

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**KONVANSİYONEL VE ARDIŞIK KESİKLİ REAKTÖR
SİSTEMLİ İLERİ BİYOLOJİK ATIKSU ARITMA
TESİSLERİNİN PROSES VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ
YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI**

Yüksek Lisans Tezi

Fehime KAYA

Danışman
Prof. Dr. Feryal AKBAL

SAMSUN
2025

TEZ KABUL VE ONAYI

Fehime KAYA tarafından, **Prof. Dr. Feryal AKBAL** danışmanlığında hazırlanan “**KONVANSİYONEL VE ARDIŞIK KESİKLİ REAKTÖR SİSTEMLİ İLERİ BİYOLOJİK ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN PROSES VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI**” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 05.02.2025 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Semra Çoruh Ondokuz Mayıs Üniversitesi Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. Feryal Akbal Ondokuz Mayıs Üniversitesi Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Hakan Dulkadiroğlu Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Faik Ahmet SESLİ
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

25 /12/ 2024
Fehime KAYA

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı: KONVANSİYONEL VE ARDIŞIK KESİKLİ REAKTÖR SİSTEMLİ İLERİ BİYOLOJİK ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN PROSES VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 20/12/2024 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 20

Tek kaynak oranı : % 3 çıkmıştır.

25 /12/ 2024
Prof. Dr. Feryal AKBAL

ÖZET

KONVANSİYONEL VE ARDIŞIK KESİKLİ REAKTÖR SİSTEMLİ İLERİ BİYOLOJİK ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN PROSES VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI

Fehime KAYA

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans, Aralık/2024

Danışman: Unvanı Prof. Dr. Feryal AKBAL

Bu çalışmada konvansiyonel ve ardışık kesikli reaktör sistemli ileri biyolojik atıksu Arıtma Tesislerinin (AAT) proses ve enerji verimliliği yönünden karşılaştırılması yapılmıştır. Bu kıyasların yapılabilmesi için, askıda katı madde (AKM), biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ₅), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), toplam azot (TN), toplam fosfor (TP) gibi atıksu kirlilik parametrelerinin yanı sıra, debi ve tüketilen enerji verileri çalışmada kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan tesislerden Hasanoğlan ve Lalahan Atıksu Arıtma Tesisleri Ardışık Kesikli Reaktör Sistemli, Ondokuz Mayıs ve Yakakent Atıksu Arıtma Tesisleri Konvansiyonel sistemlidir. AKM, KOİ, BOİ₅, TN ve TP parametrelerindeki yıllık ortalama giderim verimleri Hasanoğlan AAT’de sırasıyla %85,52, %80,49, %87,09, %58,40, %61,04, Lalahan AAT’de %93,48, %91,07, %93,73, %63,12, %64,08, Ondokuz Mayıs AAT’de %83,92, %87,65, %80,58, %74,23, %78,56, Yakakent AAT’de %80,89, %78,05, %76,11, %74,44, %77,15 olarak hesaplanmıştır. Tesislerden elde edilen verilere göre enerji tüketimleri Hasanoğlan AAT’de aylık ortalama 888,82 kWh/gün, Lalahan AAT’de aylık ortalama 663 kW-h/gün, Ondokuz Mayıs AAT’de aylık ortalama 2407,07 kWh/gün, Yakakent AAT’de aylık ortalama 1334,86 kWh/gün’dür. Yapılan hesaplamalar sonucunda, farklı atıksu arıtma tesislerinin giderilen yük başına enerji tüketimleri Hasanoğlan AAT için 2 kWh/kgAKM, 1 kWh/kgKOİ, 2 kWh/kgBOİ₅, 14 kWh/kgTN ve 66 kWh/kgTP olarak hesaplanmıştır. Ondokuz Mayıs AAT’de 5 kWh/kgAKM, 2 kWh/kgKOİ, 6 kWh/kgBOİ₅, 21 kWh/kgTN ve 187 kWh/kgTP enerji tüketimi gözlemlenmiştir. Lalahan AAT’nin giderilen yük başına enerji tüketimleri ise 2 kWh/kgAKM, 1 kWh/kgKOİ, 3 kWh/kgBOİ₅, 33 kWh/kgTN ve 351 kWh/kgTP olarak hesaplanmıştır. Son olarak, Yakakent AAT’de giderilen yük başına enerji tüketimleri 10 kWh/kgAKM, 6 kWh/kgKOİ, 17 kWh/kgBOİ₅, 35 kWh/kgTN ve 307 kWh/kgTP olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, farklı sistemli tesisler birbirinden bağımsız proseslerle işletilmekte olup, kirlilik parametrelerinin giderim verimlilikleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca, enerji tüketimleri de göz önünde bulundurularak, her iki arıtma sisteminin enerji verimlilikleri incelenmiştir. Bu analizlerin, uygun arıtma sistemi seçiminde daha etkili kararlar alınmasına yardımcı olacağı ve gelecekteki uygulamalar için yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Sözcükler: Ardışık kesikli Reaktör, Konvansiyonel sistem, Enerji verimliliği , Proses verimliliği

ABSTRACT

COMPARISON OF CLASSICAL ADVANCED BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT PLANT AND ADVANCED BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT PLANT WITH SEQUENTIAL BATCH REACTOR SYSTEM IN TERM OF ENERGY AND PROCESS EFFICIENCY

Fehime KAYA

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Environmental Engineering

Master, December/2024

Supervisor: Prof. Dr. Feryal AKBAL

This study compares the process and energy efficiency of Conventional and Sequencing Batch Reactor (SBR) Systems in advanced biological wastewater treatment plants. In order to make this comparison, wastewater pollution parameters such as suspended solids (SS), biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), as well as flow rate and energy consumption data, have been used in the study. The treatment plants used in the study include Hasanoğlan and Lalahan Wastewater Treatment Plants (SBR systems) and Ondokuz Mayıs and Yakakent Wastewater Treatment Plants (Conventional systems). The annual average removal efficiencies of the Hasanoğlan WWTP for SS, COD, BOD, TN, and TP are 85.52%, 80.49%, 87.09%, 58.40%, and 61.04%, respectively. For Lalahan WWTP, these values are 93.48%, 91.07%, 93.73%, 63.12%, and 64.08%, respectively. In the Ondokuz Mayıs WWTP, the removal efficiencies for the same parameters are 83.92%, 87.65%, 80.58%, 74.23%, and 78.56%, respectively, while for Yakakent WWTP, they are 80.89%, 78.05%, 76.11%, 74.44%, and 77.15%, respectively. According to the data obtained from the plants, the monthly average energy consumption is 888.82 kWh/day for Hasanoğlan WWTP, 663 kWh/day for Lalahan WWTP, 2407.07 kWh/day for Ondokuz Mayıs WWTP, and 1334.86 kWh/day for Yakakent WWTP. Energy consumption per unit of pollutant removal has been calculated as follows: For Hasanoğlan WWTP, the energy consumption per kg load removed is 2 kWh/kgSS, 1 kWh/kgCOD, 2 kWh/kgBOD₅, 14 kWh/kgTN, and 66 kWh/kgTP, respectively. In Ondokuz Mayıs WWTP, these values are 5 kWh/kgSS, 2 kWh/kgCOD, 6 kWh/kgBOD₅, 21 kWh/kgTN, and 187 kWh/kgTP. For Lalahan WWTP, the energy consumption values are 2 kWh/kgSS, 1 kWh/kgCOD, 3 kWh/kgBOD₅, 33 kWh/kgTN, and 351 kWh/kgTP, respectively. Finally, for Yakakent WWTP, the energy consumption per kg load removed is 10 kWh/kgSS, 6 kWh/kgCOD, 17 kWh/kgBOD₅, 35 kWh/kgTN, and 307 kWh/kgTP, respectively. In this study, the treatment plants with different systems operate with independent processes, and the removal efficiencies of the pollution parameters have been compared. Additionally, energy consumption has been considered to analyze the energy efficiency of both treatment systems. These analyses are expected to assist in making more effective decisions in selecting the appropriate treatment system and serve as a guide for future applications.

Keywords: Sequencing batch reactor, Conventional system, Energy efficiency, Process efficiency

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans eğitim süreçlerimde, her zaman yanımda olarak sadece bilgi ve birikimlerini paylaşmakla kalmayıp, aynı zamanda anlayışlı ve hoşgörülü tutumuyla bana güç veren, özverili bir şekilde yol gösteren, her zaman örnek aldığım duruşu ve mesleki sevgisi bu süreçte bana ilham kaynağı olan çok kıymetli danışmanım Prof. Dr. Feryal AKBAL'a en derin teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, çalışmamın her aşamasında yanımda olup, değerli yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen Araştırma Görevlisi İsa IŞIK'a içtenlikle teşekkür ederim.

Eğitim hayatımın her anında bana maddi ve manevi anlamda destek olan, her zaman en iyi noktalarda olmamı temenni eden, sevgisini ve güvenini hiç eksik etmeyen canım babam Osman KAYA'ya, sevgi dolu annem Zehra KAYA'ya ve bana her koşulda güç veren, yanımda olan tüm aile bireylerime sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca, tesislerle ilgili verileri sağlamak konusunda bana yardımcı olan, ilgilerini ve katkılarını esirgemeyen ASKİ ve SASKİ yetkililerine içten teşekkür ederim.

Fehime KAYA

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR	3
2.1. Atıksu Özellikleri	3
2.2. Evsel Atıksu	3
2.2.1. Evsel Atıksuların Özellikleri	3
2.2.1.1. Fiziksel Özellikleri	3
2.2.1.2. Kimyasal Özellikleri	3
2.2.1.3. Biyolojik Özellikleri	4
2.3. Atıksuların Arıtımı	5
2.3.1. Atıksu Arıtma Yöntemleri	6
2.3.1.1. Ön Arıtma	6
2.3.1.2. Birincil Arıtma	7
2.3.1.3. İkincil Arıtma	7
2.3.1.4. Üçüncül Arıtma	7
2.4. Aktif Çamur Sistemi	8
2.4.1. Aktif Çamurun Özellikleri	9
2.4.2. Aktif Çamur Prosesini Etkileyen Faktörler	9
2.4.3. Sürekli Aktif Çamur Sistemi	11
2.4.5. Biyolojik Azot ve Fosfor Gideren Aktif çamur Sistemleri	12
2.4.5.1. A ² /O Prosesi (Anaerobik-Anoksik-Oksik)	12
2.4.5.2. Bardenpho Prosesi	13
2.4.5.3. UCT Prosesi	14
2.4.5.4. VIP Prosesi	14
2.5. Ardışık Kesikli Reaktörler	15
2.5.1. Ardışık Kesikli Reaktörün Avantajları	16
2.5.2. Ardışık Kesikli Reaktörün Dezavantajları	17
2.5.3. Ardışık Kesikli Reaktörlerde Nutrient Giderimini Etkileyen Unsurlar	17
2.6. Arıtma Tesislerinde Enerji Verimliliği	18
3. GERÇEKLEŞTİRİLEN ÖRNEK ÇALIŞMALAR	20
4. MATERYAL	24
4.1. Çalışma Alanı Tanıtılması	24
4.1.1. Hasanoğlu Atıksu Arıtma Tesisi	24

4.1.2. Lalahan Atıksu Arıtma Tesisi	27
4.1.3. Ondokuz Mayıs Atıksu Arıtma Tesisi	29
4.1.4. Yakakent Atıksu Arıtma Tesisi	31
4. METOD	34
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	35
5.1. Tesislerin Enerji Tüketimleri.....	35
5.2. Tesislerin Debi Değerleri	35
5.3. Tesislere Ait Kirlilik Yüğü-Verimlerinin İncelenmesi.....	37
5.4. Tesislerin Birim Debi Başına Enerji Tüketimleri	47
5.5. Arıtma Tesislerinde Giderilen Yüğü Başına Enerji Tüketimleri.....	47
6. SONUÇ	53
KAYNAKLAR	56
ÖZ GEÇMİŞ.....	59



SİMGELER VE KISALTMALAR

F/M	: Organik madde yükü/biyolojik kütle
N	: Azot
W	: Watt
P	: Fosfor
AKR	: Ardışık Kesikli Reaktör
BOİ	: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
TN	: Toplam Azot
TP	: Toplam Fosfor
AKM	: Askıda Katı Madde
NH ₄	: Amonyum
KAS	: Katı Alıkonma Süresi
ÇHİ	: Çamur Hacim İndeksi
MLSS	: Toplam Askıda Katı Madde
ÇO	: Çözünmüş Oksijen
HRT	: Hidrolik Bekletme Süresi
ORP	: Oksidasyon Redüksiyon Potansiyeli
MBR	: Membran Biyoreaktör
UV	: Ultraviole

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Klasik aktif çamur sistemi	11
Şekil 2.2. Aktif çamur sistemlerinin çeşitli konfigürasyonları	12
Şekil 2.3. A ² O prosesi	13
Şekil 2.4. Bardenpo prosesi	13
Şekil 2.5. UCT prosesi	14
Şekil 2.6. VIP prosesi.....	15
Şekil 2.7. AKR prosesi.....	16
Şekil 2.8. AAT enerji dağılımı.....	19
Şekil 4.1. Hasanoğlan atıksu arıtma tesisi.....	25
Şekil 4.2. Hasanoğlan atıksu arıtma tesisi akım şeması	26
Şekil 4.3. Lalahan atıksu arıtma tesisi.....	28
Şekil 4.4. Lalahan atıksu arıtma tesisi akım şeması.....	28
Şekil 4.5. Ondokuz Mayıs atıksu arıtma tesisi	30
Şekil 4.6. Ondokuz Mayıs atıksu arıtma tesisi akım şeması	31
Şekil 4.7. Yakakent atıksu arıtma tesisi	32
Şekil 4.8. Yakakent atıksu arıtma tesisi akım şeması	33
Şekil 5.1. Tesislere ait enerji tüketim değerleri	35
Şekil 5.2. Tesislere ait debi değerleri.....	36
Şekil 5.3. Arıtma tesislerinin giriş ve çıkış AKM yükleri ve AKM giderim verimleri.....	37
Şekil 5.4. Arıtma tesislerinin AKM giderim verimleri	38
Şekil 5.5. Arıtma tesislerinin giriş ve çıkış BOİ ₅ yükleri ve BOİ ₅ giderim verimleri.....	39
Şekil 5.6. Arıtma tesislerinin BOİ ₅ giderim verimleri.....	40
Şekil 5.7. Arıtma tesislerinin giriş ve çıkış KOİ yükleri ve KOİ giderim verimleri	41
Şekil 5.8. Arıtma tesislerinin KOİ giderim verimleri	42
Şekil 5.9. Arıtma tesislerinin giriş ve çıkış TN yükleri ve TN giderim verimleri	43
Şekil 5.10. Arıtma tesislerinin TN giderim verimleri	44
Şekil 5.11. Arıtma tesislerinin giriş ve çıkış TP yükleri ve TP giderim verimleri.....	45
Şekil 5.12. Arıtma tesislerinin TP giderim verimleri.....	46
Şekil 5.13. Arıtma tesislerinin birim debi başına enerji tüketimleri	47
Şekil 5.14. Arıtma tesislerinde giderilen AKM yükü başına enerji tüketimi	48
Şekil 5.15. Arıtma tesislerinde giderilen BOİ ₅ yükü başına enerji tüketimi	49
Şekil 5.16. Arıtma tesislerinde giderilen KOİ yükü başına enerji tüketimi	50
Şekil 5.17. Arıtma tesislerinde giderilen TN yükü başına enerji tüketimi	51
Şekil 5.18. Arıtma tesislerinde giderilen TP yükü başına enerji tüketimi.....	52

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Atıksuyun fiziksel kimyasal ve biyolojik özellikleri ve kirlilik kaynakları.....	5
Tablo 4.1. Hasanoğlan atıksu arıtma tesisi ile ilgili bilgiler	26
Tablo 4.2. Lalahan atıksu arıtma tesisi ile ilgili bilgiler	29
Tablo 4.3. Ondokuz Mayıs atıksu arıtma tesisi ile ilgili bilgiler.....	31
Tablo 4.4. Yakakent atıksu arıtma tesisi ile ilgili bilgiler	33
Tablo 4.5. Tesislerin yıllık ortalama numune analiz değerleri.....	34
Tablo 4.6. Tesislerin yıllık ortalama enerji tüketim ve debi değerleri	34



1. GİRİŞ

Su, insan hayatı için temel bir gereklilik olup, nüfus artışıyla birlikte tüketimi artmaktadır. Su kaynakları, içme suyu ve sanayi kullanımıyla azalmakta ve kirlenmektedir. Nüfusun, teknolojinin ve yaşam standartlarının yükselmesiyle atıksu miktarı gün geçtikçe artmaktadır. Arıtımı yapılmadan doğaya bırakılan atıksular, çevre için bir tehlike oluşturabilmektedir.

Atıksu arıtma tesisleri, genelde çözünmüş ve pariküler organik maddeleri ve nutrientleri uzaklaştırmak amacıyla tasarlanır. Fakat son zamanlarda, atıksuyun büyük bir kısmının endüstriyel faaliyetlerden değil, evsel kullanımlardan kaynaklanmasından dolayı, evsel atıksuyun yeniden kullanımına yönelik arıtma süreçlerine daha fazla ağırlık verilmeye başlanmıştır. Bu yaklaşım, özellikle su kıtlığı yaşayan kentsel alanlarda suyun korunması ve sürdürülebilir su yönetimi ihtiyacının artmasıyla şekillenmiştir. Bu doğrultuda, atıksu arıtma sistemleri, arıtılmış suyun sulama, sanayi kullanımı veya bazı ileri arıtma teknolojileriyle içme suyu olarak kullanılabilmesi için gerekli kalite standartlarını karşılayacak şekilde iyileştirilmektedir. (Sekaran vd., 2007)

Atıksu arıtma tesisleri, özellikle evsel ve endüstriyel atıksuların arıtılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Konvansiyonel atıksu arıtma yöntemleri, temel olarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemlerle atıksuyun temizlenmesini sağlar. Ancak, artan nüfus ve endüstriyel faaliyetlerin yoğunlaşması ile bu sistemlerin verimliliği giderek daha büyük bir önem kazanmıştır. Bu bağlamda, daha verimli ve sürdürülebilir sistemlerin geliştirilmesi ihtiyacı doğmuştur.

Gelişmekte olan ülkelerde atıksu arıtma tesislerinin planlanması ve işletilmesinde çeşitli sorunlar yaşanmaktadır. Bu problemler arasında coğrafi özelliklerin göz ardı edilmesi, kanalizasyon ve AAT'lerin entegre bir şekilde yapılmaması, kanalizasyon ve yağmursuyu sistemlerinin birleşik bir şekilde tasarlanması, ani yağışlarda tesisin kapasitesinden fazla debi gelmesine yol açabilir. Bu durum, kanalizasyon sisteminin beklenen yükten daha düşük kapasiteyle çalışmasına sebep olabilir ve sonuç olarak tesisin kapasitesinin altında çalışarak enerji israfına neden olabilir. Bunun yanı sıra tasarım ve inşaa aşamasında yapılan hatalar öne çıkmaktadır. Son yıllarda, ülkemizde de bazı yerel yönetimlerin yaptığı tesislerde benzer sıkıntılar görülmektedir. Oysa, tesis kurulmadan önce bu sorunlar dikkate

alınarak ön çalışma yapılması önemlidir. Ayrıca, işletmedeki tesislerin performansı düzenli olarak izlenmeli ve gerekli iyileştirmeler yapılmalıdır.

Atıksu arıtma süreçlerinde su tasarrufu, arıtılmış suyun kalitesinin artırılması ve yeniden kullanımı gibi önlemler ön plana çıkmaktadır. Su kaynaklarının azalması nedeniyle, arıtılan suyun miktarının yanı sıra kalitesi de büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, atıksu arıtımında en verimli yöntemlerin seçilmesi, hem finansal kaynakların etkin kullanılmasını sağlar hem de çevresel fayda yaratır.

Son yıllarda, konvansiyonel arıtma sistemlerinin verimliliğini artırmak ve daha ileri seviyede arıtma sağlamak amacıyla yeni nesil arıtma teknolojileri, özellikle Ardışık Kesikli Reaktör (AKR) sistemleri, öne çıkmaktadır. AKR sistemleri, biyolojik arıtma süreçlerinde daha yüksek verimlilik sağlamak amacıyla zamanlı ve kontrol edilen besleme, karıştırma ve havalandırma işlemleriyle işletilen sistemlerdir. Bu sistemler, özellikle organik yükü yüksek atıksuların arıtılmasında etkin sonuçlar verirken, enerji verimliliği ve süreç kontrolü açısından da önemli avantajlar sunmaktadır.

Bu tez çalışmasında, konvansiyonel atıksu arıtma sistemleri ile AKR sistemli ileri biyolojik atıksu arıtma tesislerinin proses verimliliği ve enerji verimliliği açısından karşılaştırılması amaçlanmaktadır. Bu karşılaştırma, her iki sistemin performansını değerlendirerek, daha sürdürülebilir ve verimli arıtma çözümleri için öneriler sunmayı hedeflemektedir.

Bu bağlamda, bu çalışma, atıksu arıtma tesislerinin daha verimli ve çevre dostu bir şekilde tasarlanmasına ve işletilmesine katkı sağlamak amacıyla önemli bir kaynak teşkil etmektedir.

2. LİTERATÜR

2.1. Atıksu Özellikleri

Evsel, endüstriyel, tarımsal ve diğer faaliyetler sonucunda ortaya çıkan özelliklerinin bir kısmının veya tamamının değişmesi sonucu oluşan sulara atıksu denir (Kınık ve Aykaç, 2021).

Yaklaşık olarak 1940 yılına kadar kanalizasyon atıksularının çoğu evsel kaynaklı oluşmaktaydı. Bu tarihten sonra Amerika Birleşik Devletleri'ndeki endüstriyel gelişmeler hızla artmış, oluşan endüstriyel atıksular kanalizasyon sistemlerine boşaltılmış ve günümüzde de boşaltılmaya devam etmektedir (Metcalf and Eddy, 2003).

2.2. Evsel Atıksu

Evsel faaliyetler sonucu ya da başka bir amaçla kullanıldıktan sonra kanalizasyon sistemine aktarılan su atıksudur. Yağmursuyu ya da bir şekilde birleşik kanalizasyon sistemine sızan su da atıksu olarak tanımlanır (Nas, 2017).

2.2.1. Evsel Atıksuların Özellikleri

2.2.1.1. Fiziksel Özellikleri

- Askıda Katı Madde: Atıksularda bulunan, suyun içinde çözünmeyen veya çökme eğiliminde olan katı maddelerdir. Bunlar, organik atıklar (gıda kalıntıları, biyolojik maddeler) veya inorganik maddeler (toprak, kum, mineraller) olabilir.

- Koku: Atıksudaki organik maddeler zamanla parçalanarak kötü koku yayar. Ayrıca, çözücü maddeler, yağlar veya petrol atıkları da koku seviyesini artırabilir.

- Sıcaklık: Atıksuların sıcaklığı, çevre sıcaklığına bağlı olarak değişir. Kışın atıksular genellikle daha sıcak, yazın ise daha soğuk olabilir.

- Renk: Atıksular genellikle renksiz ve kokusuzdur, ancak içerdikleri kirleticilere göre farklı renkler alabilir. Örneğin, organik ve inorganik maddeler suyun rengini sarı, kahverengi veya yeşil tonlarına dönüştürebilir (Kavak, 2016).

2.2.1.2. Kimyasal Özellikleri

- Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ): Atıksudaki organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından parçalanması için tüketilen çözünmüş oksijen miktarıdır.

• **Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ):** Atıksudaki organik madde miktarını gösterir. KOİ, biyolojik olarak oksitlenemeyen maddelerin kimyasal oksidasyonu nedeniyle BOİ'den daha yüksektir.

• **pH:** Atıksudaki asidik veya bazik özellikleri belirleyen hidrojen iyonu yoğunluğudur. Asidik suda hidrojen iyonu, bazik suda ise hidroksit iyonu fazla olur.

• **Klorür:** Evsel atıksularda genellikle insan idrarından kaynaklanır. Ayrıca sert sularda su yumuşatıcılar kullanıldığında da klorür miktarı artar.

• **Azot:** Atıksudaki mikroorganizmalar için gerekli bir besin maddesidir. Atıksu arıtımında yeterli azot bulunması, biyolojik arıtma için önemlidir.

• **Fosfor:** Mikroorganizmalar için azot gibi bir besin maddesidir. Aşırı fosfor, alıcı ortamlarda ötrofikasyona neden olabilir.

• **Kükürt:** Atıksularda yaygın olarak bulunur ve genellikle sülfata dönüşebilir.

• **Gazlar:** Evsel atıksularda azot, oksijen, karbondioksit, amonyak ve metan gibi gazlar bulunabilir (Kavak, 2016).

2.2.1.3. Biyolojik Özellikleri

Evsel atıksularda bulunan protozoa, bakteri, alg ve virüs gibi mikroorganizmalar, insan sağlığı için ciddi hastalık riski taşıyan patojenlerdir. Özellikle koliform bakteriler, insan atıklarının bir sonucu olarak ortaya çıkar ve bu da atıksuyun evsel kökenli olduğunu gösteren önemli bir belirtidir. Bu mikroorganizmaların varlığı, atıksu içerisindeki potansiyel tehlikeyi işaret eder. (Kavak, 2016)

Evsel atıksuların özellikleriyle ilgili birçok araştırma ve çalışmalar bulunmaktadır. (Durak, 2020). Atıksuların özellikleri hakkında bilgi veren Tablo 2.1 aşağıda verilmiştir.

Tablo 2.1. Atıksuyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri ve kirlilik kaynakları (Durak, 2020)

	Atıksu Karakteristiği	Kaynak
Fiziksel Özellikler	Renk	Evsel ve endüstriyel atıklar, organik maddelerin doğal bozunması
	Koku	Ayrıışan/ Bozunan atıksu ve endüstriyel atıklar
	Katı Madde	Evsel su temini, evsel ve endüstriyel atıklar, toprak erozyonu, sızma
	Sıcaklık	Evsel ve endüstriyel atıklar

		Organik	
Kimyasal özellikler	Karbonhidratlar ve yağ-gres		Evsel, ticari ve endüstriyel atıklar
	Pestisitler		Tarımsal atıklar
	Fenol		Endüstriyel atık
	Proteinler ve mikrokirleticiler		Evsel,ticari ve endüstriyel atık
	Yüzey dezenfektanlar		Evsel, ticari ve endüstriyel atıklar
	Uçucu organik bileşikler		Evsel, ticari ve endüstriyel atıklar
	Diğerleri		Organik maddelerin doğal bozulması
			İnorganik
Biyolojik bileşenler	Alkalinite ve klorür		Evsel atıklar, evsel su temini, yeraltı suyunda sızma
	Ağır metal		Endüstriyel atık
	Azot		Evsel ve tarımsal atıklar
	pH ve mikrokirleticiler		Evsel,ticari ve endüstriyel atık
	Fosfor		Evsel,ticari ve endüstriye atıklar; doğal yüzeysel akış
	Sülfür		Evsel,ticari ve endüstriyel atıklar
			Gazlar
	Hidrojen sülfür ve metan		Evsel atıkların ayrışması
Biyolojik bileşenler	Hayvanlar ve bitkiler		Açık kanallar/dereler ve arıtma birimleri
	Bakteriler		Evsel atıklar, yüzeysel susan sızma, arıtma birimleri
	Virüsler		Evsel atıklar

2.3. Atıksuların Arıtımı

Teknolojinin hızla ilerlemesi ve nüfusun artışı, atıksuların hem insan sağlığı hem de çevre üzerinde ciddi olumsuz etkiler yaratmasına yol açmaktadır. Atıksu arıtımındaki temel amaç, farklı kirletici maddeler barındıran atıksuların, alıcı ortama vereceği zararı minimuma indirmek ve ekosistemi bozmadan doğal arıtma süreçlerine hız kazandırmaktır. Bu doğrultuda, atıksu arıtımında ulaşılmak istenen hedefler, su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde korunması, çevresel kirliliğin en aza indirilmesi ve toplum sağlığının korunmasıdır. Atıksu arıtımında hedeflenen durumlar şöyle sıralanabilir,

- 1- Atıksuyun içeriğinde bulunan askıda katı maddelerin giderilmesi
- 2- Biyolojik olarak parçalanabilen organik maddelerin giderilmesi

- 3- Patojenik organizmaların giderilmesi
- 4- Nutrient giderilmesidir. (Yaşar,2023).

Bir arıtma işlemine tabi tutulmayan atıksuların çevrede birikmesi, zamanla septik koşulların oluşmasına zemin hazırlar. Bu koşulların gelişmesiyle birlikte, atıksuyun içeriğinde bulunan çözünmüş ve askıda organik maddeler, mikroorganizmalar tarafından parçalanarak hoş olmayan kokuların ve hastalık yapıcı etkenlerin ortaya çıkmasına yol açar. Ayrıca, evsel atıksularda yüksek miktarda bulunan besin maddeleri (nütrientler), suda yaşayan mikroorganizmaların aşırı çoğalmasına zemin hazırlar. Bu mikroorganizmaların artan gelişimi, sudaki metabolik faaliyetlerin hızlanmasına ve doğal olarak çözünmüş oksijen tüketiminin artmasına neden olur. Oksijen tüketiminin yükselmesiyle birlikte, sudaki çözünmüş oksijen tükenir ve bu da anaerobik koşulların oluşmasına sebep olur. Sonuç olarak, su kütlesinde kötü koku ve rahatsız edici koşullar meydana gelir. Bu olumsuz etkilerin önüne geçebilmek için, atıksular bir an önce arıtılmalı ve içerdiği doğaya zarar verebilecek maddeler etkili bir şekilde giderilmelidir (Manav, 2006).

2.3.1. Atıksu Arıtma Yöntemleri

Kirletilmiş evsel veya endüstriyel sular alıcı ortama deşarjından önce doğaya verilen zararı önlemek mahiyetinde mutlaka bir arıtma işlemine tabi tutulması gereklidir. Atıksuyun arıtımı aşağıdaki sıralanabilir.

- 1- Ön arıtma
- 2- Birincil arıtma
- 3- İkincil arıtma
- 4- Üçüncül arıtma

2.3.1.1. Ön Arıtma

Ön arıtma işlemi, atıksulardaki büyük katı maddelerin ve diğer kaba atıkların uzaklaştırılmasını amaçlar. Bu işlem, sonraki arıtma aşamalarının daha verimli çalışabilmesi için önemlidir. Genellikle, kaba ve ince ızgaralar, elekler, kum tutucular, yüzdürme sistemleri ve çöktürme havuzları gibi ekipmanlar kullanılarak gerçekleştirilir. Bu sayede, suyun arıtma sürecine daha uygun hale gelmesi sağlanır.

2.3.1.2. Birincil Arıtma

Birincil arıtma, suyun içerisindeki askıda kalmış katı maddeleri uzaklaştırarak ve biyokimyasal oksijen talebini düşürerek çözünmüş oksijen miktarını artırmaya yönelik temel bir işlemdir. Bu işlem sayesinde, BOİ talebi %30 oranında azalırken, AKM'nin %60'a kadar uzaklaştırılması sağlanır. Ancak, bu arıtma sadece suyu ilk düzeyde temizler ve sudaki diğer kirleticilerin tamamen ortadan kaldırılabilmesi için, suyun ikincil ve gerekirse üçüncül arıtma aşamalarına tabi tutulması gerekmektedir.

2.3.1.3. İkincil Arıtma

İkincil arıtma, birincil arıtma sırasında sudan tamamen uzaklaştırılmayan organik maddelerin giderilmesi için uygulanan, biyolojik ve kimyasal süreçlerin bir kombinasyonudur. Bu aşama, atıksuda bulunan çözünmüş organik kirleticilerin büyük bir kısmını, mikroorganizmalar aracılığıyla biyolojik olarak parçalayarak veya kimyasal reaksiyonlarla dönüştürerek uzaklaştırmayı amaçlar. İkincil arıtma, suyun kalitesini önemli ölçüde iyileştirir. Bu süreç, atıksu arıtma sisteminin etkinliğini artırarak, sonraki arıtma aşamalarına geçmeden önce sudaki kirleticilerin büyük kısmını ortadan kaldırmış olur.

2.3.1.4. Üçüncül Arıtma

Atık suyun üçüncül arıtımı, ikincil arıtma sonrasında sudaki kirleticileri daha da azaltma yönünde ileri düzey işlemlerden oluşur. Bu aşama, organik maddeler, bulanıklık, azot, fosfor, ağır metaller ve patojenlerin daha fazla giderilmesi amacıyla uygulanan gelişmiş fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemleri içerir. Üçüncül arıtma sürecinde kullanılan teknikler arasında pıhtılaşma, filtrasyon, aktif karbon adsorpsiyonu, ters ozmoz ve ek dezenfeksiyon gibi işlemler bulunmaktadır. Bu işlemler, suyun çevreye deşarj edilmeden önce daha temiz hale gelmesini sağlar (Kabakçı, 2019).

Dezenfeksiyon: Atıksu arıtımının son aşamalarından biridir ve suya klor eklenmesiyle gerçekleştirilir. Bu işlem, suyun içindeki bakteri, virüs ve parazitleri öldürerek suyu daha güvenli hale getirir. Bu aşama, suyun yeniden kullanılabilirliğini güvence altına alarak, hem çevre hem de insan sağlığı için kritik bir adım oluşturur.

Azot giderimi: Atık sudaki amonyum (NH_4) iyonlarının, Nitrococcus gibi mikroorganizmalar tarafından oksijen varlığında nitrite ve ardından nitrate dönüştürülmesiyle başlar. Sonrasında, bu nitratlar denitrifikasyon süreciyle azot

gazına dönüşür ve atmosferle salınır. Nitrifikasyon süreci, ortamın pH değeri, sıcaklık ve çözülmüş oksijen miktarı gibi faktörlere bağlıdır, bu sebeple bu faktörlerin itinayla kontrol edilmesi önemlidir.

Fosfor giderimi: Suyun içerisindeki fosforu uzaklaştırmak için iki ana yöntemle yapılır: kimyasal ve biyolojik arıtma. Kimyasal olarak fosfor, koagülant maddelerle fosfat tuzları halinde çöktürülürken; biyolojik arıtmada, mikroorganizmalar fosforu hücrelerine alarak ve çöktürerek sudan temizler.

Filtrasyon: Atıksudaki çözünmemiş katı maddelerin sudan ayrılmasını sağlayan bir işlemdir. Bu işlemde su, özel filtrelerden geçirilerek katı maddelerin tutunması sağlanır. Filtrede biriken maddeler, belirli aralıklarla geri yıkama işlemi ile temizlenir.

Adsorpsiyon: Çözülmüş kirleticilerin, aktif karbon gibi maddelerle suyun yüzeyine yapışarak tutulmasını sağlayan bir tekniktir. Bu yöntem, özellikle organik kirleticilerin giderilmesinde oldukça etkili olur.

İyon değiştirme: Atıksuda bulunan istenmeyen iyonların, iyon değiştirici kolonlar aracılığıyla tutulmasını sağlar. Bu işlem, özellikle suyun içinde bulunan zararlı metallerin uzaklaştırılması için kullanılır.

Ters osmoz: Suyu, yarı geçirgen bir membran aracılığıyla yüksek basınç altında geçirerek arıtan bir süreçtir. Bu işlem, suyun içerisindeki çoğu kirleticiyi etkili bir şekilde uzaklaştırırken, suyun kalitesini önemli ölçüde iyileştirir.

Ultrafiltrasyon: Özellikle büyük moleküllü ve kolloidal maddeler içeren atıksuların arıtılmasında tercih edilen bir filtrasyon metodudur. Bu yöntem, suyun daha temiz hale gelmesini sağlar ve çeşitli kirleticilerin sudan uzaklaştırılmasında önemli bir rol oynar.

2.4. Aktif Çamur Sistemi

Aktif çamur prosesi, atıksuyun içerisindeki organik kirleticileri biyolojik olarak arıtmayı sağlayan ve genellikle aerobik koşullarda uygulanan bir işlemdir. Bu süreç, son çökeltim havuzunda biriktirilen mikroorganizmaların (biyokütle) içsel geri devirle yüksek yoğunluğa ulaşarak, atıksudaki organik maddeleri besin olarak kullanarak askıda kalmalarını sağlar. Mikroorganizmalar, bu organik bileşenleri oksijenli ortamda parçalayarak atıksuyu temizler ve biyolojik arıtma sağlanmış olur (TBB, 2015).

Aktif çamur prosesi, dünya genelinde en yaygın kullanılan aerobik biyolojik arıtma yöntemidir. Klasik aktif çamur sistemlerinde, biyolojik arıtma öncesinde atıksu genellikle bir fiziksel arıtma işleminden (ızgara, kum tutucu, ön çöktürme) geçirilir. Bu fiziksel ön işlem sayesinde, atıksudaki yüzen ve çökelebilen maddeler uzaklaştırılır. Bu aşama, atıksuyun BOİ₅ değerini %25-35 oranında düşürebilir. Fiziksel arıtma sonrası, atıksu aktif çamur sistemi ile biyolojik olarak arıtılır ve sonuç olarak, suyun kalite seviyesi akarsu, deniz veya araziye deşarj edilebilecek seviyeye ulaşır (Eroğlu, 2015).

Günümüzde aktif çamur sistemi, gelişmekte olan ülkelerde atıksu arıtma tesisleri, endüstriyel atık arıtımı ve kombine atık su arıtma proseslerinde kullanılmaktadır. Ancak bu prosesin, kurulum için nispeten daha büyük alan gerektirmesi, çamuru gidermek için aktif çamur sistemli bir üçüncül arıtma sistemine ihtiyaç duyulması gibi çeşitli dezavantajları vardır. Ayrıca aktif çamur sisteminde atık suyun aktif olarak havalandırılması nedeniyle yoğun güç kaynağı gerektirir ve bu da toplam işletme maliyetinin neredeyse %50-65'ini oluşturur (İslam and Mehdi, 2022).

2.4.1. Aktif Çamurun Özellikleri

Aktif çamur, mikroorganizmaların, organik ve inorganik maddelerin bir arada bulunduğu bir karışımdır. Bakteri ve mantarların çoğalması, organik maddeleri parçalayarak gerçekleşir. Tek hücreli organizmalar, bakteri ve mantarlarla beslenirken, çok hücreli canlılar da bu tek hücreli organizmaları tüketerek hayatta kalırlar. (Berkün, 2017).

2.4.2. Aktif Çamur Prosesini Etkileyen Faktörler

Aktif çamur prosesini etkileyen bazı faktörler vardır. Bunlar sıralanacak olursa, toksik ve inhibe edici atıklar, nutrient eksikliği, organik yük ve debi salınımı, çamur hacim indeksi, fazla çamur miktarı gibi faktörlerdir.

Toksik ve inhibe edici atıklar: Organizmalar, sadece fiziksel ve kimyasal engellerden değil, biyolojik etkilerden de etkilenirler. Evsel ve sanayi atıksularında bulunan bazı zararlı kimyasallar, arıtma sistemlerinin tasarımını etkileyebilir. Toksik maddeler, arıtılmış suyun kalitesini bozabilir. Örneğin, bakır, çinko, nikel, kadmiyum ve krom gibi ağır metaller, mikropların çalışmasını engeller. Bu metallerin etkisi, suda çözünmüş ve iyonik halde olduklarında daha da artar. Ayrıca, çevresel faktörler, örneğin pH değişiklikleri, bu metallerin zararlı etkisini artırabilir. Siyanür ve humik asit gibi organik maddeler, metallerin serbest kalmasına yol açabilir. Metal içermeyen

bazı organik maddeler de zararlı olabilir, fakat bakteriler bu maddelere uyum sağlarsa, bunları yok edebilirler. Eğer uyum sağlanmazsa, arıtma verimi düşebilir. Genellikle, atıksuyun başlangıcındaki zararlı maddeler, arıtma sonrası su ve çamurda da bulunur (Öz, 2009).

Nutrient eksikliği: Evsel atıksu genellikle biyolojik arıtım için gerekli besin maddelerini (nutrient) bulundurmaktadır. İnorganik besin maddeleri ve iz elementler, yeterli oksijen olduğunda mikroorganizmaların büyümesi için yeterlidir. Ancak, evsel atıksuya büyük miktarda sanayi atıksu eklenirse, besin maddesi ihtiyaçları kontrol edilmelidir. Bazı atıksularda, besin maddeleri kimyasal olarak bağlıdır ve mikroorganizmalarca hemen kullanılmazlar. Evsel atıksuya belirli oranlarda endüstriyel atıksu eklenmesi durumunda, biyolojik arıtım için gerekli BOİ₅:N:P oranı genellikle 100:5:1 olarak kabul edilir. Uzun süreli katı madde alıkonma süresi değerine sahip süreçler daha az besin maddesi gerektirir çünkü bakteriler azot ve fosforu suya bırakır (Öz, 2009).

Organik yük ve debi salınımı: Aşırı yağışlar ani debi değişimleri nedeniyle atıksu debisinde dalgalanmalara yol açabilir. İyi projelendirilmiş bir aktif çamur sistemi, belirli bir seviyeye kadar bu dalgalanmalara karşı direnç gösterir. Ancak, aktif çamur mikrobiyal topluluğu, organik yüklerden daha çok etkilenir ve yüksek hidrolik yükler, mikroorganizmaların sistemden yıkanmasına neden olabilir. Aşırı hidrolik yükler şunlara yol açar:

- Artan yük, havalandırma havuzundan daha fazla katı maddeyi çökeltme havuzuna taşır.
- Çamur geri devri yapılmazsa, havalandırma havuzundaki katı madde miktarı azalır ve çökeltme havuzunda birikinti oluşur.
- F:M oranı arttıkça, çıkış suyunun kalitesi bozulur.
- Katı alıkonma süresinin (KAS) azalması, şişkin çamura neden olan zararlı mikroorganizmaların çoğalmasını tetikler.
- Bu mikroorganizmalar çökeltme havuzunda çamurun çökmemesine neden olur ve çıkış suyunun kalitesi daha da kötüleşir (Öz, 2009).

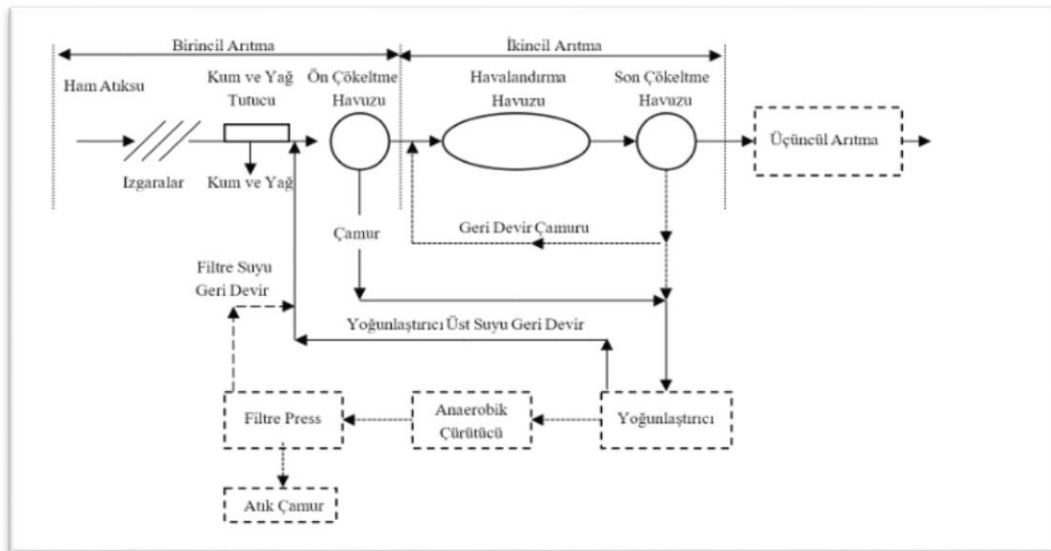
Çamur hacim indeksi (ÇHI): Çamur geri devrindeki amaç, aktif çamur havalandırma havuzundaki mikroorganizma yoğunluğunu istenilen seviyede

tutmaktır. Bu oranı kontrol etmek için kullanılan yöntemlerden biri, çamurun çökelme özelliklerini gösteren çamur hacim indeksidir. CHİ , geri devir oranı ve MLSS (toplam askıda katı madde) konsantrasyonunu etkileyen bir parametredir. Genellikle 2,000 ila 3,000 mg/L MLSS konsantrasyonuna sahip aktif çamur sistemlerinde, CHİ değerleri 80 ile 150 mL/g arasında değişir. MLSS konsantrasyonu 3,000 ila 5,000 mg/L'ye yükseldiğinde, çökeltme havuzuna daha fazla katı madde eklenir. Bu durumda, mikroorganizmaların sistemden yıkanmasını engellemek için daha düşük CHİ değerleri veya daha büyük bir çökeltme havuzu hacmi tercih edilmelidir (Öz, 2009).

Fazla çamur miktarı: Sistemdeki çamurun düzenli olarak uzaklaştırılması, birikimini önlemek için gereklidir. Eğer gerekli miktarda katı madde uzaklaştırılmazsa, çamurlar son çökeltme havuzunda birikerek, belirli bir seviyeyi aştığında çıkış suyuna karışabilir. Çamur uzaklaştırma işlemi, son çökeltme havuzunda biriken çamurun belirli bir kısmının atılmasıyla yapılır. Bu atılacak çamur miktarı, aktif çamur süreçlerinin ekonomik verimliliğini belirleyen en kritik faktördür (Öz, 2009).

2.4.3. Sürekli Aktif Çamur Sistemi

Aktif çamur prosesi, sürekli çalışan bir havalandırmalı derin havuz ile bu havuzun çıkışında yer alan çökeltme havuzundan oluşur. Çökeltim çamuru, istenilen mikroorganizma yoğunluğunu sağlamak amacıyla, havalandırma havuzunun girişine geri verilir; bir kısmı ise sistemden uzaklaştırılır. (Durak, 2020). Klasik bir aktif çamur sistemi şekil 2.1.'de gösterilmiştir.

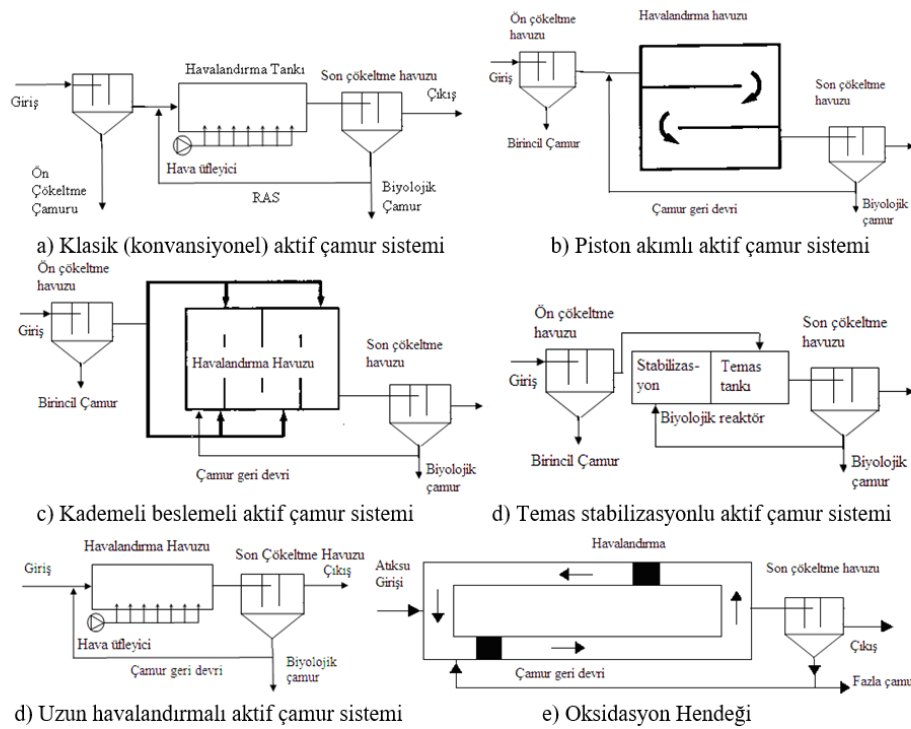


Şekil 2.1. Klasik aktif çamur sistemi (Gülsoy, 2017).

2.4.4 Aktif çamur Sisteminin Konfigürasyonları

Aktif çamur sistemlerinde, biyokimyasal verimin artırılması ve sistemin daha verimli hale getirilmesi amacıyla çeşitli modifikasyonlar uygulanır. Bu modifikasyonların büyük bir kısmı aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Konvansiyonel (klasik) aktif çamur sistemi
2. Temas stabilizasyonlu ve çamur havalandırma sistemi
3. Kademeli beslemeli aktif çamur sistemi
4. Kademeli havalandırmalı aktif çamur sistemi
5. Uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi
6. Selektörler
7. Oksidasyon hendekleri (TBB,2015).



Şekil.2.2. Aktif çamur sistemlerinin çeşitli konfigürasyonları (ÇOB,2010).

2.4.5 Biyolojik Azot ve Fosfor Gideren Aktif çamur Sistemleri

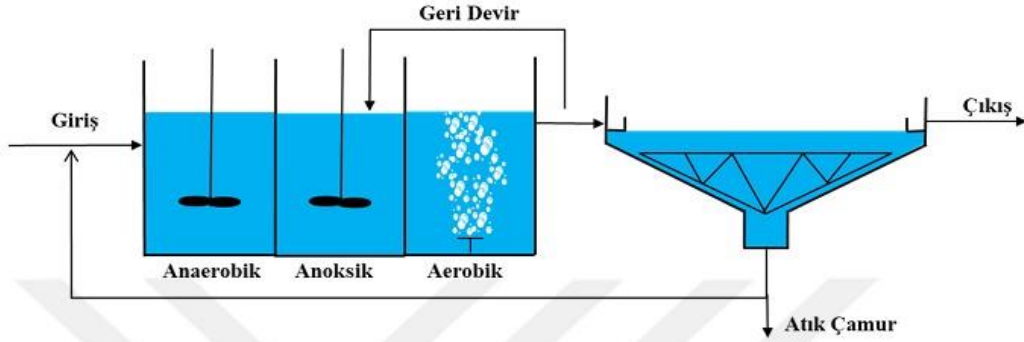
Fosfor ve azotun atıksudan arıtılması işlemi çeşitli konfigürasyonlarda gerçekleştirilebilir. Bu prosesler aşağıda verilmiştir.

2.4.5.1. A²/O Prosesi (Anaerobik-Anoksik-Oksik)

Bu proses, azotun nitrifikasyon ve denitrifikasyon yoluyla giderilmesinin yanı sıra, geliştirilen çok aşamalı yapı sayesinde fosfor giderimini de mümkün kılan biyolojik bir atıksu arıtma yöntemidir (Baeza vd., 2000).

A²/O prosesinde, anoksik ortamda denitrifikasyon süreci gerçekleşir. Bu aşamada bekleme süresi genellikle 1 saat civarındadır ve çözünmüş oksijen seviyesi düşük kalır. Nitrit ve nitrat şeklindeki kimyasal bağlı oksijen, havalandırma bölümünden geri devirle sisteme eklenir. Filtrasyon işlemi uygulanmadan, çıkıştaki fosfor seviyesi 2 mg/L'nin altına inebilir. Filtrasyon yapıldığında ise fosfor seviyesi 1,5 mg/L'nin altına düşebilir (Özkan, 2020).

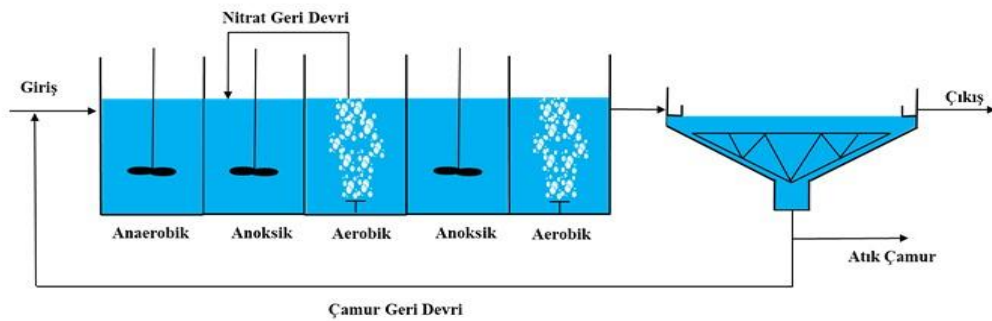
Günümüzde anaerobik/anoksik/aerobik A²/O işlemi, maliyet açısından avantajlı olması ve yüksek verimlilik sağlaması nedeniyle yaygın olarak kullanılan biyolojik besin maddesi giderim prosesidir (Fang vd., 2016). A²O prosesi Şekil 2.3 'te verilmiştir.



Şekil 2.3. A²/O prosesi (Atç1, 2024)

2.4.5.2. Bardenpho Prosesi

Bardenpho prosesi, azot ve fosforun uzaklaştırılması için tasarlanmış özel bir aktif çamur sistemidir. Barnard tarafından geliştirilmiş olan bu sistem, azot giderimini dört aşamada (anoksik-havalandırma-anoksik-havalandırma) nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçleriyle sağlar. Fosfor giderimi ise, geleneksel dört aşamalı Bardenpho sistemine bir anaerobik aşama eklenerek gerçekleştirilir. Bardenpo prosesi Şekil 2.2 'de verilmiştir (Emara vd., 2014).

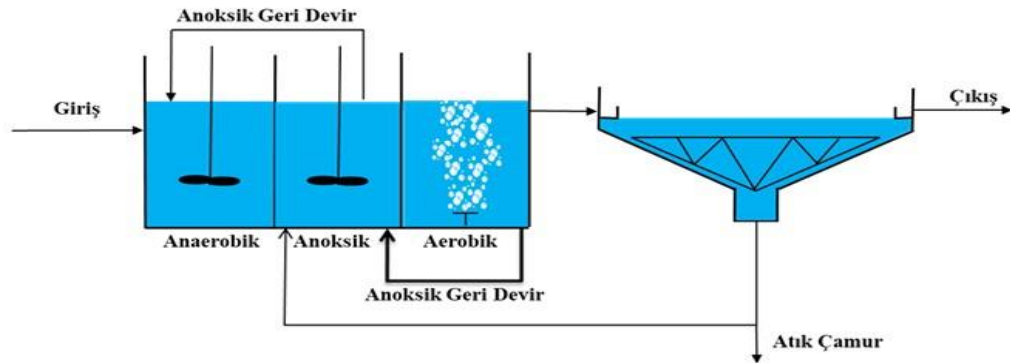


Şekil 2.4. Bardenpho prosesi (Atç1, 2024)

2.4.5.3. UCT Prosesi

Biyolojik nütrient giderimli aktif çamur sistemleri, ekonomik açıdan avantajlar sunarak ve daha az atık çamur üretimi gerçekleştirerek karbon, azot ve fosforun biyolojik yöntemlerle uzaklaştırılmasını sa lar. Atıksu arıtımında yaygın olarak kullanılan biyolojik nütrient giderimli aktif çamur sistemlerinden biri, Cape Town  niversitesi tarafından geliştirilen prosesidir (Vaiopoulou and Aivasidis, 2008).

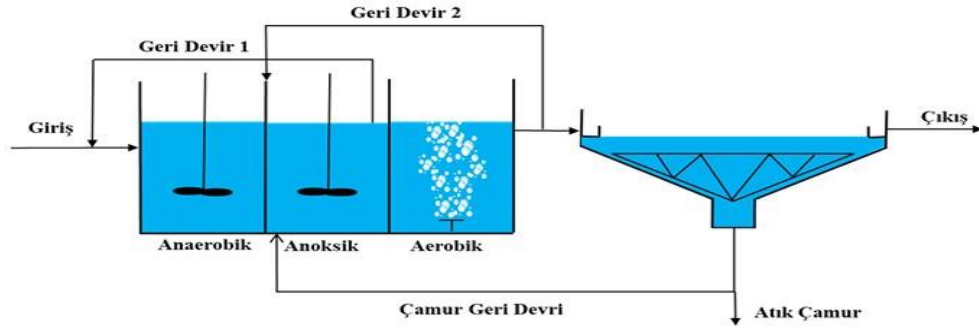
Bu proses, A²/O prosesine benzer şekilde iki ana farkla çalışır. Aktif  amur, havalandırma bölgesi yerine anoksik bölgeye gönderilir ve geri devir anoksik ortamdan anaerobik ortama yapılır. Bu sayede, nitratın anaerobik ortama girmesi engellenir ve fosforun daha iyi salınması sağlanır. İ  geri devir, anaerobik ortamda artan organik madde ihtiyacını karşılar. Anoksik bölgeden gelen su,     nm   BOŞ ve az miktarda nitrat içerir. Anoksik karışımın geri devri, anaerobik bölgede fermentasyon için optimum koşulları sa lar (Berkün, 2017). Şekil 2.4 ‘te UCT prosesi verilmektedir.



Şekil 2.5. UCT prosesi (Atçı, 2024)

2.4.5.4. VIP Prosesi

VIP prosesi, A²/O ve UCT proseslerine benzer şekilde çalışır. Aktif  amur, aerobik bölgeden geri devredilerek anoksik bölgeye gönderilir. Anoksik bölgedeki karışım ise anaerobik kısıma geri devredilir. Atıksudaki organik maddenin bir kısmı havasız mekanizmayla stabilize olur. Bu da prosesin oksijen gereksinimini azaltmaktadır (Balçık, 2017). Şekil 2.5.’te VIP prosesi verilmiştir.



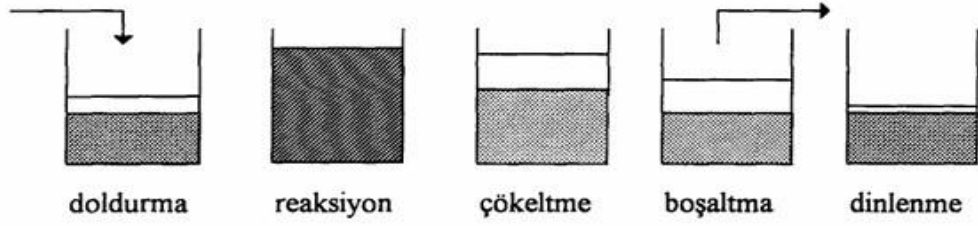
Şekil 2.6. VIP prosesi (Atç1, 2024)

2.5. Ardışık Kesikli Reaktörler

AKR prosesi, rafineriler ve petrokimya tesisleri de dahil olmak üzere çeşitli endüstrilerden gelen atıksuları ve kanalizasyon sularını arıtmak için kullanılan en popüler aerobik arıtma teknolojilerindendir. Bu teknoloji geleneksel aktif çamur sistemlerine kıyasla çeşitli operasyonel ve performans avantajları sunar. Ardışık kesikli reaktör sistemi, son çöktürme ve yüksek geri devir çamur pompalama kapasitesine olan ihtiyacı ortadan kaldıran, kesikli bir çalışma modunda tek bir havuz kullanılarak geleneksel bir aktif çamur tesisinin tüm işlevlerini gerçekleştirebilir (Tantak and Raina, 2014).

AKR sistemi, aktif çamur kullanılarak yapılan biyolojik atıksu arıtma yöntemlerinden biridir. Bu sistem, çözülmüş maddeler, askıda katı maddeler ve besin (nutrient) giderimi açısından etkili bir teknoloji olarak öne çıkar. Yağlar, şekerler, karbonhidratlar ve proteinler gibi organik bileşenlerin uzaklaştırılmasında %99 oranında yüksek bir verimlilik sağlar. AKR sistemi hem evsel atıksuların hem de endüstriyel kullanılmış suların etkin bir şekilde arıtılmasına imkân tanır. Ayrıca, sistem yüksek miktarda karbon oksidasyonu, nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçlerini gerçekleştirerek azot giderimini sağlar. Bunun yanı sıra, fosforun da biyolojik yollarla uzaklaştırılmasına yardımcı olur (Gezer ve İleri, 2004).

AKR prosesi, beş adımda gerçekleşir. Bu beş adım sırasıyla; doldurma, reaksiyon (karıştırma veya karıştırma+ havalandırma), çökeltme, atıksu boşaltma, çamur boşaltma. Şekil 2.6. te AKR döngüsü gösterilmektedir.



Şekil 2.7. AKR döngüsü (Taşlı, 1996)

Doldurma: Arıtılacak suyun AKR tankına alındığı evredir. Uygun bir F/M oranı ile arıtılacak su reaktöre kontrollü bir şekilde aktarılır.

Karıştırma/Havalandırma+Karıştırma: Karıştırma evresinde anoksik bir ortamın oluşumu amaçlanır ve daha çok denitrikasyonun oluşumu istenir. Havalandırma+karıştırma işlemi ile atıksuyun içeriğinde bulunan mikroorganizmaların etkileşimi sağlanır. Organik maddelerin oksitlenmesi sağlanırken, mevcut $\text{NH}_4\text{-N}$ ise daha az toksik olan $\text{NO}_3\text{-N}$ ve $\text{NO}_2\text{-N}$ formuna dönüşür. Bu aşamada havalandırma süresi ve AKM değeri arıtma verimini belirler.

Çöktürme: Bu evrede gerçekleşen reaksiyondan sonra karıştırma havalandırma gibi işlemler durdurularak su dinlenmeye bırakılır ve çamur çökelişi gerçekleşir. Yüzeyde arıtılmış su kalırken dipte çamur birikir. Çamurun çökeltme süresi proses döngü süresine bağlı olarak 45-60 dakika arasında değişkenlik gösterebilir.

Boşaltma: Bu evre çöktürme işleminden sonra yüzeyde kalan arıtılmış suyun alıcı ortama deşarj evresidir.

Çamur çekme: Sistemde oluşan fazla çamurun uzaklaştırılma evresidir (Kılıç, 2006).

2.5.1. Ardışık Kesikli Reaktörün Avantajları

1. Reaktör, doldurma aşamasında olsa bile dengeleme tankı görevi görerek, ani debi artışları ve yüksek BOİ yüklerini çıkış suyu kalitesini bozmayacak şekilde tolere edebilir.
2. Kirli su, belirli bir süre boyunca boşaltıldığında, istenen deşarj kriterlerine ulaşana kadar döngü süreleri veya havalandırma sürelerinde değişiklik yapılarak reaktörde tutulabilir.
3. Kirli suyun debisi düşük olduğu zamanlarda, seviye sensörleri sayesinde gereksiz enerji tüketimi önlenir.

4. Reaksiyon ve çökelme aşamaları aynı havuzda gerçekleştirildiği için ayrı bir çökeltme tankına ihtiyaç duyulmaz. Bu özellik, işletme ve başlangıç yatırım maliyetlerinde tasarruf sağlar.

5. Çökeltme tankına gerek olmadığı için çamur geri devir işlemi yapılmaz ve bu nedenle çamur geri devir pompalarına ihtiyaç duyulmaz.

6. Fosfor giderimi, nitrifikasyon, denitrifikasyon ya da ek kimyasal madde kullanımı gerektirmeden gerçekleştirilir (Gürsoy, 2006).

2.5.2. Ardışık Kesikli Reaktörün Dezavantajları

1. Dengeleme tankına ihtiyaç duyulabilir.

2. Reaktörler için otomatik süre ayarlayıcı bir kontrol mekanizması gerekebilir.

Bu gibi durumlar maliyet artırıcı olabileceğinden dolayı dezavantaj olarak varsayılabilir. (Akın, 2002).

2.5.3. Ardışık Kesikli Reaktörlerde Nütrient Giderimini Etkileyen Unsurlar

Ardışık kesikli reaktörlerde nütrient giderimini etkileyen bazı faktörler bulunmaktadır. Bunlar sıralanacak olursa; çözülmüş oksijen, çamur yaşı, hidrolik bekletme süresi, karbon kaynağı, faz süresi, ORP (oksidasyon redüksiyon potansiyeli) şeklindedir.

Çözülmüş Oksijen (ÇO): Aktif çamur proseslerinde, özellikle havalandırma aşamasında çözülmüş oksijen seviyesi son derece kritiktir. Oksijenin suda çözünürlüğü sınırlı olduğundan, oksijenin sürekli temin edilmesi ve eksikliğinin önlenmesi için oksijen transfer hızının oksijen tüketim hızından daha yüksek olması gerekir.

Çamur Yaşı (SRT): Çamur yaşı, tank içindeki mikroorganizmaların ne kadar süreyle orada bulunduğunu ifade eden bir tasarım parametresidir. Çamur yaşının düzenlenmesiyle, istenen mikroorganizma türlerinin dominant hale gelmesi sağlanırken, istenmeyen ve yavaş büyüyen türler sistemden uzaklaştırılır.

Hidrolik Bekletme Süresi (HRT): Atıksuyun tesise girişinden çıkışına kadar sistemde geçirdiği süreyi tanımlar. Bu parametre, biyolojik arıtmanın etkin bir şekilde

devam edebilmesi için çok önemlidir. Mikroorganizmaların substrat ve besin maddeleriyle etkileşim süresini belirler.

Karbon Kaynağı: Heterotrofik bakteriler, enerji üretmek ve çoğalmak için karbon kaynağına ihtiyaç duyarlar. Aerobik, anoksik ve anaerobik süreçlerin tümünde heterotrofik bakteriler kullanıldığından, biyolojik atıksu arıtımında organik maddeler karbon kaynağı olarak gereklidir.

Faz Süresi: Ardışık kesikli reaktör sistemlerinde farklı fazların bir arada işletilmesi, atıksuyun arıtılmasında kritik bir rol oynar. Örneğin, AKR sisteminde azot giderimi sağlanacaksa, havalandırma ve anoksik fazlar kullanılabilir. Fosfor giderimi içinse, aerobik faza ek olarak anaerobik faz da sisteme dahil edilmelidir.

Oksidasyon Redüksiyon Potansiyeli (ORP): ORP, suyun oksitlenme ya da indirgenme durumunu gösteren ve yükseltgen ya da indirgen ortamlarda elektron hareketliliğini izleyen bir parametredir. Örneğin, sudaki ORP değeri, ortamın biyolojik aktiviteyi destekleyip desteklemediği ve suyun anoksik ve anaerobik ortamlarda oksidasyon seviyesi hakkında bilgi sağlar. (Manav, 2006).

İleri biyolojik atıksu arıtma tesislerinde, aerobik, anoksik ve anaerobik bölgeler için beklenen oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP) değerleri aşağıdaki gibidir:

Aerobik bölge: Yaklaşık +100 mV ile +300 mV arasındadır.

Anoksik bölge: Yaklaşık -50 mV ile +50 mV arasındadır.

Anaerobik bölge: Genellikle -100 mV ile -200 mV arasındadır. Bu aralıklar, her bir bölgedeki tipik işletme koşulları altındaki beklenen ORP değerlerini ifade eder. Gerçek ORP değerlerinin, operasyonel parametreler, atıksu bileşimi ve arıtma hedeflerine bağlı olarak değişiklik gösterebileceği önemle belirtilmelidir. Arıtma sürecini etkili bir şekilde optimize etmek için düzenli izleme ve ayarlamalar gerekir (Srivastava vd., 2023).

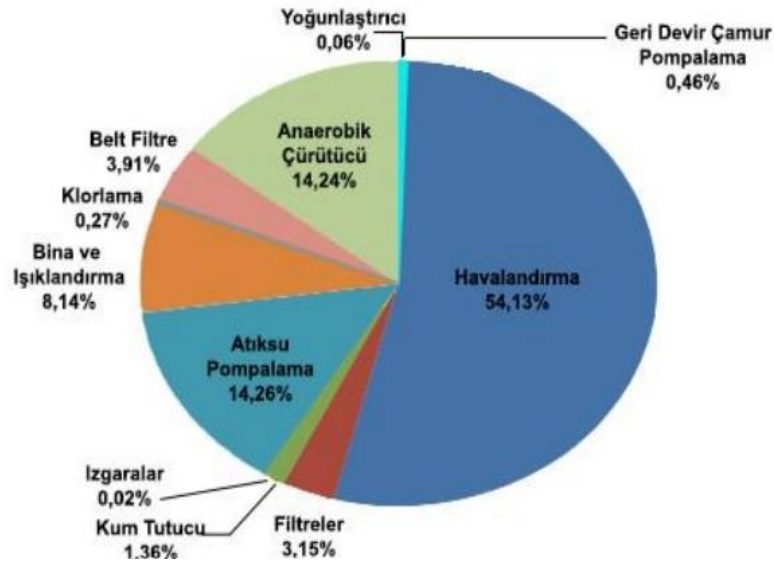
2.6 Arıtma Tesislerinde Enerji Verimliliği

Günümüzde var olan arıtma tesislerinin enerji tüketimleri için, alternatif entegre enerji kaynaklarına yönelimi arttırmış ve proses-ekipman-enerji verimliliği konusunda çeşitli çalışmalar dünyada olduğu gibi ülkemizde de yapılmaktadır.

Atıksu arıtma tesislerinin işletilmesi sırasında başlıca önemli giderleri elektrik tüketimi ve ekipman bakımları oluşturmaktadır. Bundan ötürü, verimliliği fazla aynı zamanda enerji tüketimi düşük ekipmanlar ve üniteler seçilmelidir.

Evsel atıksu arıtma tesislerinde enerji sarfiyatını etkileyen unsurlar sıralanacak olursa, tesislerde kullanılan arıtma teknolojileri, kalifiye personel varlığı, arıtma verimi, tesis kapasitesi, havalandırma sisteminin tipi, tesis hidrolik profili, üçüncül arıtma türü (ultraviyole (UV), ozon, kum filtre, disk filtre seçimi), susuzlaştırma ve kurutma tipidir (Erkan, 2019).

Şekil 2.7’de tipik bir AAT’nin enerji dağılımı verilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere enerji tüketimi en fazla havalandırma, atıksu pompalama ve anaerobik çürütmenin olduğu ünitelerdedir.



Şekil 2.8. AAT enerji dağılımı (Demirkol, 2021)

Konvansiyonel bir AAT’de elektrik tüketiminin en fazla olduğu kısımlar;

- Aktif çamur prosesinde havalandırma ya da damlatmalı filtrelerde giriş akımının pompalaması ve çıkış akımının geri devri,
- Atıksu, çamur, biyokatılar ve proses suyunun iletimi için pompalama mekanizmaları,
- Arıtma çamurunun susuzlaştırılması, kurutulması ve işlenmesi için kullanılan ünitelerdir (Demirkol, 2021).

3. GERÇEKLEŞTİRİLEN ÖRNEK ÇALIŞMALAR

Çalışmalar incelendiğinde, atıksuyun arıtımıyla alakalı birçok araştırma bulunmaktadır. Bu araştırmaların içerikleri, tesislerin projelendirilmesi ve işletme maliyetlerinin belirlenmesi, tesislerin arıtma veya enerji verimliliklerinin incelenmesi ve işletme sorunlarına yönelik çözüm önerileri içeriklidir.

Ayaz (2016), gerçekleştirdiği bir araştırmada, Mustafakemalpaşa İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinde bir yıl süresince alınan örneklerde KOİ, BOİ₅, AKM, TN ve TP parametreleri incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, elde edilen KOİ, BOİ₅, AKM, TN ve TP giderim verimlilikleri sırasıyla $\geq 87\%$, $\geq 95\%$, $\geq 93\%$, $\geq 51\%$ ve $\geq 34\%$ olarak belirlenmiştir. Tesisin işletme sürecinde giderim verimliliklerinde meydana gelen değişimler tespit edilerek, bunların sebepleri ortaya konulmuştur.

Barca (2024), batık tip membran biyoreaktör (MBR) teknolojisiyle donatılmış İznik AAT ve ileri biyolojik arıtma teknolojisine sahip Yenişehir AAT tesislerinde gri suyun arıtım verimliliğini karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Araştırmada, AKM, KOİ, BOİ₅, TN ve TP kirlilik parametrelerinin yanı sıra, su tüketimi, enerji harcaması ve debi değerleri de değerlendirilmiştir. Giderim verimlilikleri açısından, İznik AAT için AKM, KOİ, BOİ₅, TN ve TP parametrelerinin ortalama değerleri sırasıyla %97, %93, %97, %86 ve %81 iken, Yenişehir AAT için bu oranlar %95, %93, %98,9, %90 ve %90 olarak belirlenmiştir. Çıkış suyunun analizinde, tüm parametrelerin gerekli standartları sağladığı tespit edilmiştir. İznik ve Yenişehir AAT tesislerinde yapılan gözlemler sonucunda, KOİ başına enerji tüketimi sırasıyla $4,04 \pm 0,61$ ve $1,81 \pm 0,5$ kWh/KOİ olarak hesaplanmış, ayrıca arıtılan suyun metreküp başına enerji sarfıyatı İznik AAT için $1,35 \pm 0,1$ ve Yenişehir AAT için $0,67 \pm 0,13$ kWh/m³ olarak belirlenmiştir.

Durak (2020), gerçekleştirdiği çalışmasında atıksu arıtma tesislerinde kullanılan biyolojik arıtma yöntemlerini incelemiş ve bu yöntemlerin uygulama alanlarına değinmiştir. Ayrıca, tesislerin yapım tarihleri, biyolojik arıtma süreçleri, hizmet verdikleri nüfuslar ve kapasiteleri gibi genel özellikleri ele alınmış, işletme ile ilgili karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri değerlendirilmiştir. Farklı arıtma proseslerine sahip olan tesisler, İskele biyolojik atıksu arıtma tesisi (klasik aktif çamur), Edremit, Gevaş, Başkale, Çelebibağ ve Gölağzı ileri biyolojik atıksu arıtma tesisleri (uzun havalandırılmalı aktif çamur) arasında, arıtma verimi, işletme koşulları ve alıcı ortamın

özellikleri göz önünde bulundurularak karşılaştırılmıştır. Çalışmanın amacı, Van ilinin alıcı ortam, iklim koşulları ve coğrafi özelliklerine en uygun arıtma prosesini belirlemektir. Tesislerden alınan numune analiz sonuçlarına göre, AKM, KOİ, BOİ₅, TN ve TP parametrelerinin ortalama arıtma verimlilikleri sırasıyla şu şekilde belirlenmiştir: İskele A.A.T.'de %92, %82, %84 (TN ve TP giderimi yapılmamaktadır); Edremit A.A.T.'de %94, %95, %96, %85, %98; Gevaş A.A.T.'de %96, %90, %92, %78, %81; Başkale AAT.'de %95, %82, %86, %74, %71; Çelebibağı A.A.T.'de %95, %89, %90, %73, %72; Gölağzı A.A.T.'de %96, %89, %90, %82, %85 olarak tespit edilmiştir.

Akın (2017), Samsun İli'nin Havza ilçesinde yer alan Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'ne ait arıtma giriş ve çıkışlarında ölçülen KOİ, BOİ₅ ve AKM değerleri ile enerji tüketimini 13 aylık (1 yıl) bir süre boyunca incelemiştir. Bu veriler doğrultusunda, tesisin enerji ve arıtma arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Araştırma sonucunda, tesiste sırasıyla %96,9 AKM, %94,84 KOİ ve %94,8 BOİ₅ giderimi sağlandığı belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda, arıtılan yükle ilişkili olarak tesisin aylık enerji tüketiminin 60.245,94 kWh olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca, günlük bir kişinin tükettiği suyun arıtılması için gerekli enerji miktarı 6,1 W/kişi olarak hesaplanmıştır. Çalışmanın sonuçları, giderilen yük miktarının arttıkça, birim enerji tüketiminin azaldığını göstermektedir.

Azman (2005), "Evsel Atıksuların Arıtılmasında Arıtma Verimi-Enerji İlişkisinin İncelenmesi" başlıklı çalışmada, gerçek bir evsel atıksu arıtma tesisinde tasarım ve işletme parametrelerinin giriş ve çıkış verileri üzerinden yapılan analizle, arıtma verimliliği ve enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi ekonomik açıdan değerlendirmiştir. Bu çalışmada, KOİ-Enerji, BOİ₅-Enerji ve AKM-Enerji ilişkileri ele alınmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, tesisin genel verimliliği, AKM için %93, KOİ için %90 ve BOİ₅ için %95 olarak belirlenmiştir. Tesisin toplam enerji tüketimi incelendiğinde, AKM için 0,727 kWh/kg, KOİ için 0,390 kWh/kg ve BOİ₅ için 0,681 kWh/kg enerji sarfıyatı gözlemlenmiştir. Ayrıca, toplam enerji tüketimi ve tesise gelen günlük ortalama debi miktarları dikkate alındığında, her 1 m³ su için 0,1305 kWh enerji tüketimi hesaplanmıştır.

Yelmen (2015), Adana Büyükşehir Belediyesi Seyhan Atıksu Arıtma Tesisi'nde gerçekleştirdiği çalışmada, tesisin giriş ve çıkış parametrelerini inceleyerek, işletme ve tasarım verilerini karşılaştırmış ve tesisin ekonomik analizini yapmıştır. Araştırma

sonuçlarına göre, tesisin tüm giderim verimliliği, Kasım 2014 itibarıyla %87,30 olarak belirlenmiş, yıllık ortalama ise %67,17 olarak hesaplanmıştır. Tesisin aylık ortalama enerji tüketimi 331.251 kWh/m³ olarak bulunmuş ve metreküp başına enerji tüketimi 0,1770 kWh olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, tesisin tasarım hesaplamalarına dayanarak, eşdeğer nüfus ve günlük ortalama debi dikkate alındığında, kişi başına su tüketimi 5256 L.N/ay olarak belirlenmiştir. Tesisteki toplam enerji sarfiyatı ve eşdeğer nüfus dikkate alındığında, atıksu arıtımı için kişi başına aylık enerji tüketiminin 922 W olduğu hesaplanmıştır. Elde edilen verilere göre, giderilen yük arttıkça, birim enerji tüketiminin azaldığı gözlemlenmiştir.

Demirkol (2021), "Evsel ve Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesislerinin Enerji Verimlilikleri" başlıklı çalışmada, evsel ve endüstriyel atıksu arıtım süreçlerinde birim arıtım başına tüketilen enerji miktarlarını incelemiştir. Araştırma, Lüleburgaz ve Kırklareli OSB Atıksu Arıtma Tesisleri'nde (AAT) 2017, 2018 ve 2019 yıllarına ait KOİ (Kimyasal Oksijen İhtiyacı) verimliliklerinin aylık ortalamalarını karşılaştırmıştır. Lüleburgaz AAT'nin 2017 yılı ortalama KOİ verimliliği %94, 2018 ve 2019 yıllarında ise yine %94 olarak tespit edilmiştir. Kırklareli OSB AAT'sinde ise 2017 yılı için KOİ verimliliği %94, 2018 yılı için %93 ve 2019 yılı için %93 olarak belirlenmiştir. Her iki tesisin KOİ verimliliklerinin benzer olduğu göz önüne alındığında, tesislere gelen debiler farklı olmasına rağmen, her bir tesisin metreküp başına harcadığı enerji miktarı karşılaştırılmıştır. Lüleburgaz AAT'de 2017, 2018 ve 2019 yıllarında sırasıyla ortalama 0.330 kWh/m³, 0.309 kWh/m³ ve 0.322 kWh/m³ enerji tüketimi gerçekleşmiştir. Kırklareli OSB AAT'de ise bu değerler sırasıyla 1.559 kWh/m³, 0.946 kWh/m³ ve 0.979 kWh/m³ olarak bulunmuştur. Yapılan bu karşılaştırma sonucunda, endüstriyel atıksu arıtma tesislerinde yıllar boyunca harcanan enerji miktarının evsel tesislere göre her zaman daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, endüstriyel tesislerde arıtılacak suyun kirlilik yükünün genellikle fabrika atıkları ve kimyasal maddelerden kaynaklanmasıdır; bu da daha fazla enerji tüketimini zorunlu kılmaktadır. Buna karşın, evsel atıksu arıtma tesislerinde arıtılan su daha düşük kirlilik yüküne sahip olduğundan, enerji tüketimi nispeten daha düşük kalmaktadır.

Kavak (2016), Kayseri il sınırlarında bulunan beş farklı atıksu arıtma tesisini incelemiş ve bu tesislerdeki pH, AKM, KOİ ve BOİ₅ parametrelerinin giriş ve çıkış değerlerini belirleyerek uygulanan arıtma yöntemlerini karşılaştırmıştır. Elde edilen

analiz sonuçlarına göre, her bir arıtma yönteminin verimliliği farklılık göstermektedir. Aktif Çamur Yöntemi ile elde edilen arıtma verimleri sırasıyla AKM için %98, KOİ için %96 ve BOİ₅ için %99 olarak tespit edilmiştir. AKR uygulanan tesislerde ise bu değerler sırasıyla %92, %91 ve %96 olarak bulunmuştur. Membran Bioreaktör Yöntemi (MBR) ile yapılan arıtmada ise AKM, KOİ ve BOİ₅ giderim oranları sırasıyla %96, %95 ve %99 olarak ölçülmüştür. Buna karşın, Doğal Arıtma Yöntemi ile arıtılan suda AKM, KOİ ve BOİ₅ giderim verimleri sırasıyla %82, %56 ve %60 olarak belirlenmiştir. MBR teknolojisiyle çalışan arıtma tesisinde çıkış suyu, AKM, KOİ ve BOİ₅ açısından sırasıyla 5 mg/L, 28 mg/L ve 2 mg/L değerlerinde ölçülmüştür. Bu bulgular, farklı arıtma yöntemlerinin verimlilikleri arasındaki belirgin farkları ve her bir yöntemle elde edilen çıkış suyu kalitesini ortaya koymaktadır.

SI Ali vd. (2022), yaptıkları çalışmada Mısır'daki ardışık kesikli reaktör ve ileri ardışık kesikli reaktör atıksu arıtma tesislerinin işletme verimliliğini değerlendirmektedir. 24 tesisin denetiminden sonra, Al-Maamora, Al-Negeela, Khorshed No. 1 ve Khorshed No. 2 tesisleri, üstün performansları, iyi inşaat koşulları ve düzenleyici iş akışları nedeniyle seçilmiştir. Giriş ve çıkış örneklerinde KOİ, BOİ₅ ve AKM değerleri ölçülmüş, tesislerin güç tüketimi ve arıtma verimliliği karşılaştırılmıştır. Tesislerin aylık ortalama giriş miktarları sırasıyla 427058, 189581, 1019876 ve 144937 m³/ay, güç tüketimleri ise 56553, 69763, 178778 ve 49545 kW/ay olmuştur. Arıtma verimliliği, BOİ₅ için %92, KOİ için %91,75, AKM için ise %92,5 olarak bulunmuştur. Ardışık kesikli reaktör ve ileri ardışık kesikli reaktör tarafından bir kilogram BOİ₅'nin giderimi için tüketilen güç sırasıyla 0,932 kWh ve 1,58 kWh olarak ölçülmüştür. Bir metreküp atıksuyu arıtmak için ardışık kesikli reaktör ve ileri ardışık kesikli reaktör tesisleri sırasıyla 0,245 kWh ve 0,296 kWh enerji tüketmiştir. Sonuç olarak, ardışık kesikli reaktör teknolojisi daha düşük enerji tüketimi sağlarken, ileri ardışık kesikli reaktör, özellikle değişken yükler ve debiler için daha verimli bir seçenek olarak önerilmektedir.

4. MATERYAL

Çalışmanın bu kısmında dört farklı atıksu arıtma tesisinin (AAT) tanıtımı yapılmıştır. Hasanoğlu ve Lalahan Atıksu Arıtma Tesisleri Ankara ilinde bulunmakta ve ardışık kesikli reaktör (AKR) sistemiyle çalışmaktadır. Ondokuzmayıs ve Yakakent Atıksu Arıtma Tesisleri ise Samsun ilinde bulunmakta ve A²O prensibiyle çalışan arıtma tesisidir.

Bu tesislerden prosesleri, kirlilik konsantrasyonları, aylık enerji tüketimleri ve aylık tesise gelen debiler temin edilerek; kirlilik yükleri, birim kirlilik yüküne göre tüketilen enerji miktarı ve birim debiye göre tüketilen enerji miktarları tespit edilmiştir. Tesislerin 2023 ve 2024 yıllarına göre hesaplanan bu değerler grafikler ile detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Bu çalışma sonucunda AKR ve konvansiyonel sistemli tesisler enerji ve verimlilik yönünden kıyaslanıp tesisler arasındaki farklılıklar ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre tespit ve önerilerde bulunulmuştur.

4.1. Çalışma Alanı Tanıtılması

4.1.1. Hasanoğlu Atıksu Arıtma Tesis

Hasanoğlu Atıksu Arıtma Tesis, Elmadağ İlçesi Hasanoğlu Mahallesi yerleşim yerlerinden gelen atıksuların arıtılması amacıyla inşa edilmiştir. Tesis 3.000 m³/gün kapasiteli ve 25.000 kişi eşdeğer nüfusa göre, “Ardışık Kesikli Reaktör Sistemi” ile çalışacak şekilde “İleri Biyolojik Arıtma Sistemi” olarak tasarlanmıştır. Arıtılan sular, Hatip Çayı’na deşarj edilmektedir. Şekil 4.1’de tesisin genel görünümü verilmektedir.

Tesis,

- Tesis içi kollektör hatları ve by-pass yapısı
- Kaba Izgara yapısı
- Tambur ince ızgara ve paket tip havalandırmalı kum tutucu
- Terfi Merkezi
- Dengeleme Havuzu
- Dengeleme Terfi Merkezi

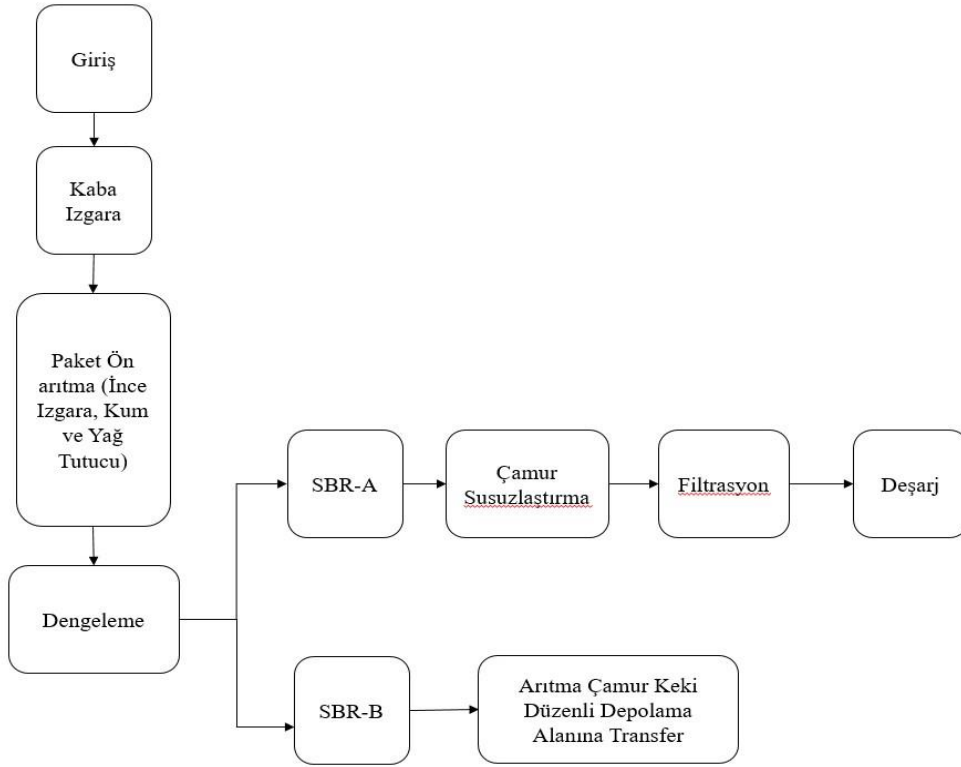
- SBR Tankları
- Çamur Depolama Tankı
- Çamur Susuzlaştırma Ünitesi (Dekantör)
- Blower ve Fazla Çamur Pompa Binası
- Mikrofiltrasyon (50 mikron) Yapısı
- Deşarj Yapısı
- Koku Arıtma Ünitesi (Scrubber)
- Trafo Binası
- İdari Bina

Yapılarından oluşmaktadır.



Şekil 4.1. Hasanoğlan atıksu arıtma tesisi

Hasanoğlan Atıksu Arıtma Tesisine ait akış şeması Şekil.4.2.'de gösterilmektedir.



Şekil.4.2. Hasanoğlan atıksu arıtma tesisi akım şeması

Proje hesaplarına göre AKR sistemli Hasanoğlan Atıksu Arıtma tesisiyle ilgili bilgiler Tablo 4.1’de verilmektedir.

Tablo 4.1. Hasanoğlan atıksu arıtma tesisi ile ilgili bilgiler

HASANOĞLAN ATIKSU ARITMA TESİSİ					
I.Kademe ortalama Tesis kapasitesi 3000 m ³ /gün					
II.Kademe ortalama Tesis kapasitesi 4500 m ³ /gün					
DEBİ	I. Kademe (2025) Nüfus=25000		II. Kademe (2045) Nüfus=37500		
	m ³ /sa	l/sn	m ³ /sa	l/sn	
Q _{Proje}	214	0,06	281	0,078	
Q _{maksimum}	250	0,069	375	0,104	
Q _{minimum}	81	0,023	122	0,034	
Q _{ortalama}	125	0,035	188	0,052	
Atıksu Kirlilik Yükleri					
Parametre	Kişi Başı Kirlilik Yükü (g/kişi.gün)	I. Kademe (2025)		II. Kademe (2045)	
		Nüfus=25000 kişi		Nüfus=37500 kişi	
		kg/gün	mg/l	kg/gün	mg/l
BOİ ₅	50	1250	416,67	1875	416,67
KOİ	70	1750	583,33	2625	583,33
TN	10	250	83,33	375	83,33
TP	3	75	25	113	25
AKM	60	1500	500	2250	500

4.1.2. Lalahan Atıksu Arıtma Tesis

Lalahan Atıksu Arıtma Tesis, Mamak İlçesi Lalahan Mahallesi yerleşim yerlerinden gelen atıksuların arıtılması amacıyla inşa edilmiştir. Tesis 1.500 m³/gün kapasiteli ve 12.500 kişi eşdeğer nüfusa göre, “Ardışık Kesikli Reaktör Sistemi” ile çalışacak şekilde “İleri Biyolojik Arıtma Sistemi” olarak tasarlanmıştır. Arıtılan sular, Hatip Çayı’na deşarj edilmektedir. Şekil 4.3’te tesisin genel görünümü verilmektedir.

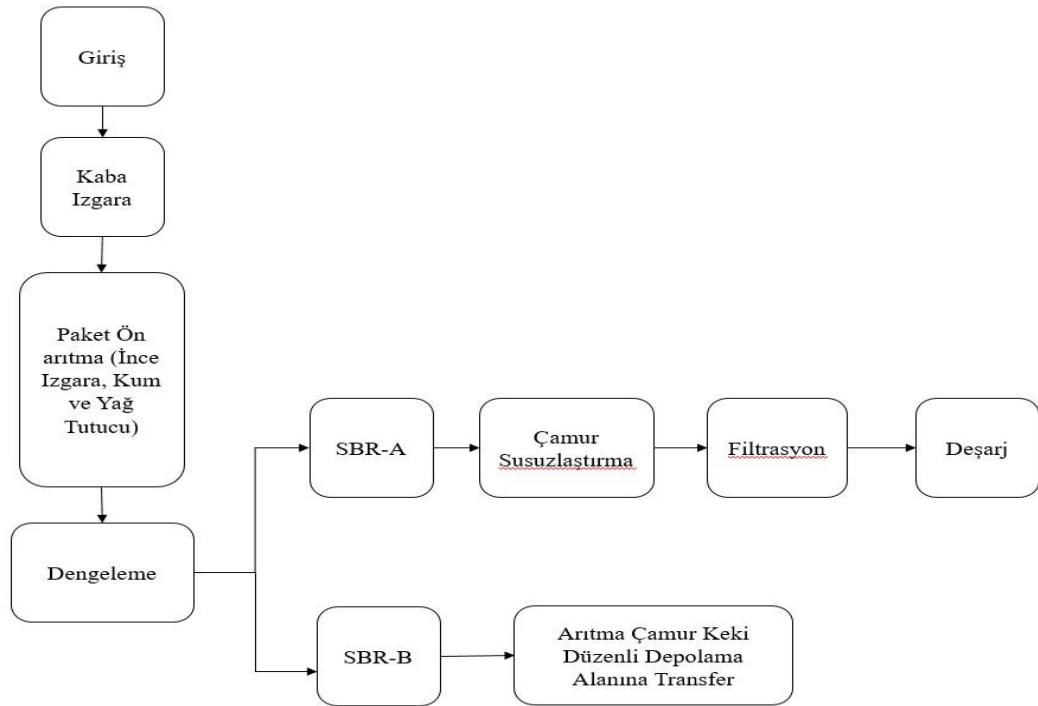
AKR Sistem atıksu arıtma tesisi,

- Tesis içi kollektör hatları ve by-pass yapısı
- Kaba Izgara yapısı
- Tambur ince ızgara ve paket tip havalandırmalı kum tutucu
- Terfi Merkezi
- Dengeleme Havuzu
- Dengeleme Terfi Merkezi
- SBR Tankları
- Çamur Depolama Tankı
- Çamur Susuzlaştırma Ünitesi (Dekantör)
- Blower ve Fazla Çamur Pompa Binası
- Mikrofiltrasyon (50 mikron) Yapısı
- Deşarj Yapısı
- Koku Arıtma Ünitesi (Scrubber)
- Trafo Binası
- İdari Bina yapılarından oluşmaktadır.



Şekil 4.3. Lalahan atıksu arıtma tesisi

Lalahan Atıksu Arıtma Tesisine ait akış şeması Şekil.4.4.'te gösterilmektedir.



Şekil.4.4.Lalahan atıksu arıtma tesisi akım şeması

Proje hesaplarına göre AKR sistemli Lalahan Atıksu Arıtma Tesisine ilgili bilgiler Tablo 4.2’de verilmektedir.

Tablo 4.2. Lalahan atıksu arıtma tesisi ile ilgili bilgiler

LALAHAN ATIKSU ARITMA TESİSİ				
I.Kademe ortalama Tesis kapasitesi 1500 m ³ /gün				
II.Kademe ortalama Tesis kapasitesi 2250 m ³ /gün				
DEBİ	I. Kademe (2025)		II. Kademe (2045)	
	Nüfus=12500		Nüfus=18750	
	m³/sa	l/sn	m³/sa	l/sn
Q_{proje}	107	0,03	141	0,039
Q_{maksimum}	125	0,035	188	0,052
Q_{minimum}	41	0,011	61	0,017
Q_{ortalama}	63	0,017	94	0,026

Atıksu Kirlilik Yükleri					
Parametre	Kişi Başı Kirlilik Yükü (g/kişi.gün)	I. Kademe (2025)		II. Kademe (2045)	
		Nüfus=12500 kişi		Nüfus=18750 kişi	
		kg/gün	mg/lt	kg/gün	mg/lt
BOİ₅	50	625	416,67	938	416,67
KOİ	70	875	583,33	1313	583,33
TN	10	125	83,33	188	83,33
TP	3	38	25	56	25
AKM	60	750	500	1125	500

4.1.3. Ondokuz Mayıs Atıksu Arıtma Tesisi

Ondokuz Mayıs Atıksu Arıtma Tesisi, Samsun Ondokuz Mayıs İlçesi'ndeki yerleşim yerlerinden gelen atıksuların arıtılması amacıyla inşa edilmiştir. Tesis 18.12.2019 tarihinde işleme alınmıştır. 3840 m³/gün kapasiteli ve 24.000 kişi eşdeğer nüfusa göre, “Konvansiyonel İleri Biyolojik Arıtma Sistemi” olarak tasarlanmıştır. Arıtılan sular, Karadeniz'e deşarj edilmektedir. Şekil 4.5'te tesisin genel görünümü verilmektedir.

Ondokuz Mayıs Atıksu Arıtma Tesisi,

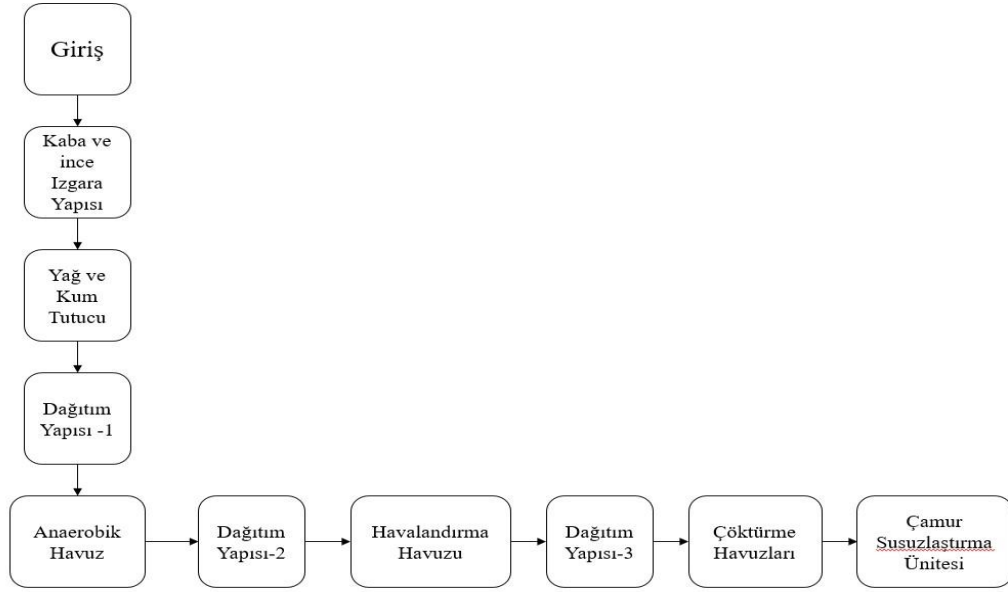
- Tesis içi kollektör hatları ve by-pass yapısı
- Kaba Izgara ve ince ızgara yapısı
- Yağ ve kum tutucu
- Dağıtım yapısı-1
- Anaerobik Havuz
- Dağıtım Yapısı-2
- Havalandırma Havuzu

- Dağıtım Yapısı-3
- Çöktürme Havuzları
- Çamur Susuzlaştırma Ünitesi (Dekantör)
- Blower Binası
- Trafo Binası
- İdari Bina yapılarından oluşmaktadır.



Şekil 4.5. Ondokuz Mayıs atıksu arıtma tesisi

Ondokuz Mayıs Atıksu Arıtma Tesisine ait akış şeması Şekil 4.6.’da gösterilmektedir.



Şekil.4.6. Ondokuz Mayıs atıksu arıtma tesisi akım şeması

Proje hesaplarına göre konvansiyonel sistemli Ondokuz Mayıs Atıksu Arıtma Tesisi ile ilgili bilgiler Tablo 4.3’te verilmektedir.

Tablo 4.3. Ondokuz Mayıs atıksu arıtma tesisi ile ilgili bilgiler

ONDOKUZ MAYIS ATIKSU ARITMA TESİSİ					
I.Kademe ortalama Tesis kapasitesi 2226,60 m ³ /gün					
II.Kademe ortalama Tesis kapasitesi 3380,40 m ³ /gün					
DEBİ	I. Kademe (2024)		II. Kademe (2044)		
	Nüfus=24000		Nüfus=35000		
	m ³ /sa	l/sn	m ³ /sa	l/sn	
Q _{proje}	92,78	26	242,55	67	
Q _{maksimum}	190,93	53	289,55	80	
Q _{minimum}	59,68	17	90,81	25	
Q _{ortalama}	92,78	26	140,85	39	
Atıksu Kirlilik Yükleri					
Parametre	Kişi Başı Kirlilik Yükü (g/kişi.gün)	I. Kademe (2024)		II. Kademe (2044)	
		Nüfus=24000 kişi		Nüfus=35000 kişi	
		kg/gün	mg/l	kg/gün	mg/l
BOİ ₅	30	625	416,67	938	416,67
TN	5	125	83,33	188	83,33
TP	1	38	25	56	25
AKM	50	750	500	1125	500

4.1.4. Yakakent Atıksu Arıtma Tesisi

Yakakent Atıksu Arıtma Tesisi, Samsun Yakakent İlçesi’ndeki yerleşim yerlerinden gelen atıksuların arıtılması amacıyla inşa edilmiştir. Tesis 02.07.2018 tarihinde işleme alınmıştır. 1500 m³/gün kapasiteli ve 14.000 kişi eşdeğer nüfusa göre, “Konvansiyonel İleri Biyolojik Arıtma Sistemi” olarak tasarlanmıştır. Arıtılan

sular, Fadime Deresi'ne deşarj edilmektedir. Şekil 4.7'de tesisin genel görünümü verilmektedir.

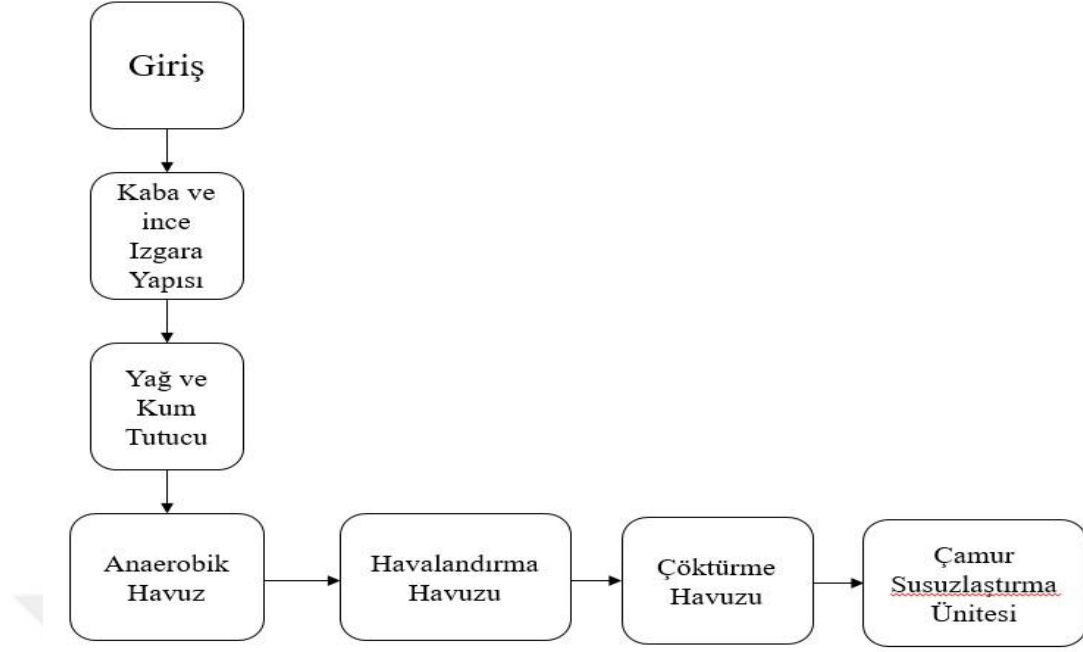
Yakakent Atıksu Arıtma Tesisi,

- Tesis içi kollektör hatları ve by-pass yapısı
- Kaba Izgara ve ince ızgara yapısı
- Yağ ve kum tutucu
- Anaerobik Havuz
- Havalandırma Havuzu
- Çöktürme Havuzu
- Çamur Susuzlaştırma Ünitesi (Dekantör)
- Blower Binası
- Trafo Binası
- İdari Bina yapılarından oluşmaktadır.



Şekil 4.7. Yakakent atıksu arıtma tesisi

Yakakent Atıksu Arıtma Tesisine ait akış şeması Şekil 4.8.'de gösterilmektedir.



Şekil.4.8. Yakakent atıksu arıtma tesisi akım şeması

Proje hesaplarına göre konvansiyonel sistemli Yakakent Atıksu Arıtma Tesisi ile ilgili bilgiler Tablo 4.4’te verilmektedir.

Tablo 4.4. Yakakent atıksu arıtma tesisi ile ilgili bilgiler

YAKAKENT ATIKSU ARITMA TESİSİ					
I.Kademe ortalama Tesis kapasitesi 1500 m ³ /gün					
II.Kademe ortalama Tesis kapasitesi 2250 m ³ /gün					
DEBİ	I. Kademe (2025)		II. Kademe (2045)		
	Nüfus=9000		Nüfus=16000		
	m ³ /sa	l/sn	m ³ /sa	l/sn	
Q _{proje}	62.50	17,36	93,75	26,04	
Q _{maksimum}	112,71	31,31	179,17	49,77	
Q _{minimum}	45	12,5	65,42	18,17	
Q _{ortalama}	62,5	1736	93,75	26,04	
Atıksu Kirlilik Yükleri					
Parametre	Kişi Başı Kirlilik Yükü (g/kişi.gün)	I. Kademe (2025)		II. Kademe (2045)	
		Nüfus=14000 kişi		Nüfus=23500 kişi	
		kg/gün	mg/l	kg/gün	mg/l
BOİ ₅	35	490	326,67	822,5	365,56
KOİ	70	980	653,33	1645	731,11
TN	6	84	56	141	62,67
TP	1	14	9,33	23,5	10,44
AKM	40	560	373,33	940	417,78

4. METOD

Ankara ili Elmadağ ilçesi Hasanoğlu Mahallesi'nde bulunan ve Ankara ili Mamak ilçesi Lalahan Mahallesi'nde bulunan Hasanoğlu ve Lalahan Atıksu Arıtma Tesislerinde yine Samsun ili Ondokuz Mayıs ve Yakakent ilçelerinde bulunan Atıksu Arıtma Tesislerinde 12 ay boyunca izleme yapılmıştır. Tesis girişindeki aylık debiler, KOİ, BOİ₅, AKM, TN ve TP değerleri, tesis çıkışında KOİ, BOİ₅, AKM, TN ve TP değerleri ve tesislerin aylık enerji tüketimleri elde edilmiştir. Elde edilen bu verilere dayanarak, arıtma tesisinin giriş-çıkış yükleri ve kirletici giderim verimleri, giderilen birim kirletici miktarları başına enerji sarfiyatları incelenip KOİ, BOİ₅, AKM, TN ve TP parametreleriyle her bir tesis için (yıllık ortalama kWh/gün/ yıllık ortalama giderilen yük) formülü kullanılarak kWh/kg cinsinden giderim-enerji değerleri ve yine (kWh/gün/m³/gün) formülüyle m³ başına tüketilen enerji miktarları hesaplanarak grafikler oluşturulmuştur. Tesislerden temin edilen verilere göre yıllık ortalama numune analiz değerleri Tablo 4.5'te, yıllık ortalama enerji tüketimleri ve debi değerleri Tablo 4.6.'da verilmektedir.

Tablo 4.5. Tesislerin yıllık ortalama numune analiz değerleri

	AKM			BOİ			KOİ			TN			TP		
	Giriş	Çıkış	Deşarj Kriteri	Giriş	Çıkış	Deşarj Kriteri	Giriş	Çıkış	Deşarj Kriteri	Giriş	Çıkış	Deşarj Kriteri	Giriş	Çıkış	Deşarj Kriteri
Hasanoğlu	153,60	19,67		166,06	16,08		313,65	46,83		33,02	12,45		5,95	1,61	
Lalahan	212,85	11,47	≤35	157,39	9,64	≤25	315,03	26,75	≤125	19,43	7,65	≤15	1,78	0,69	≤2
Ondokuz Mayıs	143,83	22,59		142,92	17,33		398,92	48,72		39,39	10,12		4,10	0,87	
Yakakent	127,74	23,89		77,05	18,25		223,67	48,60		38,77	9,86		4,25	0,93	

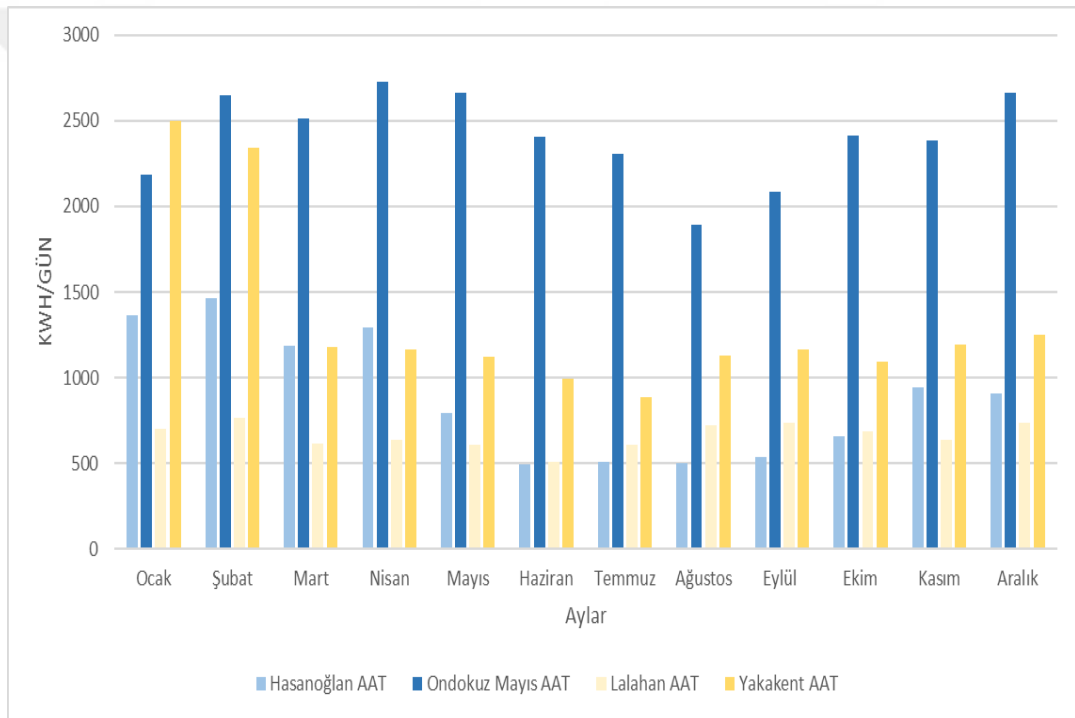
Tablo 4.6. Tesislerin yıllık ortalama enerji tüketim ve debi değerleri

	Hasanoğlu AAT	Ondokuz Mayıs AAT	Lalahan AAT	Yakakent AAT
kWh/gün	889	2407	663	1335
m ³ /gün	2946	3975	1751	1308

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Tesislerin Enerji Tüketimleri

Şekil 5.1’de görüldüğü üzere 12 ay boyunca AAT’lerde tüketilen enerji miktarları ortaya konulmuştur. İncelenen atıksu arıtma tesisleri arasında genel olarak en yüksek enerji tüketimi Konvansiyonel sistemli ~3000 m³/gün kapasiteli Ondokuz Mayıs AAT’de görülmektedir. ~1500 m³/gün kapasiteli Lalahan ve Yakakent AAT’leri arasında ise yine konvansiyonel sistemli Yakakent AAT’nin daha fazla enerji tüketimine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Tesislerin aylık enerji dağılımları incelenecek olursa, genellikle kasım, aralık, ocak ve şubat aylarında daha fazla enerji tükettikleri görülmektedir.



Şekil 5.1. Tesislere ait enerji tüketim değerleri

5.2. Tesislerin Debi Değerleri

Hasanoğlu AAT’sinin proje tasarımında belirlenen I. Kademe ortalama tesis kapasitesi 3000 m³/gün, II. Kademe ortalama tesis kapasitesi 4500 m³/gün’dür. 12 ay boyunca elde edilen verilere bakıldığında Hasanoğlu AAT yıllık ortalama 2946,41 m³/gün su arıtmakta ve tesisin I. Kademe ortalama debi değerine ulaşamadığı görülmektedir.

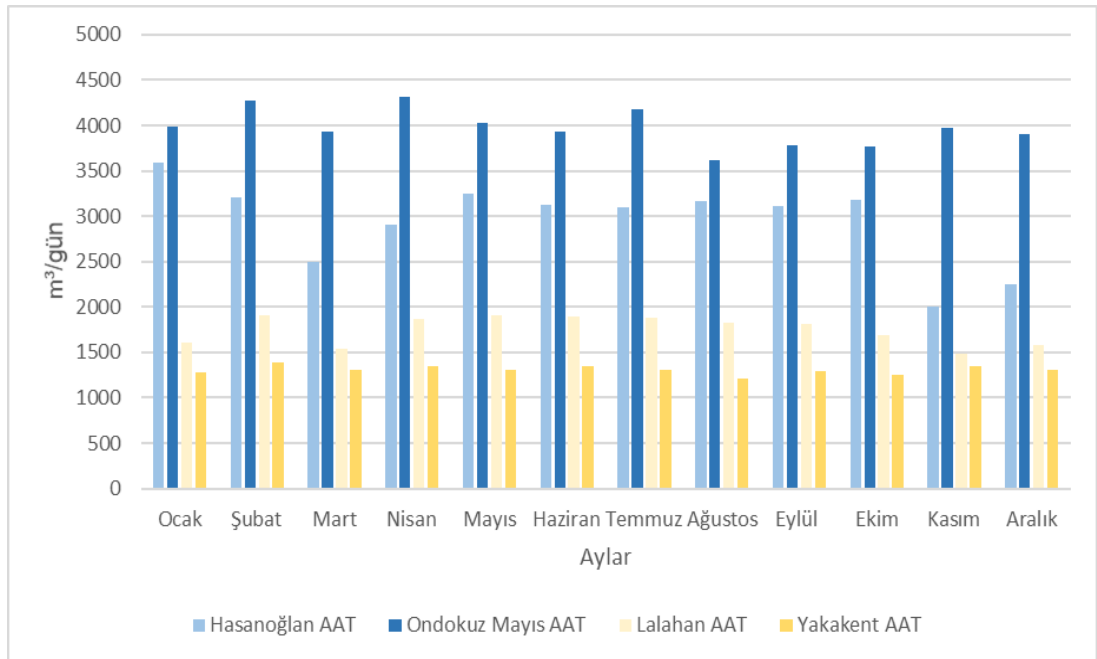
Ondokuz Mayıs AAT'sinin proje tasarımında belirlenen I. Kademe ortalama tesis kapasitesi 2226,60 m³/gün, II. Kademe ortalama tesis kapasitesi 3380,40 m³/gün'dür. 12 ay boyunca elde edilen verilere bakıldığında Ondokuz Mayıs AAT yıllık ortalama 3975 m³/gün su arıtmakta ve tesisin II. Kademe ortalama debi değerini aştığı görülmektedir.

Lalahan AAT'sinin proje tasarımında belirlenen I. Kademe ortalama tesis kapasitesi 1500 m³/gün, II. Kademe ortalama tesis kapasitesi 2250 m³/gün'dür. 12 ay boyunca elde edilen verilere bakıldığında Lalahan AAT yıllık ortalama 1751 m³/gün su arıtmakta ve tesisin I. Kademe ortalama debi değerini aştığı görülmektedir.

Yakakent AAT'sinin proje tasarımında belirlenen I. Kademe ortalama tesis kapasitesi 1500 m³/gün, II. Kademe ortalama tesis kapasitesi 2250 m³/gün'dür. 12 ay boyunca elde edilen verilere bakıldığında Yakakent AAT yıllık ortalama 1380 m³/gün su arıtmakta ve tesisin I. Kademe ortalama debi değerine ulaşamadığı görülmektedir.

Şekil 5.2'de tesislere ait elde edilen 12 ay boyunca benzer kapasiteli farklı sistemlerde işletilen tesisler kıyaslanmış, Konvansiyonel sistemli Ondokuz Mayıs AAT'sine yıl boyunca AKR sistemli Hasanoğlan AAT'sine kıyasla daha fazla atıksu arıttığı gözlemlenmiştir.

Yine benzer kapasiteli tesislerden, AKR sistemli Lalahan AAT, konvansiyonel sistemli Yakakent AAT'sinden yıl boyunca daha fazla atıksu arıttığı gözlemlenmiştir.

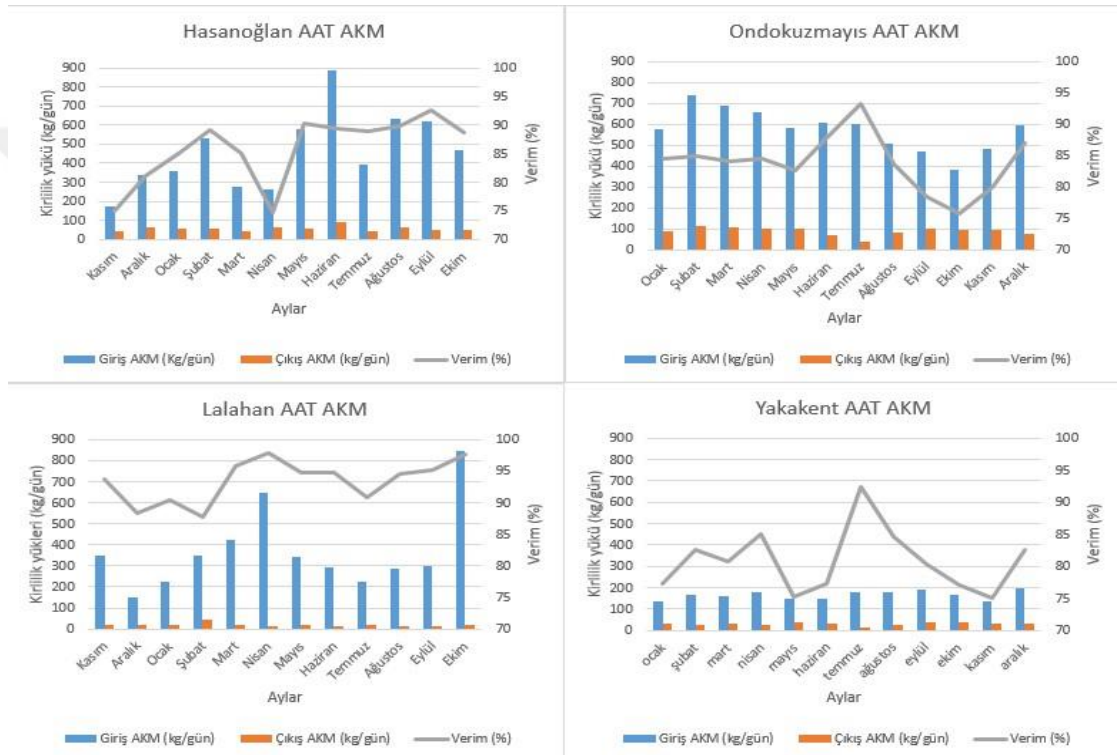


Şekil 5.2. Tesislere ait debi değerleri

5.3. Tesislere Ait Kirlilik Yükü-Verimlerinin İncelenmesi

Hasanoğlu, Lalahan, Ondokuz Mayıs, Yakakent Atıksu Arıtma Tesislerinden, tesis giriş ve çıkışlarından 12 ay süresince alınan numunelerde AKM, KOİ, BOİ₅, TN ve TP parametrelerine dair analizler yapılmış elde edilen sonuçlara göre kirlilik yükü-verim grafikleri oluşturulmuştur.

Askıda Katı Madde: Şekil 5.3'te AKM parametresine ait kirlilik yükü-verim grafikleri görülmektedir. Elde edilen veriler doğrultusunda oluşturulan grafiklerde, tesislerin AKM parametresi üzerinden verimlilikleri izlenmiştir.



Şekil 5.3. Arıtma tesislerinin giriş ve çıkış AKM yükleri ve AKM giderim verimleri 12 ay süre ile yapılan AKM ölçümlerinde;

Hasanoğlu Atıksu Arıtma Tesisinde, girişte yıllık AKM ortalaması 470,84 kg/gün, çıkışta 58,46 kg/gün olup tesisin yıllık ortalama giderim verimi %85,52'dir. Tesisin giderim verimine mevsimsel olarak bakıldığında yaz aylarında daha yüksek olduğu görülmektedir.

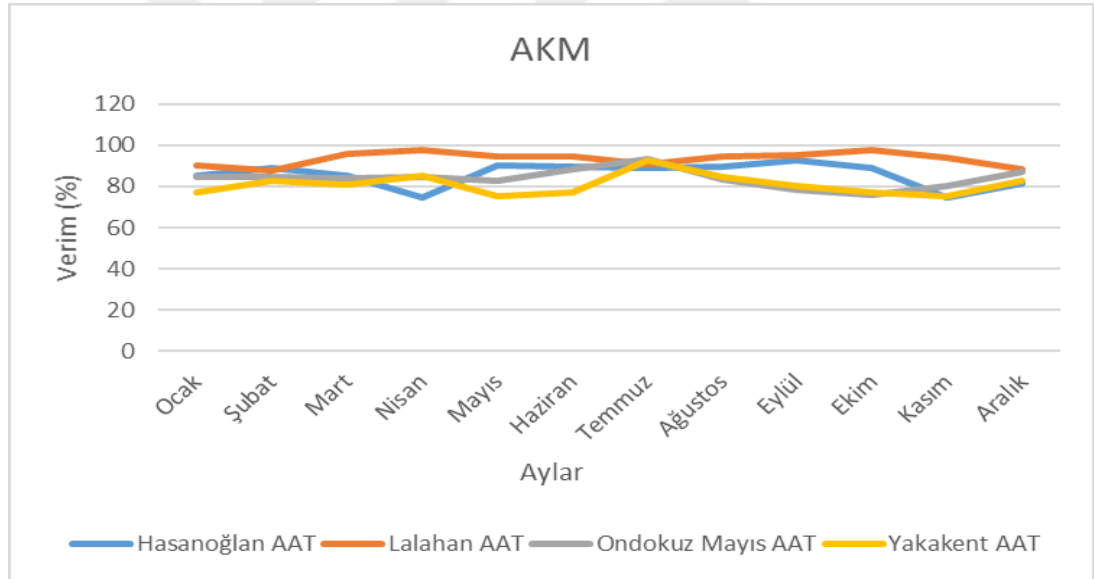
Ondokuz Mayıs Atıksu Arıtma Tesisinde, girişte yıllık AKM ortalaması 573,72 kg/gün, çıkışta 89,62 kg/gün olup tesisin yıllık ortalama giderim verimi %83,92'dir. Tesisin giderim verimine mevsimsel olarak bakıldığında yaz aylarında daha yüksek olduğu görülmektedir.

Benzer kapasitede olan iki farklı sistemli tesisin AKM giderim verimlerinin birbirlerine yaklaşık değerlerde olduğu görülmektedir.

Lalahan Atıksu Arıtma Tesisinde, girişte yıllık AKM ortalaması 370,37 kg/gün, çıkışta 20 kg/gün olup tesisin yıllık ortalama giderim verimi %93,48'dir. Tesisin giderim verimine mevsimsel olarak bakıldığında ilkbahar aylarında daha yüksek olduğu görülmektedir.

Yakakent Atıksu Arıtma Tesisinde, girişte yıllık AKM ortalaması 166,70 kg/gün, çıkışta 31,20 kg/gün olup tesisin yıllık ortalama giderim verimi %80,89'dur. Tesisin giderim verimine mevsimsel olarak bakıldığında yaz aylarında daha yüksek olduğu görülmektedir.

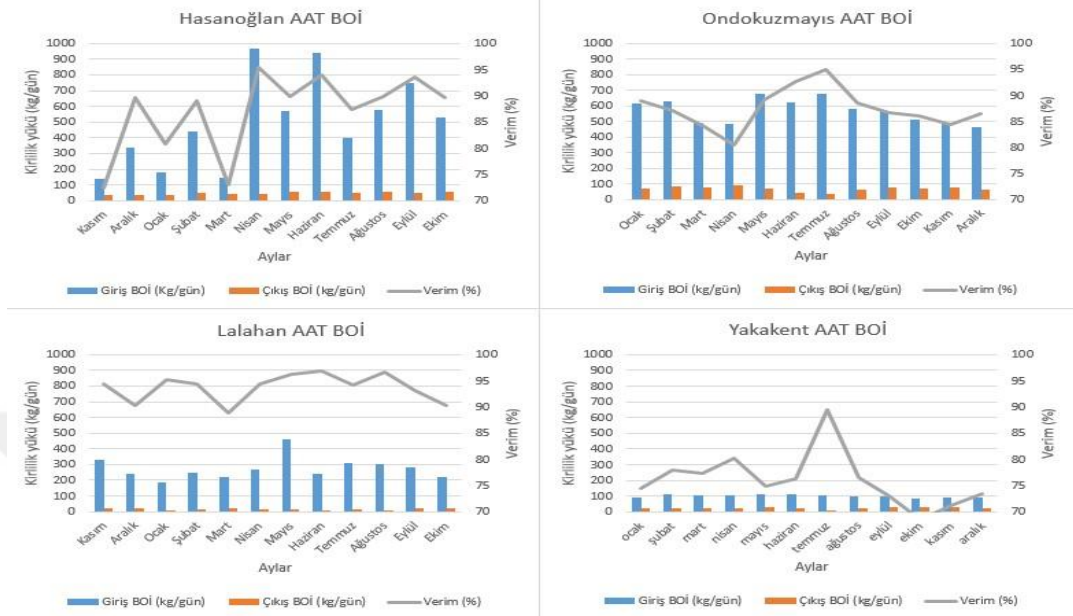
Benzer kapasitede olan iki farklı sistemli tesisin yıllık ortalama AKM giderim verimlerine bakıldığında AKR sistemli Lalahan Atıksu Arıtma Tesisinin daha verimli işletime sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 5.4. Arıtma tesislerinin AKM giderim verimleri

Şekil 5.4.'te tesislere göre AKM verimlilikleri gösterilmektedir. AKM gideriminde tüm tesisler genel olarak başarılı bir performans sergilemektedir. Verimlilik genellikle %70'in üzerinde olup, çoğu tesiste %80-%100 aralığında seyretmektedir. Lalahan ve Yakakent AAT görece daha stabil bir performans sergilerken, Hasanoğlu ve Ondokuz Mayıs AAT'de belirli dönemlerde verim düşüşleri gözlenmektedir. Tesislerde AKM giderim performansını daha stabil hale getirebilmesi için mevsimsel değişiklikler göz önünde bulundurularak işletme stratejileri uyarlanabilir.

Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı: Şekil 5.5 'te BOI_5 parametresine ait kirlilik yükü-verim grafikleri görülmektedir. Elde edilen veriler doğrultusunda oluşturulan grafiklerde, tesislerin BOI_5 parametresi üzerinden verimlilikleri izlenmiştir.



Şekil 5.5. Arıtma tesislerinin giriş ve çıkış BOI_5 yükleri ve BOI_5 giderim verimleri

12 ay süre ile yapılan BOI_5 ölçümlerinde;

Hasanoğlu Atıksu Arıtma Tesisinde, girişte yıllık BOI_5 ortalaması 497,55 kg/gün, çıkışta 46,95 kg/gün olup tesisin yıllık ortalama giderim verimi %87,09'dur. Tesisin giderim verimine mevsimsel olarak bakıldığında ilkbahar aylarında daha yüksek olduğu görülmektedir.

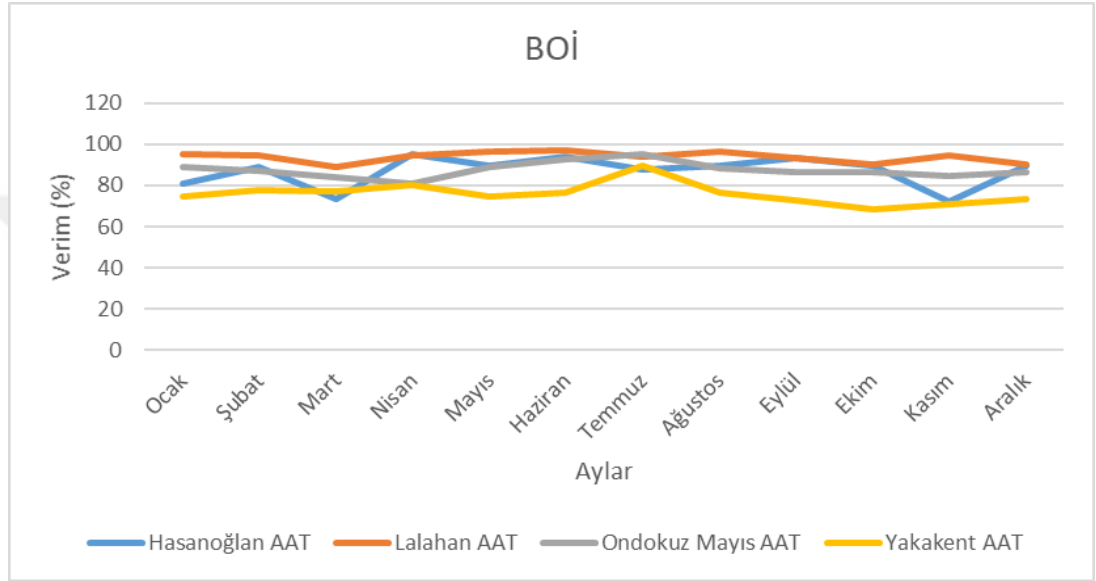
Ondokuz Mayıs Atıksu Arıtma Tesisinde, girişte yıllık BOI_5 ortalaması 461,34 kg/gün, çıkışta 33,39 kg/gün olup tesisin yıllık ortalama giderim verimi %80,58'dir. Tesisin giderim verimine mevsimsel olarak bakıldığında yaz aylarında daha yüksek olduğu görülmektedir.

Benzer kapasitede olan iki farklı sistemli tesisin BOI_5 giderim verimlerinin birbirlerine yaklaşık değerlerde olduğu görülmektedir.

Lalahan Atıksu Arıtma Tesisinde, girişte yıllık BOI_5 ortalaması 275,44 kg/gün, çıkışta 16,52 kg/gün olup tesisin yıllık ortalama giderim verimi %93,73'tür. Tesisin giderim verimine mevsimsel olarak bakıldığında ilkbahar aylarında daha yüksek olduğu görülmektedir.

Yakakent Atıksu Arıtma Tesisinde, girişte yıllık BOİ₅ ortalaması 100,77 kg/gün, çıkışta 23,83 kg/gün olup tesisin yıllık ortalama giderim verimi %76,11’dir. Tesisin giderim verimine mevsimsel olarak bakıldığında yaz aylarında daha yüksek olduğu görülmektedir.

Benzer kapasitede olan iki farklı sistemli tesisin BOİ₅ giderim verimlerine bakıldığında AKR sistemli Lalahan Atıksu Arıtma Tesisinin daha verimli işleme sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 5.6. Arıtma tesislerinin BOİ₅ giderim verimleri

Şekil 5.6.’da tesislere göre BOİ₅ verimlilikleri gösterilmektedir. Tüm tesislerin yıl boyunca BOİ₅ giderim verimlilikleri %70-100 arasında değişmektedir. Bu durum, tesislerin genel olarak yüksek verimlilikte çalıştığını göstermektedir. Eğriler arasında belirgin dalgalanmalar olmamakla birlikte, aylara göre küçük değişimler mevcuttur. Bu durum, mevsimsel faktörlerin ve işletme değişikliklerinin verimliliği sınırlı düzeyde etkilendiğini gösterir. Lalahan AAT ‘nin diğer tesislere kıyasla daha yüksek ve kararlı bir BOİ₅ giderim verimine sahip olduğu gözlemlenmektedir. Bu Lalahan AAT’nin proses tasarımı, işletme stratejileri veya kullanılan arıtma sistemlerinin daha etkin olduğu anlamına gelebilir.

Kimyasal Oksijen İhtiyacı: Şekil 5.7 ‘de KOİ parametresine ait kirlilik yükü-verim grafikleri görülmektedir. Elde edilen veriler doğrultusunda oluşturulan grafiklerde, tesislerin KOİ parametresi üzerinden verimlilikleri izlenmiştir.



Şekil 5.7. Arıtma tesislerinin giriş ve çıkış KOİ yükleri ve KOİ giderim verimleri

12 ay süre ile yapılan KOİ ölçümlerinde;

Hasanoğlu Atıksu Arıtma Tesisinde, girişte yıllık KOİ ortalaması 937,23 kg/gün, çıkışta 136,55 kg/gün olup tesisin yıllık ortalama giderim verimi %80,49'dur. Tesisin giderim verimine mevsimsel olarak bakıldığında yaz aylarında daha yüksek olduğu görülmektedir.

Ondokuz Mayıs Atıksu Arıtma Tesisinde, girişte yıllık KOİ ortalaması 1582,97 kg/gün, çıkışta 193,70 kg/gün olup tesisin yıllık ortalama giderim verimi %87,65'tir. Tesisin giderim verimine mevsimsel olarak bakıldığında yaz aylarında daha yüksek olduğu görülmektedir.

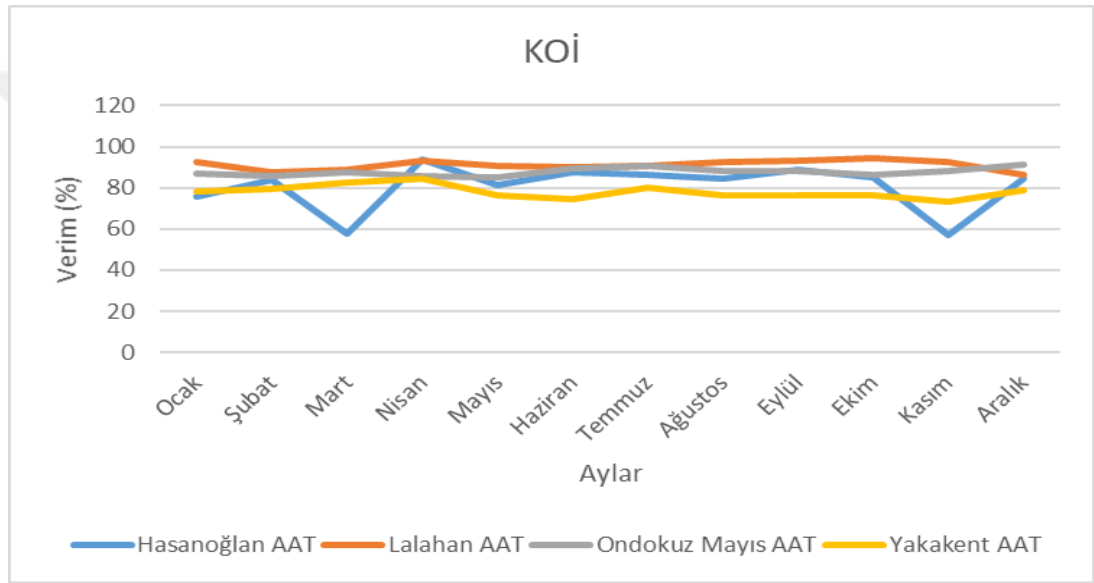
Benzer kapasitede olan iki farklı sistemli tesisin BOİ₅ giderim verimlerinin birbirlerine yaklaşık değerlerde olduğu fakat %87,65'lik oranla konvansiyonel sistemli tesisin daha verimli olduğu görülmektedir.

Lalahan Atıksu Arıtma Tesisinde, girişte yıllık KOİ ortalaması 549,23 kg/gün, çıkışta 46,68 kg/gün olup tesisin yıllık ortalama giderim verimi %91,07'dir. Tesisin

giderim verimine mevsimsel olarak bakıldığında sonbahar aylarında daha yüksek olduğu görülmektedir.

Yakakent Atıksu Arıtma Tesisinde, girişte yıllık KOİ ortalaması 292,39 kg/gün, çıkışta 63,47 kg/gün olup tesisin yıllık ortalama giderim verimi %78,05'tir. Tesisin giderim verimine mevsimsel olarak bakıldığında ilkbahar aylarında daha yüksek olduğu görülmektedir.

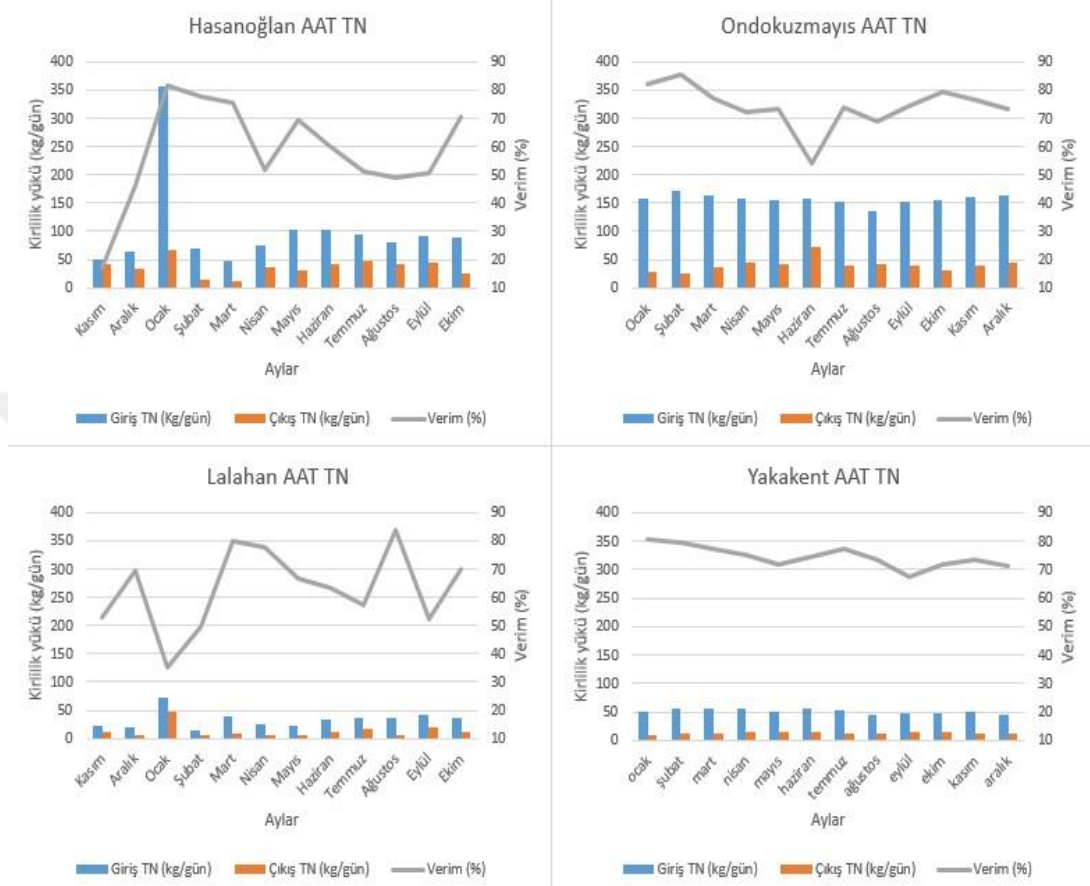
Benzer kapasitede olan iki farklı sistemli tesisin KOİ giderim verimlerine bakıldığında AKR sistemli Lalahan Atıksu Arıtma Tesisinin daha verimli işleme sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 5.8. Arıtma tesislerinin KOİ giderim verimleri

Şekil 5.8.'de tesislere göre KOİ verimlilikleri gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde tüm tesislerin KOİ giderim verimliliğinin genellikle %75-100 aralığında değiştiği görülmektedir. Genel eğilim, tesislerin stabil ve yüksek bir verimlilikle çalıştığını göstermektedir. Ancak Hasanoğlu AAT'nin yılın belirli dönemlerinde diğer tesislere kıyasla önemli ölçüde düşük verim gösterdiği gözlemlenmektedir. Özellikle ocak ve aralık aylarında verimlilikte belirgin bir düşüş mevcuttur. Bu durum, tesisin işletme koşulları, mevsimsel faktörler veya giriş suyu karakteristiğiyle ilgili olabilir.

Toplam Azot, Şekil 5.9’da TN parametresine ait kirlilik yükü-verim grafikleri görülmektedir. Elde edilen veriler doğrultusunda oluşturulan grafiklerde, tesislerin TN parametresi üzerinden verimlilikleri izlenmiştir.



Şekil 5.9. Arıtma tesislerinin giriş ve çıkış TN yükleri ve TN giderim verimleri 12 ay süre ile yapılan TN ölçümlerinde;

Hasanoğlu Atıksu Arıtma Tesisinde, girişte yıllık TN ortalaması 101,75 kg/gün, çıkışta 36,27 kg/gün olup tesisin yıllık ortalama giderim verimi %58,40’tır. Tesisin giderim verimine mevsimsel olarak bakıldığında yaz aylarında daha yüksek olduğu görülmektedir.

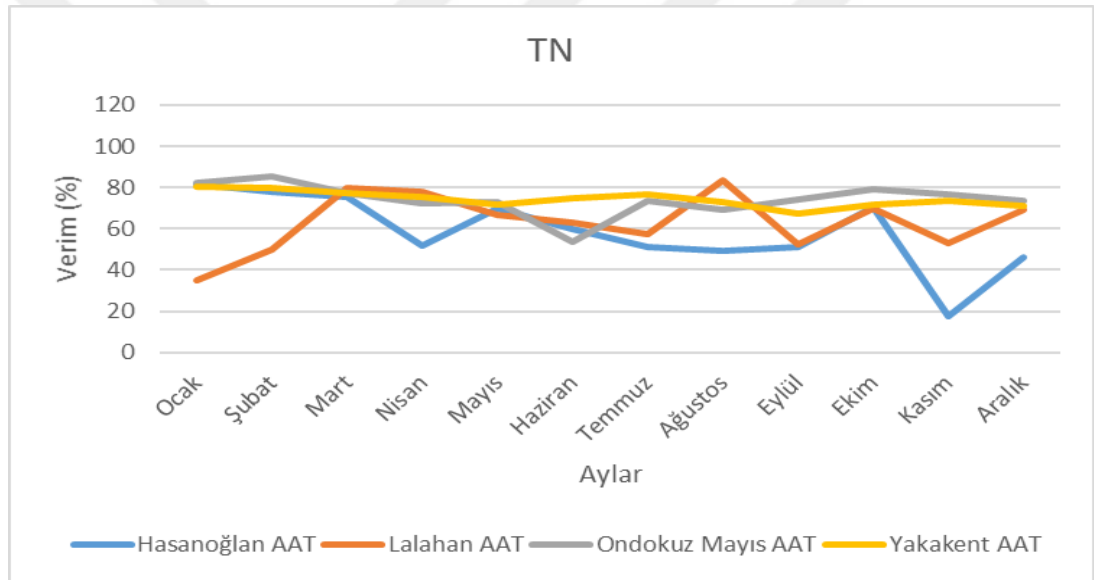
Ondokuz Mayıs Atıksu Arıtma Tesisinde, girişte yıllık TN ortalaması 156,47 kg/gün, çıkışta 40,07 kg/gün olup tesisin yıllık ortalama giderim verimi %74,23’dür. Tesisin giderim verimine mevsimsel olarak bakıldığında kış aylarında daha yüksek olduğu görülmektedir.

Benzer kapasitede olan iki farklı sistemli tesisin TN giderim verimlerine bakıldığında Konvansiyonel sistemli Ondokuz Mayıs Atıksu Arıtma Tesisinin daha verimli işleme sahip olduğu görülmektedir.

Lalahan Atıksu Arıtma Tesisinde, girişte yıllık TN ortalaması 33,48 kg/gün, çıkışta 13,08 kg/gün olup tesisin yıllık ortalama giderim verimi %63,12'dir. Tesisin giderim verimine mevsimsel olarak bakıldığında ilkbahar aylarında daha yüksek olduğu görülmektedir.

Yakakent Atıksu Arıtma Tesisinde, girişte yıllık TN ortalaması 50,74 kg/gün, çıkışta 12,88 kg/gün olup tesisin yıllık ortalama giderim verimi %74,44'tür. Tesisin giderim verimine mevsimsel olarak bakıldığında kış aylarında daha yüksek olduğu görülmektedir.

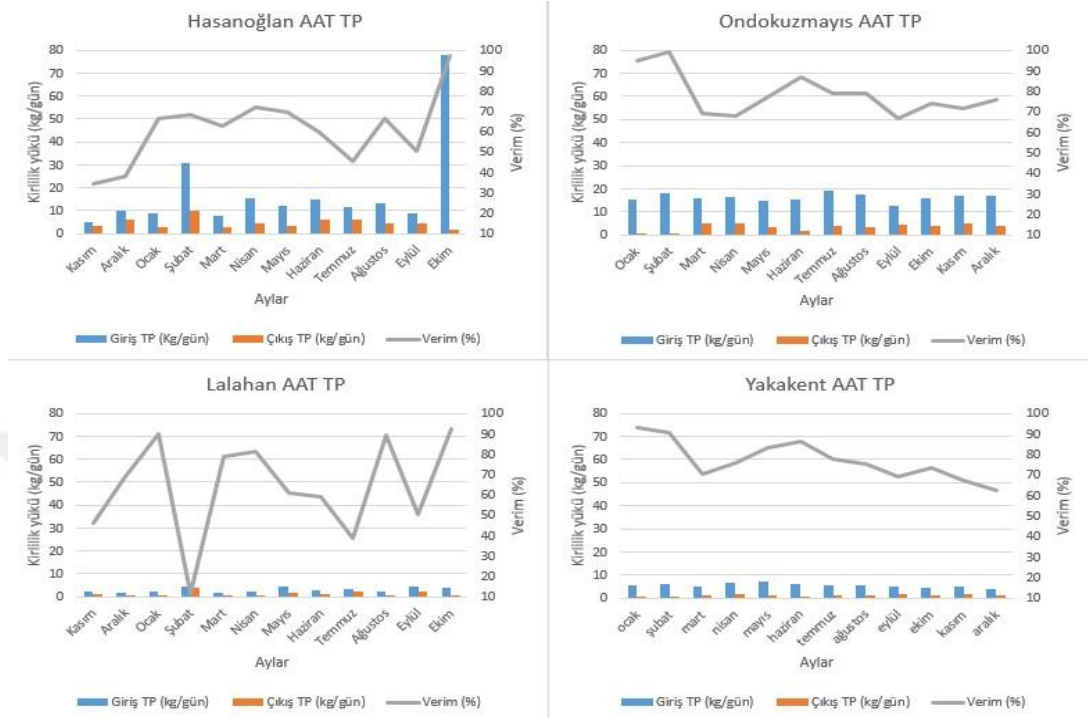
Benzer kapasitede olan iki farklı sistemli tesisin TN giderim verimlerine bakıldığında Konvansiyonel sistemli Yakakent Atıksu Arıtma Tesisinin daha verimli işleme sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 5.10. Arıtma tesislerinin TN giderim verimleri

Şekil 5.10.'da tesislere göre TN verimlilikleri gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde, tesislerin TN giderim verimliliklerinin yıl boyunca belirgin dalgalanmalar gösterdiği görülmektedir. KOİ ve BOİ₅ parametrelerinden farklı olarak TN giderim verimlilikleri daha değişken olup, bazı tesislerde belirli aylarda düşüşler gözlemlenmektedir. Genel olarak TN giderim verimlilikleri %40-100 aralığında değişmektedir. TN giderimindeki dalgalanmalar, biyolojik arıtma sistemlerinde sıcaklık değişimlerinin nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçlerine olan etkisiyle ilişkili olabilir. Düşük sıcaklıklar, nitrifikasyon hızlarını yavaşlatırken, yaz aylarında sıcaklık artışı ile mikroorganizma aktivitesi yükselerek verimliliği artırabilir.

Toplam Fosfor: Şekil 5.11 'de TP parametresine ait kirlilik yükü-verim grafikleri görülmektedir. Elde edilen veriler doğrultusunda oluşturulan grafiklerde, tesislerin TP parametresi üzerinden verimlilikleri izlenmiştir.



Şekil 5.11. Arıtma tesislerinin giriş ve çıkış TP yükleri ve TP giderim verimleri

12 ay süre ile yapılan TP ölçümlerinde;

Hasanoğlu Atıksu Arıtma Tesisinde, girişte yıllık TP ortalaması 18,07 kg/gün, çıkışta 4,66 kg/gün olup tesisin yıllık ortalama giderim verimi %61,04'tür. Tesisin giderim verimine mevsimsel olarak bakıldığında ilkbahar aylarında daha yüksek olduğu görülmektedir.

Ondokuz Mayıs Atıksu Arıtma Tesisinde, girişte yıllık TP ortalaması 16,29 kg/gün, çıkışta 3,45 kg/gün olup tesisin yıllık ortalama giderim verimi %78,56'dır. Tesisin giderim verimine mevsimsel olarak bakıldığında kış aylarında daha yüksek olduğu görülmektedir.

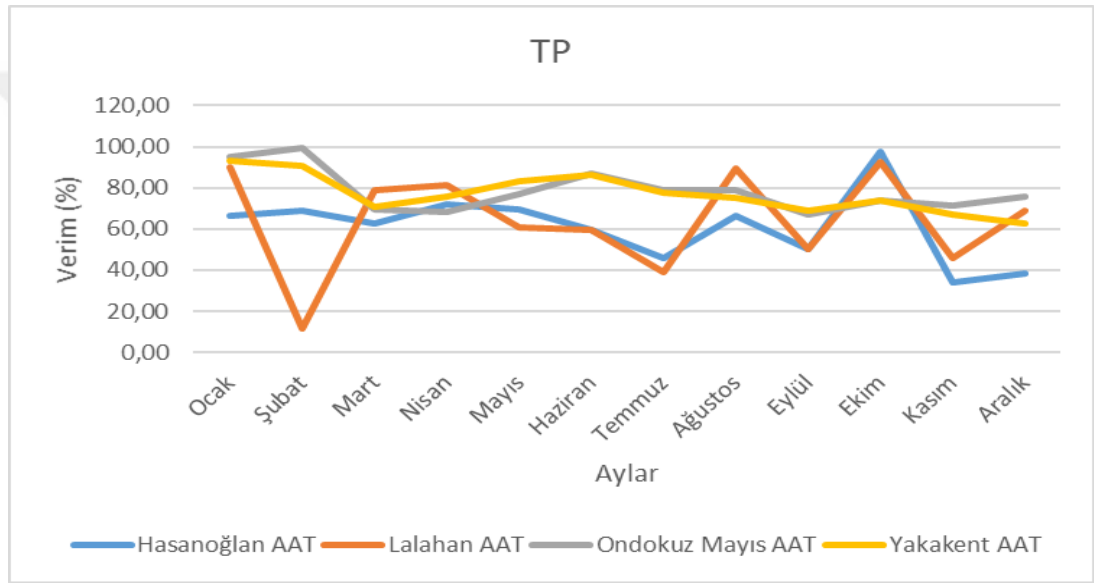
Benzer kapasitede olan iki farklı sistemli tesisin TP giderim verimlerine bakıldığında Konvansiyonel sistemli Ondokuz Mayıs Atıksu Arıtma Tesisinin daha verimli işleme sahip olduğu görülmektedir.

Lalahan Atıksu Arıtma Tesisinde, girişte yıllık TP ortalaması 3,14 kg/gün, çıkışta 1,25 kg/gün olup tesisin yıllık ortalama giderim verimi %64,08'dir. Tesisin

giderim verimine mevsimsel olarak bakıldığında ilkbahar aylarında daha yüksek olduğu görülmektedir.

Yakakent Atıksu Arıtma Tesisinde, girişte yıllık TP ortalaması 5,57 kg/gün, çıkışta 1,22 kg/gün olup tesisin yıllık ortalama giderim verimi %77,15'tir. Tesisin giderim verimine mevsimsel olarak bakıldığında kış aylarında daha yüksek olduğu görülmektedir.

Benzer kapasitede olan iki farklı sistemli tesisin TP giderim verimlerine bakıldığında Konvansiyonel sistemli Yakakent Atıksu Arıtma Tesisinin daha verimli işleme sahip olduğu görülmektedir.



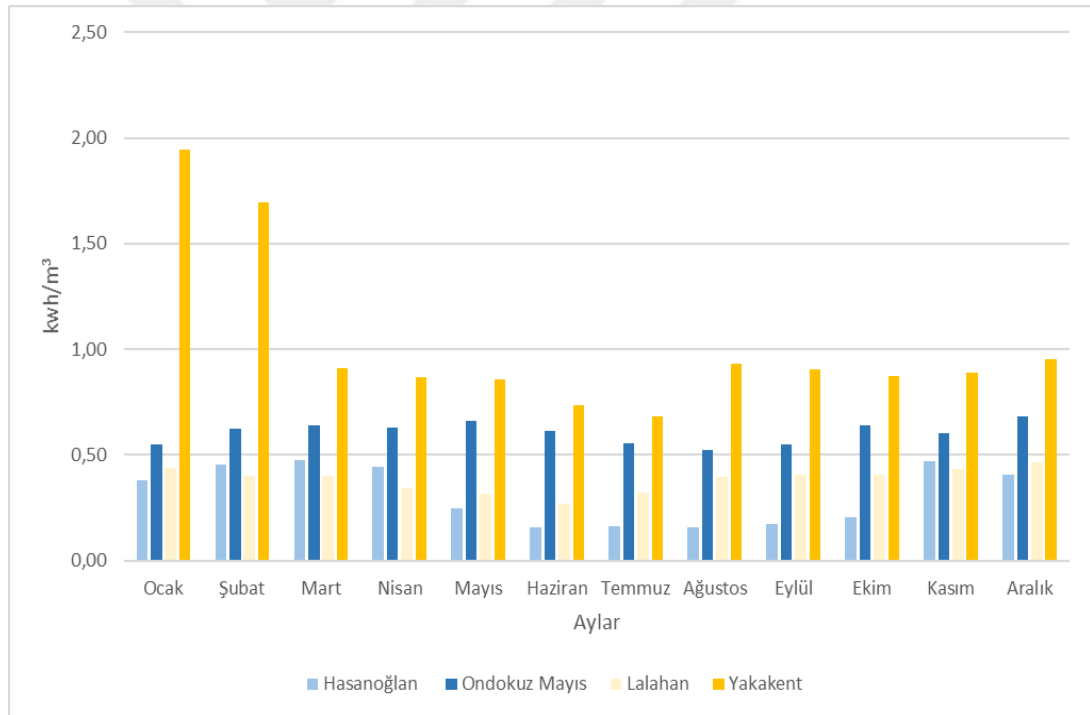
Şekil 5.12. Arıtma tesislerinin TP giderim verimleri

Şekil 5.12.'de tesislere göre TP verimlilikleri gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde, TP giderim verimliliklerinin belirgin dalgalanmalar gösterdiği görülmektedir. Diğer parametrelerden (KOİ, BOİ₅, TN) farklı olarak TP giderim verimlilikleri daha değişkendir. Bazı tesislerde önemli düşüşler mevcuttur. Genel olarak TP giderim verimlilikleri %30-100 aralığında değişmektedir. Lalahan AAT ve Yakakent AAT, yıl boyunca nispeten yüksek giderim verimliliklerine sahip olup, daha stabil bir eğilim göstermektedir. Hasanoğlu AAT ve Ondokuz Mayıs AAT'de ise özellikle belirli aylarda verim kayıpları yaşanmaktadır. Kış aylarında (aralık, ocak, şubat) özellikle Hasanoğlu AAT ve Ondokuz Mayıs AAT'de fosfor giderim verimliliklerinde belirgin düşüşler gözlenmektedir. Yaz aylarında (haziran, temmuz, ağustos) genel olarak TP giderim verimliliklerinde artış eğilimi görülmektedir. Fosfor

giderimindeki dalgalanmalar, biyolojik fosfor giderim sürecinin sıcaklık değişimlerinden etkilenmesiyle ilişkili olabilir.

5.4. Tesilerin Birim Debi Başına Enerji Tüketimleri

Şekil 5.13'te görüldüğü üzere 12 ay boyunca AAT'lerde birim m³ başına harcanan enerji miktarları ortaya konulmuştur. Hasanoğlu AAT'de aylık ortalama 888,82 kWh/gün, Lalahan AAT'de aylık ortalama 663 kWh/gün, Ondokuz Mayıs AAT'de aylık ortalama 2407,07 kWh/gün, Yakakent AAT'de aylık ortalama 1334,86 kWh/gün'dür. Benzer kapasiteli farklı tip tesisler birim debi başına enerji tüketimi yönünden kendi aralarında kıyaslandığında, ~ 3000 m³/gün kapasiteli Konvansiyonel sistemli Ondokuz Mayıs AAT yıl boyunca AKR sistemli Hasanoğlu AAT'sine oranla daha fazla enerji tüketimine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Aynı şekilde ~1500 m³/gün kapasiteli Konvansiyonel sistemli Yakakent AAT yıl boyunca AKR sistemli Lalahan AAT'sine oranla daha fazla enerji tüketimine sahip olduğu gözlemlenmiştir.



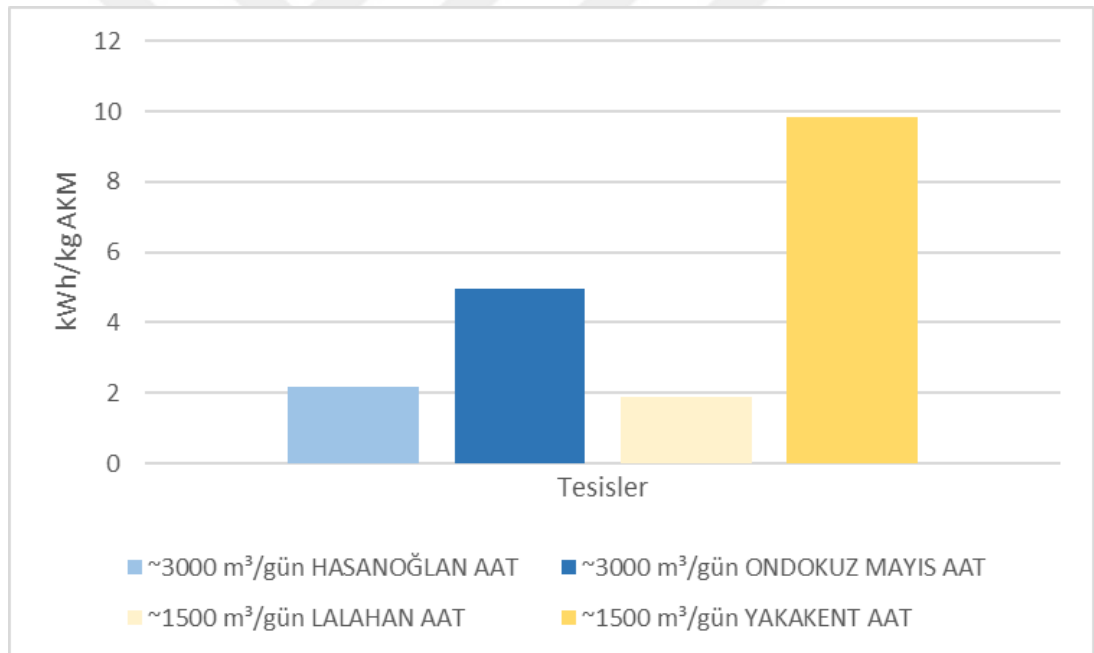
Şekil 5.13. Arıtma tesislerinin birim debi başına enerji tüketimleri

5.5. Arıtma Tesislerinde Giderilen Yük Başına Enerji Tüketimleri

Ülkemizde, dünya çapında tesislere ait enerji tüketimine yönelik yapılan çalışmalara benzer yaklaşımlar henüz çok yetersizdir. Atıksu arıtma tesislerinin enerji tüketimleri seçilen arıtma prosesine, işletimine, atıksu karakteristiğine, hidrolik şartlar

gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Benzer proses şartlarına sahip atıksu arıtma tesislerinin karşılaştırılması yolu ile performans artırıcı iyileştirmeler sağlanabilmektedir. (Aynur, 2014)

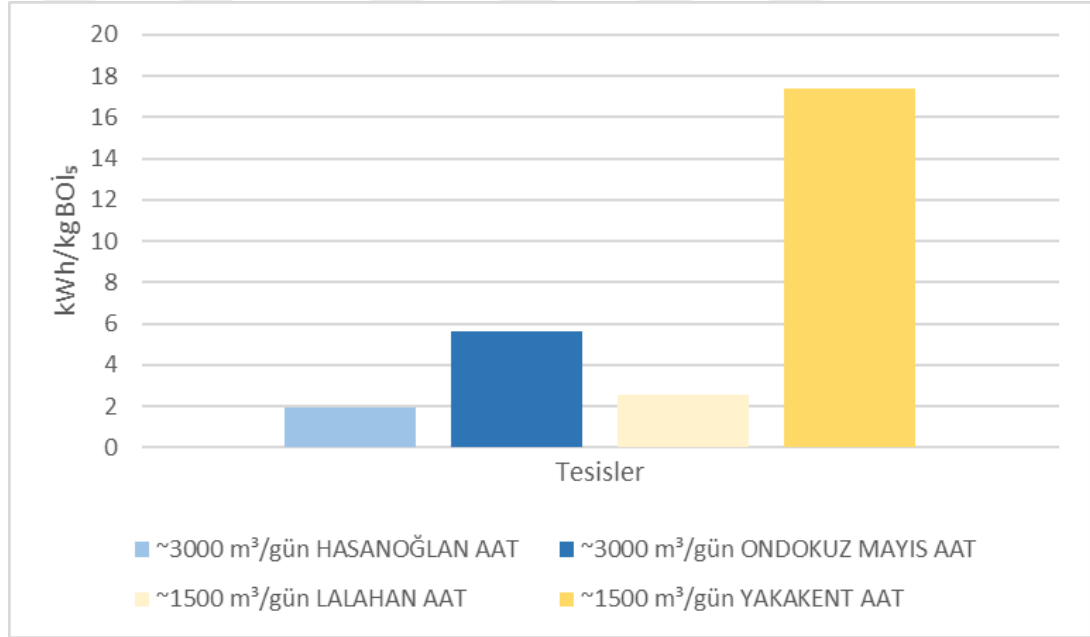
Şekil 5.14'te farklı atıksu arıtma tesislerinin AKM gideriminde birim enerji tüketimi açısından performans karşılaştırılması yapılmıştır. Grafikten çıkan bulgular ise; yaklaşık ~ 3000 m³/gün kapasiteli Hasanoğlu ve Ondokuz Mayıs AAT'lerine bakıldığında AKR sistemli Hasanoğlu AAT'nin yıllık ortalama giderilen yük başına daha az enerji tükettiği gözlemlenmiştir. Hasanoğlu AAT Ondokuz Mayıs AAT'ye göre yaklaşık %50 daha verimli çalıştığı kanısına ulaşılmıştır. Yine aynı şekilde ~ 1500 m³/gün kapasiteli Lalahan ve Yakakent AAT'lerine bakıldığında AKR sistemli Lalahan AAT'sinin yıllık ortalama giderilen yük başına daha az enerji tükettiği gözlemlenmiştir.



Şekil 5.14. Arıtma tesislerinde giderilen AKM yükü başına enerji tüketimi

Şekil 5.15'de farklı atıksu arıtma tesislerinin BOİ₅ gideriminde birim enerji tüketimi açısından performans karşılaştırılması yapılmıştır. Tesisler, kapasiteleri ve sistem türleri dikkate alınarak incelenmiştir. Grafikten çıkan bulgular ise; yaklaşık ~ 3000 m³/gün kapasiteli Hasanoğlu ve Ondokuz Mayıs AAT'lerine bakıldığında AKR sistemli Hasanoğlu AAT'nin yıllık ortalama giderilen yük başına daha az enerji tükettiği gözlemlenmiştir. AKR sistemleri, ardışık aşamalarda çalışarak enerji

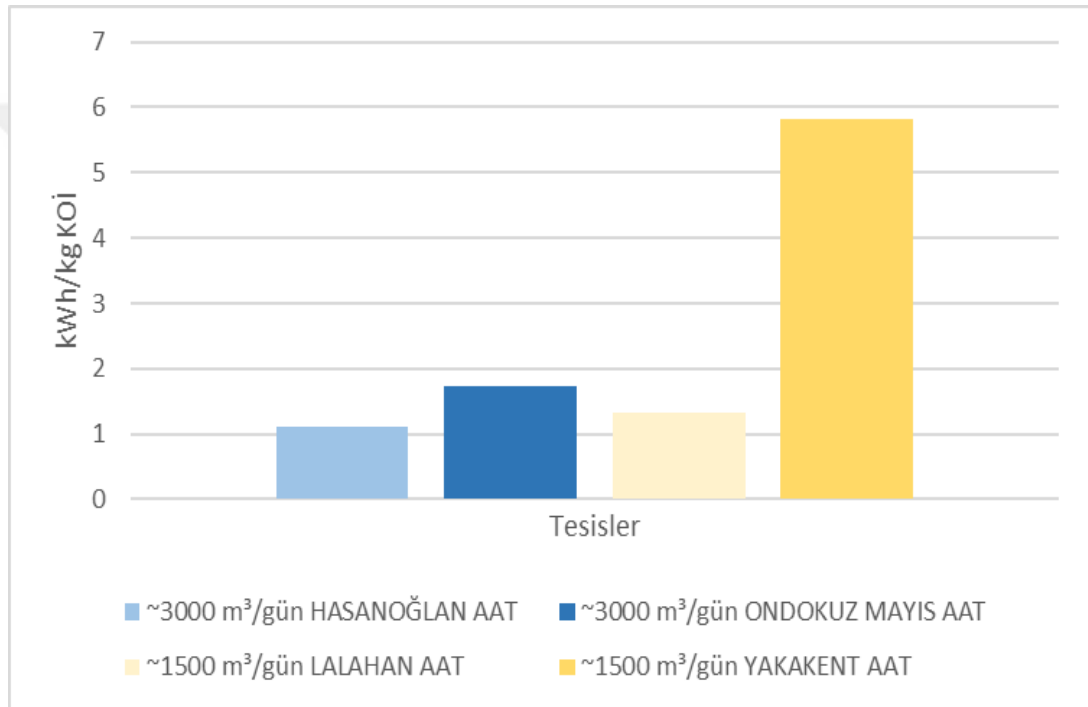
verimliliği sağlamaktadır. Konvansiyonel sistemli Ondokuz Mayıs AAT’de enerji tüketimi Hasanoğlu AAT’ne göre yaklaşık 5 kat daha fazladır. Konvansiyonel sistemin sürekli çalışması (havalandırma ve pompalar vs.) enerji tüketimi farklılığına neden olabilmekte ve bu fark AKR sistemlerinin enerji tasarrufu sağlama potansiyelini ortaya koymaktadır. Yine aynı şekilde Lalahan AAT, AKR sistemli olması nedeniyle Yakakent AAT’ye göre çok düşük enerji tüketimine sahip olduğu görülmektedir. AKR sisteminin daha verimli çalıştığı burada da görülmektedir. Yakakent AAT’nin enerji tüketimi oldukça fazladır ve konvansiyonel sistemin sürekli enerji ihtiyacı, bu tesisin enerji verimliliği yönünden verimsiz olduğu görülmektedir. Lalahan AAT Yakakent AAT’ye göre yaklaşık olarak 5 kat daha az enerji tüketmektedir. Grafikten anlaşılabacağı üzere AKR sistemli tesisler konvansiyonel sistemli tesislere göre çok daha düşük enerji tüketimiyle BOİ₅ giderimini sağlamaktadır.



Şekil 5.15. Arıtma tesislerinde giderilen BOİ₅ yükü başına enerji tüketimi

Şekil 5.16’da farklı atıksu arıtma tesislerinin KOİ₅ gideriminde birim enerji tüketimi yönünden kıyaslamalar yapılmıştır. Grafikten çıkan bulgular ise; yaklaşık ~3000 m³/gün kapasiteli Hasanoğlu ve Ondokuz Mayıs AAT’lerine bakıldığında AKR sistemli Hasanoğlu AAT’nin yıllık ortalama giderilen yük başına daha az enerji tükettiği gözlemlenmiştir. AKR sistemleri, ardışık aşamalarda çalışarak enerji verimliliği sağlamaktadır. konvansiyonel sistemli Ondokuz Mayıs AAT’de enerji tüketimi Hasanoğlu AAT’ne göre yaklaşık 2 kat daha fazladır. Konvansiyonel sistemin sürekli çalışması (havalandırma ve pompalar vs.) enerji tüketimi farklılığına

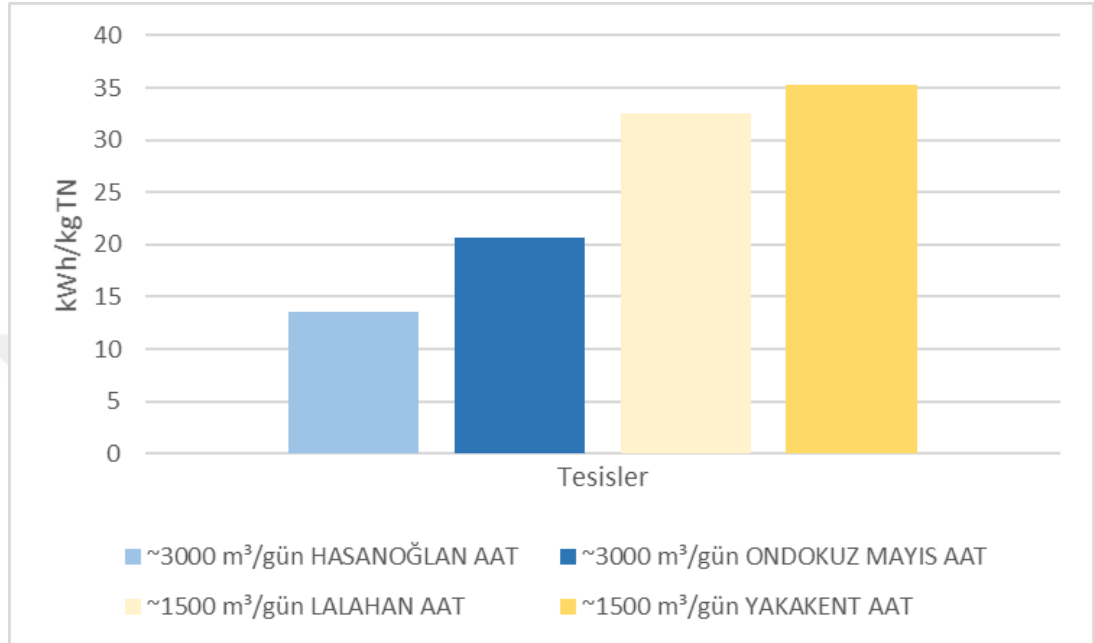
neden olabilmekte ve bu fark AKR sistemlerinin enerji tasarrufu sağlama potansiyelini ortaya koymaktadır. Yine aynı şekilde Lalahan AAT, AKR sistemli olması nedeniyle Yakakent AAT'ye göre çok düşük enerji tüketimine sahip olduğu görülmektedir. AKR sisteminin daha verimli çalıştığı burada da görülmektedir. Yakakent AAT'nin enerji tüketimi oldukça fazladır ve konvansiyonel sistemin sürekli enerji ihtiyacı, bu tesisin enerji verimliliği yönünden verimsiz olduğu görülmektedir. Lalahan AAT Yakakent AAT'ye göre yaklaşık olarak 6 kat daha az enerji tüketmektedir. Grafikten anlaşılabacağı üzere AKR sistemli tesisler Konvansiyonel sistemli tesislere göre çok daha düşük enerji tüketimiyle KOİ giderimini sağlamaktadır.



Şekil 5.16. Arıtma tesislerinde giderilen KOİ yükü başına enerji tüketimi

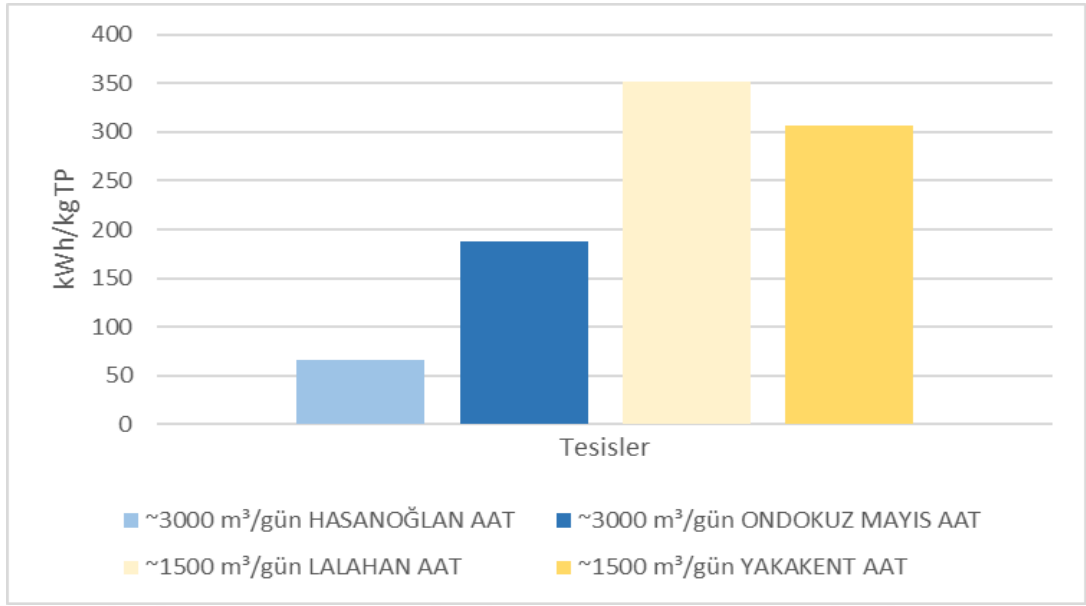
Şekil 5.17'de farklı atıksu arıtma tesislerinin TN gideriminde birim enerji tüketimi yönünden kıyaslamalar yapılmıştır. Grafikten çıkan bulgular ise; yaklaşık ~3000 m³/gün kapasiteli Hasanoğlan ve Ondokuz Mayıs AAT'lerine bakıldığında AKR sistemli Hasanoğlan AAT'nin yıllık ortalama giderilen yük başına daha az enerji tükettiği gözlemlenmiştir. Yine aynı şekilde Lalahan AAT, AKR sistemli olması nedeniyle Yakakent AAT'ye göre düşük enerji tüketimine sahip olduğu görülmektedir. AKM, KOİ ve BOİ₅ parametrelerine kıyasla TN parametresindeki giderilen yük başına enerji tüketimi AKR sistemli Hasanoğlan ve Lalahan tesislerinde daha fazladır. Bunun sebebi ise tesis 2023 yılı ekim ayına kadar azot ve fosfor giderimi yapmamakta ve 2023 kasım itibarıyla başlayıp sistemin tam anlamıyla işletim

optimizasyonuna ulaşmadığı veya arıtma yükü kaynaklı ek enerji kullanımı olabileceği düşünülmektedir. Fakat yine de grafikten anlaşılabacağı üzere AKR sistemli tesisler konvansiyonel sistemli tesislere göre daha düşük enerji tüketimiyle TN giderimini sağlamaktadır.



Şekil 5.17. Arıtma tesislerinde giderilen TN yükü başına enerji tüketimi

Şekil 5.18’de farklı atıksu arıtma tesislerinin TP gideriminde birim enerji tüketimi yönünden kıyaslamalar yapılmıştır. Grafikten çıkan bulgular ise; yaklaşık ~3000 m³/gün kapasiteli Hasanoğlu ve Ondokuz Mayıs AAT’lerine bakıldığında AKR sistemli Hasanoğlu AAT’nin yıllık ortalama giderilen yük başına yaklaşık 3 kat daha az enerji tükettiği gözlemlenmiştir. Fakat TP parametresi giderimindeki enerji tüketimi diğer parametrelere kıyasla AKR sistemli Lalahan AAT, Yakakent AAT’ye göre yüksek enerji tüketimine sahip olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise tesis 2023 yılı ekim ayına kadar azot ve fosfor giderimi yapmamakta ve 2023 kasım itibarıyla başlayıp sistemin tam anlamıyla işletim optimizasyonuna ulaşmadığı veya arıtma yükü kaynaklı ek enerji kullanımı olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 5.18. Arıtma tesislerinde giderilen TP yükü başına enerji tüketimi

6. SONUÇ

Atıksu arıtma tesislerinin tasarım süreçleri, çevresel sürdürülebilirliği sağlamak, halk sağlığını korumak, su kaynaklarının maksimum verimde kullanmak adına önemlidir. Bu sebeple, atıksu arıtma tesislerinin tasarımı, uygulanan teknolojiler, proses verimliliği, enerji verimliliği, çevresel etki ve ekonomik sürdürülebilirlik gibi birden çok faktör göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.

Bu çalışmada, ~3000 m³/gün kapasiteli AKR sistemli Hasanoğlan AAT ve Konvansiyonel sistemli Ondokuz Mayıs AAT ; ~1500 m³/gün AKR sistemli Lalahan AAT ve konvansiyonel sistemli Yakakent AAT'nin proses ve enerji verimliliği yönünden kıyaslaması yapılmıştır. Temin edilen verilerden elde edilen bulgulara göre,

Atıksu arıtma tesisleri arasında 12 aylık sürece bakıldığında genel olarak en yüksek enerji tüketimi konvansiyonel sistemli ~3000 m³/gün kapasiteli Ondokuz Mayıs AAT'de görülmektedir. ~1500 m³/gün kapasiteli Lalahan ve Yakakent AAT'leri arasında ise yine konvansiyonel sistemli Yakakent AAT'nin daha fazla enerji tüketimine sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Hasanoğlan AAT' de AKM, KOİ, BOİ₅, TN ve TP parametrelerindeki yıllık ortalama giderim verimleri sırasıyla %85,52, %80,49, %87,09, %58,40, %61,04, Lalahan AAT'de %93,48, %91,07, %93,73, %63,12, %64,08, Ondokuz Mayıs AAT'de %83,92, %87,65, %80,58, %74,23, %78,56, Yakakent AAT'de %80,89, %78,05 %76,11, %74,44, %77,15 olarak hesaplanmıştır. Bu durumda AKM, KOİ ve BOİ₅ gideriminde AKR sistemli Hasanoğlan ve Lalahan AAT'lerinin konvansiyonel sistemli Ondokuz Mayıs ve Yakakent AAT'lerine göre daha iyi olduğu fakat TN ve TP giderim verimine bakıldığında tam tersi bir durum olduğu gözlemlenmiştir.

Genel olarak tesislerin giderim verimlerine bakıldığında yaz veya ilkbahar mevsimlerinde daha verimli olduğu gözlemlenmiştir. Bunun muhtemel sebebi, biyolojik besin giderim sistemlerinde nitrifikasyon süreci, hız sınırlayıcı bir adım olup, nitrifikatörler heterotrofik organizmalara göre 15-20 kat daha yavaş büyür. Nitrifikasyon, sıcaklık arttıkça hızlanır; ancak 30°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda inhibe olur. Ayrıca, atık sudaki biyolojik besin konsantrasyonu sıcaklığa büyük ölçüde bağlıdır. Önceki çalışmalarda, 10-12°C arasındaki düşük sıcaklıklarda nitrifikasyon hızının %50, denitrifikasyon hızının ise %80 oranında azaldığını belirtmiştir (Akpor vd., 2013).

Sıcaklık, biyolojik besin maddesi giderim sistemlerinin reaksiyon performansını ve kinetiğini etkileyen önemli bir parametre olmasına rağmen, geliştirilmiş biyolojik besin maddesi giderim sistemleri üzerindeki etkilerine dair çelişkili raporlar bulunmaktadır (Erdal ve ark., 2003; Thongchai ve ark., 2003). Mamais ve Jenkins (1992), geliştirilmiş besin maddesi giderimi için optimum çalışma sıcaklığının muhtemelen 28 °C ile 33 °C arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Ancak, büyüme için optimum sıcaklığın, besin maddesi giderimi için aynı olmayabileceği ileri sürülmektedir (Saito ve ark., 2004). Bazı çalışmalarda biyolojik fosfat giderim verimliliğinin 20 °C ile 37 °C arasındaki sıcaklıklarda arttığı, diğer çalışmalar ise 5 °C ile 15 °C arasındaki daha düşük sıcaklıklarda fosfor gideriminin daha verimli olduğunu ifade etmiştir (Akpor vd., 2013).

Song, Li, Lu ve Inamori (2009) ise KOİ giderim verimliliğinin yaz ve ilkbahar mevsimlerinde daha yüksek olduğunu (sırasıyla %66,3 ve %65,4) kış ve sonbahar mevsimlerine kıyasla (%59,4 ve %61,1) gözlemlemişlerdir. Tunçsiper (2009), ortalama azot giderim verimliliğinin yaz mevsiminde kışa kıyasla %6 ila %11 daha yüksek olduğunu gözlemlemiştir.

Tesislerden elde edilen verilere göre Hasanoğlu AAT'de aylık ortalama 888,82 kWh/gün, Lalahan AAT'de aylık ortalama 663 kWh/gün, Ondokuz Mayıs AAT'de aylık ortalama 2407,07 kWh/gün, Yakakent AAT'de aylık ortalama 1334,86 kWh/gün'dür. Benzer kapasiteli farklı tip tesisler birim debi başına enerji tüketimi yönünden kendi aralarında kıyaslandığında, ~ 3000 m³/gün kapasiteli konvansiyonel sistemli Ondokuz Mayıs AAT yıl boyunca AKR sistemli Hasanoğlu AAT'sine oranla daha fazla enerji tüketimine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Aynı şekilde ~1500 m³/gün kapasiteli konvansiyonel sistemli Yakakent AAT yıl boyunca AKR sistemli Lalahan AAT'sine oranla daha fazla enerji tüketimine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Benzer kapasiteli tesisler olmasına rağmen m³ başına enerji tüketimleri konvansiyonel sistemlerde daha fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda, farklı atıksu arıtma tesislerinin giderilen yük başına enerji tüketimleri Hasanoğlu AAT için 2 kWh/kgAKM, 1 kWh/kgKOİ, 2 kWh/kg BOİ₅, 14 kWh/kgTN ve 66 kWh/kgTP enerji tüketimi ölçülürken; Ondokuz Mayıs AAT'de 5 kWh/kgAKM, 2 kWh/kgKOİ, 6 kWh/kg BOİ₅, 21 kWh/kgTN ve 187 kWh/kgTP enerji harcaması gözlemlenmiştir. Lalahan AAT'nin giderilen yük başına enerji tüketimleri ise 2 kWh/kgAKM, 1 kWh/kgKOİ, 3 kWh/kg BOİ₅, 33 kWh/kgTN

ve 351 kWh/kgTP olarak hesaplanmıştır. Son olarak, Yakakent AAT'de giderilen yük başına enerji tüketimleri sırasıyla 10 kWh/kgAKM, 6 kWh/kgKOİ, 17 kWh/kg BOİ₅, 35 kWh/kgTN ve 307 kWh/kgTP olarak belirlenmiştir. Bu verilere bakıldığında, AKR sistemli atıksu arıtma tesislerinin, konvansiyonel sistemli tesislere kıyasla enerji tüketimi bakımından daha verimli olduğu açıkça görülmektedir.

Atıksu arıtma tesislerinde enerji ve proses verimliliğini artırmak için bazı yöntemler vardır. Enerji geri kazanım sistemleri, biyogaz üretimi ve ısı geri kazanımı gibi çözümlerle enerji kullanımı azaltılabilir. Ayrıca, verimli havalandırma sistemleri ve otomatik kontrol sistemleri, enerji tüketimini optimize edebilmektedir. Proses verimliliği için, çamur yönetimi, suyun yeniden kullanımı ve atıksu kalitesinin izlenmesi önemlidir. Yeni teknolojilerin takip edilip uygulanması daha verimli arıtmaya imkan sağlayabilir. Sıfır atık yaklaşımıyla atıkların geri kazanımı artırılabilir. Bu yöntemler, hem enerji tasarrufu sağlar hem de çevresel etkileri azaltmaktadır.

KAYNAKLAR

- Akın, A. (2017). Havza İlçesi Evsel Atıksu Arıtma Tesisinde Arıtma Verimliliği ve Enerji İlişkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Akın, B. (2002). Ardışık Kesikli Reaktör Sisteminde Aşırı Biyolojik Fosfor Gideriminin İncelenmesi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Akpor, O.B., Adelani-Akande, T.A. and Aderiye, B. (2013). The Effect of Temperature on Nutrient Removal from Wastewater by Selected Fungal Species. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, Volume 2 Number 9, pp 328-340.
- Ali, SI., Moustafa, M., Nwery, M.S., Farahat, N.S., Samhan, F. (2022). Evaluating the performance of sequential batch reactor (SBR&ASBR) wastewater treatment plants, case study. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. Volume 18, December 2022,100745.
- Atçı, E. B. Marmara Bölgesinde Kentsel Atıksu Arıtma Tesislerinde Aktif Çamur Modeli Kullanarak Proses Optimizasyonu : Pilot Ölçekli Çalışma. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Ayaz, İ. (2022). Bir İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi İşletme Parametrelerinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Aynur, Z. (2014). Atıksu arıtma tesislerinde enerji verimliliğinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Azman, H. E. (2005). Evsel Atıksuların Arıtılmasında Arıtma Verimi- Enerji İlişkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Baeza, J. , Ferreira, E.C. and Lfuente, J. C. (2000). Knowledge-Based Supervision and Control of Wastewater Treatment Plant: A Real-Time Implementation. Water Science and Technology Vol 41 No 12 pp 129-137.
- Balçık, Ç. (2013). Evsel Atıksularından Nutrient Gideriminde Pilot Ölçekli Bardenpho İle Kaskat Proseslerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Barca, B. (2024). İznik ve Yenişehir Belediyesi Atıksu Arıtma Tesislerinin Performans Ve Enerji Verimliliği Açısından Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Berkün M. (2017). Atıksu Mühendisliği Toplama, Arıtma, Uzaklaştırma ve Denize Deşarj Yapıları. İstanbul: Literatür Yayınları.
- ÇOB (2010). Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, TC Çevre ve Orman Bakanlığı (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı), Resmi Gazete Tarih: 20.03.2010, Sayı: 27527.
- Durak, A. (2020). Evsel Atıksuların Arıtılmasında Biyolojik Arıtma Yönteminin Uygulanması ve İşletme Sorunlarının İncelenmesi Van İli Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Van.
- Emara, M. M. , Ahmed, F. A. , Abd El- Aziz, F. M. and Abd El- Razek, A. M. A. (2014). Biological Nutrient Removal in Bardenpho Process. Journal of American Science 2014; 10 (5s).
- Erkan, F. D. (2019). Atıksu Arıtma Tesislerinin Sürdürülebilirliği İçin Verimlilik Projeleri; Malatya İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Eroğlu V. (2015). Atıksuların Tavsiyesi. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Yayınları, Bakanlık Yayın No: 4, Ankara.
- Fang, F. , Qiao, L. , Cao, J. , Li, Y. , Xie, W., Sheng, G., Yu, H. (2016). Quantitative evaluation of A²O and reversed A²O processes for biological municipal wastewater treatment using a projection pursuit method.
- Gezer, H. , İleri, R. (2004). Endüstriyel Atıksuların Ardışık Kesikli Reaktörler İle Arıtılması ve Kinetiği. AU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt, 1. Sayı.
- Gülsoy, İ. (2017). Kentsel atıksu arıtma tesisinin online izlenmesi ile enerji etüt ve optimizasyonu, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- İslam, Md. D. , Mehdi, M. M. (2022). Evaluation of micropollutants removal from industrial wastewater using conventional and advanced biological treatment processes. Biodegradation and Detoxification of Micropollutants in Industrial Wastewater.
- Kabakçı, K. (2019). İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesislerinde Çalışan Sağlığı ve Güvenliği Açısından Risk Faktörlerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. İstanbul.
- Kavak, N.(2016).Kayseri İli Örneğinde, Atıksu Arıtma Tesislerinde Uygulanan Arıtma Yöntemlerinin İncelenmesi ve Optimum Yöntemin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi.Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir.
- Kılıç, A. (2006). Süt Endüstrisi Atıksularının Arıtımında Ardışık Kesikli Reaktör (SBR)'De Hareketli Yataklı Biofilm Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kınık, Z. , Aykaç, Z. , (2021). Atıksu Arıtma Tesislerinde Karşılaşılan Problemler ve Çözüm Önerileri. Türk Hidrolik Dergisi (Tur. J. Hyd.), Cilt (Vol) : 5, Sayı (Number) : 1, Sayfa (Page) : 59-65 (2021)
- Manav, N. (2006). Ardışık Kesikli Reaktör ile Evsel Atıksulardan Azot ve Fosfor Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Metcalf and Eddy, (2003). Wastewater engineering: Treatment and reuse (4th ed.). McGraw-Hill, 1408, United States of America.
- Nas, B., "Atıksu Arıtma Tesislerinde İşletme Sorunları ve Çözümleri", Selçuk Üni. Ed., Selçuk Üniversitesi Basım Evi, Ankara, 26–92 (2017).
- Öz, A. (2009). Atıksu Arıtma Tesislerinde Verimlilik Kontrolü ve İşletme Sorunları. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Özkan, M. , (2020). Kentsel Atıksulardan Fosfor Gideriminde 5 Kademe Bardenpho Prosesinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Sekaran, G., Ramani, K., Kumar, A.G., Ravindran, B., Kennedy, L.J. ve Gnanamani, A., 2007. "Oxidative destabilization of dissolved organics and E. coli in domestic wastewater through immobilized cell reactor system", Journal of Environmental Management, 84(2): 123-133.)
- Song, H. L., Li, X. N., Lu, X. W. & Inamori, Y. (2009). Investigation of microcystin removal from eutrophic surface water by aquatic vegetable bed. Ecological Engineering, 35, 1589–1598. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.04.005>.
- Srivastava, G., Rajpal, A., Khursheed, A., Nadda, A.K., Tyagi, V.K., Kazmi, A.A. (2023). Influence of variations in wastewater on simultaneous nutrient removal in pre-anoxic selector attached full-scale sequencing batch reactor. International journal of environmental science and technology, Volume 20, pages 4355-4372, (2023).

- Tantak, N. , Chandan, N. and Raina, P. , (2014) An Introduction to Biological Treatment and Successful Application of the Aqua EMBR System in Treating Effluent Generated from a Chemical Manufacturing Unit. *Industrial Wastewater Treatment, Recycling and Reuse* 2014, Pages 369-397.
- Taşlı, R. (1996). Ardışık Kesikli Reaktörlerde Biyolojik Aşırı Fosfor Giderimi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tunçsiper, B. (2009). Nitrogen removal in a combined vertical and horizontal subsurface-flow constructed wetland system. *Desalination*, 247 (1–3), 466–475. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.03.003>
- Türkiye Belediyeler Birliği Atıksu Arıtma Tesisleri İşletimi El Kitabı. (2015). Ankara. Korza Yayıncılık.
- United States Environmental Protection Agency (EPA), (2000). Wastewater Technology Fact Sheet Package Plants, EPA 832-F-00-016, September 2000.
- Vaiopoulou, E. , Aivasidis, A. (2008). A modified UCT method for biological nutrient removal: Configuration and performance. *Chemosphere* Volume 72, Issue 7, July 2008, Pages 1062-1068.
- Yaşar, U. N., (2023). Yeni İşletime Alınan İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinin Tasarım Parametrelerinin Ve İşletme Verimlerinin Değerlendirilmesi: Gerenköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesis. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Yelmen, B. Enerji Verimliliği “ Atık Su Arıtma Tesis Örneği”.

ÖZ GEÇMİŞ

Fehime Kaya, Rize Güneysu Şehit Kemal Mutlu Anadolu Öğretmen Lisesi'ni bitirdikten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği bölümünden 2019 yılında, Çevre Mühendisliği bölümünden 2020 yılında mezun oldu. 2022 yılında OMÜ LEE Çevre Mühendisliği Yüksek Lisans programına girdi. Mezuniyetinden bu yana Samsun İller Bankası A.Ş.'de Çevre Mühendisi olarak görev yapmakta orta derecede İngilizce bilmektedir. Temel ilgi alanları, resim yapmak, kitap okumak, tiyatroya gitmek. (25.12.2024).

İletişim Bilgileri

ORCID ID : ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0861-7510>

Yayınlar:

1. Kaya F., Işık İ., Akbal F. “Ardışık Kesikli Reaktörlerde Azot ve Fosfor Giderimi: Gümüşhacıköy Atıksu Arıtma Tesisinin İncelenmesi”, 7th International Eurasian Conference On Biological And Chemical Sciences 02-04 October Ankara, 2024.