

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



SENTETİK OLARAK HAZIRLANMIŞ EVSEL ATIKSUYUN *Phanerochaete chrysosporium* İLE BİYİYİLEŞTİRİLMESİ

Gözde ERGÜVEN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Nuran ÇIKCIKOĞLU YILDIRIM**

TUNCELİ – 2023

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

SENTETİK OLARAK HAZIRLANMIŞ EVSEL ATIKSUYUN
Phanerochaete chrysosporium İLE BİYOİYİLEŞTİRİLMESİ

Gözde ERGÜVEN
(210020001)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Prof. Dr. Nuran ÇIKCIKOĞLU YILDIRIM

TUNCELİ-2023

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**SENTETİK OLARAK HAZIRLANMIŞ EVSEL ATIKSUYUN
Phanerochaete chrysosporium İLE BİYOİYİLEŞTİRİLMESİ**

**Gözde ERGÜVEN
YÜKSEK LİSANS TEZ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez 13/6/2023 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

İmza:.....

Doç. Dr.
Gürdal KANAT
(Yıldız Teknik Üniversitesi)

BAŞKAN

İmza:.....

Prof. Dr.
Nuran ÇIKCIKOĞLU
YILDIRIM
(Munzur Üniversitesi)

DANIŞMAN

İmza:.....

Prof. Dr.
Numan YILDIRIM
(Munzur Üniversitesi))

ÜYE

Bu tez, Enstitümüz Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Doç. Dr. Murat KORUNUR
Enstitü Müdürü

NOT: Bu tez projesinde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bilfirilerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı 5846 sayılı “Fikir ve Sanat Eserleri” Kanunu’nda hükümlere tabidir.

13/6/2023

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi ve hiçbir şekilde ‘intihal içermediğini’ beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Gözde ERGÜVEN

Danışman
Prof. Dr.
Nuran ÇIKCIKOĞLU YILDIRIM

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Munzur Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Bu çalışmanın planlanması, hayata geçirilmesi, deneylerinin yapılması, tezimin yazımı ve diğer bütün aşamalarında her daim yanımda olan maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen bilgi, deneyim ve tecrübesinden faydalandığım saygıdeğer danışmanım sayın Prof. Dr. Nuran CIKCIKOĞLU YILDIRIM' a değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim. Yüksek Lisans çalışmam süresince maddi, manevi desteğini esirgemeyen sevgili eşim Doç. Dr. Gökhan Önder ERGÜVEN' e ve biricik oğlum Barış ERGÜVEN' e sonsuz sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca laboratuvar çalışmalarım sırasında yardımcı olan Muznur Üniversitesi Öğretim Görevlisi Çevre Yüksek Mühendisi Sayın Ekrem Aydın' a da sonsuz teşekkür ederim.

Gözde ERGÜVEN
TUNCELİ-2023

İÇİNDEKİLER

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	I
TEŞEKKÜR	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	V
TABLOLAR LİSTESİ.....	VI
RESİMLER LİSTESİ.....	VII
SEMBOLLER LİSTESİ.....	VIII
KISALTMALAR LİSTESİ.....	IX
ÖZET.....	X
ABSTRACT.....	XI
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Evsel Atıksu.....	2
1.2. Endüstriyel Atıksu.....	4
1.3. Hastane Atıksuyu.....	4
1.4. Atıksuların Sağlık Etkileri.....	6
1.5. Biyoremediasyon.....	6
1.5.1. Biyoremediasyonu etkileyen faktörler	8
1.5.2. Biyoremediasyonun avantajları	8
1.5.3. Biyoremediasyonun dezavantajları.....	9
1.5.4. Biyoremediasyonun çeşitleri.....	9
1.5.4.1. Mikrobiyal remediasyon.....	10
1.5.4.2. Biyolojik havalandırma.....	10
1.5.4.3. Biyoliç.....	11
1.5.4.4. Biyobüyütme.....	12
1.5.4.5. Biyostimülasyon.....	12
1.5.4.6. Biosparging.....	12
1.6. Azot ve Fosforlu Bileşiklerin Su Kalitesine Etkileri.....	13
2. MATERYAL VE METOT	17
2.1. Sentetik Atıksuyun Hazırlanması	17
2.2. <i>P. chrysosporium</i> ' un Hazırlanması	18
2.3. Biyoremediasyon İşlemleri	19
2.3.1. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) tayinleri.....	21
2.3.2. Toplam organik karbon (TOK) tayinleri.....	22
2.3.3. Toplam fosfor (TP) ve toplam azot (TN) tayinleri.....	22
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	23
3.1. Biyoremediasyon Çalışmaları Sonuçları.....	23
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	36
5. KAYNAKLAR.....	37
ÖZGEÇMİŞ	
EKLER	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Sularda bulunan toplam azot.....	13
Şekil 1.2. Toplam fosfor oluşum şeması.....	16
Şekil 3.1. <i>P. chrysosporium</i> ' un statik 1/1 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği KOİ azalışı.....	23
Şekil 3.2. <i>P. chrysosporium</i> ' un statik 1/5 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği KOİ azalışı.....	24
Şekil 3.3. <i>P. chrysosporium</i> ' un dinamik 1/1 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği KOİ azalışı.....	24
Şekil 3.4. <i>P. chrysosporium</i> ' un dinamik 1/5 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği KOİ azalışı.....	25
Şekil 3.5. <i>P. chrysosporium</i> ' un statik 1/1 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği TOK azalışı.....	25
Şekil 3.6. <i>P. chrysosporium</i> ' un statik 1/5 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği TOK azalışı.....	26
Şekil 3.7. <i>P. chrysosporium</i> ' un dinamik 1/1 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği TOK azalışı.....	26
Şekil 3.8. <i>P. chrysosporium</i> ' un dinamik 1/5 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği TOK azalışı.....	27
Şekil 3.9. <i>P. chrysosporium</i> ' un statik 1/1 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği toplam N azalışı.....	27
Şekil 3.10. <i>P. chrysosporium</i> ' un statik 1/5 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği toplam N azalışı.....	28
Şekil 3.11. <i>P. chrysosporium</i> ' un dinamik 1/1 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği toplam N azalışı.....	28
Şekil 3.12. <i>P. chrysosporium</i> ' un dinamik 1/5 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği toplam N azalışı.....	29
Şekil 3.13. <i>P. chrysosporium</i> ' un statik 1/1 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği toplam P azalışı.....	29
Şekil 3.14. <i>P. chrysosporium</i> ' un statik 1/5 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği toplam P azalışı.....	30
Şekil 3.15. <i>P. chrysosporium</i> ' un dinamik 1/1 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği toplam P azalışı.....	30
Şekil 3.16. <i>P. chrysosporium</i> ' un dinamik 1/5 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği toplam P azalışı.....	31

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Gelişmekte olan ülkelerde uygulanan insan dışkısı ve idrarı açısından evsel atık suyun fraksiyonları ve bileşimi.....	3
---	---



RESİMLER LİSTESİ

Resim 2.1. Sentetik olarak hazırlanmış evsel atıksu (Orijinal).....	17
Resim 2.2. <i>P. chrysosporium</i> mantarlarının inkübe edilişi (Orijinal).....	18
Resim 2.3. <i>P. chrysosporium</i> pelletleri (Orijinal).....	19
Resim 2.4. Çalkalayıcılı ortamdaki biyoremediasyon çalışması (Orijinal).....	20
Resim 2.5. Statik ortamdaki biyoremediasyon çalışması (Orijinal).....	21
Resim 2.6. DR/890 Kolorimetrik KOİ cihazı (Orijinal).....	22



SEMBOLLER LİSTESİ

%	: yüzde
°C	: Santigrat
C	: Karbon
CaCl ₂ H ₂ O	: kalsiyum klorit dehidrat
CO ₂	: Karbondioksit
K ₂ HPO ₄	: Üre
MgSO ₄ 7H ₂ O	: Magnezyum sülfat heptahidrat
N	: Azot
N ₂ – N	: Azot gazı
NaCl	: Sodyum klorit
NH ₃ -N	: Amonyum Azotu
NH ₃	: Amonyum
NO ₂ -N	: Nitrit Azotu
NO ₃ -N	: Nitrat Azotu
O ₂	: Oksijen
OH	: Hidroksil
Org-N	: Organik Azot
P	: Fosfor

KISALTMALAR LİSTESİ

µL	: Mikrolitre
AAT	: Atık su arıtma tesisi
AFB	: Aktif farmasötik bileşenler
AKM	: Askıda Katı Madde
AMD	: Antimikrobiyal direnç
BOİ	: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
cm	: Santimetre
Ç.O	: Çözünmüş oksijen
<i>E. coli</i>	: <i>Escherichia coli</i>
IC	: İyon kromotograf
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
L	: Litre
mg	: Miligram
mL	: Mililitre
mM	: Milimolar
ng	: Nanogram
OC	: Organik karbon
SDB	: Subauraud Dextrose Broth
TN	: Toplam Azot
TOK	: Toplam Organik Karbon
TP	: Toplam Fosfor
UOB	: Uçucu organik bileşikler
US EPA	: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı

ÖZET

Bu çalışma ile *P. Chrysosporium* beyaz çürükçül mantarı kullanılarak sentetik olarak hazırlanmış evsel atıksudaki kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), Toplam Organik Karbon (TOK), Toplam Azot (TN), Toplam Fosfor (TP) gibi önemli bazı çevresel parametreler bazında elde edilen giderim verimleri araştırılmış ve Kentsel Atıksu Arıtım Yönetmeliği' ne göre biyoremediasyon sonuçlarının uygun olup olmadığı belirlenmiştir. Çalışma statik 1/1, 1/5 ve Dinamik 1/1, 1/5 seyreltme oranlarında yürütülmüş olup toplamda 11 gün sürmüştür. Çalışma sonucunda en yüksek giderim verimleri 1/5' lik dinamik ortamda KOİ, TOK, TN ve TP için sırasıyla %84, 81, 73 ve 56 olarak bulunurken, en düşük giderim verimleri ise %48, 33, 31 ve 45 olarak statik 1/1' lik ortamda saptanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre *P. Chrysosporium* beyaz çürükçül mantarının sentetik evsel atıksu üzerinde 11 gün gibi makul bir sürede etkin bir biyoremediasyon verimi gerçekleştirdiği ve elde edilen nihai değerlerin de Kentsel Atıksu Arıtım Yönetmeliği' nde belirtilen limit değerlere uygun olduğu gözlemlenmiştir. Bu veriler ışığında, *P. chrysosporium* beyaz çürükçül mantarının, kentsel atıksuların biyolojik arıtım kademelerinde etkin bir mantar türü olduğu saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: Biyoremediasyon, Evsel atıksu, *P. chrysosporium*, Toplam Azot, Toplam Fosfor

ABSTRACT

Bioremediation of Synthetically Prepared Domestic Wastewater with *Phanerochaete chrysosporium*

In this study, the removal efficiencies obtained on the basis of some important environmental parameters such as chemical oxygen demand (COD), Total Organic Carbon (TOC), Total Nitrogen (TN), Total Phosphorus (TP) in the synthetically prepared domestic wastewater using *P. Chrysosporium* white rot fungus. investigated and it was determined whether the results of bioremediation were appropriate according to the Urban Wastewater Treatment Regulation. The study was conducted at static 1/1, 1/5 and Dynamic 1/1, 1/5 dilution ratios and lasted 11 days in total. As a result of the study, the highest removal efficiencies were found to be 84, 81, 73 and 56 %, respectively, for COD, TOC, TN and TP in a 1/5 environment at dynamic conditions, while the lowest removal efficiencies were found to be 48, 33, 31 and 45 as static 1/1. It was found in the environment. According to the results of the study, it was observed that *P. Chrysosporium* white rot fungus performed an effective bioremediation efficiency on synthetic domestic wastewater in a reasonable period of 11 days and the final values obtained were in accordance with the limit values specified in the Urban Wastewater Treatment Regulation. In the light of these data, it was determined that *P. chrysosporium* white rot fungus is an effective fungus species in the biological treatment stages of urban wastewater.

Keywords: Bioremediation, Domestic wastewater, *P. chrysosporium*, Total Nitrogen, Total Phosphorus

1. GİRİŞ

Su, içme, endüstriyel işleme, tarım ve birçok ürünün imalatı gibi çeşitli kullanım alanlarıyla en değerli küresel varlıktır (Wanga ve ark. 2011). Özellikle gelişmekte olan ülkelerde suya olan talebin artmasının en önemli nedeni nüfus artışıdır. Suya olan talep, nüfus artış hızının neredeyse iki katına çıkmakta ve bu da kullanılan suyun geri dönüştürülmesi zorunluluğunu doğurmaktadır. Bu nedenle, bilim dünyası, çeşitli kaynaklardan gelen atık suyu arıtmak için otuz yılı aşkın bir süredir çeşitli verimli metodolojiler geliştirmeye dahil olmuştur. Ne yazık ki, çalışmaların ve metodolojilerin çoğu endüstriyel atık suların arıtılması için geliştirilmişken, evsel atık suların arıtılmasına gösterilen ilgi çok azdır. Araştırmalar, endüstriyel atık suyun yaklaşık %59,26' sının bertaraf edilmeden önce arıtıldığını, evsel atıksuyun ise sadece %25,76' sının arıtılıp bertaraf edildiğini ortaya koymuştur.

İnsan nüfusunun artması, aynı zamanda artan insan ihtiyaçlarını karşılamak için kentsel, tarım ve sanayi gibi birçok sektörde gelişmelere yol açmaktadır. Bu hızlı büyüme, doğal kaynakların hızla tükenmesinin yanı sıra çevre kirliliğine neden olan atık üretiminin artmasına neden olmaktadır (Sharma ve ark., 2022). Jones ve ark. (2021), mevcut atık su arıtma proseslerinin sürekli iyileştirilmesinin önemini vurgulayarak, dünya çapında yıllık yaklaşık 360 milyar m³ atık su üretimi tahmin etmektedir.

Atık su yönetimi, evsel atık su kaynaklarının (lavabolar, küvetler, tuvaletler, çamaşır makineleri ve mutfaklar dahil), ticari ve endüstriyel, yağmur suyu akışı ve tarımsal atık su kaynaklarının dolaylı ve doğrudan karışmasını konu alır. Buna göre sürdürülebilirlik, ülke vatandaşlarının güvenli suya erişimi, gıda güvenliği, çevrenin korunması ve ekonomik büyümenin sağlanmasında çok önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin, karma atık su arıtımı, kombine atıksu yönetimi, su kaynağı sürdürülebilirliği ve güvencesi dahil olmak üzere mevcut politika yönergelerini tamamlayan doğrusal bir ekonomik modelden döngüsel bir ekonomik modele dönüşmüştür (Liu ve ark., 2021). Gıda kaynaklarından gelen atık su akışı yönetimi, hayatta kalmak için insan gıda tüketiminin yoğunluğuna bağlıdır (Padeyanda ve ark., 2015) ve aşağı yönde atık su akış döngüsünü kapatma zorluğu zamandan (dönemden) mekâna (konum) göre değişir.

Haneler, evsel atık su (gri su) ve karasuya birincil katkıda bulunanlardır ve çoğu birimin sanitasyonlu tuvaletlere veya kanalizasyon sistemlerine erişimi vardır. Gıda akış kaynaklarından kaynaklanan çoğu atık su yönetimi, genellikle su kirliliği, kanalizasyon

taşması, uygun olmayan konut tadilatları, gelir getirmeyen su, gıda atıkları ve diğerleri gibi atık su saptırma krizleri nedeniyle kesintiye uğrar. Bu nedenle, çözüm, optimum momentumuna yenilik akışlarında araştırılmalı ve geliştirilmelidir.

Ötrofikasyon, azot ve fosfor gibi besinlerin insan faaliyetleri nedeniyle göl, nehir, koy gibi yavaş akan sulara hızla girerek alg ve diğer planktonların hızla çoğalmasına ve bunun sonucunda çözünmüş oksijenin (DO) azalmasını ifade eder ki bu durum da su kalitesinde bozulma ve büyük balık ve diğer organizma ölümleri ile sonuçlanır. Ayrıca, su ötrofikasyonu, su kaynaklarının kullanım değerini ve süslü değerini büyük ölçüde etkiler. Bu nedenle, evsel atık sudaki azot, fosfor ve organik maddenin arıtılması ana dikkat ve en yüksek önceliktir (Liu ve ark., 2021).

Gelişmekte olan ülkelerde yaygın olarak kullanılan arıtma yöntemleri, membran biyoreaktörler, aktif sistemler, dönen biyolojik diskler vb. dahil olmak üzere geleneksel atık su arıtma sistemleridir.

1.1. Evsel Atıksu

Artan şehirleşme faaliyeti, yüzey sularında artan kirlilik üzerinde ciddi bir etkiye sahip olmuştur (Strokal ve ark., 2021). Gelişmekte olan ülkelerde, toplulukların çoğu evsel atık sularını doğrudan nehirlerle deşarj ederek su kalitesini düşürmektedir (Harahap ve ark., 2021). Evsel atık su genellikle tuvalet, mutfak, çamaşırhane, araba yıkama, temizlik ve duş gibi evsel faaliyetlerden kaynaklanır (Widyarani ve ark., 2022). Ayrıca evsel atık su, toplam askıda katı maddeler (AKM), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), toplam azot (organik azot ve inorganik azot (amonyak, nitrit ve nitrat) ve toplam fosfat (Kurniawan ve ark., 2021) içerirler. Bu nedenle, evsel atık suların çevreye deşarj edilmeden önce kirletici konsantrasyonlarını azaltmak için arıtılması gerekir.

Evsel atık su, gri su ve kara sudan oluşur. Gri su, duşlardan, banyolardan, kaplıcalardan, lavabolardan, çamaşır leğenlerinden, çamaşır makinelerinden, bulaşık makinelerinden ve mutfak lavabolarından kaynaklanan atık suları içerirken, tuvaletlerden kaynaklanan atık sular siyah sudur. Konut amaçlı tüketilen tatlı suyun %24'ü tuvalet, %20'si duş, %19' u musluk, %17' si çamaşırhane ve %20' si diğer evsel amaçlar için kullanılmaktadır (Ranade ve Vinay, 2014).

Evsel atık su yönetimi, gelişmekte olan ülkelerdeki en önemli endişelerden biridir (Akowanou ve Aina, 2022). Ulusal nüfus artışıyla birlikte, tatlı su talebi artmış ve atık su

üretiminin artmasına neden olmuştur. Çoğu zaman, atık su arıtılmadan doğrudan su kütlelerine deşarj edilir ve bu da yüzey sularının kirlenmesine ve ötrofikasyonuna neden olur (Tong ve ark., 2022). Ayrıca arıtılmayan atık sular ishal, tifo ve kolera gibi su kaynaklı hastalıklara neden olabilir (Ahmad ve ark., 2021). Bu nedenle, atıksudaki kirleticilerin doğaya deşarj edilmeden önce azaltılması için kullanılabilecek uygun atıksu arıtma yöntemlerinin bulunması gerekli hale gelmektedir. Evsel atık su, çoğunlukla dışkı ve idrar ile tuvalet sifonu için kullanılan su ve evlerden, kurumlardan ve ortak binalardan üretilen çamurdan oluşan insan atıklarından oluşur (Larsen ve Maurer, 2011). Evsel atık su genellikle doğası gereği karmaşıktır ve yüksek konsantrasyonlarda organik madde ve besinler (fosfor ve azot) ile karakterize edilir (Musa ve ark., 2018) (Tablo 1.1). Evsel atık suyun bir fraksiyon bileşeni olarak, insan idrarı toplam azotun yaklaşık %90' ını, toplam fosforun %55'ini ve önemli miktarda potasyum içerirken, kara su (evsel atıksuyun ana bileşeni) toplamın %95'inden fazlasını içerir. azot, toplam fosforun %90'ı ve toplam KOİ'nin %50'sini oluşturur (Hu ve ark., 2016).

Tablo 1.1. Gelişmekte olan ülkelerde uygulanan insan dışkısı ve idrarı açısından evsel atık suyun fraksiyonları ve bileşimi (Henze ve Comeau, 2008).

Atıksu fraksiyonu	Tanım	Atıksu parametreleri	% olarak yaklaşık kompozisyon	
			Dışkı	İdrar
Kahverengi su	Dışkı, tuvalet kağıdı, sifon suyu (idrarsız tuvalet atıksuyu)	Nem	66–80	93–96
Gri su	Duş, mutfak, lavabo ve çamaşırhaneden gelen yıkama suyu	Organik madde	88–97	65–85
Sarı su	Dışkısız ve sifonlu/susuz idrar	Azot	5–7	15–19
Kara su	Yıkama suyu olan/olmayan dışkı ve idrar karışımı (yani dışkı, idrar, tuvalet kağıdı ve sifon suyu)	Fosfor	3–5,4	2,5–5
	Dışkı, organik madde, besinler ve iz elementlerin tüm patojenlerini içerir	Potasyum	1–2,5	3–4,5
		Karbon	44–55	11–17
		Kalsiyum	4,5	4,5–6

1.2. Endüstriyel atıksu

Endüstriyel uygarlık, insan uygarlığının önemli bir tezahürüdür (Ji ve ark., 2016). Endüstriyel üretim sürecinde genellikle büyük miktarda endüstriyel atık su üretilir (Zhang ve ark., 2019). Sanayileşmenin hızlı gelişimi çevreye önemli zararlar vermiş, insan sağlığını ve sürdürülebilir kalkınmayı tehdit etmiştir. Özellikle birincil hammaddelerin işlenmesi ve üretiminin çoğunu üstlenen gelişmekte olan ülkelerde kirlilik daha ciddi bir sorundur (Tong ve Elimelech, 2016). Kimyasal madde ilavesi ile arıtım diğer arıtım işlemleriyle karşılaştırıldığında, hammadde ve ham ürün üretimindeki kirleticilerin birim deşarjı ve kirlilik yoğunluğu genellikle daha yüksektir, ancak gelişmekte olan ülkeler gerekli arıtma teknolojisinden ve finansmandan yoksundur (Ashrafi ve ark., 2015). Endüstriyel üretim süreci, büyük miktarda mevcut taze temiz su tüketir ve buna bağlı olarak büyük miktarda atık suyu deşarj eder (Xie ve ark., 2016). Endüstriyel atık su, yüksek dirençli organik kirleticiler, yüksek tuz ve yüksek toksisite özelliklerine sahiptir (Guo ve ark., 2019).

1.3. Hastane Atıksuyu

Hastaneler, bir ülke vatandaşının sağlık durumunun korunmasında kritik rol oynamıştır. Öte yandan, hastane faaliyetlerine genellikle çeşitli inorganik, organik ve mikrobiyal bileşenlerin oluşumu eşlik eder ve bunlar genellikle önceden bir işlem görmeden çevreye salınır. Hastane atık yönetimi, insan ve sucul türler üzerinde zararlı etkileri olan toksik kirleticilerin varlığı nedeniyle çevre kimyacıları için önemli bir endişe kaynağı olmuştur. Ogwugwa ve ark., (2020)' ye göre hastanede yatak başına üretilen günlük atık su gelişmiş ülkelerde 40 ila 120 L arasında, Nijerya gibi gelişmekte olan ülkelerde 2–50 L arasında değişmektedir (Kumari ve ark., 2020). Mevcut genel hizmetler, yani çamaşırhane, mutfak, koğuş ve birimlerin sayısı ve türü, sıcaklık kontrol sistemleri; ayakta ve yatan hasta sayıları, tesis yaşı, yatak sayısı ve bakım prosedürleri; kurumsal yönetim uygulamaları, coğrafi konum, hizmet periyodu ve mevsim, herhangi bir hastanede üretilen atık su hacmi üzerinde etkilidir (Verlicchi, 2018).

Hastane atık suyu, aşağıdakiler gibi ortaya çıkan çeşitli mikro kirleticilerle yüklenir; antiinflamatuvar, antidiyabetik, antiepileptik gibi orijinal veya metabolize farmasötik bileşikler, pestisit kalıntıları, endüstriyel kimyasallar, perflorlu bileşikler, sürfaktanlar, kişisel bakım ürünleri, analjezikler, bozucu bileşikler, endokrin, antibiyotikler ve hormonlar

radioaktif elementler ve mikroorganizmalar gibi; fekal koliform, toplam koliform, patojenler (*E. coli*, *Vibrio Staphylococcus aureus*, *Salmonella* ve *Pseudomonas aeruginosa*), radyo elementler ve ağır metaller (Khan ve ark., 2020) ve bu kirleticilerden bazıları mikro kirleticiler olarak sınıflandırılır ($10^{-6} - 10^{-3}$ mg/L) veya ölçülen miktarlarına göre makro kirleticiler ($>10^{-3}$ mg/L) ve bunların çoğunluğunun çevrede düzenleyici statüsü yoktur (Majumder ve ark., 2020).

Aktif farmasötik bileşenler (AFB) sürekli olarak hastane atık suları yoluyla salınır ve çok düşük konsantrasyonlarda bile suda yaşayan organizmalar için toksik olduğu gösterilmiştir. Bu bileşiklerin su kaynaklarının kirlenmesi ve antimikrobiyal direncin (AMD) yayılması yoluyla gıda zincirlerinde birikmesi nedeniyle insan sağlığına yönelik gelecekteki riskler de ortaya çıkabilir. İlaç reçete oranlarında devam eden küresel artış, su ortamlarında AFB konsantrasyonlarını artırmaktadır. Mevcut atık su arıtma tesisleri (AAT)'ler bu bileşiklerin çoğunun giderilmesinde etkisizdir (Valdivia ve ark., 2023).

Pestisitler ve ilaçlar gibi antropojenik kaynaklı organik mikro kirleticiler dünya çapında yüzey sularında (nehirler, göller), yeraltı sularında ve içme sularında tespit edilmiştir (Wilkinson ve ark., 2022). AFB' ler, su ortamında (Carraro ve ark., 2016) iz ($\mu\text{g/L}$) veya ultra-eser (ng/L) konsantrasyonlarda bile biyota üzerinde zararlı toksik etkilere neden olma potansiyelleri göz önüne alındığında, ortaya çıkan öncelikli maddeler olarak dikkat çekmiştir. Son 40 yılda, atık su atıklarındaki ilaç kalıntıları ve metabolitlerinin, balıklarda (antidepresanlara maruz kalan) davranış değişiklikleri veya türlerin dişileşmesi (sentetik doğum kontrolüne maruz kalan) gibi suda yaşayan organizmalarda akut ve kronik olumsuz etkilere neden olduğu gösterilmiştir. Ek olarak, atık sudaki antibiyotikler, mikrobiyal popülasyonlarda devam eden ve dramatik antimikrobiyal direncin (AMD) yayılmasına katkıda bulunmaktadır (Lien ve ark., 2016). AFB' lerin su ortamındaki zararlı etkileri, alıcı sularındaki mevcudiyetleri ve geleneksel atık su arıtımı ile yetersiz uzaklaştırılmaları göz önüne alındığında, insan sağlığı ile ilgili endişeleri artırmaktadır (Luo ve ark., 2014). Bu da su kaynaklarında düşük seviyeli AFB oluşumuna ve/veya gıda zincirlerinde potansiyel birikmeye neden olabilir (Johnson ve ark., 2008). Bazı AFB' lerin ekotoksisitesi ayrıntılı olarak araştırılmış olsa da, dünya çapında hastalık tedavisi için ruhsatlandırılmış yaklaşık 4000 AFB' nin çoğu, ekotoksisite açısından hala zayıf bir şekilde sınıflandırılmıştır veya ulusal su kalitesi düzenleyici kurumları tarafından izlenmemektedir (Caldwell, 2016).

Özel olarak hastanelerden kaynaklanan atık su, hasta idrarı ve dışkısı ile ilişkili çok çeşitli AFB' ler ve metabolitler içerir (Aukidy ve ark., 2014) Hastaneler, önemli miktarda su

tüketmeleri nedeniyle çevresel AFB kirliliği için kilit nokta kaynakları olarak tanımlanmıştır (200– 1200 L/yatak/gün), hastane atık sularında sürekli AFB salınımı ve ardından alıcı suların kirlenmesi (Verlicchi ve ark., 2010) bu kirlilik kaynaklarının başlıcalarıdır. Sinerjistik toksisiteye bağlı olarak ekotoksosite potansiyeline sahip hastaneden türetilen bu AFB karışımları, atık su arıtımı öncesinde ortak kanalizasyonlarda genellikle evsel ve endüstriyel atık su ile karıştırılır ve bu atık su ile seyreltilir (Chanova ve ark., 2016).

1.4. Atıksuların Sağlık Etkileri

Gelişmekte olan ülkelerde su, sanitasyon ve hijyen ciddi bir endişe kaynağıdır ve dünya çapında her yıl milyonlarca ölümden sorumludur (Uddin ve ark., 2015). Küresel nüfusun yaklaşık %36' sını iyileştirilmiş sanitasyon hizmetlerine erişemezken, yaklaşık 1 milyar insan günlük ihtiyaçlarını karşılamak için temiz içme suyuna hâlâ erişememektedir (Simha ve Ganesapillai, 2017). Evsel atık su, siyah sudan (patojen kaynakları), sarı sudan (idrardan ve besin açısından zengin) ve gri sudan (duş giderlerinden ve yıkama tesislerinden) oluşur ve genel atık su akışının en büyük bölümünü temsil eder. Gelişmekte olan ülkelerde, evsel atık suyun %90' ından fazlası herhangi bir arıtma yapılmadan depolanmakta veya yakınlardaki nehirlerle, göllere ve kıyı bölgelerine deşarj edilmekte, su kalitesinin bozulması ve biyolojik çeşitliliğin kaybı gibi ciddi ekolojik sorunlara neden olmaktadır (Caspersen ve Ganrot, 2018). Ayrıca kolera, dizanteri ve tifo gibi suyla bulaşan ve küresel sağlık yükünün artmasına neden olan (Taseli ve Kilkis, 2016) çeşitli hastalıklara neden olabilen çeşitli patojenik ajanları da taşır (Moe ve Rheingans, 2006).

1.5. Biyoremediasyon

Atık su arıtma proseslerinin ana amacı, suda zararlı değişikliklere yol açmadan suyu su ortamına geri döndürmek için kirleticilerin uzaklaştırılmasıdır. Ancak paradigma, döngüsel ekonomi kavramına doğru değişmektedir (Zhang ve Liu, 2022). Sonuç olarak, enerji tüketimini azaltmak ve azotu dönüştürmek ve atmosfere salmak yerine geri kazanmak için aktif çamur, nitrifikasyon ve denitrifikasyon içerenler gibi geleneksel atık su arıtma proseslerinde değişiklikler yapılması düşünülmektedir (Sharma ve ark., 2022).

Mikroorganizma yetiştiriciliği US EPA (Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı)' (2011) göre gölet tabanlı teknoloji ile atık su arıtımında 3000 yıldan beri

kullanılmaktadır. Bununla birlikte, son yıllarda atık sudan değerli ürünleri geri kazanma özelliği nedeniyle bu teknolojinin kullanımında bir popülerite artışı olmuştur (Geremia ve ark., 2021).

Mikroorganizmaların farklı kirleticileri (özellikle azot ve fosfor) atık sulardan uzaklaştırma kapasitesi hakkında birçok çalışma yayınlanmıştır. Bununla birlikte, kaynakların geri kazanımı ve akıbeti hakkında kütle dengelerini gerçekleştirmek için gerekli ayrıntılı verileri sağlayan raporlar, yani makro besinler karbon, azot ve fosfor için azdır (örneğin, karbon dönüşümü çoğunlukla oksijen talep birimlerinde ifade edilir, bu da kütleyle daha fazla belirsizlik getirir). Bunun nedeni, bu besinlerin açık mikroorganizma sistemlerinde dönüştürülebildiği çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal yollardır. Besinler, biyoreaktörden çıkan katı (ör. biyolojik çamur, inorganik çökeltiler), sıvı (ör. artık çözünmüş katılar) ve gaz (ör. CO₂, O₂, uçucu organikler) akışlarında geri kazanılabilir veya kaybolabilir ve çoğu rapor yalnızca sıvı ve biyokütle fraksiyonlarında kısmi veriler sağlar.

Başka bir açıdan bakıldığında, evsel atık sudaki organik madde ve inorganik tuzlar, mikroorganizmalar için yararlı besinlerdir. Günümüzde çok sayıda çalışma, aynı anda biyokütle üretimi ve kanalizasyonun arıtılması amacına ulaşmak için atık su arıtımı ve mikrobiyal biyokütle birikimini birleştirmiştir. Mikroorganizmalar, zengin protein içerikleri nedeniyle yem veya gıda için potansiyel ikamelerdir. Ayrıca lipitler, pigmentler ve diğerleri gibi yüksek değerli kimyasalların üretilmesi için bir hammadde kaynağı olarak kabul edilirler (Alam ve ark., 2016). Bu arada, besinlerin, ağır metallerin ve fenantren, asetonitril, fenol ve salisilat gibi tehlikeli organik kirleticilerin uzaklaştırılmasında kilit roller oynayabilirler (Xiao ve ark., 2019). Bununla birlikte, mikroorganizmaların uygulanması, düşük spesifik büyüme hızları ve tehlikeli bileşiklere karşı hassasiyetleri nedeniyle sınırlıdır (Henriques ve ark., 2017). Örneğin ağır metaller, mikroalglerin fotosentezini etkileyen güçlü inhibitörlerdir (Pfeiffer ve ark., 2018).

Ağır metallerle kirlenmiş suları arıtmanın çöktürme-filtrasyon, iyon değişimi, ters ozmoz ve oksidasyon-indirgeme reaksiyonları gibi fiziksel ve kimyasal yöntemler gibi birçok yolu vardır (Carolin ve ark., 2017). Bununla birlikte, kimyasal reaktiflerin kullanılmasını öneren yöntemler, suyun ikincil kirlenmesine yol açabilir. Ayrıca, bu tür bir arıtma etkili olmayabilir ve çoğu durumda pahalı bir atık arıtma olarak kabul edilebilir (Das ve Poeter, 2021). Bu anlamda çalışmalar, bakteri, mantar ve algler gibi biyolojik materyallerin ağır metal biyoremediasyonundaki potansiyelini göstermiştir ki bu da düşük maliyet ve mevcudiyet gibi temel bir avantaj sunar (Leong ve Chang, 2020).

Biyoremediasyon, farklı biyolojik kaynaklardan elde edilen doğal ürünler aracılığıyla kirli çevreyi temizlemek için biyolojik bir yaklaşımdır. Teknik açıdan hem çevre dostu hem de biyosüpfaktanlar ve biyokatalizörler gibi biyo-ürünler kullanarak iyileştirme performanslarını artırmak ve toksik olmayan yeni ürünler elde etmek için çevresel restorasyon açısından da yenilikçidir ve sürdürülebilir yaklaşımların uygulanmasını esas alır (Thanigaivel ve ark., 2022)

1.5.1 Biyoremediasyonu etkileyen faktörler

Biyolojik bozunmayı etkileyen faktörler şunlardır:

- pH (optimum 5.5-8.5),
- Biyoremediasyonun gerçekleşeceği ortamın nem muhtevası
- Sıcaklık koşulları (20-30°C de gelişen biyoremediasyon faaliyetlerinde aerobik şartlarda gelişen mikroorganizmalar tercih sebebidir)
- Mikroorganizmaların genç ya da yaşlı birey oluşu (Tercihen taze kültürler kullanılır)
- Karıştırma hızı (mekanik ve hava karıştırma, mikroorganizmaların biyoremediasyon faaliyetinde çalışacak olan enzimlerini bozmayacak hızda),
- Besinler (N, P, C vb mikro besinler),
- Mikrobiyal popülasyon (doğal olarak oluşan mikroorganizmaların başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür ancak kompleks yapıdaki bileşikler için genetik olarak tasarlanmış mikroorganizmalar da tercih edilebilir)
- Reaktör işletimi (parti ve sürekli kültürler).

1.5.2. Biyoremediasyonun avantajları

Biyoremediasyon, doğal biyolojik (mikrobiyal) aktiviteyi kullanarak kirlenmiş alanların temizlenmesine yardımcı olan düşük maliyetli, ekonomik olarak uygulanabilir bir yöntemdir (Erguven and Yildirim, 2019). Toksinleri parçalama, detoksifiye etme veya toksinleri zararsız hale getirme konusunda biyokimyasal kapasiteye sahip bakteriler, mantarlar veya bitkiler kabul edilebilir türler olabilir. Belirli durumlarda, mikroorganizmalar sahada zaten mevcut olabilir veya başka bir yerden çıkarılabilir ve örnek olarak biyoreaktörler kullanılarak işlenen malzemeye dahil edilebilir (Das ve ark., 2012). Biyolojik süreçlerin çoğu kirleticileri güvenli suya ayrıştırır ve karbondioksit

mikroorganizmalar tarafından kullanır. Evsel atıksuyun bozunma verimliliğini değerlendirmek için, biyolojik bozunma sistemlerindeki asılı partiküllerin yerel olarak uzaklaştırılması, aşırı hidrolik tutma süresi, bulanıklığın uzaklaştırılması ve biyolojik bozunma sabiti gibi çeşitli özelliklerin ele alınması gerekir (Saxena et al., 2020).

1.5.3. Biyoremediasyonun dezavantajları

Biyoremediasyon teknolojisnin kullanılabilirliğinin sadece biyolojik olarak parçalanabilen bileşiklerle sınırlı kalması bir dezavantaj olarak görülebilir. Son yıllarda araştırmacılar biyolojik bozunmadan sonra ortaya çıkan ürünlerin, bileşiğin ilk halinden daha toksik olabileceğini tespit etmişlerdir. Ayrıca biyoremediasyonun başlangıcında gerekli olan zaman, özellikle kazı ve pompalama faaliyetleri için ex situ kademelerinde oldukça uzun sürebilir (Erguven and Yildirim, 2019).

1.5.4. Biyoremediasyon çeşitleri

Biyoremediasyonda kullanılan teknikler çeşitlidir ve çeşitli türdeki kirletici maddeler tarafından hasar görmüş bölgelerin eski haline getirilmesinde etkilidir. Mikroorganizmalar biyoremediasyonda çok önemli bir rol oynadıklarından, kirli ortamlardaki çeşitlilikleri, bollukları ve topluluk yapıları, diğer çevresel faktörlerin mikrobiyal aktiviteleri engelleyebilmesi koşuluyla, herhangi bir biyoremediasyon tekniğinin sonucuna ışık tutabilir (Torres ve ark., 2021).

Biyoremediasyon yöntemlerindeki son gelişmeler, son 20 yılda, nihai amaç olarak hasarlı bölgelerin verimli ve ucuz bir şekilde eski haline getirilmesi amacıyla yapılmıştır. Araştırmacılar çeşitli biyolojik iyileştirme stratejileri geliştirmiş ve simüle etmiş olsa da, hiçbir biyolojik iyileştirme yöntemi, zarar görmüş habitatları temizlemek için "sihirli mermi" olarak kullanılamaz (Martins ve ark., 2022). Çevre, büyümeleri ve metabolizmaları için elverişli ise, kirli ortamlarda bulunan yerel (yerli) mikroorganizmalar, kirletici maddelerin biyolojik bozunması ve biyolojik ıslahı ile ilgili sorunların çoğunu ele alma potansiyeline sahiptir. Biyoremediasyonun kimyasal ve fiziksel temizleme yöntemlerine kıyasla kritik faydaları arasında maliyet ve çevre dostu özellikleri yer alır (İbrahimi ve ark., 2022).

1.5.4.1. Mikrobiyal remediasyon

Hızlı sanayileşme ve büyük ölçekli antropojenik faaliyetler nedeniyle kirlilik seviyesi hızla artmaktadır ve bu durum da önemli bir endişe kaynağı (Wani ve ark., 2022) yaratmaktadır. Ayrıca, mikroorganizmalar biyoremediasyon faaliyeti göstereceği ortamlara kolayca erişilebilir özellikte ve oldukça çeşitlidir. Mikroorganizmalar her yerde bulunur, hızlı bir şekilde karakterize edilir ve besin kaynağı olarak çeşitli toksik elementleri kullanabilir (Priyanka ve ark., 2020).

Biyoremediasyon, kirleticilerin mikroorganizmalar kullanılarak su ve karbondioksit (organik kirleticiler için) veya daha az tehlikeli formlara tamamen parçalanmasıdır. Biyoremediasyon, çevreye fayda sağlayan bir prosedürdür (Götz ve ark., 2019). Mikrobiyal reaktörler, mikrobiyal büyümeyi etkili bir şekilde sağlamak için en uygun koşulları sağlar. Mikroorganizmalar her yeredir ve çeşitli çevresel bölmeler aracılığıyla kirleticilerle temasa geçerler. Mikroplar, küçük rota değişiklikleri olsun ya da olmasın, kirleticileri içsel metabolik süreçleriyle parçalayarak, kirleticinin biyotransformasyon için ortak mikrobiyal metabolik yola kanalize edilmesini sağlar (Tekere 2019)

1.5.4.2. Biyolojik havalandırma

Bioventing olarak da adlandırılan biyolojik havalandırma, organik kirleticileri sudan oksijen takviyesiyle biyolojik olarak ayrıştırmak için kullanılan teknolojidir. Doymamış alana hava veya oksijen ekleyerek endojen bakteri ve arkelerin aktivitesini ve hidrokarbon türevlerinin biyolojik bozunmasını kolaylaştırır. Biyolojik havalandırma sırasında, oksijen, toprağın artık kirliliğine doğrudan hava enjeksiyonu ile sağlanabilir. Buharlar biyolojik olarak toprakta aktif olarak hareket ettikçe, öncelikle emilen yakıt atıklarının bozulmasına ve uçucu organik bileşiklerin (UOB) bozulmasına katkıda bulunur. Biyolojik havalandırma yaklaşımı, anaerobik olarak parçalanabilen toprak bileşiklerinde organik hidrokarbonların, böcek öldürücülerin ve diğer kirleticilerin oksidasyonunu artırır (Khan ve ark., 2004).

Bioventing, mikrobiyal aktiviteyi ve büyümeyi artırmak için kirliliği azaltan bir ortamdan oksijen çekme tekniğidir. Bu biyoremediasyon yönteminde havadaki yerel bakteriler ve kirlenmiş topraktaki besinler kullanılır (Rajkamal ve ark. 2016). Bu işlem toksik hidrokarbonlar için etkilidir ve kirlilik yüzeyin çok altındaysa kullanılabilir. Bulaşma derinliği 30 ile 60 cm arasında olduğunda bu işlem kritik olacaktır. Kompostlama, kirlenmiş

toprağı bir hacim arttırıcı madde ile birleştiren termofilik ve aerobik bir süreçtir. Bu işlem, ortamdaki kirlilik yığınları, havalandırılmış yığınlar veya sürekli beslenen bir reaktör ile kullanılabilir. Kompostlama, kirli toprağı tehlikesiz organik katkılarla (organik atık veya gübre) karıştırmaktır. Bu yöntemdeki sıcaklıklar genellikle 55 ile 65°C arasında değişir. Ex-situ ve in-situ biyoremediasyon, arazi tarımından fayda sağlayabilir. Bioventing, kirli ortamların biyolojik ıslahında biyo yığınların kullanılmasıdır. Bu işlem, hidrokarbonla kirlenmiş toprağı uygulanabilir (Shojaei ve ark., 2021).

1.5.4.3. Biyoliç

Biyoliç, bakteri kullanarak metallere düşük dereceli cevherleri ve mineralleri geri kazanmak için geliştirilmiş bir yöntemdir. Çözünmeyen metal sülfürleri çözünür metal sülfatlara dönüştürmek için kemolitotrof bakterilerin, özellikle *Thiobacillus ferro* oksidanlar ve Tiyooksidanların aktivitesi gereklidir. Sülfid olmayan cevherler, heterotrofik bakteri ve mantarlar kullanılarak işlenir. Metal ekstraksiyonu, organik asitlerin işlenmesi ve koordineli bileşiklerin atmosfere atılmasından kaynaklanır. Şu anda çoğunlukla bakır, uranyum ve altının geri kazanılması için kullanılmaktadır. Altın cevherlerinin işlenmesi için tank liçi kullanılır. Ayrıca metalleri geri dönüştürmek ve radyoaktif atık ürünleri, çamuru ve ağır metalle kirlenmiş toprağı detoksifiye etmek için kullanılır (Prahraj ve ark., 2022).

Çamurdaki pıhtılaştırıcı tuzların çoğı, kimyasal asitleştirme ve biyolojik liç prosedürleriyle çözülecektir. Biyoliç konusunda son yıllarda yapılan çalışmaların çoğı, bir *Acidithiobacillus ferrooxidans* ve *Acidithiobacillus thiooxidans* kültürünün kullanılmasına odaklanmıştır. Metaller, ya doğrudan liç yapan bakterilerin metabolizması yoluyla ya da dolaylı olarak bakteriyel metabolizma ürünleri yoluyla substrattan çözünür. Biyolojik liç işleminin, değerli metalleri minerallerden ve belediye veya endüstriyel atıklardan çıkarmanın, ayırmanın ve geri kazanmanın uygun maliyetli ve verimli bir yolu olduğu kanıtlanmıştır. Biyolojik liç, ağır metalleri kanalizasyon çamurundan ve taranmış tortulardan uzaklaştırmak ve metalleri e-atık, kül ve lityum pillerden kurtarmak için kullanılmıştır (Khan ve ark. 2004).

1.5.4.4. Biyobüyütme

Biyoaugmentasyon olarak da tanımlanan biyobüyütme, bozunma oranını iyileştirmek için karmaşık katabolik fonksiyonlara sahip genetiği değiştirilmiş bakteriler ekleyerek mikroorganizma türlerinin etkinliğini arttırma işlemidir (Abdulsalam ve ark., 2011). Belirli kimyasalların parçalanmasını iyileştirmek için atık su reaktörlerine belirli suşların eklenmesi, uzaklaştırma verimliliğini arttırmak için ileri görüşlü bir stratejidir. Biyobüyütme genel olarak iki ana stratejiye ayrılır: (1) yerel mikroorganizma zenginleştirme yoluyla biyobüyütme ve (2) yerel olmayan mikroorganizma zenginleştirme yoluyla biyobüyütme (Poi ve ark., 2017).

1.5.4.5 Biyostimülasyon

Biyostimülasyon, onları aktive etmek için doğal olarak oluşan mikrobiyal türlere elektron alıcılarının, elektron donörlerinin veya besin maddelerinin eklenmesidir. Ağırlıklı olarak, mikrobiyal parçalayıcıların etkisini arttırmak ve metabolizmayı desteklemek için toprağa bol miktarda su ve oksijen eklenmesi olarak tanımlanabilir. Biyostimülasyon, modifikasyonları, besin maddelerini veya diğer kısıtlayıcı faktörleri toplayarak kirli bir matrisin doğal bozunma yeteneğini geliştirmeyi amaçlar (Singh ve ark., 2016).

1.5.4.6. Biosparging

Biosparging, organik bileşenleri biyolojik olarak parçalamak için mikroorganizmaları kullanan bir teknolojidir. Hava (veya oksijen) ve besinler, mikroorganizmaların biyolojik aktivitesini arttırmak için doymuş bölgeye beslenir. Bu yaklaşım, ek olarak, mikrobiyal aktiviteyi uyarırken kirleticinin kontamine yerlerden uzaklaştırılmasına yardımcı olmak için havanın toprak altına enjekte edildiği biyolojik havalandırma ile aynıdır. Bununla birlikte, biyolojik havalandırmadan farklı olarak, hava doymuş bir seviyede verilir, bu da organik moleküllerin doymamış bölgeye yükselmesine ve daha hızlı biyolojik olarak parçalanmasına izin verebilir (Kennedy ve Jacoby 1999).

1.6. Azot ve Fosforlu Bileşiklerinin Su Kalitesine Etkileri

Azot ve fosfor elementleri, mikroorganizmaların büyümesi için gerekli besin maddeleridir. Azot, proteinlerin sentezi için temel yapı taşıdır ve bu sebeple özellikle evsel atıksuların biyoremediasyonlarında toplam azot miktarının bilinmesi elzemdir. Atıksudaki toplam azot miktarı az ise, biyoremediasyon faaliyetinin gerçekleşmesi için arıtım sistemine, mikroorganizmaların besin maddesi ihtiyacını karşılamak maksadıyla dışarıdan azot ilavesi gerekebilir. Eğer maksat alıcı ortamlardaki yüzeysel sulara verilen atıksu deşarjları nedeniyle oluşan alg ve yosunların kontrolü ise, alıcı ortamlara verilmeden önce, azotun ortamdaki uzaklaştırılması veya miktarının düşürülmesi gereklidir.

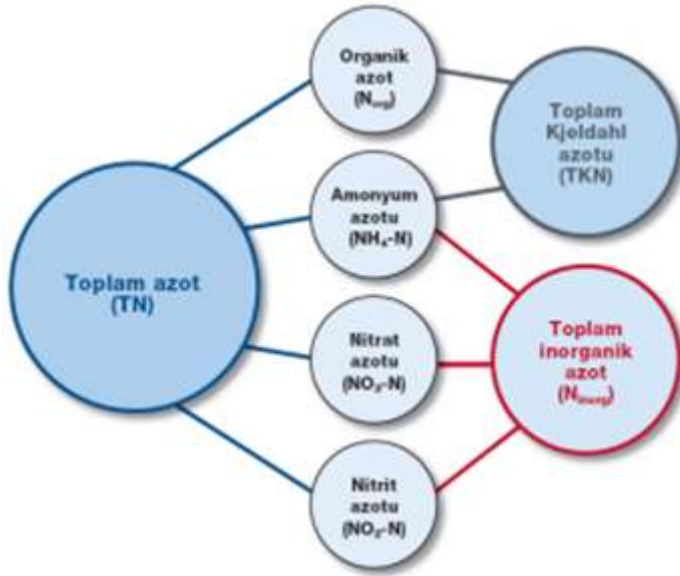
Sularda Bulunan Azot Türleri

$\text{NH}_4\text{-N}$: Amonyum Azotu

Org-N : Organik Azot

$\text{NO}_2\text{-N}$: Nitrit Azotu

$\text{NO}_3\text{-N}$: Nitrat Azotu' dur (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Sularda bulunan toplam azot

Atıksularda toplam azot varlığını genellikle proteinli maddelere ve üreye borçludur. Proteinli ve üreli maddelerin ayrışması ile azot, amonyağa dönüşür. Atık suyun tazelik derecesi, amonyak miktarı ile hesaplanabilir. Atıksularda azot pH'a göre, ya amonyum iyonu (NH_4^+) ya da amonyak (NH_3) formundadır.

$\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ pH ≥ 7 ise denge sola doğru bozulur, pH ≤ 7 ise amonyum iyonları ortamda baskın bir hal alır.

Aerobik ortamda mikroorganizmaların faaliyeti sonucu amonyak oksitlenerek nitrite ve nitrata dönüşür. Atıksularda nitrit azotunun önemi yoktur. Bunun sebebi nitritin kararsız bir yapıda olup kolaylıkla nitrata dönüşme eğiliminde olmasıdır. Nitit konsantrasyonunun atıksularda 1 mg/L'yi aştığı nadiren görülür. Nitratlar ise azotun en ileri derecede oksitlenmiş formlarıdır. Nitratlar atıksularda 0-20 mg azot/L konsantrasyonlarında ihtiva edebilir.

Su kalitesinin değerlendirilmesinde azot ve azotlu maddelerin önemi büyüktür. İçme ve kullanma suları ile yüzey sularının ve kirlenmiş su kütlelerinin içerdiği çeşitli organik ve inorganik azotlu bileşikler ölçülerek, suyun kalitesi hakkında bilgi verilebilir.

Sularda ve atıksularda bulunan başlıca azotlu bileşikler azalan oksidasyon seviyesine göre nitrat azotu (NO_3^- -N), nitrit azotu (NO_2^- -N), amonyak azotu (NH_3 -N) ve organik azot (Org-N) şeklinde sıralanır. Bu azot türlerinin yanı sıra ayrıca azot gazı (N_2 -N) da azot çevriminde bulunur.

Azot çevriminde bulunan maddeler biyokimyasal tepkimeler sonucunda birbirlerine dönüşebilir. Toplam oksitlenmiş azot, nitrat ve nitritin toplamını ifade eder. Nitrat, azot bileşikleri ile daha önceden kirliliğe maruz kalmamış yüzey ve yeraltı sularında eser miktarlarda bulunur. Yüzeysel sularda nitratın belirgin biçimde görülmesi, o suyun daha önceden amonyum ve organik azot içeren evsel ve endüstriyel atıksularla kirlendiğini veya o suya henüz yeni biçimde doğrudan nitrat deşarjının yapıldığını ispatlar.

Nitratın doğrudan deşarjı ya nitratlı bileşiklerin kullanıldığı ya da üretildiği endüstrilere ait atıksular veya tarım alanlarında kullanılan azot türevli gübrelerin yağmur suları ile taşınmasından ileri gelir. Yeraltı sularında nitratın görülmesinin en büyük sebebi bu sularda yağmur ve sulama suları ile içerisinde azotlu (nitratlı) bileşikler içeren gübrelerin taşınmasıdır. Nitrit bileşiği son derece kararsız bir azot formu olup, ortamda nitrifikasyon veya denitrifikasyon reaksiyonlarının meydana geldiğini gösterir.

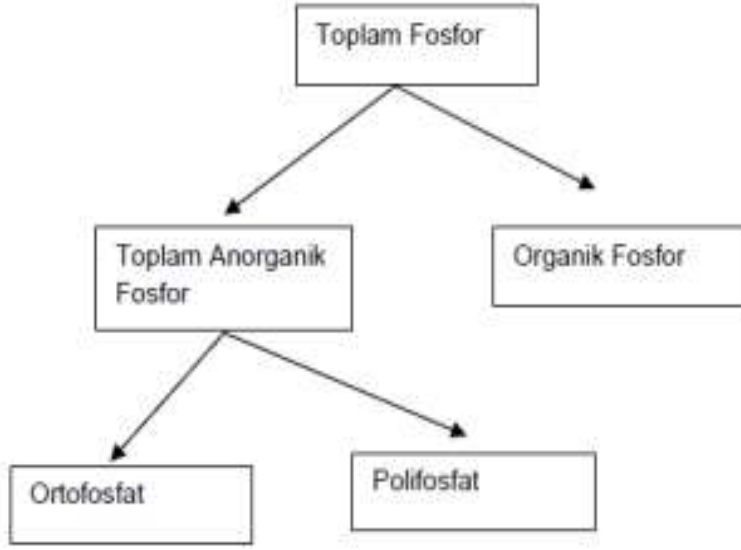
Sularda fosfor çeşitli fosfor bileşikleri şeklinde bulunur ve gerek doğal su ortamında gerekse atık su ortamında gerçekleşen pek çok reaksiyon fosfor ve fosforlu bileşiklerle gerçekleşir. Fosforun Çevre Mühendisliğinde önemli olan formları, orto-fosfatlar ile poli-fosfatlar ve organik fosfatlardır. Organik bileşiklerde bağlı bulunan fosfor, genellikle toplam fosforun küçük bir kısmını oluşturur.

Evsel atıksularda fosfor bileşikleri genel olarak çok miktarda bulunur. Son yıllarda deterjan yapımında, katkı maddesi olarak fosfat ve polifosfat bileşikleri, büyük miktarlarda tercih edilir. Sentetik deterjan tüketiminin artışı ile yüzeysel sulara fosfor deşarjı da artış eğilimindedir. Fosfor, evsel atıksularda genellikle 4-15 mg/L civarında bulunur.

Evsel atıksular fosfor bileşikleri bakımından zengindir. Sentetik deterjan kullanımından önce, evsel atıksudaki inorganik fosfor konsantrasyonu genellikle 2 ile 3 mg/L ve organik fosfor konsantrasyonu ise 0,5 ile 1,0 mg/L arasında bulunmaktaydı. Atıksudaki insan kaynaklı inorganik fosforun çoğu, insan atığındaki proteinlerin metabolik olarak parçalanmasından kaynaklanır.

İnsanlar tarafından dışarıya atılan fosfor miktarı, proteinli gıda alınmasına bağlı olarak değişim göstermekle beraber, bu değer kişi başına ortalama 1,5 g/gün'dür. Polifosfatlar, su kaynaklarında korozyonu önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Polifosfatlar, yumuşatılmış suların kalsiyum karbonat stabilizasyonunda yeniden karbonlama ihtiyacını gidermek için de kullanılırlar. Sentetik deterjanların çoğu, dolgu malzemesi ve kireç bağlayıcı olarak büyük miktarlarda polifosfat içerirler. Bunların çoğu yapılarında yaklaşık %10–15 fosfor ya da %50'nin üzerinde polifosfat bulundururlar. Bu tip maddelerin kullanımının artması, evsel atıksulardaki fosfor miktarının büyük oranda artmasına neden olur. Sentetik deterjanların kullanılmaya başlanması ile sucul ortamlardaki fosfor konsantrasyonlarının 2 ila 3 kat arttığı tahmin edilmektedir.

Atıksu arıtımının biyolojik proseslerinde rol oynayan bütün mikroorganizmalar üreme ve yeni hücrelerin sentezi için fosfora ihtiyaç duyarlar. Bu bakımdan, evsel atıksular içerdikleri organik maddenin stabilizasyonu için gerekli fosfor miktarından çok fazla miktarda fosfor içerirler. Ancak birçok endüstriyel atıksu, arıtımda kullanılan mikroorganizmaların optimum büyüme şartlarını sağlayacak kadar fosfor içermemektedir ya da hiç içermemektedir. Bu tarz durumlarda fosfor eksikliğini gidermek için, atıksuya inorganik fosfor eklenmesi gerekir. Sularda bulunan fosfor türleri Şekil 1.2' de verilmiştir. Buna göre toplam fosfor, toplam anorganik fosfor ve organik fosforun toplamından oluşurken; toplam anorganik fosfor ise ortofosfat ve polifosfat toplamından oluşur.



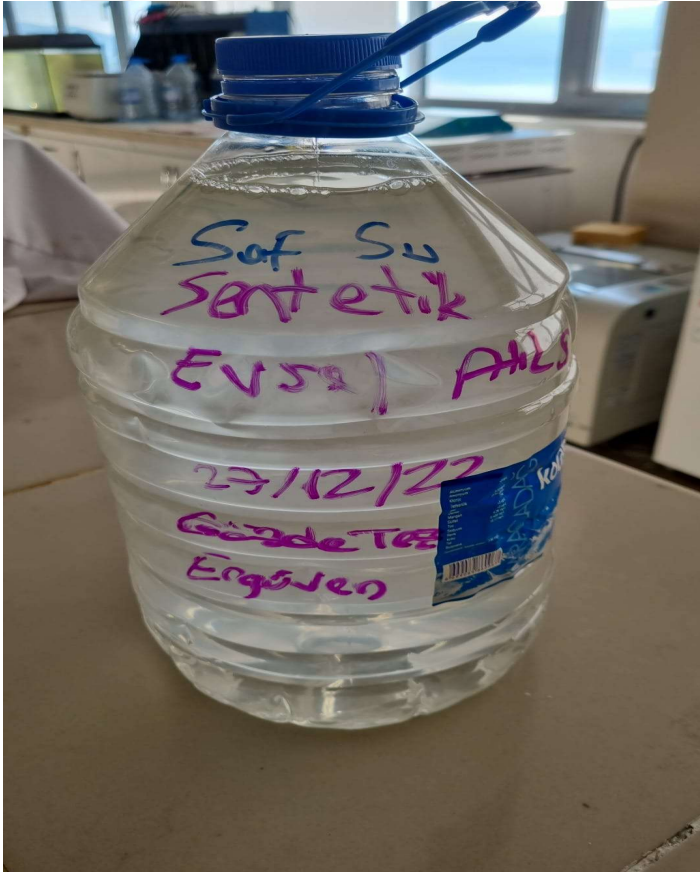
Şekil 1.2. Toplam fosfor oluşum şeması

Fosfor yüzeysel suların mikrobiyal üreme potansiyelini saptamak ve alıcı sulara deşarjda fosfor limitlerini ortaya koymada bir faktör olarak ele alınmakta ve değerlendirilmektedir. Fosfor tayinleri atıksu arıtma tesisi çalışmalarında ve nehir kirlenmesi kontrol alanlarında rutin bir işlem olarak yapılmaktadır. Fosforun biyolojik arıtmada, besi maddesi olarak görev yapması nedeni ile birçok endüstriyel kullanılmış su arıtma tesislerinde yeterli olup olmadığının kontrolü gerekmektedir. Yeterli seviyede bulunmaması durumunda ilave edilmesi gerekir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Sentetik Atıksuyun Hazırlanması

Çalışmada 5 litre stok sentetik evsel atıksu hazırlanmıştır. Bu maksatla 5 litrelik steril bir plastik şişe içerisine Krismastuti and Hamim (2019)' da belirtilen yöntemlere göre 800 mg pepton ve 550 mg malt extract besi yeri, 140 mg üre (K_2HPO_4), 35 mg sodyum klorit (NaCl), 20 mg kalsiyum klorit dehidrat ($CaCl_2 \cdot 2H_2O$), 10 mg magnezyum sülfat heptahidrat ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) ilave dilerek karıştırılmıştır. Elde edilen bu sentetik atıksu, yaklaşık olarak 106 mg/L of (OC) organik karbon, 46 mg/L azot ve 5 mg/L fosfor içermektedir (Resim 2.1).



Resim 2.1. Sentetik olarak hazırlanmış evsel atıksu (Orijinal)

2.2. *P. chrysosporium*' un Hazırlanması

Munzur üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Mikrobiyoloji Laboratuvarı kültür koleksiyonunda halihazırda bulunan *P. chrysosporium* bireyleri öncelikle sabouraud dextrose agar ortamına steril koşullarda pasajlanmıştır. 27⁰C' da 3 günlük inkübasyon sonucunda oluşan (Resim 2.2) genç bireylerden alınan 3' er adet 1 cm çapındaki örnekler daha sonra içerisinde taze hazırlanmış 200 ml sabouraud dextrose broth besiyeri bulunan 250 ml' lik erlenlere ilave edilmiştir. Bu ortamlar çalkalayıcı inkübatöre alınarak 25⁰C' da 150 rpm' de pelet oluşumu beklenmiştir. 72. Saaatin sonunda oluşan bu peletler, biyoremediasyon faaliyetini gerçekleştirecek olan bireyler olarak kullanılmıştır (Resim 2.3)



Resim 2.2. *P. chrysosporium* mantarlarının inkübe edilişi (Orijinal)



Resim 2.3. *P. chrysosporium* pelletleri (Orijinal)

2.3. Biyoremediasyon İşlemleri

P. chrysosporium mantarlarının oluşturduğu peletler 1/1 ve 1/5 seyreltme oranında statik ve 1/1 ve 1/5 seyreltme oranında dinamik olmak üzere iki setten oluşan 250 ml' lik sentetik evsel atıksuyun içerisine steril koşullarda yaklaşık 5' er gram olarak ilave edilmiştir. Çalışmanın bu basamağında dinamik setler Ttyitech marka ZHWY-2008 model çalkalayıcılı inkübatörde 27 °C sıcaklığa ayarlanırken (Resim 2.4), statik setler ise 27 °C' lık inkübatöre alınmıştır (Resim 2.5).



Resim 2.4. Çalkalayıcılı ortamdaki biyoremediasyon çalışması (Orijinal)



Resim 2.5. Statik ortamdaki biyoremediasyon çalışması (Orjinal)

2.3.1. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) tayinleri

48 saatte bir alınan numuneler üzerinde kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) analizleri için HACH DRB 200 model termoreaktör ile Hach DR 890 Kolorimetre cihazı ile uyumlu 0-1500 ppm aralığında ölçüm yapabilen Cat. 23459-52 model KOİ kitleri kullanılmıştır (Resim 2.6). Deneyler toplamda 11 gün sürmüştür. Toplam fosfor ve amonyum azotu analizleri için ise Schimadzu marka IC cihazı kullanılmıştır. Bu cihazda bu parametreler için sırasıyla 2.5mM fatalik asid (pH=4)' de ve 2.5mM oksalik asit kullanılmıştır. Kolon olarak

Shim-pack IC-C4 ve IC-A1 kolonları kullanılırken, akış oranları 1.5ml/dk ve 1 ml/dk' dır. Enjeksiyon hacimleri anyonik ve katyonik kolonlarda sırasıyla 30 μ L ve 50 μ L' dir.



Resim 2.6. DR/890 Kolorimetrik KOİ cihazı (Orijinal)

2.3.2. Toplam organik karbon (TOK) tayinleri

TOK deneyi için ise Standart Method 5310B' de belirtilen yüksek sıcaklıkta yakma metodu SHIMADZU TOC-V cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler toplamda 11 gün sürmüştür.

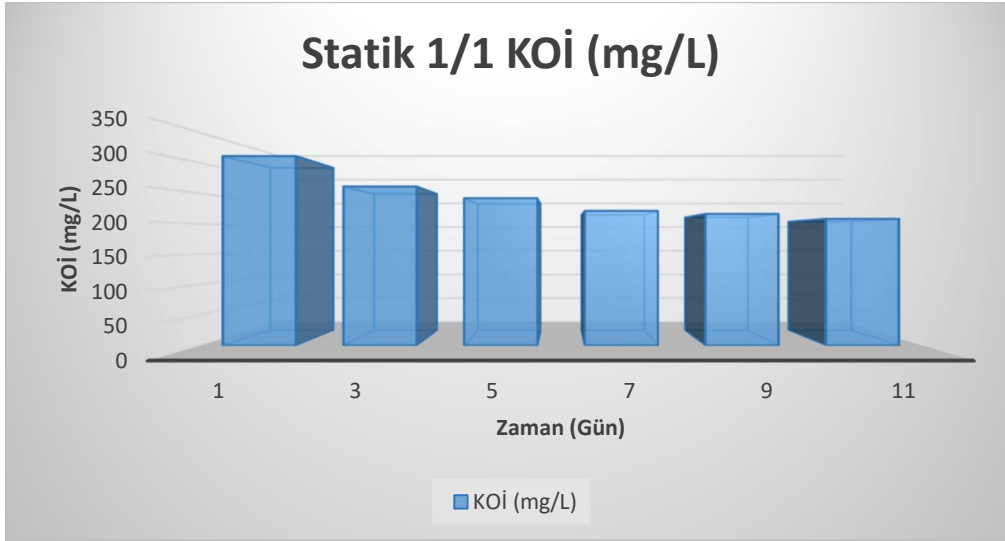
2.3.3. Toplam fosfor (TP) ve toplam azot (TN) tayinleri

Toplam fosfor ve toplam azot analizleri için ise Shimadzu marka IC cihazı kullanılmıştır. Bu cihazda bu parametreler için sırasıyla 2.5mM fatalik asid (pH=4)' de ve 2.5mM oksalik asit kullanılmıştır. Kolon olarak Shim-pack IC-C4 ve IC-A1 kolonları kullanılırken, akış oranları 1.5ml/dk ve 1 ml/dk' dır. Enjeksiyon hacimleri anyonik ve katyonik kolonlarda sırasıyla 30 μ L ve 50 μ L' dir.

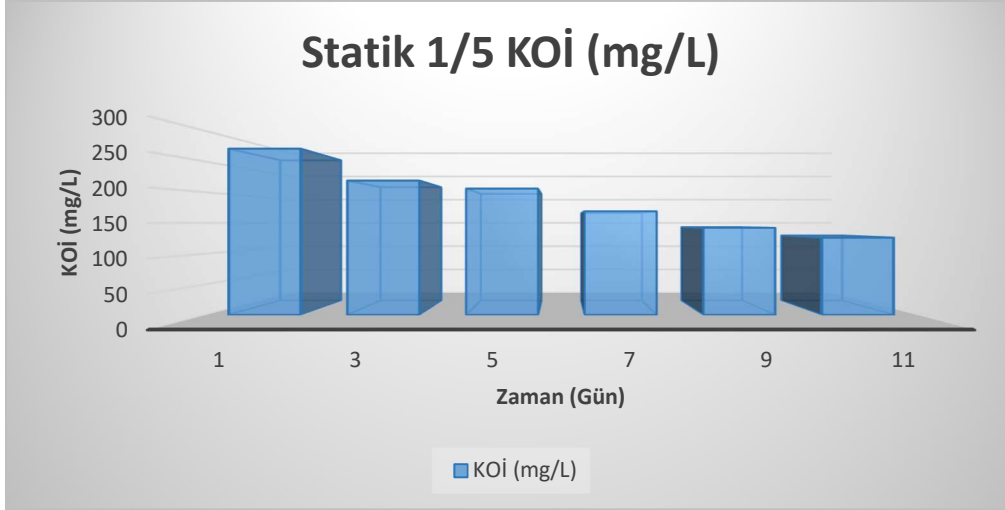
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Biyoremediasyon Çalışmaları Sonuçları

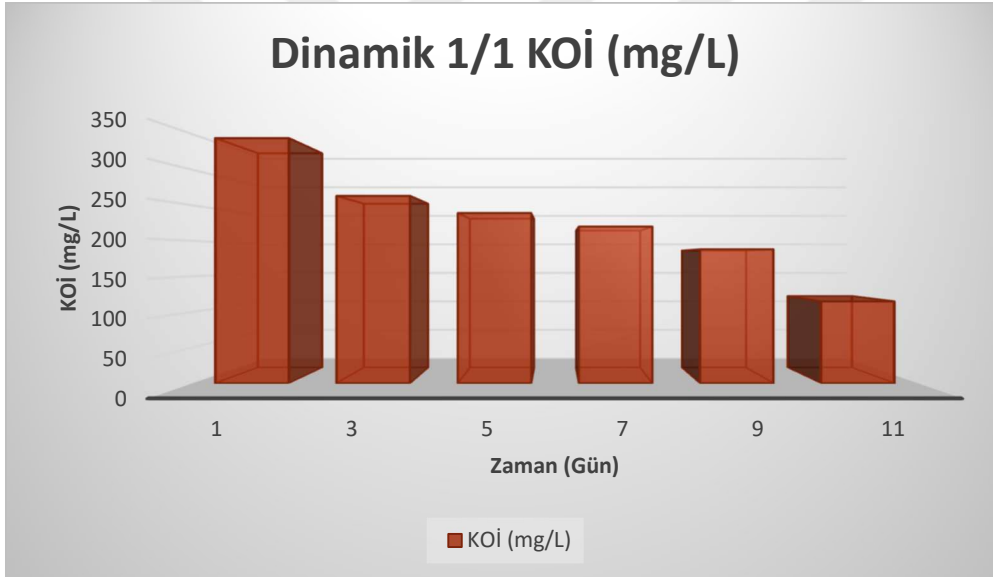
Çalışmada *P. chrysosporium* mantarının gösterdiği biyoremediasyon faaliyetleri sonucunda elde edilen veriler, KOİ parametresi için şekil 3.1 – 3.4 arasında, TOK parametresi için Şekil 3.5 – 3.8 arasında, toplam fosfor parametresi için Şekil 3.9 – 3.12 arasında ve toplam azot için ise şekil 3.13 – 3.16 arasında sunulmuştur.



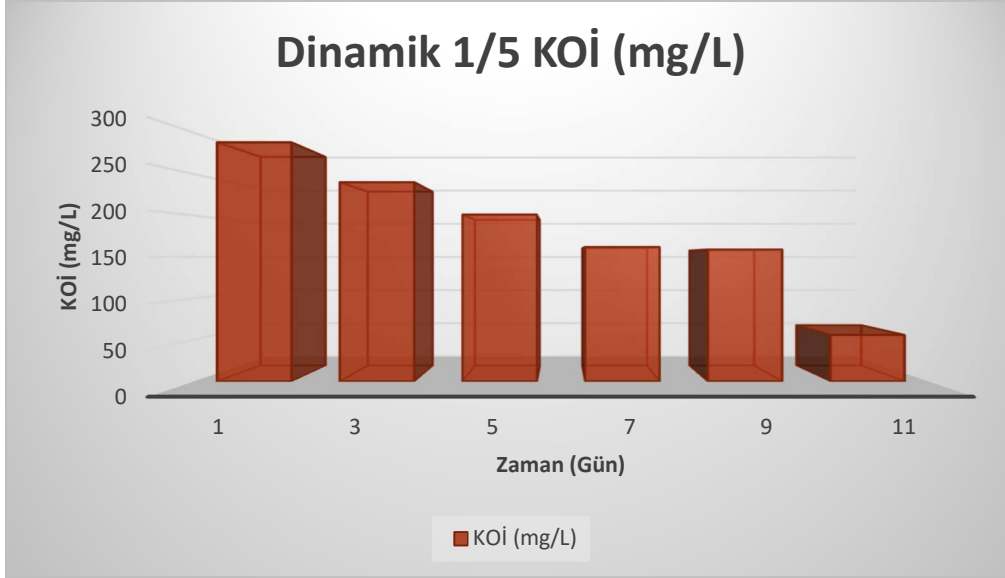
Şekil 3.1. *P. chrysosporium*' un statik 1/1 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği KOİ azalışı



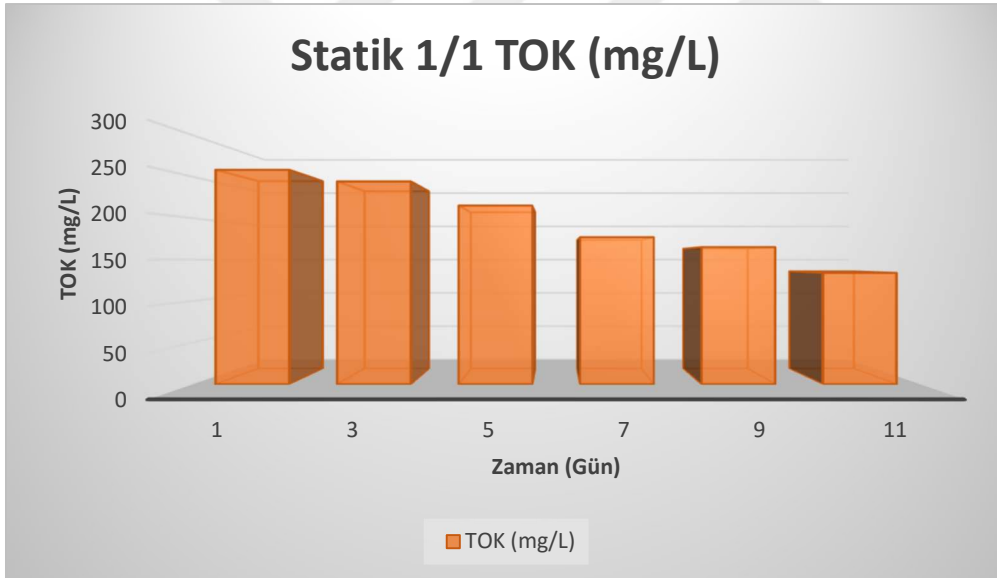
Şekil 3.2. *P. chrysosporium*' un statik 1/5 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği KOİ azalışı



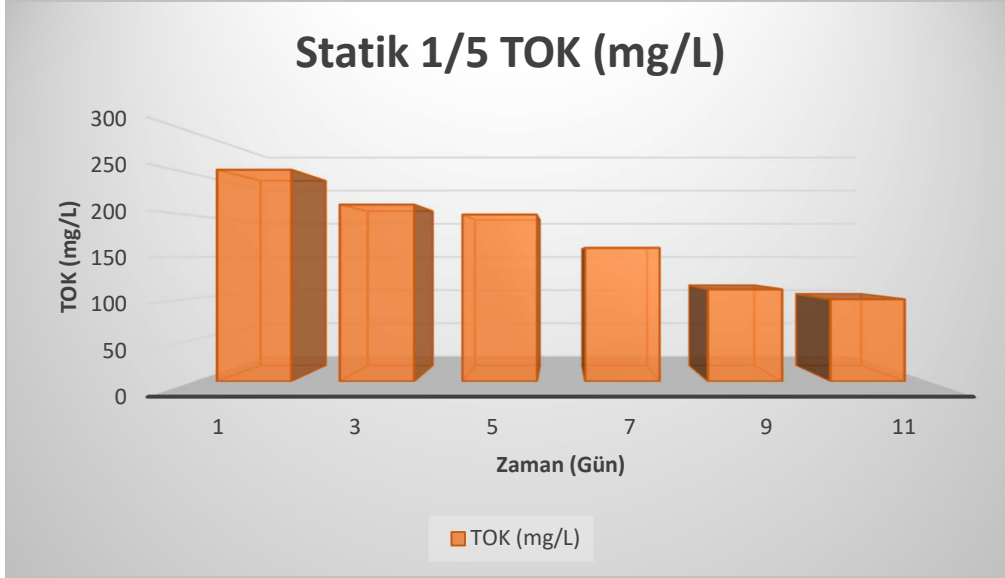
Şekil 3.3. *P. chrysosporium*' un dinamik 1/1 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği KOİ azalışı



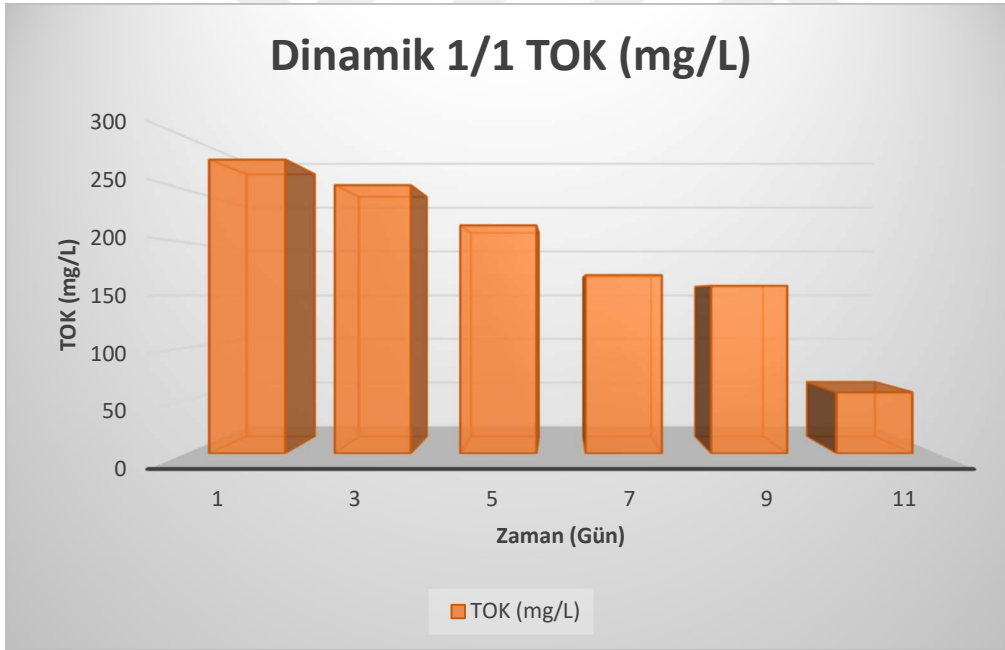
Şekil 3.4. *P. chrysosporium*' un dinamik 1/5 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği KOİ azalışı



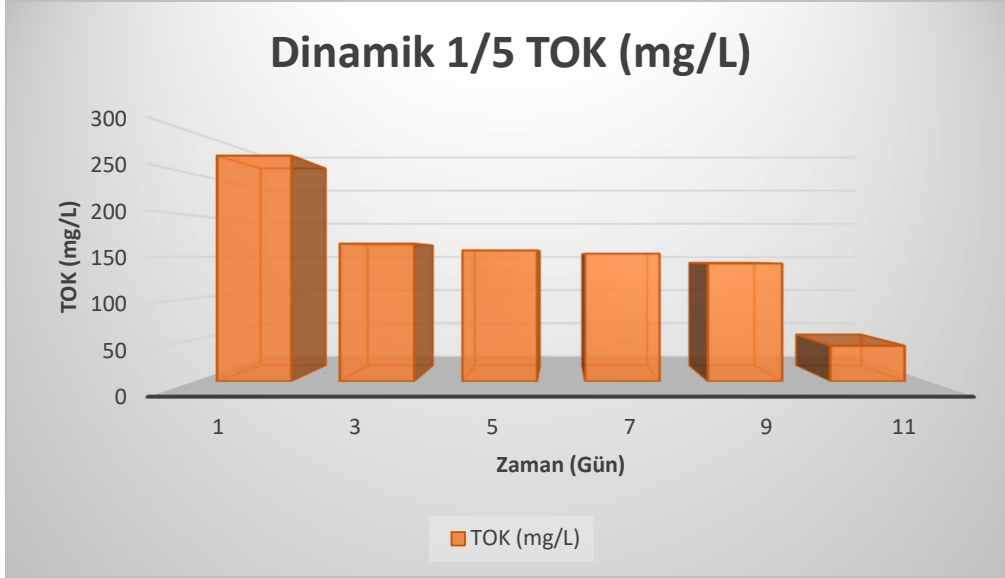
Şekil 3.5. *P. chrysosporium*' un statik 1/1 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği TOK azalışı



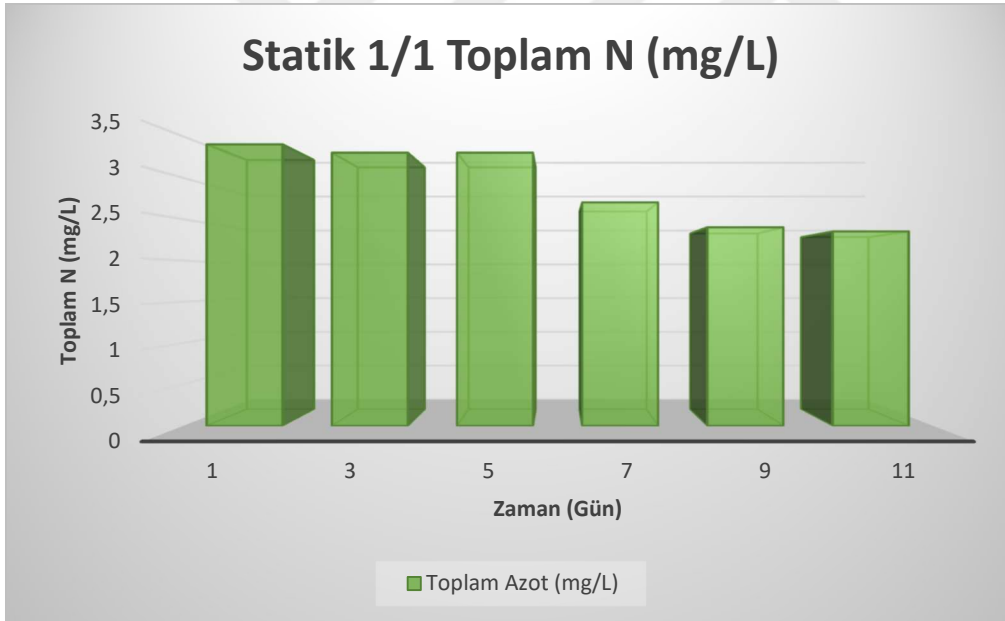
Şekil 3.6. *P. chrysosporium*' un statik 1/5 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği TOK azalışı



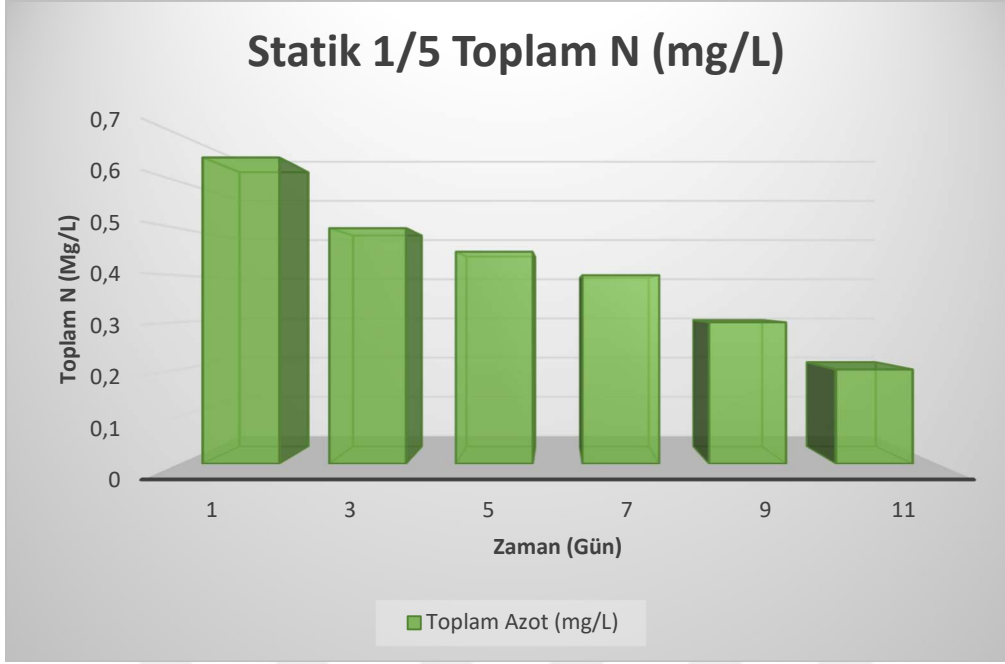
Şekil 3.7. *P. chrysosporium*' un dinamik 1/1 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği TOK azalışı



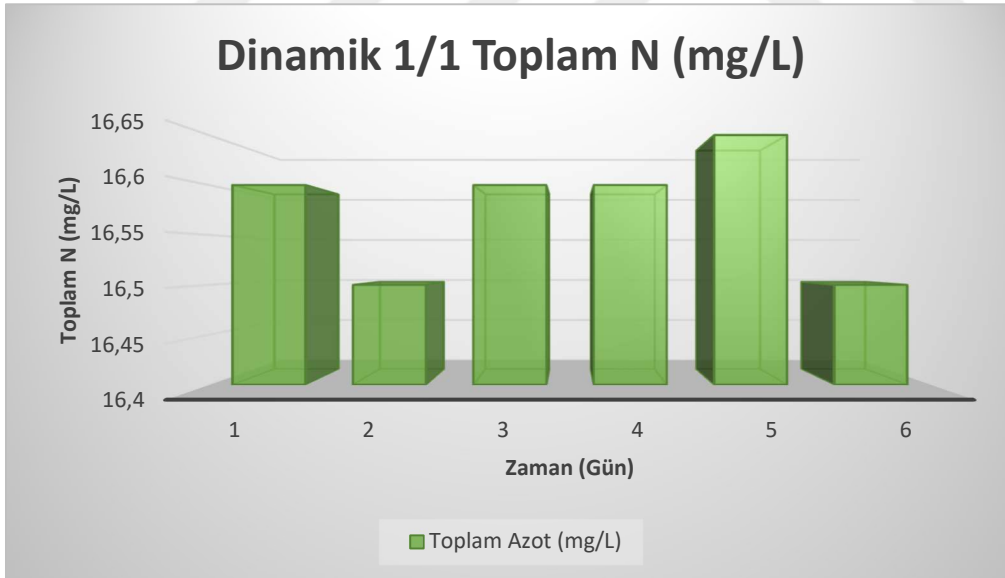
Şekil 3.8. *P. chrysosporium*' un dinamik 1/5 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği TOK azalışı



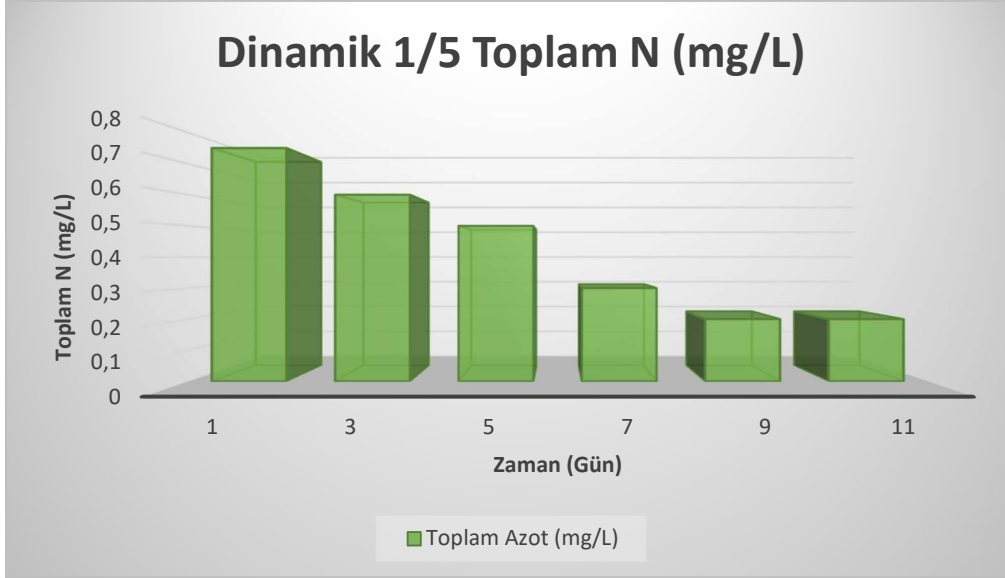
Şekil 3.9. *P. chrysosporium*' un statik 1/1 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği toplam azot azalışı



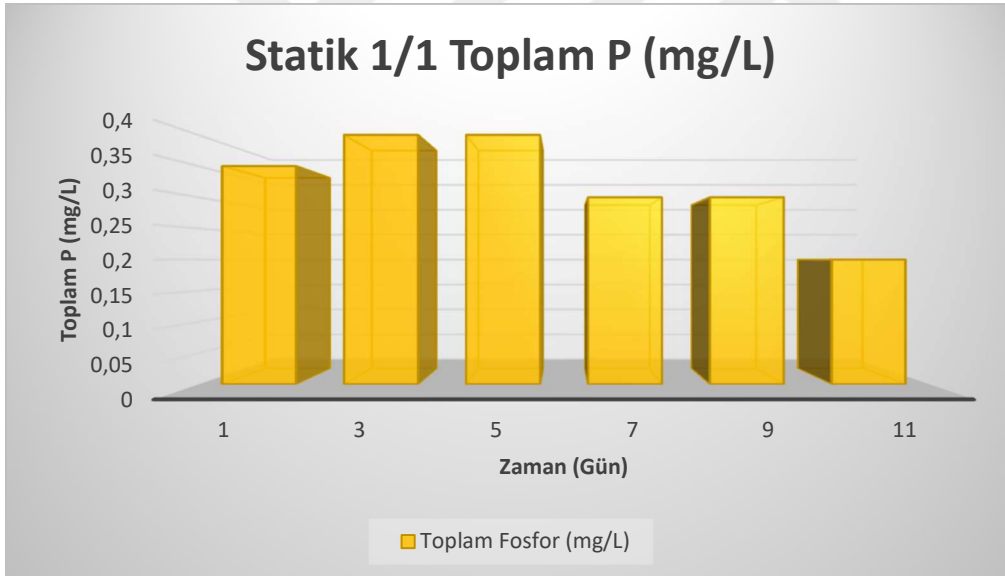
Şekil 3.10. *P. chrysosporium*' un statik 1/5 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği toplam azot azalışı (*Toplam azot: Organik azot + Amonyum Azotu + Nitrat Azotu + Nitrit Azotu)



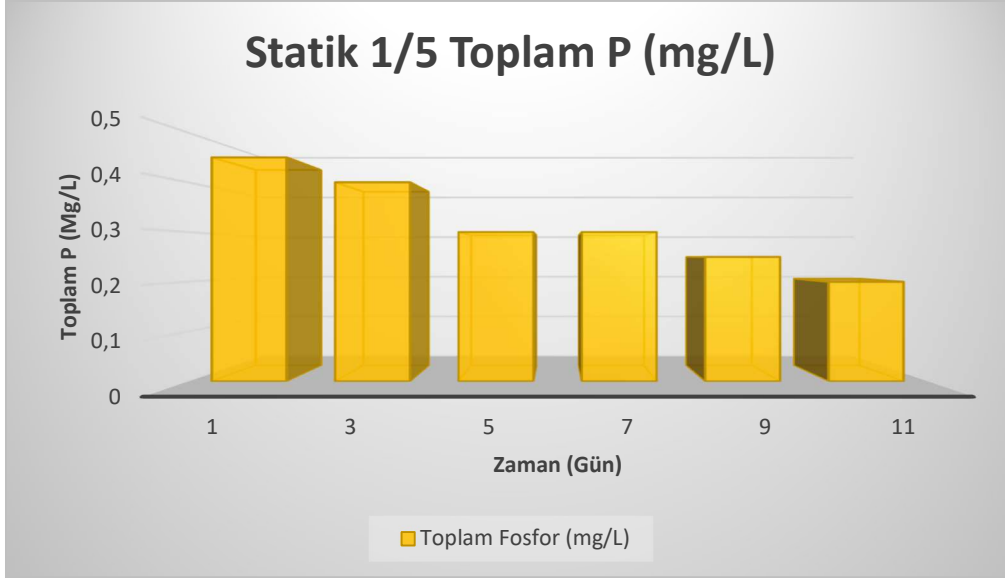
Şekil 3.11. *P. chrysosporium*' un dinamik 1/1 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği toplam azot azalışı



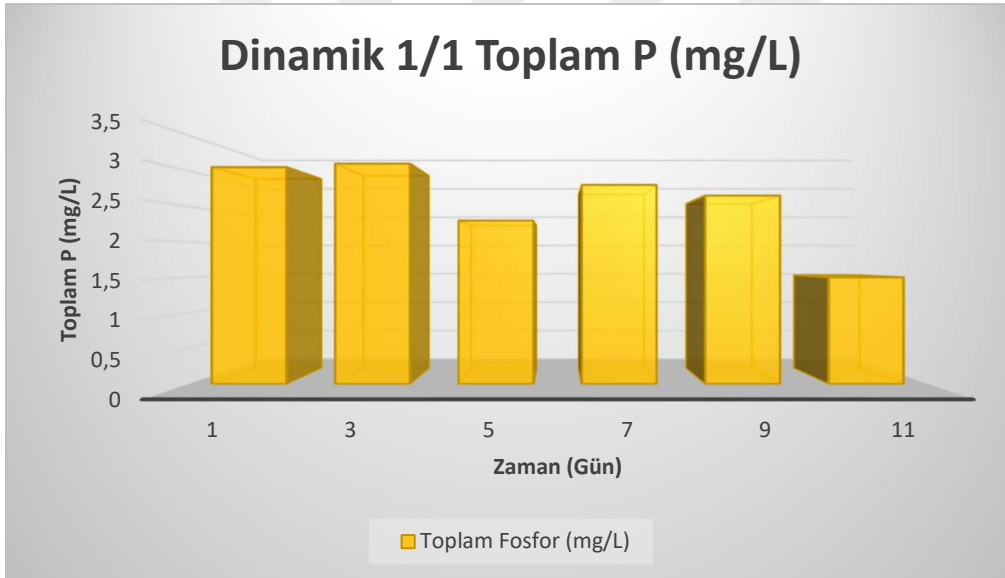
Şekil 3.12. *P. chrysosporium*' un dinamik 1/5 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği toplam azot azalışı



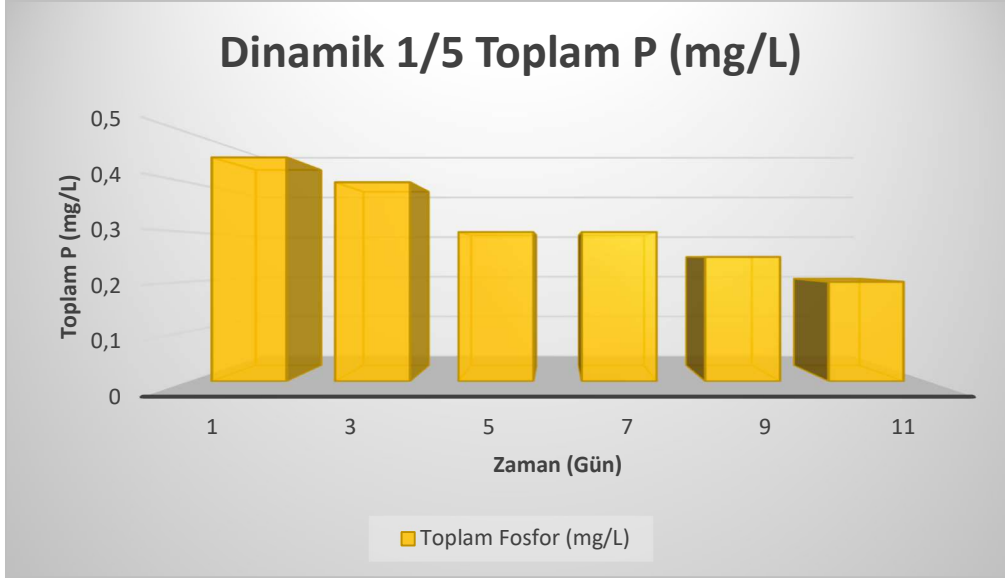
Şekil 3.13. *P. chrysosporium*' un statik 1/1 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği toplam azot azalışı (Toplam Fosfor = Toplam organik fosfor + toplam inorganik fosfor)



Şekil 3.14. *P. chrysosporium*' un statik 1/5 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği toplam fosfor azalışı



Şekil 3.15. *P. chrysosporium*' un dinamik 1/1 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği toplam fosfor azalışı



Şekil 3.16. *P. chrysosporium*' un dinamik 1/5 sentetik evsel atıksu ortamında gösterdiği toplam fosfor azalışı

Elde edilen sonuçlara göre statik 1/1 ortamında 11. Günün sonunda KOİ, TOK, toplam azot ve toplam fosfor bazında sırasıyla % 48, 33, 31 ve 45' lik giderim verimleri elde edilmiştir. Bu giderim verimleri KOİ için 258 mg/L' den 134 mg/L' ye; TOK için 311 mg/L' den 208 mg/L' ye; toplam azot ve toplam fosfor için ise sırasıyla 3,4 ve 3,2 mg/L' den 2,35 ve 1,75 mg/L' ye eğilim yönündedir. Diğer bir statik ortam olan 1/5 seyreltilmiş ortamlardaki KOİ, TOK, Toplam N ve Toplam P azalışları ise yine aynı süre zarfında KOİ parametresi için %61' lik bir giderim verimi ile 255 mg/L' den 99 mg/L' ye; TOK için 271 mg/L' den %53' lük bir giderim verimiyle 126 mg/L' ye doğrudur.

Toplam azottaki azalış % 69 ile 0.65 mg/L' den 0,2 mg/L' ye doğru olurken; Toplam fosfordaki azalış ise 0,35 mg/L' den 0,2 mg/L' ye kadardır ki bu oran da % 43 olarak ifade edilmektedir.

Biyoremediasyon çalışması eş zamanlı olarak dinamik 1/1 ve 1/5' lik ortamlarda da devam etmiştir. Bu ortamlardaki biyoremediasyon verimlerine bakıldığında 1/1' lik ortam için 11. Günün sonunda elde edilen giderim verimleri KOİ için 278 mg/L' den %79' luk bir verimle 58 mg/L' ye doğru iken; TOK için ise %67' lik bir verim ile 344 mg/L' den 115 mg/L' ye doğru bir azalış saptanmıştır. Çalışmada gözlemlenen toplam azot azalışı 3,5 mg/L olan başlangıç seviyesinden % 31' lik bir giderim verimi ile 2,4 mg/L' ye; toplam fosfor parametresinde ise %51' lik bir azalış ile 3.05 mg/L' den 1,5 mg/L' ye doğru bir düşüş eğilimindedir.

Çalışmanın dinamik koşullarının son basamağı olan 1/5' lik ortamdaki KOİ ve TOK değerleri sırasıyla 272 ve 288 mg/L' den sırasıyla %84 ve 81' lik verimlerle 43 ve 56 mg/L' ye düşmüştür. Toplam azot parametresindeki 0,75 mg/L olan değer, 11. Günün sonunda 0,2 mg/L' ye düşmüştür ve bu düşüşün verimi de % 73' tür. Toplam fosfor' daki düşüş ise %56 ile 0,45 mg/L' den 0,2 mg/L' ye doğrudur.

Gerek dinamik 1/1 ve 1/5, gerek statik 1/1 ve 1/5' lik ortamlardaki KOİ, TOK, toplam azot ve toplam fosfor azalimleri incelendiğinde en yüksek giderimin bütün parametrelerde dinamik 1/5' lik ortamda sırasıyla %84, 81, 73 ve 56 oranında olduğu anlaşılmıştır. O halde en yüksek biyoremediasyon veriminin 1/5' lik ortamlarda olduğu belirlenmiştir.

Dinamik ortamlardaki minimum giderim oranları ise KOİ ve TOK için statik 1/1' lik ortamda %48 ve 33 iken; toplam azot giderimi gerek statik 1/1' lik ortamda gerek dinamik 1/1' lik ortamda %31 ile aynı kalmıştır. Toplam fosfor parametresindeki minimum giderim %43 ile statik 1/5' lik ortamda %45 ile bu değere çok yakındır. O halde minimum giderimin gerçekleştiği ortam olarak da statik 1/1' lik ortam kabul edilebilir niteliktedir.

Ayrıca bu çalışmada hesaplanan giderim verimleri sonucunda elde edilen veriler, Kentsel Atıksu Arıtım Yönetmeliği ile kıyaslandığında statik 1/5, dinamik 1/1 ve dinamik 1/5' lik ortamların KOİ için gerekli maksimum deşarj değeri olan 125 mg/L' yi aşmadığını; toplam fosfor için ise nüfusu 10.000-100.000 arasına sahip olan kentler için istenilen maksimum 2mg/L' nin hiçbir oramda aşılmadığını, nüfusu 100.000' den fazla olan kentler için ise maksimum 1mg/L olan toplam fosfor değerinin statik 1/5 ve dinamik 1/5' lik ortamlarda 0,2 mg/L ile altında kaldığı görülmektedir.

Çalışmada elde edilen toplam azot değerleri deşarj limitleri ile kıyaslandığında nüfusu 10.000 – 100.000 arası olan kentlerde üst limit olan 15 mg/L toplam azot değerinin hiçbir ortamda aşılmadığı belirlenmiştir.

Deşarj yönetmeliğinde TOK parametresi ile ilgili bir veri olmamasına karşın, elde edilen TOK değerleri KOİ değerleri ile ilişkilendirilebilir ve bu değerlerdeki gerek artım verimi gerek elde edilen nihai değerler literatür ile kıyaslandığında çalışmanın kentsel atıksu deşarj limitlerine uygun olduğunu gösterir niteliktedir.

Hızlı kentleşme ve sanayileşme ve sanitasyon sorunları nedeniyle su her geçen gün daha fazla kirlenmekte ve hem az gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde kirli suların tüketilme riski artmaktadır. Sonuç olarak, su talebinde önemli bir artış beklenebilir, ancak yenilenemeyen su kaynakları tükendikçe, su sistemleri kirleticileri, yeraltı su kaynakları azaldıkça, iklim değişiklikleri ve su kütleleri kirleticiler yol açtığı için birçok alanda mevcut

su kaynakları azalacaktır. Bu durum neticesinde daha fazla kuraklığa, daha fazla buharlaşma, daha az yağış ve değişim elde edilir (Ali vd., 2021).

Kirleticilerin çevreden uzaklaştırılması için çeşitli fizikokimyasal teknikler yaygın olarak kullanılmaktadır, ancak bu teknikler, yüksek bakım ve işletme maliyetleri ve yüksek toksisiteye sahip ikincil kirleticilerin üretimi gibi faktörler nedeniyle genellikle pratik değildir. Kirleticileri uzaklaştırmak için gelecek vaat eden bir teknik, biyolojik iyileştirme olarak bilinir ve uzaklaştırma verimliliği, çevre dostu süreç ve düşük işletme ve bakım maliyeti açısından diğer yöntemlere göre avantajlara sahiptir. Biyoremediasyon işlemi, kirleticileri gidermek veya değiştirmek için mantarlar ve bakteriler gibi mikroorganizmaları kullanır (Giovanella ve ark., 2020).

Bakteriler gibi mikroorganizmalar biyolojik süreçler için çok uygundur ve diğer bakterilere göre daha yüksek oranda yetiştirilmeleri ve çoğalmaları kolaydır, bu nedenle organik kirleticileri arıtmak için yüksek bir potansiyele sahiptirler (Bhatia ve ark., 2017).

Biyoremediasyon için kullanılabilen *Aspergillus niger*, *Aspergillus fumigatus* ve *Aspergillus niveus* gibi birkaç mantar sporu türü vardır; bununla birlikte, uzun bir spor oluşum döngüsüne sahip oldukları için bazı suşların sınırlamaları vardır. Ascomycetes mantar grubu, içki fabrikalarından elde edilenler gibi endüstriyel atık suların KOİ giderimindeki etkinliğiyle geniş çapta tanınmaktadır (Mohammad ve ark., 2006).

Bardi ve ark. (2017), *Bjerkandera adusta* MUT 2295 adlı bir beyaz kök mantarı (WRF) suşunun tanik ve hümkik asitlerden hazırlanmış sentetik inatçı atık numune çözeltileri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Sonuçlar, tanik asit atığı durumunda %61 KOİ giderimi ile tannik ve hümkik asit çözeltilerinde sırasıyla %89 ve %75 BOİ₅ giderimi olduğunu göstermiştir.

Evsel atıksuların içeriğinde deterjanlı atıksular da bulunur ve bunlarla beraber insan atığı ve diğer ev temizlik ürünlerinden gelen fosfor yükleri sırasıyla kişi başına 0,30, 0,60 ve 0,10 kg fosfor ihtiva eder. Bu veriler de atıksu arıtma tesislerinde toplam yükün tahmininde faydalı olmuştur. Larsen ve Maurer (2011)' de yaptıkları bir çalışmada 130 L/kişi/gün hacimli kombine evsel atık su bileşiminin sırasıyla 120, 14 ve 2 g/kişi/gün KOİ, azot ve fosfor içerdiğini ileri sürmüşlerdir.

Kirleticilerin giderimi deney sırasında mikropların kapasitesini analiz etmek için yüksek ve düşük KOİ'de incelenmiştir. Yüksek KOİ'de (970 – 1200 mg/L), KOİ giderme yüzdesi, 71. günden 75. güne kadar 54–80 mg/L'de ortalama atık su ile %91.9 ila %94.7'de sabit kalmıştır. Bu arada, düşük KOİ'de (236 – 320 mg) /L), KOİ giderim yüzdesi, 80.

günden 85. güne kadar 67–135 mg/L'de ortalama atık su ile %57.9 ila %59.9 arasında sabit kalmıştır (Zulkifli ve ark., 2023). Bu mikropların düşük ve yüksek KOİ' de yüksek esnekliğe sahip olduğuna inanılmaktadır. Düşük KOİ'de düşük uzaklaştırma elde edilmesine rağmen, adaptasyon için daha fazla zaman tanınarak, mikroplar düşük KOİ'de daha cesaret verici sonuçlar sağlayabilir. Arıtılmış atık sudaki KOİ konsantrasyonu Malezya Ulusal Su Kalitesi Standartları ile karşılaştırıldı ve çıkış suyunun yüksek KOİ' de Sınıf IV, düşük KOİ' de Sınıf V olarak sınıflandırıldığı bulundu (Ministry of Natural Resources and Environment Malaysia, 2014). Başka bir mikroorganizma türü olan *Chlorella* sp.'nin evsel atıksuyun KOİ' sinden %100' üne kadar yararlanabildiği görülmüştür (El Meshhabi ve ark., 2019). *Botryococcus* sp. NJD-1 suşunun atık su ortamında bir lipid üreticisi olduğu keşfedildiğinde ve sırasıyla %61,7'ye varan lipid içeriği ve %64,5'e varan TN, %89,8 ve %67,9'a varan TN, TP ve TOK giderimi sağladığı belirlenmiştir (Shen ve ark., 2017). *Parachlorella* kessleri, belediye atık suyundan azotun %99'unu ve fosfor bileşiklerinin %82'sini gidermiştir (Aketo ve ark., 2020).

Evsel atık su, organik bileşikler ve besinler içerir. Sonuç olarak evsel atıksuyun BOİ/KOİ oranının 0,5 olduğu belirlenmiştir ve bu da evsel atıksuyun biyolojik olarak parçalanabilir olduğunu gösterir (Zhang ve ark., 2020), ayrıca evsel atık su yüksek konsantrasyonlarda amonyak ve nitrit içerir. Evsel atık sudaki yüksek nitrit konsantrasyonu, nitrat indirgeme işleminden kaynaklanıyor olabilir (Tiso ve Schecter, 2015). Nitratı nitrite indirgeme işlemi, evsel atık suyun çözünmüş oksijen (ÇO) değeri olan 0,06 mg/L ile gösterilen anaerobik koşullar altında gerçekleşir (Jeannot, 2014). Evsel atık sudaki azot kaynakları, fosseptik atık sularından ve mutfak faaliyetlerinden kaynaklanan organik veya gıda atıklarındandır (Cao ve ark., 2022). Ayrıca evsel su kirliliğinin kaynağının gri su ve mutfak faaliyetlerinde baskın olduğu tahmin edilmektedir (Boano ve ark., 2020). Al-Ajalin ve ark. (2022), evsel atık sudaki KOİ konsantrasyonları 234 mg/L, amonyak ve fosfatın ise sırasıyla 12 ve 5 mg/L olduğunu bildirmiştir. Dinh ve ark. (2021) ayrıca evsel atık suyun sırasıyla 231, 42, 0,16 ve 6,5 mg/L konsantrasyonlarda KOİ, amonyak, nitrat ve fosfat içerdiğini belirtmişlerdir. Evsel atık sudaki organik içerikler gri sudan salınırken (Widyarani ve ark., 2022), besin içerikleri (N ve P) ise mutfak, araba yıkama ve çamaşırhane faaliyetlerinden kaynaklanmıştır (Al-Ajalin ve ark., 2020).

Huo ve ark., (2020) tarafından yapılan bir çalışmada. *Tribonema* sp.'nin büyümesi için en uygun N/P oranı 30:1 olarak belirlenmiştir ve 14 günlük yetiştirmeden sonra 2.04 g/L'lik maksimum biyokütle üretilmiştir. *C. sorokiniana*, 15 ile 26 arasında değişen N/P

oranlarıyla 12 g/L nihai ortalama biyokütle konsantrasyonu göstermiştir (Fernandes ve ark., 2017). Bu, atık sudaki ideal N/P koşulunun, nitrojen ve fosforu belirli bir stokiyometrik oranda asimile edeceklerinden mikroalglerin büyümesi ve çıkışı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu açıkça göstermiştir (Beuckels ve ark., 2015).

Ortak kültür tarafından KOİ' nin yüksek oranda uzaklaştırılması, artan biyokütle üretimini yansıtmaktadır. Bunun nedeni, kültür tarafından asimile edilen ve büyümeyi destekleyen yüksek organik madde içeren evsel atık su olabilir. Bununla birlikte, atık sudaki inatçı organik moleküllerin varlığı, mikroalglerin ayrışması için zordur. Bu, KOİ' nin eksik bir şekilde iyileştirilmesine neden olabilir (Xia ve Murphy 2016). Ancak mevcut değerler, literatür raporlarının bulgularından nispeten daha yüksektir (Cheng ve ark., 2020). Nitrojen ve fosforun ortak kültür yoluyla atık sudan etkili bir şekilde uzaklaştırılmasının nedeni, N/P oranının spesifik stokiyometrik orana ulaştığını göstermiştir. Bu oran, ortak kültürün büyümesini teşvik ederek hücre yoğunluğunda artışa ve atık sudan besin alımının artmasına neden olmaktadır (Zhang ve ark., 2020). Bununla birlikte, düşük fosfat seviyeleri nitrat emilimini azaltabileceğinden, fosfat konsantrasyonu tamamen göz ardı edilemez (ideal konsantrasyon aralığı 10–75 mg/L), bu da biyoremediasyonu ve mikroalg büyümesini önemli ölçüde azaltabilir (Suthar ve Verma, 2020).

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada *P. chrysosporium* mantarının oluşturduğu peletlerin sentetik olarak 1/1 ve 1/5 seyreltme oranında hazırlanmış evsel atıksuda dinamik ve çalkalayıcılı ortamlardaki KOİ, TOK, Toplam azot ve toplam fosfor parametreleri bakımından elde ettiği giderim verimleri incelenmiş olup Kentsel Atıksu Arıtım Yönetmeliği' nde verilen deşarj kriterleriyle karşılaştırılıp istenilen deşarj limitlerini hangi ortamlarda sağlayabildiği araştırılmıştır.

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, *P. chrysosporium* mantarının, sentetik olarak hazırlanmış evsel atık sudaki KOİ, TOK, Toplam azot ve Toplam fosfor parametrelerini Kentsel Atıksu Arıtım Yönetmeliğine göre uygun şekilde giderdiği, sentetik olarak hazırlanmış bu atık sudaki elementleri bir besin maddesi olarak kullanıp etkin bir giderim verimi gerçekleştirdiği görülmüştür. Ayrıca söz konusu yönetmelikte TOK parametresi ile ilgili herhangi bir limit değer verilmemesine karşın, elde edilen değerlerin KOİ ile de korelasyon kurabileceği anlaşılmıştır. Çalışmanın imkanlar dahilinde daha da geliştirilmesi istenirse farklı mantar ve bakterilerin tek tek veya oluşturdukları konsorsiyumları ile de sentetik veya yerinden alınmış evsel atıksularda benzer çalışmalar yapılabilecektir.

Çalışmada deşarj yönetmeliğinde yer almayan TOK parametresine de bakılmış olup, bu parametrede de etkin bir giderim verimi elde edilmiştir. Kentsel Atıksu Arıtım Yönetmeliği' ne TOK parametresi için de limit değerle verilmesi, yönetmelikte mevcut BOİ ve KOİ değerlerine alternatif sağlayabilmesi bakımından önem arz etmektedir.

Çalışmada kullanılan *P. chrysosporium* mantarının etkin bir KOİ, TOK, toplam azot ve toplam fosfor giderimi gösterdiği anlaşılmıştır. Bu sebeple bu mantarın temini, izolasyonu ve zenginleştirilmesiyle biyolojik arıtma ünitelerinde kullanımının yaygınlaşmasının biyolojik arıtma tesislerinde evsel atıksuların organik ve inorganik kirletici yüklerinin gideriminde yüksek verim elde etme avantajından faydalanılması gerektiği tavsiye edilmektedir.

Literatür incelendiğinde *P. chrysosporium* mantarının gerek sentetik gerek orijinal evsel atıksularda 11 gün gibi kısa bir süre sonunda KOİ, TOK, toplam azot ve toplam fosfor gibi önemli çevresel parametrelerde %80 üzerinde bir giderim verimi elde ettiğine dair çok az çalışma olduğu anlaşıldığından, benzer çalışmaların farklı mikroorganizmalarla farklı çevresel parametrelerle de giderim bazında yapılması gerektiği düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

- Abdulsalam, S., Bugaje, I.M., Adefila, S.S., Ibrahim, S., 2011.** Comparison of biostimulation and bioaugmentation for remediation of soil contaminated with spent motor oil. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 8(1): 187-194
- Ahmad, J., Ahmad, M., Usman, A.R.A., Al-Wabel, M.I., 2021.** Prevalence of human pathogenic viruses in wastewater: a potential transmission risk as well as an effective tool for early outbreak detection for COVID-19. *Journal of Environmental Management*, 298, Article 113486
- Aketo, T., Hoshikawa, Y., Nojima, D., Yabu, Y., Maeda, Y., Yoshino, T., Takano, H., Tanaka, T., 2020.** Selection and characterization of microalgae with potential for nutrient removal from municipal wastewater and simultaneous lipid production. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 129: 565-572
- Akowanou, A.V.O., Aina, M.P., 2022.** Ceramic water filter as a household water treatment system. *Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*, pp. 61-71
- Al Aukidy, M., Verlicchi, P., Voulvoulis, N., 2014.** A framework for the assessment of the environmental risk posed by pharmaceuticals originating from hospital effluents. *Science of The Total Environment*, 493: 54-64
- Al-Ajalin, F.A.H., Idris, M., Abdullah, S.R.S., Kurniawan, S.B., Imron, M.F., 2020.** Effect of wastewater depth to the performance of short-term batching-experiments horizontal flow constructed wetland system in treating domestic wastewater. *Environmental Technology & Innovation*, 20: Article 101106
- Alam, M.A., Vandamme, D., Chun, W., Zhao, X.Q., Foubert, I., Wang, Z., Muylaert, K., Yuan, Z., 2016.** Bioflocculation as an innovative harvesting strategy for microalgae. *Reviews in Environmental Science and Technology*, 15(4): 573-583.
- Ali, N., Bilal, M., Khan, A., Ali, F., Yang, Y., Malik, S., Iqbal, H.M., Din, U.S., Iqbal, H.M.N. 2021.** Deployment of metal-organic frameworks as robust materials for sustainable catalysis and remediation of pollutants in environmental settings. *Chemosphere*, 272: Article 129605.
- Ashrafi, O., Yerushalmi, L., Haghigat F., 2015.** Wastewater treatment in the pulp-and-paper industry: a review of treatment processes and the associated greenhouse gas emission. *Journal of Environmental Management*, 158: 146-157
- Bardi, A., Yuan, Q., Tigini, V., Spina, F., Varese, G.C., Spennati, F., Simone Becarelli, S., Gregorio, S.D., Petroni, G., Munz, G., 2017.** Recalcitrant compounds removal in raw leachate and synthetic effluents using the white-rot Fungus *Bjerkandera adusta*. *Water*, 9 (824)1-14

- Beuckels, A., Smolders, E., Muylaert, K., 2015.** Nitrogen availability influences phosphorus removal in microalgae-based wastewater treatment. *Water Research*, 77: 98-106
- Bhatia, D., Sharma, N.R., Singh, J., Kanwar, R.S., 2017.** Biological methods for textile dye removal from wastewater. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. A review, 47(19): 1836-1876.
- Boano, F., Caruso, A., Costamagna, E., Ridolfi, L., Fiore, S., Demichelis, F., Galvão A., Pisoeiro, J., Rizzo, A., Masi, F., 2020.** A review of nature-based solutions for greywater treatment: applications, hydraulic design, and environmental benefits. *Science of The Total Environment*, 711: Article 134731
- Caldwell, D.J., 2016.** Sources of pharmaceutical residues in the environment and their control. *Issues in environmental Science and Technology*, pp. 92-119
- Cao, M., Hu, A., Gad, M., Adyari, B., Qin, D., Zhang, L., Sun, Q., Yu, C.P., 2022.** Domestic wastewater causes nitrate pollution in an agricultural watershed, China. *Science of The Total Environment*, 823: Article 153680
- Carolyn, C.F., Kumar, P.S., Saravanan, A., Joshiba, G.J., Naushad, M., 2017.** Efficient techniques for the removal of toxic heavy metals from aquatic environment: a review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(3): 2782–2799.
- Carraro, E., Bonetta, S., Bertino, C., Lorenzi, E., Bonetta, S., Gilli, G., 2016.** Hospital effluents management: chemical, physical, microbiological risks and legislation in different countries. *Journal of Environmental Management*, 168: 185-19.
- Caspersen, S., Ganrot, Z., 2018.** Closing the loop on human urine: Plant availability of zeolite-recovered nutrients in a peat-based substrate. *Journal of Environmental Management*, 211: 177-190.
- Cheng, P., Cheng, J.J., Cobb, K., Zhou, C., Zhou, N., Addy, M., Chen, P., Yan, X., Ruan, R., 2020.** *Tribonema* sp. and *Chlorella zofingiensis* co-culture to treat swine wastewater diluted with fishery wastewater to facilitate harvest. *Bioresource Technology*, 297: Article 122516
- Das, T.K., Poater, A., 2021.** Review on the Use of Heavy Metal Deposits from Water Treatment Waste towards Catalytic Chemical Syntheses. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(24): 13383.
- Dinh, N.T., Nguyen, T.H., Mungray, A.K., Duong, L.D., Phuong, N.T., Nguyen, D.D., Chung, W.J., Chang, S.W., Tuan, P.D., 2021.** Biological treatment of saline domestic wastewater by using a down-flow hanging sponge reactor. *Chemosphere*, 283: Article 131101

- El Mesbahi, N., Oubakalla, R., Hafidi, M., Liang, Y., 2019.** Domestic wastewater treatment and lipid accumulation for biodiesel production by an isolated heterotrophic microalgae from an arid climate zone. *The Asia Journal of Applied Microbiology*, 6: 1-9.
- Erguven, G.O., Yildirim, N., 2016.** Efficiency of some soil bacteria for chemical oxygen demand reduction of synthetic chlorsulfuron solutions under agitated culture conditions. *Cellular and Molecular Biology*, 62(6):92–96
- Erguven, G.O., Yildirim, N., 2019.** The evaluation of imidacloprid remediation in soil media by two bacterial strains. *Current Microbiology*, 76(12): 1461–1466.
- Fernandes, T.V., Suárez-Muñoz, M., Trebuch, L.M., Verbraak, P.J., Van de Waal, D.B., 2017.** Toward an ecologically optimized N: P Recovery from wastewater by microalgae. *Frontiers in Microbiology*, 8, Article: 1742.
- Geremia, E., Ripa, M., Catone, C.M., Ulgiati, S., 2021.** A review about microalgae wastewater treatment for bioremediation and biomass production—a new challenge for Europe. *Environments*, 8 (136).
- Giovanella, P., Vieira, G.A.L., Ramos Otero, I.V., Pais Pellizzer, E., de Jesus Fontes, B., Sette, L.D., 2020.** Metal and organic pollutants bioremediation by extremophile microorganisms. *Journal of Hazardous Materials*, 15(382): 121024.
- Guo, B.Y., Jiang, S.D., Tang, M.J., Li, K., Sun, S., Chen, P.Y., Zhang, S., 2019.** MoS₂ membranes for organic solvent nanofiltration: stability and structural control. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 10(16): 4609-4617.
- Harahap, J., Gunawan, T., Suprayogi, S., Widyastuti, M., 2021.** A review: domestic wastewater management system in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 739: Article 012031.
- Henriques, B., Lopes, C.B., Figueira, P., Rocha, L.S., Duarte, A.C., Vale, C., Pardal, M.A., Pereira, E., 2017.** Bioaccumulation of Hg, Cd and Pb by *Fucus vesiculosus* in single and multi-metal contamination scenarios and its effect on growth rate. *Chemosphere*, 171: 208-222.
- Henze, M., van Loosdrecht, M.C.M., Ekama, G.A., Brdjanovic, D., 2008.** (Eds.), *Biological Wastewater Treatment: Principles Modelling and Design*, Published by IWA Publishing, London, UK pp. 33-52.
- Hu, M., Fan, B., Wang, H., Qu, B., Zhu, S., 2016.** Constructing the ecological sanitation: a review on technology and methods- a review. *Journal of Cleaner Production*, 125: 1-21.
- Huo, S., Liu, J., Zhu, F., Basheer, S., Necas, D., Zhang, R., Li, K., Chen, D., Cheng, P., Cobb, K., Chen, P., Brandel, B., Ruan, R., 2020.** Post treatment of swine anaerobic effluent by weak electric field following intermittent vacuum assisted adjustment of

N: P ratio for oil-rich filamentous microalgae production. *Bioresource Technology*, 314, Article: 123718.

- Ibrahimi, K., Ben Attia, K., Amami, R. Américo-Pinheiro, J.H.P., Sher, F., 2022.** Assessment of three decades treated wastewater impact on soil quality in semi-arid agroecosystem. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 21: 525-535.
- Jeannotte, R., 2014.** *Metabolic pathways: nitrogen metabolism*. *Encycl. Food Microbiol.*, Elsevier pp. 544-560.
- Ji, Q., Tabassum, S., Hena, S., Silva, C.G., Yu, G., Zhang, Z., 2016.** A review on the coal gasification wastewater treatment technologies: past, present and future outlook. *Journal of Cleaner Production*, 126: 38-55.
- Johnson, A.C., Jürgens, M.D., Williams, R.J., Kümmerer, K., Kortenkamp, A., Sumpter, J.P., 2008.** Do cytotoxic chemotherapy drugs discharged into rivers pose a risk to the environment and human health? An overview and UK case study. *Journal of Hydrology*, 348: 167-175.
- Jones, E.R., van Vliet, M.T.H., Qadir, M., Bierkens, M.F.P., 2021.** Country-level and gridded estimates of wastewater production, collection, treatment and reuse Earth Syst. *Scientific Data*, 13(2): 237-254.
- K. Götz, Courtier A., Stein M., Streleau L., Sunderer G., Vidaurre R., Winker M., Roig B., 2019.** *Risk perception of pharmaceutical residues in the aquatic environment and precautionary measures*. Elsevier.
- Kennedy, A.D., Jacoby, C.A., 1999.** Biological indicators of marine environmental health: meiofauna- a neglected benthic component? *Environmental Monitoring Assessment*, 54(1): 47-68.
- Khan, N.A., Ahmed, S., Farooqi, I.H., Ali, I., Vambol, V., Changani, F., Yousefi, M., Vambol, S., Khan, S.U., Khan, A.H., 2020.** Occurrence, sources and conventional treatment techniques for various antibiotics present in hospital wastewaters: A critical review. *Trends in Analytical Chemistry*, 129, Article: 11592.
- Khan, N.A., Ibrahim, S., Subramaniam, P., 2004.** Malaysian journal of science, and undefined 2004. Elimination of heavy metals from wastewater using agricultural wastes as adsorbents. *Citeseer*, 23: 43-51.
- Krismastuti, F.S.H., Hamim, N., 2019.** Designing a formulation of synthetic wastewater as proficiency testing sample: a feasibility study on a laboratory scale. *Accred Qual Assur*, 24: 437-441.
- Kumari, A., Maurya, N.S., Tiwari, B., 2020.** *Hospital wastewater treatment scenario around the globe. Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*, Elsevier, pp. 549-570.

- Kurniawan, S.B., Ahmad, A., Said, N.S.M., Imron, M.F., Abdullah, S.R.S., Othman, A.R., Purwanti, I.F., Hasan, H.A.,** 2021. Macrophytes as wastewater treatment agents: nutrient uptake and potential of produced biomass utilization toward circular economy initiatives. *Science of The Total Environment*, 790, Article: 148219.
- Larsen, T.A., Maurer, M.,** 2011. *Source separation and decentralization*. Wilderer Peter (Ed.), Treatise on Water Science, Vol. 4, Academic Press, Oxford, pp. 203-229.
- Leong, Y.K., Chang, J.S.,** 2020. Bioremediation of heavy metals using microalgae: recent advances and mechanisms. *Bioresource Technology*, 303, Article: 122886.
- Lien, L.T.Q., Hoa, N.Q., Chuc, N.T.K., Thoa, N.T.M., Phuc, H.D., Diwan, V., Dat, N.T., Tamhankar, A.J., Lundborg, C.S.,** 2016. Antibiotics in wastewater of a rural and an urban hospital before and after wastewater treatment, and the relationship with antibiotic use-a one year study from Vietnam. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13: 1-13.
- Liu, C., Cai, W., Zhai, M., Zhu, G., Zhang, C., Jiang, Z.,** 2021. Decoupling of wastewater eco-environmental damage and China's economic development. *Science of The Total Environment*, 789, Article: 147980.
- Luo, Y., Guo, W., Ngo, H.H., Nghiem, L.D., Hai, F.L., Zhang, J., Liang, S., Wang, X.C.,** 2016. A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. *Science of The Total Environment* 473-474C: 619-641.
- Majumder, A., Gupta, A.K., Ghosal, P.S., Verma, M.,** 2020. A review on hospital wastewater treatment: a special emphasis on occurrence and removal of pharmaceutically active compounds, resistant microorganisms, and SARS-CoV-2. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Article: 104812.
- Martins, D.S., Estevam, B.R., Perez, I.D., Pinheiro, J.H.P.A., Isique, W.D., Boina, R.F.,** 2022. Sludge from a water treatment plant as an adsorbent of endocrine disruptors. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(4): Article 108090.
- Ministry of Natural Resources and Environment Malaysia.** *National Water Quality Standards For Malaysia- Annex*. National Water Quality Standards for Malaysia-Annex 2014.
- Moe, C.L., Rheingans, R.D.,** 2006. Global challenges in water, sanitation and health. *Journal of Water and Health*, 4: 41-57.
- Mohammad, P., Azarmidokht, H., Fatollah, M., Mahboubbeh, B.,** 2006. Application of response surface methodology for optimization of important parameters in decolorizing treated distillery wastewater using *Aspergillus fumigatus* UB2.60. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 57: 195-199.

- Musa, M.A., Idrus, S., Man, H.C., Daud, N.N.N.,** 2018. Wastewater treatment and biogas recovery using anaerobic membrane bioreactors (AnMBRs): *Strategies and achievements Energies*, 11: 1675.
- Ogwugwa, V.H., Oyetibo, G.O., Amund, O.O.,** 2020. Taxonomic profiling of bacteria and fungi in freshwater sewer receiving hospital wastewater. *Environmental Research*, Article: 110319.
- Padeyanda, Y., Ko, Y., Jang, Y.C.,** 2015. A study on the material flow analysis of food waste recycling processes in Daejeon Metropolitan City. *Journal of Korea Society of Waste Management*, 32: 29-36.
- Pfeiffer, T., Camagajevac, I., Maronic, D., Maksimovic, I.,** 2018. *Regulation of photosynthesis in algae under metal stress*. V. Singh, S. Singh, R. Singh, S. Prasad (Eds.), Environment and Photosynthesis: A Future Prospect, Studium Press, New Delhi, IN pp. 261-286.
- Poi, G., Aburto-Medina, A., Mok, P.C., Ball, A.S., Shahsavari, E.,** 2017. Bioremediation of phenol-contaminated industrial wastewater using a bacterial consortium—from laboratory to field. *Water Air Soil Pollution*, 228(3): 1-12.
- Praharaj, S., Maitra, S., Hossain, A., Lalichetti, S., Yadav, A.N., Das, U., Shankar, T., Pramanick, B., Gaikwad, D.,** (2022). *Bioleaching Approach for Enhancing Sewage Sludge Dewaterability Sustainable Management and Utilization of Sewage Sludge*. pp 51–69.
- Priyanka, C.K., Chatterjee, A., Wenjing, W., Yadav, D., Singh, P.K.,** 2020. *Cyanobacteria: potential and role for environmental remediation*. Abatement of Environ. Pollutants: Trends and Strategies, pp. 193-20.
- Rajkamal, R., Kumar, M., Raj, M., Rajesh, M., Kiruthiga, J., Bazroy, J.,** 2016. Assessment of Water Quality Standards in the Villages of Kanchipuram District, Tamil Nadu, India. *International Journal Of Community Medicine And Public Health*, 3(11): 3179-3183.
- Ranade, V.V., Vinay, M.B.,** 2014. *Industrial Wastewater Treatment, Recycling and Reuse*. Elsevier.
- Saxena, A., Gupta, V., Saxena, S.,** 2020. Bioremediation: A Green Approach Towards The Treatment Of Sewage Waste. *Journal of Phytological Research* 33(2): 171-187.
- Sharma, R., Mishra, A., Pant, D., Malaviya, P.,** 2022. Recent advances in microalgae-based remediation of industrial and non-industrial wastewaters with simultaneous recovery of value-added products. *Bioresource Technology*, 344, Article: 126129.
- Shen, L., Ndayambaje, J.D., Murwanashyaka, T., Cui, W., Manirafasha, E., Chen, C., Wang, Y., Lu, Y.,** 2017. Assessment upon heterotrophic microalgae screened from

wastewater microbiota for concurrent pollutants removal and biofuel production. *Bioresource Technology* 245: 386-393.

- Shojaei, S., Jafarpour, A., Shojaei, S., Gyasi-Agyei, Y., Comino, J.R.,**2021. Heavy metal uptake by plants from wastewater of different pulp concentrations and contaminated soils. *Journal of Cleaner Production*, 296(4): 126345.
- Simha P., Ganesapillai M.,** 2017. Ecological sanitation and nutrient recovery from human urine: How far have we come? A review. *Sustainable Environment Research*, 27: 107-116.
- Singh, A., Chaudhary, S., Dubey, B., Prasad, V.,** 2016. *Plant Responses to, and undefined 2016. Microbial-Mediated Management of Organic Xenobiotic Pollutants in Agricultural Lands*. Springer, pp. 211-230.
- Strokal, M., Bai, Z., Franssen, W., Hofstra, N., Koelmans, A.A., Ludwig, F., Ma, L., van Puijenbroek, P., Spanier, J.E., Vermeulen, L.C., van Vliet, M.T.H., van Wijnen, J., Kroeze, C.,** 2021. Urbanization: an increasing source of multiple pollutants to rivers in the 21st century. *Npj Urban Sustainability*, 1: 24.
- Suthar, S., Verma, R.** 2018. Production of *Chlorella vulgaris* under varying nutrient and abiotic conditions: a potential microalga for bioenergy feedstock. *Process Safety and Environmental Protection*, 113: 141-148.
- Taseli, B.K., Kilkis, B.,** 2016. Ecological sanitation, organic animal farm, and cogeneration: Closing the loop in achieving sustainable development-a concept study with on-site biogas fueled trigeneration retrofit in a 900-bed university hospital. *Energy and Buildings*, 129: 102-119.
- Tekere.,** 2019. *Microbial bioremediation and different bioreactors designs applied*. *Biotechnol. Bioeng.* 10.5772/Intechopen.83661.
- Thanigaivel, S., Vickram, S., Dey, N., Gulothungan, G., Subbaiya, R., Govarthanan, M., Karmegam, N., Kim, W.,** 2022. The urge of algal biomass-based fuels for environmental sustainability against a steady tide of biofuel conflict analysis: Is third-generation algal biorefinery a boon? *Fuel*, 317, Article: 12349.
- Tiso, M., Schechter, A.N.,** 2015. Nitrate reduction to nitrite, nitric oxide and ammonia by gut bacteria under physiological conditions. *PLoS One*, 10, Article: 0119712.
- Tong, M.E.,** 2016. The global rise of zero liquid discharge for wastewater management: drivers, technologies, and future directions. *Environmental Science and Technology*, 50(13): 6846-. 6855.
- Tong, Y., Wang, X., Elser, J.J.,** 2022. Unintended nutrient imbalance induced by wastewater effluent inputs to receiving water and its ecological consequences. *Frontiers in Environmental Science and Engineering*, 16: 10-12.

- Torres, N.H., Santos, G.O.S., Ferreira, L.F.R.,** 2021. Chemosphere, and undefined 2021.n.d. *Environmental aspects of hormones estriol, 17 β -estradiol and 17 α -ethinylestradiol: electrochemical processes as next-generation technologies for their removal In.* Elsevier.
- Uddin, S.M.N., Li, Z., Mahmood, I.B., Lapegue, J., Adamowski, J.F., Donati, P.F., Huba, E.M., Mang, H., Avirmed, B., Cheng, S.,** 2015. Evaluation of a closed-loop sanitation system in a cold climate: A case from peri-urban areas of Mongolia. *Environment and Urbanization*, 27(2): 455-472.
- Valdivia, M.T., Taggart, M.A., Pab, S., Kean, A., Pfleger, S., Megson, I.,** 2023. Photocatalytic metallic nanomaterials immobilised onto porous structures: Future perspectives for at-source pharmaceutical removal from hospital wastewater and potential benefits over existing technologies. *Journal of Water Process Engineering*, 52, Article: 103553.
- Verlicchi, P.,** 2018. *Hospital Wastewaters*, vol. 10, Springer International Publishing, Cham, 978-3.
- Verlicchi, P., Galletti, A., Petrovic, M., BarcelÓ, D.,** 2010. Hospital effluents as a source of emerging pollutants: an overview of micropollutants and sustainable treatment options. *Journal of Hydrology*, 389: 416-428.
- Wang, S.J., Zhong, J.J.,** 2007. *Bioprocessing for Value-Added Products from Renewable Resources*. Chapter 6 - Bioreactor Engineering.
- Wani, A.K., Akhtar, N., Sher, F., Navarrete, A.A., Américo-Pinheiro, J.H.P.,** 2022. Microbial adaptation to different environmental conditions: molecular perspective of evolved genetic and cellular systems. *Archives of Microbiology*, 204(2): 1-16.
- Widyarani, Wulan, D.R., Hamidah, U., Komarulzaman, A., Rosmalina, R.T., Sintawardani, N.,** 2022. Domestic wastewater in Indonesia: generation, characteristics and treatment. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(22):1-18
- Wilkinson, J.L., Boxall, A.B.A., Kolpin, D.W., Leung, K.M.Y., Lai, R.W.S. Wong, D., Ntchantcho, R., Pizarro, J., Mart, J., Echeverr, S., Garric, J., Chaumot, A., Gibba, P., Kunchulia, I., Seidensticker, S., Lyberatos, G., Morales-salda, J.M., Kang, H.,** 2022. Pharmaceutical Pollution of the World's Rivers. *Environmental Sciences*, 119: 1-10.
- Xia, A., Murphy, J.D.,** 2016. Microalgal Cultivation in Treating Liquid Digestate from Biogas Systems. *Trends in Biotechnology*, 34: 264-27.
- Xiao, M., Yin, X., Gai, H., Ma, H., Qi, Y., Li, K., Hua, X., Sun, M., Song, H.,** 2019. Effect of hydroxypropyl- β -cyclodextrin on the cometabolism of phenol and phenanthrene by a novel chryseobacterium sp. *Bioresource Technology*, 237: 56-62.

- Xie, W.M., Ni, B.J., Sheng, G.P., Seviour, T., Yu, H.Q., 2016.** Quantification and kinetic characterization of soluble microbial products from municipal wastewater treatment plants. *Water Research*, 88: 703 – 710.
- Zhang, B., Ning, D., Yang, Y., Van Nostrand, J.D., Zhou, J., Wen, X., 2020.** Biodegradability of wastewater determines microbial assembly mechanisms in full-scale wastewater treatment plants. *Water Research*, 169, Article: 115276.
- Zhang, B., Shan, C., Hao, Z., Liu, J., Wu, B., Pan, B., 2019.** Transformation of dissolved organic matter during full-scale treatment of integrated chemical wastewater: molecular composition correlated with spectral indexes and acute toxicity. *Water Research*, 157: 472-482.
- Zhang, M., Leung, K.T., Lin, H., Liao, B., 2020** The biological performance of a novel microalgal-bacterial membrane photobioreactor: Effects of HRT and N/P ratio *Chemosphere*, 261, Article: 128199.
- Zhang, X., Liu, Y., 2022.** Circular economy is game-changing municipal wastewater treatment technology towards energy and carbon neutrality. *Chemical Engineering Journal*, 429, Article: 132114
- Zulkifli, M., Hasan, H.A., Abdullah, S.R.S., Othman, A.R (2023).** Adaptation of effective consortium bacteria for ammonia removal from domestic wastewater using moving bed biofilm reactor. *Materials Today*. Accepted In Press