



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

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KONVANSİYONEL ATIK SU ARITMA TESİSLERİNİN ENERJİ VE
ARITMA VERİMLİLİKLERİNİN ARTTIRILMASI AMACIYLA
MODİFİKASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa KÜÇÜKBAYRAK

DANIŞMAN

Doç. Dr. Alper ALVER

AKSARAY, 2024

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün **212301419** numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Mustafa KÜÇÜKBAYRAK tarafından hazırlanan “**KONVANSİYONEL ATIK SU ARITMA TESİSLERİNİN ENERJİ VE ARITMA VERİMLİLİKLERİNİN ARTTIRILMASI AMACIYLA MODİFİKASYONU**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Alper ALVER

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Doç. Dr. Emine BAŞTÜRK

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Prof. Dr. Ülkü ALVER ŞAHİN

İstanbul Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Tez Savunma Tarihi: 28/06/2024

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Mehmet Ali HINIS

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinallliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Mustafa KÜÇÜKBAYRAK

TEŞEKKÜR

Saygıdeğer danışmanım,

Yüksek Lisans yolculuğuna başlamam için ilk desteği sağlayarak bu süreçte; konuyla ilgili bütün soru ve sorunlarıma her zaman sabır, içtenlik, anlayış, ilgi ile çözüm yolu buldunuz, çalışmama daha büyük hevesle yaklaşmamı sağladınız ve çok sancılı geçebilecek bir sürecin sayenizde mutlulukla sonuna gelmiş bulunmaktayım. Sizinle çalışabilmek büyük bir ayrıcalık ve bu imkana sahip olduğum için kendimi çok şanslı hissediyorum. Bu yüzden çok değerli hocam sayın Doç. Dr. Alper ALVER'e teşekkürlerin en büyüğünü ederim.

Sevgili ailem,

Hayatım boyunca sizin, her zaman yanımda olduğunuzu bilmek benim için en büyük güç olmuştur. Bu yüzden attığım her adımda, çıktığım her yolda siz ve sizi mutlu edebilmek en büyük motivasyon kaynağım olmuştur. Hiçbir zaman bana kendimi çaresiz hissettirmeyip, çıktığım bu yolda bana destek olduğunuz için teşekkür ederim. Bu yolculuk ve benim için yapmış olduğunuz fedakarlıklar için teşekkür ederim. Ailemden ayırmadığım ve her tökezlediğimde elini omzumda hissettiğim VAROL Ailesine ve GÜRDAL Ailesine teşekkür ederim.

Çalışma verilerini benimle paylaşan ve her an yardımlarını esirgemeyen İzmit Su Kanalizasyon İdaresi yönetimine ve Selçuk VAROL'a teşekkürü ayrıca bir borç bilirim.

Mustafa KÜÇÜKBAYRAK

AKSARAY, 2024

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
1. GİRİŞ.....	10
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	13
2.1 Su Döngüsü.....	13
2.2 Atık Suların Arıtılması.....	14
2.2.1 Atık su türleri.....	14
2.2.1.1 Evsel atık sular.....	14
2.2.1.2 Endüstriyel atık sular.....	15
2.2.1.3 Kentsel atık sular.....	15
2.2.2 Atık su arıtma yöntemleri.....	16
2.2.2.1 Fiziksel arıtma.....	16
2.2.2.2 Kimyasal arıtma.....	17
2.2.2.3 Biyolojik arıtma.....	17
2.2.2.4 İleri arıtma.....	18
2.3 Konvansiyonel Atık Su Arıtma Tesisleri.....	18
2.4 Atık Su Arıtma Tesislerinin Uyması Gereken Yasal Mevzuatlar.....	19
2.4.1 Toplam azot ve toplam fosfor deşarj limitlerinin arıtma tesislerinin işletilmesine etkisi.....	21
2.5 Biyolojik Nutrient Giderimi.....	22
2.5.1 Biyolojik azot ve fosfor giderim prosesleri.....	22
2.5.1.1 Tek-aşamalı ve ayrı-aşamalı nitrifikasyon.....	23
2.5.1.2 Tek-çamurlu iki aşamalı azot giderimi.....	24
2.5.1.3 Aktif çamur işletmesinin modifikasyonu.....	25
2.5.1.4 Phoredox prosesi.....	26
2.5.1.5 A/O ve A ² /O prosesleri.....	27
2.5.1.6 Modifiye Ludzack-Ettinger.....	28
2.5.1.7 OWASA çamuru.....	30
2.5.1.8 PhoStrip.....	32
2.5.1.9 Dört aşamalı Bardenpho.....	33
2.5.1.10 Beş aşamalı ve üç aşamalı modifiye edilmiş Bardenpho.....	34
2.5.1.11 Biodenipho.....	35
2.5.1.12 Cape Town Üniversitesi prosesi.....	35
2.5.1.13 Biyolojik fosfor giderimi için uzatılmış anaerobik çamur temas süresi.....	36
2.6 Atık Su Arıtma Tesislerinde Donanım ve Proses Modifikasyonları.....	37
2.7 Atık Su Arıtma Tesislerinin Enerji Verimliliği.....	38
2.8 Biyolojik Nutrient Giderimi Açısından Tesislerinin Karşılaştırılması.....	39
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	41
3.1 Çalışmanın Hedefi ve Sınırları.....	41
3.2 42 Evler Atık Su Arıtma Tesisi.....	41
3.2.1 Atık su karakterizasyonu.....	42
3.2.2 Akış şeması ve prosesler.....	45

3.2.2.1	Otomatik temizlemeli ince ızgara ve ızgara presi.....	47
3.2.2.2	Elle temizlemeli kaba ızgara.....	47
3.2.2.3	Giriş pompa istasyonu	48
3.2.2.4	Havalandırmalı kum tutucu ve yağ tutucu.....	48
3.2.2.5	Dengeleme havuzu	49
3.2.2.6	Ön çöktürme havuzu.....	49
3.2.2.7	Havalandırma havuzu	50
3.2.2.8	Son çöktürme havuzu	51
3.2.2.9	Klor temas havuzu	52
3.2.2.10	Çamur yoğunlaştırma havuzu.....	52
3.2.2.11	Çamur susuzlaştırma ünitesi	52
3.2.3	42 Evler Atık Su Arıtma Tesis'i'nin revizyonu.....	53
3.2.4	Enerji tüketimi ve yönetimi.....	56
3.3	Analiz Metotları	57
3.4	İstatistiksel Analiz Yöntemleri	58
3.4.1	Korelasyon analizi.....	58
3.4.2	T-Testi	59
3.4.3	Enerji yoğunluğu hesabı.....	59
4.	ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	60
4.1	Atık Su Arıtma Tesis'i Giriş ve Çıkış Suyu Karakterizasyonu	60
4.2	Atık Su Arıtma Tesis'i Nutrient Giderim Verimliliği ve Mekanizması.....	62
4.3	Atık Su Arıtma Tesis'inin Enerji Yoğunluğu	71
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	73
	KAYNAKLAR.....	75
	ÖZGEÇMİŞ	79

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KONVANSİYONEL ATIK SU ARITMA TESİSLERİNİN ENERJİ VE ARITMA VERİMLİLİKLERİNİN ARTTIRILMASI AMACIYLA MODİFİKASYONU

Mustafa KÜÇÜKBAYRAK

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Alper ALVER

ÖZET

42 Evler Atık su Arıtma Tesisi, 2003 yılında işletmeye alınmıştır ve Türkiye'nin Kocaeli İlinde bulunmaktadır. 42 Evler AAT'ye hem evsel hem de endüstriyel nitelikli atık sular gelmekte olup atık su BOİ₅, KOİ, TA, TF ve AKM içeriğine göre “güçlü” sınıfta yer almaktadır. AAT tarafından arıtılan atık sular hassas alıcı ortam olarak ilan edilen Marmara Denizi'ne deşarj edilmektedir. Her geçen gün tesise gelen atık su içeriğindeki kirleticilerin nitel ve nicel olarak artması yönetmeliklerde standart getirilmiş olan azot ve fosfor gideriminin zamanla yetersiz kalmasını sağlamıştır ve tesisin ileri biyolojik atık su arıtma tesisine dönüştürülmesini kaçınılmaz kılmıştır. 42 Evler AAT, 2020 yılında geleneksel aktif çamur akış şemasından Modifiye Ludzack-Ettinger (anoksik-aerobik) akış şemasına revize edilmiştir. Gerçekleştirilen derinlemesine revizyon havalandırma, çamur yönetimi, reaktör tasarımı ve nütrient kontrolündeki değişiklikleri içermektedir. Arıtma tesisi ileri biyolojik atık su arıtma tesisine dönüştürüldükten sonra deşarj suyunda takip edilen parametrelerin giderim verimlerinde %1-64 oranında artış sağlanmış ve Kentsel Atık su Arıtımı Yönetmeliği'nin deşarj şartlarını sağlayabilmiştir. Tesisin revizyonu sonrasında TA giderim verimliliği %17'den %80'e ve TF giderim verimliliği ise %64'den %90'a yükselmiştir. Modifiye edilen sistemin potansiyel faydaları BOİ₅, KOİ, NO₃, NH₄, TA, TF, AKM ve anoksik ve aerobik tanklarda yetişen mikroorganizma türleri üzerinden detaylı olarak değerlendirilmiştir. Nütrient parametrelerinin proses bazlı giderimi yakından incelendiğinde anoksik ve aerobik tanklarda keşfedilen mikroorganizma türlerinin büyümesiyle nitrifikasyon, denitrifikasyon, fosfat hidrolizi ve karbon bozunmasının meydana geldiği ortaya konulmuştur. Revizyon aynı zamanda AAT'nin enerji tüketimini %32,938 oranında düşürerek tesisin $0,226 \pm 0,032 \text{ kWh m}^{-3}$ enerji yoğunluğuna ulaşmasını sağlamıştır. Gerçekleştirilen revizyonun tüm yönleriyle verimliliği arttırdığı ortaya konulmuş ve nütrient giderim verimliliğini ve kapasitesini artırmak ve enerji tüketimini azaltmak isteyen diğer geleneksel aktif çamur tipi AAT'ler için bir örnek olabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atık Su Arıtma Tesisi; Revizyon; Konvansiyonel; Anoksik; Aerobik; Mikroorganizma.

Haziran, 2024; 79 sayfa

M. Sc. THESIS

**MODIFICATION OF CONVENTIONAL WASTEWATER TREATMENT
PLANTS TO INCREASE THEIR ENERGY AND TREATMENT
EFFICIENCY**

Mustafa KÜÇÜKBAYRAK

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Alper ALVER

ABSTRACT

42 Evler WWTP was commissioned in 2003 and is located in Kocaeli Province of Turkey. 42 Evler WWTP receives both domestic and industrial wastewater and the wastewater is classified as “strong” according to BOD₅, COD, TN, TP and AKM content. The wastewater treated by WWTP is discharged to the Marmara Sea, which is declared as a sensitive receiving environment. The qualitative and quantitative increase in the pollutants in the wastewater coming to the facility day by day has ensured that the nitrogen and phosphorus removal standardized in the regulations has become insufficient over time and has made it inevitable to transform the facility into an advanced biological wastewater treatment plant. 42 Evler WWTP was revised from conventional activated sludge flowsheet to Modified Ludzack-Ettinger (anoxic-aerobic) flowsheet in 2020. The in-depth revision included changes in aeration, sludge management, reactor design and nutrient control. After the revision of the WWTP to an advanced biological wastewater treatment plant, the removal efficiencies of the monitored parameters in the discharge water increased by 1-64% and were able to meet the discharge requirements of the Urban Wastewater Treatment Regulation. After the revision of the plant, TA removal efficiency increased from 17% to 80% and TF removal efficiency increased from 64% to 90%. The potential benefits of the revised system were evaluated in detail for BOD₅, COD, NO₃, NH₄, TN, TP, TSS and microorganism species growing in anoxic and aerobic tanks. A close examination of the process-based removal of nutrient parameters revealed that nitrification, denitrification, phosphate hydrolysis and carbon degradation occur with the growth of microorganism species discovered in the anoxic and aerobic tanks. The revision also reduced the energy consumption of the WWTP by 32,938%, resulting in an energy intensity of $0.226 \pm 0.032 \text{ kWh m}^{-3}$. The overhaul was shown to improve efficiency in all aspects and can be a model for other conventional activated sludge WWTPs that want to increase the efficiency and capacity of nutrient removal and reduce energy use.

Keywords: Wastewater Treatment Plant; Revision; Conventional; Anoxic; Aerobic; Microorganism.

June, 2024; 79 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. 42 Evler AAT genel görünümü.....	46
Şekil 3.2. 42 Evler AAT proses akım şeması.....	46
Şekil 3.3. 42 Evler AAT akış şemasında yapılan değişiklikler: (a) geleneksel aktif çamur ve (b) Modifiye Ludzack-Ettinger (anoksik-aerobik)	54
Şekil 4.1. Evler AAT'nin kirletici giderim performansının zaman içindeki değişimi (düz çizgi; giriş ünitesi, kesikli çizgi; çıkış ünitesi).	63
Şekil 4.2. Modifiye Ludzack-Ettinger prosesi için birim bazında besin maddesi giderimleri.....	66



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Evsel atık suların genel bileşimi	15
Çizelge 2.2. Türkiye’deki bazı şehir atık sularının karakterizasyonu.	15
Çizelge 3.1. Alıcı ortam deşarjında uyulması gereken değerler.....	42
Çizelge 3.2. 42 Evler AAT tasarım debileri.....	43
Çizelge 3.3. 42 Evler AAT tasarım kirlilik yükü değerleri.	43
Çizelge 3.4. 42 Evler AAT'ye bağlı olan endüstriler ve debileri.	44
Çizelge 3.5. Atık su deşarjlarında uyulması gereken sınır değerler.	45
Çizelge 3.6. İnce ızgara özellikleri.	47
Çizelge 3.7. Kaba ızgara özellikleri.	48
Çizelge 3.8. Giriş pompa istasyonu özellikleri.....	48
Çizelge 3.9. Havalandırılmalı kum tutucu ve yağ tutucu özellikleri.	49
Çizelge 3.10. Dengeleme havuzu özellikleri.....	49
Çizelge 3.11. Ön çöktürme havuzu özellikleri.	50
Çizelge 3.12. Havalandırma havuzu özellikleri.	51
Çizelge 3.13. Son çöktürme havuzu özellikleri.....	51
Çizelge 3.14. Klor temas havuzu özellikleri.	52
Çizelge 3.15. Çamur yoğunlaştırma havuzu özellikleri.	52
Çizelge 3.16. Çamur susuzlaştırma ünitesi özellikleri.	53
Çizelge 4.1. 42 Evler AAT'nin su karakterizasyonu.	61
Çizelge 4.2. Anoksik ve aerobik tankta keşfedilen mikroorganizma türleri.	67
Çizelge 4.3. 42 Evler Atık Su Arıtma Tesisi'nin işletilmesinin ekonomik analizi.....	71

SİMGELER VE KISALTMALAR

A²O	Anerobik-aerobik
AAT	Atık su arıtma tesisi
AB	Avrupa birliği
AKDY	Atık suların kanalizasyona deşarj yönetmeliği
AKM	Askıda katı madde
AOP	İleri oksidasyon prosesleri
AWWTP	İleri atık su arıtma tesislerinin
BNR	Biyolojik azot giderimi
BOİ	Biyolojik oksijen ihtiyacı
BOİ₅	5 günlük biyolojik oksijen ihtiyacı
CAS	Konvansiyonel aktif çamur
CHP	Combined heat and power
CO₂	Karbondioksit
ÇED	Çevresel etki değerlendirmesi
DO	Çözünmüş oksijen
F/M oranı	Çamur yüklemeleri
H₂O	Su
HRT	Hidrolik bekleme süreleri
İÇEP	İzmit çevre entegre projesi
KAAT	Kentsel atık su arıtma tesisi
KOİ	Kimyasal oksijen ihtiyacı
kWh	Kilowatt-saat
MBR	Membran biyoreaktör
MLE	Modified ludzack-ettinger
MLSS	Mikroorganizma sayısı
MWh	Megawatt-saat
N	Azot
N₂	Azot gazı
NH₃	Amonyak
NH₄	Amonyum
NO	Nitrik oksit
NO₂	Nitrit
NO₃	Nitrat
OWASA	Orange water and sewer authority
P	Fosfor
FDOs	Fosfor biriktiren organizmalar
PO₄	Fosfat
SBR	Sequencing batch reactor
SKKY	Su kirliliği kontrolü yönetmeliği
TKA	Toplam kjeldahl azotu
TA	Toplam azot
TF	Toplam fosfor
UAKM	Uçucu askıda katı madde
H₂S	Hidrojen sülfür
Al₂(SO₄)₃	Aluminyum sülfat
AlCl₃	Aluminyum klor
Fe₂(SO₄)₃	Demir sülfat
FeCl₃	Demir klorür

CaO	Kalsiyum monooksit
Ca(OH)₂	Kalsiyum hidroksit
Cr	Krom
Pb	Kurşun
CN	Toplam Siyanür
Cd	Kadmiyum
Fe	Demir
F	Florür
Cu	Bakır
Zn	Çinko
Hg	Civa



1. GİRİŞ

Dünya nüfusundaki hızlı artış, endüstriyel ve tarımsal faaliyetler gibi faktörler nedeniyle kullanılabilir su kaynakları azalırken su ihtiyacı ise her geçen gün artmaktadır. Bu durum mevcut su kaynaklarının dikkatli kullanımı ve su kaynaklarının kirleticilere karşı korunmasını gerekli kılmaktadır. Atık suların içerdiği kirletici maddeler, alıcı ortamdaki çözünmüş oksijen miktarını azaltarak ekolojik dengeyi olumsuz yönde etkilemekte ve kirlenen yüzey sularının kalitesi giderek düşürmektedir [1]. Alıcı ortamlarda azot ve fosfor parametrelerinin kontrolü bu açıdan büyük önem taşımaktadır. Bu parametreler sucul ortamlarda kontrol edilmedikleri takdirde, atık sularındaki azot ve fosfor bileşiklerini içeren nütrientler alıcı ortamlarda akut toksisite, alg patlamaları ve oksijen yetersizliği gibi değişikliklere neden olarak sucul yaşam üzerinde olumsuz etkiler yaratabilmektedir. Büyük hacimlerde atık suların olduğu evsel ve endüstriyel alanlarda atık suların arıtılması, arıtılmamış atık su deşarjlarından kaynaklanan kirlilik yükünün alıcı ortamın su kalitesini bozması ve temiz su döngüsünü bozarak sürdürülebilir su yönetimine büyük zarar vermesinden dolayı vazgeçilmez bir uygulama haline getirmektedir. Bu kapsamda su kaynaklarını kirletici faktörlerinin önlenmesi ve su kaynaklarının kalitesinin izlenmesi önem arz etmektedir.

Atık su deşarjlarında pH, toplam askıda katı madde (AKM), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), toplam azot (TA) ve toplam fosfor (TF) gibi fizikokimyasal parametrelerin yasal limitlere uygun olarak deşarj edilip edilmediğinin belirlenmesi gerekmektedir [2]. Evsel atık sular alıcı ortamlara deşarj edilmeden önce atık su arıtma tesislerinde biyolojik arıtmaya tabi tutulmaktadır. Konvansiyonel aktif çamur (KAÇ) arıtma tesisleri, en yaygın kullanılan biyolojik atık su arıtma tesisi (AAT) türlerinden biridir [3]. Bu tesislerin temel amacı, atık sudaki organik kirleticileri ve patojenleri gidermek ve suyu geri dönüşüme hazır hale getirmektir [4]. Geleneksel aktif çamur tipi AAT'ler azot ve fosfor'dan ziyade karbon giderimi sağlamaktadırlar ve genellikle %95'in üzerinde karbon giderim verimi elde etmektedirler [5]. Ancak, bu tesislerin azot ve fosfor giderim performansı değişkenlik gösterebilir. Konvansiyonel AAT'lerin azot ve fosfor giderim verimi tipik olarak düşüktür ve genellikle %30-60 arasında değişmektedir. Azot ve fosfor giderimi sağlamak amacıyla KAÇ akış şemasına ek bir arıtma prosesi eklemek veya bu AAT'leri ileri biyolojik arıtma tesislerine revize etmek mümkündür.

Türkiye İstatistik Kurumu 2020 verilerine göre Türkiye'de 876 adet atık su arıtma tesisi bulunmaktadır ve arıtılan toplam atık su hacmi $362.039.000 \text{ m}^3 \text{ ay}^{-1}$ 'dir: Bu tesislerin %21,95'i birincil arıtma (60 ünite), %27,22'si ikincil arıtma (593 ünite) ve %50,83'ü ise ileri arıtma yöntemleri (223 ünite) ile arıtım sağlamaktadır [6]. Bu verilere göre, Türkiye'deki AAT' lerin yaklaşık yarısı ileri biyolojik atık su arıtma tesislerine dönüştürülebilir kapasitededir.

Geleneksel aktif çamur tipi atık su arıtma tesislerinin ileri biyolojik atık su arıtma tesislerine dönüştürülmesi de enerji verimliliği açısından olumlu faydalar sağlayabilir. Son zamanlarda nüfus artışlarının hem su hemde enerji kaynakları üzerinde yarattığı baskı ve kentsel su döngüsünün yüksek enerji gereksinimleri arıtma sektöründe uygulanan "su-enerji bağı" politikalarını daha önemli hale gelmiştir [7]. Atık su arıtma tesisleri, büyük hacimli kentsel ve/veya endüstriyel atık suları arıtarak doğal döngüsüne geri döndürmeyi ve hem çevreyi hem de halk sağlığını korumayı amaçlamaktadır. Masloň çalışmasında biyolojik atık su arıtımın en fazla enerji gerektiren yöntem olduğunu belirtmiştir [8]. Genellikle bu tesisler, büyük enerji kaygıları olmaksızın belirli deşarj gereksinimleri göz önünde bulundurularak tasarlanmaktadır fakat arıtma için kullanılan proseslere bağılı olarak yoğun enerji tüketilebilmektedirler. İleri biyolojik atık su arıtma tesisleri önemli miktarda enerji tüketerek belediyenin toplam enerji tüketiminin %35'ine kadarını oluşturabilmektedirler [9]. Arıtma tesislerinde kullanılan enerjinin önemli bir kısmı termik santrallerden karşılanmaktadır dolayısıyla arıtma tesislerinin işletilmesi yüksek enerji tüketimi nedeniyle dolaylı bir su kaybına da yol açmaktadır. İleri atık su arıtma prosesleri sera gazı emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunabilmekte ve yenilenebilir enerji kaynağı olarak biyogaz sağlayabilmektedir [10]. Havalandırma, atık su arıtımında en yoğun enerji tüketen ünite ve bazı tesislerde toplam tüketilen enerjinin %42'si bu üniteye tüketilmektedir [10]. Enerji tasarruflu teknolojilerin atık su arıtma tesislerine entegrasyonu, enerji tüketiminin azaltılmasına yardımcı olabilmektedir [11] İleri arıtma teknolojilerinin kullanımı ve arıtılmış suyunun geri devri tesislerinde enerji tüketimini azaltabilmektedir [12]. Atık su arıtma tesislerinin deşarj limitlerinin günden güne daha da sıkılaşması, atık su arıtma tesislerinde enerji tüketiminin artmasına neden olmaktadır [13]. Bu nedenle bazı tesisler enerji verimliliği sağlamak için biyogaz üretimi yaparak enerji verimliliği sağlamaktadırlar [14]. Çevresel etkiyi en aza indirirken halk sağlığını korumak için, atık su arıtma

prosesleriyle ilgili toplam enerji kullanımını azaltmanın yanı sıra kirletici seviyelerinin düşük tutulması için verimli teknolojilerin kullanılması gerekmektedir.

Bu çalışmaya konu olan 42 Evler AAT 2019 yılı sonuna kadar CAS akış şemasına bağlı olarak işletilmiş ve teknolojiye ilerlemeler, yasal değişiklikler ve değişen çevresel koşullar gibi nedenlerden dolayı 2020 yılında Modifiye Ludzack-Ettinger tipi akış şemasına sahip ileri biyolojik atık su arıtma tesisine revize edilmiştir. Revizyon, tesisin operasyonel performansı, arıtma verimliliği, güvenliği ve yasal deşarj limitlerini karşılamak amacıyla yapılmıştır. 42 Evler AAT, 27.06.2009 tarihli Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği'ne göre "Hassas Alıcı Ortam" olarak belirlenen Marmara Denizi'ne deşarj yapmaktadır. Bu nedenle, özellikle sucül ortamlardaki müsilağ gibi kirliliklerin önlenmesi için atık sulardan nütrient giderimi bu tesiste oldukça önem kazanmıştır. Yapılan revizyon sayesinde arıtma tesisi CAS tipinde işletilirken yetersiz olan azot ve fosfor giderim verimleri %80'in üzerine çıkarılmış ve tesisin enerji tüketimi %32 oranında azaltılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Su Döngüsü

Su döngüsü, atmosferin üst katlarında yoğunlaşarak yağış olarak yeryüzüne ulaşmaktadır ve ardından güneşin etkisiyle buharlaşma ve terleme yoluyla tekrar atmosfere dönmektedir. Su döngüsü, suyun yeryüzü ile atmosfer arasında devamlı bir hareket halinde olduğu bir süreçtir. Özellikle okyanuslar, küresel yağışların ve buharlaşmanın büyük bir kısmının kaynağıdır ve su döngüsünde önemli bir rol oynamaktadırlar. Bu süreçteki en önemli kısım buharlaşmadır, özellikle okyanuslar üzerinde gerçekleşen buharlaşma, küresel yağışların ve hava olaylarının etkenlerinden biridir. Türkiye gibi sahil şeritlerine sahip ülkelerde su döngüsü, okyanuslardan ve denizlerden kaynaklanan buharlaşma ile önemli ölçüde etkilenmektedir. Türkiye'nin sahil bölgelerindeki buharlaşma miktarı, iç kesimlere göre daha yüksek olabilmektedir ve bu meteorolojik olay yağış dağılımını etkileyen önemli faktörlerden biridir. Meteorolojik olaylar, farklı coğrafyalarda değişkenlik göstermektedir. Örneğin, Asya ve Güney Amerika'ya düşen yağışın yaklaşık %55-%60'ı buharlaşırken, Afrika'da bu oran %80'e kadar çıkabilmektedir.

Atmosfer suyun dünya çevresinde hareket etmesini sağlayan ortamı temsil etmektedir. Bulutlar, atmosferdeki suyun görünür biçimlerini oluşturmaktadır ve hava şartlarına bağlı olarak atmosferde her zaman su bulunmaktadır. Yoğunlaşma, havadaki su buharının sıvı haline geçmesidir ve su döngüsünde suyun yeniden yeryüzüne dönmesini sağlamaktadır. Yağış atmosferdeki yoğunlaşmanın sonucu olarak meydana gelmektedir ve su döngüsünün önemli bir aşamasını oluşturmaktadır. Türkiye gibi farklı iklimlerin olduğu ülkelerde, atmosferdeki suyun bulutlar aracılığıyla yoğunlaşması ve yağışa dönüşmesi, çeşitli hava olaylarını etkilemektedir.

Yeryüzüne düşen yağmurun bir kısmı toprak tarafından emilirken, kalan kısmı ise eğim yönünde akışa geçmektedir ve yüzey üstü akışları oluşturmaktadır. Yüzey üstündeki akışlar; nehirler, dereler ve çaylar olarak adlandırılmaktadır ve yer altındaki akiferlerin dolmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca, yüzey üstündeki akışlar tatlı su depolarında birikmektedir ve yer altına sızmatadır. Sızma, yağışın toprak ve kayalardan yer altına süzülmesini ifade etmektedir. Süzülme sayesinde yer altına geçen su askıda katı madde gibi etmenlerin giderilmesine olanak tanımaktadır.

Türkiye'nin farklı coğrafi bölgelerindeki yağış miktarı ve dağılımı önemli ölçüde farklılık gösterebilmektedir. Örneğin, Karadeniz Bölgesi'nin yüksek yağış alması ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin kuraklığa eğilimli olması ve İç Anadolu Bölgesi gibi iç kesimlerde ise yağış miktarı daha az olabilmektedir. Türkiye'nin iklimsel özellikleri ve coğrafi konumu, su döngüsünü farklı kılmaktadır ve su kaynaklarının yönetiminin her bölgede farklı olması gerektiğini göstermektedir.

2.2 Atık Suların Arıtılması

2.2.1 Atık su türleri

Atık su, yerleşim birimlerinden, ticari ve endüstriyel kuruluşlardan gelen suların ve yer altı sularının, yüzey sularının ve yağışların karışımıdır. Diğer bir ifadeyle, farklı faaliyetler sonucu kirlenen kullanılmış suya atık su denilmektedir [15].

Atık suların içerisinde biyobozunur olan ve biyobozunur olmayan maddelerden oluşmaktadır. Bozunabilir maddeler, aynı zamanda fiziksel bozunmaya ve çürümeye uğrayan maddeleri de içermektedir [16].

2.2.1.1 Evsel atık sular

Yaygın olarak yerleşim bölgelerinden ve okul, hastane, otel gibi hizmet sektörlerinden kaynaklanan atık sulardır [17]. Evsel atık sular; askıda madde, koloidal madde ve çözülmüş organik ve inorganik maddeler içermektedir. Atık suyun yoğunluğu, kullanılan suyun miktarsal olarak ne kadar kullanıldığı ve ne amaçla kullanıldığına bağlı olarak değişebilmektedir. Atık su yoğunluğunun değişimi, iklimsel şartlar, yaşam standartları ve kültürlere göre şekillenmektedir. Evsel atık sulara endüstriyel atık suların karışımı, evsel atık suyun özelliklerini değiştirmektedir [18].

Evsel atık su sistemlerinde toplanan atık sular çeşitli kirleticiler içermektedir. Atık suların bileşenleri, toplama sistemine karışan atık suyun miktarı ve tipine bağlı olarak değişmektedir. Evsel atık suların genel bileşimi Çizelge 2.1'de verilmiştir [15].

Çizelge 2.1. Evsel atık suların genel bileşimi.

Kirlletici Parametreler	Konsantrasyon (mg L ⁻¹)		
	Zayıf	Orta	Güçlü
Toplam Katı Maddeler (TKM)	350	720	1200
Askıda Katı Maddeler (AKM)	100	220	350
Çökelebilen Katı Maddeler (ÇKM, ml L ⁻¹)	5	10	20
Biyolojik Oksijen ihtiyacı (BOİ ₅)	110	220	400
Toplam Organik Karbon (TOK)	80	160	290
Kimyasal Oksijen ihtiyacı (KOİ)	250	500	1000
Toplam Azot (TA)	20	40	85
Toplam Fosfor (TF)	4	8	15

2.2.1.2 Endüstriyel atık sular

Endüstriyel atık sular, ticari veya endüstriyel faaliyetin yürütüldüğü alanlardan, evsel atık su ve yağmur suyu dışında oluşan atık sulardır [17].

Endüstriyel atık suların karakteristikleri, endüstriyel faaliyet tipine göre farklılık göstermektedir. Aynı tipteki endüstrilerde bile, kullanılan hammaddelerin ve uygulanan proseslerin farklılığı, atık suyun yapısında değişiklik gösterebilmektedir [19].

2.2.1.3 Kentsel atık sular

Evsel atık suyun, endüstriyel atık su ve/veya yağmur suyu ile karışımı kentsel atık suyu ifade etmektedir [20]. Türkiye’de bazı şehir atık sularının karakterizasyonu Çizelge 2.2’de verilmiştir [21].

Çizelge 2.2. Türkiye’deki bazı şehir atık sularının karakterizasyonu.

Tesis	KOİ (mg L ⁻¹)		BOİ ₅ (mg L ⁻¹)		AKM (mg L ⁻¹)		TA (mg L ⁻¹)		TF (mg L ⁻¹)	
	Aralık	Ort	Aralık	Ort	Aralık	Ort	Aralık	Ort	Aralık	Ort
İzmir	79-1154	424	80-540	202	54-1188	250	16-97	41	2,52-27,6	7,68
Tarsus	100-1198	439	140-400	225	19-923	190	21-71	46	15-37	24
Antalya	35-704	386	30-475	252	18-840	266	9-50	27	1-14	6
Ankara	109-528	305	50-245	159	65-380	147	8-87	40	3,3-12,2	8,2
Isparta	184-976	423	150-450	251	75-836	158	-	-	-	-

2.2.2 Atık su arıtma yöntemleri

Atık su arıtımı, suların çeşitli kullanımlar sonucunda kaybettikleri fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik özelliklerinin bir kısmını veya tamamını tekrar kazandırabilmek ve/veya arıtmadan sonra deşarj edildikleri alıcı ortamın doğal fiziksel, kimyasal, bakteriyolojik ve ekolojik özelliklerini değiştirmeyecek hale getirebilmek için uygulanan fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma işlemlerinin birini veya birkaçını kapsamaktadır [22].

Atık su arıtımında temel amaç, suyun kirlilik derecesinin kullanım yerine göre istenilen düzeye indirilmesidir. Bu amaca yönelik olarak atık su arıtımı üç farklı şekilde yapılabilir. Birincil arıtma, çok fazla kirli olmayan, sadece bazı basit fiziksel ve kimyasal arıtım yöntemleri ile atık su deşarj standartlarına getirilebilen atık sulara uygulanmaktadır. Genellikle birincil arıtım ve ikincil arıtım birlikte yapılmaktadır. İkincil arıtmada amaç, biyolojik olarak organik maddelerin atık sulardan giderimini sağlamaktır. Üçüncül arıtım, atık suyun ileri düzeyde arıtılmasını gerektiren özel durumlarda uygulanmaktadır. Bu arıtmada fiziksel ve kimyasal yöntemler birlikte kullanılmaktadır [23].

2.2.2.1 Fiziksel arıtma

Fiziksel arıtma atık suda bulunan çökelebilen/yüzebilen farklı boyutlardaki katı maddelerin, çözünmüş organik/inorganik maddelerin ve gazların uzaklaştırılması amacıyla uygulanan işlemleri kapsamaktadır.

Atık su arıtımında birinci kademe arıtma işlemlerinin kullanılmasının temelde iki nedeni bulunmaktadır. Birinci nedeni, atık sudaki iri (kaba) maddelerin tutularak arıtma tesisindeki boru ve kanalların tıkanmasının önlenmesidir ve mekanik aksamın (pompa, vana, aeratör vs.) aşınmaya yönelik korunmasıdır. İkinci nedeni, arıtma tesisindeki diğer ünitelere gelecek yüklerin azaltılmasıdır [24]. Arıtma tesislerinde uygulanan fiziksel arıtma üniteleri ızgaralar, elekler, kum tutucular, yüzer madde tutucular, dengeleme, çökeltim ve yüzdürme havuzlarıdır [25].

2.2.2.2 Kimyasal arıtma

Kimyasal arıtma, atık sularda kirliliğe neden olan çözünmüş, kolloidal ve askıdaki maddelerin uzaklaştırılmasını sağlamak veya hızlandırmak amacıyla, çeşitli kimyasal reaksiyonlardan yararlanılması esasına dayanan sistemlerdir. Kimyasal arıtma suda çözünmüş halde bulunan kirleticilerin, kimyasal reaksiyonlarla çözünürlüğü düşük bileşiklere dönüştürülmesi veya kolloidal/askıdaki taneciklerin pıhtı ve yumaklar oluşturarak çökertilmesini amaçlamaktadır.

Pıhtılaştırma işlemi genellikle hızlı karıştırma ünitelerinde yapılmaktadır. Atık suyun bu üniteye kalış süresi 0,5-5 dakika arasında değişmektedir. Pıhtılaştırma işlemi sonucunda, suda bulunan kolloidler ve kimyasal reaksiyon sonucu oluşan tanecikler çok küçük yumaklar halinde birleşmektedirler. Bu aşamadan sonra suyun yavaş bir şekilde karıştırılması, pıhtılaştırma ile oluşmuş bu parçacıkların birleşerek daha kolay çökebilen büyük yumaklar oluşturmasını sağlamaktadır. Yumaklaştırma ünitelerinde suyun kalış süresi 15-60 dakika arasında değişmektedir.

Yumaklaştırma işlemini hızlandırmak, kullanılan yumaklaştırıcıların miktarlarını azaltmak veya arıtma verimini artırmak için kil, kalsit, polielektrolit, aktif silika, çeşitli alkali ve asitler gibi yumaklaştırmaya yardımcı maddeler (koagülant yardımcısı) kullanılmaktadır. Yumaklaştırıcı (koagülant) olarak $Al_2(SO_4)_3$, $AlCl_3$, $Fe_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, CaO , $Ca(OH)_2$ gibi kimyasal maddeler ve yumaklaştırma yardımcı maddesi olarak en fazla polielektrolitler kullanılmaktadır.

Kimyasal yumaklaştırma sonucunda oluşan yumakların çöktürülmesi için çökeltme havuzları kullanılmaktadır. Hızlı karıştırma, yavaş karıştırma ve çökeltme havuzları ayrı birimler olarak inşa edilebildiği gibi, bunların bir arada yapıldığı bileşik sistemler de mevcuttur [26].

2.2.2.3 Biyolojik arıtma

Atık su bünyesinde bulunan organik ve kısmen de anorganik kirletici maddelerin, mikroorganizmalar tarafından besin ve enerji kaynağı olarak kullanılmak amacıyla atık sudan uzaklaştırılmaları esasına dayanan sistemlerdir. Organik maddelerin bir kısmı mikroorganizma hücrelerine, bir kısmı da enerjiye dönüşmektedir [27].

Biyolojik arıtmanın temel amaçları;

- Çözünmüş ve partiküler biyolojik olarak parçalanabilen bileşenleri (organik madde) kabul edilebilir son ürünlere dönüştürmek veya okside etmek (H_2O , H_2S , CO_2 , CH_4),
- Askıda ve çökelemeyen kolloidal katıları biyolojik bir floğa ya da biofilm tarafından yakalanmasını veya bir araya gelmesini sağlamak,
- Azot ve fosfor gibi nütrientleri dönüştürmek ve uzaklaştırmak,
- Bazı durumlarda spesifik iz (eser) organik bileşenleri ve bileşiklerini uzaklaştırmaktır.

Biyolojik arıtma yöntemleri, aerobik ve anaerobik olmak üzere iki ana sınıfa ayrılmaktadır.

2.2.2.4 İleri arıtma

Nütrientleri, biyolojik olarak kolayca ayrışamayan organikleri, ağır metalleri ve diğer toksik maddeleri içeren tam olarak arıtılmamış atık suların alıcı ortamlara verilmesi, su kütlelerinin bozulmasına sebep olabilmektedir ve arıtılması gerekmektedir. Bu tip atık suların arıtımında, ikincil arıtma yeterli değildir ve bu atık suların fiziko-kimyasal arıtma proseslerini de içine alan üçüncül arıtma veya ileri arıtma yöntemleri ile arıtılması gerekmektedir. İleri arıtımda, aktif karbon adsorpsiyonu, iyon değişimi, ters ozmoz, kimyasal indirgeme, yükseltgeme gibi yöntemler kullanılmaktadır [28].

2.3 Konvansiyonel Atık Su Arıtma Tesisleri

Konvansiyonel atık su arıtma tesisleri, klasik yöntemlerle atık suların arıtılmasını sağlamaktadır. Bu tesisler genellikle mekanik, kimyasal ve biyolojik işlemleri içermektedir ve evsel/endüstriyel atık suların arıtılması için kullanılmaktadır. Konvansiyonel atık su arıtma tesisleri, uzun yıllardır kullanılmaktadır. Konvansiyonel atık su arıtma tesisleri, tasarım, kurulum ve işletme süreçleri bilinmektedir ve yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Konvansiyonel atık su arıtma tesisleri, temel atık su arıtma ihtiyaçlarını karşılamak için ekonomik (düşük yatırım maliyeti) bir seçenek olarak kabul edilmektedir. Konvansiyonel tesisler, genellikle yerel düzenlemelere ve atık su deşarj standartlarına uygun olarak tasarlanmaktadır ve işletilmektedir. Bu nedenle, atık suyun çevreye zarar vermeden güvenli bir şekilde deşarj edilmesini

sağlamaktadır. Yıllar boyunca test edilmiş ve kanıtlanmış teknolojiler olduğundan, konvansiyonel atık su arıtma tesisleri, güvenilirlikleri ile bilinmektedir [29].

Klasik prosesler, genellikle yüksek enerji tüketimi ile ilişkilendirilmektedir. Özellikle havalandırma sistemleri ve pompa sistemleri, yoğun enerjinin kullanıldığı işlemler olabilmektedir. Çamur oluşumu, atık su arıtma tesislerinin yan ürünü olarak ortaya çıkmaktadır. Çamurun etkili bir şekilde bertaraf edilmesi veya işlenmesi ek maliyetler ve çevresel endişeler doğurabilmektedir. Konvansiyonel tesisler, değişen atık su karakteristiklerine veya artan arıtma gereksinimlerine hızlı bir şekilde adapte olmakta zorlanabilmektedir. Dolayısıyla mevcut sistemlerin genellikle yeniden düzenlenmesi veya modernize edilmesi gerekmektedir. Konvansiyonel tesisler, bazı dirençli organik kirleticileri veya mikro kirleticileri etkin bir şekilde gidermede sınırlı kalabilmektedir. ve daha gelişmiş arıtma teknolojilerinin gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Karmaşık mekanik ekipman ve sistemlerin bulunması, konvansiyonel tesislerin düzenli bakım ve onarım gereksinimlerini artırmaktadır ve ek işgücü ve işletme maliyetlerine neden olabilmektedir.

Konvansiyonel atık su arıtma tesisleri, temel atık su arıtma ihtiyaçlarını karşılamak için etkili bir seçenek olabilmektedir. Fakat enerji tüketimi, çamur bertarafı ve atık su kalitesinde sınırlamalar gibi bazı dezavantajları bulunmaktadır ve daha sürdürülebilir ve verimli alternatiflerin araştırılması önem arz etmektedir.

2.4 Atık Su Arıtma Tesislerinin Uyması Gereken Yasal Mevzuatlar

Türkiye'de çevre koruma konusundaki temel yasal düzenlemelerden biri olan Çevre Kanunu, 1983 yılında kabul edilmiştir ve doğal kaynakların korunması, çevre kirliliğinin önlenmesi ve çevre kalitesinin artırılması amacıyla uygulanmaktadır. Çevre Kanunu, çevre kirliliğine neden olabilecek her türlü faaliyetin kontrol altına alınmasını ve bu faaliyetlerin çevreye zarar vermeden yürütülmesini zorunlu kılmaktadır [30]. Kanun, çevreye zarar verenlerin sorumluluklarını belirlemekte, yaptırımlar ve cezai hükümler öngörmektedir. Atık su arıtma tesislerinin, bu kanuna uygun olarak faaliyet göstermesi gerekmektedir. Özellikle, tesislerin çevresel etkilerini en aza indirmek ve belirlenen standartlara uygun olarak işletilmesi zorunlu tutulmaktadır.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY), 1988 yılında yürürlüğe girmiştir ve zaman içinde güncellenmiştir. Bu yönetmelik, su kaynaklarının korunması ve su kirliliğinin önlenmesi amacıyla çeşitli düzenlemeler getirmektedir. Atık su arıtma tesisleri, SKKY'ye uygun olarak çalışmak zorundadır. Bu kapsamda, arıtma tesislerinin çıkış sularındaki kimyasal, biyolojik ve fiziksel parametrelerin belirli limitler içinde tutulması zorunlu kılınmaktadır. SKKY kapsamında belirtilen pH, askıda katı madde, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ₅), yağ ve gres, toplam azot ve fosfor gibi parametrelerin kontrol edilmesi gerekmektedir. Tesislerin bu değerlere uyum sağlamak için düzenli olarak su analizleri yapması ve ilgili yetkililere raporlaması zorunlu tutulmaktadır.

Atık Su Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, atık su arıtma tesislerinin projelendirilmesi, inşası, işletilmesi ve bakımı ile ilgili teknik ve idari usul ve esasları belirlemektedir. tebliğ, atık su arıtma tesislerinin verimli ve çevreye zarar vermeden çalışmasını sağlamak amacıyla uyulması gereken standartları ve prosedürleri içermektedir. Atık su arıtma tesislerinin, tebliğde belirtilen teknik kriterlere uygun olarak tasarlanması, inşa edilmesi ve işletilmesi gerekmektedir. Özellikle tesislerin kapasite, proses seçimi, arıtma verimliliği ve çevresel etkiler göz önünde bulundurularak projelendirilmesi zorunlu kılınmaktadır. İşletme ve bakım aşamalarında ise tesislerin düzenli olarak bakımının yapılması ve arıtma verimliliğinin sürekli izlenmesi gerekmektedir.

Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği, çevreye önemli etkileri olabilecek projelerin değerlendirilmesini ve bu projelerin çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılmasını hedeflemektedir. Atık su arıtma tesislerinin, bu yönetmelik kapsamında ÇED raporları hazırlaması ve ilgili makamlara sunması gerekmektedir. ÇED süreci, tesislerin çevresel etkilerinin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini ve olumsuz etkilerin en aza indirilmesini sağlamaktadır. Bu değerlendirme sonucunda, tesislerin projelendirilmesi, inşası ve işletilmesi sırasında çevresel sürdürülebilirlik ilkelerine uygun hareket edilmesi zorunlu tutulmaktadır.

Atık Yönetimi Yönetmeliği, atıkların kaynağında azaltılması, yeniden kullanılması, geri dönüştürülmesi ve bertaraf edilmesi ile ilgili düzenlemeler getirmektedir. Atık su arıtma tesisleri, bu yönetmeliğe uygun olarak faaliyet göstermek zorundadır. Tesislerde oluşan atıkların yönetimi, bu yönetmelikte belirtilen esaslara göre

yapılmaktadır ve atıkların çevreye zarar vermeden bertaraf edilmesi gerekmektedir. Özellikle arıtma çamurlarının uygun şekilde yönetilmesi ve bertaraf edilmesi zorunlu tutulmaktadır. Tesislerin atık yönetimi süreçlerini düzenli olarak izlemeleri ve raporlamaları gerekmektedir.

2.4.1 Toplam azot ve toplam fosfor deşarj limitlerinin arıtma tesislerinin işletilmesine etkisi

Toplam azot ve toplam fosfor limitleri, atık su arıtma tesislerinin işletilmesine önemli ölçüde etki etmektedir. Bu limitler, su kaynaklarının korunması ve su kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla belirlenmiş standartlar doğrultusunda uygulanmaktadır. Yüksek seviyelerde azot ve fosfor, su ekosistemlerinde aşırı alg ve bitki büyümesine (ötrifikasyon) yol açmaktadır ve bu durum su kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle, atık su arıtma tesisleri, çıkış sularındaki azot ve fosfor konsantrasyonlarını belirli limitler içinde tutmak zorundadır [31].

Azot ve fosforun etkin bir şekilde giderilmesi, atık su arıtma tesislerinin proses tasarımlarında ve işletme stratejilerinde önemli değişiklikler gerektirmektedir. Bu bileşenlerin giderilmesi için biyolojik ve kimyasal arıtma yöntemlerinin birlikte kullanılması yaygın bir uygulama haline gelmiştir. Biyolojik arıtma süreçlerinde, nitrifikasyon ve denitrifikasyon gibi aşamalar ile azotun giderilmesi sağlanmaktadır ve kimyasal çöktürme yöntemleri ile ise fosfor uzaklaştırılmaktadır. Bu yöntemlerin uygulanması, tesislerin enerji tüketimini artırmaktadır ve işletme maliyetlerini etkilemektedir. Ayrıca, bu süreçlerin etkin bir şekilde yürütülmesi için deneyimli personel ve sürekli izleme gerekmektedir.

Atık su arıtma tesisleri, toplam azot ve toplam fosfor limitlerine uyum sağlamak için düzenli olarak su analizleri yapmak/yaptırmak ve sonuçları ilgili mercilere raporlamak zorundadır. Analizler, tesislerin performansını değerlendirmek ve gerekli iyileştirme önlemlerini almak için kritik öneme sahiptir. Limitlerin aşılması durumunda, tesislerin cezai yaptırımlarla karşı karşıya kalması ve çevreye zarar vermesi söz konusu olmaktadır. Dolayısıyla, atık su arıtma tesisleri, proses optimizasyonu ve verimliliği artırmak için gelişmiş arıtma teknolojilerini ve yönetim stratejilerini kullanmak durumundadır. Su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir bir çevre sağlanması gelişmiş arıtma teknolojilerinin kullanılması ile mümkün olmaktadır.

2.5 Biyolojik Nutrient Giderimi

Biyolojik nutrient giderimi, atık su arıtma tesislerinin işletilmesinde önemli süreçlerdendir. Bu süreç, özellikle azot ve fosfor gibi besin maddelerinin biyolojik yöntemlerle sudan uzaklaştırılmasını hedeflemektedir. Azotun giderilmesi için nitrifikasyon ve denitrifikasyon aşamaları kullanılmaktadır. Nitrifikasyon aşamasında, amonyak nitrit ve nitrat formlarına oksitlenmektedir, denitrifikasyon aşamasında ise nitrat gaz formunda azota indirgenerek sudan uzaklaştırılmaktadır. Fosfor giderimi ise biyolojik fosfor akümülatif organizmalar (FDO'lar) aracılığıyla gerçekleştirilmektedir [32]. Bu organizmalar, fosforu hücre içi yapılarında biriktirmektedir ve fosfor sudan uzaklaştırılmaktadır.

Biyolojik nutrient giderimi, atık su arıtma tesislerinin proses tasarımlarını ve işletme stratejilerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu proseslerin etkin bir şekilde yürütülmesi, nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçlerinin gerçekleşebilmesi için uygun oksijen seviyeleri ve hidrolik bekleme süreleri sağlanması gibi belirli koşulların sağlanması gerekmektedir. Bu durum, tesislerin havalandırma sistemleri ve reaktör tasarımlarında değişiklikler yapılmasını gerektirmektedir. Ayrıca, biyolojik fosfor giderimi için belirli karbon kaynaklarının ve besin maddelerinin bulunması gerekmektedir. Bu nedenle, tesislerin karbon-fosfor oranlarını dikkatle izlemeleri ve optimize etmeleri gerekmektedir.

Atık su arıtma tesisleri, biyolojik nutrient giderimi süreçlerinin etkinliğini sağlamak için düzenli olarak proses performansını izlemek ve gerekli ayarlamaları yapmak zorundadır. Bu izleme, tesisin çıkış suyundaki azot ve fosfor konsantrasyonlarının yasal limitler içinde tutulmasını sağlamakta ve su kalitesinin korunmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca, biyolojik proseslerin etkinliğini artırmak için operatörlerin sürekli eğitilmesi ve yeni teknolojilerin uygulanması gerekmektedir. Bu şekilde, atık su arıtma tesisleri hem çevresel sürdürülebilirliği sağlamaktadır hem de işletme maliyetlerini optimize ederek verimli bir şekilde çalışmaktadır.

2.5.1 Biyolojik azot ve fosfor giderim prosesleri

Biyolojik azot ve fosfor giderim süreçleri, atık su arıtma tesislerinde suyun azot ve fosfor içeriğini kontrol altına almak için kullanılan karmaşık arıtma yöntemleridir. Bu

süreçler genellikle aerobik ve anaerobik bakteriyel aktivitelerin kombinasyonunu içermektedir. Aerobik koşullarda, amonyak nitrit ve nitrat formuna oksitlenerek azotun uzaklaştırılması sağlanmaktadır ve anaerobik ortamlarda, fosfor biriktiren organizmalar aracılığıyla fosforun uzaklaştırılması hedeflenmektedir. Biyolojik giderim süreçlerinin avantajları arasında, doğal mikroorganizmaların kullanılması nedeniyle kimyasal giderim yöntemlerine kıyasla çevre dostu olmaları ve düşük işletme maliyetleri bulunmaktadır. Ayrıca, bu süreçlerin suyun kalitesini iyileştirmesi ve uzun vadeli sürdürülebilir bir arıtma çözümü sunması da önemli bir avantajdır.

Biyolojik azot ve fosfor giderim süreçlerinde, değişken hava koşulları, organik yük ve atık su bileşimi gibi faktörler, biyolojik süreçlerin verimliliğini etkileyebilir ve sürecin istikrarını bozabilmektedir. Ayrıca, biyolojik azot ve fosfor giderim süreçlerinde genellikle uzun adaptasyon süreçleri gerektiği için, yeni tesislerin başlangıçta istenilen performansı sağlamakta zorlanabilmektedir. Bu zorluklarla başa çıkabilmek için, tesis operatörleri süreci sürekli olarak izlemelidir ve gerekli önlemleri almalıdır. Süreç parametrelerinin dikkatle yönetilmesi ve işletme koşullarının optimize edilmesi, sürecin verimliliğini artırabilmektedir ve istikrarını sağlayabilmektedir.

Biyolojik azot ve fosfor giderim süreçlerinin etkin bir şekilde çalışması için, tesislerin teknik özelliklerine uygun olarak tasarlanması ve işletilmesi gerekmektedir. Reaktör tasarımı, havalandırma sistemleri ve karbon-fosfor oranları gibi faktörlerin doğru bir şekilde belirlenmesi önemli unsurlardır [33]. Ayrıca, operatörlerin sürekli eğitilmesi ve yeni teknolojilerin takip edilmesi, sürecin iyileştirilmesi ve daha etkin hale getirilmesi için kritik öneme sahiptir. Bu şekilde, biyolojik azot ve fosfor giderim süreçleri, su arıtma tesislerinin çevresel etkilerini minimize etmek ve su kaynaklarını korumak için önemli bir rol oynamaktadır.

2.5.1.1 Tek-aşamalı ve ayrı-aşamalı nitrifikasyon

Tek-aşamalı ve ayrı-aşamalı nitrifikasyon, atık su arıtma tesislerinde amonyağın nitrat formuna dönüştürülmesinde kullanılmakta olan yöntemler arasındadır.

Tek-aşamalı nitrifikasyon, amonyağın (NH_4^+) doğrudan nitrat (NO_3^-) formuna dönüştürüldüğü bir süreçtir [34]. Bu süreç, nitrifikasyonun her iki aşamasını (amonyaktan nitrite ve nitritten nitrate) aynı reaktörde gerçekleştirmektedir. Amonyak

önce nitrite, ardından da nitrata oksitlenmektedir. Bu yöntemde, tek bir reaktörde iki aşamalı reaksiyonları gerçekleştirmek için uygun şartlar sağlanmaktadır.

Ayrı-aşamalı nitrifikasyon ise amonyanın önce nitrite, ardından da nitrata dönüştürülmekte olduğu iki farklı reaktörde gerçekleştirilen bir süreçtir. İlk reaktörde amonyaktan nitrite dönüşüm gerçekleşmekte iken, ikinci reaktörde nitrit nitrata oksitlenmektedir. Bu yaklaşım, her bir aşamanın optimal koşullar altında gerçekleşmesini sağlayarak nitrifikasyon verimliliğini artırabilmektedir.

Her iki yöntemin avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Tek-aşamalı nitrifikasyon, daha basit bir süreç sağlamaktadır ancak her iki aşamanın optimum koşullarda gerçekleşmesini sağlamak zor olabilmektedir. Ayrı-aşamalı nitrifikasyon ise her bir aşamanın kontrol edilmesini ve optimize edilmesini sağlamaktadır, ancak iki ayrı reaktörün işletilmesi ve bakımı daha zor olabilmektedir.

Hangi yöntemin seçileceği, tesisin ihtiyaçlarına, mevcut altyapıya ve finansal kaynaklara bağlı olarak belirlenmektedir. Her iki yöntem de amonyak etkili bir şekilde nitrata dönüştürülerek atık su arıtma işlemi tamamlanmaktadır.

2.5.1.2 Tek-çamurlu iki aşamalı azot giderimi

Atık su arıtma tesislerinde azot bileşiklerinin (özellikle amonyak ve nitrat) giderilmesi için kullanılan bir yöntemdir [35]. Bu proses, tek bir biyolojik çamur sistemi içinde iki aşamalı azot dönüşümünü sağlamaktadır. İlk aşamada, nitrifikasyon süreci gerçekleşmektedir. Nitrifikasyon, amonyanın (NH_4^+) önce nitrite (NO_2^-) ve ardından nitrata (NO_3^-) oksitlenmesi işlemidir. Aerobik (oksijenli) koşullarda Nitrosomonas ve Nitrobacter gibi nitrifikasyon bakterileri tarafından gerçekleştirilmektedir. Oksijenin yeterli miktarda sağlanması, nitrifikasyon sürecinin verimliliği için kritik öneme sahiptir.

İkinci aşamada ise denitrifikasyon süreci yer almaktadır. Denitrifikasyon, nitratin (NO_3^-) anaerobik (oksijensiz) koşullarda gaz formundaki azot (N_2) veya azot oksitlere (N_2O) indirgenmesi işlemidir. Bu aşamada, denitrifikasyon bakterileri nitrati enerji kaynağı olarak kullanarak azot gazına dönüştürmektedir. Tek-çamurlu sistemde, nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçleri, farklı bölümlerde veya değişen çevresel koşullarla aynı reaktör içinde gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem, biyolojik çamurun

tek bir üniteye tutulmasını sağlayarak sistemin karmaşıklığını azaltmaktadır ve işletim maliyetlerini düşürmektedir. Atık su arıtma tesislerinde etkili ve ekonomik bir azot giderimi çözümü sunmaktadır.

2.5.1.3 Aktif çamur işletmesinin modifikasyonu

Atık su arıtma tesislerinde performansı artırmak, belirli kirleticileri daha etkili bir şekilde gidermek ve çevresel uyumluluğu sağlamak amacıyla yapılan değişiklikleri ifade etmektedir. Bu modifikasyonlar, tesisin tasarımına, mevcut sorunlara ve hedeflenen arıtma seviyesine bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir [36].

İleri besleme (step-feed) modifikasyonu, atık suyun birincil arıtma sonrasındaki belirli noktalara kademeli olarak beslenmesini içermektedir [37]. Bu yöntem, yüklemeyi dengelemektedir ve organik maddelerin daha etkin bir şekilde ayrışmasını sağlamaktadır. Düşük yüklemeli modifikasyonu, daha uzun hidrolik bekleme süreleri (HBS) ve düşük çamur yüklemeleri (B/K oranı) ile çalışmaktadır. Daha düşük organik madde yüklemesi, daha stabil bir biyolojik proses ve daha iyi biyolojik çamur stabilizasyonu sağlamaktadır. Anaerobik-aerobik (A^2O) modifikasyonu, biyolojik fosfor giderimini artırmak için kullanılmaktadır. Atık su, anaerobik bir bölmeden aerobik bir bölmeye geçirilmektedir. Anaerobik-aerobik (A^2O) modifikasyonunda, fosforu depolayan organizmalar gelişmektedir ve biyolojik fosfor giderimi artmaktadır.

Biyolojik azot giderimi (BNR) modifikasyonu, nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçlerini içermektedir. Atık su, aerobik ve anoksik bölmeler arasında geçiş yaparak azot bileşiklerinin biyolojik olarak giderilmesini sağlamaktadır. Bunun için çeşitli BNR sistemleri kullanılabilir. Konvansiyonel BNR Sistemi sıralı anoksik ve aerobik bölmeler içermektedir. Modified Ludzack-Ettinger (MLE) Prosesi, anoksik bölme, nitrifikasyon sırasında oluşan nitratı denitrifiye etmek için kullanılmaktadır [38]. SBR (Sequencing Batch Reactor) modifikasyonu, ardışık toplu reaktörler kullanılarak arıtma süreçlerinin zamanla değişen ardışık fazlarda gerçekleşmesini sağlamaktadır. Bu fazlar arasında dolum, reaksiyon, çökeltme, boşaltma ve duraklama bulunmaktadır. SBR sistemi, yüksek performans ve esneklik sağlamaktadır.

Membran biyoreaktör (MBR) modifikasyonu, biyolojik arıtmayı membran filtrasyonu ile birleştirmektedir. Bu sistem, yüksek kalitede çıkış suyu üretir ve çamur yaşını kontrol ederek biyokütlenin daha uzun süre reaktörde kalmasını sağlamaktadır ve yüksek etkinlik sunmaktadır. Yüksek hızlı biyolojik fosfor giderimi ve/veya yüksek hızlı karbon giderimi süreçleri gibi yüksek yüklemeli prosesler, kısa hidrolik bekleme süreleri ve yüksek çamur yüklemeleri kullanarak atık suyun hızlı bir şekilde arıtılmasını sağlamaktadır. Anaerobik çamur çürütme, aktif çamur prosesinin son aşamasında çamurun anaerobik koşullarda çürütülmesi, biyogaz üretimi ve çamurun hacmini azaltma amacıyla kullanılmaktadır. Bu süreç, enerji geri kazanımı sağlamaktadır ve çamur yönetimini iyileştirmektedir.

Kimyasal destekli biyolojik arıtma, biyolojik arıtmanın etkinliğini artırmak için kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları, fosfor giderimi için kimyasal çöktürme veya amonyak giderimi için pH kontrolü gibi yöntemlerdir. Ozonlama, UV/H₂O₂ veya Fenton reaksiyonu gibi ileri oksidasyon prosesleri, biyolojik olarak zor parçalanan organik bileşiklerin giderimini artırmak için kullanılmaktadır. Aktif çamur işletmesinin modifikasyonu, tesisin ihtiyaçlarına ve arıtma hedeflerine göre dikkatlice planlanmalıdır ve optimize edilmelidir. Modifikasyonlar, arıtma verimliliğini artırmaktadır. Ayrıca, enerji ve kaynak tüketimini azaltarak, çevresel uyumluluğu ve sürdürülebilirliği artırmaktadır.

2.5.1.4 Phoredox prosesi

Phoredox prosesi aynı zamanda A/O prosesi olarak da bilinmektedir ve biyolojik fosfor giderimi için kullanılan bir atık su arıtma yöntemidir. Bu süreç, aktif çamur sistemi içinde hem anaerobik hem de aerobik bölmeleri kullanarak fosforu etkili bir şekilde gidermeyi hedeflemektedir. Phoredox prosesi, atık sudaki organik maddelerin biyolojik olarak parçalanmasını ve fosforun bakteriler tarafından alınarak hücre içi polifosfat olarak depolanmasını sağlamaktadır.

Atık su ilk olarak anaerobik (oksijensiz) kısma verilmektedir. Bu ünite, fosforu depolayan mikroorganizmalar (FDO), enerji üretmek için hücre içindeki polifosfatları parçalamaktadır ve ortama çözünmüş fosfat (PO₄³⁻) salınımı yapmaktadır. Aynı zamanda, organik maddeler (örneğin, kısa zincirli yağ asitleri) bu mikroorganizmalar tarafından alınmaktadır ve enerji depolanması için kullanılmaktadır.

Anaerobik kısımdan sonra, atık su aerobik (oksijenli) kısma verilmektedir. FDO'lar enerji üretimi için önceden alınmış olan organik maddeleri okside etmektedirler. Bu oksidasyon sürecinde, FDO'lar hücre içinde yeniden polifosfat depolamaktadır ve çözeltideki fosfatı alarak ortamdan uzaklaştırmaktadırlar. Böylece, ortamdaki fosfat konsantrasyonu düşmektedir ve fosfor biyolojik olarak giderilmektedir.

Anaerobik ve aerobik koşulların ardışık kullanımı, fosforun etkili bir şekilde giderilmesini sağlamaktadır. Phoredox prosesi, karmaşık ekipman gerektirmeyen basit bir sistem tasarımı sunmaktadır. Süreçte sadece bir aerobik bölme bulunduğu için enerji tüketimi optimize edilebilmektedir.

Aktif çamur prosesleri genellikle yüksek miktarda biyolojik çamur üretmektedir ve bu durum çamur yönetimi gerektirmektedir. FDO'ların etkili çalışabilmesi için yeterli miktarda organik madde (özellikle kısa zincirli yağ asitleri) bulunmalıdır. Sürecin etkinliği, anaerobik ve aerobik bölmelerdeki koşulların dikkatlice kontrol edilmesine bağlıdır.

Phoredox prosesi, özellikle fosfor gideriminin öncelikli olduğu evsel atık su arıtım tesislerinde ve endüstriyel atık su arıtma tesislerinde kullanılmaktadır. Bu süreç, sucul ortamlarda ötrofikasyonu önlemek ve su kalitesini artırmak amacıyla önemlidir.

Phoredox prosesi, biyolojik fosfor giderimi için anaerobik ve aerobik bölmeleri kullanan etkili bir yöntemdir. Bu proses, fosforu depolayan mikroorganizmalar aracılığıyla fosforun çözeltiden biyolojik olarak uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Aktif çamur sistemlerinde fosfor giderimi hedefleyen tesisler için basit ve etkili yöntemlerden biridir.

2.5.1.5 A/O ve A²/O prosesleri

A/O ve A²/O prosesleri, biyolojik fosfor ve azot giderimi için kullanılmakta olan ileri biyolojik arıtma yöntemlerindendir. Her iki proses de fosforu biyolojik olarak gidermek amacıyla anaerobik ve aerobik bölgeleri kullanmaktadır, ancak A²/O prosesi ayrıca biyolojik azot giderimi de sağlamaktadır.

A/O prosesi, atık suyun sırasıyla anaerobik ve aerobik bölmelerden geçtiği iki aşamalı bir süreçtir. Anaerobik kısımda, fosforu depolayan mikroorganizmalar, hücre içindeki

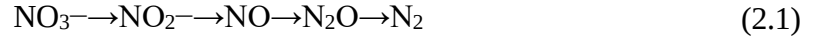
polifosfatları enerji üretmek için parçalamaktadır ve çözünmüş fosfat (PO_4^{3-}) ortama salınmaktadır. Organik maddeler hücre içersine alınarak depolanmaktadır. Aerobik kısımda FDO'lar, aerobik koşullarda depoladıkları organik maddeleri okside etmektedir ve atık sudan fosfatı hücre içersine alarak hücre içinde polifosfat olarak depolamaktadırlar. Sonuç olarak, atık sudaki fosfat konsantrasyonu azalmaktadır. Basit tasarımı/işletimi ve etkili fosfor giderimi gibi avantajları yanında sadece fosfor giderimi, sadece azot giderimi için yeterli olmaması ve organik madde gereksinimi yüksek olması gibi dezavantajları bulunmaktadır.

A^2/O prosesi, biyolojik fosfor ve azot giderimi için kullanılmakta olan gelişmiş bir biyolojik arıtma yöntemidir. Bu sistem, atık suyun sırasıyla anaerobik, anoksik ve aerobik bölmelerden geçtiği üç aşamalı bir süreçtir. Anaerobik kısımda, FDO'lar, polifosfatları parçalamaktadır, fosfat salınımı yapmaktadır ve organik maddeler depolanmaktadır. Anoksik kısımda nitrat (NO_3^-), denitrifikasyon bakterileri tarafından azot gazına (N_2) indirgenmektedir ve sistemden uzaklaştırılmaktadır. Bu süreçte oksijen yerine nitratlar kullanılmaktadır. Aerobik bölme; FDO'lar organik maddeleri okside etmekte ve fosfatı hücre içinde polifosfat olarak depolamaktadır. Nitrifikasyon bakterileri amonyağı (NH_4^+) nitrit (NO_2^-) ve nitrat (NO_3^-) formuna oksitlemektedir. A^2/O prosesinde hem fosfor hem de azot giderimi sağlanması ve etkili bir biyolojik arıtma süreci sunması prosesin temel avantajlarından. Dezavantajları arasında ise karmaşık tasarım/işletim ve fazla alan/enerji gereksinimi bulunmaktadır. Her iki süreç de atık su arıtma tesislerinde fosfor ve azot giderimini optimize etmek için kullanılmaktadır ve çevresel düzenlemelere uyum sağlamak amacıyla uygulanmaktadır.

2.5.1.6 Modifiye Ludzack-Ettinger

Modifiye Ludzack-Ettinger (MLE) prosesi, atık su arıtma tesislerinde biyolojik azot giderimi için yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. MLE prosesi nitrifikasyon ve denitrifikasyon aşamalarını içermektedir ve özellikle nitratların anoksik koşullarda biyolojik olarak azot gazına dönüştürülmesini sağlamaktadır.

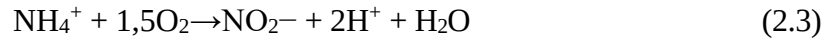
Anoksik bölmede, organik maddeler ve geri devirden gelen nitrat (NO_3^-) bulunmaktadır. Denitrifikasyon bakterileri, nitratları azot gazına (N_2) indirgemektedir ve azot gazı sudan uzaklaşmaktadır.



Bu süreçte, organik karbon kaynakları (C) enerji için kullanılmaktadır.



Aerobik bölgede nitrifikasyon bakterileri, amonyağı (NH_4^+) nitrit (NO_2^-) ve daha sonra nitrat (NO_3^-) formuna oksitlemektedir.



Nitrifikasyon süreci, oksijen varlığında gerçekleşmektedir.

Geri devir (İç Geri Döngü), aerobik bölmede üretilen nitratın geri devir hattı aracılığıyla anoksik bölmeye geri pompalanması işlemidir. Denitrifikasyon için gerekli olan nitratların anoksik bölmeye taşınmasını sağlanmaktadır ve azotun biyolojik olarak uzaklaştırılması artmaktadır.

Geri devir oranı, atık su akış hızının %200-400'ü arasında değişmektedir. Anoksik bölmeye yeterli miktarda nitratın taşınmasını sağlanmaktadır. Çözünmüş oksijen (ÇO) kontrolünde aerobik bölmede çözünmüş oksijen seviyesi kontrol edilmektedir ve genellikle 2 mg L^{-1} civarında tutulmaktadır. Nitrifikasyon için yeterli oksijen sağlanmaktadır ve denitrifikasyonun anoksik bölmede gerçekleşmesini garanti etmektedir. Anoksik bölmenin hacmi, toplam reaktör hacminin yaklaşık %30-50'si olabilmektedir.

MLE prosesi, toplam azot giderimini etkin bir şekilde sağlamaktadır ve özellikle nitratların biyolojik olarak giderilmesinde etkilidir. Diğer azot giderim proseslerine göre daha basit bir tasarıma sahiptir. Geri devir hattı sayesinde, enerji verimli bir şekilde kullanılarak denitrifikasyon ve nitrifikasyon süreçlerinin entegrasyonunu sağlamaktadır.

MLE prosesi temel olarak azot giderimi için tasarlanmıştır ve biyolojik fosfor giderimi sağlamak için ek işlemler gerektirebilmektedir. Denitrifikasyon için yeterli miktarda organik karbon kaynağı gerektirmektedir.

MLE prosesi, özellikle belediyelere ait evsel atık su arıtma ve endüstriyel atık su arıtma tesislerinde biyolojik azot giderimi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Nitratların ve amonyağın çevresel etkilerini azaltmaktadır ve su kalitesini iyileştirmek amacıyla tercih edilmektedir.

MLE prosesi, biyolojik azot giderimi için anoksik ve aerobik kısımları kullanarak nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçlerini birleştirmektedir. Geri devir hattı, nitratların anoksik bölmeye taşınmasını sağlamaktadır ve toplam azot giderimini artırmaktadır.

2.5.1.7 OWASA çamuru

Orange Water and Sewer Authority çamuru, atık su arıtma tesislerinde oluşan biyolojik çamurun işlenmesi ve bertarafı ile ilgili yöntemleri ifade etmektedir. Kullanılan çamur, Orange Water and Sewer Authority (OWASA) tarafından yönetilen tesislerde ortaya çıkan atık biyolojik materyaldir. OWASA, Kuzey Karolina'da bulunan ve Chapel Hill, Carrboro ve University of North Carolina at Chapel Hill topluluklarına su ve atık su arıtım hizmetleri sağlayan kamu kuruluşudur.

OWASA çamuru, atık su arıtma sürecinde oluşan biyolojik çamurun işlenmesi ve yönetimi ile ilgilidir. Bu süreç, çamurun yoğunlaştırılması, anaerobik çürütme, susuzlaştırma ve uygun bertaraf yöntemleri ile çevresel ve düzenleyici gereksinimlere uyum sağlanarak gerçekleştirilmektedir. Gelişmiş yöntemler ve teknolojiler, çamur yönetiminin verimliliğini artırmaktadır ve çevresel etkileri minimize etmektedir.

Çamur üretimi, atık su arıtma süreci sırasında organik maddelerin, mikroorganizmaların ve diğer kirleticilerin biyolojik olarak parçalanması ve biyolojik çamur (aktif çamur) olarak çökmesiyle gerçekleşmektedir. Çamur, atık su arıtma tesislerinin ikincil arıtma ünitelerinde oluşmaktadır.

Çamur yoğunlaştırma kısmında, üretilen çamurun yoğunlaştırma ünitelerinde suyu azaltılarak hacmi küçültülmektedir. Bu aşamada çamurun katı madde oranı artırılmaktadır. Yoğunlaştırma işlemi, genellikle yerçekimi sayesinde veya mekanik yöntemlerle gerçekleştirilmektedir.

Anaerobik çamur çürütme kısmında, yoğunlaştırılmış çamur anaerobik çürütme tanklarına beslenmektedir. Bu tanklarda çamur, anaerobik (oksijensiz) koşullarda bakteriler tarafından biyolojik olarak parçalanmaktadır. Bu süreçte, biyogaz (metan ve karbondioksit) üretilmektedir ve çamurun organik içeriğini azaltılarak stabilizasyon sağlanmaktadır. Biyogaz, enerji üretimi için kullanılabilir.

Çamur susuzlaştırma işleminde, çürütülmüş çamur susuzlaştırma ünitelerinde işlenmektedir. Çamurun fazla suyu çıkarılarak katı madde oranı artırılmaktadır. Susuzlaştırma yöntemleri arasında santrifüj, filtre pres veya vidalı pres gibi mekanik işlemler bulunmaktadır.

Çamur yönetimi ve bertarafında, susuzlaştırılmış çamur çeşitli yöntemlerle bertaraf edilmektedir veya yeniden kullanılmaktadır. Bertaraf yöntemleri arasında toprak düzenleyici olarak kullanma, kompostlama veya yakma gibi yöntemler kullanılmaktadır. Çamurun besin maddeleri (özellikle fosfor ve azot) içerdiği için tarım arazilerinde kullanılması yaygın bir uygulamadır. Çamurun bertarafı sırasında çevresel düzenlemelere uyum sağlanmalıdır. Çamurun bertarafı sırasında çevresel etkiler minimize edilmelidir. Özellikle besin maddelerinin ve ağır metallerin çevreye salınımı kontrol edilmelidir. Anaerobik çürütme sırasında üretilen biyogaz, enerji üretimi için kullanılabilir ve oluşan biyogaz atık su arıtma tesisinin enerji maliyetlerini düşürmektedir ve sürdürülebilirlik sağlamaktadır. Çamur yönetimi ve bertarafı sırasında yerel düzenlemelere uyulmalıdır. Etkili çamur yönetimi, halk sağlığı ve çevre koruma açısından kritik öneme sahiptir. Çamur işleme tesislerinde genellikle kötü kokular yayılabilir. Bu nedenle, koku kontrolü ve estetik görünüm önemlidir.

Çamurun termal hidroliz ile ön işlenmesi, anaerobik çürütme verimliliğini artırmaktadır ve biyogaz üretimini teşvik etmektedir. Yüksek katı madde içeriği elde etmek için ileri susuzlaştırma teknikleri kullanılabilir. İleri susuzlaştırma teknikleri, çamur hacmini azaltmaktadır ve bertaraf maliyetlerini düşürmektedir. Çamurun organik madde içeriği kompostlama ile stabilize edilmektedir ve toprağa besin maddesi olarak geri kazandırılabilir. Biyogazın enerji üretimi için kullanılması, tesisin enerji ihtiyacını karşılamaktadır ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı sağlamaktadır.

2.5.1.8 PhoStrip

Atık su arıtma tesislerinde biyolojik fosfor giderimi için kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntem, anaerobik ve aerobik kısımlardan oluşan, fosforun etkili bir şekilde giderilmesini sağlayan bir sistemdir. Ayrıca, bu sistemde fosfor biyolojik olarak giderildikten sonra kimyasal çöktürme ile yüksek saflıkta fosfor geri kazanımı sağlanmaktadır.

Anaerobik koşullarda, fosforu depolayan mikroorganizmalar (Polyphosphate-Accumulating Organisms - FDOs), hücre içindeki polifosfatları parçalayıp çözünmüş fosfat (PO_4^{3-}) salınımı yapmaktadır. Anaerobik bölmeden gelen çamur, ayrı bir anaerobik çamur hattına taşınmaktadır. Bu hat, daha fazla çözünmüş fosfatın salınmasını teşvik etmektedir. Çözünmüş fosfat açısından zengin olan anaerobik çamur, kimyasal çöktürme işlemine tabi tutulmaktadır. Kimyasal çöktürme genellikle metal tuzları (örneğin, demir veya alüminyum sülfat) kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu kimyasal maddeler, fosfat ile reaksiyona girerek çözünmeyen fosfat tuzları oluşturmaktadır ve çözünmeyen fosfat tuzları çökelmektedir. Çöktürülmüş fosfor, katı-sıvı ayrımı ile çamurdan ayrılmaktadır. Ayrılan fosfor çamuru, daha sonra bertaraf edilmekte veya geri dönüştürülmektedir. Anaerobik ve çöktürme işlemlerinden sonra kalan çamur, aerobik kısma geçirilmektedir. FDO'lar enerjilerini yenileyerek tekrar polifosfatları hücre içinde depolamaktadır. Böylece aerobik kısımda çözültiden daha fazla fosfat alınmaktadır ve biyolojik olarak giderilmektedir.

PhoStrip prosesi, biyolojik ve kimyasal yöntemleri birleştirerek fosfor gideriminde yüksek verimlilik sağlamaktadır. Kimyasal çöktürme işlemi sayesinde fosfor, yüksek saflıkta geri kazanılabilmektedir ve yeniden kullanılabilir. Fosfor giderimi, sucul ortamlarda ötrofikasyonu önlemektedir ve su kalitesini artırmaktadır. Biyolojik ve kimyasal süreçlerin kombinasyonu, çeşitli atık su tipleri için kolaylıkla kullanılabilir.

Kimyasal çöktürme işlemi için metal tuzları gibi kimyasallar gerekmektedir, kimyasalların kullanımı ise işletme maliyetlerini artırabilmektedir. Kimyasal çöktürme ile üretilen çamur, uygun şekilde bertaraf edilmelidir. Kimyasal çöktürme

işlemleri ek maliyetler ve yönetim gereksinimleri getirmektedir. Biyolojik ve kimyasal süreçlerin entegre yönetimi, işletme ve bakım açısından karmaşık olabilmektedir.

PhoStrip prosesi, özellikle fosfor gideriminin kritik olduğu belediye atık su arıtma tesisleri, endüstriyel atık su arıtma tesisleri ve tarımsal atık yönetimi tesisleri gibi arıtma tesislerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. PhoStrip prosesi, fosfor açısından zengin atık sulardan fosforu etkili bir şekilde gidermek ve geri kazanmak amacıyla tercih edilmektedir.

PhoStrip prosesi, biyolojik ve kimyasal yöntemleri birleştirerek fosforun yüksek verimlilikle giderilmesini sağlayan bir atık su arıtma yöntemidir. Anaerobik ve aerobik kısımların yanı sıra kimyasal çöktürme işlemi ile fosforun biyolojik olarak alınması ve ardından kimyasal olarak çöktürülmesi sağlanmaktadır. Ayrıca fosfor geri kazanımını mümkün kılarak çevresel faydalar sunmaktadır ve su kalitesini artırmaktadır. Ancak, kimyasal kullanımı ve çamur yönetimi gibi dezavantajları bulunmaktadır.

2.5.1.9 Dört aşamalı Bardenpho

Atık su arıtma tesislerinde biyolojik azot ve fosfor giderimi sağlamak amacıyla kullanılan gelişmiş bir biyolojik arıtma yöntemidir. Dört aşamalı bardenpho prosesi, sırasıyla anaerobik, anoksik, aerobik ve tekrar anoksik bölmeleri içeren dört aşamalı bir süreçten oluşmaktadır. Anaerobik aşama, fosforu depolayan organizmaların (FDO'lar) polifosfatları parçalayarak fosfatı çözeltide serbest bırakılmasını sağlamaktadır. Bu aşamada, organik maddeler hücre içine alınarak depolanmaktadır. İlk anoksik aşama, atık suda bulunan nitrat denitrifikasyon bakterileri tarafından azot gazına dönüştürülmektedir. Aerobik aşamada, nitrifikasyon bakterileri amonyağı nitrite ve ardından nitrata oksitlemektedir ve FDO'lar fosfatı biyolojik olarak hücre içine alabilmektedir. Son anoksik aşamada ise kalan nitrat, denitrifikasyon ile azot gazına dönüştürülmektedir.

Dört-Aşamalı Bardenpho prosesi, yüksek verimlilikle azot ve fosfor giderimi sağlamaktadır. Bu süreç, farklı biyolojik reaksiyonların uygun koşullarda gerçekleşmesini sağlayarak atık suyun arıtılmasını sağlamaktadır. Anaerobik ve anoksik aşamalar, azot ve fosfor giderimi için gerekli olan spesifik mikroorganizmaların aktivitesini artırmaktadır. Aerobik aşamada, biyokimyasal

oksijen ihtiyacını (BOD) ve amonyak konsantrasyonunu azaltırken, son anoksik aşamada kalan nitrat iyonları giderilmektedir. Dört-Aşamalı Bardenpho prosesi, genellikle belediye atık su arıtma tesislerinde kullanılmaktadır ve çevresel düzenlemelere uyum sağlamak için tercih edilmektedir. Prosesin etkinliği, enerji verimliliği ve arıtma kapasitesi, atık su arıtma tesislerinin performansını önemli ölçüde artırmaktadır.

2.5.1.10 Beş aşamalı ve üç aşamalı modifiye edilmiş Bardenpho

Biyolojik azot ve fosfor giderimi için geliştirilmiş bir arıtma yöntemi olan Beş-Aşamalı Bardenpho prosesi, dört aşamalı Bardenpho prosesine ekstra anoksik bölme eklenerek azot ve fosfor giderimi sağlanmaktadır. Anoksik bölmede, geri dönüştürülmüş nitrat (NO_3^-) içeren atık su denitrifikasyon bakterileri tarafından azot gazına (N_2) indirgenmektedir. Ardından atık su içerisindeki amonyak (NH_4^+) nitrifikasyon bakterileri tarafından nitrite ve nitrat (NO_3^-) formuna aerobik bölmede oksitlenmektedir. Fosforu depolayan mikroorganizmalar (FDOs) fosforu hücre içinde depolamaktadırlar. Daha sonra atık su ikinci anoksik bölmeye geçmektedir. Bu kısımda, aerobik bölmeden gelen nitrat denitrifikasyon bakterileri tarafından azot gazına (N_2) indirgenmektedir. İlk ve ikinci aerobik bölmelerden nitratlar, ilgili anoksik bölmelere geri dönüştürülerek denitrifikasyon süreçleri optimize edilmektedir. İkinci aerobik bölmeden ilk anoksik bölmeye nitrat geri devri sağlanarak denitrifikasyon için gerekli olan nitratlar sürekli olarak sağlanmaktadır.

Üç-Aşamalı Modifiye Bardenpho Prosesi ile daha basit şekilde biyolojik azot ve fosfor giderimi sağlanmaktadır. Bu proses, üç aşamadan oluşmaktadır ve nitrifikasyon-denitrifikasyon ile fosfor alımını entegre etmektedir. Atık su, geri dönüştürülmüş nitrat (NO_3^-) içeren anoksik bölmeye girmektedir ve denitrifikasyon bakterileri nitrat iyonunu azot gazına (N_2) indirgemektedir. Aerobik kısımda, nitrifikasyon bakterileri amonyağı (NH_4^+) nitrite ve daha sonra nitrat (NO_3^-) formuna oksitlemektedir. FDO'lar fosforu hücre içinde depolamaktadırlar. Anoksik bölmede, aerobik bölmeden gelen nitrat denitrifikasyon bakterileri tarafından azot gazına (N_2) indirgenmektedir. Aerobik bölmeden anoksik bölmeye nitrat geri devri sağlanarak denitrifikasyon için gerekli olan nitrat sürekli olarak sağlanmaktadır. Üç aşamalı bardenpho, dört ve beş aşamalı proseslere göre daha basit ve işletilmesi daha kolaydır. Daha az ekipman ve kontrol

sistemi gerektirmektedir ve bu sistem yatırım ve işletme maliyetlerini düşürmektedir. Azot ve fosfor giderimi açısından yeterli verimlilik sağlanmaktadır.

2.5.1.11 Biotenitasyon

Biyolojik azot ve fosfor giderimi için kullanılan bir arıtma yöntemidir. Biotenitasyon prosesi, atık suyun anaerobik, aerobik ve anoksik bölmeler arasında dolaşımını sağlayarak azot ve fosforun etkili bir şekilde giderilmesini hedeflemektedir. Atık su, başlangıçta anaerobik bir ortama yönlendirilmektedir. Bu aşamada, fosfor depolayan organizmalar (FDOs) hücre içinde polifosfatları parçalayarak çözünmüş fosfatı salmaktadırlar. Organik maddeler alınıp ve depolanmaktadır. Aerobik bölgede nitrifikasyon bakterileri amonyağı nitrite ve ardından nitrat formuna oksitleyerek azot giderimini gerçekleştirmektedir. FDO'lar, fosforu hücre içinde depolamaktadırlar. Anoksik bölgede, denitrifikasyon bakterileri nitratları azot gazına indirgemektedir ve azot giderimi sağlanmaktadır. Son olarak, atık su yeniden aerobik kısma geçmektedir ve FDO'lar fosforu tekrar hücre içinde depolamaktadırlar.

Biotenitasyon prosesi, atık suyun dolaşımını sağlayarak anaerobik, aerobik ve anoksik ortamlar arasında geçiş yaparak azot ve fosforun etkili bir şekilde giderilmesini sağlamaktadır. Bu yöntem, azot ve fosfor giderimi için biyolojik süreçleri optimize ederken atık su arıtma tesislerinin verimliliğini artırmaktadır.

2.5.1.12 Cape Town Üniversitesi prosesi

Atık su arıtma tesislerinde biyolojik fosfor giderimi için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntem ile, düşük enerji tüketimi, operasyonel basitlik ve etkili fosfor giderimi sağlanmaktadır. Cape Town Üniversitesi Prosesi, dört aşamadan oluşmaktadır. Anaerobik kısımda, fosfor depolayan mikroorganizmalar, çözeltiden fosforu alarak hücre içinde polifosfat olarak depolamaktadırlar. Anaerobik bölmeden çıkan atık su, anoksik kısma geçirilmektedir. Bu bölmede, denitrifikasyon süreci gerçekleşmektedir ve nitrat azot gazına indirgenmektedir. Anoksik bölmeden çıkan atık su, aerobik kısma geçirilmektedir. Nitrifikasyon süreci gerçekleşmektedir ve amonyak nitrit ve nitrat formlarına oksitlenmektedir. Ayrıca, fosfor depolayan mikroorganizmalar (FDOs), aerobik koşullarda fosforu hücre içinde depolamaktadırlar. Aerobik

bölmeden çıkan atık su, çökeltme tankına aktarılmaktadır. Bu tankta, FDO'lar ve diğer çökeltilebilir partiküller çöktürülmektedir ve arıtılmış su üst kısımdan alınmaktadır.

Cape town prosesi ile düşük enerji tüketimi sağlanarak fosfor giderimi sağlanmaktadır. Göreceli olarak basit işletme ve bakım gerektirmektedir. Anaerobik, anoksik ve aerobik koşullar altında fosfor giderimini gerçekleştirmektedir. Su kaynaklarının korunması için etkili bir yöntemdir.

İlk yatırım maliyeti yüksek olabilmektedir. Çamur yönetimi ve bertarafı ile ilgili ek maliyetler ve gereksinimler bulunmaktadır. Belirli atık su karakteristiklerine uygun olmayan proseslerden biridir.

Şehir ve kasabaların atık sularının arıtılmasında kullanılabilmektedir. Endüstriyel atık su arıtımında kullanılabilecek yöntemlerden biridir. Kırsal alanlarda, büyük atık su altyapısı olmayan yerlerde kullanılabilmektedir.

Cape Town Üniversitesi Prosesi, biyolojik fosfor giderimi için etkili ve enerji verimliliği bir yöntemdir. Anaerobik, anoksik ve aerobik koşulları entegre ederek fosfor giderimini optimize etmektedir. Operasyonel basitlik ve çevresel faydaları nedeniyle çeşitli uygulama alanlarında tercih edilmektedir.

2.5.1.13 Biyolojik fosfor giderimi için uzatılmış anaerobik çamur temas süresi

Biyolojik fosfor giderimi için uzatılmış anaerobik çamur temas süresi, fosforun biyolojik olarak giderilmesi için kullanılan bir yöntemdir. Bu süreçte, anaerobik koşullarda, özellikle uzun bir süre boyunca, çamur ile atık su arasındaki temas süresi artırılmaktadır. Fosforun mikroorganizmalar tarafından çamur içinde depolanması sağlanmaktadır. Atık su, çamur ile atık su arasındaki temas süresi artırılarak fosfor depolayan mikroorganizmaların faaliyeti teşvik edilmektedir. Uzatılmış anaerobik süreç boyunca, fosfor depolayan mikroorganizmalar, hücre içinde polifosfat formunda fosfor biriktirmektedirler. Anaerobik reaktörden gelen çamur, çökeltme tankına aktarılmaktadır. Bu kısımda, fosfor depolayan mikroorganizmalar ve diğer çözünmüş partiküller çökmektedir. Oluşan çamur işlenerek geri devir veya bertaraf için hazırlanmaktadır. Uzatılmış anaerobik çamur temas süresi, etkili bir şekilde biyolojik fosfor giderimini sağlamaktadır. Anaerobik koşullar altında gerçekleştiği için enerji tüketimi düşüktür. Göreceli olarak basit işletme ve bakım gerektirmektedir. Uzatılmış

anaerobik reaktörlerin kurulumu ve işletilmesi maliyetlidir. Belirli atık su koşullarına ve tesis gereksinimlerine uygun olmayabilmektedir.

2.6 Atık Su Arıtma Tesislerinde Donanım ve Proses Modifikasyonları

Atık su arıtma tesislerinde donanım ve proses modifikasyonları, tesislerin performansını artırmak, enerji ve işletme maliyetlerini azaltmak veya atık su kalitesini iyileştirmek amacıyla yapılan değişikliklerdir. Bu modifikasyonlar, genellikle mevcut tesislerin ihtiyaçlarına veya çevresel düzenlemelere uyum sağlamak için gerçekleştirilmektedir. Yaygın olarak yapılan bazı donanım ve proses modifikasyonları:

- Geleneksel çamur işleme teknolojilerinin yerine MBR'lerin entegrasyonu, daha yüksek arıtma verimliliği sağlaması ve daha az yer kaplaması
- AOP'ler, zorlu organik kirleticileri ve mikro kirleticileri gidermek için kullanılması.
- Güneş enerjisi, rüzgar enerjisi veya biyogaz gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve tesislerin enerji maliyetlerinin azaltılması
- Biyogazın üretilmesi ve enerji geri kazanımı için IGK (Isı ve Gücün Kombinasyonu) sistemleri veya ısı geri kazanım sistemleri kullanılabilmesi
- Dört aşamalı Bardenpho veya anaerobik/anoksik/oksik (A^2O) gibi gelişmiş proseslerin uygulanması
- Denitrifikasyon filtreleri veya çamur içindeki azot depolama kapasitesini artırmak için çeşitli proseslerin entegrasyonu
- Gelişmiş çamur ayırma ekipmanlarının kullanılarak, daha iyi çamur kalitesi ve daha düşük çamur üretiminin sağlanması
- Termal kurutma, kompostlama veya çamurun gazlaştırılması gibi daha etkili çamur bertarafı yöntemlerinin kullanılması
- Sensörlerin ve otomasyonun kullanılması, tesislerin daha iyi izlenmesi, işletilmesi ve bakımının sağlanması
- Uzaktan izleme sistemlerinin kullanılması, tesislerin uzaktan yönetimi ve operasyonlarını kolaylaştırılması
- UV dezenfeksiyonu veya ozonasyon gibi gelişmiş dezenfeksiyon teknolojilerinin kullanılması

- İlaçlama, filtreleme veya kimyasal işlemler gibi ileri su arıtma proseslerinin uygulanmasıdır.

Bu modifikasyonlar, atık su arıtma tesislerinin performansını artırarak, çevresel etkilerini azaltarak ve operasyonel maliyetleri düşürerek atık su arıtma sektöründe önemli rol oynamaktadır. Tesis yöneticileri ve mühendisler, tesislerin ihtiyaçlarına en uygun modifikasyonları belirlemek için sürekli olarak yeni teknolojileri ve yenilikleri takip etmelidir.

2.7 Atık Su Arıtma Tesislerinin Enerji Verimliliği

Atık su arıtma tesislerinin enerji verimliliği, atık su arıtma süreçlerinde enerji kullanımını optimize etmek ve enerji tüketimini minimize etmek için yapılan çeşitli uygulamaları içermektedir. Enerji verimliliği önlemleri, tesislerin işletme maliyetlerini azaltırken çevresel sürdürülebilirliği artırmaktadır. Atık su arıtma tesislerinde enerji verimliliğini artırmak için alınabilecek bazı önlemler:

- Sensörler ve otomasyon teknolojisi kullanılarak proseslerin gerçek zamanlı olarak izlenmesi ve kontrol edilmesi, enerji tüketiminin optimize edilmesi
- Pompa ve havalandırma sistemlerinde VFD'lerin kullanılması, enerji tüketiminin düşürülmesi ve işletme maliyetlerinin azaltılması
- Havalandırma debilerinin ve oksijen seviyelerinin gerçek zamanlı olarak izlenmesi ve ayarlanması, enerji tasarrufunun sağlanması
- Daha verimli fosfor ve azot giderimi sağlayan ileri proseslerin kullanılması, enerji tüketiminin optimize edilmesi
- Biyolojik çamurun fermentasyonu ile biyogaz üretilmesi ve ardından elektrik ve ısı üretimi için kullanılması, enerji geri kazanımının sağlanması
- Atık su ve çamur içinde bulunan ısı enerjisinin geri kazanılması ve tesis içinde ısıtma veya sıcak su üretimi için kullanılması, enerji tüketimini azaltılması
- Yüksek verimlilikteki pompa ve blower'ların kullanılması, enerji tüketiminin düşürülmesi
- Tesislerde kullanılan aydınlatma sistemlerinin LED'ler ile değiştirilmesi, elektrik tüketimini azaltılması
- Düşük enerji tüketimine sahip yüksek verimli motorların kullanılması, enerji verimliliğinin artırılması

- Daha verimli çamur kurutma ve bertaraf yöntemlerinin kullanılması, enerji tasarrufunun sağlanması.
- Atık suyun arıtılmasından sonra yeniden kullanılması, su tüketiminin azaltılması ve enerji tasarrufunun sağlanması
- Tesis personelinin enerji verimliliği konusunda eğitilmesi ve bilinçlendirilmesi, enerji tasarrufunun sağlanması
- Enerji yönetimi programlarının uygulanması ve sürekli iyileştirme süreçlerinin izlenmesi, enerji verimliliğinin artırılmasıdır.

Enerji verimliliği önlemlerinin uygulanması, atık su arıtma tesislerinin operasyonel maliyetlerini azaltırken çevresel sürdürülebilirliğini artırmaktadır. Alınacak önlemler, tesislerin yerel düzenlemelere uyum sağlamasına ve sürdürülebilir bir atık su yönetimi sağlamasına yardımcı olmaktadır.

2.8 Biyolojik Nutrient Giderimi Açısından Tesislerinin Karşılaştırılması

Biyolojik nutrient giderimi açısından arıtma tesislerini karşılaştırmak için azot ve fosforun giderimi üzerine odaklanılmalıdır. Bu tür karşılaştırmalar, atık su arıtma tesislerinin performansını değerlendirmekte ve en etkili yöntemleri belirlemektedir. Biyolojik nutrient giderimi açısından farklı arıtma tesislerinin karşılaştırılması için dikkate alınabilecek bazı kriterler:

- Fosforun kimyasal olarak çöktürülmesi için alüminyum veya demir tuzlarının kullanıldığı geleneksel prosesler
- Anaerobik, anoksik ve aerobik koşullar altında fosforun mikroorganizmalar tarafından çamur içinde depolanması
- Amonyakın nitrate ve ardından azot gazına indirgenmesi
- Sadece nitrifikasyon adımının kullanıldığı prosesler
- Anoksik ve aerobik koşullar altında gerçekleşen ayrı nitrifikasyon adımlarının kullanıldığı prosesler
- Proseslerin enerji tüketimini minimize eden özellikleri
- Biyogaz üretimi, ısı geri kazanımı veya güneş enerjisi gibi yöntemlerle enerji geri kazanımının sağlanıp sağlanmadığı
- Prosesin çamur oluşumunu minimize eden özelliklerinin olup olmadığı

- Çamurun etkili bir şekilde bertaraf edilmesi için kullanılan yöntemler
- Tesisin kurulum maliyetinin ve ekipmanların maliyetinin dikkate alınması
- Enerji, kimyasallar ve işgücü maliyetlerinin yanı sıra atık bertarafı maliyetlerinin dikkate alınması
- Atık su arıtımından sonra elde edilen suyun kalitesinin belirlenmesi
- Tesisin yerel düzenlemelere ve deşarj standartlarına uygunluğu

Karşılaştırma yapılırken her bir tesisin yerel koşulları, atık su karakteristikleri ve işletme gereksinimleri dikkate alınmalıdır. Bu faktörler, hangi atık su arıtma prosesinin en uygun olduğunu belirlemede önemli rol oynamaktadır.



3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 Çalışmanın Hedefi ve Sınırları

Çalışmaya konu olan 42 Evler AAT, KAÇ tipi olarak tasarlanmıştır ve 2020 yılında Modifiye Ludzack-Ettinger tipi ileri biyolojik atık su arıtma tesisine revize edilmiştir. Yasal deşarj limitlerinin değiştirilmesi, zaman içerisinde gelen atık su karakterizasyonunun daha kuvvetli tipe dönüşmesi ve tesiste kirletici giderim verimliliğinin ve enerji verimliliğinin arttırılmak istenmesi sebebiyle bu revizyon gerçekleştirilmiştir. 42 Evler AAT, 27.06.2009 tarihli Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği'ne göre “Hassas Alıcı Ortam” olarak belirlenen Marmara Denizi'ne deşarj yapmaktadır. Alıcı ortamda müsilaj, otrifikasyon vb. sorunlar oluşmaması amacıyla 42 Evler AAT'ye gelen atık sulardan nütrient giderimi daha da önem kazanmıştır. Arıtma tesisi KAÇ tipinde işletilirken yetersiz olan azot ve fosfor giderim verimleri yapılan revizyon sayesinde %80'in üzerine çıkarılmış ve tesisin enerji tüketimi %32 oranında azaltılmıştır.

3.2 42 Evler Atık Su Arıtma Tesis

Kocaeli Büyükşehir Belediyesi İSU Genel Müdürlüğü bünyesinde işletilmekte olan 16 adet atık su arıtma tesisinden biri olan 42 Evler Atık Su Arıtma Tesis (AAT), İzmit Çevre Entegre Projesi (İÇEP) dahilinde inşaa edilen 3 adet tesisten biridir. Tesis tek aşamalı olarak tasarlanmıştır. Tesisin inşaatına 29.01.1993 tarihinde başlanmış olup 24.11.1996 tarihi itibarıyla tesise atık su alınmaya başlanmıştır.

42 Evler AAT, evsel ve endüstriyel atık suların arıtıldığı bir tesis olduğu için 31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) Tablo 19 (Karışık endüstriyel atık suların alıcı ortama deşarj standartları) deşarj limit değerlerini sağlamakla yükümlüdür. Alıcı ortam deşarjında uyulması gereken değerler Çizelge 3.1'de verilmiştir [12].

Çizelge 3.1. Alıcı ortam deşarjında uyulması gereken değerler.

Parametre	Birim	Kompozit Numune 2 saatlik
KOİ	mg L ⁻¹	250
AKM	mg L ⁻¹	200
Yağ ve gres	mg L ⁻¹	20
TP	mg L ⁻¹	2
Toplam krom	mg L ⁻¹	2
Krom (Cr ⁺⁶)	mg L ⁻¹	0,5
Kurşun (Pb)	mg L ⁻¹	2
Toplam Siyanür (CN ⁻)	mg L ⁻¹	1
Kadmiyum (Cd)	mg L ⁻¹	0.1
Demir (Fe)	mg L ⁻¹	10
Florür (F ⁻)	mg L ⁻¹	15
Bakır (Cu)	mg L ⁻¹	3
Çinko (Zn)	mg L ⁻¹	5
Civa (Hg)	mg L ⁻¹	0.05
Sülfat (SO ₄)	mg L ⁻¹	1500
Toplam Kjeldahl-Azotu (TKN)	mg L ⁻¹	20
Balık Biyodeneyi (ZSF)	-	10
pH	-	6-9
Renk	Pt-Co	280

3.2.1 Atık su karakterizasyonu

42 Evler AAT, İzmit'in doğu kesimindeki irili ufaklı 20 fabrikanın endüstriyel nitelikte atık suyu ile 42 Evler Sanayi Mahallesi, Yahya Kaptan Mahallesi, Uzuntarla, Yuvam Akarca konutlarından gelen evsel nitelikte atık sularını arıtmak üzere kurulmuştur. Yahya Kaptan Mahallesi, Uzuntarla, Yuvam Akarca konutlarından gelen evsel nitelikte atık sular 2003 yılında devreye alınan Kullar AAT'ye bağlanmıştır. Günümüz itibariyle 42 Evler AAT'de irili ufaklı 47 işletmenin endüstriyel nitelikte atık suyu, Sanayi Mahallesi, Outlet Center ve 41 Burda gibi alışveriş merkezlerinden gelen evsel nitelikte atık sular arıtılmaktadır.

Tesis, biyolojik arıtma tesisidir ve Klasik Aktif Çamur Sistemi (KAÇ) ile çalışmaktadır. Atık sular tesise çapları 600 ile 1.400 mm arasında değişen yaklaşık 18 km uzunluğunda kolektör sistemi ile taşınmaktadır. Tesis tasarım debileri Çizelge 3.2'de, kirlilik yük değerleri ise Çizelge 3.3'de verilmiştir [47].

Çizelge 3.2. 42 Evler AAT tasarım debileri.

Debi	Birim	Değer
Minimum Debi ($Q_{\min}$)	$m^3 \text{ saat}^{-1}$	570
Ortalama Debi (Q_{ort})	$m^3 \text{ saat}^{-1}$	1.460
Maksimum Debi ($Q_{\max}$)	$m^3 \text{ saat}^{-1}$	1.750
Proje Debisi (Q_{pro})	$m^3 \text{ saat}^{-1}$	1.500
Ortalama Atık su Debisi	$m^3 \text{ gün}^{-1}$	35.000
Endüstriyel Atık su Debisi	$m^3 \text{ gün}^{-1}$	19.500
Evsel Atık su Debisi	$m^3 \text{ gün}^{-1}$	8.500
Sızma Debisi	$m^3 \text{ gün}^{-1}$	7.000

Çizelge 3.3. 42 Evler AAT tasarım kirlilik yükü değerleri.

Parametre	Birim	Değer
BOI_5 (250 $mg \text{ L}^{-1}$)	$kg \text{ gün}^{-1}$	8.750
AKM (350 $mg \text{ L}^{-1}$)	$kg \text{ gün}^{-1}$	12.250
KOI (800 $mg \text{ L}^{-1}$)	$kg \text{ gün}^{-1}$	28.000

42 Evler AAT evsel ve endüstriyel atık suların arıtıldığı bir tesistir. Endüstriyel debi miktarı, İSU Genel Müdürlüğünden Deşarj Kalite Kontrol Ruhsatı alan firmaların beyan ettiği debilerin toplamından hesaplanmıştır. Tesise bağlı olan endüstrilerin sektörü ve debileri Çizelge 3.4’te verilmiştir.

Çizelge 3.4. 42 Evler AAT'ye bağlı olan endüstriler ve debileri.

Endüstriler	Tablo (SKKY)	Q (m³/gün)
Maya endüstrisi	5.2. Maya üretimi	4.200
Metal endüstrisi	15.2. Genelde Metal Hazırlama ve İşleme	1.303
Elektirik, gaz endüstrisi	9.6.-20.7. Soğutma suyu, su yumuşatma, demineralizasyon	689
Lastik endüstrisi	14.11. Kauçuk üretimi ve benzerleri	972
Otomotiv endüstri	18.2. Otomobil, kamyon, traktör, minibüs, v.b. taşıt aracı üretimi	500
Düzenli depolama	19. Karışık endüstri	250
Petroyağ endüstrisi	20.3. Benzin istasyonları, yer ve taşıt yıkama suları	30
Araç tekstili endüstri	10.1-10.7. Tekstil sanayi,	364
Mezbaha	5.6-5.8. Mezbahalar ve entegre et tesisleri	45
Karışık endüstriler	19. Karışık endüstri	465
Süt endüstrisi	5.3. Süt ve süt ürünleri	15
Antibiyotik endüstri	14.6. Antibiyotik hammadde üretimi	15
Kağıt endüstri	13.10. Selüloz, kağıt, karton ve benzeri sanayi	153
Ağaç, mobilya end.	16. Ağaç mamülleri ve mobilya sanayi	347
TOPLAM		9.348

Endüstriyel atık su kategorisinde en fazla debi maya endüstrisinden gelmekte ve endüstriyel atık su debisinin %45'ini oluşturmaktadır. Tesis atık suyu maya endüstrisinin koku ve rengini yani kahverengi özelliği göstermektedir. Maya endüstrisi şeker endüstrisi ürünü olan melası kullanmakta bu da yüksek organik madde ve siyaha yakın kahverengi atık su özeliği göstermektedir. Proses çıkışında kahverengi renk ise melonoidin pigmentinden kaynaklanmaktadır [48].

Kanalizasyon şebekesine bağlı olan endüstriler Kocaeli Büyükşehir Belediyesi İSU Genel Müdürlüğü Atık Suların Kanalizasyona Deşarj Yönetmeliği'nde (AKDY) belirtilen şartları sağlamakla yükümlüdürler. Atık sularının özellikleri nedeniyle kanalizasyon sistemine doğrudan deşarjı uygun görülmeyen endüstriyel atık su oluşturan kuruluşlar gerekli ön arıtma düzenini kurmak zorundadırlar. Kanalizasyon şebekesine deşarj edilecek atık sularda sağlanması gereken sınır değerler Çizelge 3.5'te verilmiştir [49].

Çizelge 3.5. Atık su deşarjlarında uyulması gereken sınır değerler.

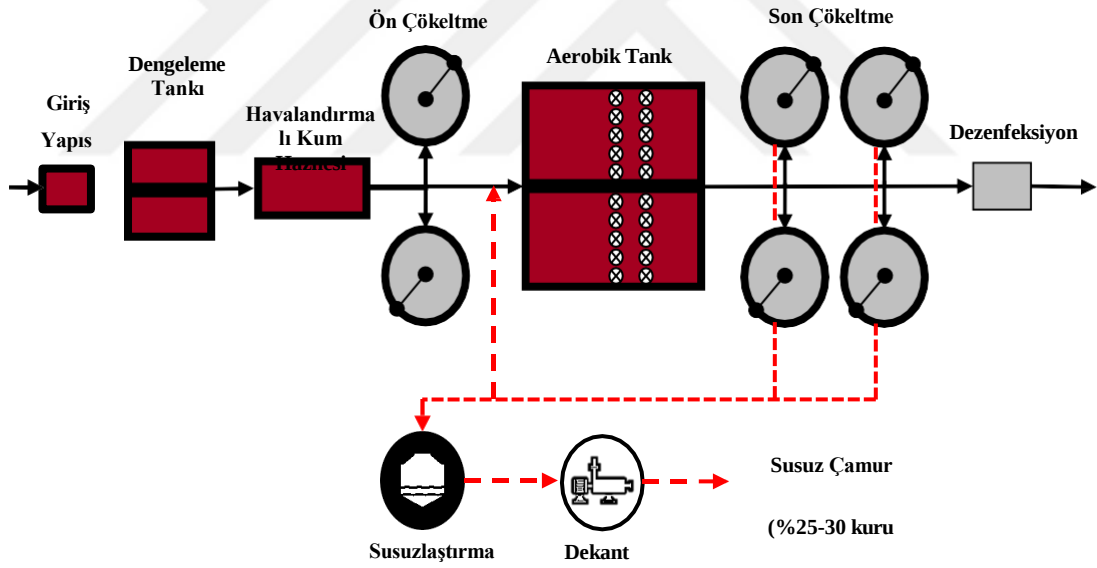
Parametre	Kompozit Numune (2 Saat)
KOİ (mg L ⁻¹)	800
AKM (mg L ⁻¹)	350
TA (mg L ⁻¹)	100
TF (mg L ⁻¹)	10
Yağ ve gres (mg L ⁻¹)	50
Anyonik Yüzey Aktif Maddeler (mg L ⁻¹)	10
Arsenik (As) (mg L ⁻¹)	3
Antimon (Sb) (mg L ⁻¹)	3
Kalay (Sn) (mg L ⁻¹)	5
Demir (Fe) (mg L ⁻¹)	5
Bor (B) (mg L ⁻¹)	3
Kadmiyum (Cd) (mg L ⁻¹)	2
Toplam Krom (Cr) (mg L ⁻¹)	5
Bakır (Cu) (mg L ⁻¹)	2
Kurşun (Pb) (mg L ⁻¹)	3
Nikel (Ni) (mg L ⁻¹)	5
Çinko (Zn) (mg L ⁻¹)	5
Civa (Hg) (mg L ⁻¹)	0.2
Gümüş (Ag) (mg L ⁻¹)	5
Toplam Siyanür (CN) (mg L ⁻¹)	10
Fenol (mg L ⁻¹)	20
Toplam Sülfür (mg L ⁻¹)	2
Serbest Klor (mg L ⁻¹)	5
Sülfat (SO ₄) (mg L ⁻¹)	1700
Sıcaklık (0 °C)	40
pH	6-10
Renk (RES)	436 nm : 20 525 nm: 17 620 nm: 11
Alüminyum (Al) (mg L ⁻¹)	3

3.2.2 Akış şeması ve prosesler

42 Evler AAT'ye ait genel görünüm Şekil 3.1'de ve akım şeması Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.1. 42 Evler AAT genel görünümü.



Şekil 3.2. 42 Evler AAT proses akım şeması.

Klasik aktif çamur sistemi havalandırma havuzu, çöktürme havuzu ve geri devir sisteminin mevcut olduğu bir prosestir. 42 Evler AAT temel olarak havalandırma havuzları ve çöktürme havuzları olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Havalandırma havuzlarında proses için gereken oksijen yüzeysel havalandırıcılar (aeratörler) vasıtasıyla verilmektedir. Çöktürme havuzunda, biyolojik floklarla su

birbirinden ayrılmaktadır. Çamurun bir kısmı havalandırma havuzlarına geri dönerken, fazla çamur ise yoğunlaştırıcı havuzuna pompalanmaktadır.

Kolektör hattıyla tesise gelen atık su sırasıyla; ızgara, giriş pompa istasyonu, havalandırılmalı kum ve yağ tutucu, dengeleme tankı, ön çöktürme tankı, havalandırma tankı, son çöktürme tankı, klor temas tankı, çamur yoğunlaştırıcı, çamur susuzlaştırma (dekantör) ünitelerinden geçmektedir.

3.2.2.1 Otomatik temizlemeli ince ızgara ve ızgara presi

Atık sular tesise çapları 600 ile 1400 mm arasında değişen yaklaşık 18 km uzunluğunda kolektör sistemi ile taşınmaktadır. Giriş pompaları ile tesisin diğer ünitelerinin hasar görmemesi ve tıkanma problemlerinden korunması amacıyla tesise iletilen atık su otomatik temizlemeli ince ızgaralardan geçirilmektedir. İnce ızgaralar zaman ve seviye ayarlı olarak çalışmaktadırlar. Izzarada tutulan katı atıklar, otomatik temizlemeli ızgara ile beraber çalışan ızgara presinden geçirilmektedir. Izzgara presindeki toplama hunisine alınan atıklar vida konveyör ile sıkıştırılarak susuzlaştırılmaktadırlar. İşlem sonunda oluşan atık sular ızgara kanalına gönderilmekte ve susuzlaştırılan atıklar konteynıra alınarak sistemden uzaklaştırılmaktadır. İnce ızgaranın tasarım parametreleri Çizelge 3.6’de verilmiştir [20].

Çizelge 3.6. İnce ızgara özellikleri.

Ünite	Özellik
Izzgara sayısı	2 adet
Izzgara çubuk aralığı	10 mm
Izzgara kapasitesi (her biri)	1.500 m ³ saat ⁻¹
Izzgara kanalındaki hız	1 m sn ⁻¹

3.2.2.2 Elle temizlemeli kaba ızgara

İnce ızgaralarda arıza olduğu durumlarda devreye alınan kaba ızgara el ile temizlenmektedir. Kaba ızgaranın tasarım parametreleri Çizelge 3.7’de verilmiştir [20].

Çizelge 3.7. Kaba ızgara özellikleri.

Ünite	Özellik
Izgara sayısı	1 adet
Izgara çubuk aralığı	40 mm
Izgara kapasitesi	3.500 m ³ saat ⁻¹

3.2.2.3 Giriş pompa istasyonu

Atık su ızgaralardan sonra giriş pompa istasyonuna gönderilmekte ve su seviye kontrollü olarak dalgıç pompayla tesisin birinci arıtma kademesine iletilmektedir. Giriş pompa istasyonu özellikleri Çizelge 3.8’de verilmiştir [20].

Çizelge 3.8. Giriş pompa istasyonu özellikleri.

Ünite	Özellik
Dalgıç pompa kapasitesi (2 adet)	500 m ³ saat ⁻¹
Dalgıç pompa kapasitesi (2 adet)	1.000 m ³ saat ⁻¹

3.2.2.4 Havalandırmalı kum tutucu ve yağ tutucu

Birinci arıtma kademesinde atık su ilk olarak kumun çöktürüldüğü havalandırıcılı kum ve yağ tutucuya gelmektedir. Proses ünitelerinde istenmeyen kum birikmelerini ve ekipmanların normalin üzerinde aşınmalarını önlemek için atık suyun içindeki kum ve benzeri maddeler uzaklaştırılmaktadır. Yağ ise uçucu organiklerin ve kötü kokulu çamurların yol açtığı estetik problemlerden dolayı uzaklaştırılmaktadır.

Blowerlarla sisteme hava verilmekte ve askıdaki katı maddelerin çökmesi engellenerek, ağır olan kum, çakıl vb. maddeler çöktürülmektedir. Sistemden çekilen kum, kum toplama haznesinde suyu alındıktan sonra düzenli deponi alanına gönderilmektedir. Kum tutucunun hemen yanında yağ tutucu sistemi bulunmaktadır. Yağ tutucu haznesinde toplanan atıklar ise vidanjörle çekilerek düzenli deponi alanına gönderilmektedir. Havalandırmalı kum ve yağ tutucunun tasarım parametreleri Çizelge 3.9’da verilmiştir [20].

Çizelge 3.9. Havalandırılmalı kum tutucu ve yağ tutucu özellikleri.

Ünite	Özellik
Havuz sayısı	2 adet
Bekletme süresi	384 sn
Kum giderim verimi	% 88
Toplam hacim	160 m ³
Yüzey yüklemesi	18,8 m ³ m ⁻² saat ⁻¹
Uzunluk	20 m
Su derinliği	2,65 m
Blower hava debisi (2 adet)	90 m ³ saat ⁻¹
Kum pompası kapasitesi (2 adet)	69 m ³ saat ⁻¹

3.2.2.5 Dengeleme havuzu

Kum tutucudan çıkan atık sular veya maksimum debi olan 1.750 m³ saat⁻¹'i aşan debi dengeleme tankına iletilmektedir. Dengeleme tankları atık suyun kirliliğini homojenize etmek, karıştırmak ve kokuşmayı engellemek için difüzörlerle havalandırılmaktadır. Burada amaç debi, ph ve organik maddenin salınımlarını minimize ederek toksik etkiyi gidermektir. Dengeleme havuzu tasarım parametreleri Çizelge 3.10'da verilmiştir [20].

Çizelge 3.10. Dengeleme havuzu özellikleri.

Ünite	Özellik
Havuz sayısı	2 adet
Toplam hacim	5.000 m ³
Su seviyesi	5 m
Bekletme zamanı	3,5 saat
	300 m ³ saat ⁻¹
Dengeleme pompaları kapasitesi	600 m ³ saat ⁻¹
	850 m ³ saat ⁻¹
Blower (2 adet)	1.300 m ³ saat ⁻¹

3.2.2.6 Ön çöktürme havuzu

Atık su, dengeleme tankından dalgıç pompalarla ön çöktürme tanklarına aktarılmaktadır. Ön çöktürme tanklarında atık su içindeki graviteyle çökebilan katıların sudan uzaklaştırılması sağlanmaktadır. Çöktürme tanklarında biyokimyasal oksijen ihtiyacının %25'i, askıda katı maddenin ise %50'si giderilmektedir. Bu

havuzlarda organik ve katı madde giderimi biyolojik arıtmadaki yükü azaltmaktadırlar. Ön çöktürme havuzu tasarım parametreleri Çizelge 3.11’de verilmiştir [20].

Çizelge 3.11. Ön çöktürme havuzu özellikleri.

Ünite	Özellik
Havuz sayısı	2 adet
Çap	20 m
Su derinliği	3 m
Bekletme süresi	1,3 saat
AKM giderim verimi	% 50
BOİ giderim verimi	% 25
Yüzey yüklemesi	2,4 m ³ m ² saat ⁻¹
Toplam hacim	1.880 m ³
Çamur hacmi	160 m ³ gün ⁻¹
Çamur pompası (2 adet)	25 m ³ saat ⁻¹

3.2.2.7 Havalandırma havuzu

Biyolojik arıtmanın temelini oluşturan ve en önemli mikroorganizmalar olan bakterilerin geliştiği ve çoğaldığı ünedir. Aktif çamur koloidal çözünmüş maddelerin mikroorganizmalar ile çökebilir biyolojik floklara dönüştürüldüğü procestir. Bu ünite, mikroorganizmaların organik maddeleri oksitlemesi sonucu organik maddenin bir kısmı biyokütle, bir kısmı da CO₂ ve H₂O’ya dönüştürülmektedir.

Mikroorganizmaların besinini atık su içindeki organik kirlilik oluşturmakta ve atık su içindeki çözünmüş oksijeni kullanarak organik maddeleri parçalamaktadırlar. Havuzlardaki oksijen ihtiyacı 4 adet aeratör tarafından sağlanmaktadır. Havalandırma havuzunda gereken arıtma veriminin sağlanması amacıyla havuz içerisinde faaliyet gösteren mikroorganizma sayısını (MLSS) sabit bir değerde tutmak gerekmektedir. Bu nedenle biyokütlenin bir kısmı çöktürme kademesinde fazla çamur olarak sistemden atılırken diğer kısmı havalandırma bölümüne geri devrettirilmektedir. Havalandırma havuzu tasarım parametreleri Çizelge 3.12’de verilmiştir [20].

Çizelge 3.12. Havalandırma havuzu özellikleri.

Ünite	Özellik
Havuz sayısı	2 adet
Havalandırma toplam hacmi	10.400 m ³
Derinlik	3,22 m
Bekletme süresi	6,9 saat
Çamur yaşı	8 gün
F/M	0,17 kg BOI ₅ kg ⁻¹ MLVSS*gün
Yüzey Aeratör adedi	4
Yüzey aeratör tipi	Gyrox 360 S-29
Her bir aeratör oksijen kapasitesi	212,5 kg O ₂ saat ⁻¹

3.2.2.8 Son çöktürme havuzu

Biyolojik arıtmadan gelen arıtılmış suyun içindeki bakterilerin arıtılmış sudan ayrılması için son çöktürme havuzları kullanılmaktadır. Bu sistemde merkezden (deflektörden) beslenen çamur yerçekimi yardımıyla havuz tabanına çökelmekte ve burada biriken çamur dip sıyrıcısının her bir dönüşünde havuzun merkezine doğru yönlendirilmektedir. Çöktürme havuzlarında, yoğun katı madde içeriğindeki çamur dibe çökelirken arıtılmış atık su savaklanmaktadır. Çöktürme havuzlarının tabanından toplanan çamurun bir kısmı geri devir pompalarıyla havalandırma havuzuna geri döndürülürken bir kısmı da fazla çamur pompaları ile çamur yoğunlaştırma havuzuna aktarılmaktadır. Son çöktürme havuzu tasarım parametreleri Çizelge 3.13'te verilmiştir [20].

Çizelge 3.13. Son çöktürme havuzu özellikleri.

Ünite	Özellik
Havuz sayısı	4 adet
Çap	25 m
Bekletme süresi	4 saat
Her bir tank hacmi	1470 m ³
Su derinliği	3 m
Yüzey yükleme	0,76 m ³ m ⁻² saat ⁻¹
Geri devir çamuru pompa kapasitesi	750 m ³ saat ⁻¹ (2 adet) 500 m ³ saat ⁻¹ (1 adet)
Fazla çamur pompası kapasitesi	30 m ³ saat ⁻¹ (2 adet)

3.2.2.9 Klor temas havuzu

Son çöktürme havuzundan savaklanan arıtılmış atık su, klor temas tankına gönderilmekte ve buradan alıcı ortama deşarj edilmektedir. Klor temas havuzu tasarım parametreleri Çizelge 3.14’te verilmiştir [20].

Çizelge 3.14. Klor temas havuzu özellikleri.

Ünite	Özellik
Havuz sayısı	1 adet
Tank hacmi	880 m ³
Bekletme süresi	30 dk

3.2.2.10 Çamur yoğunlaştırma havuzu

Ön çöktürme ve son çöktürme havuzlarından alınan yaklaşık %1,5 kuru maddeli çamur, çöktürme havuzlarının mantığıyla çalışan yoğunlaştırma tankında yaklaşık 12-24 saat arasında bekletilmekte %3-5 kuru maddeye çıkarılmaktadır. Fazla çamurdan ayrılan su üstten savaklanarak tesisin giriş ünitesine gönderilmektedir. Çamur yoğunlaştırma havuzu tasarım parametreleri Çizelge 3.15’de verilmiştir [20].

Çizelge 3.15. Çamur yoğunlaştırma havuzu özellikleri.

Ünite	Özellik
Havuz sayısı	1 adet
Tank hacmi	616 m ³
Çap	14 m
Sağlanan katı madde konsantrasyonu	% 3-5
Bekletme zamanı	12-24 saat

3.2.2.11 Çamur susuzlaştırma ünitesi

Çamur susuzlaştırma işlemi ile nihai olarak uzaklaştırılacak çamurun hacminin azalması sağlanmaktadır. Çamur susuzlaştırma ekipmanı olarak dekantörler kullanılmaktadır. Dekantörler çamuru minimum %25 kuru maddeye çıkaracak özelliktedirler.

Çamur yoğunlaştırma havuzundaki çamur, homojenliği sağlayan bir parçalayıcıdan geçirilip çamur besleme pompaları ile dekantörlere iletilmektedir. Bir adet

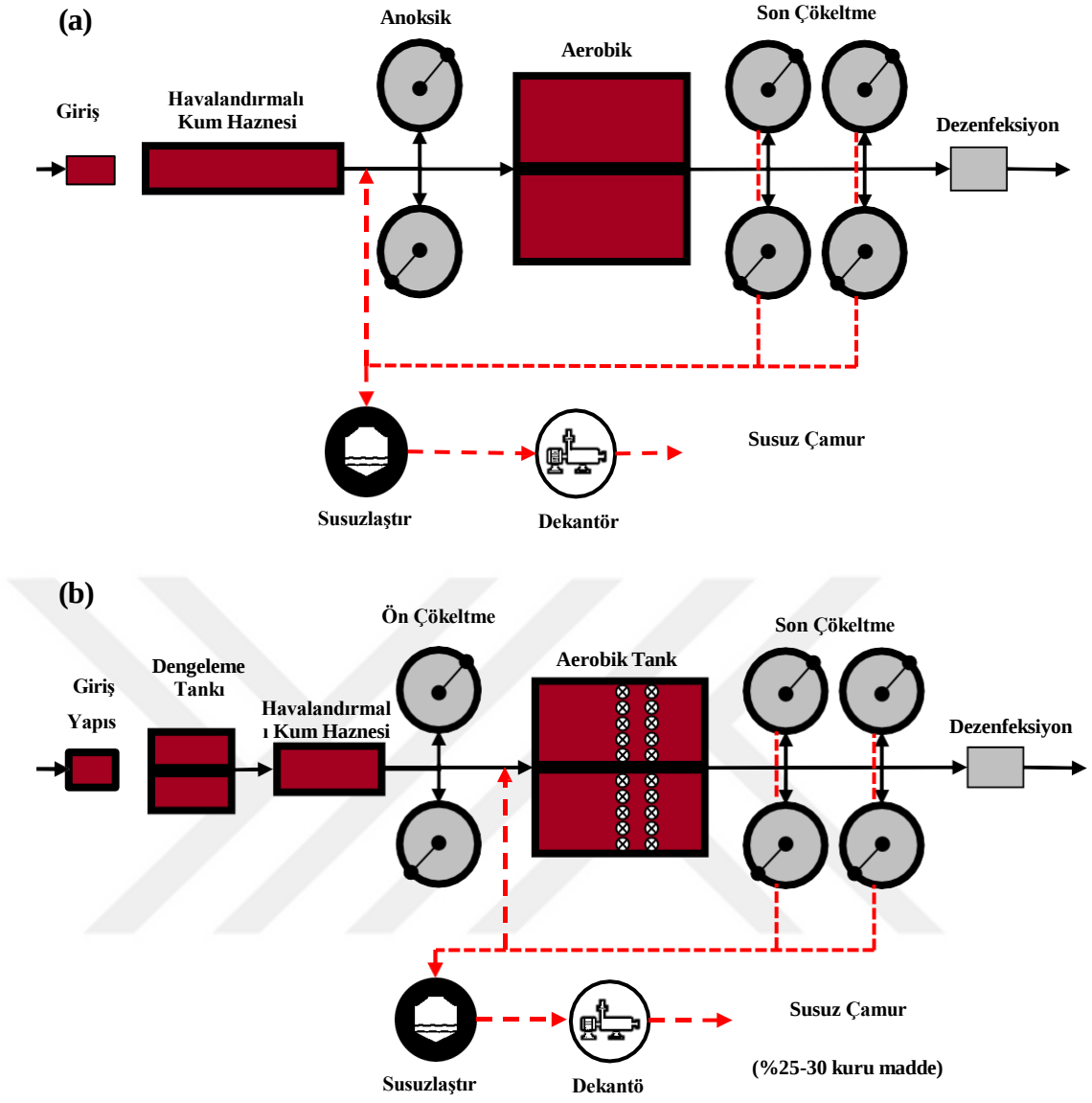
polielektrolit hazırlama ünitesinde hazırlanan su-polielektrolit karışımı, çamurun yumaklaşmasını sağlamak üzere dekantörlere verilmektedir. Susuzlaştırılan çamur, dekantörlerin altında bulunan burgu konveyör vasıtasıyla bina dışında bulunan kamyonlara yüklenerek bertarafa gönderilmekte, dekantörlerden çıkan süzüntü suyu ise tesisin giriş ünitesine iletilmektedir. Çamur susuzlaştırma ünitesinin özellikleri Çizelge 3.16’da verilmiştir [20].

Çizelge 3.16. Çamur susuzlaştırma ünitesi özellikleri.

Ünite	Özellik
Dekantör sayısı	2 adet
Dekantör kapasitesi	25 m ³ saat ⁻¹
Dekantör katı madde çıkışı	%20-25
Çamur pompası kapasitesi	35 m ³ saat ⁻¹ (2 adet)
Polielektrolit pompası kapasitesi	2 m ³ saat ⁻¹ (2 adet)

3.2.3 42 Evler Atık Su Arıtma Tesisi’nin revizyonu

42 Evler Atık su Arıtma Tesisi, Türkiye’nin İzmit ilinin doğu kesiminde yer almakta olup, yaklaşık 47 fabrikanın endüstriyel atık sularını ve Sanayi Mahallesi’nden gelen evsel atık suları arıtmak üzere kurulmuş bir biyolojik arıtma tesisidir ve konvansiyonel aktif çamur sistemi ile çalışmaktadır. Tesis 24.11.1996 tarihinde işletmeye alınmıştır. Daha etkili bir azot ve fosfor giderimi elde etmek için Kasım 2020’den Haziran 2021’e kadar akış şemasını değiştirmek, bazı üniteleri yeniden tasarlamak ve diğer üniteleri rehabilite etmek için bazı kritik değişiklikler ve bakım çalışmaları yapılmıştır. Akış şemasında yapılan revizyonlar aşağıda gösterilmiştir Şekil 3.3 ve geleneksel aktif çamur sisteminin Modifiye Ludzack-Ettinger (anoksik-aerobik) sistemine dönüştürüldüğü görülmektedir.



Şekil 3.3. 42 Evler AAT akış şemasında yapılan değişiklikler: (a) geleneksel aktif çamur ve (b) Modifiye Ludzack-Ettinger (anoksik-aerobik).

42 Evler AAT'nin geleneksel aktif çamur akış şemasından ileri biyolojik atık su arıtma tesisine dönüştürülmesi için yapılan başlıca değişiklikler aşağıda listelenmiştir:

- Giriş suyu alma yapısı revize edilmiş ve sepet ızgaraların verimliliği artırılmıştır. Terfi pompalarının kaideleri orijinaleri ile değiştirilerek daha verimli çalışmaları sağlanmış ve bakım sırasında oluşan sorunların önüne geçilmiştir. AAT giriş yapısındaki kaba ve ince ızgaralar, yağışsız havalarda normal işletme koşullarında günde bir kez temizlenirken, yağışlı havalarda bu işlem 5-6 kez yapılabilmektedir.

- Kum aşındırıcı özelliğe sahip olduğundan AAT'deki pompa ve diğer mekanik ekipmanlara zarar vermemesi ve biyolojik arıtmanın verimli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için AAT giriş yapısında atık sudan ayrıştırılması gerekmektedir. Tesiste ekonomik ömrünü tamamlamış olan kum tutucu hurdaya ayrılarak yerine yenisi imal edilmiş, kum tutucu köprülerin bakımı yapılmış, otomasyon sistemleri revize edilmiş ve kum tutucu pompalar yenilenmiştir.
- Havalandırma tankından önce yer alan birincil çökeltideki kokuyu önlemek ve sadece karbon giderimi yapılan proseste azot ve fosfor giderim verimini artırmak için birincil çökeltiye dönüş hattı uzatılmış; dönüş pompaları revize edilmiş ve birincil çökeltide çamur çökmesini önlemek için karıştırıcı yerleştirilerek anoksik arıtma hacmi artırılmıştır.
- Arıtılmış çamurun yoğunlaştırılmasında katyonik polimer (%0,1) kullanılmaktadır. Mevcut proseste alıkonma süreleri nedeniyle fosfor gideriminin yapılamadığı giriş fosfor yüklerinin pik yaptığı durumlarda havalandırma tanklarının çıkışlarına FeCl_3 dozajı (1000 kg ay^{-1}) da yapılarak kimyasal çöktürme sağlanmaktadır.
- Yüzey havalandırıcıların aerosol etkisinin sağlık riski oluşturduğu göz önünde bulundurularak Covid-19 önlemleri kapsamında blower ve difüzörlerden yararlanılarak havalandırma yöntemi benimsenmiştir. Aerobik tanklarda kullanılan yüzey havalandırıcıların yerini manyetik yataklı turbo blowerlar almıştır. Blower sistemlerinde frekans konvertörü bulunmakta, bu sayede çok fazla start-stop yapmadan havayı optimum seviyede tutabilmektedir. Ayrıca blower tank içerisindeki suyun sirkülasyonunu arttırdığı için havanın sistem içerisinde daha homojen dağılmasını ve sistemin daha verimli çalışmasını sağlar. Aeratör sistemi ise sirkülasyondan ziyade suyun oksijen seviyesini arttırmak için kullanılan ve daha fazla enerji tüketimine sebep olan bir havalandırıcıdır. Eski bir mekanik tasarıma sahip olduğu için start-stop olarak çalışmaktadır. Ayrıca bu eski sistemler havayı tanklara homojen olarak dağıtmakta yetersiz kalmaktadır.

- Dip sıyrıcıların çürüyen kısımları değiştirilerek son çökeltme tankları revize edildi. Ekonomik ömrünü tamamlayan çamur susuzlaştırma ünitesindeki dekantör, poli pompa ve çamur pompası ekipmanları yenilendi.
- Yılda bir kez anoksik, aerobik ve sedimentasyon tankları boşaltılarak mikser ve difüzör kontrolleri, bakım onarımları ve temizlikleri yapılmaktadır. Ayrıca ayda bir kez mikserler yukarı çekilerek üzerlerindeki saçaklar temizlenir.
- Revizyon öncesinde Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Tablo 19; Karışık Endüstriyel Atık suların Alıcı Ortama Deşarj Standardına tabi Çevre İzin Belgesine sahip olan 42 Evler AAT, revizyon ile birlikte Türkiye Kentsel Atık su Arıtımı Yönetmeliği Tablo 1 ve Tablo 2'ye tabi ileri biyolojik arıtma tesisi statüsüne geçmiştir [39, 40].

3.2.4 Enerji tüketimi ve yönetimi

Enerji tüketimi ve yönetimi, atık su arıtma tesislerinin sürdürülebilirliği ve maliyet etkinliği açısından büyük öneme sahiptir. Tesislerde düzenli olarak enerji tüketimi analiz edilmelidir. Enerji tüketen işlemlerin belirlenmesi enerji verimliliği iyileştirmeleri için potansiyel alanları belirlemekte önemlidir. Enerjiyi daha verimli kullanan pompa, blower, motor ve diğer ekipmanların tercih edilmesi enerji tüketimini azaltmada etkin bir politikadır. Pompa ve blower gibi ekipmanlarda sensörlerin kullanılması enerji tüketimini optimize ederek azaltmaktadır. Atık su ve çamur içinde bulunan ısı enerjisinin geri kazanılması ve tesis içinde ısıtma veya sıcak su üretimi için kullanılması, enerji tasarrufu sağlamanın bir başka yoludur. Biyolojik çamurun fermentasyonu ile biyogaz üretilmesi ve ardından elektrik ve ısı üretimi için kullanılması, enerji geri kazanımını sağlamaktadır. Güneş panellerinin kurulması ve güneş enerjisinin elektrik üretimi için kullanılması, tesislerin enerji maliyetlerini azaltmayı sağlamaktadır. Prosese entegre edilmiş sensörler ve akıllı kontrol sistemleri, enerji kullanımını optimize etmekte ve işletme maliyetlerini düşürmektedir. Uzaktan izleme sistemleri, tesislerin uzaktan yönetimini ve operasyonlarını kolaylaştırmaktadır. Tesis personelinin enerji tasarrufu ve verimliliği konusunda eğitilmesi ve bilinçlendirilmesi, enerji tüketiminin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Enerji yönetimi programlarının uygulanması ve sürekli iyileştirme süreçlerinin izlenmesi, enerji verimliliğini artırmaktadır. Havalandırma sistemlerinin optimize

edilmesi, proseslerin verimliliğini artırmakta ve enerji tüketimini azaltmaktadır. Atık suyun sıcaklığının izlenilmesi ve kontrol edilmesi, enerji tüketimini azaltmaktadır. Tesislerdeki enerji tüketiminin düzenli olarak izlenmesi ve raporlanması, enerji verimliliği iyileştirmelerinin etkin bir şekilde gerçekleştirilmesine yardımcı olmaktadır. Enerji verimliliği iyileştirme etkinliklerinin düzenli olarak gerçekleştirilmesi ve değerlendirilmesi, sürekli iyileştirmeyi teşvik edecektir.

Enerji tüketimi ve yönetimi, atık su arıtma tesislerinin sürdürülebilirliği ve işletme maliyetlerini optimize etmek için kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, tesis yöneticileri ve mühendisler, enerji verimliliği önlemlerini sürekli olarak değerlendirmeli ve uygulamalıdır.

3.3 Analiz Metotları

Çalışma kapsamında kullanılan veriler, 42 Evler Atık su Arıtma Tesisi giriş ve çıkış sularından Ocak 2017-Eylül 2022 tarihleri arasında alınan 118 (59x2) numuneden elde edilmiştir. 42 Evler AAT, "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Tablo 19; Karışık Endüstriyel Atık suların Alıcı Ortama Deşarj Standardı "na göre deşarj yaptığı için pH, BOİ₅, KOİ, TA, TF ve AKM parametreleri takip edilmiştir [19]. Bu parametrelere ek olarak, Eylül 2021'den sonra, arıtma tesisi ileri biyolojik atık su arıtma tesisine revize edildikten sonra nütrient giderim mekanizmasını anlamak için NH₄ -N, NO₃ -N ve mikroorganizma türleri ışık mikroskobu ile analiz edilmiştir [40].

BOİ₅ analizi SM 5210 D'ye göre, KOİ analizi SM 5220 B'ye göre, TA analizi ASTM D5176'ya göre, TF analizi EN ISO 11885'e göre, AKM analizi SM 2540 D'ye göre, NH₄-N, analizi SM 4500'e göre ve NO₃-N analizi SM 4110'a göre yapılmıştır. Bu yöntemlerin her biri, analiz edilen numunedeki belirli bir maddenin veya özelliğin konsantrasyonunu veya varlığını ölçmek için belirli bir prosedürü veya protokolü tanımlamaktadır.

Mikroorganizma türlerinin tespiti Leica DMI 8 model inverted DIC Faz kontrast mikroskobu ile maksimum 200 nm boyutu görebilecek zoom oranları uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

3.4 İstatistiksel Analiz Yöntemleri

Atık su arıtma süreçlerinde istatistiksel analiz yöntemleri, çeşitli parametrelerin izlenmesi, değerlendirilmesi ve süreçlerin optimize edilmesi için önemli bir rol oynamaktadır. Atık su arıtma tesislerinde yaygın olarak kullanılan bazı istatistiksel analiz yöntemleri; veri izleme ve analizi, betimsel istatistik, işlem verisi istatistikleri, doğrusal olmayan modelleme, değişken seçimi ve azaltma, deney tasarımı ve analizi, güvenilirlik analizi, korelasyon analizi ve enerji yoğunluğu hesabıdır.

3.4.1 Korelasyon analizi

Korelasyon analizi, iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için kullanılan istatistiksel bir tekniktir. Bu teknik, değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü (pozitif, negatif veya yok) ve gücünü belirlemeye yardımcı olmaktadır. Atık su arıtma tesislerindeki çeşitli parametreler arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi için korelasyon analizi yapılabilmektedir. Örneğin, debi ile çıkış suyu KOİ değerleri arasındaki ilişki incelenebilmektedir. Arıtma tesislerinin verimliliğini değerlendirmek için de korelasyon analizi kullanılabilir. Örneğin, anaerobik çamurun içindeki mikroorganizma yoğunluğu ile biyogaz üretimi arasındaki ilişki incelenebilmektedir. Atık su arıtma süreçlerinin çevresel koşullarla ilişkisi de incelenebilmektedir. Örneğin, sıcaklık ve pH değerleri ile biyolojik arıtma verimliliği arasındaki ilişki incelenebilmektedir. Atık su arıtma tesislerindeki ekipmanların performansı ile çeşitli işletme parametreleri arasındaki ilişkileri incelemek için korelasyon analizi kullanılmaktadır.

Korelasyon analizi, atık su arıtma tesislerindeki süreçlerin anlaşılmasına ve optimize edilmesine yardımcı olmaktadır. Korelasyon analizi yapılırken dikkat edilmesi gereken bazı noktalar şunlardır; korelasyon, nedensellik ilişkisini belirtmez. İki değişken arasında güçlü bir ilişki olsa bile, biri diğerine neden olduğu anlamına gelmemektedir. Korelasyon katsayısı, iki değişken arasındaki ilişkinin doğrusal olup olmadığını belirlemektedir. Doğrusal olmayan ilişkiler, korelasyon katsayısı tarafından yakalanamamaktadır. Diğer faktörlerin varlığı, iki değişken arasındaki ilişkiyi etkileyebilmektedir. Bu faktörlerin kontrol edilmesi veya dikkate alınması önemlidir. Bu noktalar göz önünde bulundurularak korelasyon analizi yapılmalı ve sonuçlar dikkatlice yorumlanmalıdır.

3.4.2 T-Testi

İstatistiksel t-testi, iki grup arasındaki ortalamaların anlamlı bir şekilde farklı olup olmadığını belirlemek için kullanılan bir istatistiksel testtir. T-testi, verilerin normal dağılım gösterdiği varsayımı altında kullanılmaktadır ve iki ana türü vardır: bağımsız örneklem t-testi ve eşleştirilmiş örneklem t-testi. Bağımsız örneklem t-testi, iki bağımsız grubun ortalamalarını karşılaştırmak için kullanılmaktadır, eşleştirilmiş örneklem t-testi, aynı grubun iki farklı durumdaki ölçümlerini karşılaştırmak için kullanılmaktadır. Her iki durumda da, t-testi, iki grup arasındaki farkın tesadüfi mi yoksa anlamlı mı olduğunu belirlemeye yardımcı olmaktadır.

Atık su uygulamalarında t-testi, çeşitli süreçlerin etkinliğini değerlendirmek için kullanılmaktadır. Örneğin, bir arıtma tesisinde yeni bir kimyasalın eklenmesinin atık sudaki kirletici seviyelerini azaltıp azaltmadığını belirlemek için kullanılabilir. Bu durumda, kimyasal eklenmeden önce ve sonra alınan su örneklerinin kirletici seviyeleri ölçülerek t-testi uygulanabilmektedir. Eğer test sonucu, kimyasal eklenmeden önce ve sonra arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğunu gösteriyorsa, bu durum kimyasalın etkili olduğunu göstermektedir. Bu tür analizler, atık su arıtma süreçlerinin optimizasyonunda ve çevresel düzenlemelere uyum sağlamada kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada ise revizyon öncesi ve sonrası kirletici giderim verimleri eşleştirilmiş örneklem t-testi ile analiz edilerek revizyonun kirletici giderimi üzerindeki etkinliği kanıtlanmaya çalışılmıştır.

3.4.3 Enerji yoğunluğu hesabı

Enerji yoğunluğu, belirli bir süreç veya sistemde kullanılan enerjinin birim ürün başına düşen miktarını ifade etmektedir. Atık su arıtma tesislerinde enerji yoğunluğunu hesaplamak, tesisin enerji verimliliğini değerlendirmek ve iyileştirme fırsatlarını tanımlamak için önemlidir. Enerji yoğunluğu genellikle birim başına kilovat-saat (kWh) veya megavat-saat (MWh) cinsinden ifade edilmektedir. Enerji yoğunluğu hesabı için genel bir yöntem, enerji tüketiminin belirlenmesi, ürün üretimi veya hizmet miktarının belirlenmesi, enerji yoğunluğunun hesaplanması, sonuçların değerlendirilmesi ve iyileştirme fırsatlarının belirlenmesi adımlarını içermektedir. Bu çalışmada AAT enerji yoğunluğu hesaplaması, revizyon sonrasında tesisin enerji verimliliğinin ne düzeyde arttığını göstermek amacıyla kullanılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 Atık Su Arıtma Tesisi Giriş ve Çıkış Suyu Karakterizasyonu

42 Evler Atık su Arıtma Tesisi'nin geleneksel aktif çamur tipinde işletildiği 2017-2020 yılları arasında ve tesisin revize edilerek ileri biyolojik arıtma tesisi olarak işletildiği 2020-2022 yılları arasında giriş ve çıkış suyu karakterizasyonları Çizelge 4.1'de özetlenmiştir.

Tipik evsel atık suda bulunan kirletici parametreler, atık suyun az ya da çok kirli olmasına bağlı olarak zayıf, orta ya da güçlü olarak sınıflandırılmaktadır [41]. 42 Evler AAT'ye gelen evsel ve endüstriyel kaynaklı atık sular KOİ, BOİ₅, AKM, TA ve TF parametrelerine göre "güçlü" sınıfta yer almaktadır. Ayrıca bu parametrelere göre Henze, Harremoes [42]'in geliştirdiği sınıflandırmaya göre de giriş atık suyu organik madde ve toplam askıda katı madde açısından "konsantre" sınıfında yer almaktadır.

AAT'nin giriş BOİ₅/KOİ oranı revizyon öncesinde biyolojik olarak parçalanabilir organik maddenin 44 ± 12 'si iken, revizyon sonrasında bu oran 28 ± 7 'ye düşmüştür ve biyolojik olarak parçalanabilir organik madde yaklaşık %36 oranında azalmıştır. Bu azalma sonrasında kalan biyobozunabilir organik maddenin denitrifikasyon için yeterli olup olmadığı önemlidir. Denitrifikasyon için gerekli organik madde miktarı, sistemin çamur yaşı ve biyokütle dönüşüm oranı ile ilgilidir. Organik madde kaynağına bağlı olarak anoksik koşullarda görülen mikroorganizma dönüşüm oranı 0,28-0,4 g UAKM g⁻¹ KOİ arasında değişmektedir. Revizyon sonrasında ön çöktürme tankının anoksik tanka dönüştürülmesine, çıkış suyunda 1 mg NO₃ L⁻¹ başına 4,8-6,6 mg L⁻¹ BOİ₅ olup olmadığına, denitrifikasyon prosesi için yeterli karbon kaynağı bulunup bulunmadığına göre karar verilmiştir. AAT çıkış suyu $9,639 \pm 0,360$ mg NO₃ L⁻¹ ve $318,914 \pm 187,767$ mg L⁻¹ BOİ₅ içerdiğinden, biyolojik olarak parçalanabilir organik madde oranı denitrifikasyon için yeterli bulunmuş ve ön yerleşim tankı revizyondan sonra anoksik tanka dönüştürülmüştür.

Çizelge 4.1. 42 Evler AAT'nin su karakterizasyonu.

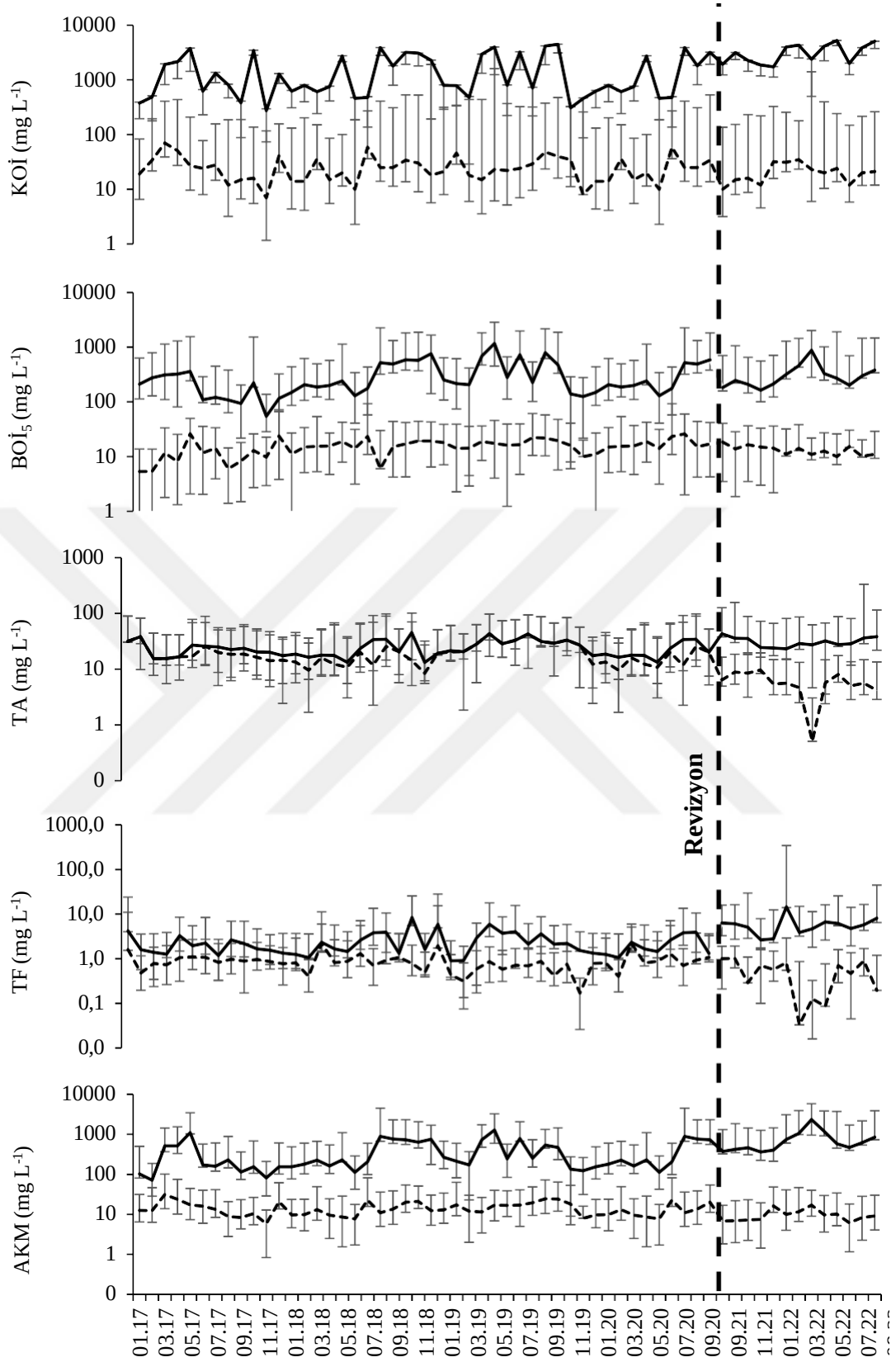
Parametre		Q	pH	KOİ	BOİ ₅	TA	TF	AKM
Birim		m ³ ay ⁻¹		mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹
Yöntem			EN ISO 10523	SM 5220 B	SM 5210 D	ASTM D5176	EN ISO 11885	SM 2540 D
Tayin Limiti				25	0,1	0,02	0,01	0,5
Konvansiyonel Aktif Çamur AAT (2017- 2020, n=46)	Min.	532111 ± 126968	7,522 ± 0,185	302,607 ± 337,182	141,633 ± 128,847	14,177 ± 7,306	1,033 ± 0,79	127,692 ± 124,946
	Cgiriş Ort.	739859 ± 92268	7,743 ± 0,119	783,448 ± 635,521	319,639 ± 236,097	24,423 ± 8,424	2,444 ± 1,529	374,836 ± 309,119
	Maks	1854736 ± 3964532	7,923 ± 0,082	1653,898 ± 1340,163	666,113 ± 498,591	38,167 ± 13,161	5,065 ± 4,663	818,448 ± 801,966
	Min.	532111 ± 126968	7,427 ± 0,559	20,991 ± 9,265	11,774 ± 4,5	8,568 ± 4,01	0,377 ± 0,21	7,805 ± 2,684
	Cçıkış Ort.	739859 ± 92268	7,832 ± 0,225	36,989 ± 13,04	15,423 ± 5,225	20,279 ± 8,785	0,886 ± 0,427	14,446 ± 5,738
	Maks	1854736 ± 3964532	8,083 ± 0,16	60,298 ± 28,055	24,506 ± 12,99	38,6 ± 13,631	2,083 ± 2,493	26,638 ± 14,468
Modifiye Ludzack- Ettinger AAT (2020-2022, n=13)	Min.		7,667 ± 0,184	300,411 ± 333,213	90,062 ± 153,633	11,702 ± 8,022	1,893 ± 1,223	218 ± 354,219
	Cgiriş Ort.	717633 ± 167808	7,896 ± 0,141	1121,574 ± 476,01	318,913 ± 187,767	31,189 ± 6,234	5,944 ± 2,992	756,864 ± 542,218
	Maks		8,078 ± 0,099	3233,084 ± 1273,205	834,385 ± 370,789	78,258 ± 69,421	37,818 ± 87,915	1969,231 ± 969,41
	Min.		7,771 ± 0,332	16,372 ± 1,202	5,893 ± 5,792	2,324 ± 1,079	0,398 ± 0,175	5,538 ± 0,877
	Cçıkış Ort.	717633 ± 167808	8,07 ± 0,118	31,189 ± 10,668	13,307 ± 2,637	6,004 ± 2,404	0,531 ± 0,356	9,741 ± 3,439
	Maks		8,275 ± 0,078	59,382 ± 19,855	17,443 ± 4,359	8,858 ± 1,95	0,908 ± 0,407	20,846 ± 8,04

BOİ₅/TF oranının biyolojik fosfor gideriminin fizibilitesinin değerlendirilmesinde önemli bir faktördür [43]. BOİ₅/TF oranı 20'den yüksek olduğunda, iyi bir biyolojik fosfor giderimi elde edilebilmektedir [44]. Anoksik tanklarda fosfor biriktiren organizmalar tarafından üretilen enerji, aerobik tanklarda fosfor alımını önemli ölçüde artıran polihidroksialkanoatlar olarak depolanabilmektedir. Çizelge 4.1'deki analiz sonuçları 42 Evler AAT'nin çıkış suyunun kabul edilebilir aralıkta (21,976 – 468,615) BOİ₅/TF oranına sahip olduğunu ve bu nedenle biyolojik fosfor giderimi için gereklilikleri karşıladığını göstermektedir. Bu durum, çıkış suyundaki BOİ₅/TF oranının izlenmesinin atık su arıtma tesislerinde biyolojik fosfor gideriminin verimliliğini optimize etmek için etkili bir yol olabileceğini göstermektedir.

Giriş suyundaki AKM konsantrasyonunun BOİ₅ ve KOİ konsantrasyonlarını etkilemektedir. TF ve TA çözünmüş halde bulunduğundan AKM konsantrasyonundan minimum düzeyde etkilenmektedir. Şekil 4.1'de AKM ile BOİ₅ ve KOİ arasında açık bir korelasyon olduğu görülmektedir. Ayrıca, fosfor giderim verimliliğini artırmak için giriş suyunun BOİ₅/TP değerini kontrol etmenin çok önemli olduğunu görülmektedir. Atık su arıtma tesislerinin verimliliğini optimize etmek ve deşarj limitlerine uygunluğunu sağlamak için giriş suyu parametrelerinin izlenmesi gerekmektedir.

4.2 Atık Su Arıtma Tesisi Nutrient Giderim Verimliliği ve Mekanizması

42 Evler AAT, geleneksel aktif çamur tipinden anoksik ve aerobik tanklara sahip ileri biyolojik arıtma tesisine revize edilmiştir. Şekil 4.1 revizyon gerçekleşmeden önce ve sonra atık su arıtma tesisinin hem giriş hem de çıkış ünitelerinde ölçülen BOİ₅, KOİ, TA, TF ve AKM parametrelerinin değişimini göstermektedir. Sonuçlar, gerçekleştirilen revizyon alıcı su kalitesini iyileştirmede başarılı olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.1. Evler AAT'nin kirletici giderim performansının zaman içindeki değişimi (düz çizgi; giriş ünitesi, kesikli çizgi; çıkış ünitesi).

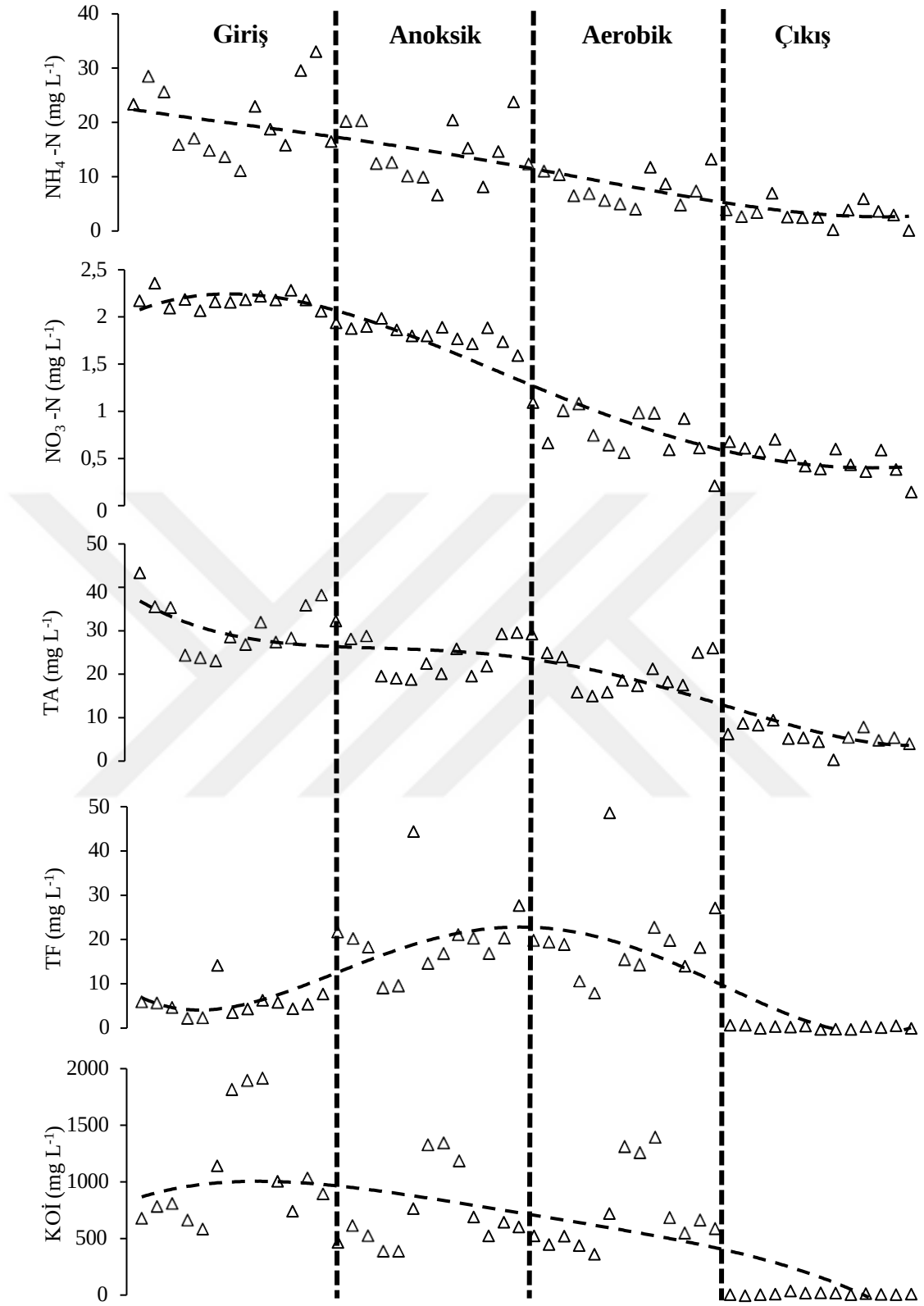
Şekil 4.1’de görüldüğü gibi 42 Evler AAT’de giriş kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ₅) ve toplam askıda katı madde (AKM) değerleri normal dağılım gösterirken, toplam azot (TA) ve toplam fosfor (TF) pozitif çarpık dağılım göstermiştir. Her ne kadar 42 Evler AAT çıkış suyundaki konsantrasyon dalgalanmaları BOİ₅, TA, TF ve AKM’de normal dağılım gösterse de KOİ’de çok fazla değişkenlik olduğu gözlemlenmiştir.

Revizyon öncesi ve sonrasındaki Şekil 4.1’de sunulan parametrelerin arıtım verimlilikleri gözetilerek gerçekleştirilen t-testinde KOİ giderim verimlerinin p değeri $3,58E^{-03}$ ve sırasıyla BOİ₅ p değeri $1,10E^{-01}$, TA p değeri $1,35E^{-06}$, TF p değeri $1,29E^{-10}$, AKM p değeri $6,27E^{-05}$ olarak hesaplanmıştır. Revizyon öncesi ve sonrası kirleticilerin giderim verimleri gözetilerek gerçekleştirilen t testinde çıkan sonuçlar, BOİ₅ parametresi hariç diğer parametrelerin giderim verimlerinin p değerleri 0,05’den küçük olduğu için anlamlı bir fark oluşturmaktadır. Diğer bir ifadeyle gerçekleştirilen revizyon 42 Evler AAT’nin KOİ, TA, TF ve AKM giderim verimlerini olumlu yönde değiştirmiş fakat revizyon öncesinde de yeterli olan BOİ₅ giderim verimini çok fazla değiştirememiştir.

42 Evler AAT’nin revizyonu öncesinde TA ve TF giderim verimleri sırasıyla $\%28 \pm 19$ ve $\%56 \pm 22$ olmasına rağmen, geleneksel bir aktif çamur arıtma tesisi çıkış suyu BOİ₅, KOİ, TA, TF ve AKM konsantrasyonlarının deşarj standardı olan Türkiye Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Tablo 19’a göre uygun olduğu görülmektedir. Geleneksel aktif çamur atıksu arıtma tesisinin, girişteki nütrient konsantrasyonlarının günden güne artmasına bağlı olarak, atık suyu yasal deşarj standartlarına uygun olarak etkili bir şekilde arıtamayabileceği düşünülmüştür. Bu durum, alıcı ortama zarar verebilecek yüksek KOİ, TA ve TF konsantrasyonları içeren çıkış suyunun deşarj edilmesiyle sonuçlanabileceği için atık suyu gerekli deşarj standartlarına göre arıtılmasını ve alıcı ortam üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirmesini sağlamak amacıyla arıtma tesisi gerektiği şekilde ileri biyolojik arıtma tesisine revize edilmiştir. Tesis, anoksik ve aerobik tanklara sahip bir ileri biyolojik arıtma tesisine revize edilerek doğru yönde bir adım atmıştır çünkü ileri biyolojik arıtma tesisi daha yüksek konsantrasyonlardaki KOİ, TA ve TF içeren atık suları daha verimli arıtacak şekilde tasarlanmıştır. Revizyon sonrası KOİ, TA ve TF parametrelerinin giderim verimleri sırasıyla $\%97 \pm 2$, $\%80 \pm 9$ ve $\%90 \pm 8$ olarak gerçekleşmiş ve ileri biyolojik arıtma

tesislerinin deşarj standardı olan Türkiye Kentsel Atık su Arıtma Yönetmeliğı deşarj limitlerinin oldukça altında kalmıştır. İleri biyolojik atık su arıtma tesisleri için Türkiye Kentsel Atık su Arıtma Yönetmeliğı Tablo 1 ve 2, her bir çıkış suyu parametresinin limit konsantrasyonlarını ve istenen minimum arıtma verimlerini içermektedir: BOİ₅ (25 mg L⁻¹, %70); KOİ (125 mg L⁻¹, %75); TA (10 mg L⁻¹, %70); TF (1 mg L⁻¹, %80); ve AKM (35 mg L⁻¹, %90).

Sadece aerobik tank içeren geleneksel aktif çamur tesisine kıyasla anoksik ve aerobik tanklar içeren ileri biyolojik arıtma tesisinde TA ve TF giderim verimlerinin artmasının nedeninin nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçlerinin yanı sıra yeni geliştirilen mikrobiyal suşların da kullanılması olduğunu söylemek mümkündür. Anoksik ve aerobik tanklar, atık sudan daha fazla TA ve TF giderebilen daha çeşitli bir mikrobiyal toplulukların oluşmasına imkan sağlamaktadır. Ayrıca, anoksik proses nitratı denitrifikasyon yoluyla nitrojen gazına indirgeyerek daha fazla nütrient giderimi sağlamaktadır. Genel olarak, revize edilmiş ileri biyolojik arıtma tesisi, yüksek konsantrasyonlarda organik madde, azot ve fosfor içeren atık suyun arıtılması için daha etkili ve verimli bir çözüm gibi gözükmektedir. İleri biyolojik arıtma tesisinin nütrient giderimini nasıl sağladığını anlamak için NH₄-N, NO₃-N, TA, TF ve KOİ parametreleri giriş yapısı, anoksik, aerobik ve sedimantasyon tankları dahil olmak üzere ileri biyolojik arıtma tesisi ünitelerinde 1 yıl boyunca izlenmiş ve sonuçlar Şekil 4.2 'de sunulmuştur Ayrıca, arıtma mekanizmasını ayrıntılı olarak analiz etmek için anoksik ve aerobik tanklardan örnekler alınarak mikrobiyolojik türler keşfedilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.2'de özetlenmiştir.



Şekil 4.2. Modifiye Ludzack-Ettinger prosesi için birim bazında besin maddesi giderimleri.

Çizelge 4.2. Anoksik ve aerobik tankta keşfedilen mikroorganizma türleri.

Mikroorganizma	Etki Alanı / Krallık / Sınıf	Büyüme ortamı
Sclerocystis clavisporem	Ökarya / Mantarlar / Sclerocystidia	Anoksik
Balantidium coli	Eukarya / Chromalveolata / Litostomatea	Anoksik
Mastigophora	Eukarya / Chromalveolata / Zoomastigophorea	Anoksik
Ciliophora	Eukarya / Chromalveolata / Ciliata	Anoksik
Vorticella microstoma	Eukarya / Chromalveolata / Oligohymenophorea	Anoksik
Phylum Cyanophyta	Bakteriler / Monera / Cyanophyceae	Anoksik
Thiobacillus	Bakteriler / Bakteriler / Betaproteobakteriler	Anoksik
Brachionus plicatilis	Eukarya / Animalia / Monogononta	Anoksik
Chlamydomonas	Eukarya / Plantae / Chlorophyceae	Anoksik
Anabaena	Bakteriler / Monera / Cyanophyceae	Anoksik
Leptomitius aureostannicus	Ökarya / Mantarlar / Leotiomycetes	Anoksik
Zoopagus	Eukarya / Chromalveolata / Suctoria	Anoksik
Thuricola folliculata	Eukarya / Protista / Heterotrichea	Aerobik
Amip	Ökarya / Protista / Tubulinea	Aerobik
Stichococcus	Eukarya / Plantae / Chlorophyceae	Aerobik
Vorticella	Ökarya / Protista / Oligohymenophorea	Aerobik
Arcella	Eukarya / Protista / Arcellinida	Aerobik
Peranema	Ökarya / Protista / Zoomastigophorea	Aerobik
Sessilida	Ökarya / Protista / Oligohymenophorea	Aerobik
Leptomitius	Ökarya / Protista / Oligohymenophorea	Aerobik
Cryptomonas	Eukarya / Protista / Cryptophyceae	Aerobik
Aphanizomenon	Bakteriler / Bakteriler / Cyanophyceae	Aerobik
Nitrosomonas communis	Bakteriler / Bakteriler / Betaproteobakteriler	Aerobik
Nitrosomonas europaea	Bakteriler / Bakteriler / Betaproteobakteriler	Aerobik
Nitrosomonas oligotropha	Bakteriler / Bakteriler / Betaproteobakteriler	Aerobik
Nitrobacter agilis	Bakteriler / Bakteriler / Alphaproteobacteria	Aerobik
Paramecium caudatum	Eukarya / Protista / Oligohymenophorea	Aerobik
Phytophthora	Eukarya / Chromista / Oomycetes	Aerobik
Philodina	Eukarya / Animalia / Bdelloidea	Aerobik
Phycokey	Eukarya / Protista / Dinophyceae	Aerobik
Pandorina	Eukarya / Protista / Chlorophyceae	Aerobik

Şekil 4.2’de sunulan veriler giriş yapısı, anoksik tank, aerobik tank ve çökeltme tankı dahil olmak üzere ileri biyolojik arıtma tesisi ünitelerinin $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, TA, TF ve KOİ parametrelerinde değişiklikler sergilediğini göstermektedir. Bu durum, nütrient giderim verimliliğinin, azot bileşiklerini gideren biyolojik nitrifikasyon ve denitrifikasyon gibi her bir üniteye uygulanan çeşitli arıtma süreçleri yoluyla elde

edildiğini, polifosfat biriktiren organizmaların ise fosfor bileşiklerini giderdiğini göstermektedir. Bu bulgular, bu arıtma süreçlerinin uygulanması ile iyileştirilmiş su kalitesi sonuçları arasında pozitif bir korelasyon olduğunu gösteren önceki araştırmaları desteklemektedir.

Şekil 4.2’de gösterilen $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ ve TA konsantrasyonları incelendiğinde atık su 42 Evler İleri Biyolojik Atık su Arıtma Tesisinin farklı arıtma aşamalarından geçtikçe azot ile birlikte tüm parametrelerin konsantrasyonlarının azaldığı görülmektedir. TA parametresinin arıtma tesisi girişindeki $31,189 \pm 6,234 \text{ mg L}^{-1}$ konsantrasyonunun, anoksik tankta $24,484 \pm 4,860 \text{ mg L}^{-1}$ ’ye, aerobik tankta $20,891 \pm 4,652 \text{ mg L}^{-1}$ ’ye ve son olarak arıtma tesisi çıkışında $6,004 \pm 2,404 \text{ mg L}^{-1}$ ’ye düştüğü görülmektedir. Toplam azot konsantrasyonunun tesis çıkışında oldukça düşük olması uygulanan proseslerin toplam azot konsantrasyonunu azaltmak için oldukça verimli olduğunu göstermektedir. Anoksik tanktaki *Thiobacillus* bakterilerinin denitrifikasyon yoluyla NO_3 ’u N_2 gazına dönüştürmesi ve *Nitrobacter Agilis*’in NH_4 ’ü NO_2 ’ye oksitlemesi ve ardından NO_2 iyonlarının aerobik tanktaki *Nitrosomonas Communis*, *Nitrosomonas Europaea* ve *Nitrosomonas Oligotropha* bakterileri tarafından NO_3 ’e daha fazla oksitlenmesi ile hem anoksik hem de aerobik arıtma adımlarını kullanmaktadır (bkz. Çizelge 4.2). Anoksik aşamada ön denitrifikasyon içeren bu süreç, tüm arıtma aşamaları boyunca hem $\text{NH}_4\text{-N}$ hem de $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonlarını önemli ölçüde azaltmakta ve özellikle çıkış suyunda düşük konsantrasyonlara düşmelerini sağlamaktadır. Ön denitrifikasyonun önemli avantajı, ek bir karbon kaynağı gerektirmeden denitrifikasyon için atık sudaki organik maddeleri kullanmasıdır. 42 Evler AAT’de denitrifikasyon prosesi, anoksik tankta 6,6 oranını aşan yeterli miktarda karbon substratı (BOI_5/NO_3) ile desteklenmektedir (bkz. Çizelge 4.1). Ayrıca, denitrifikasyon sırasında uzaklaştırılan NO_3 başına $15,810 \text{ mg CaCO}_3$ alkalinitesi üretilmektedir ve bu da nitrifikasyon sırasında tüketilen alkalinitenin yarısını temsil etmektedir. 42 Evler AAT’nin yüksek nitrifikasyon performansı, girişteki bakiye alkalinite talebini karşılamak için yeterli alkalinite seviyelerinden de anlaşılmaktadır. Toplam azot konsantrasyonu, bünyesinde hala azot içeren çökelmiş ölü mikroorganizmalar nedeniyle çökeltme tankı aşamasında son derece düşük görünmektedir. Bu ölü mikroorganizmalar anoksik tanka geri devrettirilerek daha fazla denitrifikasyona uğraması sağlanmakta ve çıkış suyunda $\text{NO}_3\text{-N}$

konsantrasyonunun azalmasına neden olmaktadır. NO_2 'den NO_3 'e ve nihayetinde N_2 gazına dönüşüm yoluyla $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonlarını düşürülmektedir.

42 Evler İleri Biyolojik Atık su Arıtma Tesisinin bir diğer başarılı yönü de fosfor giderme kapasitesidir. Nitrat ve nitrit giderimi için anoksik ve aerobik tanklar ve ardından metal iyonlarını çöktürmek için bir çöktürme tankı dahil olmak üzere biyolojik ve kimyasal süreçlerin bir kombinasyonu sağlanan bu başarı toplam fosfor konsantrasyonunu da azaltmada etkindir. Örneğin, anoksik tanktaki *Aphanizomenon*, *Phylum Cyanophyta* ve *Leptomitus Aureostannicus* gibi bakteriler fotosentez yoluyla fosforu kullanmakta ve bu sayede atık sudaki fosfor konsantrasyonunu azaltmaktadır. Anoksik koşullarda, bu mikroorganizmalar depolanmış polifosfatları besin olarak almakta ve karbonun depolanması için bir enerji kaynağı olarak kullanmaktadır. Bu alım ve depolama sırasında polifosfatlar hidrolize uğrayarak ortofosfat moleküllerine dönüşmektedir. Etkili bir fosfor arıtımı sağlamak için, hidroliz olayı anoksik tanktan önce BOI_5/TF oranının (21,976 – 468,615) 20'nin üzerinde tutulmasını gerektirmekte ve bu oranın optimum fosfor arıtımı için 30:1 ile 40:1 arasında olması gerekmektedir. Atık sudaki fosfor başlangıçta hücre biyokütlesinde bulunmaktadır. Fosfor anoksik koşullarda fermentasyon yoluyla serbest bırakıldıkça, çözünebilir fosfor ortama salınmaktadır ve Şekil 4.2'de görüldüğü gibi TF konsantrasyonunda bir artışa neden olmaktadır. Aerobik tankta, depolanan karbon mikroorganizma faaliyetlerini sürdürmek için kullanılmaktadır. Çözünebilir fosfor bakterilerin parçalayıp depolayabileceği bir forma dönüştürülmektedir. Fosfor alımı gerçekleşmekte ve yeni fosfor biriktiren organizmalar oluşmaktadır. Sonuç olarak, atık sudaki fosfor aerobik tanktaki çamur fazına aktarılmakta ve çöktürme tankında çöktürülerek giderilmektedir. Ayrıca, suyun çöktürme tankından anoksik tanka geri devrettirilmesi fosfor konsantrasyonlarında çok fazla değişikliğe sebep olmaktadır. Sonuç olarak, anoksik ve aerobik süreçleri içeren ileri biyolojik arıtma tesisi toplam fosfor konsantrasyonların düşürülmesine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır.

42 Evler İleri Biyolojik Atık Su Arıtma Tesisi hem anoksik hem de aerobik süreçleri içerdiğinden dolayı biyobozunur organik maddenin (KOİ) giderimi için de çok etkili bir sistemdir. Anoksik tankta *Sclerocystis Clavisporum* ve *Leptomitus Aureostannicus* gibi bakterilerin yanı sıra *Mastigophora* gibi tek hücreli organizmalar ve *Balantidium Coli*, *Ciliophora* ve *Vorticella Microstoma* gibi protozoalar da dahil olmak üzere atık

sudaki organik maddeleri ayrıştırabilen çeşitli mikroorganizmalar bulunmaktadır. Bu mikroorganizmalar, karbon, hidrojen ve organik asitler de dahil olmak üzere atık sudaki kirletici konsantrasyonunun azaltılmasında hayati bir rol oynamaktadır. Ayrıca, bazı türler azot ve fosfor gibi mineralleri kullanarak atık sudaki konsantrasyonlarını azaltmaktadır. İlâveten, *Aphanizomenon*, *Leptomit* *Aureostannicus*, *Phylum Cyanophyta*, *Anabaena* ve *Chlamydomonas* gibi mikroalgler, fitoplanktonlar ve siyanobakteriler de özellikle aerobik tanklarda atık sudaki nütrient giderimine katkıda bulunmaktadır. Bu organizmalar besinleri kullanarak aerobik solunum sırasında yüksek miktarda oksijen üretmekte, bu da organik madde bozunmasının verimliliğini ve nitrifikasyon süreçlerinin tam olarak tamamlanmasını arttırmaktadır. Aerobik ortamda oksijen ve organik maddeyi besin kaynağı olarak kullanarak varlıklarını sürdüren ve aynı zamanda hayatta kalmalarını sağlayan arasında *Amip*, *Vorticella*, *Arcella*, *Cryptomonas*, *Leptomit*, *Stichococcus*, *Thuricola Folliculata*, *Anabaena*, *Phycokey*, *Philodina*, *Paramecium Caudatum*, *Phytophthora*, *Peranema* ve *Sessilida* mikroorganizma türleridir. İlgili mikroorganizmaların bazıları, nütrient giderimine katkıda bulunmaktadır. Çöktürme tankının mikrobiyal büyümeyi doğrudan teşvik etme konusunda sınırlı etkileri olsa da anoksik tanka geri devrettirilen sudan çökelmiş katıları ayırarak önemli bir rol oynamaktadırlar. Böylece denitrifikasyon veya nitrifikasyon gibi biyolojik süreçler yoluyla konsantrasyonların daha da azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Genel olarak, organik madde konsantrasyonunu azaltmak için gerekli olan mikroorganizmaların büyümesini teşvik etmeye yardımcı olmaktadır.

Protozoalar, atık su arıtma proseslerinde gerçekten de önemli mikroorganizmalardır. Patojenlerin ve organik maddelerin atık sudan uzaklaştırılmasında çok önemli bir rol oynamaktadırlar. Anoksik tankta yaygın olarak bulunan protozoalar: *Ciliophora*, *Zoopagus* ve *Balantidium Coli*'dir. Bu organizmalar atık suda bulunan diğer mikroorganizmalarla beslenmektedirler ve bu sayede konsantrasyonlarını azaltmaktadır. *Vorticella Microstoma* ve *Brachionus Plicatilis* gibi parazit türleri de patojenlerin atık sudan uzaklaştırılmasına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca aerobik tankta tespit edilen *Philodina*, *Paramecium Caudatum*, *Phytophthora*, *Peranema* ve *Sessilida* mikroorganizmaları da patojenlerin giderilmesine yardımcı olmaktadır. Atık sudaki patojen konsantrasyonunu azaltarak çevre sağlığı için fayda sağlamaktadırlar.

42 Evler AAT'de tespit edilen her bir mikroorganizmanın özellikleri ve katkıları Çizelge 4.2'de listelenmiştir Bir atık su arıtma tesisinin doğru şekilde tasarlanması ve işletilmesi, farklı mikroorganizmalar arasındaki sinerjinin ve farklı proseslerin etkisinin dikkate alınmasını gerektirmektedir. Sonuç olarak, 42 Evler Atık su Arıtma Tesisi'nin atık sudaki besin maddelerini ve organik maddeleri etkili bir şekilde giderdiği ve alıcı su kaynaklarına güvenli bir şekilde deşarj edilmesini sağladığı görülmektedir.

4.3 Atık Su Arıtma Tesisinin Enerji Yoğunluğu

42 Evler Atık su Arıtma Tesisi, değişen ham atık su özellikleri ve deşarj limitlerine uyum sağlamak için atık su arıtma teknolojilerinde değişiklikler yapmıştır. Revizyondan önce ve sonra tesis tarafından tüketilen enerji, birim maliyetler, debi veya yıllık olarak değişen diğer değişkenlerden bağımsız olarak karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.3 klasik aktif çamur (revizyon öncesi) ve Modifiye Ludzack-Ettinger (revizyon sonrası) proseslerinin 42 Evler AAT'deki enerji tüketimi açısından bir karşılaştırmasını sunmaktadır. Bu sonuçlar, atık su arıtma tesislerinin değişen yönetmeliklere ayak uydurmak için teknolojilerini gerektiği şekilde revize etmelerinin ve aynı zamanda işletme verimliliğini göz önünde bulundurmalarının ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.3. 42 Evler Atık Su Arıtma Tesisi'nin işletilmesinin ekonomik analizi.

İstatistik	Akış Hızı (m ³ ay ⁻¹)	Enerji Yoğunluğu (kWh m ⁻³)	Giderim Verimliliği (%)				
			BOİ ₅	KOİ	TA	TF	AKM
Konvansiyonel Aktif Çamur (n= 46)							
Ort..	739859	0,337	93,095	92,592	28,115	56,429	94,041
SS	92268	0,023	4,218	5,126	19,083	21,616	3,601
Min.	578500	0,294	79,361	75,784	0,383	4,549	82,737
Maks.	938200	0,383	98,850	98,649	68,337	90,665	98,756
Modifiye Ludzack-Ettinger (n= 13)							
Ort..	717633	0,226	94,715	96,787	80,165	89,617	98,415
SS	167808	0,032	2,761	1,976	9,145	8,164	0,827
Min.	476728	0,175	89,846	90,738	60,640	73,645	95,987
Maks.	1033438	0,286	98,757	98,753	98,128	99,142	99,272

İleri atık su arıtma tesislerinin (İAAT'ler), sırasıyla %80-90 ve %90-95 arasında değişen azot ve fosfor giderim verimliliği ile geleneksel atık su arıtma tesislerinden daha yüksek giderim verimliliği sağladığı gösterilmiştir. İAAT'ler, özelliklerine, çıkış suyu kalitesi gereksinimlerine, bütçe kısıtlamalarına ve diğer faktörlere bağlı olarak farklı atık su türlerinin arıtılması için membran filtrasyonu, ileri oksidasyon prosesleri veya biyolojik prosesleri kullanabilmektedir. Bu artan performansın bir maliyeti vardır; ancak kurulum ve işletme maliyetleri genellikle iyileştirilmiş su kalitesi sonuçları açısından elde edilen faydalardan daha ağır basmaktadır. Literatürden ve yönetimsel deneyimlerden, geleneksel bir atık su arıtma tesisindeki işletme maliyetlerinin %25-40'ının enerji tüketiminden kaynaklandığı bilinmektedir [45]. Bu değer, arıtılmış atık su başına 0,3-2,1 kWh arasında değişmektedir [46]. Tipik olarak, geleneksel bir atık su arıtma tesisinde enerji tüketimine katkıda bulunan başlıca unsurlar havalandırma (%55-70), birincil ve ikincil çöktürme (%15,6) ve çamur susuzlaştırmadır (%7) [47]. Aeratörlere ve/veya blowerlara uygun kontrol cihazlarının takılmasının enerji tüketimini 0,04 kWh m⁻³'ye kadar azaltabilmektedir [47]. Enerji verimliliğinin yaygın bir tanımı ve ölçüsü, enerji kullanım girdisinin (örneğin elektrik tüketimi) enerji hizmet çıktısına (bir atık su arıtma tesisi tarafından sağlanan belirli bir hizmet, örneğin arıtılmış atık su veya giderilen kirlilik miktarı) oranıdır. Duffy, Kestel [48] enerji tüketimini azaltmak amacıyla Modifiye Ludzack-Ettinger prosesinin başarılı bir şekilde devreye alındığını çalışmasında ortaya çıkartmıştır. Modifiye Ludzack-Ettinger prosesi gibi ileri biyolojik arıtma sistemleri, hem gelişmiş nütrient giderme verimliliği sağlamakta hemde geleneksel arıtma sistemlerinden daha az enerji gerektirebilmektedir.

42 Evler AAT'de ise klasik aktif çamur tipinde işletilen tesis, akış şemasına bağlı kalınarak bazı tankların kullanım amaçları ve ekipmanları değiştirilerek anoksik-aerobik tip ileri biyolojik atık su arıtma tesisine dönüştürülmüştür. Tesiste yeni bir tank inşa edilmemiş, sadece mevcut tankların işlevleri değiştirilmiştir. Bu revizyonlara bağlı olarak Çizelge 4.3'te de görüldüğü gibi tesisin revizyonu sonrasında %32,938 daha az enerji tükettiği belirlenmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kocaeli İlinde bulunan ve geleneksel aktif çamur tipinde işletilen 42 Evler Atık su Arıtma Tesisinin anoksik-aerobik akış şemasına sahip ileri biyolojik tipe revize edilmesinin amacı: yasal mevzuat limitlerine uygun bir deşarj yapmak, günden güne daha kuvvetli karaktere bürünen giriş atık suyunun daha verimli arıtılmasını sağlamak, hassas alıcı ortam olan Marmara DENİZİ'nin su kalitesini korumak ve tesisin enerji tüketimi azaltmaktır. Bu revizyonun havalandırma, çamur yönetimi, reaktör tasarımı ve nütrient giderim mekanizmasındaki değişiklikleri içermektedir. Revize edilen AAT'nin iyileştirilmiş kirletici giderimi, azaltılmış enerji tüketimi ve artırılmış arıtma kapasitesi gibi potansiyel faydaları, 2017 ve 2022 yılları arasında arıtma tesisinin giriş ve çıkışında sürekli olarak takip edilen deşarj parametreleri ve ayrıntılı nütrient parametreleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. "Hassas Alıcı Ortam" olarak ilan edilen Marmara Denizi'ne deşarj yapan 42 Evler Atık su Arıtma Tesisinin arıttığı evsel ve endüstriyel kaynaklı atık sular KOİ, BOİ₅, AKM, TA ve TF parametrelerine göre "Güçlü" sınıfta yer almaktadır. Ortalama debisi $734957,776 \pm 111884,683 \text{ m}^3 \text{ ay}^{-1}$ olan 42 Evler Atık Su Arıtma Tesisinin revizyon sonrasında KOİ, BOİ₅, TA, TF ve AKM giderim verimleri sırasıyla $\%97 \pm 2$, $\%95 \pm 3$, $\%80 \pm 9$, $\%90 \pm 8$ ve $\%98 \pm 1$ olarak gerçekleşmiştir. Revizyon öncesi ve sonrası giderim verimleri baz alınarak gerçekleştirilen t-testinde BOİ₅ parametresi haricinde diğer parametrelerde olumlu yönde anlamlı bir fark olduğu ortaya konulmuştur. Revizyon sonrasında nütrient giderim mekanizmasını keşfetmek için arıtma tesisinin giriş, anoksik tank, aerobik tank ve çıkış ünitelerinde NH₄-N, NO₃-N, TA, TF ve KOİ parametreleri 1 yıl süreyle takip edilmiştir. Ayrıca anoksik ve aerobik tanklarda yetişen mikroorganizma türleri, farklı zamanlarda alınan örneklerde ışık mikroskobu ile analiz edilmiştir. Özellikle ön çöktürme tanklarının anoksik tanka dönüştürülmesi ve akış şemasındaki diğer değişiklikler nedeniyle tesisin nütrient giderim verimi ve kapasitesi artmış, anoksik ve aerobik tanklarda azot ve fosfor giderimi sağlayan *Thiobacillus*, *Nitrobacter*, *Nitrosomonas*, *Aphanizomenon*, *Phylum Cyanophyta* ve *Leptomitus Aureostannicus* gibi mikroorganizma türlerinin üremesiyle nitrifikasyon ve denitrifikasyon başarıyla gerçekleşmektedir. Bunlara ek olarak, patojenlerin uzaklaştırılmasında, organik maddenin parçalanmasında ve nitrifikasyon süreçlerinin tam olarak tamamlanmasında rol alan birçok bakteri, tek hücreli organizma, protozoa, mikroalg, fitoplankton ve siyanobakteri keşfedilmiştir. Son olarak, kentsel su döngüsünün yüksek enerji

gereksinimlerini ve sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik göstergeler üreten su-enerji ilişkisi açısından yapılan revizyon ele alınmış ve revizyon sonrasında AAT'nin enerji tüketiminin %33 oranında azaldığı ve $0,226 \pm 0,032 \text{ kWh m}^{-3}$ enerji yoğunluğuna ulaştığı görülmüştür. Revizyon tüm yönleriyle değerlendirilmiş ve nütrient giderim verimliliğini ve kapasitesini artırmak isteyen diğer AAT'ler için örnek olabileceği sonucuna varılmıştır.



KAYNAKLAR

1. Coşkun, Ç., Pulatsü, S. ve Coşkun, T., 2018. Evsel atıksulardan azot ve fosforun biyolojik giderilme yöntemleri, Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 2, 2, 53-63.
2. Karakaya, M. ve Dulkadiroğlu, H., 2021. Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Atıksu arıtma tesisinde tasarım ve mevcut durum karşılaştırması, Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 10, 2, 101-110.
3. Gezer Görgeç, A., 2017. Mevcut arıtma tesislerinde uygun modifikasyonlarla azot ve fosfor arıtımının incelenmesi ve modellenmesi, Çevre Mühendisliği ABD Doktora Programı, 2017 Yılı Lisansüstü Programlar ve Tez Özetleri Çalışması., İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 49.
4. Düğenci, M., 2007. Arı algoritması'nın yapay sinir ağı öğrenmesi için kullanımı ve atıksu arıtma tesis kontrolü uygulaması, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
5. Gündoğdu, P., 2020. Yeraltı sularından perklorat ve nitrat'ın membran filtrasyonu ile giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
6. Türkiye İstatistik Kurumu, 2011. Atık su arıtma tesislerinin istatistikleri, Ankara.
7. Kalya, E. ve Alver, A., 2023. Determining the contribution of the wastewater treatment plant to the sustainable environment with water footprint indicators, Environment, Development and Sustainability, 25,11, 12999-13014.
8. Masłoń, A. 2017. Energy consumption of selected wastewater treatment plants located in south-eastern Poland, Eng. Environ Protect, 20, 3, 331-342.
9. Türkmenler, H., 2017. Atık Su Arıtma Tesislerinde Enerji Verimliliği, Politeknik Dergisi, 20, 2, 495-502.
10. Murungu, R.J., 2022. Inclusion of Water, Sanitation and Hygiene in Ethiopias Nationally Determined Contributions 2020 Update Process-A Policy Brief, Sustainable Development Research, 4,1, 32-32.
11. Guo, Z., 2019. Integration of green energy and advanced energy-efficient technologies for municipal wastewater treatment plants, International journal of environmental research and public health, 16, 7, 1282.
12. Bailey, J.R., Ahmad S. ve Batista J.R., 2020. The impact of advanced treatment technologies on the energy use in satellite water reuse plants, Water, 12, 2, 366.
13. Aleksic, N., 2022. Potrošnja energije i primena obnovljivih izvora energije u postrojenjima za tretman otpadnih voda.

14. Sefa, S., Floqi, T. ve Sefa, J., 2020. Measurement of Energy Production from Biogas: Evidence from the Wastewater Treatment Plant in Durres, European Journal of Engineering and Technology Research, 5, 10, 1260-1262.
15. Metcalf, L., Eddy, H.P. ve Tchobanoglous, G., 1991. Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse, Vol. 4., McGraw-Hill New York, USA.
16. Arceivala, S.J., 1981. Wastewater treatment and disposal: engineering and ecology in pollution control, Pollution engineering and technology, A.B.D., No, 15.
17. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2004. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 25687, Ankara.
18. Arceivala, S.J., Balman A.H. ve Balman V., 1998. Çevre kirliliği kontrolünde atıksu arıtımı, Tata McGraw-Hill.
19. Deniz, G., 2023. Dönel çanakta yüzey bitirme prosesinde oluşan atık suyun geri kazanımı için çapak alma taşlarının yeniden kullanımı, İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi, 4, 1, 38-47.
20. Turan, G., 2014. Kentsel atıksu arıtma tesisleri ve işletme sorunları, Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Nevşehir.
21. Erdoğan, A.O., Zengin G.E. and Orhon D., 2010. Türkiye'de evsel atıksu oluşum miktarları ve karakterizasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi Su Kirlenmesi Kontrolü, 15,1-3.
22. Tatar, Ş. ve Sağlam, M., 2020. Kızıltepe ileri biyolojik atıksu arıtma tesisinin KOİ, BOİ₅ ve AKM yönünden işletme verimliliğinin değerlendirilmesi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 20, 265-269.
23. Kavak, N. ve Leblebici, Z., 2016. Kayseri ili örneğinde, atıksu arıtma tesislerinde uygulanan arıtma yöntemlerinin incelenmesi ve optimum yöntemin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Nevşehir.
24. Üstün, G.E., 2006. Bursa Organize Sanayi Bölgesi (BOSB) atık su arıtma tesisi çıkış sularının geri kazanılabilirliğinin araştırılması, Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
25. Boyacı, Y.S., 2017. Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi atıksu arıtma tesisleri işletim sorunları, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
26. Filiz, E., 2007. Doğal kaynaklardan elde edilen adsorbanlarla sulardan ağır metal giderimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

27. Saka, N., 2001. Endüstriyel atıkların çöp depolama alanı dizaynında geçirimsizlik malzemesi olarak değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
28. Erkut, E., 2008. Aktif karbon adsorpsiyonu ile boyarmadde giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
29. Atmaca, H., 2021. Konya kentsel atıksu arıtma tesisi ve organize sanayi bölgesi atıksularının toksikolojik etkilerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
30. Çokgezen, J., 2007. Avrupa Birliği çevre politikası ve Türkiye, Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 23, 2.
31. Tezcan, E., 2007. Adapazarı Karaman Atıksu Arıtma Tesisi çamurlarının giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Sakarya.
32. Topcu, Y.E., 2020. Atık su arıtma tesislerinin ünitelerinin esneklik potansiyeline dayalı tüketim optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
33. Alalvi, D., 2020. Petrol Üretimi Atıksularının Membran Biyoreaktör İle Arıtılması, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
34. Arık, K.S., 2012. Organize sanayi bölgeleri atıksu arıtma tesisi çıkış sularının geri kullanımının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
35. Çobansoy, S., 2018. Anammox bakterilerinin aklımasyonu için uygun aşı çamurunun belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
36. Keser, İ., 2022. Tekstil işletmeleri için bir kimyasal yönetim sistemi geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
37. Yılmaz, S., 2016. Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Mikrobiyal Yapısı Ve İşletme Performansının Beklenen Tasarım Kabulleri İle Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
38. Erdoğan, A.O., 2011. Türkiye'de optimum maliyete dayalı atıksu arıtma tesisi tasarımı. İTÜ Dergisi, 5, 2.
39. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2006. Kentsel Atık Su Arıtımı Yönetmeliği, 26047, Ankara.
40. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2009. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği İdari Usuller Tebliği, 27372, Ankara.

41. Tchobanoglous, G., Burton, F.L. ve Stensel, H.D., 2003. Wastewater engineering: treatment and reuse, Metcalf & Eddy Inc., McGraw-Hill Inc., New York.
42. Henze, M., 2002. Wastewater treatment: biological and chemical process, Almany.
43. Zou, L., 2019. Characteristic and correlation analysis of influent and energy consumption of wastewater treatment plants in Taihu Basin, *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 13, 1-14.
44. Wang, S., 2023. Application Potential of Constructed Wetlands on Different Operation Mode for Biologically Pre-Treatment of Rural Domestic Wastewater, *Sustainability*, 15, 3, 1799.
45. Vera, L., 2015. LCA based comparative study of a microbial oil production starch wastewater treatment plant and its improvements with the combination of CHP system in Shandong, China. *Resources, Conservation and Recycling*, 96, 1-10.
46. Liu, H., Ramnarayanan, R. ve Logan, B.E., 2004. Production of electricity during wastewater treatment using a single chamber microbial fuel cell, *Environmental science & technology*, 38, 7, 2281-2285.
47. Tchobanoglous, G., Burton, F. ve Stensel, H.D., 2003. Wastewater engineering: treatment and reuse, American Water Works Association, Journal, 95, 5, 201.
48. Duffy, G., 2011. Installation and Startup of Advanced Process Controls: What Went Wrong and How to Fix It, in *WEFTEC 2011*, Water Environment Federation.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Mustafa KÜÇÜKBAYRAK

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Cumhuriyet Üni. Çevre Mühendisliği Bölümü, 1997-2002

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Kocaeli Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü Karamürsel Atık Su Arıtma Tesisi, Deney Sorumlusu, 2007-2008.
2. Kocaeli Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Yeniköy atık Su Arıtma Tesisi Sorumlusu, 2008-2010.
3. Kocaeli Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Ruhsat ve Denetim Şube Müdürlüğü, Ruhsat ve Denetim Uzmanı, 2010-2013.
4. Kocaeli Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Arıtma Tesisler Şube Müdürlüğü, Atık Su ve İçme Suyu Arıtma Tesisleri Koordinatörü, 2013-2014.
5. Kocaeli Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Ruhsat ve Denetim Şube Müdürlüğü, Ruhsat ve Denetim Şefi, 2014-2018.
6. Kocaeli Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Ruhsat ve Denetim Şube Müdürlüğü, Ruhsat ve Denetim Şube Müdürü, 2018-2019
7. Kocaeli Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Havza Koruma ve Ruhsat Şube Müdürlüğü, Havza Koruma ve Ruhsat Şube Müdürü, 2019-

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Kongrelerde Sunulan Bildiriler

1. Küçükbayrak, M., & Alver, A. (2023). Konvansiyonel Atık Su Arıtma Tesislerinin Enerji ve Arıtma Verimliliklerinin Arttırılması Amacıyla Revizyonu, 1. Bilsel Uluslararası Dünya Bilim Ve Araştırma Kongresi, Uluslararası, Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum, İstanbul, Türkiye.