıtma proseslerinin sonucu oluşan biyolojik çamur,
- İleri arıtma çamurlarıdır (Yıldız vd 2009).

2.2.3. Arıtma çamurlarının özellikleri

Atıksuyun içeriğine bağlı olarak çamur karakteristikleri değişim gösterebilmektedirler. Örneğin;

- Renkli olabilirler,
- Kimyasal toksik maddeleri içeriyor olabilirler,
- Patojen mikroorganizmaları içerebilirler,
- Susuzlaştırılma işlemleri zor ve pahalı olabilir,

Bu özellikler çamurun işlenmesi ve bertarafında çeşitli problemleri ortaya çıkarabilmektedir (Vesilind *et al.* 1988).

ÇY’nde en önemli adımlardan birisi de, tesisten çıkan çamur miktarının, fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin belirlenmesidir. Çamurun miktar ve özelliklerinin tespiti çamurun işlenmesinde ve nihai bertarafında uygulanacak proseslerin seçimi için son derece önemlidir. Bu nedenle fiziksel özellikler; çamurun özgül ağırlığı, hacim - kütle ilişkisi, çamurdaki KM içeriği, çamurun çökelme özellikleri, çamur hacim indeksi (SVI), partikül boyutu, çamurdaki suyun dağılımı, çamurun reolojisi ve Atterberg limitleri olarak tanımlanır. Kimyasal özellikler bağlamında ise, çamurun gübre değeri, ısı değeri, besin değeri, ağır metal içeriği ve elektriksel yükleri dikkate alınmaktadır. Biyolojik özellikler ise, mikroorganizmaların sınıflandırılması ve patojenlerin varlığı olarak iki temel özellik olarak belirlenmektedir (Filibeli 1998). Kentsel atıksu arıtma çamuru içerisindeki organik madde konsantrasyonları %45-90 arasında değişim göstermektedir. C, H, O, N ve S gibi maddelerin çoğunluğu bakteri bünyesini oluşturmaktadır (Wiechmann *et al.* 2013).

2.2.4. Çamur işleme metodları ve arıtmada uygulanan adımlar

AAT’lerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik prosesleri sonucu elde edilen çamur, yan ürün olmakla birlikte ya tamamen atık ya da hammadde niteliğinde olabilmektedir. İçerdiği organik ve inorganik maddeler, zararlı ve patojen maddeler, kimyasallar ve yüzey aktif maddelerle birlikte, besin kaynağı olarak değerlendirilen yararlı nutrientlerden oluşmuştur. Zararlı ve faydalı içeriği aynı anda barındırmasından dolayı, yeniden kullanım veya tamamen bertarafı için iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Analiz yöntem ve metotlarından önce bir dizi arıtma işlemlerinden geçirilmesi de gerekmektedir. Çamur arıtma ve işlenmesinde uygulanan teknik ve prosesler geliştirilmiş ve yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Çamurun arıtılması ve işlenmesi, fiziksel olduğu kadar biyolojik prosesleri de içermektedir. Bu proseslerin en önemlilerinden biri de kaynağında azaltmadır.

Günümüzde prosesler üzerinde yapılan revizyon ve yeni teknolojiler sayesinde çamurun kaynağında azaltılması için teknolojik içeriği yoğun ve ilk yatırım maliyetleri yüksek tesisler inşa edilmeye başlanmıştır. Bu durumun avantajları ise, inşaat maliyetlerin düşmesi, alan gereksiniminin ve personel ihtiyacının azalması, şehir merkezleri ve tatil/turistik beldelerde kullanılabilmesi olarak sıralanabilir ve çoğaltılabilmektedir.

AAT'lerin birincil (ön) ve ikincil (son) arıtma prosesleri sonucunda çıkan arıtma çamurlarının işlenmesi, arıtılması ve bertarafının veya yeniden kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi yasal ve işletmesel bir zorunluluktur.

Çamurun proste azaltılmasının ardından, çamurun yoğunlaştırılması ve hacminin azaltılması işlemleri uygulanmaktadır. Çünkü çamurun hacminin azaltılması, taşıma ve iletim (pompalama) maliyetlerinin yanı sıra, tesis kurulum maliyetlerini de etkileyen faktörlerden olup, proses tanklarının hacimleri, iletim hatlarının çapları ve pompaların sayı ve kapasiteleri gibi maliyeti etkileyen durumlar ortaya çıkarmaktadır. Çamurun yoğunlaştırılmasında bazı ekipman ve prosesler uygulanmaktadır. Graviteli yoğunlaştırıcılar, mekanik belt yoğunlaştırıcılar, filtre presler, hava kabarcıklı yoğunlaştırıcılar ve santrifüj dekantörler bunlardan bazılarıdır.

Çamurun yoğunlaştırılmasının ardından genel itibariyle aerobik veya anaerobik ortamda çürütme ve stabilizasyon işlemleri uygulanır. Çürütme işleminde organik maddeler ayrışarak daha kararlı hale gelmekle birlikte, patojenik bakterilerin de bir kısmı azaltılmış olmaktadır.

Çamurun anaerobik ortamda çürütülmesinde en önemli faktörlerden birisi, anaerobik bakterilerin varlığı ve sıcaklıktır. Çamuru oluşturan maddeler (proteinler, yağlar vb.) parçalanır ve daha küçük moleküllere ayrılarak CO₂ ve CH₄ oluşumu gerçekleşir.

AAT'lerde işletme maliyetinin yarısına yakın gibi büyük bir bölümünü çamurun arıtımı ve bertarafı ile ilgili işlemler oluşturmaktadır (Egemen vd 2001). AAT'lerin işletme maliyetinin büyük bir bölümünü çamurun arıtımı ve bertarafı ile ilgili işlemler

oluşturduğundan, çamurun kaynağında minimizasyonuna gidilmesi, bertaraf yöntemleri ve en uygun taşıma seçeneklerinin tercih edilmesi önemlidir. Çamur arıtma sonrası arazide depolanması tercih edilecekse stabilize edilmesi büyük önem taşımaktadır (Filibeli ve Erden 2010). Stabilizasyon yöntemlerinde en eski yöntemlerden biri olan anaerobik çürütme kullanılabilmektedir. Anaerobik çürütme, ortamda moleküler oksijenin olması bir ortamda, organik ve inorganik maddelerin parçalanmasıyla gerçekleşmektedir. Bu proses; hidroliz, fermentasyon ve metanlaşma adımlarından oluşmaktadır. Bu proste organik maddelerin biyolojik olarak parçalanmasıyla CO₂ ve CH₄'e dönüşmektedir (Filibeli ve Erden 2010).

Çamur yoğunlaştırma ve çürütme işlemlerinden sonra susuzlaştırıcılara gönderilir. Susuzlaştırma işlemi sonunda her ne kadar belirli oranda KM elde edilmiş olsa da, elde edilen KM'nin %70-75 oranını su oluşturmaktadır. Küçük arıtma tesislerinde çamur kurutma yatakları çözüm gibi görünse de, oldukça zahmetli ve takip isteyen bir işlemdir. Bu nedenle, son yıllarda santrifüj dekantörlerin kullanımı yaygınlaşmış, işletme ve çamur kuruluğu açısından istenilen neticeyi kısmen de olsa elde imkanı sağlanmıştır. Alternatif ekipmanlar ise santrifüj dekantörler, plakalı filtre presler, belt filtre presler ve döner tambur vakum filtreler olarak sıralanabilmektedir.

AAT'lerinde çamurların işlendiği ve arıtıldığı sistemler değişiklik göstermektedir. Bunlar çamurun nerelerden oluştuğuna, oluşum aşamasında uygulanan prosesin tipine ve tesisin işletme şartlarına göre değişiklik göstermektedir (Öztürk 2017). Çamurların belirli aşamalardan geçirilerek arıtılması ve nihai son ürün olarak uzaklaştırılmasında yöntemlerin belirlenebilmesi için, çamurun ihtiva ettiği içeriğini KM özelliklerini bilmek büyük önem arz etmektedir (Öztürk 2017).

Atıksu çamurunun yakılması sonucu oluşan külün beton ile ilgili uygulamalarda kullanılmasına dair 1983 yılından beri araştırma ve incelemeler yapılmaktadır. Malzemenin özelliğine göre özellikle portland çimento üretiminin çeşitli aşamalarında kullanılmaktadır (Lynn *et al.* 2015). Çamurun yakılması sonucu açığa çıkan külün bertaraf edilmesinde çeşitli geri kazanım yöntemleri kullanılabilmektedir. Özellikle yapı

sektöründe kullanılan briket, kilit taşı, bordür taşı vb. malzemelerin imalatlarında kullanımı mümkün görülmektedir (İrdemez vd 2016).

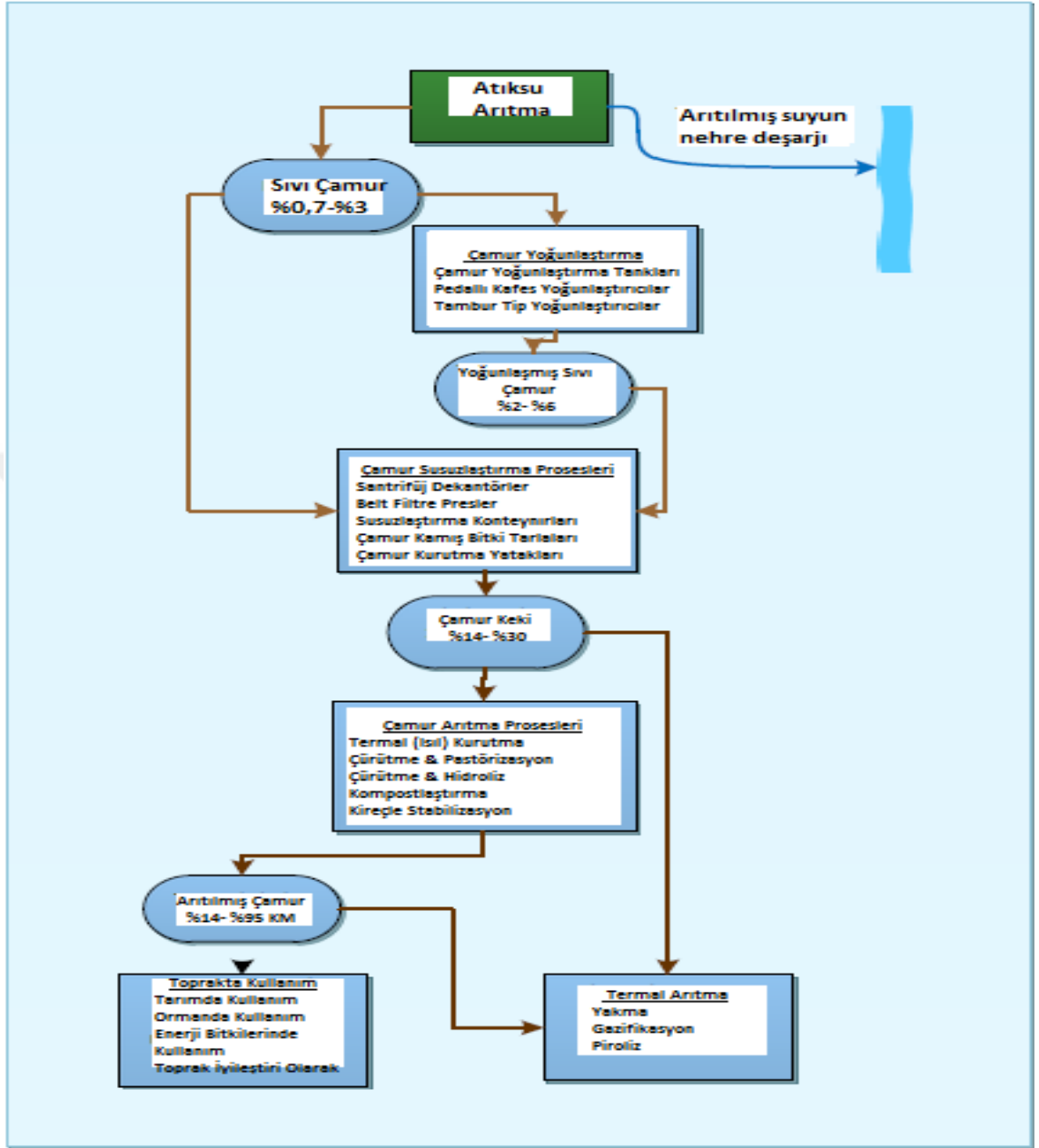
Bayat ve Bayat (1998) tarafından yapılan bir çalışma sonucunda, atıksu arıtma çamurunun tuğla üretiminde maksimum ağırlıkça %20 oranına kadar kullanılması halinde, üretilecek olan tuğlaların TS 705'de belirtilen fabrika tuğlası standardına uygun olduğunu ortaya çıkarmıştır. Punmatharith *et al.* (2010) tarafından yapılan çalışmada, arıtma çamurunun klinker çimento üretiminde alternatif hammadde olarak kullanılmasının olanakları ve etkileri üzerine araştırma yapılmıştır. Araştırma sonucunda, öğütülmüş çamurun çimento içeriğini ve oluşumunu olumsuz etkilemediği ileri sürülmüştür. Bunun yanında, mikroskobik incelemelerde alternatif hammadde olarak kullanılması, çimentonun mikro yapısını ve mineralojik faz oluşumunu da etkilemediği tespit edilmiştir.

Atıksu arıtma proseslerinden üretilen çamurlar, yeniden kullanılmadan ve bertaraf edilmeden önce bir takım işlemlerden geçirilmektedir. Atıksu çamuru, içeriğinde başlıca organik maddeleri içermesinin yanında, arıtma esnasında giderilen ve çamur içerisine geçen kontamine maddeleri de barındırmaktadır. Bu çamurların güvenli ve verimli bir şekilde yeniden kullanılması veya tamamen bertaraf edilmesi için bir dizi arıtma işlemlerinden geçmesi gerekmektedir.

Çamurun karakteristik özellikleri çamura uygulanan çeşitli arıtma işlemlerine göre değişmektedir (Andreoli *et al.* 2007). Bu değişiklikler aşağıdaki gibidir;

- Yoğunlaştırma, susuzlaştırma: KM konsantrasyonunun arıtılması işlemleri (kuru maddeler), çamur hacminin azaltılması
- Çürütme: Toplam KM'nin yükünü azaltmak (uçucu askıda katı maddelerin azaltılması).

Çamur arıtma seçenekleri Şekil 2.3'te şematik olarak gösterilmektedir (Water 2016).



Şekil 2.3. Çamur arıtma seçeneklerinin şematik gösterimi

Atık çamurların işlenmesi ve arıtılması hacminde azaltmaya gidilmesi, taşıma maliyetlerini de düşürmektedir. Çamur hacminin azaltılması temelde çamurun yoğunlaştırılması ve susuzlaştırılması ile sağlanmaktadır (Water 2016). İrlanda da uygulanan ana işlemler aşağıdaki gibidir;

Çamur yoğunlaştırma teknolojileri;

- Graviteli çamur yoğunlaştırıcı (kafes tip)
- Konsolidasyon tankları
- Döner tamburlu yoğunlaştırıcılar
- Graviteli belt yoğunlaştırıcı

Çamur susuzlaştırma teknolojileri;

- Belt filtre presler
- Santrifüj dekantörler
- Çamur kurutma yatakları
- Çamur kamış yatakları

2.2.4.a. Arıtma çamurlarının minimizasyon ve dezentegrasyonu

Atıksu arıtma çamurlarının yönetimi, atıksu arıtımındaki en büyük zorluklardan birini oluşturmaktadır. Çamur arıtma işlemlerinin maliyetinin sıvı kısmın maliyetinden daha fazla olduğundan dolayı, çamurun minimizasyonuna olan ilgi giderek artmaktadır (Øegaard 2004).

Çamur minimizasyon proseslerinin tesiste nerelerde yer alabileceğine yönelik farklı prosesler kategorize edilmiş olup, üç ana çamur minimizasyon stratejisi belirlenmiştir (Yeşil 2011).

- Su arıtım hattında,
- Çamur arıtım hattında,
- Nihai atık hattında (çamur giderim prosesleri) çamur minimizasyon stratejileri

Atıksu arıtma çamurları ile ilgili AB ülkeleri ve ülkemizde çıkarılan kanun ve yönetmeliklerin kısıtlayıcı hale getirilmesi ve yeni maddelerin eklenmesi, çamurun kaynağında azaltılmasına yönelik uygulama teknolojilerinin artırılmasına ilişkin çalışmaları hızlandırmıştır. Bu yöntem ve teknolojiler en kolay olarak mevcut proses ve işletmede hayata geçirilebilmekte olup, kaynağında azaltma (minimizasyon) yöntemlerinde (biyokütlenin parçalanması gibi) biyolojik proseslerin kullanılmasının önemini artırmıştır.

Son yıllarda çamurun stabilizasyonunda yani atık çamur miktarının azaltılması ve biyogaz üretiminin artırılmasına yönelik pek çok dezentegrasyon metodu geliştirilmeye çalışılmaktadır. Çamur dezentegrasyonda kimyasal, mekanik, termal ve biyolojik metotlar olmak üzere dört ana metodu uygulamak mümkündür (Müller 2000). Stabilizasyonun asıl amacı, çamurun daha az kokulu ve çözünabilir hale getirilmesi ve içeriğindeki patojen bakterilerin azalmasının sağlanmasıdır. Birincil stabilizasyon işlemleri aerobik ve anaerobik çürütme, termo-kimyasal arıtma ve kimyasal arıtma olup, termo kimyasal arıtmanın kullanımı oldukça sınırlıdır.

Aerobik çürütme ise enerji ihtiyacından dolayı küçük ve orta ölçekli arıtmalar için sınırlı kalmıştır (Vigneswaran and Kandasamy 2009). Arıtma çamurları için en uygun dezentegrasyon metodunun belirlenmesine yönelik olarak laboratuvar ölçeğinin yanı sıra gerçek bir tesiste işletmede karşılaşılabilecek sorunların belirlenmesi amacıyla tam ölçekli çalışmalar gerekmektedir (Filibeli ve Erden Kaynak 2010). ÇY, arıtma tesisi işletilmesinin hem ekonomik hemde çevresel açıdan önemli bir parçası haline gelmiştir. Arıtma çamurlarının çevreye olumsuz etkileri mevcuttur. Arıtma tesislerinden oluşan çamurun içeriğinde patojenler, ağır metaller, iz element ve kalıcı organik kirleticiler bulunabilmektedir. Çamurun stabilize edilmesi halinde, içeriğinde barındırdığı nutrientler sayesinde gübre olarak kullanılabilmeyle birlikte, ısı değeri uygun olması halinde ise ek yakıt olarak değerlendirilebilmektedir. Bu gibi sebeplerden dolayı, arıtma çamurları aynı zamanda yenilenebilir enerji ve ham madde kaynağıdır. Çamur arıtım metotları olarak susuzlaştırma, yoğunlaştırma, stabilizasyon, çürütme, kompostlaştırma, piroliz, yakma, kurutma, ıslak oksidasyon, süper kritik ıslak oksidasyon, düzenli

depolama ve fosfor geri kazanım kullanılmaktadır (Yapıcıoğlu ve Demir 2017). Çamurun dezentegrasyonu olarak ortaya çıkan yöntem ve prosesler, anaerobik çürütmenin performansını arttırmak amacıyla, çürütme prosesi öncesi çamura uygulanan mekanik, kimyasal, biyolojik ve termal işlemleri kapsamaktadır (Topaç Şağban vd 2016). AAT'lerinde çamur üretimini azaltmak ve en aza indirmek için temel olarak üç farklı teknik ve proses geliştirilmiş ve uygulanmaktadır. İlk seçenek olarak atıksu çamur üretiminin azaltılması, ikincisi aşama ise çamur hattında yapılan işlemlerdir. Anaerobik çürütme, organik madde miktarının azaltılması ve dengelenmesi için ana ünitelerden olup, anaerobik çürütmeye gelmeden önce yapılan işlemler (fiziksel, kimyasal ve biyolojik ön işlemler) veya çürütücü konfigürasyonunu (iki kademedeki ve sıcaklık faz değişimli çürütme ve anoksik gaz yüzdürme) değiştirilmesidir. Son minimizasyon stratejisi olarak, aktif çamurun uzaklaştırılması (yakma, gazlaştırma, piroliz, ıslak hava oksidasyonu, süperkritik su oksidasyonu) yöntemi kullanılmaktadır (Pérez-Elvira *et al.* 2006).

Çamur dezentegrasyonu; atıksu çamurlarının çürütülmesinde hız sınırlayıcı olan hidroliz aşamasının elimine etmek, stabilizasyonu ve üretilen biyogaz miktarını arttırmak amacıyla uygulanan çamur ön arıtma yöntemleridir (Çırakoğlu vd 2017).

Çamur dezentegrasyonu ile ilgili birçok araştırma yapılmış, bu araştırmalardan bazıları aşağıda sıralanmıştır (Müller 2000).

- 40-150°C gibi sıcaklıklarda ısıtma işlemi,
- Asitler veya güçlü alkaliler kullanılarak kimyasal işlem,
- Ultrason, değirmenler ve homojenleştiriciler kullanılarak mekanik dezentegrasyon,
- Ozon ve hidrojen peroksit kullanılarak oksidasyon işlemi,
- Enzimler kullanılarak biyolojik arıtma işlemidir.

Bu ön arıtma yöntemleri atıksu ve çamur arıtımında kısaca aşağıdaki işlemler için kullanılır.

- Çamur stabilizasyonu,
- Biyolojik proseslerde çamur kabarması ve şişmesi, son çöktürmelerde çökelememe ve çürütme tanklarında köpük oluşumunun engellenmesi,
- Çamur şartlandırması ve susuzlaştırmasının iyileştirilmesi,
- Azot gideriminin iyileştirilmesi,
- Çamur hatlarından değerli olan azot ve fosforun geri kazanımı,
- Bertaraf için çamurun tekrar kullanım olanağının artması gibi işlemlerdir.

Coşkun (2012) tarafından yapılan deneysel çalışmada, arıtma çamuruna mikrodalga ortamında ön işlem uygulanmasının ardından anaerobik çürütücülere gönderilmiş, çamur içeriğindeki organik maddenin parçalanabilirliği ve biyogaz üretimindeki verimlilik gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmaların sonucunda; dezentegrasyon işlemine tabi tutulan çamurlarda organik madde içeriğinin azaldığı ve biyogaz oluşumunda artış meydana geldiği belirtilmiştir.

Onyeche *et al.* (2003) tarafından yapılmış olan çalışmada, yüksek basınç altında homojenleştirici kullanılarak çamurun bozunurluğunun ve biyogaz üretiminin arttığı, çamur miktarında azalma olduğunu ortaya çıkarmıştır. Konsantre çamur hem biyogaz üretiminde hem de çamurun azaltılmasında olumlu sonuç verdiği tespit edilmiştir.

Zhang *et al.* (2012) tarafından yapılan çalışmalarda, kanalizasyon çamurunun parçalanmasını artırmak için ön arıtma işlemi olarak yüksel basınç homojenizasyonu ile birlikte alkali uygulaması yapıldığı, çalışma sonucunda tek olarak uygulanan yüksek basınç homojenizasyon işlemine göre yüksek enerji verimliliği sağlandığı belirtilmiştir. Onyeche (2004) tarafından yapılan yüksek basınçlı homojenizasyon çalışmasından elde edilen veri sonuçlarında, tesisdeki çürütücülerin ısıtılmasında ihtiyaç duyulan enerji için ekstra kaynak sağladığı, çamur miktarında azalma, işletmeciler için tesisin büyüklüğünde ve yerleşkesinde avantaj, çürütücülerin yatırım maliyetlerinin azalması ve çamur susuzlaştırma için işletme süresinin azalması gibi faydalar sağladığı belirtilmiştir.

Ayol (2010) tarafından yapılan çalışmada, Ülkemiz ve AB ülkelerinde yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretiminin artırılması ve atık azaltılması adına, çamurların biyolojik bozunabilirliğinin artırılmasının iyi bir strateji olarak değerlendirildiği, bu bağlamda çamurların arıtımında enzimlerin kullanılması, çamurun KM içeriğinin azaltılması, anaerobik çürütücülere verilen çamurdan daha fazla miktarda ve metan içeriği itibarıyla yüksek biyogaz üretilmesi, çamurun su verme kabiliyetinin iyileştirilmesi, çamurun susuzlaştırılması esnasında şartlandırıcı kimyasal tüketiminin daha az olmasının sağlanması ve daha az enerji sarfiyatının oluşması, elde edilen son ürünün yüksek kalitede olması ve arıtma tesislerinde oluşan yan akımların yükünün ve içeriğinin azaltılması gibi pek çok faydaları sıralanabildiğinden dolayı, bu yöntemin üzerinde önemle durulması gerektiği belirtilmiştir.

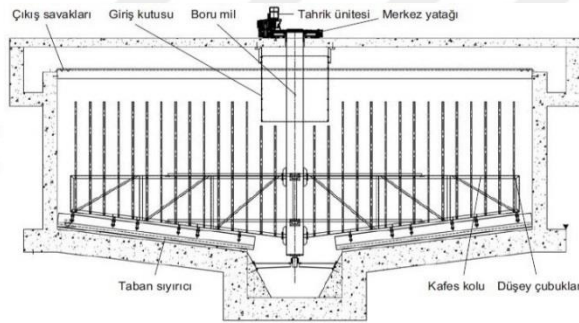
Erden (2018) tarafından yapılan bir diğer çalışmada elektro - oksidasyon işleminin anaerobik çürümenin öncesinde bir ön arıtma olarak kullanılması halinde, evsel nitelikli AAT prosesi sonucu oluşan biyolojik çamurların dezentegrasyonunu sağladığı ve anaerobik çürüme işleminde de daha fazla metan gazı oluşumunun sağlandığı belirtilmiştir. Elektro - oksidasyon işleminde elektrolit ilavesi yapılmasının çamurların dezentegrasyon derecesini ve çamur katılarının çözünürlüğünü arttırdığı sonucuna varıldığı bildirilmiştir.

2.2.4.b. Çamurun yoğunlaştırılması ve susuzlaştırılması

Çamur yoğunlaştırma; çamur arıtım işlemleri içinde en basit ve ekonomik olarak tercih edilen, bununla beraber çamur uzaklaştırılmasında etkinliği olan ünitelerden biridir. Bu ünitelerin seçiminden maksat çamurun içindeki KM konsantrasyonunu artırmaktır (Karimov 2015).

Graviteli çamur yoğunlaştırıcı; çamurun yoğunlaştırılması, çökeltme havuzlarından gelen çamurdaki su muhteviyatının azaltılması işlemidir. Yoğunlaştırma esas olarak kendisini takip eden çamur çürütücülerin veriminin artırılması ve çamur susuzlaştırma süreçlerindeki hacmi azaltmak için kullanılmaktadır. Ham çamur, yaygın olarak

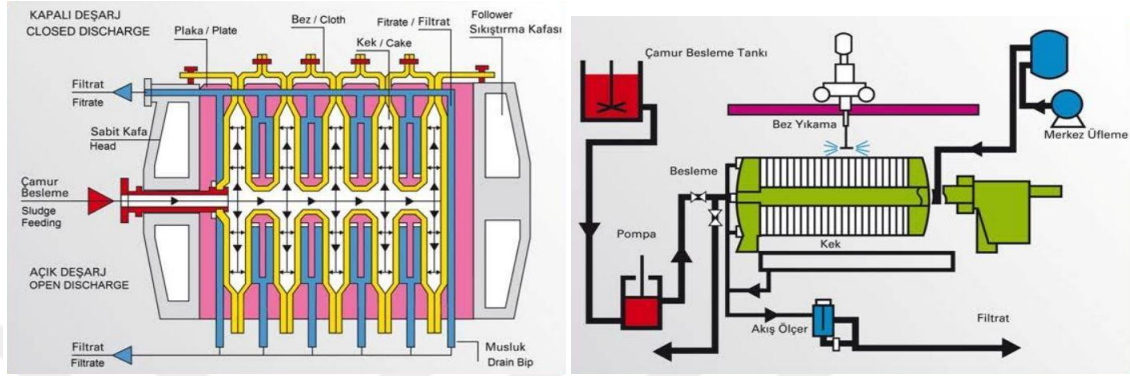
yoğunlaştırma tankının merkezinde yer alan giriş kutusuna beslenmektedir. Tabanda ise dip sıyrıcı paletler bulunmakta ve çamur, tank merkezindeki çukura ittirilirken, çamur buradan susuzlaştırılmak üzere emilmektedir. Yoğunlaştırıcılarda çamurun hafif karışımını sağlamak için kafes tip kollarına düşey çubuklar yerleştirilmektedir. Sürekli beslenebilen yoğunlaştırıcılarda, çamur üst suyunun sistemden uzaklaştırılması için dalgıç perde ve savaklar kullanılmaktadır (Mass Arıtma 2019). Graviteli yoğunlaştırıcıların işletmesel açıdan avantajı kimyasal sarfiyatının olmamasıdır. Ön çökeltme havuzlarından gelen ham çamurun kendiliğinden çökmeye daha meyilli olduğundan dolayı, bu tip çamurlarda graviteli yoğunlaştırıcıların kullanımı tercih sebebi olmaktadır. Ekipmanı oluşturan tüm su altı aksamaları (pedallar, sıyrıcı kolları, bağlantı parçaları vs.) paslanmaz çelik olarak imal edilirler. Şekil 2.4'te görüldüğü gibi, betonarme veya çelikten yapılmış sabit köprüye tahrik motorunun montajı yapılmaktadır (Mass Arıtma 2019).



Şekil 2.4. Graviteli çamur yoğunlaştırıcısı

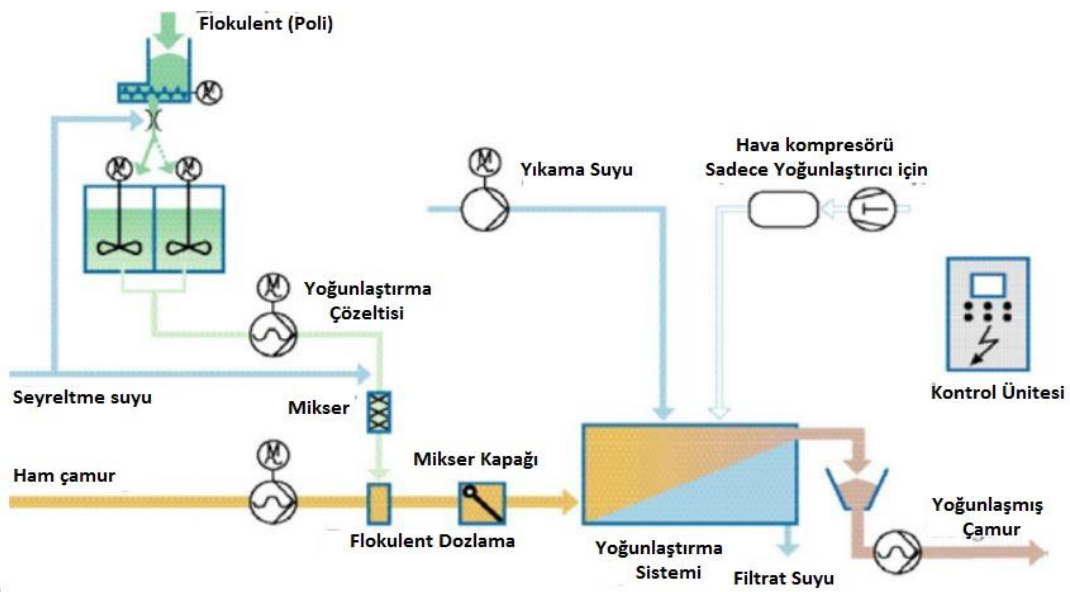
Plakalı filtre presler; çamur hatlarında kullanılan ekipmanlar olup, çamurun yoğunlaştırılması adına graviteli çamur yoğunlaştırıcılara muadil olarak kullanılabilirler. Şekil 2.5'te verilen filtre presler chamber ve membranlı tip plaka olmak üzere iki şekilde imal edilebilirler. Çamur, pompa yardımıyla plakalar içerisine basılır ve yavaş yavaş yoğunlaşmaya başlar. Filtre presleri oluşturan şasenin bir tarafı sabit iken diğer tarafı hareketlidir. Plakalar içerisine giren çamur hareketli kafa tarafından basınç artırılmak suretiyle sıkıştırılmaya başlanır ve çamur keki elde edilir. Kek kuruluşunu artırmak için hava üflenir. Sıkıştırma işlemi bittikten sonra plakalar

açılır, çamur keki hazneye alınır ve tekrar kullanılmak üzere yıkanarak hazır hale getirilir (AES Arıtma 2019).



Şekil 2.5. Filtre preslerin çalışma şekli

Mekanik belt yoğunlaştırıcılar; genel itibariyle biyolojik (ikincil) çamurun susuzlaştırılmasından veya çamur çürütücülere gönderilmeden önce KM oranının artırılması ve hacminin azaltılmasında kullanılır. Graviteli belt yoğunlaştırıcı olarak da isimlendirilebilmekte olup, ekipmana ait işletim akım şeması Şekil 2.6'da verilmiştir (Andritz Group 2019).



Şekil 2.6. Graviteli belt yoğunlaştırıcı işletim akım şeması

Döner tamburlu yoğunlaştırıcılar; belt tip yoğunlaştırıcılara benzer olarak, katı-sıvı ayrımı, katıların koagülasyon ve flokülasyonla sıvıdan ayrılmasıyla birlikte serbest kalan suyun dönen ortamdan süzülerek uzaklaşması ile olur. Gözenekli ortam, tel kafes, delikli paslanmaz çelik elek, polyester dokuma ya da paslanmaz çelik tamburlar olabilir. Yoğunlaştırma, tipik olarak katyonik polimer ile sağlanmaktadır (Öztürk 2015).

Çamur susuzlaştırıcılarda; çamur susuzlaştırma işlemi depolama ve ısıtma işlemi uygulanacaksa bu metotların öncesinde tercih edilen bir arıtma metodudur. Susuzlaştırma ile birlikte çamur içerisindeki KM miktarı arttığı gibi hacminde de belirli bir oranda azalma meydana gelir. Hacmindeki azalma hem taşıma ve sevkiyat kolaylığı hemde sonraki proses seçimlerinde kolaylık sağlar.

Çamurun KM içeriği, susuzlaştırma kalitesini gösterir. Kuru madde ağırlık bazında KM konsantrasyonudur. Çamurun içindeki KM yüzdesine göre kalite sınıflandırılması Çizelge 2.5’de verilmiştir (Vigneswaran and Kandasamy 2009).

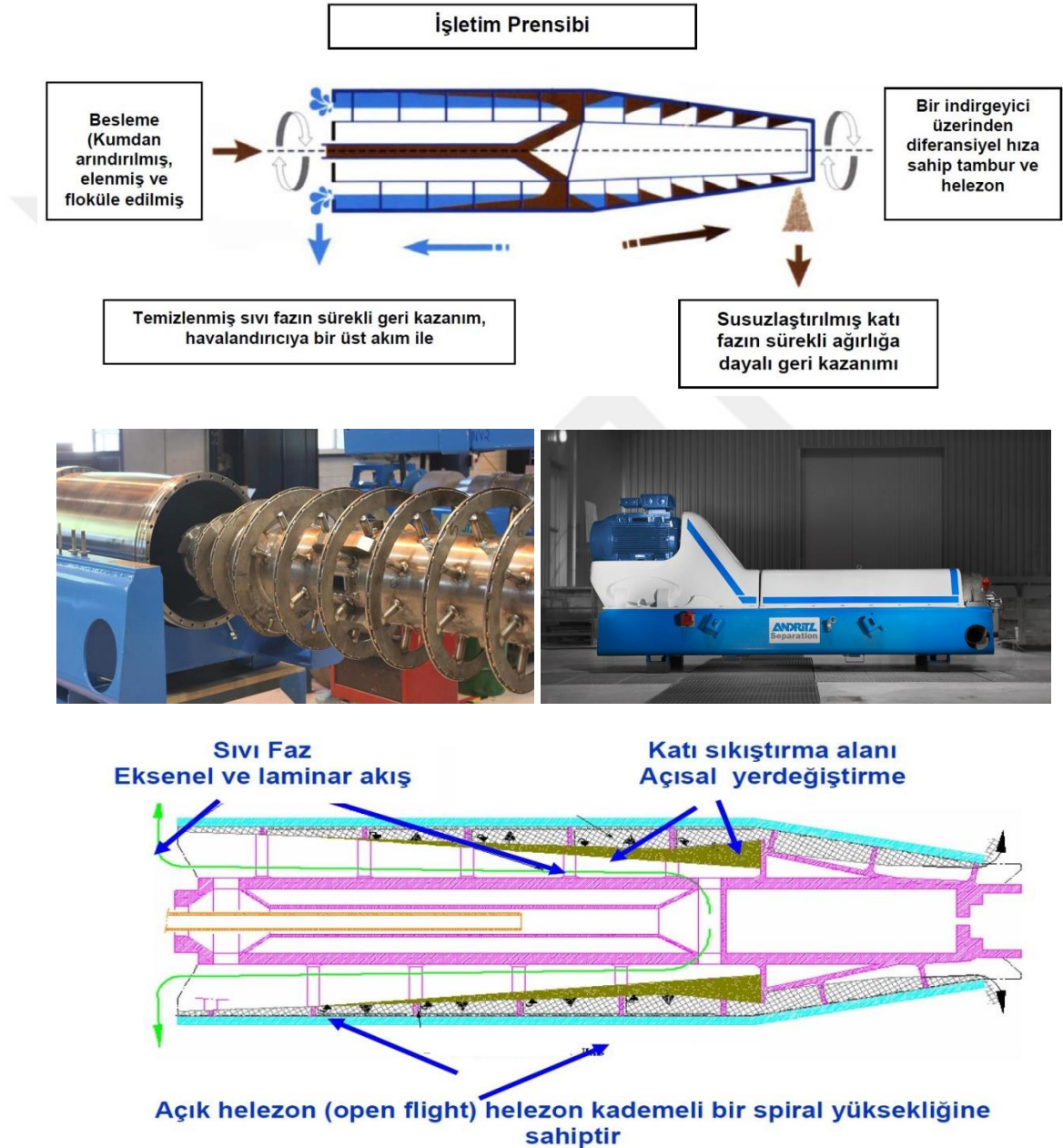
Çizelge 2.5. Çamuru susuzlaştırma kalite yüzdeleri

Susuzlaştırılabilir Kalitesi	Katı madde yüzdesi % KM
İyi	26-30
Orta Kalite	22-26
Kötü	8-22

Santrifüj dekantör; elektrik motorları tarafından tahrik edilen ve ana bir çatki üzerinde iki krank mili yatağı tarafından desteklenen dönen bir donanımdan oluşur. Dönen donanım, bir silindirik ve konik tambur, bir taşıyıcı helezon, tambur ve taşıyıcı helezon arasında diferansiyel hız farkı yaratan bir şanzımanı içerir.

Dekantörler susuzlaştırma ekipmanı olarak kullanılabildiği gibi aynı zamanda çamur yoğunlaştırma ekipmanları olarak da verimli bir işletim sağlamaktadır. Dekantörlerin

çalışma şekli merkezkaç kuvvetine bağlı olarak çamur ve suyun birbirinden ayrılması prensibine bağlıdır. KM'ler dönmenin etkisi ile dış çepere doğru yapışırken, çamurdan ayrılan su ise orta noktadan ayrılarak ekipmanı terk eder. Santrifüj dekantör ve çalışma prensibine ait gösterimler Şekil 2.7'de verilmiştir (Andritz 2019).



Şekil 2.7. Santrifüj dekantör ve çalışma prensibini gösterir şematik gösterimler

Çamur, dekantörlere;

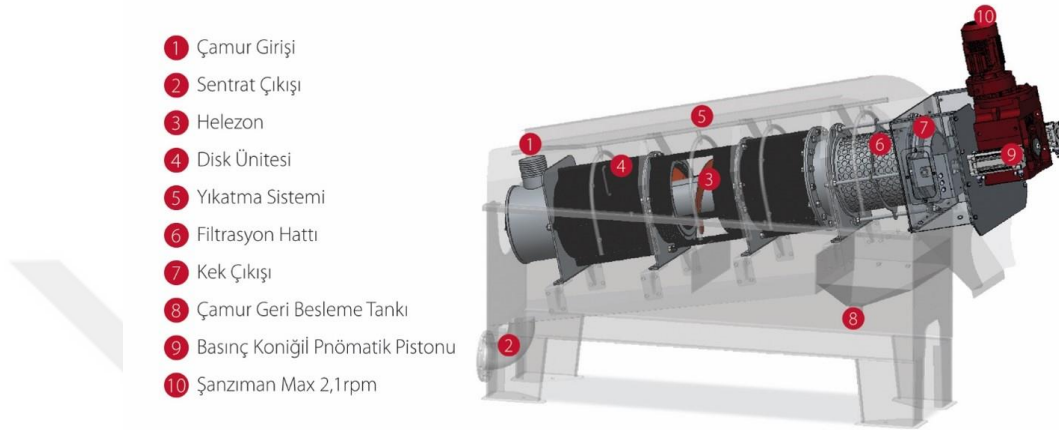
- çamur çürütücülere verilmeden önce biyolojik çamurun yoğunlaştırılması amaçlı,
- yoğunlaştırma sonrası çamur susuzlaştırma amaçlı ve çürütülmüş çamur tanklarından gelen çamurun susuzlaştırılması amaçlı olmak üzere üç şekilde verilemektedir.

Dekantör ve yoğunlaştırıcılara çamur verilmeden önce, katyonik polielektrolit (poli) hazırlama ünitesinde flokülasyon solüsyonu hazırlanır ve ekipman girişinde bulunan statik mikserde çamur ve solüsyonun tam karışım sağlamasının ardından yoğunlaştırma veya susuzlaştırma işlemi gerçekleşmiş olur.

Santrifüjler genel itibarıyla biyolojik aktif çamurun yoğunlaştırılmasında kullanılmaktadır. İçeriğinde kum gibi aşındırıcı maddeleri ihtiva etmesinden dolayı birincil çamurlar nadiren santrifüj ile yoğunlaştırılırlar. Aktif çamur yoğunlaştırılmasında verimlilikleri oldukça iyi olmaları, az yere gereksinim duymaları, koku oluşumu ve temizlik ihtiyacı gibi üstünlükleri sebebiyle tercih edilmekte olup, ilk yatırım maliyeti ve enerji sarfıyatı yüksek olmasından dolayı büyük tesislerde tercih edilmektedir (Öztürk 2015). Birincil çamurun dekantörlere verilmesi halinde mil kesmesi, iç mekanizmalarında aşınma ve sıyrıcı bıçak uçlarında kırılma ve kopma gibi sorunlar yaşanabilmektedir.

Vidalı presler (machpress); floklaşmış çamur, sepet ızgara içine pompalanır. Sepet ızgara, şaft ve yapraklar, arasındaki hacim azaldıkça, çamur üzerine uygulanan basınç artar ve çamur içerisindeki su ızgara aralıklarından dışarı atılır. Susuzlaştırılan çamur, çıkış noktasındaki koniye doğru itilir. Koni ayarlanmış pnömatik silindir ile bastırılıp, çamur basıncını koruyacak biçimde kuvvet uygulanır. Helezon yaprağı üzerindeki silgi, sepet ızgarayı içten temizler. Yıkama suyu çıkışında bulunan filtre sayesinde, floklaşmış çamur kaçakları tutularak sızıntı suyu kalitesi arttırılmış olur. Fitrede biriken floklaşmış çamur filtre üzerindeki sıyrıcı silgi vasıtasıyla bir hazneye aktarılarak sisteme geri kazandırılır.

Makine sabit ve hareketli disklerden oluşan bir eğik tambura sahip olup, değişken hızla çalışan taşıyıcı helezon yardımıyla sürekli olarak katı çıkışı yapabilmektedir. Vidalı pres yoğunlaştırıcı'ya ait şematik gösterim Şekil 2.8'de verilmiştir (HAUS 2019).

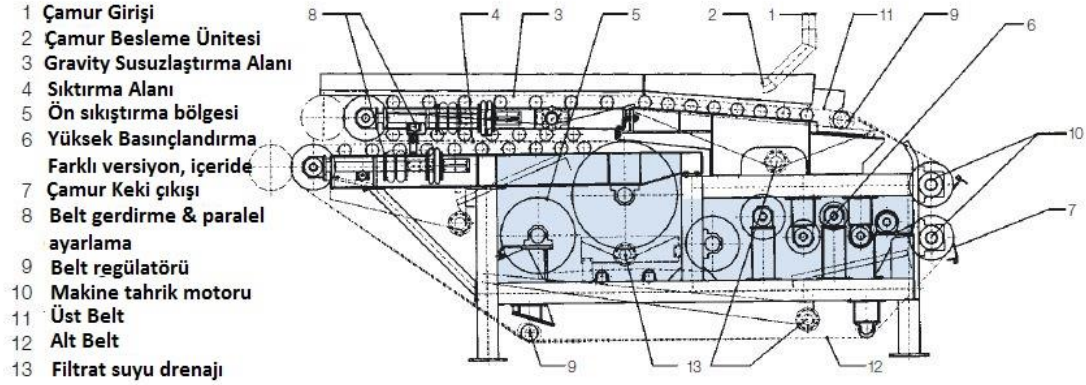


Şekil 2.8. Vidalı pres yoğunlaştırıcı

Belt filtre presler; çamur susuzlaştırma ekipmanları arasında en çok tercih edilen ekipmanlardır. Özellikle küçük ve orta ölçekli arıtma tesislerinde tercih edilmesine karşın son yıllarda santrifüj dekantörlerin yerli olarak imal edilmeye başlanması ve dekantörlere göre verimlilik ve işletme koşullarındaki dezavantajları nedeniyle kısmen de olsa tercih edilmeye devam etmektedir. Belt filtre presler evsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesislerinden çıkan çamurun yoğunlaştırılması veya susuzlaştırılması işlemlerinde kullanılmaktadır.

Belt filtre preslere giren çamur yaklaşık %3-4 yoğunlukta olur ve susuzlaştırma işleminden sonra yaklaşık %18-25 arasında çıkış yapar. Yoğunlaştırmada şartlandırma işlemi dekantörlerde olduğu gibi flokülanlar (polimer) ile yapılarak ekipman girişinde ham çamur ile polimer solüsyonu statik mikserde homojen karışım sağlanmasının ardından verilir. Ekipman içerisindeki sıkma tamburları iki belt arasında kalan çamura basınç uygulayarak çamur içerisindeki suyu azaltır ve böylelikle susuzlaştırma işlemi gerçekleşmiş olur. Çamur deşarj noktasından alınırken, süzülen su toplanarak filtrat

toplama haznesine ve oradan yanıl akım olarak tesise geri verilir. Belt filtre pres'e ait şematik gösterim Şekil 2.9'da verilmiştir (Andritz Group 2019)



Şekil 2.9. Belt filtre pres şeması

2.2.4.c. Çamur yönetiminde stabilizasyon ve bertaraf işlemleri

Arıtma çamurlarındaki patojenlerin azaltılması veya yok edilmesi, kötü kokuların giderilmesi, potansiyel organik maddenin bozunmasının azaltılması, engellenmesi veya bu risklerin elimine edilmesi amacıyla stabilize edilirler (Akyarlı ve Şahin 2005). Stabilize olmuş bir çamur, çevre ve halk sağlığına zarar vermeden kullanılabilen ve bertaraf edilebilen çamurdur (Vesilind *et al.* 1988). Biyokütlenin parçalanması işlemine dayanan metotlarda bakterilerin parçalanması söz konusudur. Bakterilerin içeriği itibariyle ikinci bir besin kaynağı olabilmekte ve besi kaynağı olarak tekrar kullanılması halinde CO₂ 'e dönüştürülmektedir. Bu şekilde biyokütle sentezinde kullanılan besi miktarı da azalmakta ve aktif çamur miktarında azalma meydana gelmektedir. (Gürtekin ve Şekerdağ 2006). Çamurun bertarafı, tüm kanalizasyon arıtmalarının başlıca problemlerinden biridir. Giriş suyu ile giren ve parçalanamayan maddeler arıtma çamuru içerisine geçer. Çamurun içeriğindeki nutrient ve besi maddesi, toprak düzenleyici veya biyogaz üretiminde kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Diğer maddeler ise, çevreye zararlı olan ağır metaller, patojenler ve organik mikrokirleticileri barındırır. Asıl problem, çevreye zarar verenlerle faydalı maddelerin birbiriyle karışmış olmasıdır (Hultman *et al.* 1998).

Aerobik ve anaerobik çürütme proseslerinde, stabilizasyon sırasında, su verme özelliklerini oluşturan çamur bünyesindeki protein ve polisakkaritler gibi hücre dışı polimerik bileşenlerin miktarında meydana gelen artış, ortamda hidroliz aşamasını gerçekleştirecek olan enzimlerin aktivitelerindeki azalmayla açıklanabilmektedir (Ayol 2010). Çamurların organik ve inorganik yapıları mevsimsel değişimlerden kaynaklı olarak atıksuyun karakteristiğinde de etkilenme olabilmekte ve bu durum susuzlaştırma esnasında kullanılan flokülantların verimliliğini ve miktarını etkilediği gibi, işletme maliyetlerinde de salınımlara neden olabilmektedir.

Arıtma çamurları, atıksuyun kaynağı ve içeriğine göre oldukça büyük farklılıklar gösterebilmektedir. Endüstrilerde üretim aşamasında sisteme verilen madde girdisi ya da atıksu arıtımında kullanılan kimyasallar bu farklılıkların temelini oluşturmaktadır. Arıtma çamurları genel itibarıyla çeşitli statik ve dinamik yöntemler kullanılarak işlenmektedir (Morgül 2007). Çamur içerisinde fazla miktarda su bulunması arıtma, bertaraf ve nakliye maliyetlerine yansır. Bu nedenle arıtma tesislerinde çamurun arıtımı ve bertarafı için işletme maliyetlerinin yaklaşık %50'sinden fazlasına karşılık gelmektedir (Tuan *et al.* 2012). Dünya üzerinde atıksu arıtma tesislerindeki enerji ve işletme maliyetlerini azaltmak öncelik haline gelmeye başlanmıştır. Bu öncelik proje aşamasındaki proses, ekipman ve teknoloji seçiminden, yer seçimi, servis ve kalifiye personel seçimine kadar bir bütün halinde uygulanmaktadır. Çamurun su verme verimliliğinin artırılması ve çamur hacminin azaltılması için çalışmalar yapılmaktadır.

Agro-kimyasalların kullanımı, insan ve çevre sağlığını riske atarak toprağın kalitesini düşürmekte ve patojenlerin dayanımını artırmaktadır. Bu sebeple biyolojik gübre ve pestisit olarak etkili olan organik ürünlerin bilimsel olarak araştırılarak tarıma kazandırılması ve sürdürülebilir bir üretim sistemi geliştirilmesi yönünde araştırmalar yapılmaktadır (Erşahin 2007). Bu durum, biyolojik çamurun tarımda kullanımı yönünde ciddi ilerlemeler kaydedileceğini göstermektedir. Ülkemizde anaerobik stabilizasyon sistemlerini içeren tesislerin artması, aslında iyi bir gelişme olarak karşımıza çıkmaktadır.

Aerobik (havalı) çamur çürütme: Çamurun düşük KM konsantrasyonlarında çok çeşitli çamurları arıtmak için kullanılır. Proses, temel olarak açık tanklarda direk olarak hava verilerek, çamur içerisinde biyolojik olarak parçalanabilen maddelerin oksitlenmesiyle yeni maddelere dönüşmesi ve yeni hücre oluşması ilkesine dayanır (Vesilind and Spinoso 2001). Oluşan çamurların, ihtiyaç duyulan oksijenin sağlandığı koşullarda biyolojik stabilizasyonun gerçekleşmesi için kullanılan yöntemlerden biridir (Akyarlı ve Şahin 2005).

Aktif çamurun havasız ortamda çürütülmesine alternatif olarak havalı ortamda da çürütülebilmektedir. Aktif çamur ayrı bir tank içerisine alınarak ve birkaç gün havalandırmak suretiyle çamur içerisindeki uçucu katı maddelerin biyolojik olarak stabilize olması sağlanmış olur. Bu proses havayla çürütme olarak adlandırılıyor olup, üstünlükleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Uçucu katı madde giderim verimi anaerobik çürütmeye yakındır,
- Sıvı faz içeriğindeki BOİ konsantrasyonu oldukça düşüktür,
- Kolayca bertaraf edilebilme özelliği taşıyan kokusuz, humus kalitesinde, biyolojik kararlılığa sahip bir ürün ortaya çıkar,
- Prosesten çıkan çamurun susuzlaştırma karakteristiği gayet iyidir,
- Çıkan çamurun gübre değeri yüksektir,
- İşletilmesi daha kolaydır,
- İlk yatırım maliyetleri açısından daha düşüktür.

Bu sistemin dezavantajları ise, oksijenlendirme için ihtiyaç duyulan enerji maliyetinin yüksek olmasından dolayı işletme masraflarının yükselmesi ve sistemden metan gazı elde edilemiyor olmasıdır (Öztürk vd 2016).

Anaerobik (havasız) çamur çürütme:

Chen *et al.* (2012). tarafından yapılan çalışma sonucunda, biyokatıların tekrar kullanımında farklı senaryolar denenebileceği ve çevre açısından uygun maliyetli

olabileceği belirtilmiştir. Anaerobik çamur çürütme işleminin ardından, çamurun biyokatı olarak arazide uygulanmasının ekonomik ve enerji maliyetlerinin düşük olması ile materyalin tekrar kullanımı açısından faydalı olacağı seçeneği üzerinde durulmuştur.

Ülkemizde son yıllarda yapılan atıksu arıtma tesislerinin sayısının artmasıyla birlikte çamur miktarını ve elektrik tüketimini artırmasından dolayı, proses sonucu üretilen çamurun stabilizasyonunun ardından kullanım olanaklarının araştırılması, miktarında azaltmaya gidilmesi ve özellikle enerji üretimine katkı sağlaması amacıyla anaerobik çürütücülerin seçimini önemli ölçüde artırmış ve AB hibe destekli projelerde özellikle uygulanmaktadır. Bununla birlikte İstanbul, Ankara, İzmir, Konya, Mersin, Adana, Muğla, Bursa, Kayseri, Kahramanmaraş ve Erzurum gibi birçok büyükşehir belediyesi'nin AAT'lerinde anaerobik çamur çürütücülerini kullanılmaktadır.

Anaerobik çürütme işlemi yirminci yüzyılın başlarından beri çamur stabilizasyonunda kullanılan en popüler yöntemidir. Bu proses organik maddenin (atıksu çamuru ve bulamaç gibi) oksijensiz ortamda bakteriler tarafından fermante edilmesi işlemidir. Bu işlemin faydaları, atıksu çamurunu oluşturan maddelerin ayrışmasını sağlayarak stabilize olmasını ve daha kolay susuzlaşmasını sağlamak, içeriğinde CH_4 ve CO_2 bulunan biyogazdan enerji elde edilmesidir. KM miktarında net bir şekilde düşüş ve bertaraf edilecek olan çamurun hacminde azalma meydana gelmektedir. Anaerobik çürütme esnasında patojenik bakterilerin inaktivasyonu da gerçekleşmiş olur. Nihai ürün olarak elde edilen çamur, toprak düzenleyici veya gübre olarak kullanılabilir. Bunun yanında çamuru toprakta uygulamadan önce patojen seviyesi, uçucu katı madde ve ağır metallerin konsantrasyonu göz önünde bulundurulması gereken önemli hususlardandır. Enerji üretimi, çamur arıtma prosesinin bir yan ürünü olarak tercih edilebilir (Vesilind and Spinosa 2001). Anaerobik arıtma sistemleri, organik atıkların oksijensiz ortamda biyolojik bir ortamda parçalanmasıyla son ürünler olan CH_4 , CO_2 , NH_3 ve H_2S 'e dönüştürülmesini sağlar. Yani organik atıkların (bitkisel) çürütülmesi sonucu metan gazı ortaya çıkmaktadır. Daha önceleri biyolojik arıtma çamurlarının çürütülmesi amacıyla kullanılırken, son zamanlarda evsel ve endüstriyel kaynaklı atıksular içinde kullanılmaya başlanmıştır (Öztürk 1999). Anaerobik fermentasyon

sonucu biyogaz üretimi esnasında gerçekleşen mikroorganizmal metabolizma hidroliz, asitojenez, asetojenez ve metanojenez olmak üzere 4 (dört) ana başlıkta toplanabilmektedir. Hidroliz safhasından sonraki aşama olan asitojenez ve asetojenez aşamaları çok hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir (Koçar vd 2010). Biyolojik olarak anaerobik çamur çürütme işlemleri hidroliz, asitleştirme ve metanlaştırma aşamaları olarak sıralanmaktadır. Hidroliz aşamasında, fakültatif anaerobik bakteriler faaliyet göstermekte ve yağlar, proteinler ve polisakkaritler alt bileşenlerine ayrılarak hidroliz olurlar. İkinci aşamada, asit fermentasyonu olarak tanımlanmakta ve organik maddelerin, organik asitlere, alkollere ve son olarak yeni bakterilere dönüşür ve KOİ ve BOİ'nin stabilizasyonu da gerçekleşmiş olmaktadır. Üçüncü aşamada ise, anaerobik arıtmanın gerçekleştiği ve metan bakterileri tarafından organik maddelerin son ürün olan CH₄ ve CO₂ dönüşmesi gerçekleşmiş olur (Mackenzie 2019). Anaerobik çürütme sonucunda elde edilen ve düşük organik madde içeriği, bu prosesin çamurun stabilizasyonunda etkili bir yöntem olduğunu göstermiştir (Filibeli ve Erden 2010).

Anaerobik çürütme sürecinde biyolojik reaksiyonları etkileyen çevresel faktörlerden sıcaklık, pH, besin maddeleri ve toksik maddelerin konsantrasyonlarının kontrolü oldukça önemlidir. Anaerobik proseste optimum koşullar altında maksimum metan üretimi için ekstrem şartlar Çizelge 2.6'da verilmiştir (Vesilind and Spinosa 2001).

Çizelge 2.6. Anaerobik çürütücülerin optimum ve ekstrem işletme koşulları

Değişkenler	Optimum	Ekstrem
pH	6,8 - 7,4	6,3 - 7,9
Oksijen indirgenme potansiyeli (mV)	-520 ila -630	-490 ila -550
Uçucu Asid (mmol/L)	0,8 - 8,0	>35,0
Alkalinite (mg/L, CaCO ₃ olarak)	1.300 – 3.000	1.000 – 5.000
Organik yükleme yüzdesi (UKM olarak)		
Mezofilik (kg/m ³ /gün)	0,8 - 2,0	0,4 - 6,4
Termofilik (kg/m ³ /gün)	1,5 - 5,0	1,0 - 7,5
Sıcaklık		
Mezofilik (°C)	32 - 37	20 - 42
Termofilik (°C)	50 - 56	45 - 65
Hidrolik Bekletme süresi-HRT (gün)	12 - 18	7 - 0
Biyogaz İçeriği		
Metan (% Hacim)	65 - 70	60 - 75
Karbondioksit (% Hacim)	30 - 35	25 - 40

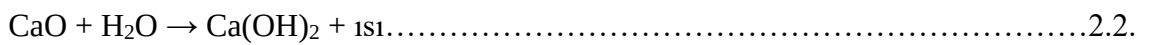
Sönmüş kireç ile stabilizasyon:

Sönmüş kireç (Ca(OH)_2); çamur pH'ını yaklaşık 12'nin üzerine kadar yükselterek, içeriğinde mevcut olan patojenlerin önemli bir miktarını azaltmış olur (Vesilind *et al.* 1988). Stabilizasyon işleminde yeterli miktarda kireç ilavesi yapılarak çamurun pH'ı 12'den yüksekdeğerlere çıkartılarak hem mikrobiyal faaliyetlerin yavaşlatılması veya tamamen durması sağlanmış hem de istenmeyen pis koku engellenerek haşere, kemirgen, kuş vb. hayvanların da ilgisini çekecek ortam yok edilmiş olur. pH bu seviyelerde tutulduğu sürece çamurda herhangi bir kokuşma, bozunma, çürüme, koku oluşumu ve sağlığa zararlı bakteri ve virüs gibi mikroorganizmaların aktiviteleri durdurulmuş olacaktır (Öztürk vd 2016).

Sönmemiş kireç ile stabilizasyon

Aktif çamurun stabilizasyonunda sönmemiş kireç ilavesi de yapılabilir. Sönmemiş kirecin çamura ilavesi ile birlikte, çamur içerisindeki su ile reaksiyona girerek sönmüş kireç haline almaktadır. Bu reaksiyon ekzotermik (ısı veren) bir reaksiyon olup, yaklaşık 64 g.kJ/mol değerinde bir ısı açığa çıkar. Yüksek ısı ve pH sayesinde patojen bakterilerin de tamamen ölmesi sağlanmış olur. Sistemin dezavantajı ise, çamurun pH'ının düşmesi halinde mikroorganizmaların aktivitelerini tekrar kazanması durumunda ilave kireç verilmesidir. Çamurun katı madde muhtevisini düzenli bir karışım ve yığın haline getirilmesiyle birlikte 2-3 hafta içerisinde %50'nin üzerine çıkması sağlanmış olmaktadır (Öztürk vd 2016).

Sönmemiş kireç, çamur içerisinde aşağıdaki eşitlik 2.2.'de verildiği gibi davranmaktadır.



Bu işlemin en önemli iki özelliği, çamur içerisindeki suyu Ca'a bağlayarak susuzlaştırılmasının kolaylığı, ısı ve pH'ın artması ise patojenlerin gideriminde önemli

rol oynar (Vesilind *et al.* 1988). Çamur ve sönmemiş kirecin homojen karışımı esnasında sönmemiş kireç çamurdaki su ile tepkimeye girerek kendine bağlar. Sönmemiş kirecin kendi ağırlığının %32'si kadar suyu sönmüş kireç haline dönüştürebilme kabiliyeti olduğundan dolayı belirli bir oranda çamurda kuruma gerçekleşmekte ve sıcaklık yükselmektedir (Akyarlı ve Şahin 2005).

Kurutma:

Çamur içerisindeki suyun termal ısı ile işlem kullanılarak buharlaştırılması ve esasen dezenfekte edilmiş, kokusuz, nem bakımından (%5 ila 10 oranında nem) düşük bir ürün elde edilmesi işlemidir. (Vesilind *et al.* 1988).

Yakma:

Çamurun bertaraf yöntemlerinden biride yakmadır. Yakma işleminde farklı tip alternatifler kullanılmaktadır. Sadece çamurun yakılması, yakılabilir durumda olan farklı atıklarla birlikte yakılması, enerji üretimi yapan termik santraller, çimento üretimi yapan fabrikalar ve kömür santrallerinde ek yakıt olarak kullanmak suretiyle birlikte yakılması ve alternatif işlemlerden ıslak oksidasyon, piroliz, gazlaştırma, piroliz-gazlaştırma ve piroliz-yanma gibi işlemler sıralanabilir. Bu işlemlerin çamur bertarafında uygulanması ilk kurulum ve işletim maliyetleri açısından toprak ve tarımda kullanıma göre daha pahalı bir seçim olarak karşımıza çıkmaktadır. Yakma işlemi ile, çamurdaki belirli bir seviyede olan organik kirliliklerin tamamen CO₂'e ayrıştırılır. Patojenlerin tamamen yok edilmesi ve ağır metallerin kül formuna geçmesi ile farklı alanlarda kullanım olanakları da sağlanmış olmaktadır. Yakma aynı zamanda etkili bir çamur stabilizasyon yöntemidir. Çeşitli organik maddelerin oksitlenerek ve kokunun ortadan kaldırılmasını ve patojenlerin tamamen yok edilmesini sağlar (Vesilind *et al.* 1988). Yakma işlemi sonunda çamur içerisindeki organik katıların tamamen okside olmasıyla nihai son ürünler olan CO₂, H₂O ve kül'e dönüşmüş olurlar (Alyanak 2014).

Yakma ve birlikte yakma:

Arıtma çamurlarının kalorifik değeri çimento fabrikalarında kullanılan linyit kömürüne eşdeğer özelliktedir. Bundan dolayı bertaraf yöntemlerinden biride, çimento fabrikalarında ek yakıt olarak kullanılabilir olmasıdır.

Çimento fabrikalarında klinker üretilmesinde kullanılan hammadde 1400°C'ye kadar ısıtılmaktadır. Arıtma çamurlarının külü, çimentoda kullanılabilmekte ve bileşim olarak çok yakın bir değere sahip olmasından dolayı her hangi bir olumsuzluk meydana getirmemektedir. Bundan dolayı hammadde ile birlikte yakılması durumunda, külleri çimento içerisinde kalarak katkı maddesi olarak değerlendirilmektedir. Bazı AB ülkelerinde farklı uygulamalar kullanılmaktadır. Bunlar; çamurun yakılması, katı atık ile birlikte yakma ve çimento fabrikalarında yakıt ve/veya hammadde olarak yakma suretiyle değerlendirilmektedir. Tarımda kullanım alternatifinin kesinlikle olmaması durumunda en uygun yöntem olarak çimento fabrikalarında enerji kaynağı ve hammadde olarak kullanılması uygun bir yöntemdir (Alyanak 2014).

Kompostlaştırma:

Atıksu çamurlarının kompostlaştırma işlemi ve biyolojik olarak stabilize edilmesiyle içeriğinde mevcut olan kirletici riskler kontrol altına alınır ve sahip olduğu mikro besin (nutrient) maddeleri ve organik içeriğinin de zenginleşmesiyle son ürün olarak kullanılabilirler. Kompostlaştırmanın amaçlarından bir diğeri ise çamurun belli bir oranda kurutulmasıdır (Öztürk 2015). Kompostlaştırma, atık çamurun biyolojik aktivite ile çürütülmesi işlemi kapsamaktadır (Karimov 2015). Çamurun kompostlaştırılması, ham ve çürütme işleminden geçirilen çamurun ağaç parçaları, talaş, saman veya evsel çöp gibi harici katı maddelerin karışımıyla gözenekli hale gelir ve bir miktar susuzlaştırılarak ve kullanılan mikroorganizmaların ihtiyaç duydukları hava temin edilerek daha faydalı bir ürüne dönüştürülmesidir. Bir başka deyişle çamurun katı veya yarı katı halinde iken içerisine hava üflenilerek oksijenlendirilmesi sağlanarak ve karıştırılarak organik maddelerin aerobik olarak ayrıştırılması işlemidir (Vesilind *et al.*

1988). Kompostlaştırma işleminde önemli miktarda ek katı maddeye ihtiyaç duyulmakta olup, kompost prosesi sonunda elde edilen katı madde elenerek tekrar kullanılabilir bir forma dönüştürülmektedir (Alyanak 2014).

Çamurun toprakta kullanımı:

Çamurun tarımda kullanılması zahiren en kolay bertaraf yöntemi gibi değerlendirilse de, çevre ve insan sağlığı, toprak ve su kirliliği gibi riskleri de beraberinde değerlendirilmesi gereken hususların göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Arıtma çamurları genel itibariyle gübre (besi maddesi), toprak iyileştirme ve kompost haline getirilerek de kullanılabilir. Arıtma çamurları genel itibariyle gübre (besi maddesi), toprak iyileştirme ve kompost haline getirilerek de kullanılabilir.

Tarım sektörü, hasatın iyileştirilmesi ve verimlilik açısından kaliteli gübre ve toprağın da besin kaynaklarına ihtiyaç duymaktadır. Arıtma çamuru, ön çökeltme havuzlarından gelen kum vb. inorganik maddeleri içermesi ve içeriğinde ihtiva ettiği N, P ve K gibi besin kaynağı açısından iyi bir tedarik yöntemidir. Arıtma çamuru tarımsal değeri olan bileşikler içerir, ancak aynı zamanda kirleticileri de içerebilir. Tarımsal değer açısından organik madde, N, P, K, Ca, S ve Mg gibi bileşikler içerir. Bunlarla birlikte patojenlerin varlığı, ağır metaller ve zayıf biyobozunur organik kirleticilerin varlığı çamurun kalitesini olumsuz olarak etkileyen faktörlerdir.

Çamurların geri kazanımı ve nihai olarak bertarafı için arazide (tarım+yeşil alan) uygulaması, arıtma çamurlarının toprak yüzeyine serilmesi veya çok az altına geçecek şekilde dağıtılması olarak tanımlanır.

Arıtma çamurları; tarım alanları, kullanılamayacak durumdaki bozulmuş alanların ıslahı, yapay orman alanları ve çamur depolama alanlarına uygulanabilmektedir. Arazi uygulamalarının hepsinde, arıtma çamurlarının daha fazla arıtımının sağlanması hedefi ile tasarlanmaktadır. Güneş ışığı yardımıyla, topraktaki mikroorganizmalar ve kurumanın da etkisiyle çamurdaki patojen mikroorganizmaların ve toksik organik bileşiklerin birçoğu yok edilmektedir (Alyanak 2014).

Arıtma çamurları, sonuç itibariyle atıksu içerisinde kendi ağırlığıyla çökenilen organik ve inorganik maddeler ve biyolojik proses sonucu oluşan biyokatıdan oluşmaktadır. Dolayısıyla içeriğinde çeşitli mikroorganizmaları içermektedir. Bu patojen mikroorganizmaların (virüs, bakteri, mantar, protozoa ve helmitler) varlığı ve zamanla farklı formlara dönüşmesi insan, hayvan ve bitki sağlığı açısından olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Çamurda bulunan bakteriler ise Salmonella türleri, E.coli, Leptospira, Clostridium, Shigella, Pseudomonas, Listeria, Streptococcus gibi çeşitlendirilebilir (Anonim 2020).

Çamurda çok çeşitli organik kimyasallar bulunabilmektedir. Ülkemizde ve AB ülkelerinde sıkı tedbirler alınmıştır. Yasal kısıtlamalar getirilen organik kirleticiler ise; PAH, PCB, PCDD/F, AOX, LAS, NPE ve DEHP olarak sıralanmaktadır (Anonim 2005). Bunun yanında çamurda birçok ağır metal da bulunabilir. Bu ağır metaller toprakta birikmekle, bitki ve hayvan bünyesiyle insan sağlığını da olumsuz etkileyebilmektedir (Sanin 2007). Organik kimyasallarda olduğu gibi, ülkemizde ve AB üyesi ülkelerde yasal çerçevesi oluşturulmuş olup, çamur içeriğinde ve toprakta kabul edilebilir kriterler belirlenmiştir. Bu kriterlerin bazılarının AB ülkelerinin sınır değerlerinden daha sıkı olduğu durumlarda söz konusudur. Çamurda bulunan başlıca ağır metaller Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Zn, Hg'dır (Anonim 2005).

Arıtma çamurun toprakta uygulanmasına yönelik olarak ülkemizde yürürlükte olan “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik” ve AB’de yürürlükte olan “Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Çamurunun Tarımda Kullanılmasına Dair Direktif (86/278/EEC)” ile yasal çerçeve oluşturulmuştur.

Türkmen ve Arçak (2006) tarafından yapılan çalışmalarda, arıtma çamuru kireçli topraklarda farklı düzeylerde uygulanmış ve araştırma bulgularına göre arıtma çamurunun, toprağın pH, EC, KDK değerleri ile (OM), N, P, K ve NO₃ kapsamalarını etkilediği tespit edilmiştir.

Demirkan vd (2014) tarafından farklı dozlardaki atık su arıtma çamuru uygulamasının *Clarkia amoena* (yer açelyası) bitkisinin üst aksam yaş ağırlığı, üst aksam kuru ağırlığı, kök yaş ve kök kuru ağırlığı üzerine yapılan çalışmalardan elde edilen bulgularda sürgün uzunluğu ve bitki başına çiçek sayısı %1 ve kök uzunluğunun %5 önem düzeyinde etkilendiği, bitkinin sürgün uzunluğu (36,90 cm) ve kök uzunluğunun (19,25 cm) en yüksek değerlerine toprak materyali + %75 atık su arıtma çamuru karışımında, çiçek sayısına ait en yüksek değere (253 adet/bitki) ise toprak materyali + %25 atık su arıtma çamuru karışımından ulaşıldığı, çalışmadaki en düşük değerler ise sürgün uzunluğunda 32,44 cm, çiçek sayısında 133 adet/bitki ve kök uzunluğunda ise 16,25 cm ile beklendiği gibi kontrol ortamı olan atıksu arıtma çamurunun kullanılmadığı toprak materyalinden elde edildiği tespit edilmiştir. Çalışmanın sonuç bildirisinde, arıtma çamurunun yönetmeliklerde belirtilen sınır değerlerinin altında ağır metal içeriğine sahip olması ve toprağında içeriği belirlenerek gerekli ölçümler yapılması halinde süs bitkileri sektöründe alternatif bir bertaraf sahası olarak peyzaj alanlarında kullanılan *Clarkia amoena* türü gibi diğer mevsimlik süs bitkisi türlerinde kullanılmasının önemi belirtilmiştir.

Çamurun toprağa uygulandığı durumlarda bitkiler ihtiyaç duydukları besin elementlerini organik formdayken alamazlar. Bunların mikrobiyal aktiviteyle inorganik forma dönüştürülerek bitkilerin kullanabileceği hale getirilmesi gerekmektedir. Bu uygulamalarda mikroorganizmaların ayrıştırabileceği OM miktarı ölçütlerinden UKM değeri yüksek çamurlar uygulanması halinde yeraltı suyu kirliliğine ve toprağın fiziksel özelliklerinin bazılarında da değişimine sebep olabilmektedir (Turgay ve Koçer 2013). Bu kapsamda çamurun toprakta uygulanması halinde yönetmeliklerde OM içeriğinin sınır değerleri belirlenmiştir.

Arıtma çamurlarının tarımda kullanımı besin içeriğini ve organik özellikleri artırması açısından yararlı olduğu, fakat uzun süreli uygulamalarda riskler oluşturabilecektir. Çamur içeriğindeki OM ve mineral içeriği bitkilerin beslenmesinde önemli katkı sağladığı kadar, yüksek tuz ve ağır metal içeriği risk oluşturmaktadır (Önal vd 2003).

2.3. Ülkemizdeki Mevcut AAT'lerin Durumu

TÜİK'in 22 Kasım 2017 yılında yayınlanan tüm belediyeler için uygulanan 2016 yılı Belediye Atıksu İstatistikleri Anketi sonuçlarına göre; 1.397 belediyeden 1.338'ine kanalizasyon şebekesi ile hizmet verildiği, kanalizasyon şebekesi ile toplanan 4,5 milyar m³ atıksuyun %40,4'ü denizlere, %48'i akarsulara, %2,8'i barajlara, %1,8'i göl ve/veya göletlere, %0,5'i araziye ve %6,5'i ise diğer alıcı ortamlara deşarj edildiği, deşarj edilen atıksuların %85,7'sinin arıtıldığı tespit edilmiştir.

Kanalizasyon şebekesinden deşarj edilen 4,5 milyar m³ atıksuyun 3,8 milyar m³'ü atıksu AAT'lerde arıtıldığı, arıtılan atıksuların %44,5'ine gelişmiş, %31,6'sına biyolojik, %23,6'sına fiziksel ve %0,3'üne ise doğal arıtma işlemi uygulanmış olduğu, arıtılan atıksularında %44,9'unun denizlere, %45'inin akarsulara, %2'sinin barajlara, %1,4'ünün göl ve/veya göletlere, %0,4'ünün araziye ve %6,3'ünün diğer alıcı ortamlara deşarj edildiği, atıksu arıtma işlemleri sonucunda da 299 bin ton (KM bazında) AAT çamuru oluştuğu tespit edilmiştir.

Belediyeler tarafından kanalizasyon şebekesi ile deşarj edilen kişi başı günlük ortalama atıksu miktarı 183 L olarak hesaplanmıştır. Üç büyük şehirde ise günlük kişi başı ortalama atıksu miktarının İstanbul için 226 L, Ankara için 162 L, İzmir için 195 L olduğu tespit edilmiştir.

Ülkemizde yapılan çalışmalarda 2002 verilerine göre 145 AAT varken 2019 yılı ortalarında bu sayı 1.125'e çıktığı, atıksu arıtma tesisinden hizmet alan nüfusun toplam nüfusa oranı oranının ise %86,8 olduğu ortaya çıkarılmıştır (Saygılı 2019).

Belediye atıksu verileri 2012-2016 yılları arasındaki göstergeleri içeren bilgiler Çizelge 2.7'de yayınlanmıştır (TÜİK 2017).

Çizelge 2.7. Belediye atıksu 2012-2016 yılları arasındaki atıksu verileri

	2012	2014	2016
Toplam Belediye Sayısı	2.950	1.396	1.397
Kanalizasyon şebekesi ile hizmet verilen belediye sayısı	2.300	1.309	1.338
Kanalizasyon şebekesi ile hizmet verilen nüfusun belediye nüfusu içindeki oranı (%)	92,2	89,8	89,7
Deşarj edilen toplam atıksu miktarı (milyon m ³)	4.073	4.297	4.484
Denize	1.843	1.915	1.813
Göl-Gölete	75	94	79
Akarsuya	1.817	1.899	2.153
Araziye	36	18	20
Baraja	114	121	126
Diğer ¹	187	250	293
AAT'lerinde arıtılan atıksu miktarı (milyon m ³)	3.257	3.484	3.842
Kişi başı deşarj edilen günlük ortalama atıksu miktarı (L/kişi-gün)	190	181	183

¹Foseptik vb. atıksu deşarjlarını içermektedir.

Belediye sınırları içerisinde oluşan kentsel atıksuların toplanması ve uygun arıtma yöntemleri ile arıtılması ve deşarj edilmesi belediyelerin sorumluluğundadır. 2016 yılı 5 mevcut verilerine göre Türkiye’de 30 adet büyükşehir, 921 ilçe ve 1.397 adet belediye teşkilatı bulunmaktadır. TÜİK verilerine göre AAT sayısı 2004’de 172 iken, 2014 yılında 604’e ulaşmıştır. ÇŞB, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü’nce yapılan çalışma sonucunda 2016 yılı sonunda AAT sayısı 954 olmuştur. Bu tesisler 59.593.958 kişiye hizmet etmektedir. Tesislerin 445 adedi ikincil arıtma, 78 adedi derin deniz deşarjı, 123 adedi paket arıtma, 17 adedi fiziksel arıtma, 198 adedi doğal arıtma ve 93 adedi ise ileri arıtma (BNR)’dır. ÇŞB tarafından yerel yönetimlere, çevre giderlerinde kullanılmak üzere nakdi yardımlar da yapılmaktadır. 2005 yılından Ocak 2017 tarihine kadar 8.513 belediye ve birliklere toplam 1.202.944.581,39 TL yardım yapılmıştır. 2016 yılında toplam 134.449.000,00 TL çevre katkı paylarından gelir elde edilmiş ve bu miktarın 107.740.729,74 TL’lik kısmı ile belediyelere yardım olarak ödeme yapılmıştır (ÇŞB 2019).

ÇŞB (2019) tarafından 2023 yılı Atıksu Eylem Planı'nın hazırladığı ve plana göre 2002 yılında 145 olan AAT sayısının 2015 yılında 653'e yükseldiği, bu tesislere ek olarak 2023 hedefini en üst seviyeye çekerek 1.501 adet tesis daha yapılacağı bildirilmiştir.

Hazırlanan eylem planına göre, 2023 yılına kadar yapılacak çalışmalar;

- Yeni yapılacak AAT'lerin tespiti, bu arıtma tesislerinin türleri ve ilk yatırım maliyetleri,
- Hali hazırda var olan, yenilenecek ve dönüştürülecek AAT, bunların çeşitleri ve maliyetleri,
- Yeni olarak yapılması gereken kanalizasyon sistemleri ve ilk yatırım maliyetleri,
- Ekonomik ömrünü tamamlayıp yenilenmeye ihtiyaç duyulan kanalizasyon sistemleri ve maliyetleri,

Bu tesislerin işletmesinde oluşacak maliyetler ve finansman kaynaklarının belirlenmesi olarak bildirilmiştir.

Ülkemizde bulunan AAT'lerde arıtılan atıksu miktarları ile ilgili daha net bilgilere ulaşmak imkanı daha fazla olmasına karşın, atıksu çamur miktarları ile ilgili net verilere ulaşmak bir hayli güçtür. Üretim miktarlarının değişmesi verilerin alınmasını zorlaştırmaktadır (Salan 2014). AAT'lerin varlığı, çeşitliliği ve arıtılan atıksu miktarlarının belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmakta olup, bu konuda daha kolay bilgi ve belgelere ulaşmak, çamur arıtımı ve betarafı ile ilgili yapılan çalışmalara göre daha kolaydır. Çünkü AAT'ler ile ilgili belirli bir deneyim ve tecrübe kazanıldığından dolayı, ihtiyaç duyulan sistem ve prosesler daha belirgin hale gelmiş bulunmaktadır.

Arıtma çamurları tarımda kullanılmak istenildiğinde; öncelikle toprağın özellikleri, çamurun hangi sıklıkla uygulanması gerektiği, toprakta yetiştirilmesi istenen ürünün çeşidi ve ne kadar ihtiyacı olduğu belirlenmelidir. AAT'lerinde üretilen çamurların tarımsal faaliyetlerde değerlendirilmesi düşünüldüğünde, bunların ilk olarak bitki besin elementi içeriği, tuzluluk, pH ve ağır metal içeriği açısından detaylı araştırma ve incelemelerinin yapılması gerekmektedir (Uzun ve Bilgili 2011).

AAT proseslerinin son ürünü olarak oluşan arıtma çamurları ve bunların yönetimi, AAT'lerin işletimi aşamasında ekonomik ve çevresel açıdan büyük öneme sahiptir. Çamur yönetimi, çevreye olumsuz etkileri olan başlıca proseslerdendir. Stabilizasyon işleminden geçirilmiş çamurun nutrient içeriği bakımından zengin oluşu gübre olarak kullanılabilirliğini sağlamaktadır. Aynı zamanda, ısı değeri bakımından uygun olursa ek yakıt olarak da kullanılabilir. Bu sebepten, arıtma çamurları yenilenebilir enerji ve ham madde kaynağıdır. Çamur arıtımında, yoğunlaştırma, stabilizasyon, çürütme, susuzlaştırma, kompostlama, piroliz, yakma, kurutma, ıslak oksidasyon, süper kritik ıslak oksidasyon, düzenli depolama ve fosfor geri kazanımı metotları uygulanır (Yapıcıoğlu ve Demir 2017).

2.3.1. Ülkemizdeki AAT'lerden çıkan çamur miktarı

TÜİK' in belirli yıllarda topladığı ve değerlendirdiği verilere göre, AAT'lerinden çıkan çamurun bertarafı ve geri kazanımına göre oluşan çamur miktarı 299.296 ton kuru madde/yıl olarak verilmiştir. 2016 yılı çamur miktarlarına ait veriler Çizelge 2.8'de belirtilmiştir (TÜİK 2017).

Çizelge 2.8. 2016 yılı arıtma çamur miktarları

Bertaraf ve geri kazanım yöntemlerine göre çamuru miktarı (ton)¹	
Toplam	299.296
Enerji geri kazanım amaçlı yakma	93.940
Düzenli depolama tesisinde bertaraf edilen	83.005
Belediye çöplüğünde bertaraf edilen	62.733
Araziye atılan	7.023
Tarım yararına veya ekolojik iyileştirme amacıyla araziye uygulanan	19.470
Tarımda kullanılan	9.261
Diğer ²	33.125
TÜİK, Belediye Atıksu İstatistikleri, 2016	
¹ Çamur miktarı verileri kuru madde bazındadır.	
² Geçici depolanan, gömülen vb. çamur miktarlarını kapsamaktadır	

2.4. Ülkemizde Arıtma Çamurlarını İşleme ve Bertaraf Yöntemleri

• Ülkemizde AAT'lerden çıkan çamurlara ilişkin geliştirilmiş ve netleşmiş bir ÇY'i bulunmamaktadır. Bu konuda ÇŞB yürüttüğü proje ve çalıştaylar yol gösterici nitelik taşımaktadır. Hali hazırda çamur kaynağına sahip yönetimler maddi imkanları bazında bazı uygulamalar geliştirmiş olsalar da, çoğu sürdürülebilirlik özelliği taşımamaktadır. Ülkemizde genel itibariyle çamur miktarı ve özelliğine göre bertaraf stratejisi seçilmektedir. Tercih edilen bertaraf yöntemlerinden bazıları aşağıda verildiği şekilde sıralanabilir (Hall 2013).

- Arazide kontrolsüz ve vahşi depolama
- Düzenli depolama
- Çimento fabrikalarında ek yakıt olarak kullanma
- Toprak ve mera alanlarında kullanım (tarımda, toprak iyileştirmesinde, refüjler ve çim bitkilerinde vb.)
- Kurutma (direk/indirek ve solar kurutma vb.) + yakma tesisleri (tesisin bünyesinde veya çimento fabrikalarında yakma)
- Araziye yayma, çamur lagünleri ve çamur kurutma yatakları

2.5. Arıtma Çamurlarının Tesis Enerji Verimliliğine Katkısı

AAT'lerin işletilmesinde proses ve mekanik ekipmanlardan kaynaklı fazla miktarda enerji tüketilmektedir. Enerji maliyeti, tesis işletme enerji maliyetinin önemli bir bölümü oluşturmaktadır. Enerji maliyetlerindeki artışlar, AAT'lerde enerji yönetiminin önemini artırmıştır. Ataköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi (AİBAAT) özelinde ve tesis giriş ve çıkış parametreleri kullanılarak yürütülen çalışmada, tesisin maliyet analizi yapılmıştır. AİBAAT'nin 2012 yılı Ocak-Eylül ayları arasındaki veriler kullanılmış, aylık kişi başı harcanan su miktarının 5.007 L, enerji miktarının ise 1.652W/ kişi olduğu bulunmuştur. Tesiste arıtılan atıksu miktarı 9.762.735 m³/ay, üretilen biyogaz miktarının 264.799 m³/ay ve türbinlerden elde edilen enerjinin 1.562,03 MWsa/ay, toplam elektrik tüketiminin 3.221,93 MWsa/ay ve enerji

kazanımının ise %88,78 olduğu bulunmuştur. 1m^3 atıksu arıtmak için tüketilen enerji miktarı 0,213-0,444 kWsa arasında değiştiği görüşmüştür. Tesisin özgül enerji tüketimi, tesisin hizmet verdiği EN başına ve arıtılmış olan atıksu debisi başına 19,8 kWsa/kişi.yıl ve 0,33 kWsa/ m^3 olarak bulunmuştur. Atıksu arıtma tesislerinde enerji tasarrufu, ülkemizde giderek yükselen enerji maliyetlerinin artması sonucu önemli hale gelmiştir (Türkmenler 2017).

2.6. Çamur Yönetimine İlişkin Çalıştay ve Proje Bildirileri

26-28 Ekim 2010 tarihinde Konya/Türkiye’de yapılan Uluslararası Sürdürülebilir Su ve Atıksu Yönetimi Sempozyumu sonuç bildirisinde atıksu çamurları ile ilgili yayınlanan öneriler aşağıdaki gibidir.

- Çamur kalitesinin ve miktarının belirlenerek takip edilmesi, kullanılabilirlik seçeneklerinin ortaya çıkarılması gerektiği,
- Çamur arıtımı ve bertarafı ile ilgili yasal mevzuat ve teknik kriterlerin ortaya konularak çerçevenin çizilmesi gerekliliği,

Nüfusu 20000 kişi ve üstünde hizmet veren arıtma tesislerine çamurun stabilizasyonu için anaerobik çürütücülerin kurulması ve bitki ve toprak için yarar besin kaynağı içeren stabilize edilmiş çamurun toprakta kullanımının teşvik edilerek ülkemizin yıllık 800 milyon TL kazanca geçeceği, gibi konu başlıkları tavsiye ve öneri mahiyetinde belirtilmiştir (Aydın vd 2010).

ÇŞB, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından 25-27 Nisan 2017 tarihinde, atıksu ve arıtma çamurlarının sürdürülebilir yönetiminin güçlendirilmesini ve geliştirilmesini amaçlayan “Türkiye’de Atıksu Yönetimi Çalıştayı” sonuç bildirisinde “ÇY” ile ilgili önemli sonuçlar ve öneriler yayınlanmıştır.

Büyükşehirlerde mevcut ve planlanan tesisler ile ilgili arıtma çamurları için master planları hazırlanması ve bu planın büyükşehir belediyelerinin hazırlamakla yükümlü

olduğu “Atık Yönetim Planı”na entegre edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Çalıştayda değerlendirmeye alınarak öneriler sunulan konu başlıkları aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

- Projelendirme ve işletme aşamasında AAT’lerde çamurun az miktarda oluşturulmasına yönelik proses ve teknolojilerin değerlendirilmesi,
- Arıtma tesisinin tüm aşamalarıyla (enerji üretimi, geri kazanım, çamur arıtma ve işleme vb.) birlikte entegre yönetiminin yapılması,
- Arıtma çamurlarının işlenmesinde (minimizasyon, stabilizasyon, susuzlaştırma, kurutma vb.) tüm yöntemlerin ele alınması ele alınması,
- Arıtma çamurlarının geri kazanımı ve bertarafı (enerji ve fosfor gibi materyal geri kazanımı, toprakta kullanım, fabrikalarda ek yakıt vb.) ile ilgili alternatiflerin belirlenmesi,

Arıtma çamurlarının geri kazanımında ve bertarafında: Tesis, il ve bölgesel bazlı çözümlerine ilişkin bertaraf yöntemleri, geri kazanım alternatifleri ve tesislerin işletimi ile ilgili çözümler üretilmesi gibi öneri ve tavsiyeler sunulmuştur (ÇŞB 2019).

2.7. Bazı Dünya Ülkeleri ve AB’de Çamur Yönetimi

12 Haziran 1986 yılında AB Konseyi tarafından kabul edilerek yürürlüğe giren Kentsel Atıksu Arıtma Tesisleri Çamurunun Tarımda Kullanılmasına Dair Direktif (86/278/EEC) aşağıda belirtilmiş olan bazı hususları içermektedir.

Direktifin amacının, atıksu çamurunun tarımda kullanılmasını doğrudan teşvik ederken, toprak, bitki örtüsü, hayvanlar ve insanlar üzerinde oluşabilecek olumsuz etkinin de en aza indirilmesi olduğu belirtilmiştir.

Direktife göre çamur;

- Evsel ve kentsel atıksu arıtma tesislerinin işletilmesi sonucu oluşan madde,

- Arıtılmış veya işlenmiş arıtma çamuru, kullanımıyla oluşabilecek sağlık risklerini azaltmak için biyolojik, kimyasal veya termal işlemler ile uzun süreli depolama ve/veya bekletme gibi işlemlere tabi tutulmuş çamur" olarak tanımlanır.

Bunun yanında toprak ve çamur içerisindeki ağır metal konsantrasyon değerleri ile çamurun toprağa uygulanabileceği yıllık azami ağır metal miktarlarına ilişkin kısıtlar getirmektedir. Direktif içerisinde yer alan ve Çizelge 2.13, Çizelge 2.14 ve Çizelge 2.15’de sırayla verilen Ek I A, Ek I B ve Ek I C çizelgelerinde çamurun toprakta kullanımına ilişkin sınır değerler verilmiştir. Aynı şekilde, Ek 2 B’de üye devletlerin, toprağın özelliklerini dikkate alarak pH, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg ve Cr analizlerini yaptıracağı, aynı Direktifteki EK 2 C’de ise; toprak örnekleme metotları ve yapılacak analiz yöntemleri belirtilmiştir.

AB Direktiflerine göre çamurun toprakta kullanımına ilişkin sınır değerler Çizelge 2.9, Çizelge 2.10 ve Çizelge 2.11’de detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 2.9. Çamurun toprakta uygulanmasına ilişkin ağır metal konsantrasyonları için sınır değerler (Direktif 86/278/EEC, Ek I A)

Parametre	Sınır Değerler (mg/kg kuru madde KM cinsinden) 6<pH<7
Kadmiyum	1-3
Bakır	50-140
Nikel	30-75
Kurşun	50-300
Çinko	150-300
Civa	1-1,5
Krom	-

Çizelge 2.10. Topraktaki uygulanacak çamurdaki ağır metal konsantrasyonlarının sınır değerleri (Direktif 86/278/EEC, Ek I B)

Parametre	Sınır Değerler (mg/kg kuru madde cinsinden)
Kadmiyum	20-40
Bakır	1.000-1.750
Nikel	300-400
Kurşun	750-1.200
Çinko	2.500-400
Civa	16-25
Krom	-

Çizelge 2.11. Toprakta uygulanacak çamurun on yıllık ortalaması esas alınarak bir yılda tarımsal alana verilmesi istenilen müsaade edilecek ağır metal yükü sınır değerleri (Direktif 86/278/EEC, Ek I C)

Parametre	Sınır Değerler (kg/ha/yıl)
Kadmiyum	0,15
Bakır	12
Nikel	3
Kurşun	15
Çinko	30
Civa	0,1
Krom	-

Direktifte çamurun organik madde içeriği ve sınır değerleri ile çamurun içeriğinde olabilecek toksik maddelerden PAH, PCB ve pestisit gibi maddeler için herhangi bir sınırlayıcı kural getirilmemiş ve sınır değer belirlenmemiştir (EUR-Lex 2019).

21 Mayıs 1991 yılında AB Konseyi tarafından kabul edilerek yürürlüğe giren ve daha sonra 31 Aralık 1998 yılında revize edilip en son 31 Aralık 2005 yılında son halini alan (91/271/EEC) sayılı Kentsel Atıksu Arıtma Direktifi aşağıda belirtilmiş olan bazı hususları içerir;

- Atıksuların arıtılmamasından kaynaklı çevrenin zarar görmemesi için mutlaka arıtılması gerektiği, çevrenin korunması adına her türlü önlemlerin alınması ve hassas

alanlar dikkate alınarak arıtım yapılmasını, deşarj limit değerlerinin belirlenmesi gibi özel hususları kapsar,

- Direktifin Atıksu Arıtma Tesisi çamurları ile ilgili olarak, arıtılmış atıksudan elde edilen çamurun uygun olduğu durumlarda tekrar kullanımına ilişkin zorunluluk da belirtilmiştir (EUR-Lex 2019).

Wiśniowska *et al.* (2019) tarafından yapılan çalışmada; dünyanın büyük ülkeleri ve AB üyesi ülkelerin çamur mevzuatları karşılaştırılmış ve nüfus yoğunluğu, arazi alanları, maliyet ve sosyal kabuller çamur yönetimini etkileyen faktörler arasında olduğu saptanmıştır. İyi gelişmiş ülkelerde çamur yönetimine ilişkin mevzuatlar daha kapsamlı olduğu, bu ülkelerde atık üretiminin minimize edilmesi ve ardından yeniden kullanım tercih edildiği belirtilmiştir. Düzenli depolamanın tercih edilen bir seçenek olmadığı, az gelişmiş ülkelerde ise kontrollü şekilde arazide kullanılmakta ve bertaraf edilmekte olduğu ortaya çıkarılmıştır. Çamurun toprakta kullanımında fosfor geri kazanımının önemli bir yer tutmakta olduğu, çamurun ısıtma işlem görmesinden kaynaklı bu durumun tartışıldığı ve CO₂ emisyonu bakımından çimento fabrikaları ve bazı endüstriler için cazip hale gelmekte olduğu belirtilmiştir.

AB'nin eski ve yeni üye ülkeleri arasında çamurun arıtımı, bertarafı ve değerlendirilmesi ile ilgili ciddi farklılıklar mevcuttur. Bundan dolayı, standartların yükseltilmesi adına fonlar vasıtasıyla AB üyesi ülkelere ve üyeliğe aday ülkelere hibe krediler sağlanmaktadır.

Atıksu Çamur Yönetimi ve çamur mevzuatları AB'nin 27 ülkesinde karşılaştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Belediye AAT'lerde arıtma sonucu önemli miktarda çamur çıkar ve bu çamurun bertarafından önce uygun ve kabul görmüş bir yöntemin olması gerekir. AB'de çamur yönetimi ile ilgili Avrupa mevzuatı eski olduğundan ve üye ülkeler arasından bir çamur bertaraf ve işlenmesi ile ilgili verilen de eksik olmasından dolayı sorun oluşmaya başlamış, mevcut durumun iyileştirilmesi ve bu mevzuatın ana hatlarının belirlenmesi adına çamur yönetimi ve bertarafı tartışılmaya başlanmıştır.

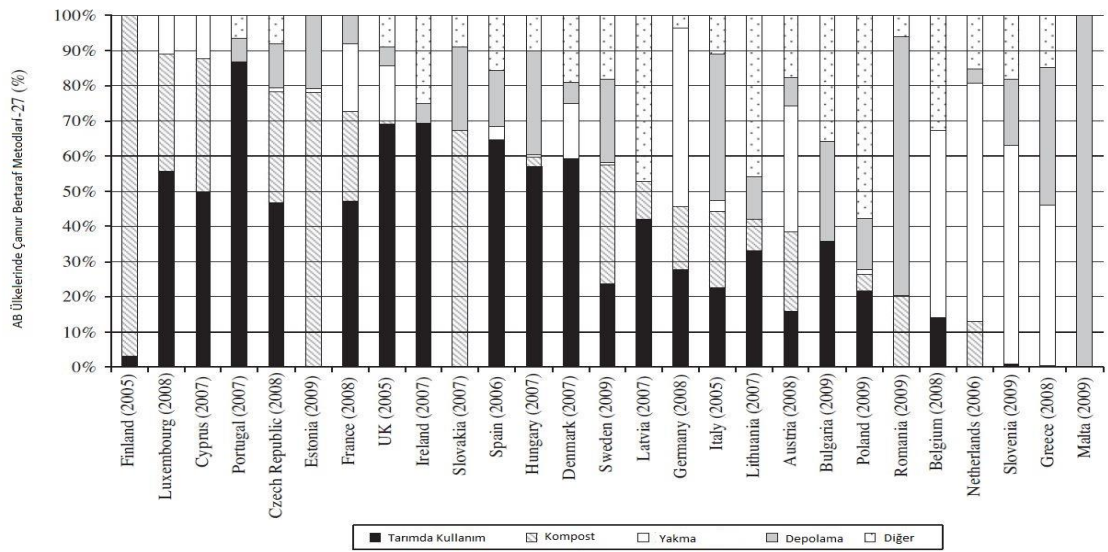
AB ülkeleri arasında ÇY, EN'a göre farklılıklar arz etmektedir. AB Konseyi tarafından çıkartılan Kentsel AAT çamurunun toprak/arazi uygulamalarını teşvik amacıyla Arıtma Çamurlarının Tarımda Kullanılması Direktifi (86/278/EEC), 1986 yılında yürürlüğe girmiştir. Direktif şartlarının katı olmasından, çamurun toprakta kullanılması kabul edilmiş, buna bağlı olarak çamurun toprakta kullanımında ağır metaller, patojenler ve organik mikrokirleticiler için sınır değerler belirlenmiştir.

AB ülkelerinde çok çeşitli çamur arıtma teknolojileri kullanılmakta iken, üye ülkeler arasında da farklılıklar göze çarpmaktadır. Çoğunlukla stabilizasyon yöntemleri olarak anaerobik ve aerobik çamur çürütme yöntemleri kullanılmaktadır. Çamur kurutma yataklarına oranla çamur susuzlaştırma ekipmanları daha çok tercih edilmiş, termal kurutma ise AB'nin eski üye ülkelerinde 15'inde ve özellikle Almanya, İtalya, Fransa ve İngiltere gibi ülkelerde tercih edilmektedir.

Çamur bertarafı ile ilgili olarak, AB'nin ilk 15 üye ülkesinde (yani %53'lük bir dilimde) çamurun yeniden kullanımı (doğrudan tarımda ve kompostlaştırma dahil) çamur yönetiminde en yüksek seçenek olarak görülmektedir. Diğer yandan (2004 yılından sonra AB'ye üye olan 12 yeni devlet) yeni üye devletlerde kullanılan diğer seçenek düzenli depolama alınmalarıdır. AB'de İlk olarak 1991'de hazırlanarak 1998'de revize edilen Kentsel Atıksu Direktifi (91/271/EEC) ile 2005 yılından itibaren, atıksu yönetimi alanında daha sıkı kalite standartları getirmesi nedeniyle, 12 yeni üye ülkede önümüzdeki yıllarda mevcuttan daha fazla atık düzenli depolama alanlara geleceği beklenmektedir.

AB'nin 27 üye ülkesinde 2020 yılına kadar tarımda yeniden kullanım ve çamur yakma seçenekleri ana uygulamalar olarak değerlendirilmektedir. Bu bertaraf yöntemlerinin toksik bileşiklerin kontrolü ve uzaklaştırılması, patojenlerin giderilmesi, koku kontrolü ve insan ve çevrenin korunmasının sağlanması gibi çamur arıtma teknolojilerinin gelişmesi sonucunu doğuracaktır.

Çamur uygulamalarında anaerobik ve aerobik çamur çürütme en uygun kullanılan stabilizasyon yöntemi, termal kurutma çoğunlukla ilk 15 eski üye ülkelerde kullanılmakta ve çamur bertaraf yöntemleri konusunda eski ülkeler ile yeni üye ülkeler arasında ciddi farklılıklar bulunmaktadır. Finlandiya çevre açısından, ÇY'ini ülke bazında kabul eden ilk üye ülke olma özelliğine sahiptir (Kelessidis and Stasinakis 2012). AB'ye üye ülkelerin çamur bertaraf yöntemlerine ait dağılımının gösterimi Şekil 2.10'da verilmiştir (Kelessidis and Stasinakis 2012).



Şekil 2.10. AB üye ülkelerinde çamur bertaraf yöntemlerinin dağılımı

Çamur bertarafında öncelik stabilizasyon ve susuzlaştırma olarak kabul edilmiştir. En popüler ve kullanımı yaygın olan ise, tarımda uygulama, depolama ve yakma olarak karşımıza çıkmaktadır (Kelessidis and Stasinakis 2012). AB üye ülkeleri arasında çamurun bertarafı hususunda seçilen yöntemlerde en çok kullanılanı tarımda kullanımdır (%32), takiben depolama (%25), kompostlaştırma (%13) ve yakma (%13) olarak ortaya çıkmaktadır (ISWA 2019).

AB ülkelerinde çamur bertarafındaki değişimi gösteren rakamsal değerler Çizelge 2.12'de verilmiştir (Øegaard 2004).

Çizelge 2.12. AB’de çamur üretimi (Kuru Madde, KM)

	Çamurun Kullanımı	Yakma	Depolama	Toplam
1984				
1.000 ton	2.057	518	3.988	5.563
% toplam	37	9	54	100
1992				
1.000 ton	2.504	715	3.257	6.476
% toplam	39	11	50	100
2000				
1.000 ton	3.617	2.088	3.200	8.906
% toplam	40	24	36	100
2005				
1.000 ton	4.576	3.872	1.615	10.063
% toplam	45	38	17	100

Çizelge 2.12’ye bakıldığında AB’de çamur miktarındaki ciddi oranda bir artış görülmekte olup, bu artışa bağlı olarak yıllar bazında bertaraf yöntemlerinde de stratejinin değişim gösterdiği görülmektedir. Çamurun kullanımı ve yakma yöntemlerinde artış olurken depolama bertaraf yöntemi olarak tercih edilmemeye başlanmıştır. Bu durumun çamur minimizasyonunun gerekliliğini ortaya koymaktadır.

İrlanda da yapılan çalışmalarda ÇY’ne ilişkin bazı uygulama ve direktifler oluşturulmuştur.

2014 yılında yapılan çalışmalarda, tesislerin 31 lokal merkezden kontrol edildiği, bunlardan 856 adeti içmesuyu ve yaklaşık 1.000 adedi ise AAT’dır. Bu kapsamda çamur yönetim sistemi ve varlık yönetim sistemi kurulmuştur. İrlanda ilk olarak Ulusal Atıksu Çamur Yönetim Planını geliştirmiştir.

Atıksu arıtma proseslerinden üretilen çamurlar, yeniden kullanılmadan ve bertarafından önce bir takım işlemlerden geçirilir. Atıksu çamuru, içeriğinde başlıca organik maddeleri içermesinin yanında, arıtma esnasında giderilen ve çamur içerisine geçen kontamine maddeleri de barındırır. Bu çamurların güvenli ve verimli bir şekilde tekrar kullanımı veya tamamen bertarafının yapılması için arıtma işlemleri gerektirmektedir.

Geliştirilen plan çerçevesinde, İrlanda atıksuyunun nasıl arıtılacağı ve yönetileceği, bu amaçlar doğrultusunda çamurun nasıl arıtılacağı, yeniden kullanımı ve bertaraf edilmesine yönelik sürdürülebilir öneriler geliştirmiş olup, bunlar aşağıda sıralanmıştır (Water 2016).

- İnsan sağlığını tehlikeye atmamak ve çevreye zarar vermekten kaçınmak,
- Atıksu çamurunun toprak düzenleyici veya besin kaynağı (gübre) olarak kullanılmasında en üst seviyede faydalanmak,
- Yasal düzenleme ve kanunlar çerçevesinde hareket etmek ve yasal olmayan uygulamalardan kaçınmak, sektörlerin rehberliğine önem vermek,
- Çamurun yeniden kullanımı/ bertarafında uzun vadede güvenilir ve sürdürülebilir metotları oluşturmak,
- Çamurun yeniden kullanımı/ bertarafında uygun maliyetli ve verimli arıtma teknikleri geliştirmek,
- Çamurun kaynağında azaltılması ve taşıma maliyetlerinin uygun hale getirilmesini sağlamak,
- Ekonomik faydaya dönüştürülebilecek enerji ve diğer kaynakları ortaya çıkarmak,
- İşletme verimliliğini artırmak için merkezler kurmak.

Andreadakis *et al.* (2002) tarafından yapılan araştırma sonuçlarına göre; AB üyesi olan Yunanistan'da yıllık üretilen çamur miktarı 76.000 ton KM olduğunun tahmin edildiği, atıksu arıtma tesislerinin çoğunda çamur arıtma işlemleri olarak yoğunlaştırma, çamur stabilizasyon ve susuzlaştırma yöntemleri kullanıldığı tespit edilmiştir. Aerobik stabilizasyon yönteminin, tesislerin %80'inde sıklıkla kullanılan başlıca yöntemlerden olduğu, Arıtma tesislerinin hizmet verdiği nüfus %33 gibi küçük bir değere haiz olduğu, en büyük atıksu arıtma tesislerinin Atina ve Selanikte bulunduğu belirtilmiş olup, bu tesislerde anaerobik çamur stabilizasyon işlemi uygulanmakta olduğu ve üretilen biyogazdan enerji geri kazanımı sağlandığı tespit edilmiştir. Kurutma yatakları ile susuzlaştırmanın sıklıkla yapıldığı (%40 küçük tesislerde) ve bu durumun bazı problemleri de beraberinde getirdiği (arazi ihtiyacı, koku, işçilik vb.) fakat son 5-6 yıl

içerisinde eski ve küçük tesislerde çamur kurutma yatakları yerine belt filtre preslerin çamur susuzlaştırmada kullanılmaya başlandığı belirtilmiştir.

Yang *et al.* (2015) tarafından yapılan çalışmalarda şu sonuçlar elde edilmiştir. Çin dünyanın en kalabalık nüfusa sahip ülkesi olup, çok fazla miktarda çamur üretilmesi büyük sıkıntı yaratmış ve bu durumun endişelere sebep olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle çamur üretimi, çamur yönetimi, arıtımı ve bertarafının gözden geçirilmesi gündeme gelmeye başladığı, çamur üretimin 2007 yılından 2013 yılına kadar %13 artarak 6,25 milyon ton kuru maddeye ulaştığı, fakat Çin'deki kişi başı üretilen çamur miktarı gelişmiş ülkelere göre daha az olduğu, ülkenin çamur yönetimi konularında oldukça zayıf, çıkarılan yasa ve mevzuatların yetersiz olduğu ve çamur İdarelerinin birbiriyle uyumsuz olarak çalıştığı belirtilmiştir. Çamur arıtımı ve bertarafı konusunda ülke genelinde en yaygın kullanılan tekniğin çamur yoğunlaştırma, şartlandırma, çürütme, susuzlaştırma ve ardından arazide bertaraf olduğu belirtilmiştir.

Çamur yönetimi, lokal bazda bertaraf zorluklarının ve daha sıkı çevresel kalite ihtiyaçlarının artması nedeniyle giderek çok karmaşık bir problem haline gelmektedir. Konvansiyonel işleme sistemleri üzerine en önemli gelişme, bertaraf metodunda ön şart olarak çamur stabilizasyon ve susuzlaştırmanın yapılması kabul edilmiştir. Çamur bertaraf opsiyonları arasında tarımda kullanım ve düzenli depolama ile birlikte yakma işlemine de ilgi artmış durumda. Yeni prosesler, alternatif öneri ve deneyimler mevcut fakat bu konuda daha fazla araştırma ve geliştirmeye ihtiyaç olduğu aşıkardır (Spinosa *et al.* 1994).

Hollanda'da atıksu arıtma tesislerinden çıkan çamur %25 oranında susuzlaştırılmasının ardından, içeriğinde ağır metal içermesinden dolayı tarımda kullanılmasına izin verilmeyerek direk olarak yakma ünitesine gönderilerek bertaraf edilir (Geilvoet *et al.* 2010). Hollanda'da ülke genelinde Çamur Yönetim (ÇY) sistemi oturmuş durumunda olmasının başlıca nedeni kendi teknolojilerini üretiliyor ve pazarlayabiliyor olmasıdır. Özellikle yakma, kurutma ve kompost üretim tesisleri yaygın olarak kullanılan çamur bertaraf tesislerindendir. Ülkede toprak en değerli varlık olarak kabul edilmektedir.

Li (2000) tarafından yapılan çalışmada, ABD'nin Kalifornia ve Arizona eyaletlerinde, 1998 yılında üretilen ve AAT'lerden çıkan çamuru susuzlaştırılmasının ardından bertarafı veya yeniden kullanılması adına uygun yerlere taşındığı ve sözleşmeli arazi uygulayıcıları tarafından kullanıldığı belirtilmiştir.

AB ülkelerinde çamurun toprakta uygulanışı, tamamen kayıtlı çiftçiler üzerinden yapılarak planlı ve kontrollü olarak yapılmakta olup, bu konuda çiftçi dernekleri vb. birlikler kurulması uygulamayı kolaylaştırmaktadır.

2.8. Ülkemizde Çamur Arıtımı ve Bertarafına İlişkin Yasal Çerçeve

11/8/1983 tarih ve 18132 Sayı ve 2872 no'lu Çevre Kanunu çerçevesinde, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nca yürütülen yönetmelik, tebliğ ve yönergelerle atıksuların arıtılması, su kirliliğinin önlenmesi ile ilgili idari hukuki ve teknik çerçevenin belirlenmesi, arıtma metotlarının belirlenmesi, atıksuyun geri kazanımının değerlendirilmesi, atıksu deşarj ve dezenfeksiyonu ile ilgili çerçevenin çizilmesi, çamurların arıtılması, depolanması ve toprakta kullanımı gibi hususların belirlenmesinde aşağıda belirtilmiş olan mevzuatlar hazırlanmış ve yürürlüğe girmiştir (Anonim 1982).

Ülkemizde mevcut çevre mevzuat da arıtma çamurlarının yönetimi'ne dair yasal çerçeve yönetmeliklerde yer almaktadır. Bu amaçla, tüm yönetmeliklerin ilgili maddeleri genel itibariyle incelenerek çamur yönetimi ile ilgili mevzuat ve hükümler incelenmiş olup, Ekler'de detaylı bir şekilde verilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada Erzurum Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi (ERBASAT) seçilmiş ve Türkiye’deki mevcut atıksuların durumu, AAT’lerinde üretilen çamurlar ve materyal olarak seçmiş olduğumuz tesisin atıksu ve çamur verileri ile daha önce ÇŞB tarafından yapılan araştırma ve çalışma bulgularından elde edilmiş olan veriler incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Ayrıca çamur yönetimi, arıtma çamurlarının arıtımı ve bertarafı ile ilgili yapılan yasal düzenlemeler çerçevesinde değerlendirmeler yapılmıştır.

3.1.1. ERBASAT’ın tanıtımı

3.1.1.a. Genel bilgilendirme

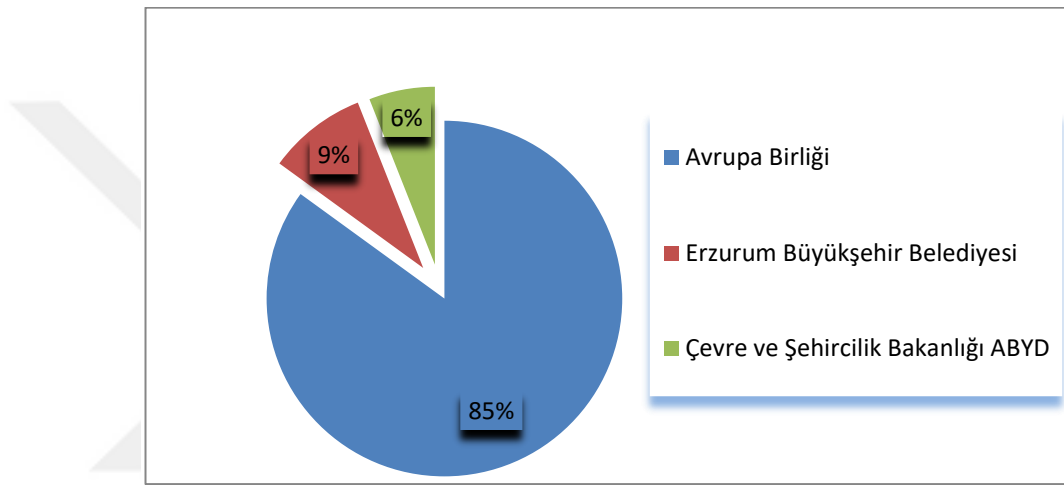
Ülkemizin AB’ye uyum süreci kapsamında çevre alanındaki mevzuat uyumlaştırma ve uygulamalarla ilgili yükümlülüklerini karşılayabilmesine destek sağlamak amacıyla, AB IPA Fonları’nca sağlanan mali yardımın 2005 yılı programlaması altında çevre başlığına yönelik olarak ÇOB bugünkü adıyla ÇŞB tarafından “Türkiye’de 15 Belediye için AAT Yapılmasına Yönelik Teknik Yardım” destekleri kapsamında projeler hazırlanmıştır.

Projenin amacı, Türkiye’nin çevre korumasına yönelik olarak AB müktesebatına uyumun sağlanması için Türkiye’nin katılım sürecini hızlandırmak olmuştur.

Bu kapsamda Erzurum BŞB ile ÇŞB arasında yapılan protokol dahilinde AB’ye uyum çerçevesinde “Çevre” başlığı altında bir sözleşme imzalanmış ve “Erzurum Atıksu Arıtma Tesisi ve Dere Rehabilitasyonu Dahil Atıksu Kollektörleri İnşaatı Yapım İşİ” kapsamında tesis tamamlanmıştır.

3.1.1.b. Proje finansmanı

Projenin toplam finansmanı Şekil 3.1’de görüldüğü gibi, %85’i AB IPA Fonları’ndan ve %15’i ise ulusal kaynaktan (%6’sı ÇŞB’nin hibesi ve %9’u ise Erzurum BŞB katkısı) sağlanmıştır. Projenin yürütücülüğü ve koordinasyonu; aynı Bakanlık bünyesinde kurulan ABYD Başkanlığı tarafından yapılmıştır (ESKİ 2019).



Şekil 3.1. Proje finansman oranları

3.1.1.c. Proje dizayn parametreleri

ERBASAT’ın biyolojik arıtmanın gerçekleştiği proses havuzları maksimum 130.000 m³/gün atıksuyu arıtabilecek kapasitede dizayn edilmiş ve inşaatı tamamlanmıştır. Tesis; iki kademeli olarak dizayn edilmiş olup, birinci kademesi 444.934 kişilik evsel nüfusa ve 56.700 kişilik endüstriyel nüfusa göre, ikinci kademesi ise 528.595 kişi evsel nüfus ve 58.733 kişi endüstriyel nüfusa hizmet verebilecek şekilde genişletilebilecektir. Ön arıtma ünite binaları 2. kademeyi kaldıracak şekilde inşa edilmiş, fakat ekipmanları temin edilmeyerek ihtiyaç duyulan yıllara bırakılmıştır.

Proses seçimindeki hesaplar ATV-DVWK-Alman Standartlarına (ATV 131-E) göre yapılmış olup, C gideriminin yanısıra nitrifikasyon ve denitrifikasyon proseslerinin de gerçekleştiği, N giderimine dayalı bir aktif çamur prosesi olarak boyutlandırılmıştır.

Tesis; Erzurum ilinin batısında, Aziziye ilçesinin yakınında bulunan Kuşçu Köyü mevki, Ferah mahallesi bitişiğinde, Karasu nehri ve Pulur çayının kuzeyinde yer almakta olup, şehir merkezine yaklaşık olarak 20 km mesafededir.

Arıtılan suyun deşarj noktası, Fırat Nehri'nin başlangıcı ve en büyük kollarından biri olan Karasu Nehri'dir. ERBASAT'a ait uydu görüntüsü Şekil 3.2'de, üstten görüntüsü ise Şekil 3.3'de verilmektedir (ESKİ 2019).



Şekil 3.2. ERBASAT'ın uydu görüntüsü



Şekil 3.3. ERBASAT’ın üstten görüntüsü

Ülkemizdeki su kaynaklarının korunması ve su kirlenmesinin önlenmesi amacıyla 2872 sayılı Çevre Kanunu’nun SKKY’ne göre evsel nitelikli atıksuların alıcı ortama deşarj kriterleri dikkate alınarak ERBASAT’a ait dizayn aşamasında kabul edilen parametreler ve debi miktarlarına ait veriler Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Tesis dizaynında kabul edilen parametreler

Parametreler	Birim	Dizayn Değerleri	Deşarj (SKKY ¹)	Limitleri
KOİ	mg/L	631	<90	
BOİ	mg/L	321	<25	
AKM	mg/L	343	<35	
TN	mg/L	54	<10	
TP	mg/L	13	-	
pH	-	6-9,5	6-9,5	

¹ Gazete, R. (2004). Su kirliliği kontrolü yönetmeliği. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Karar, 8289.

Çizelge 3.2. Tesis girişi debi (kapasite) değerleri

Debi	Birim	1.Kademe (2025)	2.kademe (2040)
Minimum (Ort. Kuru Hava)	m ³ /sa	1.658	2.210
Maximum (Yağışlı hava)	m ³ /sa	5.434	7.265
Günlük ortalama (Maksimum Kuru)	m ³ /sa	2.602	3.468

ERBASAT’da atıksuyun arıtılması sonucu oluşacak olan çamur miktarlarına ait dizayn hesapları ve kuruluk oranları Çizelge 3.3’de ve tesis giriş kirlilik yükleri Çizelge 3.4’de verilmektedir.

Çizelge 3.3. Dekantör çıkış çamuru kuruluk oranı ve miktarları

Parametreler	Birim	Kuruluk	Kirlilik Değerlerine Göre Günlük Çamur Miktarları (ton/gün)		
KM Oranı	%	≥ 25	Alt Limit 30	Ortalama 45	Üst Limit 60

Çizelge 3.4. Tesis girişi kirlilik yükleri

Parametreler	Birim	1.Kademe (2025)	2.kademe (2040)
KOİ	kg/gün	39.389	52.015
BOİ ₅	kg/gün	20.050	26.430
AKM	kg/gün	21.399	28.019
TN	kg/gün	3.385	4.546
TP	kg/gün	823	1.083

ERBASAT’a ait atıksu, çamur ve biyogaz hatlarını gösterir akım şeması Şekil 3.4’de verilmektedir.

3.1.1.d. Tesisin ana hatlarının işleyiş özeti

AAT'leri genel itibariyle atıksu arıtım ve çamur işleme olmak üzere iki hatta ayrılarak işletilmektedir. Tesiste bulunan hatlardaki üniteleri gösteren bilgiler Çizelge 3.5'te verilmektedir.

Çizelge 3.5. Tesise ait proses üniteleri

Atıksu Arıtma Hattı	Çamur Çürütme, Susuzlaştırma ve Enerji Üretim Hattı
Kepçe Tipi Kaba Izgara ve By-Pass Yapısı	Birincil Çökeltme Çamuru Yoğunlaştırma Tankı
Izgara Binası (Mekanik Kaba Izgaralar, Giriş Pompaları, İnce Izgaralar, Kum tutucu Blowerleri, Kum ve Yağ Ayırma Ekipmanları vd)	Çamur Binası (Fazla Çamur Mekanik Yoğunlaştırıcıları, Polielektrolit Hazırlama Üniteleri, Çamur Susuzlaştırıcılar (Dekantör), Süzüntü Suyu ve Fazla Çamur Depoları vd)
Izgara Binası Biyofiltre (Koku Giderim) Ünitesi	Çamur Binası Biyofiltre (Koku Giderim) Ünitesi
Havalandırılmalı Kum ve Yağ Tutucu Tankları ve Giriş Ultrasonik Debimetresi	Acil Durum Çamur Depolama Sahası
Ön Çökeltme Tankları	Anaerobik Çamur Çürütme Tankı
Ön Çökeltme Havuzu Çamur Pompa Odası	Çürümüş Çamur Depolama Tankı
Ara Pompa Terfi İstasyonu, Fazla ve Geri Devir Pompa İstasyonu	Biyolojik Kükürt Giderim Ünitesi (Desülfürizasyon)
Biyolojik Proses Havuzları (Aerobik ve Anoksik)	Biyogaz Depolama Tankı (Gas Holder)
Blower (Hava Üfleyiciler) Binası	Atık Gaz Yakma Bacası (Gas Flare)
Son Çökeltme Havuzları	Teknik Galeri (Isı Eşanjörleri, Biyogaz Basınçlandırma Odası, Gaz Arıtım Filtreleri, Isı Üretim Kazanları vd)
Çıkış Elektromanyetik Debimetre Cihazı ve Kullanma Suyu Arıtım Ünitesi	Biyogazdan Isı ve Enerji Üretimi, Kojenerasyon Ünitesi

Atıksu Arıtma Hattı:

Kanalizasyon sistemi ile ERBASAT'a gelen atıksu, önce 8 cm aralıklı kepçe tipi giriş kaba ızgarasından geçmektedir. Daha sonra 2 cm aralıklı mekanik temizlemeli kaba ızgaradan geçirilmesi sonucu atıksu içerisindeki 2 cm ve üstündeki katı atıklar tutulmaktadır. Atıksuyun takip eden ünitelere cazibeyle iletilebilmesi için yaklaşık 6,8 m terfi pompalarıyla yükseltilmekte ve sonra 6 mm aralıklı mekanik temizlemeli ince ızgaradan geçirilerek mekanik aksamla zarar verecek maddelerin atıksudan ayrılması sağlanmaktadır. Izgara ünitesinden geçen atıksu iki bölmeli havalandırılmalı kum ve yağ tutucuya girerek inorganik madde olan kumlar havuz dibine hava yardımıyla çökeltilmektedir. Yüzen maddeler ise (yağ, köpük vb.) havuz yüzeyinde biriktirilerek atıksudan ayrıştırılmaktadır. Atıksu daha sonra ön çökeltme havuzlarına girmekte ve debiye bağlı olarak burada dinlendirildikten sonra savaklanan atıksu ara terfi merkezine girmekte ve buradan biyolojik proses tanklarına gönderilmektedir.

Ara terfide yükseltelen atıksu havalandırma havuzlarına iletilerek nitrifikasyon-denitrifikasyon olaylarının gerçekleşmesi ile atıksudaki N, C, P ve diğer kirleticilerin giderilmesi sağlanmaktadır. Havalandırma havuzlarının çıkış suyu son çökeltme ünitesine iletilmektedir. Son ünite olan son çökeltme havuzlarında debiye bağlı olarak atıksu dinlendirilerek savaklanan arıtılmış su önce Pulur çayına ve sonra 50-100 m yakınındaki Karasu nehrine, dibe çöken çamurda havuz dibinden alınarak cazibeyle ara terfi pompa istasyonuna ve buradan fazla çamur pompalarıyla çamur binasına gönderilmektedir.

Çamur Çürütme, Susuzlaştırma ve Enerji Üretim Hattı:

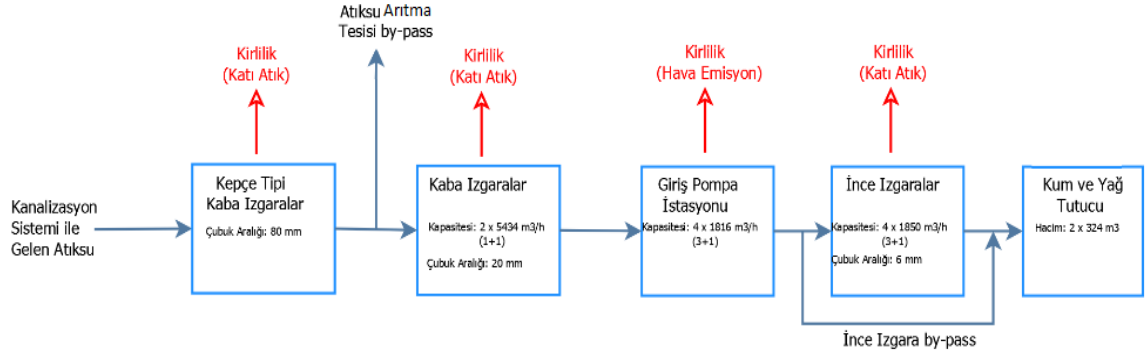
Atıksu, ön çökeltme havuzunda dinlendirildikten sonra havuz dibine çökelen ham çamur sıyırıcı köprü vasıtasıyla çamur hunilerine ittirilmektedir. Burada biriken ön çamurun KM muhtevasının artması için ön yoğunlaştırma tankına pompalarla basılarak dinlendirilmekte ve dinlendirilen çamur havuz dibinden emilerek çürütme tankına basılmaktadır. İlk ham çamur çürütme tankına basılırken çürümüş çamur ve mekanik

belt yoğunlaştırıcılardan gelen fazla çamur ile karıştırılmakta ve ısı eşanjörlerinde 36-40°C'ye kadar ısıtılmaktadır. Çürütücü tanklar içerisine basılan çamurun homojen dağılımının sağlanması için tank içerisinde bulunan pedallı, doğrusal milli karıştırıcı yardımıyla 24 saat karıştırılmaktadır. 15-20 gün arasında olan bekletme süresi, 18-20 gün arasında uygulanmakta ve bu süre sonunda çürütülmüş ve stabil hale gelmiş çamur, çürütülmüş çamur depolama tanklarına alınmaktadır. Çamur çürütücülerde üretilen ve tank üstünde biriktirilen biyogazda, fiziksel (çakıl filtrelerden geçilmesi) ve biyolojik (biyolojik ortamda H₂S'in arıtılması) arıtma işlemlerinin ardından gaz depolama tankına iletilmektedir. Çürütülmüş çamur tankı, çamur binası ile AÇÇ arasında bir nevi depo görevi görmekte olup, çamur binası içerisinde bulunan monopompalar çürütülmüş çamuru çamur susuzlaştırma işlemi için santrifüj dekantörlere basmaktadır. Santrifüj dekantörlere basılan çamur, önce susuzlaştırmaya yardımcı eleman olarak seyreltilmiş polimerle karıştırılıp çamur %22-25 KM muhtevasına getirilmektedir. Gaz tankında depolanan biyogaz, ısı ve güç ünitesindeki gaz jeneratörlerinde yakılmak suretiyle tesisin ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisi elde edilmekte ve bu enerji tesis içerisinde kullanılmaktadır.

3.1.1.e. Tesis prosesinin işleyiş ve tanımları

1. Ön (fiziksel veya mekanik) arıtma

ERBASAT'a ait atıksu ön arıtma hatlarını gösterir akım şeması Şekil 3.5'te verilmektedir.



Şekil 3.5. Ön arıtma akım şeması

a. Kepçe tipi kaba ızgara

Kanalizasyon sisteminden 2.400 mm'lik beton boru ile -4,66 m'den gelen atıksular kepçe tipi kaba ızgara ünitesine girmektedir. Kaba ızgaranın çubuk aralığı 80 mm olup, kanalizasyona karışarak atıksu ile gelen 80 mm'den iri plastik malzeme, ahşap malzeme, inşaat atıkları vb. maddeleri tutarak kendinden sonraki ekipmanlara zarar vermemesini sağlamış olur. Tutulan atıklar kepçe tip ızgara ile taşınarak konteynırlara boşaltılmakta ve kapasitesi 5 m³/gün olan katı atık konteynırı taşıma (skip-loader) aracı ile düzenli depolama sahasına gönderilmektedir. Izgaranın olduğu bölümde aynı zamanda tesis by-pass kanalı yer almakta olup, tesiste oluşabilecek arıza durumlarında ızgara kapakları kapatılarak atıksu kepçe tipi ızgaradan geçirildikten sonra by-pass edilmektedir. Kepçe tipi kaba ızgara için tasarım değerleri Çizelge 3.6'da verilmiştir. Aynı zamanda kepçe tipi ızgarada tutulan atıklar Şekil 3.6'da ve atık konteynırlarını taşıma kamyonuna ait görüntüler Şekil 3.7'de verilmektedir.

Çizelge 3.6. Kepçe tip kaba ızgara özellikleri

Otomatik Kontrollü Kepçe Tip Kaba İzgara	Miktar	Birim
Kaba (kepçe) ızgara	1	adet
Hat kapasitesi	5.500	m ³ /sa
Çubuklar arası açıklık	80	mm



Şekil 3.6. Kepçe tipi ızgarada tutulan katı atıklar



Şekil 3.7. Izgara ve kum atık konteynırlarını taşıma kamyonu (skip-loader)

b. Mekanik temizlemeli kaba ızgara

Kaba ızgaralar, koruyucu ekipman olarak tesisin ilk ünitesinde yerleştirilmiştir. Kepçe tipi kaba ızgara'dan geçen atıksu, otomatik temizlemeli kaba ızgara ünitesine girmektedir. Kaba ızgaraların çubuk aralığı 20 mm olup, evsel atıksu ile gelebilecek 20 mm'den daha iri olan çöp, naylon, bez, ahşap malzeme vb. maddeler burada tutulmaktadır. Bu maddelerin arıtma tesisinde mevcut mekanik ekipmanlara zarar vermemesi ve boru hatlarında tıkanıklık oluşturmaması için atıksudan uzaklaştırılması gerekmektedir. Otomatik temizlemeli kaba ızgaralarda tutulan atıklar konveyör sistemleri ile konteynırlara boşaltılmakta ve bu üniteyle 5 m³/gün'lük katı atık konteyner taşıma aracıyla düzenli depolama sahasına gönderilmektedir. Kaba ızgaralar için tasarım değerleri Çizelge 3.7'de, görüntüleri ise Şekil 3.8'de verilmektedir.

Çizelge 3.7. Mekanik temizlemeli kaba ızgara özellikleri

Mekanik Temizlemeli Kaba ızgara	Miktar	Ölçü/Birim
Mekanik temizlemeli kaba ızgara	1+1	adet
Izgara ölçüleri	5.910x8.600x9.700	mm
Her bir hat için kapasite	2.750	m ³ /sa
Çubuklar arası açıklık	20	mm
Çubuk boyutları	10x50	mm
Her bir kaba ızgara kanalının genişliği	2.000	mm
Maksimum kapasitede ızgara arası geçiş hızı	1,2	m/sn
İşletme/kontrol cihazı (SCADA+ manuel)	2	Seviye sensörü
Motor/redüktör	2,2	kW
Yatay eksenle yaptığı açı	75	°
Bant konveyör (5m ³ /sa, ölçüler: BxL=0,6x17 m)	1	adet

**Şekil 3.8.** Mekanik temizlemeli kaba ızgaralar görünümü

c. Giriş terfi merkezi

Düşük bir kottan gelen atıksuyun ızgara kanalları seviyesine taşınabilmesi amacıyla giriş terfi pompaları kullanılmaktadır. Kaba ızgaralardan geçen atıksu, pompaların bulunduğu hazneye gelerek hazne içine monte edilen ve her biri maksimum 1.813 m³/sa debi kapasiteli 3+1 adet giriş terfi pompaları tarafından ince ızgara dağıtım kanallarına basılmaktadır. Terfi hazneleri içerisinde 1 adet hızlı mikser bulunmakta ve atıkların dibe

çökmesini engellenmektedir. Terfi yapma yüksekliği ise yaklaşık 9,5 m (-6,63'den 2,80 m'ye) dir. Giriş terfi merkezi tasarım değerleri için tasarım değerleri Çizelge 3.8'de verilmektedir.

Çizelge 3.8. Giriş terfi pompaları özellikleri

Giriş Terfi Pompaları	Miktar	Ölçü/Birim
Terfi pompa sayısı	3+1	adet
Terfi pompa kapasitesi	1.813	m ³ /sa
Emme haznesi sayısı	1	adet
Motor gücü	55	kW
Terfi haznesi mikser (rapid) sayısı	1	adet
Mikserin gücü	6,5	kW

d. Mekanik temizlemeli ince ızgara (perfore tip)

İnce ızgaraların delik açıklığı 6 mm olup, kaba ızgaralardan geçen 20 mm'den küçük maddeler burada tutulmaktadır. Otomatik temizlemeli ince ızgaraların tuttuğu atıklar burğu konveyör sistemi ile önce kompaktör olarak adlandırılan ızgara preslere gönderilmekte ve sıkıştırılarak belirli bir miktarda suyu alındıktan sonra konteynırlara boşaltılmaktadır. Bu üniteye tutulan katı atıklar yaklaşık 5 m³/gün kapasiteli konteynırlarda toplanarak konteyner taşıma aracıyla katı atık düzenli depolama sahasına gönderilmektedir. İnce ızgaralar için tasarım değerleri Çizelge 3.9'da, mekanik temizlemeli perfore tip ince ızgaralara ait görüntüler ise Şekil 3.9'da verilmektedir.

Çizelge 3.9. Mekanik temizlemeli ince ızgara özellikleri

Mekanik Temizlemeli İnce Izgara	Miktar	Ölçü/Birim
İnce ızgara	3+1	adet
İnce ızgara ölçüleri	1.600x3.050x4.500	mm
Her bir hat için kapasite	1.850	m ³ /sa
Çubuklar arası açıklık	6	mm
Her bir kaba ızgara kanalının genişliği	1.200	mm
Maksimum kapasitede ızgara arası geçiş hızı	1,2	m/sn
İşletme/kontrol cihazı (SCADA+ manuel)	2	Seviye sensörü
Motor/redüktör	1,1	kW
Yatay eksenle yaptığı açı	60	°
Burgu konveyör	2	adet
Izgara pres (kompaktör)	2	adet

**Şekil 3.9.** Mekanik temizlemeli perfore tip ince ızgaraların görünümü

e. Havalandırılmalı kum ve yağ tutucu

Arıtma tesisine gelen atıksu ızgaralardan geçtikten sonra içerisindeki kum, çakıl ve yağ gibi maddeleri sudan ayırmak ve bunların arıtma tesisinin diğer ünitelerine geçmesini

önlemek amacıyla 2 adet havalandırmalı kum ve yağ tutucu ünitesi yapılmıştır. Kumun yıkanmasını ve yağların kenara toplanmasını sağlayacak bir spiral akım meydana getirmek için her havuzun kenarına yerleştirilmiş boru tip hava difüzörleriyle çözünmüş hava verilmektedir. Havalandırmalı kum tutucu havuzu üzerinde ileri geri hareket eden köprü ile tabandan sıyrılan kumları pompa ile helezon tip kum ayırıcı ekipmanına göndermektedir. Aynı gezer köprünün üst sıyrıcı paletleri vasıtasıyla yağları da sıyrıp yağ haznesine toplamaktadır. Yağ haznesi tabanındaki dalgıç tip pompalar ile yağ vb. yüzer maddeler dıştan akışlı tambur eleklerden geçirilip yağ konteynırlarına basılmaktadır. Konteynırda biriken atıklar katı atıklar konteyner taşıma aracıyla düzenli depolama sahasına gönderilmektedir. Havalandırmalı kum ve yağ tutucu için tasarım değerleri Çizelge 3.10'da, havalandırmalı kum ve yağ tutuculara ait görüntüler Şekil 3.10'da ve yağ ayırıcı tambur elek ve kum ayırıcıya ait görüntüler ise Şekil 3.11'de verilmektedir.

Çizelge 3.10. Havalandırmalı kum ve yağ tutucu özellikleri

Havalandırmalı Kum ve Yağ Tutucu	Miktar	Ölçü/Birim
Kum tutucu havuzu sayısı/hacmi	2/324	adet/m ³
Kum tutucu havuzu ölçüleri	36x4,65x10,6	m
Kum tutucu havuz bekletme süresi	6,7	dk
Kum tutucu havuzu yüzey yükleme	25	m/sa
Kum tutucu köprü sayısı/ boyutları (enxboy)	1/(1,5x11)	adet/m
Kum tutucu havuzu blowerleri (adet/kapasitesi)	2+1/(67-233)	adet/(Nm ³ /sa)
Kum ayırıcı (adet/kapasitesi)	1/40	adet/ (m ³ /sa)
Yağ ayırıcı (adet/kapasitesi)	1/20	adet/ (m ³ /sa)
Dalgıç yağ pompası (adet/kapasitesi)	2/20	adet/ (m ³ /sa)



Şekil 3.10. Havalandırılmalı kum ve yağ tutucu ünite ve blowerler



Şekil 3.11. Tambur elek (yüzen çamur, yağ-köpük) ve kum ayırıcı ekipmanı

f. Ön çökeltme havuzu

Ön çökeltme havuzları, işlenmemiş atıksu ile biyolojik ve kimyasal yöntemler kullanılması sonucu arıtılmış sulardaki partikül halinde olan maddelerin, kendi özgül ağırlıklarıyla çöktürülmesi prensibine dayanılarak uzaklaştırılmaktadır. Sudan daha yoğun olan askıda katı maddeler durgun halde olan tank içerisinde atıksudan ayrılarak yer çekiminin de etkisi ile dibe çökelmektedir (Samsunlu 2006).

İnce ızgaralardan geçen atıksular havalandırma kum ve yağ tutucu havuzlardan geçirildikten sonra 2 adet olan ön çökeltme havuzuna alınmaktadır. Ön çökeltme havuzları, 30 dakika ile 1 saat arasında bir bekletme süresine göre tasarlanmış ve

maksimum debide yüzey yüklemesi $100 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{gün}$ olarak seçilmiştir. Ön çökeltme havuzu üzerinde ileri geri hareket eden gezer köprünün dip sıyrıcıları ile sıyrılan OM'ler çamur hunisine ittirilmektedir. Bu hunilerden pompalarla çekilen çamur, AÇÇ'lere gönderilmek üzere graviteli çamur yoğunlaştırma tankına basılmaktadır. Doğrusal sıyrıcı köprü, üst sıyrıcı paletleri vasıtasıyla yüzen maddeleri de sıyrarak yüzen çamur kanalında ve sonrasında hazenede toplamaktadır. Pompa odasında bulunan kuruda çalışan dalgıç tip pompalar ile yağ, köpük vb. yüzer maddeler dıştan akışlı tambur elekten geçirilerek yağ konteynırlarına alınmaktadır.

Güvenli bir denitrifikasyonun olması için atıksu hatları fonksiyonel olarak kullanılabilir. Normal işletim süresince fonksiyonel olarak ham suyun belirli bir yüzdesi doğrudan biyolojik arıtmaya, kalanı ön çökeltme havuzlarına alınabildiği gibi tamamen havuza veya biyolojik havuza alınabilmektedir. Aynı mantıkla; ön çökeltme havuzlarında alınan BOİ ve AKM giderim oranları yüksek olduğunda, biyolojik havuzlardaki mikroorganizmaların OM ihtiyacı yetersiz hale geleceğinden, prosesin işletilmesini zorlaştıracak ve verimliliğini düşürme ihtimaline karşın, çamur hattı üzerinde olan by-pass sistemi ile, dibe çökeltilen çamurun bir kısmı graviteli çamur yoğunlaştırıcılara gönderilmekte, kalan kısmı ise çökeltme havuzunun çıkışına verilmektedir. Ön çökeltme havuzları için tasarım değerleri Çizelge 3.11'de, ön çökeltme havuzunun dizaynında baz alınan kirlilik yükleri ise Çizelge 3.12'de detaylı olarak verilmektedir.

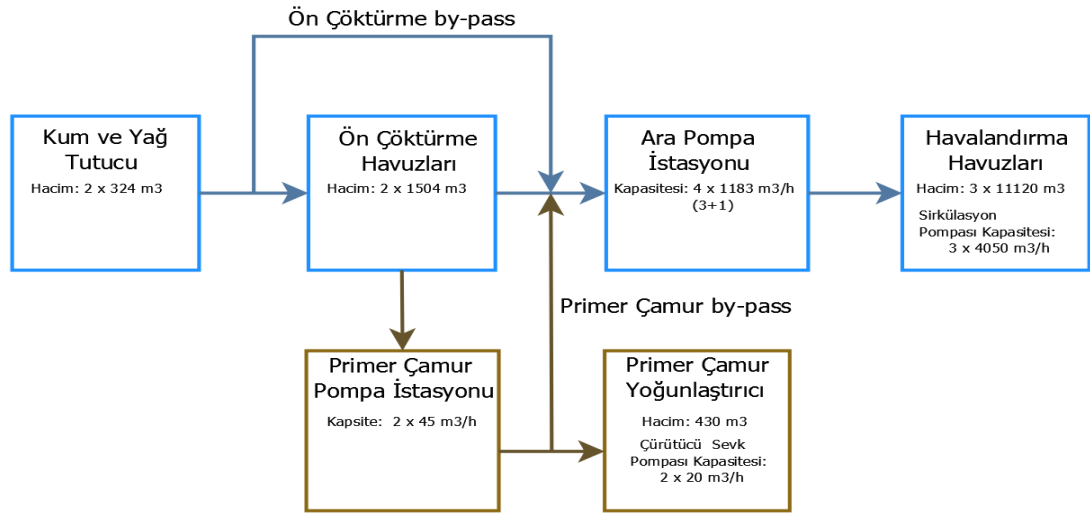
Çizelge 3.11. Ön çökeltme havuzu teknik özellikleri

Ön Çökeltme Havuzu	Miktar	Ölçü/Birim
Ön çökeltme havuzu sayısı/hacmi	2/1.504	adet/m ³
Ön çökeltme havuzu toplam (boyxderinlikxgenişlik)	(54,5x2,8x24,6)	m
Ön çökeltme havuzu bekletme süresi	30-60	dk
Ön çökeltme havuzu çamuru yoğunluğu (ham)	1,1-1,5	%
Ön çökeltme havuzu çamuru üretimi	10.700	kg KM/gün
Ön çökeltme havuzu çamur miktarı	713	m ³ /gün
Ön çökeltme havuzu köprü sayısı/boyutları	1/(1,56x26,75)	adet/m
Ön çamur pompası (monopompa) (adet/kapasitesi)	2/(20-45)	adet/(m ³ /sa)
Santrifüj yüzen çamur pompası (adet/kapasitesi)	1/20	adet/(m ³ /sa)

Çizelge 3.12. Ön çökeltme havuzu dizaynında kirlilik yükleri ve çökeltme verimleri

Parametreler	Kirlilik (kg/gün)	Dizayn Değeri (mg/L)	Giderim Verimi (%)
KOİ	29.542	473	25
BOİ ₅	15.038	241	25
AKM	10.700	171	50
TN	3.047	49	10
TP	741	12	10

Ön çökeltme havuzları ve ara terfi merkezine ait akım şeması Şekil 3.12’de ve ön çökeltme havuzu ve birincil çamur (monopompa) pompalarına ait görüntüler Şekil 3.13’de verilmektedir.

**Şekil 3.12.** Ön çökeltme ve ara terfi merkezi akım şeması



Şekil 3.13. Ön çökeltme havuzu ve birincil çamur pompaları

3.1.1.f. Ara terfi, geri devir ve fazla çamur pompa istasyonu

Ön arıtma ünitelerinden geçen atıksu, düşük bir seviyeden biyolojik proses havuzlarının seviyesine yükseltilebilmesi için ara terfi pompaları kullanılmaktadır. Atıksu, hazne içine monte edilmiş olan ve her biri maksimum 2.020 m³/sa (ort. 1.833) kapasiteli 3+1 adet ara terfi pompalarıyla biyolojik proses tankına basılmaktadır.

Son çökeltme havuzları dibinden alınarak geri devir yapısına gelen çamurun yaklaşık %75-100 arasında seçilen geri devir oranında ve her biri maksimum 3.030 m³/sa (ort. 2.750) kapasiteli 3+2 adet geri devir pompaları ile devredilmektedir. Geri devredilmeyen ve sistemden uzaklaştırılması gereken fazla çamur ise çamur haznesi içine monte edilen ve her biri maksimum 135 m³/sa debi kapasiteli 2+1 adet fazla çamur pompası ile AÇÇ'lere gönderilmek üzere belt yoğunlaştırıcılara basılmaktadır. Haznedeki tüm pompalar seviye sensörü marifetiyle çalıştırılmakta ve SCADA'dan kontrol edilmektedir. Ara terfi, geri devir ve fazla çamur pompa istasyonu için tasarım değerleri Çizelge 3.13'de verilmektedir.

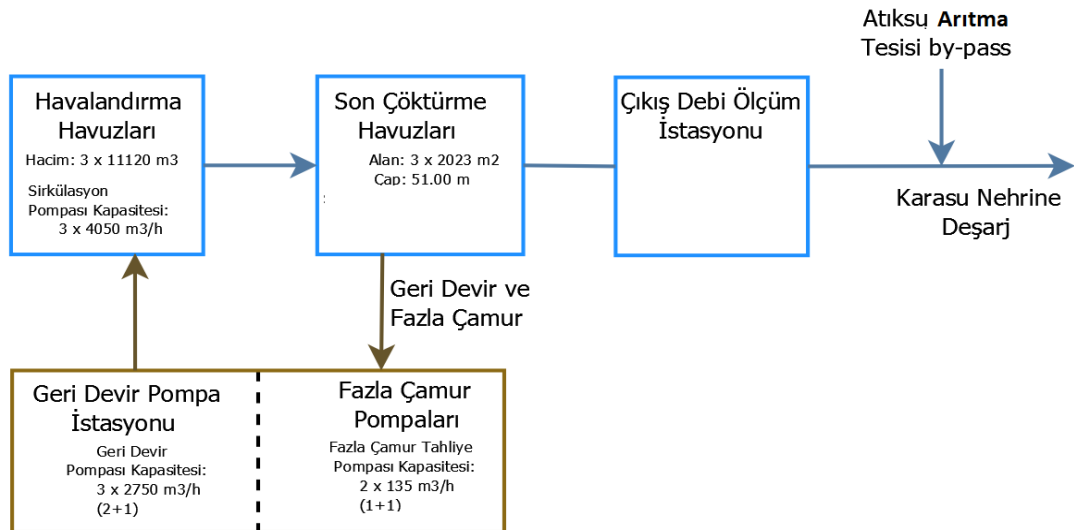
Çizelge 3.13. Ara terfi, geri devir çamuru terfi ve fazla çamur pompa istasyonu

Ara Terfi, Geri Devir ve Fazla Çamur Pompa İstasyonu	Miktar	Ölçü/Birim
Ara terfi pompası (adet/kapasitesi)	(3+1)/1.833	adet/ (m ³ /sa)
Geri devir çamur pompası (adet/kapasitesi)	(3+2)/2.750	adet/ (m ³ /sa)
Fazla çamur pompası (adet/kapasitesi)	(1+1)/135	adet/ (m ³ /sa)
Çamur haznesi mikserinin gücü	4,5	kW

3.1.2. Biyolojik arıtma

Tesise; kanalizasyon sistemi ile gelen atıksu bünyesinde bulunan C, N ve P gibi kirletici maddelerin mikroorganizmaların faaliyetleri sonucunda atıksudan uzaklaştırılmaktadır. Biyolojik proses havuzları, anoksik ve aerobik havuzlar olmak üzere 2 bölüme ayrılmıştır. Tesisin 2040 yılı vizyon genişletilmesine son çökeltme havuzları ve P giderimi de eklenebilecek olup, bu üniteler için tesiste gerekli alan bırakılmıştır.

Biyolojik proses havuzlarına ait akım şeması Şekil 3.14’de verilmektedir.

**Şekil 3.14.** Biyolojik arıtma üniteleri akım şeması

3.1.2.a. Biyolojik havalandırma havuzları dağıtım yapısı

Atıksu; biyolojik havuzlara verilmeden önce ara terfi merkezinde bulunan ara terfi pompalarının bastığı atıksu ve geri devir pompalarının bastığı çamur dağıtım haznesinde karışım sağlandıktan sonra kanallar vasıtasıyla havuzlara alınmaktadır. Dağıtım haznesine aynı zamanda santrifüj dekantörlerden ve mekanik çamur yoğunlaştırıcılardan gelen süzüntü (sentrant ve filtrant) sularıda süzüntü suyu haznesinde toplandıktan sonra pompalar vasıtasıyla iletilmektedir.

3.1.2.b. Biyolojik havalandırma havuzları

Biyolojik arıtma prosesi, nitrifikasyon ve denitrifikasyonun gerçekleştiği N ve C içerikli kirleticileri giderilebilecek şekilde dizayn edilmiştir. Karbon giderimi ve nitrifikasyon için gerekli çözünmüş hava miktarı hava üfleyiciler vasıtasıyla sağlanarak giriş suyundaki kirleticiler son ürünlerine dönüştürülmektedir.

Her havuzda AKM'nin dibe çökmesini önlemek, havalandırma verimini artırmak ve homojen karışımını sağlamak üzere, her bir tankta 2 adet muz tipi mikser bulunmaktadır. Havalandırma havuzlarının tabanlarına ince kabarcıklı boru tip membran difüzörler yerleştirilmiştir. Her tanka verilecek hava miktarı motorlu hava vanaları ile ayarlanarak, tanklardaki ÇO seviyesi önceden belirlenen seviyede (ortalama 2 mg/L) tutulmaktadır. Havuzlardaki anoksik/aerobik şartları izlemek için, havuzlara redoksmetreler ve oksijenmetreler yerleştirilmiştir ve on-line olarak SCADA Sistemi'nden takip edilmektedir.

Her bir havalandırma havuzunun sonunda iç sirkülasyonu sağlamak, N bileşiklerinin nitrifikasyonu sonucu oluşan NO_3 'lu suyu anoksik bölgeye iletmek amacıyla dalgıç tip içsel sirkülasyon pompaları yerleştirilmiştir. Proses havuzları için tasarım değerleri Çizelge 3.14'de, biyolojik proses havuzlarına döşenen havalandırma sistelerine (difüzör) ait görüntüler Şekil 3.15'de ve havuzların genel görüntüleri ise Şekil 3.16'da verilmektedir.

Çizelge 3.14. Proses havuzu teknik özellikleri

Biyolojik Havalandırma Havuzu	Miktar	Ölçü/Birim
Havalandırma havuzları (adet/hacim)	3 / 11.120	adet / m ³
İçsel sirkülasyon pompası (adet/kapasitesi)	3 / 4.050	adet/ (m ³ /sa)
Yavaş mikser DN alanı (sayısı/gücü)	6 / 2,5	adet/kW
Yavaş mikser DN/N alanı (sayısı/gücü)	3 / 4,5	adet/kW
Membran difüzör sayısı/kapasitesi	3.150 / 11,7	adet/(Nm ³ /sa)
Oksijenmetre adedi/ORP metre adedi	3 / 1	adet
Tank içindeki oksijen konsantrasyonu	2	mg/L
Tank içindeki aktif çamur konsantrasyonu	3-4	mg/L
Çamur Hacim İndeksi (SVI)	100-150	mg/L

**Şekil 3.15.** Biyolojik havalandırma havuzu difüzörleri



Şekil 3.16. Havalandırma (biyolojik proses) havuzları

3.1.2.c. Son çökeltme havuzları dağıtım yapısı

Havalandırma havuzlarında biyolojik prosese tabi tutulan atıksu kendi cazibesiyle önce dağıtım yapısına gelmekte olup, burada seviye ayarlı kapaklarla son çökeltme havuzlarına iletilmektedir. Dağıtım yapısı hem çökeltme havuzu giriş suyunu hem de geri devir çamurunu ayarlayabilecek şekilde tasarlanmış ve seviye ayar kapakları monte edilmiştir.

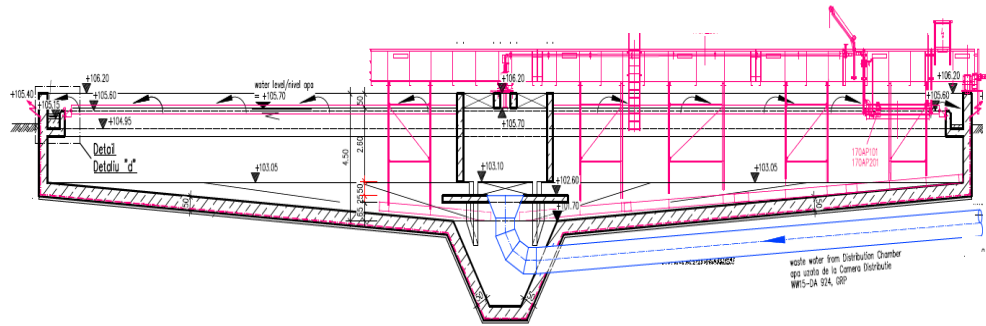
3.1.2.d. Son çökeltme havuzu

Dağıtım yapısından gelen atıksu havuzlara merkezden laminar olarak dağılmaktadır. Çökeltme havuzlarına ait gezer köprülere monte edilmiş sıyrıcılar vasıtasıyla dibe çöken çamur sıyrılarak çamur hunisine, yüzeyde bulunan sıyrıcılar da yüzen köpük ve çamuru sıyrarak köpük toplama hunisine itirmektedir. Dipten sıyrılan çamur tekrar dağıtım yapısında bulunan geri devir çamur haznesine geldikten sonra cazibe ile ara terfi merkezinde bulunan çamur haznesine iletilmektedir. Havuzun en üst bölmesi arıtılmış su, ayrışma bölmesi, karışım bölmesi ve çökme (sıyırma) bölmesi gibi belirli bölümleri bulunmaktadır. Arıtılan su, üst bölmeden savaklarla toplandıktan sonra kanal vasıtasıyla çıkış suyu ölçüm ve deşarj ünitesine iletilmektedir. Yüzeyden sıyrılan çamur, köprüye monte edilmiş yüzen çamur pompalarıyla toplama haznesine, buradaki pompalar vasıtasıyla ön çökeltme yüzen çamur haznesine ve son olarak tambur eleğe

basılmaktadır. Buradan çıkan KM'ler çöp depolama sahasına gönderilmektedir. Son çökeltme havuzları için tasarım değerleri Çizelge 3.15'de, son çökeltme havuzuna ait çizim Şekil 3.17'de ve genel görüntüler ise Şekil 3.18'de verilmektedir.

Çizelge 3.15. Son çökeltme havuzu teknik özellikleri

Son Çökeltme Havuzu	Miktar	Birim
Son çökeltme havuzu sayısı/yüzey alanı	3/2.023	adet/m ²
Maksimum debide yüzey hidrolik yüklemesi	<1,6	m ³ /(m ³ /sa)
Maksimum debide yüzey çamur yüklemesi	<9	kgSS/(m ² /sa)
Son çökeltme havuzu boyutları	51,8 x 4,5	m
Son çökeltme havuzu bekletme süresi	30-60	dk
Çamur pompası (monopomp) (adet/kapasitesi)	2/(20-45)	adet/ (m ³ /sa)
Santrifüj yüzen çamur pompası (adet/kapasitesi)	1/20	adet/ (m ³ /sa)
Minimum çamur geri devir oranı %	75	m ³ /m ³



Şekil 3.17. Son çökeltme havuzu gösterimi



Şekil 3.18. Son çökeltme havuzları

3.1.2.e. Blower binası

Blower binasındaki 4 adet manyetik yataklı turbo blowerler ile biyolojik proses havuzlarındaki mikroorganizmaların OM'leri oksitleyebilmeleri için ihtiyaç duydukları ÇO sağlanmaktadır. Blowerler susturucu kabin içerisine yerleştirilmiş ve bina içerisindeki kabul edilebilir minimum ses seviyesi <80 dBa olarak belirlenmiştir. Blowerler, proses tanklarındaki minimum ÇO konsantrasyonunun belirlenen seviyede kalmasını sağlar. Blowerler set edilmiş oksijen değerine göre otomatik olarak çalışmaktadır. Blower binası için tasarım değerleri Çizelge 3.16'da, biyolojik proses havuzları basınçlı hava hatları ve havalandırma blowerlerine ait görüntüler ise Şekil 3.19'da verilmektedir.

Çizelge 3.16. Turbo tip havalandırma bloweri teknik özellikleri

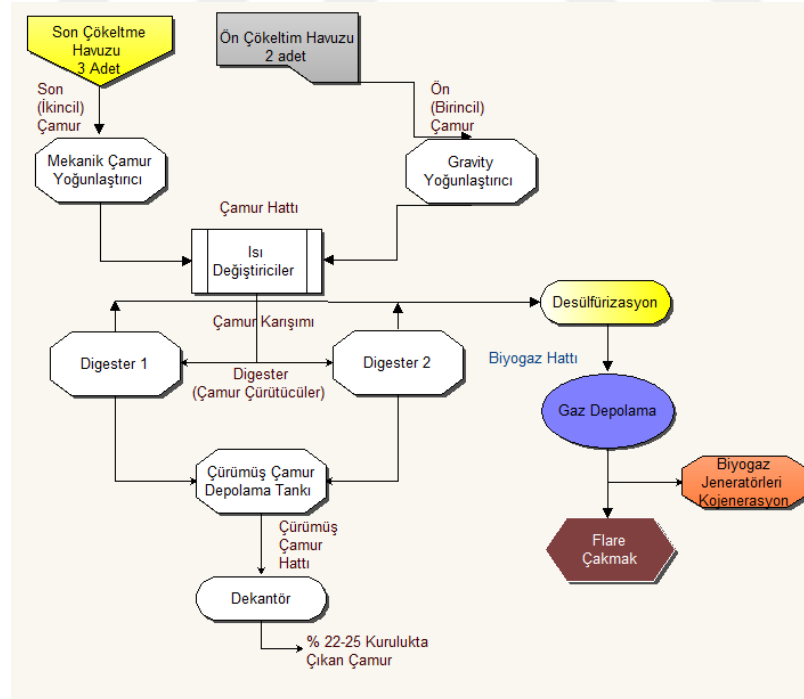
Blower Binası	Miktar	Ölçü/Birim
Turbo blowerin sayısı/kapasitesi	(3+1) / 12.303	adet/ Nm ³ /sa)
Turbo blowerin toplam kapasitesi (işletim)	36.600	Nm ³ /sa
Turbo blowerin basıncı (basınçlı hava borularında)	600	mbar



Şekil 3.19. Havalandırma blowerleri ve basınçlı havalandırma hatları

3.1.3. Çamur işleme ve çürütme hattı

ERBASAT atıksu arıtım hattında oluşan birincil ve ikincil çamurlarına uygulanan arıtma ve stabilizasyon işlemlerine ait şematik gösterim Şekil 3.20’de verilmektedir.



Şekil 3.20. Çamur arıtma hattı genel akım şeması

3.1.3.a. Birincil (ön) çamur yoğunlaştırma

Ön çökeltme havuzundan gelen birincil çamur, monopompalarla 1 adet graviteli tip çamur yoğunlaştırma tankına basılmaktadır. Burada yaklaşık %4-7 oranında yoğunlaştırılmasının ardından AÇÇ'lere gönderilmektedir. Yoğunlaştırıcılar dairesel olarak inşa edilmiş ve içinde karıştırma işlemini gerçekleştiren pedallı yoğunlaştırıcı bulunmaktadır. Bu üniteye yoğunlaştırıcı olarak herhangi bir kimyasal kullanılmamaktadır. Ham çamurun çamur yoğunlaştırıcı tankı için tasarım değerleri Çizelge 3.17'de, graviteli çamur yoğunlaştırıcı ve çamur parçalayıcılara (maseratör) ait görüntüler ise Şekil 3.21'de verilmektedir.

Çizelge 3.17. Birincil (ön) çamur yoğunlaştırıcı tankı teknik özellikleri

Birincil (Primer) Çamur Yoğunlaştırma	Miktar	Ölçü/Birim
Çamur yoğunlaştırma tankı çapı/hacmi	13.500/430	mm/m ³
Çamur yoğunlaştırma yanal su/toplam su derinliği	3.850/4.350	mm/mm
Çamur tankı karıştırıcısı (karıştırıcı pedallı)	0,37	kW



Şekil 3.21. Graviteli çamur yoğunlaştırıcı ve yoğun çamur pompa ve maseratörleri

3.1.3.b. İkincil (son) çamur yoğunlaştırma

Son çökeltme havuzlarından gelen aktif çamur, önce fazla çamur pompalarıyla ham çamur depolama tankına, daha sonra monopompalarla belt çamur yoğunlaştırıcılara basılmaktadır. Bu ekipmanlara gelen çamurun katı madde oranını artırılması amacıyla katyonik sıvı polielektronik beslenerek yoğunluk %4-6'ya çıkarılmaktadır. Herbir yoğunlaştırıcıya ait çamur pompaları bulunmakta ve yoğunlaşan çamur çürütücülere gönderilmektedir. Belt çamur yoğunlaştırıcı ekipman için tasarım değerleri Çizelge 3.18'de, mekanik çamur yoğunlaştırıcılar ve otomatik katyonik polielektrolit solüyonu hazırlama ünitesine ait görüntüler ise Şekil 3.22'de verilmektedir.

Çizelge 3.18. Çamur yoğunlaştırıcı ünitesi teknik özellikleri

Belt Çamur Yoğunlaştırıcı	Miktar	Ölçü/Birim
Ham çamur depolama tankı sayısı	1	adet
Belt yoğunlaştırıcı sayısı	2+1	adet
Belt yoğunlaştırıcı kapasitesi	48-63	m ³ çamur/sa
Belt yoğunlaştırıcı bant genişliği	1.500	mm
Belt yoğunlaştırıcı çıkış kuruluk oranı (KM)	4-6	%
Belt yoğunlaştırıcı motor gücü	(1,1+3)	kW
Belt yoğunlaştırıcı çamur besleme pompası sayısı/kapasitesi	(2+1)/(20-63)	adet/(m ³ /sa)
Polielektrolit dozlama ünitesi kapasitesi	1.250	L/sa
Polimer dozlama pompa sayısı/kapasitesi	(2+1)/(0,3-1,5)	adet/(m ³ /sa)
Fazla çamur tankı mikserin gücü	3,5	kW
Süzüntü suyu pompası (adet/kapasite)	1+1 / 140	adet/(m ³ /sa)



Şekil 3.22. Mekanik çamur yoğunlaştırıcı (belt filtre pres) ve polimer hazırlama ünitesi

3.1.3.c. Anaerobik çamur çürütme (AÇÇ) tankı (digester)

Mekanik belt yoğunlaştırıcılarından gelen %4-6 KM oranında yoğunlaştırılan fazla çamur ile ön çökeltme havuzlarında çöktürülen ve graviteli yoğunlaştırma tankından gelen ham çamur, her biri 4.425 m³ hacme sahip olan 2 adet çürütücüye gönderilmektedir. Çamurun çürütücülerde ortalama bekleme süresi yaklaşık 18-20 gün olarak tutulmaktadır. AÇÇ’de mezofilik şartlarda (36-40°C’de) asetojen ve metanojen bakterilerince stabilize edilmektedir. Bu prosesin önemli bir getirisi de biyogaz elde edilmesidir. Üretilen biyogaz belirli arıtma işlemlerinden sonra gaz depolama tanklarında toplanmaktadır. Gaz tanklarında depolanan biyogazın bir kısmı teknik galeri’de bulunan ısı kazanında da (boiler) yakılarak sıcak su elde edilmekte ve çürütücüye giden çamurun ısı değiştiricilerde ısıtılmasında ve sistemde kullanılmaktadır. Isı ve güç ünitesi, AÇÇ tanklarında elde edilen biyogazı kullanarak elektrik enerjisi üreten gaz motorlarının tesis edildiği yapıdan oluşmaktadır. Her biri 436 kW gücünde 2 adet gaz motorları sayesinde tesisin elektrik ihtiyacının yaklaşık %50-65’lik kısmı karşılanmaktadır. (Bu oran atıksu karakterizasyonu, prosesin çalışma durumu ve çevresel şartlara göre değişiklik göstererek enerji üretiminde düşmeler meydana gelebilmektedir.) Bu açıdan bakıldığında tesis yenilenebilir enerji kaynağı olan biyogazı aktif olarak kullanmaktadır. AÇÇ için tasarım değerleri Çizelge 3.19’da, AÇÇ’ye ait gaz ve enerji üretim hatları akım şeması Şekil 3.23’de ve AÇÇ tankları genel görünümü ve şematik gösterimine ait görüntüler ise Şekil 3.24’de verilmektedir.

Çizelge 3.19. Anaerobik çamur çürütücü (AÇÇ) teknik özellikleri

Anaerobik Çamur Çürütücü (Digester)	Miktar	Birim
AÇÇ sayısı/hacmi (her biri için)	2 / 4.425	adet/ m ³
AÇÇ bekletme süresi	20	gün
AÇÇ çamur yoğunluğu (KM)	5,5	%
AÇÇ karıştırıcısı (SCABA) 2 kanatlı, 2 adet	3	kW
Birincil çamur besleme pompası (monopomp) (adet/debi)	2/(8-20)	adet/ (m ³ /sa)
Çamur maseratörü (adet/kapasitesi)	2/20	adet/ (m ³ /sa)
Çamur sirkülasyon pompası (santrifüj) (adet/debi)	(2+1)/20	adet/ (m ³ /sa)

edilen biyogazı yakabilen 436 kW gücünde elektrik ve 481 kW gücünde termal ısı üretebilen 2 adet jeneratör kullanılmaktadır. Böylece atıksu ve dolayısıyla çamurdan elde edilen biyogaz yakılarak üretilen elektrik enerjisi kadar para haricen verilmemiş olmaktadır. Bu sistemde baca ısısından termal enerji ihtiyacı da karşıladığından, elektriksel ve ısıl enerji ihtiyacı fazla olan uygulamalarda büyük bir avantaj oluşturmaktadır. Biyogaz jeneratörlerine ait görüntüler Şekil 3.25’de verilmektedir.



Şekil 3.25. Biyogaz yakma motorları (kojenerasyon)

3.1.3.e. Isı (boiler) kazanları ve ısı eşanjörleri

Yoğunlaştırıcılardan gelen ham çamur ve çamur çürütücülerden sirkülasyon pompaları ile çekilen çürütülmüş çamur ısı eşanjörlerine gönderilerek 36-40 °C’ye çıkarılana kadar ısıtılması amacıyla ısı değiştiricilerde sıcak suya ihtiyaç duyulmaktadır. Galeri ünitesindeki 2 adet ısı kazanlarında ısıtılan sıcak su, ısı eşanjörlerine (ısı değiştiriciler) gönderilmektedir. Isı kazanları için tasarım değerleri Çizelge 3.20’de, biyogaz ve enerji üretim hatlarındaki ısıtma kazanlarına ait görüntüler ise Şekil 3.26’da verilmektedir.

Çizelge 3.20. Isı kazanları teknik özellikleri

Isı Kazanları (Boiler)	Miktar	Birim
Isı kazanı sayısı/kapasitesi (640.000 kcal)	2/745	adet/kW
Sıcak su sirkülasyon pompası (adet/kapasitesi)	(1+1)/35,2	adet/(m ³ /sa)
CHP ünitesi sıcak su pompası (adet/kapasitesi)	(1+1)/25	adet/ (m ³ /sa)
Isı eşanjörleri sıcak su pompası (adet/kapasitesi)	(1+1)/81	adet/ (m ³ /sa)
Desülfürizasyon sıcak su pompası (adet/kapasitesi)	(1+1)/10	adet/ (m ³ /sa)

**Şekil 3.26.** Biyogaz ve doğalgaz yakma ısı kazanları (boiler)

Tesisteki AÇÇ'ye ait 1 adet olmak üzere 2 adet ısı eşanjörü (ısı değiştirici) bulunmaktadır. AÇÇ'lerin içsel çamur sirkülasyonu pompalar vasıtasıyla yapılmaktadır. Çamur pompaları, AÇÇ'den çektiği çürütülmüş çamur, ısı değiştiricilere verilmeden önce hatta bulunan statik mikserde birincil ve ikincil çamur hatlarından gelen ham çamur ile homojen karışım sağlanmaktadır. AÇÇ'lerin çalışma sıcaklık aralığı olarak kabul edilen 36-39°C'ye kadar ısıtıldıktan sonra AÇÇ tankının üst kısmına yakın bir noktadan tekrar geri basmaktadır. Bu durum her iki AÇÇ hattı için geçerlidir. Isı değiştiriciler için tasarım değerleri Çizelge 3.21'de, ham çamurun belirli bir ısıya kadar ısıtılmasını sağlayan ısı eşanjörlerine ait görüntüler ise Şekil 3.27'de verilmektedir.

Çizelge 3.21. Isı eşanjörleri teknik özellikleri

Isı Eşanjörleri (ısı değıştiriciler)	Miktar	Birim
Isı eşanjörü sayısı	2	adet
Isı eşanjörü kapasitesi (herbiri)	700	kWsa/gün

**Şekil 3.27.** Isı eşanjörleri (ısı değıştiriciler)

3.1.3.f. Biyolojik kükürt giderim veya biyolojik desülfürizasyon (BD)

Biyogaz, içerisinde CO_2 , CH_4 , H_2S ve su buharı içermektedir. Biyogazın içeriğindeki H_2S , etrafında ve gaz motorlarında korozyona sebep vermesinden dolayı giderilmesi gerekmektedir. BD sisteminin avantajları arasında yüksek performans ve yüksek işletme maliyeti yer almaktadır. BD ünitelerinde sülfüre duyarlı özel bakteriler kullanılmaktadır. Bu bakteriler belirli orandaki çözünmüş O_2 varlığında gazın içindeki H_2S 'in elementer sülfüre ve sülfürik aside çevirerek gaz ortamından ayırmaktadır. Başka bir ifadeyle BD ünitesi biyogazın içerisinde bulunan hidrojen sülfürü kimyasal kullanmadan biyolojik temizleme ile gidermektedir. AÇÇ'den çıkan biyogaz direk olarak temizleme tankına gelir ve bakteriler ile karşılaşır. Kükürt bakterileri yardımı ile biyogaz içeriğinde bulunan hidrojen sülfür, sülfata dönüştürülerek giderilmektedir.

Sisteme dahil olan ve granül çakıl boyutu 30-60 mm boyutunda 2 adet çakıl filtre ve gaz içerisinde bulunan katı ve sıvı kirleticilerin ve çürütücünden gelen su buharının uzaklaştırılması için 1 adet kondens suyu giderim filtresi bulunmaktadır.

Tesiste 1 adet 500 Nm³/sa kapasiteli BD Ünitesi bulunmaktadır. BD Ünitesi için tasarım değerleri Çizelge 3.22’de, Biyolojik desülfürizasyon ünitesi ait görüntüler ise Şekil 3.28’de ve biyogazın fiziksel olarak arıtıldığı çakıl filtre ve yoğuşma tankı ile biyogaz basınçlandırma pompalarına ait görüntüler ise Şekil 3.29’da verilmektedir.

Çizelge 3.22. BD ünitesi teknik özellikleri

BD Ünitesi	Miktar	Ölçü/Birim
BD ünitesi sayısı	1	adet
BD ünitesi kapasitesi,	500	Nm ³ /sa
Biyogaz booster pompası (adet/kapasitesi)	1+1)/500	adet/Nm ³ /sa)



Şekil 3.28. BD ünitesi



Şekil 3.29. Çakıl filtreler, yoğuşma tankı ve gaz booster pompaları

3.1.3.g. Gaz balonları (GB)

ERBASAT’da üretilen çamurun çürütülmesi sonucu elde edilen biyogaz polyesterle güçlendirilmiş PVC membrandan oluşan GB’da depolanmaktadır. Tesiste her biri 2400 m³ kapasiteli olan 2 Adet GB bulunmaktadır. GB için tasarım değerleri Çizelge 3.23’de, Üretilen biyogazın depolandığı tanklara ait görüntüler ise Şekil 3.30’da verilmektedir.

Çizelge 3.23. GB teknik özellikleri

Gaz Balonları (GB)	Miktar	Ölçü/Birim
GB sayısı/kapasitesi (her biri için)	1/2.400	adet/m ³
GB depolama süresi, işletme basıncı: 20 mbar	12	sa



Şekil 3.30. GB (Gas Holder)

3.1.3.h. Atık gaz yakma bacası (Gas flare)

Biyogazın BD’da verimli olarak arıtılamadığı durumlarda GB’da biriktirilen biyogazın içeriğindeki sülfürün ppm oranı yüksek ise kalitesinin düşük olduğu veya GB kapasitesinden fazla olduğu durumlarda patlama riskine karşı fazla biyogaz atık gaz yakma bacasına gönderilerek yakılmaktadır. Atık gaz yakma bacası için tasarım değerleri Çizelge 3.24’de, atık veya pis (arıtılamamış) biyogazın yakıldığı bacaya ait görüntüler ise Şekil 3.31’de verilmektedir.



Şekil 3.31. Atık gaz yakma bacası

Çizelge 3.24. Atık gaz yakma bacası teknik özellikleri

Atık Gaz Yakma Bacası	Miktar	Ölçü/Birim
Atık gaz yakma bacası sayısı/kapasitesi	1/430-550	adet / m ³

3.1.3.1. Çürütülmüş çamur depolama tankı (ÇÇDT)

AÇÇ’lerde çürütülen çamur daha sonra, çamur hacmi 520 m³ olan ÇÇDT’na gönderilmektedir. Çamurun karıştırılması işlemi, tankın dibine yakın bir yere yerleştirilmiş dalgıç mikser ile sağlanmaktadır. Çamurun tanktaki ortalama bekleme süresi 1 gün olup, çamur bu tanktan, çamur arıtma binasında bulunan çamur susuzlaştırma ekipmanına (santrifüj dekantör) gönderilmektedir. ÇÇDT için tasarım değerleri Çizelge 3.25’de verilmektedir.

Çizelge 3.25. ÇÇDT teknik özellikleri

Çürütülmüş Çamur Depolama Tankı	Miktar	Ölçü/Birim
ÇÇDT sayısı/kapasitesi	1/520	adet / m ³
ÇÇDT çamur bekletme süresi	24	sa
Mikserin gücü	3,5	kW

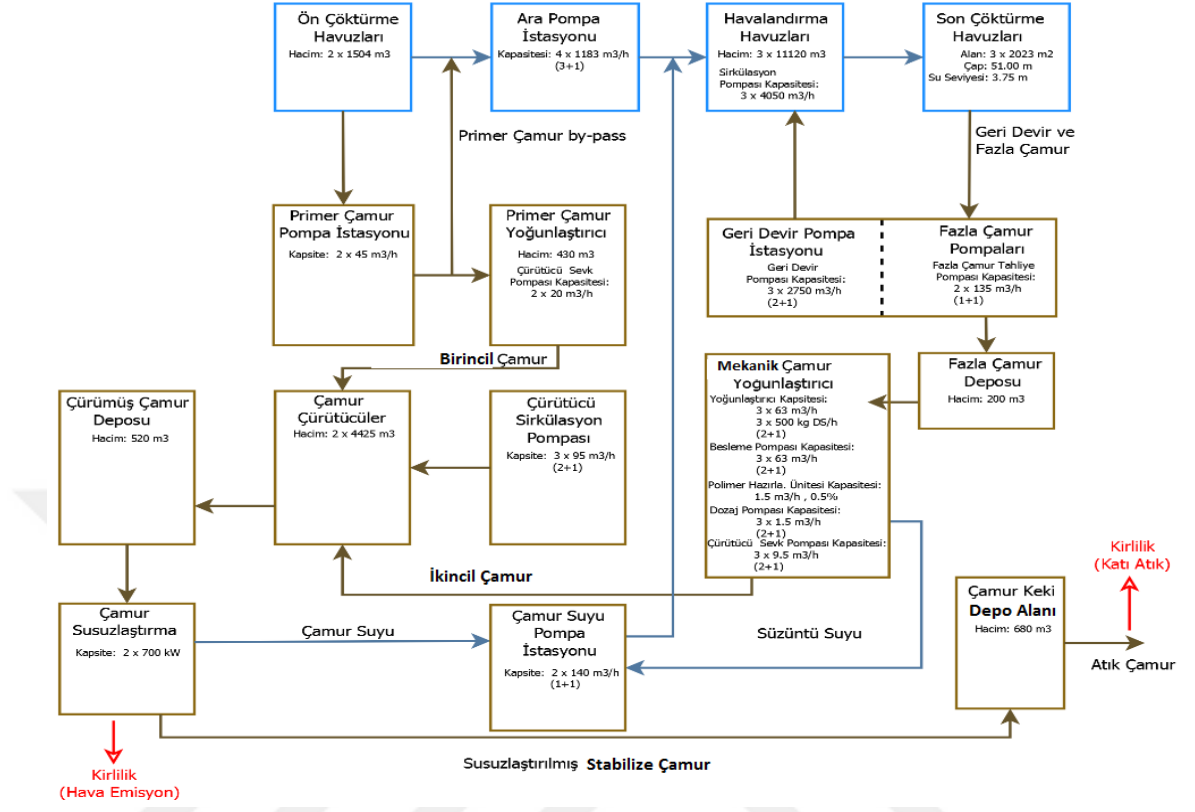
3.1.4. Çamur susuzlaştırma (ÇS)

Tesisin ÇS ekipmanları santrifüj tipte olup, çürütülmüş çamur ÇÇDT’da bekletilmekte ve daha sonra direkt susuzlaştırma işlemine tabi tutulmaktadır. Böylece ÇÇDT’den gelen ortalama %2-4 KM içerikli çamur, %25 KM içerikli çamur keki haline getirilmektedir. Çamur binası içerisinde 2 adet santrifüj dekantör bulunmaktadır. ÇS işleminde çamur yoğunlaştırma kimyasalı olarak katyonik toz polimer kullanılmaktadır olup, 2 adet polielektrolit hazırlama ve dozlama ünitesi bulunmaktadır. Dekantörlerde susuzlaştırılan çamur konveyörlerle çamur kamyonlarına taşınmakta ve daha sonra depolama alanına gönderilmektedir. Çamur susuzlaştırma için tasarım değerleri Çizelge 3.26’da, çamur arıtma ve stabilizasyon hatlarına ait akım şeması Şekil 3.32’te, çamur

susuzlaştırıcılara ait görüntüler Şekil 3.33’de, otomatik polielektrolit hazırlama ünitesine ait görüntüler ise Şekil 3.34’de ve çamur besleme pompaları ile susuzlaştırılmış çamuru taşıma kamyonlarına ait görüntüler ise Şekil 3.35’de verilmektedir.

Çizelge 3.26. ÇS Teknik özellikleri

ÇS (Santrifüj Dekantör)	Miktar	Ölçü/Birim
Santrifüj Dekantör Sayısı	1+1	adet
Santrifüj Dekantör Kapasitesi	25-32	m ³ çamur / h
Santrifüj Dekantör Giriş Kuruluk Oranı (DS)	4-6	%
Santrifüj Dekantör Çıkış Kuruluk Oranı (DS)	≤ 25	%
Çamur Besleme Pompası (Adet/ Kapasite)	2/(15-32)	adet/ (m ³ /h)
Burgu Konveyör	2	adet
Polielektrolit Dozlama Ünitesi Kapasitesi	2.600	lt/h
Polimer Dozlama Pompa Sayısı / Kapasitesi	(1+1)/(1-3)	adet/ (m ³ /h)



Şekil 3.32. Çamur arıtma ve stabilizasyon hatları akım şeması



Şekil 3.33. Çamur susuzlaştırma ekipmanları (santrifüj dekantör)



Şekil 3.34. Katyonik polielektrolit hazırlama ve dozlama üniteleri



Şekil 3.35. Çamur besleme pompaları ve sızdırmaz tip çamur taşıma kamyonları

3.1.5. Koku giderim üniteleri (biyofiltre)

Tesiste oluşan rahatsız edici kokunun oluşabileceği ızgara binası ile üstleri kapalı olan ÇÇDT, graviteli yoğunlaştırma tankı ve çamur binası ekipmanlarından çıkan koku, fanlar vasıtasıyla çekilerek her bir binanın yanında bulunan biyofiltreden geçirilerek biyolojik arıtmaya tabi tutulmaktadır. Biyofiltre için tasarım değerleri Çizelge 3.27’de, çamur binası ve ızgara binasında oluşan pis kokunun temizlendiği ünite olan Biyofiltre’ye ait görüntüler ise Şekil 3.36’da verilmektedir.

Çizelge 3.27. Koku giderim ünitesi (biyofiltre) teknik özellikleri

Biyofiltre	Miktar	Birim
Izgara binası koku arıtma ünitesi kapasitesi: 5.000 m ³ /sa	1	adet
Çamur binası koku arıtma ünitesi kapasitesi: 3.500 m ³ /sa	1	adet

**Şekil 3.36.** Izgara ve çamur binaları koku arıtma üniteleri (biyofiltre)

3.1.6. Arıtılmış su geri kazanım sistemi

Sistemde, 2 adet pompa (70 m³/gün kapasiteli, 95 mss), hızlı kum filtresi ve 1 adet UV lambalarının olduğu ünite (dezenfeksiyon) ile birlikte paket bir sistemden oluşmaktadır. Tesiste arıtılan suyun bir kısmı tekrar arıtılarak peyzaj sulamasında ve ızgaralar, tambur elek vb. mekanik ekipmanların yıkamasında değerlendirilmektedir.

Arıtılmış suyun tekrar arıtılarak geri kazanım sağlandığı sistemine ait görüntüler Şekil 3.37’de verilmektedir.



Şekil 3.37. Arıtılmış su geri kazanım sistemi

3.1.7. Sürekli atıksu izleme sistemi (SAİS)

10.10.2009 tarihli ve 27372 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metodları Tebliğinin 4’üncü maddesinin üçüncü fıkrasında (13.11.2010 tarihli ve 27758 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Tebliğ ile değişik) yer alan hüküm gereğince, atıksu debisi 10000 m³/gün ve üzerindeki tesislerin çıkışlarına gerçek zamanlı uzaktan atıksu izleme sistemleri kurulmasının mecburiyetinden dolayı tesis çıkışında SAİS kabini kurulmuştur. ERBASAT’da arıtılan su deşarj öncesi ÇŞB sistemine bağlantılı olduğundan online olarak takip edilmektedir. Takip edilen parametreler aşağıda verilmektedir.

- Çıkış ve by-pass debisi
- KOİ
- AKM
- ÇO
- İletkenlik
- pH
- Numune sıcaklığı
- Kabin içi nem ve sıcaklık

ÇŞB tarafından tesis çıkış parametrelerinin online izlendiği SAİS'e ait görüntüler Şekil 3.38'de verilmiştir.



Şekil 3.38. Sürekli atıksu izleme sistemi (SAİS) görünümü

3.1.8. ERBASAT'ta yapılan atıksu ve çamur analiz ve yöntemleri

- ERBASAT İşletme Binası içerisinde yer alan laboratuvarında genel olarak atıksu ve çamur numuneleri üzerine analizler yapılmaktadır. Genel olarak atıksu parametreleri; KOİ, BOİ₅, AKM, TN, TP ve pH olarak sıralanabilmektedir. Evsel AAT'lerinin proses seçimleri ve dizaynı atıksuyun giriş kirlilik değerleri baz alınarak seçilmektedir. Tesisler bu kirlilik parametrelerine göre proje ve dizayn edilmiş olsalar da, tesisin işletmeye alınmasından sonrada sıcaklık, iletkenlik, ÇO, çamur analizleri vb. yan parametrelerle birlikte devamlı takip edilmesi gerekmektedir. Arıtma tesisi sahasında tesis girişi (ızgaralar öncesi), ön çökeltim havuzu çıkışı (biyolojik havuzlara girmeden) ve AAT çıkışı (deşarj öncesi) olmak üzere 3 adet otomatik atıksu numune alma cihazı bulunmaktadır.

Tesisteki otomatik numune alma cihazları ile 24 saatlik atıksu kompozit numuneleri alınmaktadır. Numune alma sorumluları tarafından alınan numuneler, SKKY'nde yer alan ve Numune Alma ve Analiz Metotları Tebliği hükümlerinde belirtilen hususlar dikkate alınarak, ağzı kapalı halde plastik şişelerle laboratuvara getirilmektedir.

Numunelerin belirlenmiş zamanlarda toplanmasının ardından analizleri yapılmasının ardından günlük olarak kaydedilmektedir.

Atıksu numune noktalarının yanısıra, tesisin proses ve biyolojik prosesdeki mikroorganizma takibi (AKM, OM gibi) ve arıtma verimliliğinin değerlendirmesini yapmak için belirlenmiş noktalardan numune alınmaktadır. Numuneler her gün belirli saatte havalandırma havuzları (3 adet tanktan ayrı ayrı), son Çökeltme Havuzu dağıtım yapısı (Havalandırma havuzları karışım suyu) ve son çökeltme havuzu çamur geri devir hattından anlık olarak alınmaktadır.

Tesisin atıksu arıtma hattından alınan numuneler üzerinde, işletme laboratuvarında yapılan analizler Çizelge 3.28’de verilmektedir.

Çizelge 3.28. Tesis işletme laboratuvarında yapılan/yapılabilen analizler

Tesis Girişi			Tesis Çıkışı		
pH	:	-	pH	:	-
Sıcaklık	:	°C	Sıcaklık	:	°C
İletkenlik	:	µS	İletkenlik	:	µS
TN	:	mg/L	TN	:	mg/L
KOİ	:	mg/L	KOİ	:	mg/L
BOİ ₅	:	mg/L	BOİ ₅	:	mg/L
AKM	:	mg/L	AKM	:	mg/L
NO ₃ -N	:	mg/L	NH ₄	:	mg/L
SO ₄	:	mg/L	NH ₄ -N	:	mg/L
PO ₄ /TP	:	mg/L	NO ₃	:	mg/L
ÇO	:	mg/L	NO ₃ -N	:	mg/L
Tuzluluk	:	mg/L	NH ₃	:	mg/L
Org. N	:	mg/L	NH ₃ -N	:	mg/L
NH ₄ -N	:	mg/L	Org-N	:	mg/L
Çözünmüş KM	:	mg/L	ÇO	:	mg/L
Ön Çökeltim Havuzu Çıkışı			Havalandırma Havuzu ve Dağıtım Yapısı		
KOİ	:	mg/L	SVI	:	mL/g
AKM	:	mg/L	Reaktör MLSS	:	mg/L
TN	:	mg/L	Dağıtım MLSS	:	mg/L

Erzurum’da ağır sanayi bulunmadığından dolayı tesise endüstriyel atıksu gelmediği kabul edilerek, işletme laboratuvarında ağır metal analizleri yapılmamaktadır.

Çamur hatlarından alınan numune yerleri aşağıda verilmiştir;

- Ön çökeltim çamuru pompa basma hattı
- Ön çökeltim yoğunlaştırıcısı çıkışı, çürütücü besleme pompa hattı
- Mekanik belt yoğunlaştırıcı girişi pompa hattı (3 hat)
- Mekanik belt yoğunlaştırıcı çıkışı çürütücü besleme pompa hattı (3 hat)
- Çürütücülerin (Digester) çıkışı, santrifüj dekantör besleme hattı
- Santrifüj dekantör çıkışı (konveyör döküm noktası)

Tesis çamur arıtma hatlarından alınan çamur numuneleri üzerinde KM, UAKM ve inorganik madde tayinleri yapılmaktadır;

Yapılan analizler tesis ünite ve ekipmanlarının verimliliğinin belirlenmesinde yardımcı olmak ve daha hızlı çözüm üretmek için daha az parametre ile analizler yapılmaktadır.

3.2. Yöntem

Tez konusunda seçilen ERBASAT, gerçek ölçekli ve çalışan bir tesis olup, tesisin işletmesinde yapılan atıksu ve çamur analizlerini içeren laboratuvar analiz sonuçları, üretilen biyogaz miktarı ve içeriği, SCADA sisteminden alınan online ölçüm sonuçları ve tesis verileri, tesiste üretilen çamur miktarları ESKİ Genel Müdürlüğü ile yapılan resmi yazışmalar sonucunda alınmış ve kullanılmıştır. ÇŞB tarafından yapılan çalışmalar ve sonuçları da tez aşamasında değerlendirilmiştir. Almış olduğumuz bu veriler incelenerek, ERBASAT’a ait ÇY’nin yapılması ve uygulanabilirliğinin ortaya çıkarılması üzerine çalışılmıştır. Tesisin atıksu ve çamur arıtma hatlarının, ÇY kapsamına incelenmesi, irdelenmesi ve değerlendirilmesi için gereken her bir aşama tanımlanarak, analiz sonuçları, miktarlar vb. elde edilen veriler detaylı bir şekilde ele

alınmıştır. Bu sayede tesiste üretilen çamurun en uygun bertaraf yöntemleri üzerine değerlendirmeler yapılmıştır.

3.2.1. Arıtma tesisinde yapılan analiz yöntemleri

Tesise gelen atıksuyun içeriğinin belirlenmesi ve tesis içerisindeki atıksu ve çamur arıtma hatlarında kontrolün sağlanması için atıksu ve çamur numuneleri alınmakta ve analiz edilmektedir. Atıksu arıtma hattından alınan numuneler üzerinde yapılan analiz bilgileri **EK 3**'de, çamur arıtma hattından alınan numune analizlerine ait bilgiler ise Çizelge **EK 4**'de detaylı olarak verilmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. ERBASAT'ın Giriş ve Çıkış Atıksu Karakteristiğinin İncelenmesi

2017 yılında ERBASAT'da toplam 30.235.800 m³/yıl, 2018 yılında ise 29.287.100 m³/yıl atıksu arıtılmıştır. Bu değerlendirmelere göre;

- 2017 yılında ortalama olarak 2.519.650 m³/ay ve 82.838 m³/gün
- 2018 yılında ortalama olarak 2.440.592 m³/ay ve 80.239 m³/gün

atıksu arıtılmıştır.

ÇY'nin belirlenmesi için öncelikle, ERBASAT'a giren atıksuyun debisi ve karakteristiği incelenmiş olup, 2017 ve 2018 yıllarına ait tesis işletme laboratuvarında yapılan analiz sonuçları Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de verilmiştir. Aynı şekilde, tesis çıkış suyu deşarj limitlerinin kontrolü için akredite laboratuvarında yapılan 2018 yılına ait analiz sonuçları, yönetmeliklerde belirtilen deşarj limit değerleriyle birlikte Çizelge 4.3'de verilmiştir. Çizelgelerdeki debi ve analiz sonuç çıktıları gerçek ölçekli çalışan işletme verileridir.

ERBASAT atıksu arıtım hattının belirli noktalarından kompozit numune alma cihazları ile 24 saatlik ve anlık (grab) olarak alınan numunelerin analizleri yapılmış olup, numune alım noktaları ve yapılan analizlere göre başlıklara ayrılarak 2017 ve 2018 yıllarına ait veriler Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de detaylı şekilde verilmiştir. Tesis giriş debisin ölçüldüğü on-line debi ölçüm cihazı kanal tipi (ultrasonik) olup, kum ve yağ tutucu tankı ile ön çökeltme tankı bağlantı kanalına yerleştirilmiştir. Çıkış noktasından alınan numuneler üzerinde yapılan analiz sonuçlarında, işletme laboratuvar sonuçları yerine akredite laboratuvar sonuçları değerlendirmeye alınmıştır. 2018 yılına ait akredite laboratuvar analiz sonuçları Çizelge 4.3'te deşarj limitleriyle birlikte verilmiştir.

Kompozit numune alma cihazının bulunduğu noktalar ve alınan numuneler üzerinde yapılan analizler aşağıdaki gibidir;

- Giriş noktası (ızgaralar öncesi); Su sıcaklığı, iletkenlik, pH, KOİ, BOİ₅, AKM, TN
- Ön çökeltme tankı çıkışı (biyolojik proses havuzları öncesi); KOİ, TN, AKM
- Çıkış noktası (deşarj öncesi); ÇO, iletkenlik, tuzluluk, numune alma sıcaklığı, hava sıcaklığı, BOİ₅, AKM, pH

Bunun yanında, tesis prosesinin ve arıtma veriminin takibi açısından belirlenmiş noktalardan (proses havuzları, dağıtım noktaları ve geri devir hatları gibi) alınan karışım sıvısı ve çamur numuneleri üzerinde yapılan analizler, atıksu numunelerinde olduğu gibi numune alım noktalarına ve yapılan analizlere göre başlıklara ayrılarak 2017 ve 2018 yıllarına ait veriler Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de detaylı şekilde verilmiştir.

Anlık (grab) numune alma noktaları ve alınan numuneler üzerinde yapılan analizler aşağıdaki gibidir;

- Son çökeltme havuzları dağıtım yapısı (biyolojik proses havuzları çıkışında olan ve homojen karışımın sağlandığı ünite); AKM, UAKM, Çamur hacmi (SV)
- Biyolojik proses havuzları (her gün 3 adet tankın birinden numune alınır); AKM, UAKM, çamur hacmi (SV), Su sıcaklığı, pH
- Geri devir hattı (son çökeltme havuzlarının dibinden çekilen ve iletim kanalı ile ara terfi merkezine gelen hattan); AKM, UAKM

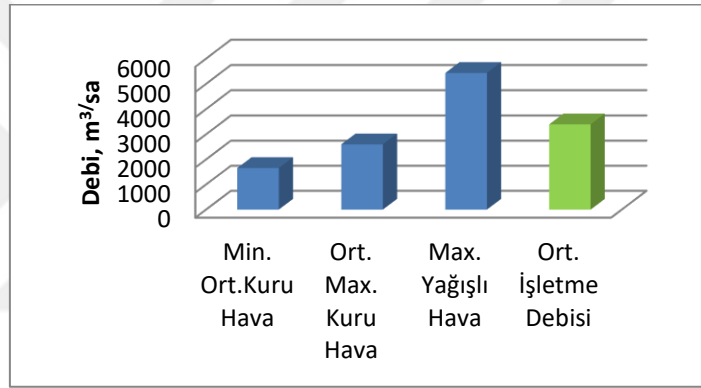
Çizelge 4.1. 2017 yılı AAT'ine giriş suyu karakteristik değerleri

		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ortalama
Fesis giriş atıksu debi ve kirlilik değerleri	Debi *10 ³ (m ³ /ay)	2.498	2.149	2.526,5	2.516,5	2.518,8	2.316,5	2.534,9	2.461,7	2.782,3	2.560,6	2.622,6	2.748,4	2.519,65
	Su Sıcaklığı (°C)	10,74	9,94	9,65	10,85	12,2	14,58	15,49	16,76	15,46	15,23	13,71	12,01	13,05
	pH	7,27	7,26	7,25	7,55	7,64	7,55	7,51	7,75	7,71	7,54	7,88	8,16	7,59
	İletkenlik (µs/cm)	740	752	753	748	770	715	703	642	625	634	801	751	719
	KOİ (mg/L)	360	356	344	313	340	402	368	339	359	382	335	255	346
	BOİ ₅ (mg/L)	233	217	219	195	160	185	159	165	198	207	214	145	191
	TN (mg/L)	36	36	38	35	33	31	32	31	40	40	44	29	35
	AKM (mg/L)	170	192	228	251	241	221	245	200	174	217	175	155	206
Birincil Çöktürme Çıkışı	KOİ (mg/L)	250	241	191	206	199	176	187	167	168	168	174	274	200
	TN (mg/L)	-	-	-	-	26	-	-	-	66	-	-	-	46
	AKM (mg/L)	83	105	132	131	138	117	127	107	81	91	85	158	113
Son Çöktürme Dağıtım Yapısı	AKM (mg/L)	5.474	4.788	4.345	5.020	6.019	7.940	7.019	6.628	5.319	5.213	4.509	4.614	5.574
	UAKM (mg/L)	4.038	3.609	3.167	3.636	4.427	5.722	6.555	4.654	3.588	3.586	3.197	3.175	4.113
	SV (mg/L)	779	809	800	729	634	640	716	765	709	724	805	815	744
Biyolojik Proses Havuzları	Proses Tankları SV (mg/L)	786	815	806	737	636	630	715	758	704	720	805	809	743
	Proses Tankları AKM (mg/L)	5.433	4.878	4.150	5.020	5.855	7.771	7.045	6.513	5.344	5.359	4.605	4.583	5.546
	Proses Tankları UAKM (mg/L)	3.910	3.658	2.989	3.671	4.317	5.607	5.825	4.567	3.503	3.752	3.478	3.225	4.042
	Sıcaklık (°C)	10,91	10,19	10,25	11,78	13,23	15,82	17,75	19,3	18,34	16,84	14,59	13	14,33
	Oksik Tank pH	6,97	7,29	6,72	6,65	6,63	6,78	6,61	6,61	6,6	6,76	7,19	7	6,82
Geri Devir Hattı	AKM (mg/L)	10.939	8.582	7.281	8.063	10.155	13.920	12.348	12.551	10.453	10.915	8.785	8.705	10.225
	UAKM (mg/L)	8.322	6.646	5.474	6.122	7.715	10.272	8.925	9.051	7.443	7.806	6.292	6.248	7.526

Çizelge 4.2. 2018 yılı AAT'ine giriş suyu karakteristik değerleri

		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ortalama
Tesis giriş atıksu debi ve kirlilik değerleri	Debi *10 ³ (m ³ /ay)	2.769,3	2.443	2.767,5	2.627,2	2.864,7	2.676	2.650,2	1.808,3	1.590	2.391,2	2.412,4	2.287,3	2.440,592
	Su Sıcaklığı (°C)	11,09	10,92	11,02	12,11	13,13	14,77	16,17	17,34	17,02	15,93	13,67	11,31	13,71
	pH	8,05	7,98	7,75	7,76	7,72	7,73	8,09	8,08	7,86	7,83	7,78	7,90	7,88
	İletkenlik (µs/cm)	757	738	805	754	688	678	708	743	744	735	799	832	748
	KOİ (mg/L)	133	157	316	374	389	356	308	299	297	316	345	316	300
	BOİ ₅ (mg/L)	79	93	184	209	222	185	171	172	171	180	199	188	171
	TN (mg/L)	20	22	32	28	22	21	23	28	32	30	34	31	27
	AKM (mg/L)	92	89	188	204	296	279	171	212	141	171	166	159	181
Birincil Çöktürme Çıkışı	KOİ (mg/L)	214	210	199	208	193	169	135	149	136	148	250	240	188
	TN (mg/L)	20	22	22	21	17	17	18	24	27	22	30	29	22
	AKM (mg/L)	99	121	131	143	144	115	75	94	65	85	100	114	107
Son Çöktürme Dağıtım Yapısı	AKM (mg/L)	5.035	4.745	4.543	3.700	5.374	5.509	6.032	8.328	5.647	7.094	7.067	7.709	5.899
	UAKM (mg/L)	3.725	3.484	3.262	2.608	3.625	3.845	4.285	4.659	3.788	5.171	5.290	5.750	4.124
	SV (mg/L)	808	815	818	813	780	813	784	780	525	600	744	778	755
Biyolojik Proses Havuzları	Proses Tankları SV (mg/L)	814	814	813	816	788	818	790	793	607	603	724	782	763
	Proses Tankları AKM (mg/L)	5.159	4.813	4.585	3.744	5.182	5.567	6.003	6.475	7.056	7.653	7.226	7.652	5.926
	Proses Tankları UAKM (mg/L)	3.788	3.491	3.502	2.613	3.657	3.894	4.345	4.848	4.801	5.901	5.151	5.824	4.318
	Sıcaklık (°C)	11,89	11,93	12,73	14,20	15,86	17,33	19,65	21,99	20,57	18,10	14,99	12,20	15,95
	Oksik Tank pH	7,36	7,36	7,56	7,64	7,66	7,62	7,76	7,74	7,41	7,58	7,08	7,04	7,48
Geri Devir Hattı	AKM (mg/L)	10.092	9.842	8.732	6.038	9.384	9.297	10.640	11.371	10.259	13.391	14.356	13.102	10.542
	UAKM (mg/L)	7.359	7.079	6.545	4.251	6.661	6.677	7.632	8.496	7.292	10.603	10.772	9.453	7.735

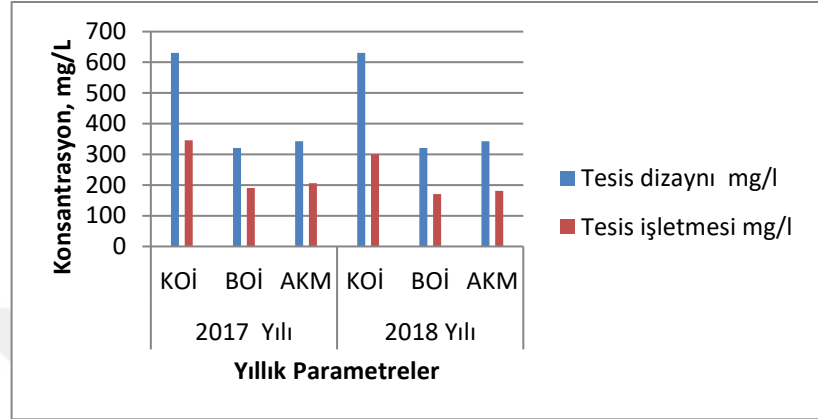
ERBASAT hali hazırda gerçek zamanlı işletilen bir tesis olup, tesisin dizayn aşamasında öngörülen debi miktarları ile gerçek zamanlı işletim aşamasında ölçülen debi miktarları Şekil 4.1’de verilmiştir. Buna göre, ortalama işletme debisi yıllar bazında $3397 \text{ m}^3/\text{sa}$ olarak ölçülmüştür. Debi miktarları günün belirli saatlerinde suyun kullanımına bağlı olarak azalma ve artma gibi salınımların yanında, yağışlı dönemlerde tesisin maksimum kapasitesine yakın debide atıksuyun geldiği ölçülmüştür. Bu durum tesise gelen kaba atık ve inorganik madde yüklemesini de artırdığından, ön arıtma ünite ve ekipmanlarının verimliliğini ciddi oranda etkilemektedir. Dolayısıyla, ön çökeltme havuzundan alınan birincil çamurun içeriğindeki inorganik madde oranını artırmaktadır.



Şekil 4.1. ERBASAT Dizayn debileri ile işletme debisinin karşılaştırılması

AAT’lerinde atıksu sıcaklığı ve besi maddesi (nutrient) gibi parametreler proses açısından son derece önemlidir. Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’den de görüldüğü üzere mevsim geçişlerinin yaşandığı aylarda ve özellikle kış mevsiminde sıcaklık ve besi maddesinde salınımlar görülmüştür. Bu salınımlar mikroorganizmaların beslenmesi ve çoğalmasını (özellikle N bakterilerinin) etkilediğinden proseste çamur yaşının ve geri devir oranlarının artırılması, ön çökeltim tankının veya tutulan çamurun bir kısmının by-pass edilmesi ve çamur atımının azaltılması gibi bazı senaryoları da beraberinde getirmektedir. Dolayısıyla stabilize çamur miktarı ve biyogaz üretiminde azalmalar meydana gelebilmektedir.

ERBASAT'ın dizayn hesaplarında kabul edilen ve işletme aşamasında ölçülen giriş kirlilik konsantrasyon değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2. ERBASAT dizayn ve işletme aşamasındaki tesis giriş kirlilik parametrelerinin karşılaştırılması

Şekil 4.2'de de görüldüğü üzere, ERBASAT'ın proses dizayn aşamasında seçilen giriş kirlilik parametreleri ile gerçek zamanlı yapılan analiz sonuçları arasında ciddi farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Dizayn aşamasındaki hesaplamalarda seçilen kirlilik parametreleri, işletme aşamasındaki analiz sonuçlarının yaklaşık iki katı olduğu görülmüştür. Bu durum mevsim değişimlerinde ve mevsimsel şartların getirdiği olumsuz koşulların yaşandığı dönemlerde işletme verimliliğini etkileyebilmektedir.

Tesisin verimli işletilmesinde fiziksel şartların uygunluğunun önemi çok büyüktür. Mikroorganizmaların yaşam faaliyetlerini sürdürebilmeleri için substrata ihtiyaçları vardır. Bunun yanında atıksu ve hava sıcaklığı, pH, ÇO, iletkenlik ve debi salınımları verimlilik üzerinde olumsuz etkiler meydana getirebilmektedir.

ERBASAT'ta arıtılan atıksu, ÇŞB tarafından belirlenmiş olan deşarj standartlarını sağlaması gerekmektedir. Bundan dolayı, belirli zamanlarda akredite laboratuvar tarafından alınan numunelerin analizi yapılmaktadır. 2018 yılına ait ERBASAT çıkış suyuna ait akredite laboratuvar analiz sonuçları ve deşarj limitleri Çizelge 4.3'te detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.3. 2018 yılına ait ERBASAT’da arıtılmış su deşarj limitleri ve akredite laboratuvar analiz sonuçları

Tarih	ÇO mg/L	İletkenlik µS/cm	Tuzluluk %	Numune Sıcaklığı °C	Hava Sıcaklığı °C	BOİ ₅ * mg/L	KOİ* mg/L	TAKM* mg/L	BOİ ₅ ** mg/L	KOİ** mg/L	AKM** mg/L	pH** -
27.02.2018	-	-	-	13,4	4	25	125	35	9	36	<10	7,34
28.03.2018	-	-	-	11,8	13	25	125	35	<5	20	<10	7,51
09.04.2018	-	-	-	-	-	25	125	35	7	31	13	7,44
09.04.2018	5,6	600	0,3	14,7	14	25	125	35	14	67	<10	7,11
15.05.2018	7,35	632	0,31	12	4	25	125	35	10	51	15	7,52
15.05.2018	6,1	620	0,3	14,4	14	25	125	35	5	23	<10	7,14
26.06.2018						25	125	35	7	31	<10	7,14
19.07.2018				20,9		25	125	35	9	45	<10	8,06
15.08.2018	-	-	-	14,8	22	25	125	35	7	34	10	8,3
19.09.2018	-	-	-	24,3	-	25	125	35	11	45	<10	7,85
27.09.2018	-	-	-	13,1	-	25	125	35	14	80	<10	8
15.10.2018	-	-	-	16,1	-	25	125	35	10	52	<10	7,77
15.10.2018	-	-	-	17,2	-	25	125	35	8	38	<10	7,85
31.10.2018	-	-	-	10,7	-	25	125	35	<5	23	<10	7,42
26.11.2018	-	-	-	9,1	-	25	125	35	9	36	<10	7,32
30.11.2018	-	-	-	10,2	-	25	125	35	<5	17	<10	7,34
21.12.2018	-	-	-	11,8	-	25	125	35	10	41	11	6,88
26.12.2018	-	-	-	8,5	-	25	125	35	9	38	<10	7,28
Ortalama	6,35	617,33	0,30	13,93	11,84	25	125	35	9,26	39,33	12,25	7,51

*Limit Değer: KAAY Ek-4 Tablo 1 Kentsel Atıksu Arıtım Tesislerinden İkincil ilişkin Deşarj Limitleri (EN 10000 den fazla ise)

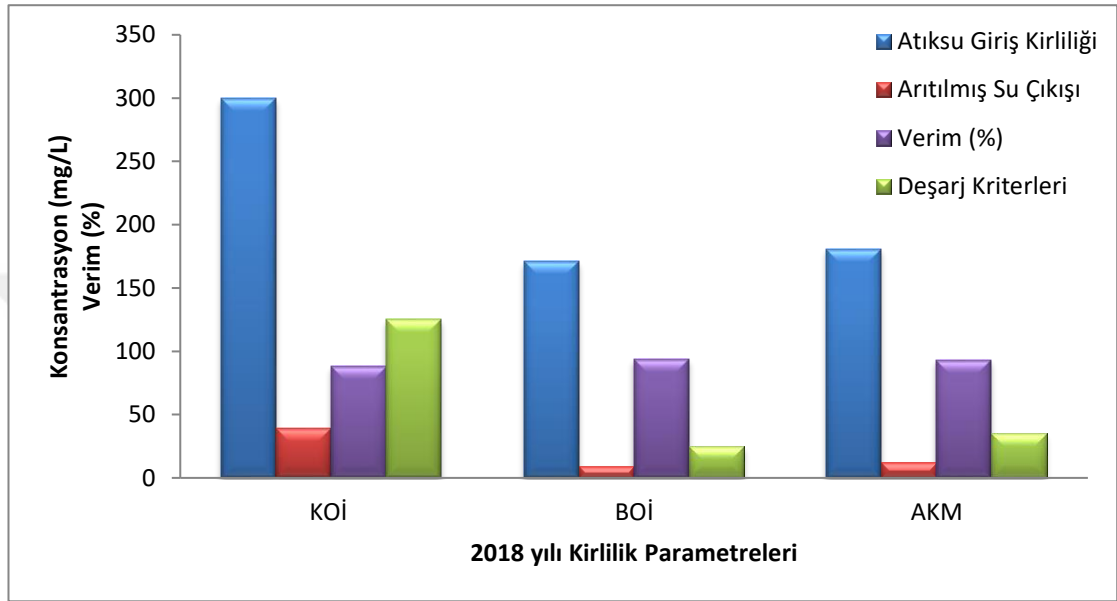
**Muhtelif zamanlarda alınan numunelere ait akredite laboratuvarda yapılan analiz sonuçları

Şekil 4.3’te, 2018 yılına AAT’ne giren ham atıksu, tesiste arıtılan çıkış suyu ve deşarj kriterleri karşılaştırılmış olup, arıtma verimliliği belirlenmiştir. Atıksu giriş kirlilik değerlerinin ortalaması Çizelge 4.2’de ve arıtılmış su çıkış değerlerinin ortalaması ise Çizelge 4.3’te detaylı olarak verilmiştir.

ERBASAT’ta arıtma işlemlerinden geçirilen atıksu belirlenen limit değerlere kadar arıtılmasının ardından Fırat Nehri’nin ana kollarından olan Karasu Nehrine verilmektedir.

ERBASAT arıtma çıkış hattından alınan 2018 yılına ait atıksu numuneleri akredite laboratuvarda analizleri yapılmış olup, giriş değerleriyle deşarj edilen atıksu analiz

sonuçları karşılaştırılarak tesis verimine ait değerlendirmeler yukarıda yapılmıştır. Tesisin işletme giriş parametreleri, çıkış parametreleri, deşarj standartları ve tesis verimliliğine ait tespitler Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. ERBASAT deşarj (arıtılmış su) kalitesi ve verimliliği

ERBASAT'ın 2018 yılı giriş kirlilik parametreleri ile çıkış değerleri karşılaştırıldığında arıtma verimliliğine dair aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır;

- KOİ verimliliği; tesise giren atıksu içerisindeki KOİ değerinin, 2018 yılı ortalaması olan 300 mg/L'den deşarj noktasında 40 mg/L'ye kadar düştüğü görülmüştür. Deşarj edilen suyun yönetmelikte belirlenmiş olan değerden (125 mg/L) düşük olduğu ve parametre verimliliğinin yaklaşık %88-90 civarında olduğu,
- BOİ verimliliği; tesise giren atıksu içerisindeki BOİ değerinin, 2018 yılı ortalaması olan 170 mg/L'den, tesis çıkışında < 10 mg/L'ye kadar düştüğü görülmüştür. Deşarj edilen suyun yönetmelikte belirlenmiş olan değerden (25 mg/L) düşük olduğu ve parametre verimliliğinin yaklaşık %94 civarında olduğu,
- AKM verimliliği; giren atıksu içerisindeki AKM değerinin, 2018 yılı ortalaması olan 180 mg/L'nin tesis çıkışında 12,5 mg/L'ye kadar düştüğü görülmüştür. Deşarj

Çizelge 4.4. 2017 yılı tesiste tutulan katı ve sıvı atıklar ile üretilen çamur miktarları

2017 Yılı	Üretilen Çamur Miktarı	Kepçe Tipi Kaba İzgara Atık Miktarı (>80mm)	Kaba ızgara atık miktarı (>20mm)	İnce İzgara Atık Miktarı (>6mm)	Yüzen Çamur ve Atık Yağ Miktarı	Kum- Çakıl Miktarı
	kg	kg	kg	kg	m ³	m ³
Ocak	1.240.300	10.000	5.000	30.000	3	5
Şubat	986.600	15.000	10.000	25.000	3	5
Mart	1.023.700	16.000	10.000	35.000	3	25
Nisan	835.100	10.000	20.000	30.000	3	45
Mayıs	951.300	5.000	20.000	20.000	3	30
Haziran	951.700	5.000	10.000	30.000	5	10
Temmuz	908.000	15.000	15.000	40.000	5	20
Ağustos	638.400	40.000	10.000	35.000	6	30
Eylül	638.400	5.000	5.000	10.000	3	20
Ekim	1.298.300	40.000	10.000	65.000	6	55
Kasım	1.201.700	20.000	15.000	40.000	7	50
Aralık	1.117.500	30.000	10.000	40.000	-	45
Ortalama	982.583	17.583	11.667	33.333	4	28
Toplam	11.791.000	211.000	140.000	400.000	47	340

Çizelge 4.5. 2018 yılı tesiste tutulan katı ve sıvı atıklar ile üretilen çamur miktarları

2018 Yılı	Üretilen Çamur Miktarı	Kepçe Tipi Kaba İzgara Atık Miktarı (>80mm)	Kaba ızgara atık miktarı (>20mm)	İnce İzgara Atık Miktarı (>6mm)	Yüzen Çamur ve Atık Yağ Miktarı	Kum- Çakıl Miktarı
	kg	kg	kg	kg	m ³	m ³
Ocak	1.016.100	20.000	10.000	30.000	4	35
Şubat	881.000	15.000	10.000	25.000	5	15
Mart	997.300	20.000	10.000	35.000	3	25
Nisan	744.800	10.000	15.000	25.000	3	30
Mayıs	820.800	30.000	10.000	35.000	3	60
Haziran	912.000	15.000	5.000	15.000	3	40
Temmuz	927.000	10.000	10.000	20.000	6	40
Ağustos	516.800	5.000	15.000	20.000	3	45
Eylül	486.400	20.000	5.000	15.000	4	30
Ekim	1.109.600	30.000	10.000	35.000	4	35
Kasım	1.033.100	20.000	10.000	35.000	4	30
Aralık	1.079.200	20.000	5.000	35.000	4	45
Ortalama	877.008	17.917	9.583	27.083	4	36
Toplam	10.524.100	215.000	115.000	325.000	46	430

ERBASAT'tan çıkan stabilize çamurun kuruluk miktarı yaklaşık %22-25 KM aralığında olduğu ölçülmüştür. Tesisten elde edilen verilere göre çamur susuzlaştırma ekipmanlarından çıkan stabilize çamurun aylık ortalaması 2017 yılında 982 ton ve 2018 yılında 877 ton olarak kayıt altına alınmış olup, 2017 yılında toplam 11.791 ton ve 2018 yılında ise toplam 10.524,1ton stabilize çamur üretilmiştir. 2017 ve 2018 yıllarına ait veriler değerlendirildiğinde günlük ortalama 30 ton/gün stabilize çamur üretimi gerçekleşmiştir. Çamur miktarında dönemsel olarak farklılıklar olduğu görüşmüş ve özellikle Ağustos ve Eylül aylarında çıkan stabilize çamur miktarının düşük çıkmasının nedenleri aşağıda sıralanmaktadır.

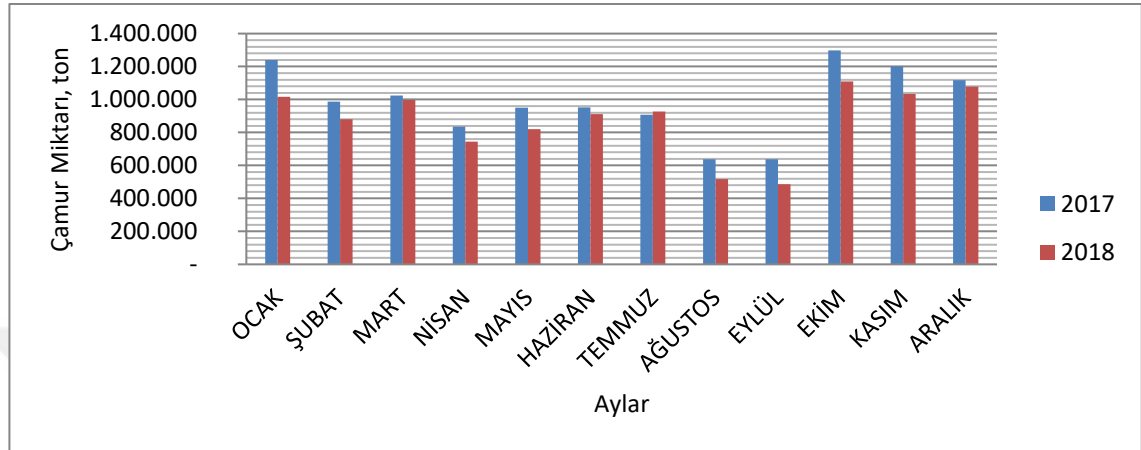
- Biyolojik prosesin yaz aylarında fizibil çalışması ve OM parçalanabilirliğinin maksimum seviyede olması,
- Tesise gelen atıksu miktarının yaz nüfusuna bağlı olarak azalması ve kirlilik yüklerinin düşmesi,

Ekim ayındaki çamur artışı göz önünde bulundurulduğunda, tesis çamur hatlarının bakıma alınması ve çamur yaşının yükseltilerek sistemden atılmaması gibi değerlendirmelerde bulunulabilir.

Çizelge 4.4 ve 4.5'te görüldüğü üzere, ön arıtma ünitelerinde tutulan atık miktarlarında zaman zaman düşmeler tespit edilmiştir. Özellikle yağmurlu dönemlerde atıksu içeriğindeki organik ve inorganik madde oranları, arıtım ve işletme kalitesine göre değişim göstermiştir. Yaz dönemlerinde tesiste tutulan katı atık ve kum miktarlarında ciddi azalmalar meydana gelmesine karşın, yağmurlu dönemlerin başlamasıyla birlikte atıksu içeriğindeki kum miktarının artması, dolayısıyla çamurunun da inorganik madde oranının değişimine sebep olmuştur. Kum tutucularda tutulamayan kum direk olarak ön çökeltim havuzlarında çökelmekte ve bu da birincil çamur ile birlikte AÇÇ'ye iletilmektedir. Birleşik kanalizasyon sistemlerinde görülebilecek problemler ERBASAT'ta da görülmüştür.

Çizelge 4.5'teki 2018 yılı verileri incelendiğinde, Mayıs ve Haziran aylarının yağışlı geçmesi sonucu atılan kum miktarlarında, diğer aylara göre farklılık olduğu

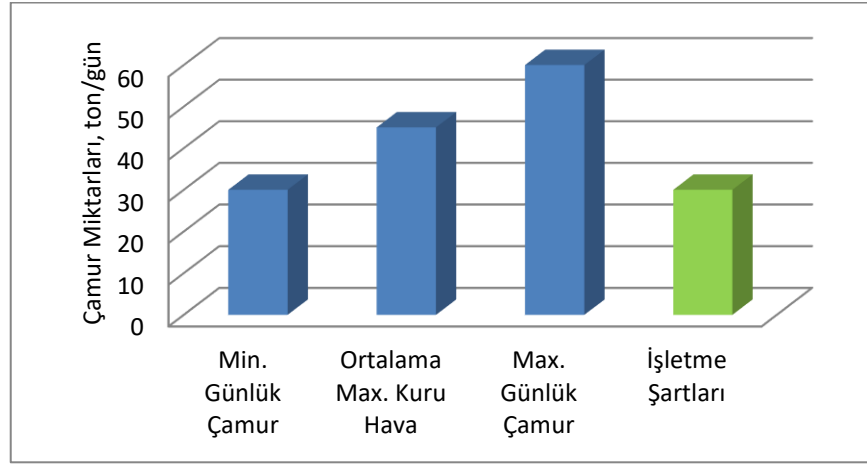
görülmüştür. ERBASAT'tan çıkan stabilize çamurun miktarlarına ait yıllık veriler Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. 2017-2018 yıllarına ait ERBASAT'ta üretilen çamur miktarları

4.3. Tesiste Üretilen Çamur Miktarının Değerlendirilmesi

ERBASAT'ta üretilen çamur, Çizelge 4.4 ve 4.5'ten elde edilen verilere göre 2017 yılında ortalama 32 ton/gün, 2018 yılında ise 28,8 ton/gün'dür. Bu değerlere göre, günlük ortalama 30 ton/gün olduğu, bunun proses dizayn aşamasında hesaplanan miktarla karşılaştırılması yapıldığında, minimum miktara denk geldiği görülmüştür. Hesaplamalar saatlik yapıldığında ise 1,26 ton/sa olduğu ortaya çıkmaktadır. Tesisten çıkan stabilize çamur miktarları ile dizayn hesaplarında öngörülen miktarların karşılaştırılması Şekil 4.6'te gösterilmiştir.



Şekil 4.6. ERBASAT'ta üretilen çamur miktarının dizayn aşamasındaki değerlerle karşılaştırılması

Tesise giren atıksu debisin proje hesaplamalarında kabul edilen ortalama debiden yüksek olduğu görülmektedir. Ancak, atıksudaki giriş kirlilik parametrelerinin Şekil 4.3'te de teyit edildiği üzere atıksu için proje dizaynındaki giriş kirlilik verileriyle gerçek işletme kirlilik verileri kıyaslandığında, gerçek verilerin daha düşük olması üretilen çamur miktarının minimum seviyede kalması sonucunu doğurmuştur.

Stabilize çamur; ERBASAT atıksu arıtma hatlarında üretilerek belirli bir yoğunluğa getirilmesinin ardından AÇÇ'lere basılan ve daha sonra çamur binasında susuzlaştırma işleminden geçirildikten sonra elde edilen biyokatıdır. Oluşan biyokatı sürekli çıkan bir ürün değildir. Santrifüj dekantörler, çürütülmüş çamur depolama tankının seviye sensörüne göre manuel veya operatör kontrolünde otomatik olarak devreye girmektedir. Susuzlaştırma işlemi çürütülmüş çamur tankındaki çürütülmüş çamur bitene kadar devam etmektedir.

4.4. Ham ve Stabilize Çamurun Organik ve İnorganik İçeriğinin Değerlendirilmesi

ÇY'nin belirlenmesinin en önemli hatlarından birisi de çamur arıtma ve işleme hattı'dır. ERBASAT'a giren atıksuyun arıtılması aşamalarında üretilen birincil ve ikincil çamur, ham (işlenmemiş) çamur olarak değerlendirilmektedir. Ham çamurun yoğunluğunu

artırmak için bir takım fiziksel, kimyasal ve mekanik yoğunlaştırma işlemleri uygulanmakta ve daha sonra çürütölmek üzere AÇÇ'ye gönderilmektedir. Bunlardan ön çamur graviteli yoğunlaştırıcılara gönderilir ve belirli bir yoğunluk elde edildikten sonra maseratörlerden geçirilerek AÇÇ'ye basılır. Son çamur ise, çamur binasında bulunan mekanik belt yoğunlaştırıcılara gönderilir ve belirli bir yoğunluğa ulaştırılmasının ardından çürütölmek üzere AÇÇ'ye gönderilmektedir. AÇÇ'de mezofilik ortamda 18-20 gün kadar bekletilerek çürütülen çamur, daha sonra çürütölmüş çamur depolama tankına basılmaktadır. Burada 1 gün süreyle bekletilebilen çürütölmüş çamur, dekantör besleme pompaları tarafından çekilerek dekantörlere basılmaktadır.

Çamur arıtma hattı kendi içinde çamur arıtma ve çamur çürütme hattı olmak üzere iki ayrı hat olarak öngörülmüş ve çizelge içinde farklı başlıklarda değerlendirilmiştir. Çamur arıtma hatlarının her bir noktasından alınan numuneler üzerinde KM ve UAKM analizleri yapılmış olup, 2017 ve 2018 yıllarına ait analiz sonuç verileri Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7'de detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.6. 2017 yılı ERBASAT’da üretilen ham ve işlenmiş çamurun analiz sonuçları

2017	Çamur Arıtma Hattı								
	Ön Çamur pompası	Maseratör	Maseratör	Mekanik	Mekanik	Mekanik	Çürütücü	Dekantör	Dekantör
	KM	KM	UAKM	Yoğunlaştırma	Yoğunlaştırma	Yoğunlaştırma	Çıkışı	Çıkış	Çıkış
	mg/L	mg/L	mg/L	Giriş KM	Çıkış KM	Çıkış UAKM	mg/L	mg/L	mg/L
Ocak	11.030	36.453	30.492	12.146	60.335	48.606	23.945	198.364	143.070
Şubat	9.218	33.919	27.791	10.636	57.674	47.686	23.138	189.926	139.213
Mart	8.589	26.165	20.863	8.590	63.786	51.502	20.744	208.941	143.173
Nisan	10.695	35.418	26.498	9.569	60.111	47.324	22.543	220.131	143.706
Mayıs	8.547	23.501	18.005	11.641	58.206	46.356	23.713	227.084	143.263
Haziran	10.763	36.652	26.920	14.935	55.706	42.420	22.621	224.484	141.226
Temmuz	8.015	31.321	22.661	13.316	53.470	41.595	23.724	217.159	137.298
Ağustos	12.292	36.348	25.617	13.203	60.228	44.227	26.532	238.696	142.478
Eylül	6.281	22.398	14.466	11.167	61.443	44.277	26.157	245.937	144.006
Ekim	8.437	59.615	38.508	11.292	61.034	44.284	31.986	235.034	138.844
Kasım	10.912	41.818	24.711	8.833	58.671	44.204	30.768	214.593	114.565
Aralık	7.313	28.189	17.868	8.881	60.917	44.466	28.180	233.820	129.070
Ortalama	9.341	34.316	24.533	11.184	59.298	45.579	25.337	221.181	138.326

KM; çamur içerisindeki organik ve inorganik maddenin toplamını, UAKM; çamur içerisindeki organik maddenin miktarını belirtir.

Çizelge 4.6. (devam)

2017	Çamur Çürütme Hattı			
	Çürütücü 1	Çürütücü 1	Çürütücü 2	Çürütücü 2
	KM	UAKM	KM	UAKM
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Ocak	25.970	18.604	24.864	17.635
Şubat	21.271	14.944	21.325	15.108
Mart	20.400	13.701	20.197	13.648
Nisan	22.370	13.997	22.293	14.351
Mayıs	23.267	14.837	23.485	15.182
Haziran	20.580	12.728	23.593	15.089
Temmuz	21.319	13.217	23.398	14.496
Ağustos	28.220	17.208	26.606	16.276
Eylül	27.010	15.349	26.820	15.541
Ekim	32.524	19.444	33.859	20.546
Kasım	30.201	18.351	31.092	19.051
Aralık	27.966	16.184	28.107	16.114
Ortalama	25.092	15.714	25.470	16.086

KM; çamur içerisindeki organik ve inorganik maddenin toplamını, UAKM; çamur içerisindeki organik maddenin miktarını belirtir.

Çizelge 4.7. 2018 yılı ERBASAT’da üretilen ham ve işlenmiş çamurun analiz sonuçları

2018	Çamur Arıtma Hattı								
	Ön Çamur pompası KM	Maseratör KM	Maseratör UAKM	Mekanik Yoğunlaştırma Giriş KM	Mekanik Yoğunlaştırma Çıkış KM	Mekanik Yoğunlaştırma Çıkış UAKM	Çürütücü Çıkışı KM	Dekantör Çıkış KM	Dekantör Çıkış UAKM
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Ocak	8.510	26.694	18.557	9.963	57.871	43.290	24.890	223.402	123.094
Şubat	7.416	23.019	18.644	9.866	54.912	40.973	24.017	225.326	131.377
Mart	5.358	28.878	21.894	9.029	60.966	46.350	23.039	221.217	136.705
Nisan	5.394	25.846	18.224	7.085	56.982	40.609	22.274	234.607	197.143
Mayıs	10.725	36.730	28.069	10.476	62.705	51.241	25.829	243.121	156.232
Haziran	4.637	32.815	26.116	12.113	56.880	44.699	28.565	245.990	148.843
Temmuz	7.198	38.746	39.663	12.772	56.447	41.278	26.112	228.645	127.115
Ağustos	8.976	34.855	28.949	12.478	54.809	39.911	27.019	224.931	137.792
Eylül	5.116	30.982	23.909	11.868	64.016	43.467	25.772	232.082	130.803
Ekim	6.100	40.719	31.837	15.652	51.437	41.718	26.895	221.451	140.729
Kasım	8.876	43.074	31.879	15.687	54.502	43.609	26.935	216.559	146.277
Aralık	9.980	34.481	23.591	15.688	58.870	43.656	27.778	225.613	143.854
Ortalama	7.357	33.070	25.944	11.890	57.533	43.400	25.760	228.579	143.330

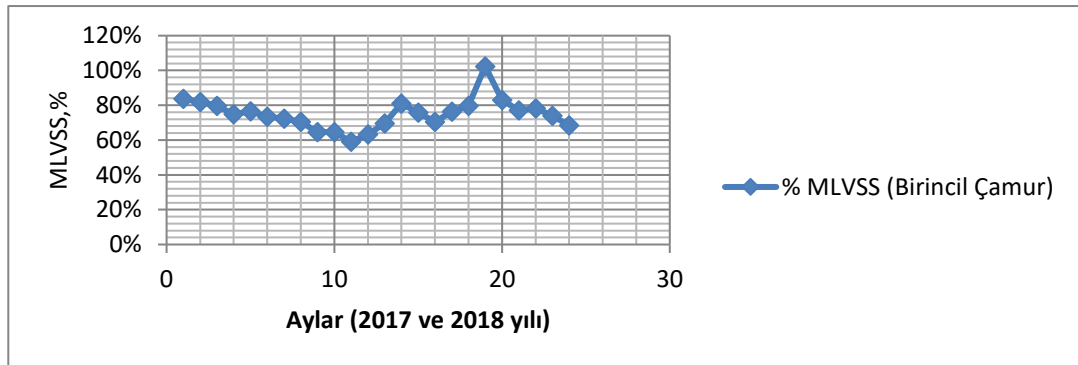
KM; çamur içerisindeki organik ve inorganik maddenin toplamını, UAKM; çamur içerisindeki organik maddenin miktarını belirtir.

Çizelge 4.7. (devam)

2018	Çamur Çürütme Hattı			
	Çürütücü 1	Çürütücü 1	Çürütücü 2	Çürütücü 2
	KM	UAKM	KM	UAKM
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Ocak	22.501	13.656	22.963	13.889
Şubat	22.478	14.032	22.018	13.736
Mart	22.987	15.877	22.349	15.494
Nisan	21.483	15.107	20.626	14.337
Mayıs	24.318	15.844	24.245	15.852
Haziran	25.617	16.072	24.097	14.906
Temmuz	28.954	16.551	28.372	16.248
Ağustos	28.735	17.756	26.732	16.302
Eylül	26.001	15.824	25.511	15.723
Ekim	28.799	18.570	27.990	18.261
Kasım	27.036	17.627	27.234	17.809
Aralık	26.489	16.684	25.953	16.341
Ortalama	25.450	16.133	24.841	15.741

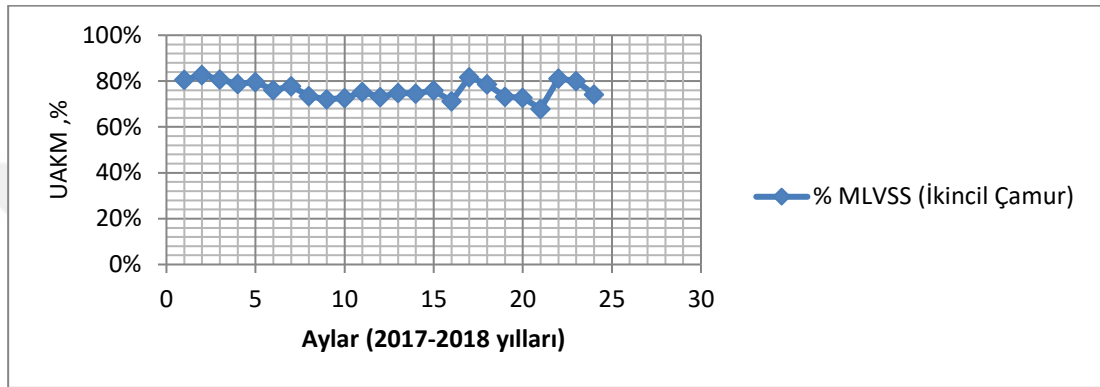
KM; çamur içerisindeki organik ve inorganik maddenin toplamını, UAKM; çamur içerisindeki organik maddenin miktarını belirtir.

Graviteli yoğunlaştırıcılardan belirli bir yoğunlukta çıkan ve AÇÇ'ye basılan birincil çamur hattından alınan numuneler üzerinde KM ve UAKM analizleri yapılmış olup, UAKM oranları ile ilgili Şekil 4.7'de 2017'den itibaren 24 aylık değerlendirme yapılmıştır. Birincil çamurdaki UAKM oranı yaz dönemlerinde, kış ve yağışlı mevsimlerde daha düşük olduğu görülmektedir.



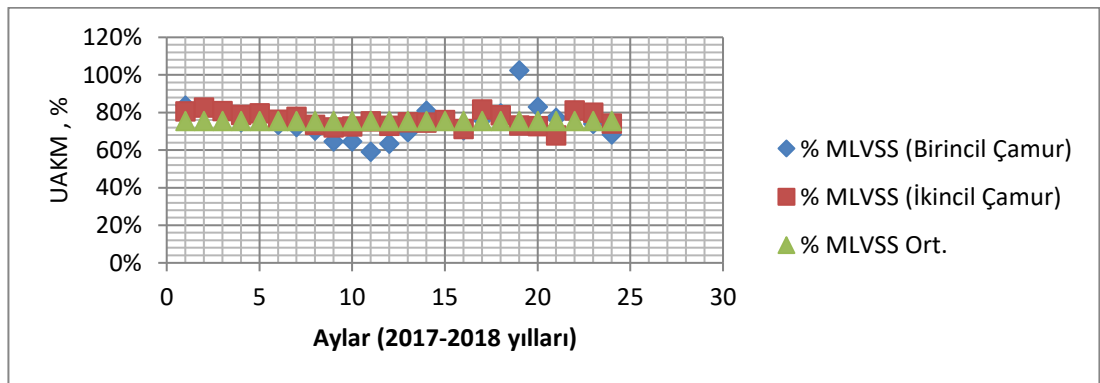
Şekil 4.7. Birincil çamur UAKM oranı

Mekanik belt yoğunlaştırıcılardan belirli bir yoğunlukta çıkan ve AÇÇ'ye basılan ikincil çamur'a ait 2017'den itibaren 24 aylık UAKM oranları Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Buna göre, ikincil çamurdaki UAKM oranı çok küçük değişimler gösterse de, birincil çamurda olduğu kadar agresif davranmamış ve ortalama stabilitesini koruduğu görülmüş fakat, 2018 yılında 2017 yılına göre daha fazla salınım gerçekleştirmiştir.



Şekil 4.8. İkincil çamur UAKM oranı

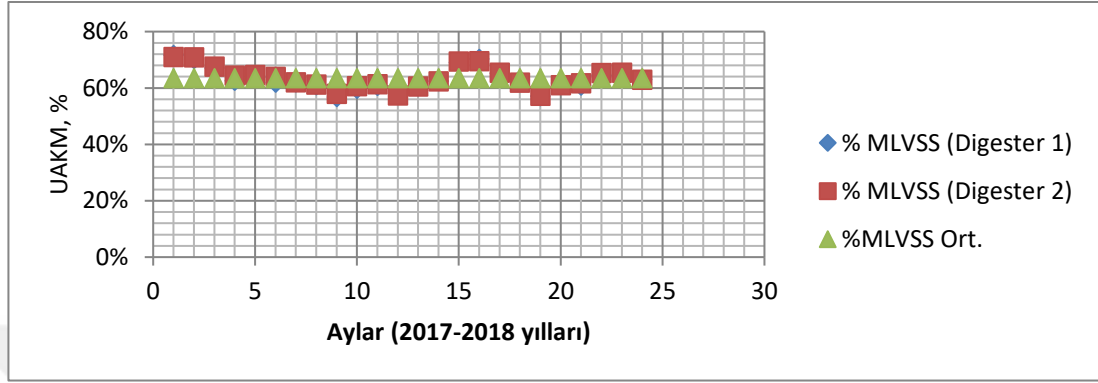
Şekil 4.9'da görüldüğü üzere, MLVSS ortalamasının %76 olduğu karışım çamurunda, birincil çamurun 2018 yılındaki mevsimsel şartlara göre daha çok salınım gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.9. Birincil ve ikincil çamurun UAKM değerleri

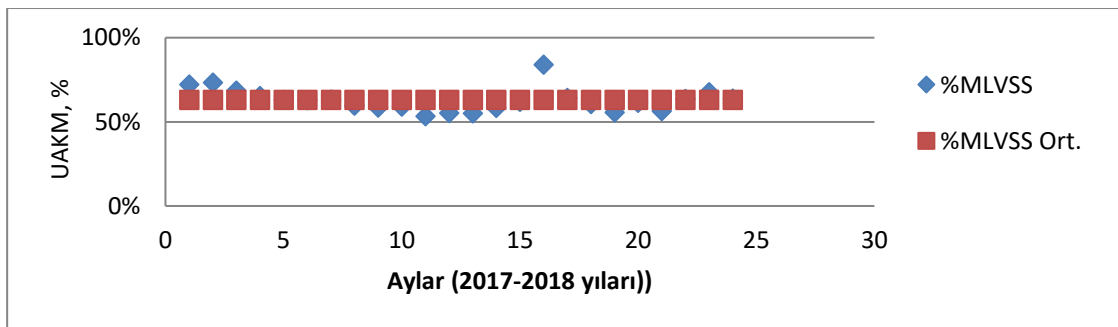
Şekil 4.10'da görüldüğü üzere, Çürütücü çamurunun MLVSS oranı %62-63 oranında değişim göstermiştir. ERBASAT'da 2 adet Çürütücü bulunmakta olup, 2018 yılında

giren ham çamurun salınım göstermesi, Çürütücü çamurunu da etkilemiş, fakat her iki Çürütücü kendi stabilizesini bozmayarak aynı koşullarda işletilmiştir.



Şekil 4.10. Çürütücü çamuru UAKM oranı

Çürütücülerde stabilizasyon işlemine tabi tutulan çamur, santrifüj dekantörlere gönderilir. Şekil 4.11’de AÇÇ’lerdeki çamurun UAKM içeriği gösterilmiş olup, buradan alınan çürütülmüş çamur dekantörlerde susuzlaştırılmakta ve çıkan stabilize çamurun (biyokatı) UAKM oranı %62-63 oranında değiştiği göstermiştir. ERBASAT’da 2 adet santrifüj dekantör bulunmakta olup, 2017-2018 yıllarındaki veriler incelendiğinde, Şekil 4.11’de görüldüğü gibi çürütücülere giren ham çamurun salınım göstermesinin etkisi az da olsa dekantörden çıkan çamurda da kendini göstermiştir.



Şekil 4.11. Dekantörden çıkan çamurun UAKM oranı

4.5. Çamurun Çürütülmesinden Elde Edilen Biyogaz Miktarı ve Enerji Üretimi

Çamurların AÇÇ’de çürütülmesi sonucu elde edilen biyogaz, daha sonra gaz jeneratörlerinde yakılarak ısı ve elektrik enerjisi üretilmektedir. 2017 ve 2018 yıllarına ait elektrik şebekesinden çekilen enerji ve tesiste üretilen enerji miktarlarının karşılaştırılması ve ihtiyacı karşılama oranlarına dair veriler Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Tesiste üretilen biyogaz miktarı ve üretilen enerji miktarı

Yıllar	Çürütücülerde Biyogaz Üretimi (Ort.) Nm ³ /gün	Kojenerasyonda Üretilen Enerji (Ort.) MW _{sa}	Şebekeden Çekilen Enerji (Ort.) MW _{sa}	Üretilen Enerjinin Tesisin ihtiyacını Karşılama Oranı*
2017	4.759	3.410	2.143	%61,4
2018	4.558	3.374	3.428	%49,6

* % Oran=(Üretilen Enerji /Toplam Tüketilen Enerji)x100

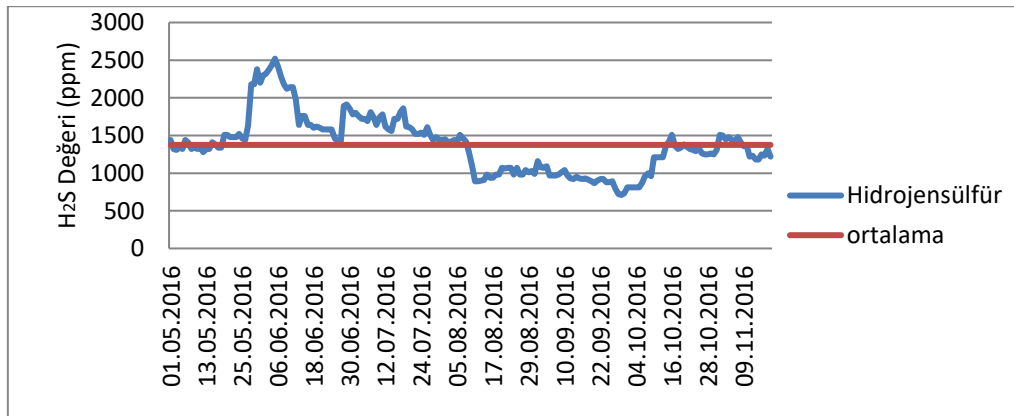
Atıksu arıtma hattında oluşan çamurun yoğunlaştırma işlemlerinin ardından anaerobik ortamda çürütüleerek metan ve diğer gazlar (biyogaz) elde edilir. Biyogaz içerisindeki H₂S’in bir kısmı desülfürizasyon ünitesinde giderilerek biyogaz yakma motorlarının (kojenerasyon) yakabileceği limit değerlere indirilir ve daha sonra gaz depolama balonlarında depolanır. Depolanan biyogaz seviye sensörlerinden aldığı sinyale göre kojenerasyon ünitesine basılarak yakılır. Biyogaz motorlarında yakılan biyogazdan elektrik enerjisi elde edilir, baca gazı ısısından ise, ısı kazanlarındaki su ısıtılarak çamurun sıcaklığını anaerobik proses için ihtiyaç duyulan seviyede getirilmesi ve AÇÇ sıcaklığının belirlenen aralıkta kalması sağlanır. Üretilen elektrik enerjisi tesis trafo sistemi ile otomatik çalıştığından, üretilen enerji tesisin ihtiyacında kullanılır.

Çizelge 4.12’de H₂S’in 2016 yılına ait biyogaz içindeki kirlilik değerleri gösterilmiştir. Kirlilik oranlarında çamurun içeriğinden kaynaklı değişimler meydana gelmektedir. Bu değişimlerin birkaç nedeni olabilmektedir. Gaz üretimi tesise gelen atıksuyun debisine,

kirlilik karakteristiği ve üretilen çamur miktarına göre değişebilmektedir. Bunları kısaca sıralarsak;

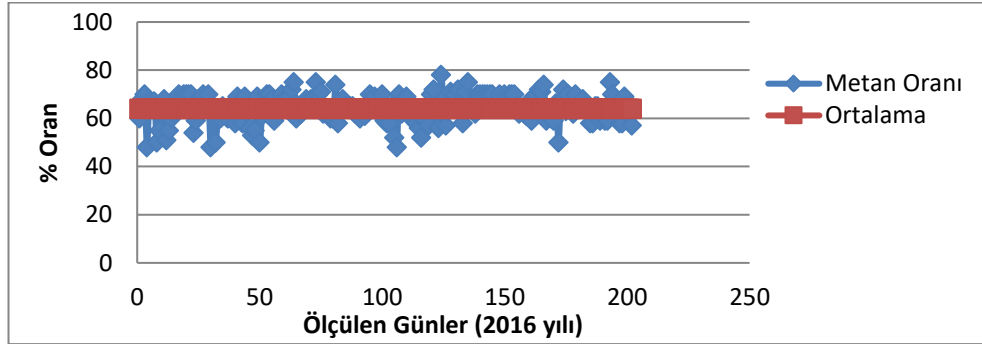
- Atıksuyun KOİ, BOİ ve AKM vb. kirlilik parametreleri düştüğünde ön çökeltme havuzu fonksiyonel olarak çalıştırıldığından biyogaz üretimi için önemli olan birincil çamur, çürütücülere gönderilmemiş olmaktadır.
- Desülfürizasyon ünitesinde yeteri miktarda arıtma olmadığı zamanlarda biyogazın içeriği kirli olduğundan kojenerasyona verilmeyerek ya atık gaz yakma bacasından veya ısı kazanlarında yakılarak bertaraf edilmektedir. Biyogazın kojenerasyon motorlarında yakılmasında H_2S 'in limit değeri ≤ 293 ppm olarak kabul edilmiştir.

AAT çamur çürütücülerinde üretilen biyogaz içerisindeki Mayıs ve Kasım ayları arası günlük H_2S değerlerini gösterir bilgiler Şekil 4.12'de verilmiştir. Bu ölçümler günün 24 saatinde, bütün gaz hatlarındaki numune alma noktalarından yapılmakta ve kayıt altına alınmaktadır. Birincil çamurun çürütücülere verilmesi H_2S 'in ppm oranını artırmaktadır.



Şekil 4.12. 2016 yılında üretilen ham biyogaz içerisindeki H_2S oranı

ERBASAT'da 2016 yılına ait gaz hattında yapılan ölçümler sonucu elde edilen verilerde, çamur çürütücülerde üretilen ham biyogaz içerisindeki CH_4 oranının Şekil 4.13'te %63-65 aralığında olduğu görülmüştür. Bu oran literatür bilgilerinde belirtilen aralıkta kalmıştır. Bu durum sistemin iyi bir performansla işletildiğinin göstergesidir.



Şekil 4.13. 2016 yılında çamur çürütücülerde üretilen biyogaz içerisindeki CH₄ % oranı

AÇÇ’de oluşan toplam biyogazın içerisindeki CH₄’ın hacimsel oranı %50-80 arasında değişmektedir (Can 2017). Tesiste ölçülen biyogaz içerisindeki CH₄ değerinin ortalama %63-64 oranında olduğu ölçümlerle tespit edilmiştir.

4.6. Çamurun Nihai Bertarafı ve Nihai Bertaraf Alternatiflerinin Değerlendirilmesi

ERBASAT’ın projelendirme ve yapım aşamasında, tesisten üretilen stabilize çamurun nihai bertarafına ilişkin yatırım yapılmamış olup, hali hazırda stabilize çamur depolama sahasında bertaraf edilmektedir.

ÇYS, AAT’lerinin ayrılmaz bir parçasıdır ve bu şekilde kabul edilmelidir. Bu sebepten dolayı, ERBASAT’da Atık Yönetim Stratejisi içerisinde yer alan en uygun ve sürdürülebilir ÇYS seçeneklerinin belirlenmesi gerekmektedir. ÇY’nin belirlenebilmesi için, çamur kaynağına ilişkin detay verilere ulaşmak ve elde edilen verilerin iyi değerlendirilmesi gerekmektedir.

Ülkemizde AAT’lerinin sayısı nüfus sayısına göre az olsa da, son yıllarda AB’ye uyum çerçevesinde ciddi oranda artış meydana gelmeye başlamıştır. Bununla birlikte Türkiye’deki çevre yasalarını AB mevzuatlarına uydurilmaya çalışmasına müteakiben atıksu kaynağı olan SUKİ’lere ve işletmelere yeni kısıtlamalar getirilmiştir. Bu yasalara

uyum ve uygulanmaya başlanması ile birlikte daha önceleri gündeme gelmeyen sorunlar da beraberinde gelmiş olup, ÇY’de önemli bir başlık halini almıştır.

Ülkemizde yapılan eski AAT’lerinden çıkan çamur, basit yöntemlerle bertaraf edilme yoluna gidilmiştir. AB ve dünya ülkelerinin uygulamaları dikkate alındığında, AAT’lerinden çıkan çamurun kontrolsüz veya düzensiz şekilde bertarafının yerine, sürdürülebilir ve kontrollü bertaraf yöntemlerinin seçildiği görülmüştür. Bununla ilgili yeni teknoloji ve prosesler uygulanmaya başlanmış ve araştırmalara göre çamurun depolanması ve toprakta kontrolsüz kullanımına dair AB ülkelerinde giderek azalan bir eğilim gözlenmiştir. Bu tür yöntemler yerine, çamurun yeniden değerlendirilebilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarına ek yakıt veya hammadde olarak kullanımı hususlarında da ilerlemeler kaydedilmiş olup, Finlandiya gibi bazı ülkeler ÇY’ni çevre politikası olarak kabul etmeye başlamıştır. İmalat, sanayi ve teknoloji alt yapısını geliştirmiş olan Almanya ve Hollanda gibi ülkeler ÇY konusunda daha alternatifli bir süreç izlemektedir. Çamurun kurutulması, yakılması ve yenilenebilir enerji (ek yakıt, ısı ve elektrik enerjisi gibi) eldesinde ileri teknolojileri uygulayabilmektedirler.

Ülkemizde bazı illerde uygulanan ÇY metotları aşağıda kısaca kısaca verilmiştir;

- İstanbul; Merkezi AAT’lerinden (Tuzla, Paşaköy, Ataköy, ve Ambarlı İBAAT gibi) çıkan çamur, tesis bünyesinde kurulu olan kurutma tesislerinde $\geq$ %90 kuruluğa getirilmesinin ardından çimento fabrikalarında ek yakıt olarak değerlendirilmekte ve yakılmaktadır (Su ve Çevre Dergisi 2019).
- Kocaeli; AAT’lerinden çıkan çamur, 2015 yılından itibaren Nuh Çimento Fabrikasına gönderilerek ücreti karşılığında belirli bir kuruluk eldesi sağlandıktan sonra yakılmaktadır (Su ve Çevre Dergisi 2019).
- Bursa; Doğu ve Batı AAT’lerinden çıkan çamur 400 ton çamur/gün kapasiteli yakma tesisi kurularak BUSKİ bünyesinde yakılmaktadır (İzgi 2019).
- İzmir; Çiğli AAT’inde işletmeye alınan kurutma tesisi ile günlük 800 ton çamur %92 oranında kurutulmaktadır. Kurutulan çamur, ileriki dönemlerde “toprak iyileştirici”

olarak yeşil alanlarda, arazi rehabilitasyonunda ve tarım alanlarında veya ek yakıt olarak sanayide kullanılabilmesi ile ilgili çalışmalar yürütülmektedir (İZSU 2016).

- Gaziantep; Gaziantep Merkez AAT'den çıkan çamur, tesis içerisinde kurulmuş olan 180 ton/gün kapasiteli termal kurutma + yakma tesisinde bertaraf edilmektedir (İrdemez vd. 2016).

Ülkemizde bölgeler yaşam kalite ve standartları değiştiği gibi, insanların geçim kaynakları da belirgin bir şekilde ayrılabilir. Mesela; İstanbul, Kocaeli, Sakarya ve İzmir gibi illerde fabrika, imalat ve endüstriyel sanayi altyapısı gelişmiş iller olmasına karşın, Erzurum, Kars ve Malatya gibi illerde tarım ve hayvancılık daha ön planda yer almaktadır.

Bilindiği üzere, atıksu karakteristiği şehrin gelişmişlik düzeyine, altyapı ve üstyapı tesislerinin durumuna ve sanayileşmesine göre değişebilmektedir. Bu sebeple, AAT'lerinden çıkan çamurun karakteristiği, atıksu karakteristiği ile paralellik göstereceğinden, ÇYS'lerinin belirlenmesinde bu hususların dikkate alınmasında fayda olacaktır.

Bir sorunun çözümünde yatırım gerekiyorsa, yapılacak olan yatırımın girdi ve çıktıları bütünüyle dikkate alınarak sürdürülebilir halde tutulması gerekmektedir. Buna göre, çamur bertarafı yatırım ve işletme yapılarak çözüme kavuşturulması gerektiren bir durumdur. Bir yatırımın yapılmasında yasal düzenlemeler, işletme masrafları (teknik personel alt yapısı, arıza-bakım, servis, yedek parça, kimyasal madde gibi), nakliye ve pazarlama gibi konular dikkate alınmalıdır.

ERBASAT'da üretilen çamurun bertarafı dikkate alındığında farklı alternatif yöntemler değerlendirmeye alınacaktır. Bu yöntemlerin uygulanabilir olup olmamasına göre belirli kriterler ölçütünde değerlendirmeler yapılacaktır. Bunlar;

- a. Fabrikalarda yakılması veya ek yakıt olarak kullanılması (Termik santrallerde kömür ile birlikte veya çimento fabrikalarında klinker ile birlikte yakma gibi)

b. ERBASAT’da bertaraf (kurutma+yakma tesisi kurularak)

- Mekanik yöntemler ile (termal ve bant tipi kurutucular gibi) kurutma
- Solar tip kurutma

c. Toprakta kullanım olanaklarının değerlendirilmesi

- Tarım alanlarında (yem ve tahıl bitkilerinin yetiştiriciliği gibi)
- Yapay orman alanlarının oluşturulmasında
- Mera alanlarının ıslahında
- Kırışmış toprakların dönüştürülebilecek en uygun alanlara (tarım arazisi, mera alanı, orman vb.) kazandırılması
- Park, yeşil alan ve refüjlerde
- Süs bitkisi yetiştiriciliğinde

d. Çamurun kompostlaştırılarak gübre haline getirilmesi

e. Araştırılabilecek diğer bertaraf ve değerlendirme yöntemleri

- Eski ve terk edilmiş maden ocaklarında dolgu malzemesi olarak kullanımı
- Enerji bitkisi olarak geçen kanola bitkisinin yetiştiriciliğinde
- Solucan gübresi üretiminde gıda malzemesi
- Çamur lagünleri ve düzenli depolama alanları

Kış şartlarında dondurarak kurutma olarak kullanım alanlarına ayrılabilir.

ÇY’de uygulanacak alternatiflerin değerlendirilmesinde bazı hususların dikkate alınması gerekmektedir. AAT’ler; hammadde olarak atıksuyun girdiği ve bazı işlemlerden geçirilmesinin ardından faydalı ve atık ürünlerin elde edildiği tesislerdir. Bu tesislerin çalıştırıldığı ve faal olarak işletildiği sürece sürekli atık (çamur) çıkışı olacaktır. Bertaraf yöntemi olarak ne seçilirse seçilsin, her prosesin sonucunda yeni bir atık oluşacaktır. Yani; kurutulması sonucu çeşitli kurulumlarda kuru madde, yakılması sonucu kül ve kompostlaştırılması sonucu gübre kalitesinde bir kompost ürün elde edilmektedir. Bu ürünlerin yeniden kullanım olanakları düşünülerek işletme ve

pazarlama alanları göz ardı edilmemelidir. Bunun yanında, tesiste oluşan çamur kalitesinin stabil olmaması ve devamlı değişkenlik arzemesi, yasal düzenlemelerle sıkı önlemlerin alınmaya başlanması, çamurun oluşum ve bertaraf aşamaları ciddi maliyetler oluşturması ve işlenmesinin ardından olumsuz kamu algısıyla karşılaşılması ÇY'nin nihai aşamasını etkileyen faktörler olarak ortaya çıkmaktadır.

4.6.1. Çamurun kurutulması ve çimento fabrikalarında ek yakıt olarak kullanımı

ERBASAT'da 2017 ve 2018 yılı verileri dikkate alındığında günlük ortalama %22-25 KM içerikli 30 ton/gün stabilize çamur çıkmaktadır.

AAT'lerden çıkan çamurun bertarafında uygulanan en yaygın yöntemlerden biride çimento fabrikalarında ek yakıt olarak kullanılmasıdır. Ülkemizde farklı uygulamalar gözetilerek çimento fabrikalarında bertarafı gerçekleştirilmektedir. Örneğin İstanbul'daki tesislerden çıkan çamurlar tesis bünyesinde belirli bir kuruluğa getirildikten sonra gönderilirken, Kocaeli'de ise %20-25 KM oranında susuzlaştırma sonrası çıkan çamur keki fabrikaya gönderilmektedir (Su ve Çevre Dergisi 2019).

Ülkemizde hali hazırda 53 adet çimento fabrikası işletmelerini devam ettiriyor olup, bunlardan 34 adedi ek yakıt kullanmak amacıyla ÇŞB'den "Atık Yakma ve Beraber Yakma" çevre lisansını almıştır (Öztürk 2018). Erzurum özelinde düşünüldüğünde, ERBASAT'dan çıkan çamurun gönderilebileceği Aşkale (Erzurum), Kars ve Gümüşhane olmak üzere 3 adet çimento fabrikası bulunmaktadır. Bunlardan taşıma maliyetleri açısından en avantajlı olanı, tesise mesafesi yaklaşık 35 km Aşkale (Erzurum) Çimento Fabrikasıdır.

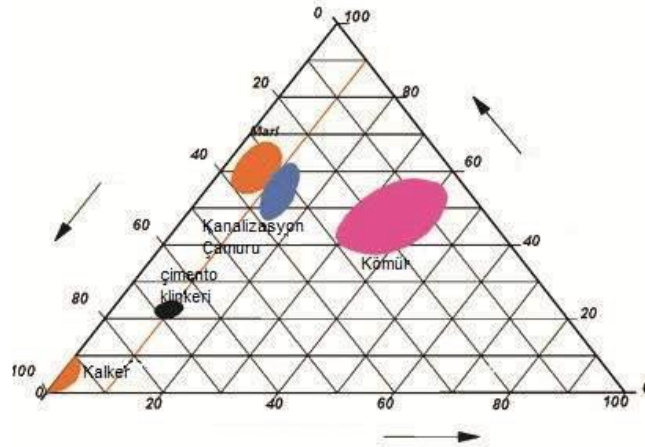
Aşkale Çimento Fabrikası'nın çamuru ek yakıt olarak kullanabilmesi için önce belirli bir kuruluk ($\geq$ %75-90 KM) elde edilmesi gerekmektedir. Bu sebeple, öncelikle çamurun kurutulması için tesis inşa edilmesi gerekmektedir. Yapılması gereken kurutma tesisinin ya çimento fabrikası sahasında ya da ERBASAT bünyesinde kurulması gerekmektedir. Mekanik (ısı) çamur kurutma işlemleri ile çamur içerisinde

bulunan su, buhar halinde uzaklaştırılarak kurutulmaktadır. Bu işlemlerde çamura doğrudan veya dolaylı ısı işlem uygulanarak kurutma işlemi gerçekleştirilmektedir.

4.6.1.a. Mekanik (ısı) kurutma

- a. Dolaylı kurutucular
 - Disk tipi kurutucular
 - İnce filmlili kurutucular
 - Dikey tip kurutucular
 - Paletli tip kurutucular
- b. Doğrudan kurutucular
 - Tambur tipi kurutucular
 - Akışkan yataklı kurutucular
 - Bantlı tip kurutucular

Çamurun kalorifik değeri, içerisindeki su muhtevasıyla ters orantılıdır. Çamurdaki kuruluk arttıkça OM içeriği artacağından kalorifik değerinde de artış gözlenecektir. Bu artış çamuru ısı değer olarak daha kaliteli hale getirmektedir. Şekil 4.14’de de görüldüğü üzere, çamurun kalitesi kömür değerine yakın olması hasebiyle çimento sanayinde alternatif hammadde kaynağı olarak değerlendirilebilmektedir (Öztürk 2018). ERBASAT’da üretilen çamurun kalorifik değerinin belirlenmesine yönelik yaptırılan analiz ölçüm sonuçlarında yaklaşık %25 nem içeren çamurun 2.750 – 3.650 kcal/kg oranında değiştiği görülmüştür. Bu oranın çimento fabrikasında yakıt olarak kullanımına elverişli bir değer olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 4.14. Çamur, kömür, klinker ve hammadde kompozisyonu (Öztürk 2018)

Çamurun ek yakıt olarak kullanılması istenildiğinde, belirli bir orana kadar kurutulması gerekecek olup, kurutma işlemi iki alternatif ile yapılabilecektir. Bunlar;

a. Çimento fabrikasınca yatırım programına alınarak kurutma işlemi yapılmasının ardından ek yakıt olarak kullanılmasıdır. Bununla ilgili bazı durumların göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

- Tesiste üretilen atık ısının çamur kurutmada değerlendirilebilmesi veya yeterli olup olmadığı,
- Tesis içerisinde hem çamur ve kurutma tesisi için yeterli alanın var olup olmaması,
- İdare'nin günlük ve sabit olarak hem çamurun nakliyesini gerçekleştirerek sistemin devamlılığının sağlanması,

b. Kurutma işleminin ERBASAT bünyesinde yapılmasının ardından çimento fabrikasına sevkiyatının yapılması düşünüldüğünde ise,

- Kurutma tesisleri ilk yatırım ve işletme maliyetlerini beraberinde getirmektedir,
- ERBASAT'da üretilen çamur sabit ve devamlı olarak çıkmadığından, kurulacak olan kurutma tesisine düzenli çamur beslemesi olmayacağından, işletme aşamasında sıkıntılar yaşanacaktır. Yani; AÇÇ'lerde çürütülen ve devamında çürümüş çamur depolama tankına alınmasının ardından seviye sensörü ile komut alarak santrifüj dekantörlere basılan çamur, günde ortalama %22-25 KM içeriğinde 30 ton/gün (1,25

ton/sa) olarak üretilmektedir. Bu miktar santrifüj dekantörlerin günlük ortalama 16 sa çalışmasıyla elde edilebilmektedir. Fakat çamur kurutma tesisleri devamlı çalışması gereken sistemler olup, fasılalı çalışma şartlarında işletme maliyetlerini artıracığından fizibil bir uygulama olmayıp, işletmede problemler yaşanacaktır.

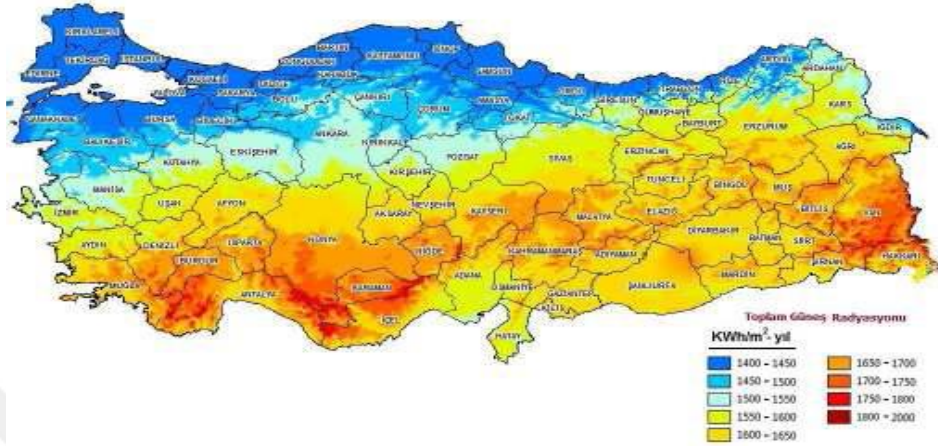
- Tesiste üretilen çamurun, kurutma işlemi sonrasında su muhtevası azalacağından hacmi de azalmış olacaktır. Yani, 30 ton/gün kapasiteli çamur, %75 kurulukta 7,5 ton/gün, %90 kurulukta ise 3 ton/gün seviyelerine düşecektir. Bu miktar günlük sevkiyat için uygun görülmemektedir.
- Susuzlaştırılmış çamurun depolanması için yeterli miktarda alan bırakılması ve bu sürenin en az 3 gün olarak alınması gerekmektedir. Kurutulmuş çamurun ise depolama alanı tamamen nihai bertarafın nasıl yapılacağına bağlıdır. Kurutulan ürün mevsimlik olarak tüketilecek veya satılacaksa 90 günlük depolama alanına ihtiyaç duyulmaktadır. (Öztürk 2015).
- Çamur kurutma işlemi ERBASAT'da yapılması durumunda çimento fabrikası tarafından alınacak bertaraf bedeli ciddi oranda düşecek fakat, kurulum ve işletme maliyetleri beraberinde gelecektir.

4.6.1.b. Solar kurutma

Sera tip kurutucular olarak da geçen solar kurutma sistemleri, çamurun güneş ısısından faydalanılarak içeriğinde ihtiva ettiği suyun buharlaştırılması suretiyle kurutulması işlemidir. Bu tesislerin kurulumu için en büyük dezavantajlardan biri de çok geniş alanlara ihtiyaç duymasıdır. İlk yatırım maliyetleri mekanik kurutuculara göre daha düşüktür. İşletilmesi basit ve maliyetleri ise diğer kurutuculara nazaran ciddi oranda düşüktür (Hall 2013). Erzurum şartlarında, yaz aylarında işletme verimlerinde istenilen verim elde edilebilecek iken, kış aylarında sera içi ısısının muhafazası için ayrıca ısıtılma ihtiyacı doğuracaktır. İhtiyaç duyulan ısı, yine Güneş Enerji Sistemleri (GES) veya diğer alternatifler ile sağlanabilir.

Türkiye'nin güneş enerjisinden faydalanma potansiyelinin bölgesel olarak dağılımına bakıldığında Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin ilk sırada, daha sonra sırasıyla Akdeniz,

Doğu Anadolu ve İç Anadolu Bölgeleri olduğu görülür. Türkiye'nin güneşlenme potansiyeli Şekil 4.15'te gösterilmiştir (Yılmaz 2012).



Şekil 4.15. Türkiye'nin güneşlenme potansiyeli haritası

Bakırcı vd (2006) tarafından yapılan araştırmada, Erzurum ilinin güneş enerjisi potansiyelinin yüksek olduğu, bu nedenle güneş enerjisi kullanımının teşvik edilebileceği ve güneş enerji sistemlerinin kurulabileceği belirtilmiştir.

Solar kurutma tesisinin işletilmesinde sabit olarak çalışan personel ve iş makinelerine ihtiyaç duyulacaktır. Solar kurutma tesisinden çıkan kurutulmuş çamur için lisans alınması halinde toprakta kullanılabileceği gibi çimento fabrikaları için ihtiyaç duyulan kuruluşu elde etmesi halinde, ek yakıt olarak kullanılmak üzere gönderilebilir.

Solar olarak çamurun kurutulması işlemi, ısı kurutmanın gerçekleştiği 80-140°C'den farklı olarak 20-50°C aralığında gerçekleştiğinden dolayı OM ve nutrient kaybının daha düşük olması beklenmektedir (Salihoğlu 2011). Bu durum kurutulan çamurun toprakta kullanımı alternatifini ön plana çıkarmaktadır. Solar kurutma sistemleri Şanlıurfa Merkez AAT'de faal olarak kullanılmakta olup, stabilize çamur %85 KM içeriğine kadar kurutulmaktadır (Su ve Çevre Dergisi 2020). Solar kurutma ile ilgili sera görüntüleri Şekil 4.16'da verilmiştir (Hall 2013).



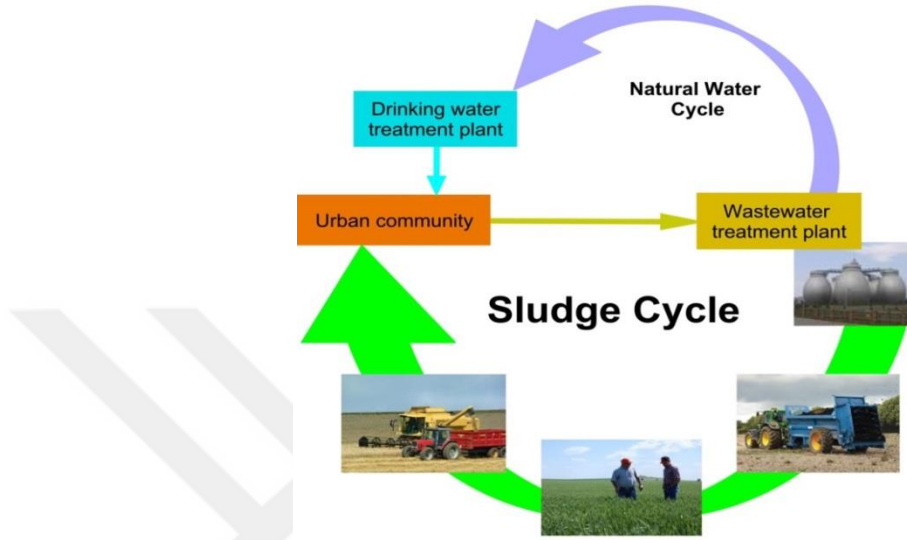
Şekil 4.16. Solar enerjiyle çamur kurutma seraları

Yapılmış olan değerlendirmeler göz önünde bulundurulduğunda, uygulamada kolaylıklar sağlanması ve idarelerin anlaşması halinde çamurun çimento fabrikalarında ek yakıt olarak kullanılması tercih edilebilecek bir yöntemdir. Diğer bir alternatif bertaraf yöntem olan termik santraller, Erzurum ve çevresinde olmadığından dolayı fizibil değildir.

4.6.2. Çamurun toprakta kullanımı

AAT'lerinden üretilen çamurlar, yeniden kullanım olanakları arasında geniş alanlara sahiptir. İçerik analizleri tespit edilerek yönetmeliklerde belirtilen sınır değerlere uygun olduğunda ve toprak analizlerinin yapılmasının ardından tarım alanlarında yem (yonca, gorunga, fiy, yulaf, üçgül otu vb.) ve tahıl bitkilerinin (buğday, arpa, çavdar, mısır vb.) yetiştiriciliğinde, yapay orman alanlarının oluşturulmasında, mera alanlarının ıslahında, kıraçlaşmış toprakların dönüştürülebilecek en uygun alanlara (tarım arazisi, mera alanı, orman vb.) kazandırılması, park, yeşil alan ve refüjlerde ve süs bitkisi yetiştiriciliğinde kullanılabilir. Çamurun ek yakıt ve toprakta kullanım gibi kullanım olanakları açısından atık değil hammadde niteliği taşıdığı görülmektedir. Çamurun toprakta kullanımında toprak, bitki ve bitki örtüsü, hayvan ve insanların zarar görmemesi esas maksattır. Bu çerçevede kanun ve yönetmeliklerde belirtilen teknik ve esasların haricine çıkılmaması gerekmektedir. Şekil 4.17'de, ÇYS'nin AAT'lerinin projelendirme aşamasıyla birlikte değerlendirilmeye alınması gereken bir durum olduğu

görülmektedir. Arazi ve enerji dönüşümünde kullanım olanaklarını da kapsayan sürdürülebilir bir ÇY’i oluşturulması gerekmektedir (Hall 2013).

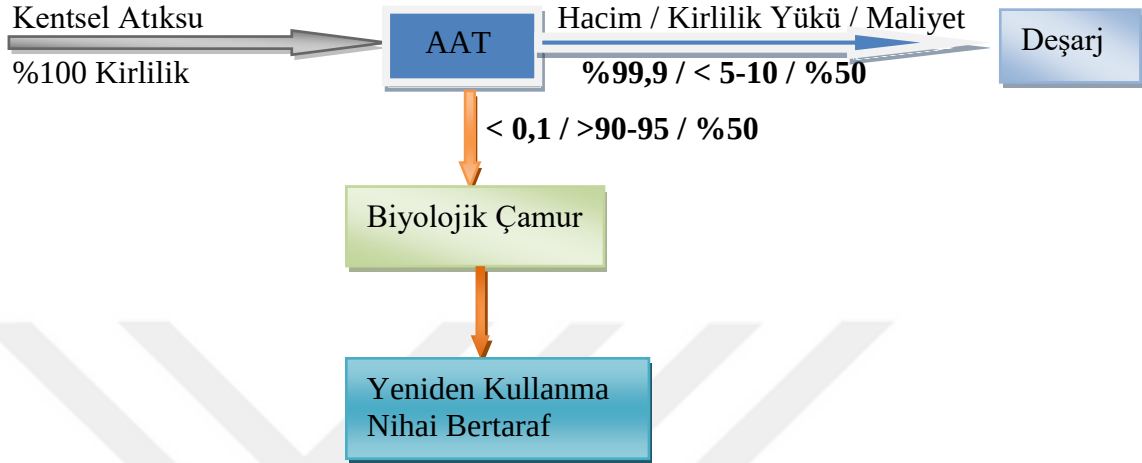


Şekil 4.17. Çamur döngüsü

Çamurların arıtımında en önemli faktörler arasında CAPEX ve OPEX olarak geçen yatırım ve işletme harcamalarıdır. Toplam işletme harcamalarının %50’sinden fazlasını çamur arıtımı oluşturmaktadır. AB ülkelerinde bu şekilde yüksek kurulum maliyetleri ve işletme harcamaları sonucu oluşan ürünün atık olarak değerlendirilmesi yerine, tekrar kullanım olanakları ve içeriğinde ihtiva ettiği ürünleri (yakılması sonucu ağır metallerin geri kazanılması, külün çeşitli sektörlerde kullanımı, çamur hatlarında kurulan fosfor geri kazanım üniteleri gibi) geri kazanmak gibi birçok proses üzerinde çalışma ve uygulamalar yapılmaktadır. Ülkemizde uygulanan sıfır atık projesi kapsamına alınarak bilim ve sanayi alanında çalışmalar yapılarak faydalı ürün haline dönüştürülmesi büyük önem taşımaktadır.

Öncelikle arıtma çamurlarının oluşum ve içeriğinin iyi tespit edilmesi gerekmektedir. Arıtma tesislerine gelen atıksu içerisindeki kirleticilerin %35-50’lik kısmı ön arıtma aşamasında, geri kalan %90-95’lik kısmı ise biyolojik arıtmada giderilerek en küçük

hacimde en yoğun kirlilik olacak şekilde bir ayrışma meydana gelmektedir. Şekil 4.18’de tesise gelen atıksuya ait hacim, yük ve maliyet karşılaştırması yapılmıştır.



Şekil 4.18. Atıksu ve çamurun hacim, kirlilik yükü ve maliyet karşılaştırılması

Çamurun toprakta kullanımı ekonomik bir tercih olacaktır fakat, içeriği iyi analiz edilmeden kullanılan çamurların vereceği zararlar, faydasından çok geri dönüşümü zor olan veya mümkün olmayan neticeler doğurabilecektir. Bu sebeple, çamur içeriğindeki zararlı elementlerin ve hastalık yapıcı patojenlerin varlığı iyi tespit edilerek, yönetmeliklerde belirtilen sınır değerleri sağlaması gerekmektedir. Şekil 4.18’den de anlaşılacağı gibi, atıksular her türlü kompleks ve inert kirleticileri bünyesinde barındırdığı ve dolayısıyla bunların birçoğunun çamura geçmesi sebebiyle, atıksu ve çamur içeriği sabit kalmayıp değişkenlik arz etmektedir. Endüstriyel ve ağır sanayilerin olduğu kanalizasyon sistemlerinden gelen atıksular, içerdiği kirlilik açısından kentsel atıksulardan daha farklıdır. Çamur karakterizasyonu uygun aralıkta ve arazide kullanım olanakları da mevcut ise, toprakta kullanımına dair sürdürülebilir çalışma ve değerlendirmelerin yapılması ekonomik açıdan olumlu sonuçlar ortaya çıkaracaktır.

Erzurum örneği düşünüldüğünde, stabilize çamurun uygulama alanlarını geniş tutmakta fayda vardır. Çünkü, tarımda uygulanması halinde, yılın belirli aylarında (Nisan, Mayıs ve Eylül Ekim gibi) daha yoğun ve kısıtlı bir süre içerisinde uygulama yapılması gerektiğinden, bu ayların haricindeki zamanlarda çamurun depolanması gerekecektir.

Uygulanabilir şartlar dahilinde çamurun yapay orman alanlarının oluşturulması, meraların iyileştirilmesi, kıraçlaşmış toprağın iyileştirilmesi ve yeniden kullanıma kazandırılması, süs bitkisi yetiştiriciliği ve yeşil alanlarda (piknik alanları hariç) kullanılması ile ilgili alternatifler belirlenmesi gerekmektedir. Çamurun toprakta uygulanmasında en önemli kısıtlamalardan biri de kış aylarında toprağın karla kaplı olmasıdır. Bu şartlarda yapılacak uygulama hem yönetmelikler hemde uygulama açısından mümkün değildir.

Hall (2013) tarafından hazırlanan raporda, ERBASAT çevresinde bulunan Aşkale, Aziziye, Palandöken ve Yakutiye ilçelerinde kullanılan özel tarım arazilerinde 20.000 ha tahıl üretiminin yapıldığı toplam 50.000 ha tarım arazisinin bulunduğu belirtilmiştir. Çamurun yakın çevresinde kullanılabilir alanları (meralar, yeşil alanlar, refüjler, ıslah ve iyileştirilmesi gereken kıraç topraklar, yapay orman arazileri gibi) düşünüldüğünde çok geniş ve yeter miktarda olduğu düşünülmektedir.

ERBASAT'da üretilen ve dekantör çıkışından alınan çamur numunesinin akredite laboratuvar yapılan ağır metal içerik analiz sonuçlarının Türkiye ve AB sınır değerleriyle karşılaştırmaları Çizelge 4.9'da verilmiştir. Çizelge 4.9'da görüldüğü üzere akredite laboratuvar analiz sonuçlarının Türkiye ve AB'de istenilen sınır değerleri aşmadığı ve son derece düşük kaldığı görülmüştür. Zn, Cu ve Ni oranlarında aynı ay içerisinde alınan iki numuneden farklı sonuçlar ortaya çıkmış olsa da, bu farklılığın birçok nedeni olabilir. Bunlardan en önemlilerinden biri endüstriyel deşarjın olma ihtimali, diğeri ise yağışlı havanın etkisi ile birlikte sokak ve küçük sanayi sitelerinden gelen yıkama sularından kaynaklı olabilir.

Çizelge 4.9. Çamurun ağır metal sonuçlarının TR-AB sınır değerleriyle karşılaştırılması

Ağır Metaller	Topraktaki Ağır Metal Sınır Değeri (mg. kg ⁻¹ Fırın Kuru Toprak)		Stabilize Arıtma Çamurunda Ağır Metal Sınır Değeri (mg/kg kuru madde)		Sınır Yük Değeri		ERBASAT Akredite Laboratuvar Çamur Analiz Sonuçları	
	TR	AB	(mg/kg KM)		(kg/ha/yıl) KM		(mg/kg KM)	
	pH>6-7<8,5	pH>5	TR	AB	TR*	AB	03.05.2017	16.05.2017
Zn	150 – 200	150 – 300	2.500	2.500 – 4.000	7,5	30	5	15
Cu	50 – 100	50 – 140	1.000	1.000 – 1.750	3	12	3	15
Ni	50 – 70	30 – 75	300	300 – 400	0,9	3	10	50
Cd	1 – 1,5	1 – 3	10	20 – 40	0,03	0,15	<0,25	<0,25
Pb	70 – 100	50 – 300	750	750 – 1.200	2,25	15	<2,5	<2,5
Hg	0,5 – 1	1 – 1,5	10	16 – 25	0.03	0.1	<0,25	<0,25
Cr	60 – 100	–	1	–	3	–	<2,5	<2,5

*Toprakta on yıllık ortalama esas alınarak bir yılda verilmesine müsaade edilecek ağır metal yükü sınır değerleri (EK I-E) (Anonim 2010)

Çamurun toprakta veya farklı alanlarda kullanımına karar verilmeden önce bazı önceliklerin ele alınması gerekmektedir. Bu önceliklerin bazıları resmi olarak kısıtlayıcı olabilirken, bazıları çevresel ve uygulamada zor durumlar yaşatabilir. Bunlar;

- Yasal; yerel, ulusal ve uluslararası yasal düzenlemeler ve kısıtlamalar,
- Politik; politik ve sosyal etkiler,
- Çevresel; hava, su, gürültü, görüntü, ekoloji, güvenlik, enerji,
- Teknik; ekipman, teknoloji,
- Finansal; İlk yatırım ve işletme maliyetleri, beklenmeyen harici maliyetlerdir.

Toprakta uygulamaya yönelik ÇŞB ve Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından yönetmelikler yayınlanmıştır. Yönetmeliklerde, stabilize çamurun özellikleri belirlenerek toprağa uygulama esas ve yöntemleri üzerine belirli kısıtlamalar getirilmiştir.

Öncelikle;

- Uygulanmak istenen toprak, yer altı ve yerüstü sularında kalitesini bozmaması,

- Toprağa uygulanacak olan stabilize çamurun pH aralığının 6,0-8,5 aralığında olması,
- Stabilize çamurun ve uygulanacak olan toprak ağır metal içeriğinin belirlenmiş olması, çamur içeriğindeki organik bileşiklerin konsantrasyonları ve dioksinlerin yönetmeliklerde yer alan ve tablolarda belirtilen sınır değerlere uygun olması,
- EN'un 1 milyon ve üzerinde olan tesislerde oluşan arıtma çamurlarının en az %90 kuru madde değerine kadar kurutulması gerektiği, az olanlarda bu şartın aranmaması,

Uygulanacak stabilize çamurun toprakta kullanım alanları ve sınırlamalar ise;

- Ağır metal içeriğinin yönetmeliklerde belirtilen sınır değerleri aşmadığı,
- Toprağa temas eden ve çiğ olarak yenilen meyve ve sebze ürünlerinin yetiştirilmediği,
- Yer üstü/yeraltı sularının ve toprağın kalitesinin bozulmadığı,
- Toprağın pH'ının değeri 6'dan büyük olduğu,
- İçme ve kullanma suyu temin edilen kıta içi yüzeysel su kaynaklarının havzalarında, içme ve kullanma suyu temin edilen yeraltı sularının besleme havzalarından uzak olduğu,
- Stabilize arıtma çamurunun doğal ormanlarda kullanımının yasak olduğu,
- OM içeriği %5'den az ve OM içeriği %40'dan fazla olan,
- Kumlu, tınlı, killi tekstürlü,
- Taban suyu seviyesi yüzeyden 1 m'den daha fazla ve eğimi %12'nin altındaki,
- Yapay orman alanlarındaki,

Yüzey akış tehlikesi olan alanlarda toprak muhafaza tedbirleri alınan topraklarda kullanımı uygundur (Saygılı 2019).

Stabilize çamur ve toprağın yetkin laboratuvarlarca analizleri yapılmasının ardından yönetmeliklerde belirtilen kıstaslarda göz önünde bulundurularak uygulanacak alanlar ve yöntemler belirlenmelidir. Çamurun toprakta uygulanmasına karar verilmeden önce aşağıdaki diğer hususların göz önünde bulundurulması gerekmektedir,

- Bitki ve arazi koşullarındaki (tarlaların alanlarının küçük ve bölünmüş olması ve ulaşım imkânlarının elverişsizliği) kısıtlamaların dikkate alınması,
- Olumsuz kamu algısı ve çiftçilerin yaklaşımı ve davranış psikolojisi,
- Çiftçilerin olumsuz yaklaşımından kaynaklı güvenli ve uzun süreli pazarın ve uygulamanın oluşturulamaması,
- İşletme, taşıma ve bertaraf maliyetlerinin yükselmesi,
- Kesin ve kontrol edilemeyen kalitede çamur çıkışının olması durumu,
- Uygulama sürecinin kısıtlı zaman aralığında olmasından kaynaklı olarak, depolama alanı ihtiyacının doğması, bununla birlikte alan ihtiyacının minimize edilmesi adına kurutma tesisi ihtiyacının doğması,
- Kontrollü dağıtım, serme ve yapılan çalışmalar ile ilgili kayıtların düzenli tutulması,
- Çamurun araziye uygulanma yöntemine karar verilmesi (manuel, torbalarla veya gübre serpme makineleri ile),
- Çıkan çamurun pazarlanması ve fiyatlandırılması,
- Çiftçilerin ektiği ürünlerin kontrolünün yapılması ve güvenli tarımın sağlanması,
- Toprak çeşidi ve içeriğine göre uygulanacak çamur miktarının belirlenmesi ve yıllık olarak güncellenmesi,

Evsel ve kentsel atıksuların arıtılması sonucu elde edilen stabilize arıtma çamurlarının toprakta kullanılması izne tabidir. Çamurun uygulanmasında belirtilmiş olan hususlar dikkate alınması ve kesin kararın verilmesinin ardından yönetmelikte belirtildiği şekilde kullanma izni alınır. Stabilize Arıtma Çamuru Kullanım İzin Belgesi'nin alınmasında aşağıdaki yol izlenir.

- Stabilize arıtma çamurunun toprakta kullanımına yönelik idare tarafından yapılan başvurularda müracaat dosyası İnceleme ve Değerlendirme Komisyonu tarafından incelenir.
- İnceleme ve Değerlendirme Komisyonu; Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nün başkanlığında İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, İl Sağlık Müdürlüğü ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Taşra Teşkilatı'na gerekli görülürse stabilize arıtma çamurunun

kullanım alanına göre başka kurumlardan da üyeler dahil edilebilir ve bu şekilde komisyon oluşur.

- İnceleme sonrası toprakta kullanımı uygun görülmesi halinde “Stabilize Arıtma Çamuru Kullanım İzin Belgesi” Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü tarafından 3 (üç) yıllığına verilir (Saygılı 2019).

Çamur Uygulama Birimi’nin oluşturulması ve sorumlulukları:

Stabilize çamurun toprakta kullanılabilirliği sıkı takip ve kontrol gerektiren bir durumdur. Yapılan çalışmaların doğaya, hayvana ve insan sağlığına zarar verici hallerden uzak tutulması lazımdır. Bu kapsamda; çiftçilerin devamlı olarak bilinçlendirilmesi, numune alma ve analizlerinin yapılmasını düzenli bir şekilde takip ederek çamurun gübre değerliğinin ve toprak kalitesin belirlenmesi ve uygulama miktarına karar verilmesi, ekilen ürünlerin takibi ve kalitesinin takip edilmesi, çalışmaların devamlı surette kayıt altında tutulması ve kullanım izinlerin devamlılığının sağlanması, makine, ekipman ve personellerin sevkiyatlarının yapılması, çamur depolama alanı ve çamurun uygulanacağı alanlar arasında koordinasyonun sağlanması, yeni uygulama alanları ile ilgili bilimsel çalışmalar ve yardımcı klavuzlar oluşturulmasına katkı sağlaması, çamurun kurutulması sağlanmış ise reklam, broşür, makaleler yazarak çalışmalar ile ilgili çiftçi ve muhtemel kullanıcılarda farkındalık oluşturmak gibi amaçları yürütebilecek bir birimin oluşturulması gerekmektedir. Birim aynı zamanda, ulusal ve uluslararası düzenlemeleri, çamurun uygulanışı ve işlenmesi aşamalarındaki gelişmeleri ve çamur miktarında azaltma ve kalitesinin artırılması gibi yatırım ve çalışmaları aktif olarak takip etmek zorundadır.

Çamur uygulayıcıları ve kullanıcıların sorumlulukları:

Arıtma çamurunu kullanacak olan çiftçiler, İdare tarafından belirtilen çamur kullanım şartlarına ve uygulama yöntemlerine uymak zorundadır. Çamur birimi tarafından verilen eğitimlere ve toplantılara katılım sağlayarak, çamurun en uygun ve güvenli bir şekilde tarımda uygulanışı sağlayacaklardır. Çiftçiler tarlada uygulayacağı ürüne göre çamur

kullanım hakkı elde edecektir. Yönetmeliklerde yaprağı ve meyvesi tüketilen tarım ürünlerinde stabilize çamurun kullanımı yasaklanmıştır. Çiftçiler ve İdare arasında yapılmış olan çamur kullanım sözleşmesi ve çamur birimi tarafından belirtilen direktiflere uymakla yükümlü olacaktır.

Çamur ve topraktan örnek numuneler alınması ve analizi:

Stabilize çamurun içerik analizlerinin yapılması (gübre değeri, ağır metal analizleri, dioksinler vs.) gerekmektedir. Bu sayede toprağa uygulanan çamurun belli bir sınır dahilinde kalması ve besi içeriği açısından çiftçinin bilgilendirilmesi de önemlidir. Çamur örnek numuneleri, çamurun tam içeriğini göstermesi ve hatalı sonucu minimize etmek için homojen (karmal) olmalıdır. Genel itibariyle 24 saatlik kompozit numune olarak alınmalı ve 6 ayda bir tekrarlanmalıdır. Değişkenliğin gözlenebileceği aylarda, yönetmeliklerde belirtilen süreye bakılmaksızın analizin sıklaştırılması, idarenin çamura verdiği teminatı pekiştirmiş olacaktır.

Haftalık birleşik örnekler oluşturularak ayda bir analiz ettirilmesi çamur içeriğinin aylık değişimi hakkında bilgi verecektir. Çamurda öne çıkan diğer önemli parametreler ise çamurun kuru madde içeriği, OM içeriği ve toplam besin (N/P/K oranı) değeridir. Özellikle N ve türevleri, P içeriği ve K içeriğinin yanı sıra, Mg ve Ca içeriklerinin de belirlenmesinde fayda vardır.

Çamurun uygulanışında en önemli diğer faktör ise toprak örneklerinin alınması ve analizlerinin yapılmasıdır. Uygulama yapılacak topraklar içerik değerlerine göre sınıflara (lot) ayrılabilirler. Toprağın lotlara ayrılması, yönetmeliklerde belirtilen kriterlere göre de ayrılabilir. Bunlar;

- Sulak alanlar, havza ve yüzeysel sulara yakınlık derecelerine göre,
- Yerleşim alanlarına yakınlıklarına göre,
- Yönetmeliklerde belirtilen toprak analiz sonuçlarına (ağır metal, tuzluluk ve besin içerik analizleri gibi) göre,

Uygulanacak tarım ürününe (yem bitkisi, tahıl bitkisi vb.) göre, Uygulanacak alana (ormanlık alan, tarım arazisi, mera, yeşil alan, kıraçlaşmış toprak vb.) göre sınıflandırmalar belirlenebilir.

Çamurun uygulanmasında izlenecek yöntem:

Stabilize çamurların kontrollü kullanılması halinde verim elde edilebilirken, fazlası da zarara sebep olabilir. Bu sebeple, toprak uygulamalarında belirlenecek miktar tamamen idarenin elinde ve analiz sonuçları esas alınarak yapılacak hesaplar doğrultusunda olacaktır. İçeriğine göre sınıflandırılması yapılmış toprağa ne kadar stabilize çamur uygulanacağı öncelikle ağır metal sınır değerleri baz alınarak yapılması gerekmektedir. Uygulama ton KM/ ha olarak belirlenmelidir.

ERBASAT'tan çıkan çamurun kuruluk oranı %22-25 arasında değişim göstermekte olup, 30 ton/gün'dür. Çıkan çamurun günlük olarak elle serilmesinde zorluklar yaşanabileceğinden özel gübre serpme makineleri ile alana yayılması gerekmektedir. Böylece çamur alana homojen olarak dağılacığından yetiştirilen üründe aynı kalitede olacaktır. Gübre serpme makineleri çiftçiye ait olabileceği gibi idarenin de imkanlarıyla ücreti karşılığında tarla için belirlenen miktarda yayma yapılabilir.

Stabilize çamurun araziye serilmesinin ardından 3-7 gün arasında güneşte bekletilmesinin ardından sürülerek toprağa karışımının sağlanmasında fayda vardır. Bu sayede, çamur içerisinde olası patojenler güneş ışığına maruz kalacağından zararsız hale gelebilecektir.

Stabilize çamur, belirli bir kuruluğa getirilmesinin ardından toprağa uygulanabileceği gibi, sıvı olarak da uygulanabilmektedir. Sıvı çamurun araziye uygulanması hem kolay hemde ekstra bir susuzlaştırma işlemine ihtiyaç duyulmamaktadır. Araziye uygulanması planlanan tipik çamurun katı madde oranı %1-10 arasında kalmasından dolayı, özel bir araçla veya atıksularda kullanılan benzer bir araçla da uygulanabilmektedir (Öztürk 2015). ERBASAT'da çamur çürütücülerden çıkan stabil çamurun susuzlaştırmaya

gönderilmeden önce, çürümüş çamur depolama tankına gönderilmesi, sıvı çamurun toprakta uygulanmasında bir avantaj olarak ortaya çıkmaktadır. Sıvı çamurun direk olarak toprağa uygulanması, hem homojen dağılım açısından hem de çamura kimyasal (polielektrolit) dozlama yapılmamasından dolayı avantajlı olabilmektedir fakat, bu uygulama taşıma maliyetleri açısından fizibil olmayabilir. Kısa mesafeli uygulama alanları için sıvı gübre uygulaması, susuzlaştırmada uygulanan işletme masrafları ile taşıma masrafları karşılaştırılmak suretiyle maliyet analizi yapılabilir.

Çalışmaların kayıt altına alınması:

Stabilize çamurun nasıl ve nerelerde uygulanacağına dair Çamur Uygulama Birimi tarafından gerekli bilgilendirme el kitapları ve uygulama klavuzları hazırlanması gerekmektedir. Hazırlanan klavuzda; çamurun kullanımına dair pratik bilgiler açık ve anlaşılır olarak yazılmalıdır. Her türlü risk değerlendirmesi yapılarak çiftçinin güvenli tarım yapılmasının sağlanması gerekir. Çamurun toprakta uygulanması dair tüm çalışmalar kayıt altında tutulmalıdır. Bunlar;

- Her bir tarla için stabilize çamur kabul sözleşmesi / tutanağı tutulmalıdır. Bu evrak içeriğinde çiftçiye ve tarlaya ait bilgiler, toprağın sınıfı, uygulanacak miktar, yetiştirilecek ürün bilgisi, muhtemel ekim ve hasat süreleri gibi bilgiler yer alacak olup karşılıklı olarak imzalanması gerekmektedir. Bunun yanında ek olarak, hasat sonrası çiftçiden gelebilecek olumlu veya olumsuz değerlendirmeler de kayıt altına tutulacaktır,
- Çamurun ve toprağın analiz miktarları da kayıt altına alınacaktır,

Stabilize bir çamur içerisinde %3 oranında N ve %3,5 oranında P_2O_5 bulunmakta olup, çamurun kuruluğu artıkça (örneğin %50) bu değerler de 15 kgN/ton ve 17,5 kg P_2O_5 /ton olarak değişebilmektedir (Hall 2013). Fakat her çamurun içeriği farklı olabileceğinden mutlaka analiz yapılması gerekmektedir. Ağır metal (Ni, Pb, Cu, Zn, Hg, Cd, Cr) uygunluğu için sınır değer belirlenir, sonra toprağa uygulanacağı miktar tek tek hesaplanır ve en düşük değere haiz olan uygulama miktarı esas alınır, eğer uygulama N miktarına göre yapılacaksa bu değer daha sınırlayıcı olabilir. Eğer N'a göre de

hesaplandığından bulunan değerden yüksek çıkarsa, yine aynı miktar alınır (Öztürk 2015).

Tüm bu hususlar dikkate alındığında, çamur ve toprak analizlerinin yönetmeliklerde belirtilen sınır değerler içerisinde kalması halinde özellikle çiftçilerin ihtiyaçları göz önünde bulundurulduğunda (hayvansal gübre miktarının büyük alanlarda ihtiyacı giderememesi ve kimsayal gübre temininin pahalı olması gibi durumlar) stabilize çamurun toprakta uygulanması ve ekonomiye kazandırılması büyük önem taşımaktadır.

Çamurun meralarda uygulanması:

Erzurum hayvancılık ve yem bitkisi yetiştiriciliği yapıldığından dolayı geniş mera ve otlaklara sahiptir. Çamurun geniş alanlarda, bitki örtüsünün iyileştirilmesi ve yeniden kazandırılması için hızlı ve sürdürülebilir bir yöntemdir. Mera alanlarının tespiti yapılarak, yönetmeliklerin belirlemiş olduğu sınırlar dahilinde ve en uygun zamanda uygulaması yapılan stabilize çamurun meralarda kullanımı mümkündür. Stabilize çamurun mera alanlarında sıvı halde uygulanması alternatifi de değerlendirilmelidir. Öncelikle, Erzurum özelinde mera alanlarının tespit edilerek, stabilize çamurun uygulanabilirliği belirlenmelidir.

Çamurun yapay orman alanlarında kullanışı:

Stabilize çamurun doğal orman alanlarında kullanımı **EK 2**'de yer alan yönetmeliklerde belirtildiği üzere yasaklanmış olup, yapay orman alanlarında kullanımı ise izne tabidir. Toprak erozyonunun önlenmesi ve ormanlık alanların artırılması adına en uygun yöntemlerden biridir.

Erzurum'da 2013 verilerine göre ağaçlandırma çalışmaları için 1.100 ha alan ayrılmış olup, 2,5 m teras için 25 kg stabilize çamur uygulanması gerekir (Hall 2013). Ormanlık alanlarda kullanımında yaşanabilecek en büyük sıkıntılardan biri de çamurun sevkiyatı ve uygulamasıdır. Dolayısıyla çamurun belirli bir kuruluğa getirilmesinin ardından

torbalar (25 kg'lık) veya silolarla sevk edilmesi ve ağaç için açılan hendeklere ölçülü bir şekilde uygulanması gerekmektedir. Erzurum'un mevcut durumu düşünüldüğünde, yapay orman yapılabilecek geniş alanların olması bu alternatifin kullanılmasının önünü açmaktadır. Orman İşletme Müdürlükleri ile birlikte çalışılması halinde, alternatif kullanım alanları açılacaktır.

Çamurun parklar, refüjler ve yeşil alanlarda uygulanması:

Erzurum yeşil alan ve parklar bakımından zengin bir alana sahiptir. Bu alanlarda yapılan ağaçlandırma çalışmaları da dahil edilmesi halinde, çamurun uygulanması için alternatifler arasında yer almaktadır. Fakat, tesiste üretilen toplam çamur için yeterli alan bulunmamaktadır. Bu alternatif mevsim bazında uygulanabilecek bir yöntemdir. Ayrıca çamurun çim yetiştiriciliğinde verimli olduğu tesiste yapılan küçük deneme alanlarından anlaşılmaktadır.

Şekil 4.19'da görüldüğü üzere, hayvan gübresinin uygulandığı alana daha sonra ERBASAT'dan alınan stabilize çamur uygulanmış ve diğer uygulama alanlarındaki çim bitkisi Kasım ayı itibariyle kurumaya ve sararmaya döndüğü halde, stabilize çamurun uygulandığı çim bitkisinin hala yeşilliğini ve gür halini koruduğu görülmüştür.



Şekil 4.19. Stabilize çamurun çim yetiştiriciliğinde uygulama örneklerinin 2019 yılı Kasım ayı (a,b,c) ve 2020 yılı (d,e) Ocak ayındaki son durumu.

Bu tür uygulamalarda, çamurun kurutularak gübre değerliğinin artırılması ve uygulama kolaylığı açısından hacminde de azalma gidilmesi sağlanmış olacaktır. Tarla ve mera gibi uygulama alanlarına nispeten, daha küçük uygulama alanlarında çamurun torbalar şeklinde, sevkiyat ve nakliye zorluğu yaşanmayacak dereceye getirilmesi gerekmektedir.

Çamurun kırılaşmış toprakların iyileştirilmesinde uygulanması:

Çamurun toprak uygulanmasında kullanılabilecek en yaygın yöntemlerden biri de, verimlilik vasfını yitirmiş, organik ve inorganik madde içeriği açısından oldukça düşük olan ve faydalı kullanım olanağının güç olduğu topraklarda stabilize çamurun kullanımıdır.

Öncelikle bu tür alanların tespit edilmesinin ardından toprağın içeriği ve verimlilik tespiti yapılarak ne kadar çamurun uygulanacağına karar verilir. Bunlara ilave olarak aşağıdaki sıralamanın takip edilmesinde fayda vardır.

- Taş toplama makineleri ile sürülen toprak içerisindeki taşlar toplanarak uzaklaştırılır,
- Toprak üzerindeki taş vb. maddeler toplanmasının ardından sürülür,
- Gübre serpme makinesi ile stabilize çamur homojen olarak yayılır,
- Toprak tekrar sürülerek çamur toprağa karıştırılır ve sonra tesviyesi yapılır,
- Son olarak toprak hangi amaçla kullanılacaksa (mera, otlak, tarım arazisi gibi) ona göre bitki ekimi yapılır.

Kireç içeriği yüksek olan topraklarda da stabilize çamurun uygulanması, hem çamurun bertarafı sağlanmış hemde toprağın pH seviyesi düşürülerek kullanışlı hale getirilmiş olacaktır.

Bu tür uygulamalarda, çamurun kurutularak gübre değerliğinin artırılması ve uygulama kolaylığı açısından hacminde de azalmaya gidilmesi sağlanmış olacaktır. Tarla ve mera gibi uygulama alanlarına nispeten, daha küçük uygulama alanlarında çamurun torbalar şeklinde, sevkiyat ve nakliye zorluğu yaşanmayacak dereceye getirilmesi gerekmektedir.

4.6.3. Çamurun kompost haline getirilmesi

Arıtma çamurlarının kompostlaştırılma çalışmaları özellikle ABD’de yaygın olarak uygulanan bir yöntem olup, ülkemizde ise organik evsel katı atıklar için kurulmuş bazı kompost tesisleri mevcuttur (Arıkan ve Öztürk 2010).

Kompostlama, biyolojik arıtma çamuru ile birlikte, diğer organik atıklardan ağaç yaprakları, kağıt ve yiyecek atıklarının aerobik veya anaerobik şartlar altında

mikroorganizmalar vasıtasıyla kararlı hale getirilip toprak görünümünde bir yapıya dönüştürülmesinde uygulanan biyolojik bir yöntemdir. Bu işlem doğada çürüyen yaprak ve organik atıkların çürütülmesi işleminin aynısıdır. Kompost gübre niteliği taşıyıp, yalnızca içeriğinin belli oranlarda N, P ve K ilavesi yapılarak zenginleştirilmesi halinde üstün kalitede bir gübre eldesi mümkün olmaktadır (Asm Composter 2020).

Çamurun kompostlaştırılmasında biyolojik olarak bozunabilen ve parçalanabilen farklı organik maddeler ile karıştırılması sonucu bakteri, fungi ve diğer mikroorganizmalar tarafından stabil hale getirilmesi, uygulanan prosesle çamurun kuru madde miktarının artırılması, tarımda yeniden kullanımı, patojenik bakterilerin tahribi ve kimyasal maddelerin kullanımının azaltılması amaçlanmıştır. Bu yöntem ABD'nin 50 eyaletinde toplam 265 adet tesiste uygulanmaktadır. 2010 yılı için kompost üretimi 1 milyon kuru ton (1 yıllık çamur miktarının %10'u kadar) olup, kompostun kalitesine göre Şekil 4.20'de görüldüğü şekilde satış ve pazarlaması yapılmaktadır. Kompost işleminde kullanılan yeşil atıklar (ağaç dalları, kuru otlar, kesilmiş ağaçlar, yaprak ve çim gibi) tesiste öğütücülerden geçirilerek parçalandıktan sonra depolanmakta ve sonra kullanılmaktadır. Kompostlaştırma işlemi yaklaşık 15 gün gibi sürede gerçekleşiyor olup, kürlleme alanında serilerek kurutulması ve yoğunlaştırılmasıyla birlikte 60 günü bulmaktadır (Asal 2018).



Şekil 4.20. Üretilen kompostun paketlenerek satışa sunulması

Erzurum şartlarında stabilize çamurun kompost haline getirilmesi mümkün olmakla birlikte uygulamada bazı zorluklarla karşılaşılabilir. Bunlar kısaca aşağıda belirtilmiştir;

- ERBASAT'ta üretilen çamurun kompost haline getirilmesi için yeter miktarda OM temininde sıkıntı yaşanabilir. Çünkü, çoğunlukla yeşil atıkların kullanılması ve Erzurum'un ormancılık ve ağaç işlemeye yönelik sanayisi bulunmaması,
- Kompostlaştırmada ihtiyaç duyulan sıcaklıkların kış aylarında sağlanamama sıkıntısı yaşanabilmesi,
- Kış aylarında, kompostlaştırma için ihtiyaç duyulan sıcak havanın ısıtılarak prosese verilmesi, işletme aşamasında elektrik masraflarını artırabilmesi,
- Kompost süresinin ve kurutma aşamasının uzun olmasından dolayı, Erzurum şartlarında kurutma ile ilgili sıkıntılar yaşanabilmesi,
- ERBASAT'ta üretilen çamur miktarı kompostlaştırma sonucunda ek organik maddelerinde eklenmesiyle toplam miktarda azalma olmayacağından depolama sıkıntısı yaşanabilmesi,

Stabilize çamurun kullanılması, kullanıcılar tarafından ön yargı oluşturabileceğinden dolayı, satış ve pazarlama alanı daralabilmesi gibi zorluklar yaşanabilir.

Yukarıda belirtilen zorluklar göz önünde bulundurulmak kaydıyla, idare park ve bahçelerde, yeşil alanlarda ve refüjlerde satın alarak kullandığı gübre yerine, topladığı organik atıkları (kesilen çimler, otlar, budanan ağaçlar vb.) kullanarak kompost tesisi kurabilir ve işletebilir. Fakat, bu yöntem ERBASAT'ta üretilen toplam çamuru için uygulanamayabilir. Kompost üretiminde ihtiyaç duyulan hammaddenin düzenli bir şekilde sağlanması ve sürdürülebilir bir pazar oluşması halinde alternatif olarak değerlendirilebilir. Sağlanamaması halinde ek bertaraf (toprakta kullanım seçenekleri) yöntemleriyle birlikte düşünülmesi gereken bir durumdur.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, Erzurum BŞB, ESKİ Genel Müdürlüğü tarafından işletilen ve 2017 yılında 82.838 m³/gün ve 2018 yılında ise 80.239 m³/gün atıksu arıtma kapasitesine sahip ve %22-25 KM içeriğinde 30 ton/gün stabilize çamur üreten ERBASAT'ın atıksu arıtma hattı, üretilen stabilize çamurun oluşum aşamaları ve ÇY'i incelenmiştir. Tesisin atıksu ve çamur arıtma hatlarından alınan numuneler ERBASAT işletme laboratuvarlarında ve akredite laboratuvarlarda analizleri yapılmış değerlendirmelerde kullanılmıştır. Tesis işletme laboratuvarında yapılan giriş atıksuyuna ait analiz sonuçlarına göre ortalama değerlerin 2017 yılı için 340 mg/L KOİ, 191 mg/L BOİ₅, 35 mg/L TN ve 206 mg/L AKM olduğu, 2018 yılında ise 300 mg/L KOİ, 171 mg/L BOİ₅, 27 mg/L TN ve 181 mg/L AKM olduğu tespit edilmiştir.

Atıksuyun giriş kirlilik parametrelerinin proses dizaynında kabul edilen parametrelerle karşılaştırıldığında her bir kirlilik değerinin ortalama %50 oranında düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum Erzurum'un iklimsel şartlarının zorluğu düşünüldüğünde zaman zaman işletmesel problemleri de beraberinde getirmektedir. Kirlilik parametrelerinin düşük oluşuna birleşik kanalizasyon sisteminin çalışıyor olmasının yanında, yeraltı sularının hatlar ve bacalardan infiltrasyonla sızma yaptığı, eski hatlarda yer altı ve drenaj hatlarının kanalizasyona bağlı olması, kısmi yerlerde yağmur suyu hatlarının kanalizasyon hatlarına bağlanması ve şehir merkezinde bulunan aktif kullanılan çeşme akıntılarının kanalizasyon sistemine verilmesi atıksuyu seyrelten etkenler olarak değerlendirilmiştir.

Atıksu arıtma hattından elde edilen verilerde, tesise giren debi miktarları proses hesaplarında kabul edilen atıksu kapasitesiyle karşılaştırıldığında, ortalama debinin %30-35 oranının üstünde çıktığı ölçülmüş ve ön çökletme havuzunda atıksu giriş kirlilik değerlerinden AKM'nin %35-50'si, KOİ'nin ise %37-40'ı oranında giderildiği tespit edilmiştir.

Tesisin çıkış suyundan alınan numuneler akredite laboratuvar tarafından analiz edilmiş, KAAAY'de belirtilmiş olan Kentsel Atıksu Arıtım Tesislerinden İkincil Arıtma İlişkin Deşarj Limitleri'ne göre değerlendirilmiş, alınan sonuçlara göre arıtma verimlilik hesabı yapılmıştır. Buna göre; KOİ, %88-90, BOİ₅, %93-94 ve AKM, %93 oranında giderildiği görülmüştür.

ERBASAT'ta fiziksel arıtma ekipmanlarında 2017 ve 2018 yıllarında tutulan katı ve sıvı atık miktarları ile üretilen stabilize çamur miktarları incelenmiş olup, 2017 yılında %22-25 KM içeriğinde 11.791 ton/yıl, 2018 yılında ise 10.524 ton/yıl stabilize çamur üretilmiştir. İki yılın ortalamasına göre günde yaklaşık 30 ton/gün stabilize çamur çıktığı tespit edilmiştir. Tesiste üretilen günlük çamur miktarı proses hesaplarında ön görülen değerle karşılaştırıldığında, minimum seviye için hesaplanan değere denk geldiği görülmüştür. Bu durum, kirlilik değerlerinin karşılaştırılmasındaki neticeyi teyit etmektedir.

Tesiste üretilen, stabilize çamurun 2017 ve 2018 yıllarına ait organik ve inorganik madde içeriği incelendiğinde, çamur çürütücülerdeki KM ve UAKM değerleri 2017 yılı için 25.645 mgKM/L, 15.937 mgUAKM/L olup, UAKM değerinin %62 civarında, 2018 yılı için ise; 25.281 mgKM/L, 15.900 mgUAKM/L olup, UAKM değerinin %62-63 civarında olduğu tespit edilmiştir. UAKM oranının yaz aylarında ilkbahar ve sonbahar aylarına göre artış gösterdiği görülmüştür. Bunun sebebi, yağışlarla birlikte tesise gelen atıksu içeriğinin değişmesi ve yer altı suyunun azalmasıyla infiltrasyonun az olması organik madde içeriğini artırdığı yönde değerledirme yapılmıştır.

Çamur çürütücülerde çürütülen stabilize çamur susuzlaştırılmak üzere santrifüj dekantörlere iletilir. Dekantörlerden çıkan %22-25 KM içerikli stabilize çamurun 2017 yılı KM değeri 221.118 mg/L, UAKM: 138.326 mg/L ve UAKM oranı ise %62,5'dir. 2018 yılı verileri ise; KM değeri 228.579 mg/L, UAKM: 143.330 mg/L ve UAKM oranı ise %62'dir. Stabilize çamurun yıllar bazında ortalaması yaklaşık %62 oranında olduğu tespit edilmiştir. Çamur çürütücülere giren ham çamurun çürütülmesi sonucunda ciddi oranda azalma meydana geldiği görülmüştür. Bu durum, anaerobik parçalanmanın

ve stabilizasyonun verimli olduğunun göstergesidir. Elde edilen değerler incelendiğinde, özellikle 2018 yılının 2017 yılına göre daha yağışlı geçtiği dönemlerde birincil (ön) çamurdaki MLVSS oranının daha yüksek olduğu ve agresif davrandığı çürütücülerdeki dalgalanmayla etkisini göstermiştir.

ERBASAT’da oluşan birincil ve ikincil çamurun anaerobik ortamda çürütülmesi sonucu elde edilen biyogazın yakılmasından üretilen enerji miktarları ve tesisin elektrik ihtiyacını karşılama oranları değerlendirildiğinde, 2017 yılında 3.410 MWsa enerji üretildiği ve tesisin ihtiyaç duyduğu elektriğin %61,4 oranını karşıladığı, 2018 yılında ise 3.374 MWsa enerji üretildiği ve tesisin ihtiyaç duyduğu elektriğin %49,6 oranını karşıladığı tespit edilmiştir. Yıllar arasındaki yüzde farkının zaman zaman desülfürizasyon ünitesinin veriminin düşmesinden dolayı, biyogaz içerisindeki H_2S ’in arıtilamaması sonucunda yakılamaması veya kış aylarının daha uzun süreli ve sert geçmesinden kaynaklı ünitelerin ısıtılmasında daha fazla elektrik tüketimi meydana gelmesi gibi sebepler sayılabilir.

Çamur çürütücülerde üretilen biyogaz içerisindeki 2016 yılına ait Mayıs-Kasım ayları arasında yapılan ölçümlerdeki H_2S ve CH_4 içerikleri incelendiğinde CH_4 oranının %64 olduğu, H_2S değerinin ise 1.375 ppm olduğu ölçülmüştür.

ERBASAT’da AÇÇ’lerde çürütüldükten sonra %22-25 KM içeriğine kadar susuzlaştırılan çamurun nihai bertarafı ve ÇY’nin belirlenmesine ilişkin Erzurum ili özelinde alternatifler oluşturulmuş ve değerlendirmelerde bulunulmuştur. Çamurun ağır metal içeriği ve Erzurum’un potansiyel kullanım durumuna göre en uygun, kullanılabilir, ekonomik ve sürdürülebilir bertaraf yöntemleri ele alınmıştır.

Dünya ve AB ülkelerinde uygulanan en yaygın bertaraf yöntemleri üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Çamurun çimento fabrikalarında ek yakıt olarak kullanılması, stabilize çamurun kurutulması sonucu ayrı veya beraber yakma yöntemi ile yakılması, toprakta kullanım olanakları, kompost haline getirilerek gübre özelliği kazandırılması sonucu kullanılması ve diğer alternatif yaklaşımlar ele alınmıştır.

Stabilize çamurun 2017 yılı Mayıs ayında, Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanımına Dair Yönetmelik ve Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nde belirtilen ağır metal sınır değerlerine göre akredite laboratuvarda yapılan analiz sonuçları incelendiğinde, ERBASAT'ta üretilen çamurun tablosuna göre sınır değerleri aşmadığı görülmüştür. Çamurun yeniden kullanımı ve ekonomiye kazandırılması yönünde sürdürülebilir yöntemlerden toprakta kullanım olanaklarının değerlendirilmesi üzerine durulmuş olup, uygulanacak arazinin fiziksel ve kimyasal şartlarının bitki türü, uygulama yöntemleri vb. diğer bileşenlerin yönetmeliklerde belirtilen şartları sağlaması halinde, kontrollü ve emniyetli bir yol izlenmesi kaydıyla toprakta (tarım alanları, meralar, yapay orman alanları, toprak iyileştirme, kireçli toprakların iyileştirilmesi, park ve yeşil alanlar vb.) uygulanabilir. Toprakta uygulanması için ÇŞB'na toprakta kullanım izni için başvuru yapılması ve alınan izin sonucunda kullanılabilmesi mümkün olabilecektir. Diğer alternatif ise, çamurun kurutma işlemine tabi tutulmasının ardından, tekrar toprakta kullanım seçeneğinin değerlendirilebileceği gibi çimento fabrikasında ek yakıt olarak kullanılarak ekonomiye kazandırılmasıdır. Diğer önemli seçenek ise tesiste üretilen çamurun tamamı kullanılsa da, belediyenin ilgili birimlerinin ihtiyacı ölçüsünde kompost tesisleri kurularak parklar, yeşil alanlar ve refüjlerde kullanım olanakları mevcuttur.

Arıtma çamurlarının kullanımı insan, çevre, hayvan ve bitkiler açısından direk veya dolaylı olarak zararlı madde ve patojenleri taşıdığından dolayı, çamurun kullanımında her türlü risk değerlendirmesi yapılarak uygulamaya geçilmesi gerekmektedir.

Öneriler

AAT'leri şehir kanalizasyon sisteminden başlayıp, atıksu arıtma hattı, çamur arıtma hattı ve çamurun nihai bertarafına kadar uzanan bir yekün oluşturmaktadır. Tez aşamasında yapılmış olan inceleme ve bulgular doğrultusunda aşağıdaki öneriler çıkarılmıştır.

- Kanalizasyon sistemin birleşik sistemden ayırık sisteme dönüştürülerek ERBASAT'a gelen atıksuyun kirlilik değerlerinin arıtılması veya iyileştirilmesi ve terfi pompaları ve diğer ekipmanların fazla miktarda gelen atıksuyu pompalamak veya arıtmak zorunda kalmasının engellenmesi,
- Ön çökeltme havuzundan alınan birincil çamur içeriğindeki inorganik maddelerin varlığı, çamur çürütücülerin verimliliğini azaltmakta ve biyogaz üretimini ile birlikte çamur hatlarında problemlere yol açmaktadır. Bu durumun önüne geçilmesi için havalandırılmalı kum ve yağ tutucu havuzun verimli işletilebilmesi ve bu havuz ile ön çökeltme havuzu arasına ızgaralardan kaçan ve yüzen maddeleri (üstübü, kulak çöpü, naylon parçaları vb.) tutmak için kanal tipi tambur ince ızgara eklenilmesi,
- Ön çökeltme çamuru yoğunlaştırıcının (graviteli yoğunlaştırıcı) verimliliğini artırmak için besleme hattı üzerine kıl tutucu eklenilmesi,
- Tesiste çamur oluşumunun olduğu hatlarda minimizasyon işlemleri için çalışmalar yapılması,
- Çamur hatlarında dezentegrasyon yöntemleri uygulanarak çamurun çürütülmesi ve bozunmasında kolaylık sağlanarak biyogaz üretiminde ve dolayısıyla elektrik üretiminde artış, çamur susuzlaştırma kalitesinde iyileştirme ve stabilize çamur miktarında azalışın sağlanması,
- AÇÇ'lerde üretilen biyogaz içerisindeki H_2S 'in arıtılmasının devamlı olabilmesi için desülfürizasyon ünitesinin yedeklenmesi,
- Çamurun tarımda kullanımı ve bitki besin kaynağı olarak değerlendirilmesi için detaylı çalışma ve teşvikler getirilmesi, çiftçiler ve kullanıcılara eğitimler verilerek yönlendirmeler yapılması,

- Ülkemizdeki toprakların organik besin içeriğinin arttırılması ve olası eksikliğinin giderilmesi için stabilize çamurun yönetmelikler çerçevesinde kullanılmasının teşvik edilmesi,
- Arıtma çamurlarının yakılması sonucu oluşan külün değerlendirilmesi ve içerisindeki fosforun tarımda kullanmak üzere granüler olarak geri kazanımının sağlanması,
- Ülke genelinde tüm atıksuların envanterinin çıkarılarak, tesislerden üretilen çamurun bertaraf yöntemlerinin belirlenmesi ve bölgesel bazda hizmet verebilecek yakma ve kurutma tesislerinin yapılmasının sağlanması,
- Çimento fabrikalarının çamuru kurutması ve yakması gibi konularda daha çok teşvik verilmesi (belirli oranda çamur yakma zorunluluğu da getirilebilir),
- Stabilize çamurun diğer organik atıklarla kompostlaştırılarak organik içeriğinin arttırılmasının sağlanması ve alternatif gübre olarak tarımda kullanılması,
- ÇY stratejilerinin belirlenmesi hususunda belediyelere destek sağlanması ve uygulanabilir alternatifler belirlenerek uygun ve sürdürülebilir çözüm önerilerinin geliştirilmesi,
- Stabilize çamur hatlarında oluşan ve sistemde işletme zoruluklarına sebep olan fakat gübre değerliliği açısından tarımda kullanılmasının faydalı olduğu ve katma değere sahip olan magnezyum amonyum fosfat'ın (strüvit: $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) geri kazanımı için bilimsel çalışmalar yapılması ve teşvik edilmesi olup,

Tesis stabilize çamurun iletim hattında oluşan strüvit malzemeye ait görseller Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1. ERBASAT çamur hattında oluşan strüvit malzeme

KAYNAKÇA

- Akyarlı, A., Şahin, H. (2005). Arıtma Çamurlarının Bertarafında Kireç Kullanımı; I. I. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu, 191-200.
- Alyanak, İ. (2014). Atıksu Çamurlarının Değerlendirilmesiyle İlgili Türkiye'deki Uygulamalar, 4. Turkish-German Water Partnership Day, 23-24.
- Andreadakis, A. D., Mamais, D., Gavalaki, E., & Kampylafka, S. (2002). Sludge Utilisation in Agriculture: Possibilities and Prospects in Greece. *Water Science and Technology*, 46(10), 231-238.
- Andreoli, C. V., Von Sperling, M., Fernandes, F., & Ronteltap, M. (2007). *Sludge Treatment and Disposal*. IWA Publishing.
- Arıkan, O. A., Öztürk, İ. (2010). Arıtma Çamuru Kompostlaştırılmasında Organik Evsel Katı Atık İlavesinin Etkisi. *İTÜ Dergisi/d*, 4(1).
- Arıtma Çamuru Kontrolü (2020, 08 Ocak). Erişim adresi: <https://docplayer.biz.tr/1299172-Aritma-camuru-kontrolu.html>
- Asal, S. (2018). Arıtma Çamurlarının Bertarafında ABD Modeli. 1. Uluslararası İçmesuyu ve Atıksu Sempozyumu, Afyonkarahisar, Türkiye, 1(23).
- Aydın, M. E., Ali, T. O. R., & Özcan, S.(2010). Uluslararası Sürdürülebilir Su ve Atıksu Yönetimi Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Konya, 2010
- Ayol, A. (2010). Arıtma Çamuru Flok Ayırıştırma Mekanizmalarının Çamur Su Verme Özellikleri Üzerine Etkisi: Enzimlerle Arıtım Yöntemi. *İTÜ Dergisi/e*, 17(3).
- Bakanlık 2023 Yılı Atıksu Arıtımı Eylem Planını Hazırladı. (2016, Ocak 26). Erişim adresi: <https://cygm.csb.gov.tr/bakanlik-2023-yili-atiksu-aritimi-eylem-planini-hazirladi-duyuru-55407>
- Bakırcı, K., Özyurt, Ö., Yılmaz, M., & Erdoğan, S. (2006). Erzurum İli Enerji Çalışmaları İçin İklim ve Meteoroloji Verileri
- Bayhan, Y. (2015). Katı Atık Depolama Sahalarında Sızıntı Sularının Oluşumu, Özellikleri ve Yeraltı Sularına Etkilerin Araştırılması. *Kastamonu Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 1(2), 53-59.
- Berkün, M. (2006). Atıksu Arıtma ve Deniz Deşarjı Yapıları. Seçkin Yayınları.
- Bilgili, M. S. (2006). Katı Atık Düzenli Depo Sahalarında Atıkların Aerobik ve Anaerobik Ayrışması Üzerine Sızıntı Suyu Geri Devrinin Etkileri
- Bratina, B., Šorgo, A., Kramberger, J., Ajdnik, U., Zemljič, L. F., Ekart, J., & Šafarič, R. (2016). From Municipal/Industrial Wastewater Sludge and FOG to Fertilizer: A Proposal for Economic Sustainable Sludge Management. *Journal of Environmental Management*, 83, 1009-1025.
- Buonocore, E., Mellino, S., De Angelis, G., Liu, G., & Ulgiati, S. (2018). Life Cycle Assessment Indicators of Urban Wastewater and Sewage Sludge Treatment. *Ecological Indicators*, 94, 13-23.
- Bülteni, T. H. T. H. (2017). URL: <http://www.tuik.gov.tr.PreHaberBultenleri.do>.
- Can, Z. R. (2017). Adıyaman atıksu arıtma tesisi biyogaz üretim veriminin incelenmesi (Master's thesis, Adıyaman Üniversitesi).
- Chen, H., Yan, S. H., Ye, Z. L., Meng, H. J., & Zhu, Y. G. (2012). Utilization of urban sewage sludge: Chinese perspectives. *Environmental Science and Pollution Research*, 19(5), 1454-1463.

- Coşkun, Ç. (2012). Mesophilic anaerobic digestibility of pre-treated sludges (Doctoral dissertation, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Council Directive 86/278/EEC of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture. (1986, 07 Nisan). Erişim adresi: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1571868218692&uri=Celex:31986L0278>
- Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 concerning urban waste-water treatment. (1991, 21 Mayıs). Erişim adresi: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1991/271/oj>
- Çamur Susuzlaştırma. (2019, 5 Kasım). Erişim adresi: <http://www.massaritma.com/faaliyetD.asp?ID=36>.
- Çevik, A. (2017). Atıksu Arıtma Çamuru Susuzlaştırma Kurutma ve Yakmada Kullanılan Yöntem ve Ekipmanlar, (Uzmanlık Tezi), İller Bankası A.Ş.
- Çevre Kanunu, Kabul Tarihi 9.8.1983, Yayını 11.8.1983 Tarih ve 18132 Sayılı Resmi Gazete, 175-187.
- Çevre ve Orman Bakanlığı, 08.01.2006 Tarih ve 26047 Sayılı Resmi Gazetede Yayınlanan Kentsel Atıksu Arıtma Yönetmeliği.
- ÇŞB. (2019, 31 Ekim). [https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/editordosya/turkiyede_atıksu_yonetimi_calistayi_sonuc_bildirgesi_ve_raporu\(1\).pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/editordosya/turkiyede_atıksu_yonetimi_calistayi_sonuc_bildirgesi_ve_raporu(1).pdf).
- Çevre, (1996). Atık su Arıtma Tesislerinin İşletilmesi Seminer Kitabı, Çevre Teknolojileri Uygulayıcıları Derneği Yayınları, İstanbul, 164 s.
- Çırakoğlu, C., Dindar, E., & Şağban, F.O.T. (2017). Atık Aktif Çamur Dezentegrasyonu: Mekanik, Termal ve Kimyasal Yöntemler. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 22(1), 29-38.
- Demirkan, G. Ç., Hülya, A. K. A. T., & Yokaş, İ. (2014). Atık su arıtma çamurunun *Clarkia amoena* (Yer Açelyası) türünde bitki gelişimi ve çiçeklenme üzerine etkisi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 28(2), 49-58.
- Egemen, E., Corpening, J., & Nirmalakhandan, N. (2001). Evaluation of an ozonation system for reduced waste sludge generation. *Water Science and Technology*, 44(2-3), 445-452.
- Erden, G. (2018). Elektro-Oksidasyon Prosesi İle Biyolojik Çamur Dezentegrasyonu. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi. Yaşam Bilimleri ve Biyoteknoloji*, 7(2), 152-159.
- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., & Ledin, A. (2002). Characteristics of grey wastewater. *Urban water*, 4(1), 85-104.
- Eroğlu, V. (2014). Atıksuların Tasfiyesi. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Yayınları.
- Erşahin, Y. Ş. (2007). Vermikompost ürünlerinin eldesi ve tarımsal üretimde kullanım alternatifleri. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2007(2), 99-107.
- ESKİ, Atık Su Arıtma Tesisi. (2019, 2 Ekim). Erişim adresi: <http://www.eski.gov.tr/atesis>
- Fenchel, T., King, G. M., & Blackburn, T. H. (2012). Microbial biogeochemistry and extreme environments. *Bacterial Biogeochemistry*, 3rd ed.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 143-161.
- Filibeli, A., Erden, G. (2010). Anaerobik yöntemle stabilize edilen kentsel nitelikli arıtma çamurların nihai bertaraf açısından değerlendirilmesi. *İTÜ Dergisi/e*, 20(2).

- Filibeli, A. (1997). Arıtma Çamurlarının Genel Özellikleri, İşleme ve Bertaraf yöntemleri. DEÜ Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Ders Notları, 19s, İzmir.
- Filibeli, A. (2002). Arıtma Çamurlarının İşlenmesi, DEÜ, İzmir.
- Filibeli, A., Erden Kaynak, G. (2010). Arıtma çamuru miktarının azaltılması ve özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla yapılan ön işlemler. İTÜ Dergisi/e,16(1-3).
- Filibeli, A., Erden, G. (2010). Anaerobik yöntemle stabilize edilen kentsel nitelikli arıtma çamurların nihai bertaraf açısından değerlendirilmesi. ITU Journal Series E: Water Pollution Control, 20 (2).
- Filtrasyon Bizim İşimiz. (2019, 8 Kasım). Erişim adresi: <http://www.aesaritma.com/pages/filterpress.aspx>.
- Gazete, R. (2004). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Karar Sayısı, 8289.
- Gazete, R. (2005). Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Karar Sayısı, 25831
- Gazete, R. (2010). Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Karar Sayısı, 27533
- Gazete, R. (2010). Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Karar Sayısı, 27731
- Gazete, R. (2010). Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanımına Dair Yönetmelik. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Karar, 27661
- Gazete, R. (2015). Atıkların Atık Yönetimi Yönetmeliği, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Karar Sayısı, 29314
- Geilvoet, S., Geraats, S., Schelleman, F., & Teunissen, M. (2010). Atıksu Arıtımında Enerji Verimliliği Projesi Sonuç Raporu, Proje no. 283439.
- Ghangrekar, M. M. (2012). Wastewater Management. Erişim adresi: <https://www.nptel.ac.in/courses/105105048/>
- Godfree, A. (2003). Health constraints on the agricultural recycling of wastewater sludges. The Handbook of Water and Wastewater Microbiology, 281-98.
- Gürtekin, E., Şekerdağ, N. (2006). Aktif Çamur Proseste Aşırı Çamur Üretimini Azaltmak İçin Kullanılan Yöntemler.
- Gürtekin, E., Şekerdağ, N. (2008). Bir İleri Oksidasyon Prosesi: Fenton Proses. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14(3), 229-236.
- Hall, J. (2013). Sludge Management and Marketing Plan, MWH-Yüksel Proje Consortium, (Final Report)
- Henze, M., & Comeau, Y. (2008). Wastewater characterization. Biological wastewater treatment: Principles modelling and design, 33-52.
- Hospido, A., Moreira, M. T., Fernández-Couto, M., & Feijoo, G. (2004). Environmental performance of a municipal wastewater treatment plant. The International Journal of Life Cycle Assessment, 9(4), 261
- Hultman, B., Levlin, E., Plaza, E., & Trela, J. (1998, October). Ideas for future sludge management at the Nowy Targ WWTP. In Advanced Wastewater Treatment: Proceedings of a Polish-Ewedish seminar, Nowy Targ.
- İrdemez, Ş., Yılmaz, A. E., & Anlatıcı, E. (2016). Domestic Wastewater Treatment Sludge Disposal with The Combustion Process of The Thermal Drying-incineration Efficiency Investigation of The Relationship Between Energy. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6(4), 65-73.

- İzgi, D. (2019). Türkiye’de Atıksu Arıtma Tesislerinden Çıkan Çamurların Nihai Bertarafı - BUSKİ Örneği. Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanımı Sempozyumu, Sakarya, Türkiye, 1(36).
- İzmir Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (İZSU) (2020). <https://www.izsu.gov.tr/tr/TesisDetay/1/9/2?AspxAutoDetectCookieSupport=1> (02.01.2020).
- Kanunu, T. Ç. (1983). Kanun Numarası: 2872. Resmi Gazetede Yayımlanma Tarihi, (18132).
- Karimov, E. (2015). Kentsel Atıksu Arıtma Çamurlarının Yönetimi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Kelessidis, A., & Stasinakis, A. S. (2012). Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European Countries. *Waste management*, 32(6), 1186-1195.
- Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Bertarafı (2019, 29 Ekim) http://www.suvecevre.com/yayin/607/turkiye-de-kentsel-atiksu-aritma-tesisi-camurlarinin-bertaraf_17876.html#.XbgNkuYza70
- Koçar, G., Eryaşar, A., Ersöz, Ö., Arıcı, Ş., & Durmuş, A. (2010). Biyogaz teknolojileri. Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir.
- Compost Nedir? (2020, 2 Ocak). Erişim adresi: http://asmcomposter.com/kompost_nedir.pdf
- Köymen, S. (2019). Aksaray ili evsel atıksu karakteristiğine etki eden faktörlerin incelenmesi (Master's thesis, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Li, H. Y. C. (2000). Biosolids management of chemically enhanced primary treatment plants in Brazil & Southern California, Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology.
- Lynn, C. J., Dhir, R. K., Ghataora, G. S., & West, R. P. (2015). Sewage sludge ash characteristics and potential for use in concrete. *Construction and Building Materials*, 98, 767-779.
- Mackenzie, L. D. (2019). *Water and wastewater engineering: Design principles and practice*. McGraw-Hill Education.
- Metcalf & Eddy, Burton, F. L., Stensel, H. D., & Tchobanoglous, G. (2003). *Wastewater engineering: treatment and reuse*. McGraw Hill.
- Metcalf, I. N. C. (2003). *Wastewater engineering: treatment and reuse*. McGraw-Hill.
- Morgül, A. (2007). Çeşitli Sektörlere Ait Arıtma Çamurlarının Fiziksel ve Kimyasal Karakterizasyonu. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Gebze.
- Muslu, Y. (2002). Çevre mühendisliğinde temel işlemler ve temel prosesler, Cilt 1. Su Vakfı.
- Müller, J. A. (2000). Pretreatment processes for the recycling and reuse of sewage sludge. *Water Science and Technology*, 42(9), 167-174.
- Øegaard, H. (2004). Sludge minimization technologies-an overview. *Water Science and Technology*, 49(10), 31-40.
- Onyeche, T. I. (2004). Sludge homogenisation for improved energy and reduced sludge productions. *Journal of solid waste technology and management*, 30 (3), 164-9.
- Onyeche, T. I., Schläfer, O., & Sievers, M. (2003). Advanced anaerobic digestion of sludge through high pressure homogenisation. *Journal of Solid Waste Technology and Management*, 29 (1), 56-61.

- Önal, M. K., Topçuoğlu, B., & Arı, N. (2003). Toprağa Uygulanan Kentsel Arıtma Çamurunun Domates Bitkisine Etkisi: II. Gelişme ve Meyve Özellikleri ile Meyvede Mineral İçerikleri. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(1), 97-106.
- Öztürk, İ. (1999). *Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları*. Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Öztürk, İ. (2015). *Atıksu Arıtma Çamurlarının İşlenmesi ve Bertarafı* (El Kitabı). Türkiye Belediyeler Birliği.
- Öztürk, İ. (2017). *Atıksu Mühendisliği*, İstanbul: İSKİ Genel Müdürlüğü
- Öztürk, İ., Koyuncu, İ., Köse Mutlu, B., Yıldız, O. (2016). *Atıksu Arıtma Tesisleri İşletimi* (El Kitabı). Türkiye Belediyeler Birliği.
- Öztürk, M. (2018). Çimento Tesislerinin Atık Isısı Kullanılarak Arıtma Çamurlarını Kurutma. *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Ankara, 25, 1-25.
- Pattanshetti, S. S., Gawande, S. M., & Dawane, P. S., (2015). *Technological Options For Sewage Treatment*.
- Pepper, I. L. (2015). *Charles P Gerba a Terry J Gentry. Environmental microbiology. Third edition. United States of America.*
- Pérez-Elvira, S. I., Diez, P. N., & Fdz-Polanco, F. (2006). Sludge minimisation technologies. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 5(4), 375-398.
- Power Drain. (2019, 5 Kasım). Erişim adresi: http://www.centrivit.cz/download/andritz_belt_thickener_pd_en.pdf
- Punmatharith, T., Rachakornkij, M., Imyim, A., & Wecharatana, M. (2010). Co-processing of grinding sludge as alternative raw material in portland cement clinker production. *Journal of Applied Sciences (Faisalabad)*, 10 (15), 1525-1535.
- Salan, T. (2014). *Atıksu Arıtma Çamurlarının Türkiye'deki Durumu ve Enerji Üretiminde Değerlendirilme Olanakları*. Bildiriler. ICCI. Kahramanmaraş KSÜ.
- Salihoğlu, N. K. (2011). The Effects of Limited Liming on Solar Dried Wastewater Sludges in Covered Drying Beds. *Sigma*, 3, 193-199.
- Samsunlu, A. (1997). *Su getirme ve kanalizasyon yapılarının projelendirilmesi*. Sam-Çevre Teknolojileri Merkezi Yayınları.
- Samsunlu, A. (2006). *Atıksuların Arıtılması*, Birsen Yayınevi.
- Sanin, D. (2007). *Atıksu Çamurlarının Arıtımı ve Uzaklaştırılması*. Çevre ve Orman Bakanlığı, 16s.
- Saygılı, G. (2019). *Türkiye’de Arıtma Çamuru Yönetimi ve Toprakta Kullanım*. Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanımı Sempozyumu, Sakarya, Türkiye, 1 (24).
- Sklenárova, M., Hodolič, J., Majerník, M. (2009). *Management of waste sludge from waste water treatment plants*. Erişim adresi: https://www.iswa.org/uploads/tx_iswaknowledgebase/s402.pdf
- Sözen, S., Orhon, D., Ubay Çokgör, E., İnsel, G., Karahan, Ö., Yağci, N., Dülekürgen, E. (2010). İleri biyolojik atıksu arıtma tesislerinde model bazlı proses optimizasyonu. *İTÜ Dergisi*, 19(1-2).
- Spinosa, L., Kempa, E. S., Okuno, N., & Vesilind, P. A. (1994). *Global sludge management: a status report and perspective*. *Water Science and Technology*, 30(8), 73.

- Standard, A. D. (2000). A 131E. Dimension of Single - Stage Activated Sludge Plants. 2000. 57 p.
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Gazete, R. (2004). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Karar, 8289.
- Suehara, K. I., Kawamoto, Y., Fujii, E., Kohda, J., Nakano, Y., & Yano, T. (2005). Biological treatment of wastewater discharged from biodiesel fuel production plant with alkali-catalyzed transesterification. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 100(4), 437-442.
- Su ve Çevre Dergisi (2020, 8 Ocak). Erişim Adresi: http://www.suvecevre.com/yayin/838/sanliurfa-merkez-atiksu-aritma-tesisi_24342.html#.XiNw1tIza70
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü. Atık Su Arıtımı Eylem Planı. Erişim adresi: <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/dokumanlar/atiksu-aritimi--8230-9458-20180410150458.pdf> (2019, 29 Ekim)
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü. Türkiye’de Atık Su Yönetimi Çalıştay Sonuç Bildirgesi. Erişim adresi: [https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/editordosya/turkiyede_atiksu_yonetimi_calistayi_sonuc_bildirgesi_ve_raporu\(1\).pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/editordosya/turkiyede_atiksu_yonetimi_calistayi_sonuc_bildirgesi_ve_raporu(1).pdf) (2019, 29 Ekim)
- Tan, A. (2006). Atıksularda Bazı Kirlilik Parametrelerinin İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). TÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Anorganik Kimya Anabilim Dalı
- Topacık, D. (2000). Atıksu Arıtma Tesisleri İşletme El kitabı. İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul, İSKİ Genel Müdürlüğü.
- Topaç Şağban, F. O., Dindar, E., Çırakoğlu, C., Keskinler, B. (2016). Atık Aktif Çamurun Çeşitli Yöntemlerle Dezentegrasyonu. *Çevre Bilim ve Teknoloji*, 9.
- Topal, M., Gülşad, U. S. L. U., Topal, E. I. A., & Erdal, Ö. B. E. K. (2013). Antibiyotiklerin tespiti ve arıtılması. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 29(2), 185-199.
- Toprak, H. (2000). Aktif Çamur Sürecinin İşletilmesi. Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir..
- Tuan, P. A., Mika, S., & Pirjo, I. (2012). Sewage sludge electro-dewatering treatment-A review. *Drying Technology*, 30 (7), 691-706.
- Turgay, D. E. R. E., & Koçer, N. N. (2013). Atıksu Arıtma Tesisleri İşletme Şartlarını Tanımlamada ve Arıtma Çamurunun Faydalı Kullanılabilirliğini Değerlendirmede Fiziksel Parametrelerin Etkisi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 6(1), 77-79.
- Türkiye İstatistik Kurumu Haber Bülteni (2017). Belediye Atıksu İstatistikleri 2016, Sayı: 24875.
- Türkmen, C., Arçak, S. (2006). Kentsel Arıtma Çamuru ve Azot Uygulamalarının Kireçli Topraklarda Bazı Toprak Özelliklerine Etkileri. *Selçuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 20 (40), 121-130.
- Türkmenler, H. (2017). Atık Su Arıtma Tesislerinde Enerji Verimliliği. *Politeknik Dergisi*, 20 (2), 495-502.
- Uzun, P., Bilgili, U. (2011). Arıtma çamurlarının tarımda kullanılma olanakları. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25(2), 135-146.
- Ürünler (2019). <https://www.haus.com.tr/haustr/urunler.php?group=92&id=1108> (18.12.2019)

- Vesilind, P. A., Hartman, G. C., & Skene, E. T. (1988). Sludge management and disposal: for the practicing engineer. In Sludge management and disposal: for the practicing engineer. Lewis Publishers.
- Vesilind, P. A., Spinosa, L., & Vesilind, P. A. (2001). Introduction to stabilisation. Sludge into Biosolids. Processing, Disposal, Utilization. IWA Publishing, London, UK, 206-208.
- Vigneswaran, S., Kandasamy, J. (2009). Sludge Treatment Technologies. Waste Water Treatment Technologies - Volume II, 99.
- Von Sperling, M. (2007). Wastewater characteristics, treatment and disposal. London: IWA publishing.
- Voorden, C. V., Bekker, N., ve diğerleri. (2010). Türkiye'deki Küçük ve Orta Ölçekli Belediyelerde Atıksu Arıtımı için Rehber. Erişim adresi: https://www.ilbank.gov.tr/g2g/pdf/G2GTUR_Handbook_TR.pdf
- Water, I. (2016). National Wastewater Sludge Management Plan. Asset Strategy.
- Weber Jr, W. J., Hopkins, C. B., & Bloom Jr, R. (1970). Physicochemical treatment of wastewater. Journal Water Pollution Control Federation, 83-99.
- Wiechmann, B., Dienemann, C., Kabbe, C., Brandt, S., Vogel, I., & Roskosch, A. (2013). Sewage sludge management in Germany. Umweltbundesamt.
- Wiesmann, U. (1994). Biological nitrogen removal from wastewater. In Biotechnics/wastewater (pp. 113-154). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Wiśniewska, E., Grobelak, A., Kokot, P., & Kacprzak, M. (2019). Sludge legislation-comparison between different countries. In Industrial and Municipal Sludge (pp. 201-224). Butterworth-Heinemann.
- Yang, G., Zhang, G., & Wang, H. (2015). Current state of sludge production, management, treatment and disposal in China. Water research, 78, 60-73.
- Yapıcıoğlu, P., Demir, Ö. (2017). Çamur Arıtımının Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi-Genel Bakış. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 2 (2), 78-92.
- Yeşil, E. (2011). Atık Çamur Dezentegrasyon Yöntemlerinin Çamur Minimizasyonu Açısından Değerlendirilmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Yıldız, Ş., Yılmaz, E., & Ölmez, E. (2009). Evsel Nitelikli Arıtma Çamurlarının Stabilizasyonla Bertaraf Alternatifleri: İstanbul Örneği. Türkiye'de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu, Türkay, 1(8).
- Yılmaz, M. (2012). Türkiye'nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi. Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 4(2), 33-54.
- Zhang, Y., Zhang, P., Zhang, G., Ma, W., Wu, H., & Ma, B. (2012). Sewage sludge disintegration by combined treatment of alkaline+high pressure homogenization. Bioresource technology, 123, 514-519.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Kastamonu’da doğdu. İlköğrenim ve lise eğitimini Kastamonu’da tamamladıktan sonra 2001 yılında Atatürk Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 2005 yılında mezun oldu. Üniversiteden mezun olduktan sonra 2006 yılında Gebze/Kocaeli’de arıtma sektöründe hizmet veren özel bir firmada Çevre Mühendisliği ve Proje ve İhaleler Kısım Sorumluluğu yaptı. 2011 yılında özel sektördeki işinde ayrılarak ESKİ Genel Müdürlüğü, Plan, Proje, Yatırım ve İnşaat Daire Başkanlığı’nda Çevre Mühendisi olarak işe başladı. AB, IPA Projeleri dahilinde yapılan “Su ve Atıksu Proje”si kapsamında Proje Uygulama Birimi’nde (PUB) yer aldı. Projenin bitiminden sonra 2015 yılında işletmeye alınan Erzurum ASAT’da Tesis Müdürü olarak görev yaptı. 2016 yılında A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Teknolojileri Bilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. Evli ve 3 çocuk babası olup, halen, ESKİ Genel Müdürlüğü’nde Atıksu Arıtma Tesisleri Şube Müdür V. olarak görev yapmaktadır. İyi derecede İngilizce bilmektedir.