

**REMAZOL BRİLLANT BLUE-R REMAZOL RED RR DYSTAR
BOYAR MADDELERİN BEYAZ ÇÜRÜKÇÜL FUNGUS *TRAMETES
VERSICOLOR* İLE BİYOGİDERİMİ VE OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖZLEM SANSARCI

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
OCAK- 2020**

**REMAZOL BRİLLANT BLUE-R REMAZOL RED RR DYSTAR
BOYAR MADDELERİN BEYAZ ÇÜRÜKÇÜL FUNGUS *TRAMETES*
VERSICOLOR İLE BİYOGİDERİMİ VE OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖZLEM SANSARCI

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

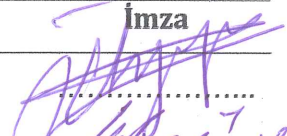
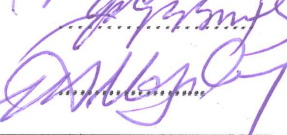
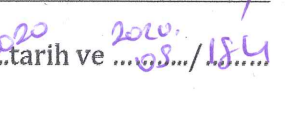
**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**Danışman
Prof. Dr. ALİ ÜNYAYAR**

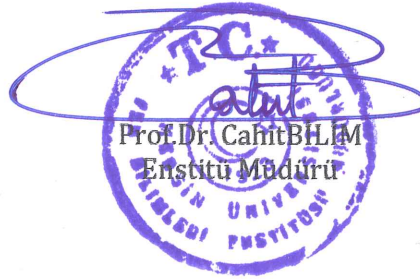
**MERSİN
OCAK- 2020**

ONAY

Özlem SANSARCI tarafından Prof.Dr. Ali ÜNYAYAR danışmanlığında hazırlanan "Remazol Brilliant Blue-R Remazol Red RR Dystar Boyar Maddelerin Beyaz Çürükçül Fungus *Trametes versicolor* İle Biyogiderimi Ve Optimizasyonu" başlıklı çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından 8 Ocak 2020 tarihinde yapılan Tez Savunma Sınavı sonucunda oy birliği Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Görevi	Ünvanı, Adı ve Soyadı	İmza
Başkan	Prof. Dr. Ali ÜNYAYAR	
Üye	Doç. Dr. Çağatayhan Bekir ERSÜ	
Üye	Prof. Dr. Mehmet Ali MAZMANCI	

Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 07/02/2020 tarih ve 2020/08/184 sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, tablo ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

ETİK BEYAN

Mersin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğinde belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlâk kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak kullandığımı,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü Mersin Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,
- Tezin tüm telif haklarını Mersin Üniversitesi'ne devrettiğimi

beyan ederim.

ETHICAL DECLARATION

This thesis is prepared in accordance with the rules specified in Mersin University Graduate Education Regulation and I declare to comply with the following conditions:

- I have obtained all the information and the documents of the thesis in accordance with the academic rules.
- I presented all the visual, auditory and written informations and results in accordance with scientific ethics.
- I refer in accordance with the norms of scientific works about the case of exploitation of others' works.
- I used all of the referred works as the references.
- I did not do any tampering in the used data.
- I did not present any part of this thesis as an another thesis at Mersin University or another university.
- I transfer all copyrights of this thesis to the Mersin University.

08/01/ 2020

İmza / Signature


Özlem Sansarcı

ÖZET

REMAZOL BRİLLANT BLUE-R REMAZOL RED RR DYSTAR BOYAR MADDELERİN BEYAZ ÇÜRÜKÇÜL FUNGUS *TRAMETES VERSICOLOR* İLE BİYOGİDERİMİ VE OPTİMİZASYONU

Tekstil işletmeleri tarafından çevreye bırakılan atık sulardaki boyar maddeler ve kimyasallar önemli kirlilik faktörleridir. Bu çalışmanın amacı; tekstil atık suların düşük maliyet ve kısa sürede biyolojik parçalanması araştırılmıştır. Bu çalışmada, Remazol Red RR ve Remazol Brilliant Blue-R boyaları üzerindeki biyolojik olarak beyaz çürük mantarı olan *Trametes versicolor*'un renk giderme aktivitesi incelenmiştir. Maksimum renk giderimini belirlemek için sentetik tekstil atık suyuna misel süspansiyon eklenerek farklı boya konsantrasyonları (25, 50, 75 mg/L) sıcaklık (25, 30, 35, 40 ° C) ve çalkalama hızı (100, 125, 150 rpm) optimizasyonu yapılmıştır.

Statik koşullarda; en yüksek renk giderimi 30 ° C'de sıcaklıkta gerçekleşmiştir. Remazol Kırmızı RR 75 mg/L konsantrasyonda % 94.05, Remazol Brilliant Blue-R % 97.02 olarak bulunmuştur. Çalkalama koşullar altında 30° C'de en yüksek renk giderimi 150 rpm gerçekleşmiştir. Remazol Kırmızı RR 75 mg/L konsantrasyonda % 97.74, Remazol Brilliant Blue-R % 100 olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Tekstil Boyası, Renk Giderim, Optimizasyon, Beyaz Çürükçül Funguslar, *Trametes versicolor*

Danışman: Prof Dr, Ali Ünyayar, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin Üniversitesi, Mersin.

ABSTRACT

REMAZOL BRILLANT BLUE-R REMAZOL RED RR DYSTAR PAINT AND OPTIMIZATION OF SUBSTANCES WITH WHITE ROT FUNGUS *TRAMETES VERSICOLOR*

Dyes and chemicals in waste water released to the environment by textile enterprises are important pollution factors. The aim of this study; low cost and short time biological degradation of textile wastewater. In this study, the decolorization activity of *Trametes versicolor*, a biologically white rot fungus on Remazol Red RR and Remazol Brilliant Blue-R dyes, was investigated. In order to determine the maximum color removal, different dye concentrations (25, 50, 75 mg / L) temperature (25, 30, 35, 40 ° C) and agitation speed (100, 125, 150 rpm) were optimized by adding micelle suspension to the synthetic textile waste water.

In static conditions; the highest color removal occurred at 30 ° C. Remazol Red RR was found at a concentration of 75 mg / L at 94.05%, Remazol Brilliant Blue-R was found at 97.02%. Under shaking conditions, the highest removal of color at 30 ° C was 150 rpm. Remazol Red RR was found at a concentration of 75 mg / L at 97.74%, Remazol Brilliant Blue-R at 100%.

Keywords: Textile Dyes, Decolorization, Optimization, White Rot Fungus, *Trametes versicolor*.

Advisor: Dr, Ali Ünyayar, Environmental Engineering Department, Mersin University, Mersin.

TEŞEKKÜR

Mersin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğinde belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasının süresince bilgisini, deneyimleri ve yardımını benden esirgemeyen değerli danışmanım, Prof. Dr. Ali ÜNYAYAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez savunma sınavında bilgileri ile bana yön veren ve tez çalışmasının tamamlanmasında emeği geçen değerli hocalarım Prof. Dr. Mehmet Ali MAZMANCI ve Uzm. Dr. Olcay GÜLÇİÇEK'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Her koşulda sabırla yanımda olan, beni bugüne kadar yetiştiren ailem babam Orhan SANSARCI, annem Hamide SANSARCI ve abilerim Kadir SANSARCI ve Murat SANSARCI'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans döneminde her konuda yardımlarını benden esirgemeyen ve tezim sürecinde gerek cihaz gerek kullandığım kimyasalları temin etmemi sağlayan Çevre Anabilim Dalı hocaları ve öğrencilerine, teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	i
ONAY	ii
ETİK BEYAN	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR ve SİMGELER	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Çevre ve Çevre Kirliliği	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	3
2.1. Endüstriyel Atık Sular	3
2.2. Tekstil Endüstrisi	3
2.3. Boyar Maddeler ve Çevrede Yarattığı Sorunlar	4
2.3.1. Boyar Maddeler	4
2.4. Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Boyar Maddeler ve Özellikleri	5
2.4.1. Boyarmaddelerin Sınıflandırılması	6
2.4.1.1. Asidik Boyalar	7
2.4.1.2. Bazik Boyalar	7
2.4.1.3. Direkt Boyalar	7
2.4.1.4. Dispers Boyalar	7
2.4.1.5. Reaktif Boyalar	8
2.4.1.6. Sülfür Boyalar	8
2.4.1.7. Vat Boyalar	8
2.4.1.8. Azo Boyalar	9
2.4.1.9. Pigment Boyalar	9
2.4.1.10. Mordan Boyalar	9
2.4.1.11. Kükürt Boyalar	10
2.4.1.12. İndigo Boyalar	10
2.4.1.13. Metal-Kompleks Boyalar	10
2.4.1.14. Solvent Boyalar	10
2.5. Tekstil Endüstrisi Atık Suların Arıtımında Kullanılan Yöntemler	11
2.5.1. Fiziksel Yöntemler	11
2.5.1.1. Adsorpsiyon	11
2.5.1.2. Membran Filtrasyonu	11
2.5.1.3. İyon Değişimi	11
2.5.2. Kimyasal Yöntemler	12
2.5.2.1. Oksidasyon	12
2.5.2.2. Kimyasal Floklaştırma ve Çöktürme Yöntemi	12
2.5.2.3. Cucurbituril Yöntem	13
2.5.3. Biyolojik Yöntemler	13
2.5.3.1. Aerobik Yöntem	13
2.5.3.2. Anaerobik Yöntem	14
2.5.3.3. Biyodegradasyon (Biyolojik Parçalanma)	14
2.5.3.4. Biyoremediasyon (Biyolojik İyileştirme)	15
2.5.3.5. Biyosorpsiyon	16
2.6. Beyaz Çürükçül Funguslar	16
2.6.1. <i>Trametes versicolor</i>	17
2.7. Literatürde Yapılan Çalışmalar	18

	Sayfa
3. MATERYAL ve YÖNTEM	22
3.1. Materyal	22
3.1.1. Mikroorganizma kaynağı	22
3.1.2. Çalışmada Kullanılan Boyar Maddeler	22
3.1.3. Ortamın pH'sı	23
3.1.4. Çalışmada Kullanılan Besiyerleri	23
3.1.4.1. Potato Dextrose Agar	23
3.1.4.2. Fungus Üretimi İçin Kullanılacak Mineral Ortam Stok Basal Medium	23
3.1.4.3. Sentetik Boyar Madde İçin Kullanılacak Mineral Ortam Stok Basal Medium	24
3.1.5. Kullanılacak Çözeltiler	24
3.1.6. Kullanılacak Cihaz ve Ekipmanlar	25
3.2.2. Misel Formda <i>Trametes versicolor</i> 'ın Renk Giderim Çalışmaları İçin Hazırlanması	25
3.2.3. Renk Giderim Çalışmalarında Optimizasyon İçin Kullanılmak Üzere Boyar Madde İçerikli Stok Basal Medium Besiyerine Misel Ekilmesi	26
3.3. Yapılan Analizler	26
3.3.1. Boyar Madde Çözeltilerinin Hazırlanması	27
3.3.2. Boyar Madde Renk Analizi	27
3.3.3. Biyosorpsiyon Veriminin Hesaplanması	28
3.3.4. Kimyasal Oksijen İhtiyacı Analizi (KOİ)	28
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	29
4.1. Fungus ve Boya Seçimi	29
4.2. RBB-R ve RR Boyalarının <i>Trametes versicolor</i> ile Gideriminde Optimum Koşulların Belirlenmesi	30
4.2.1. Statik Şartlarda Yürütülen Çalışmada Optimum Koşulların Belirlenmesi	30
4.2.2. Çalkalamalı Şartlarda Yürütülen Çalışmada Optimum Koşulların Belirlenmesi	34
4.2.3. Statik Şartlarda Yürütülen Çalışmada KOİ Bulguları	37
4.2.4. Çalkalamalı Şartlarda Yürütülen Çalışmada KOİ Bulguları	38
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	42
KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ	50

TABLULAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. <i>Trametes versicolor</i> 'ın sınıflandırılması	17
Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan boyar maddelerin kimyasal özellikleri	23
Tablo 3.2. Stok Basal Medium İçeriği	24
Tablo 3.3. Stok Basal Medium İçeriği	24
Tablo 4.1. Fungal izolatların Remazol Red RR, Remazol Brilliant Blue-R boyar maddelerine karşı 5.gün biyosorpsiyon kapasiteleri	30



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. <i>Trametes versicolor</i> 'ın doğal bir görüntüsü	18
Şekil 3.1. Remazol Red RR kimyasal yapısı	22
Şekil 3.2. Remazol Brilliant Blue-R kimyasal yapısı	22
Şekil 3.3. PDA besiyerinde 5 günlük gelişmiş <i>Trametes versicolor</i> görüntüsü	25
Şekil 3.4. <i>Trametes versicolor</i> 'ın misel süspansiyonunun 5 gün inküle edilmiş SBM besiyerine ait bir görüntü	26
Şekil 3.5. Remazol Brilliant Blue-R boyar maddesinin abs kalibrosyon eğrisi	27
Şekil 3.6. Remazol Red RR boayr maddesinin abs kalibrosyon eğrisi	27
Şekil 4.1. Remazol Red RR boyası ve <i>Trametes versicolor</i> beyaz çürükçül fungusun statik şartlarda sıcaklığın boya derişimine etkisi	31
Şekil 4.2. Statik koşullarda Remazol Red RR boyar maddesinin <i>Trametes versicolor</i> ile renk giderim	31
Şekil 4.3. Remazol Brilliant Blue-R boyası ve <i>Trametes versicolor</i> beyaz çürükçül fungusun statik şartlarda sıcaklığın boya derişimine etkisi	32
Şekil 4.4. Statik koşullarda Remazol Brilliant Blue-R boyar maddesinin <i>Trametes versicolor</i> ile renk giderim	33
Şekil 4.5. Remazol Red RR boyası ve <i>Trametes versicolor</i> beyaz çürükçül fungusun çalkalamalı şartlarda sıcaklığın boya derişimine etkisi	34
Şekil 4.6. Çalkalamalı koşullarda Remazol Red RR boyar maddesinin <i>Trametes versicolor</i> ile renk giderim	35
Şekil 4.7. Remazol Brilliant Blue-R boyası ve <i>Trametes versicolor</i> beyaz çürükçül fungusun çalkalamalı şartlarda sıcaklığın boya derişimine etkisi	36
Şekil 4.8. Çalkalamalı koşullarda Remazol Brilliant Blue-R boyar maddesinin <i>Trametes versicolor</i> ile renk giderim	36
Şekil 4.9. <i>Trametes versicolor</i> beyaz çürükçül fungusun statik şartarda Remazol Red RR boyasının renk giderilmesinde KOI değişimi	37
Şekil 4.10. <i>Trametes versicolor</i> beyaz çürükçül fungusun statik şartarda Remazol Brilliant Blue-R boyasının renk giderilmesinde KOI değişimi	38
Şekil 4.11. <i>Trametes versicolor</i> beyaz çürükçül fungusun çalkalamalı şartarda Remazol Red RR boyasının renk giderilmesinde KOI değişimi	38
Şekil 4.12. <i>Trametes versicolor</i> beyaz çürükçül fungusun çalkalamalı şartarda Remazol Brilliant Blue-R boyasının renk giderilmesinde KOI değişimi	39
Şekil 4.13. Remazol Red RR boyar maddesinin kimyasal bozunması	39
Şekil 4.14. Remazol Brilliant Blue-R boyar maddesinin kimyasal bozunması	40

KISALTMALAR ve SİMGELER

Kısaltma/Simge	Tanım
G	Gram
L	Litre
Nm	Nanometre
mg	Miligram
max	Maksimum
(NH ₄) ₂ SO ₄	Amonyum sülfat
KH ₂ PO ₄	Potasyumdihidrojen fosfat
HCl	Hidrojen klorür
NaOH	Sodyum hidroksit
KCr ₂ O ₄	Potasyumdikromat
H ₂ SO ₄	Sülfürik Asit
CaCl ₂ .2H ₂ O	Kalsiyum Klorür
FAS	Demir Amonyum Fosfat
MgSO ₄ .7H ₂ O	Magnezyum Sülfat
NH ₄ H ₂ PO ₄	Amonyum Dihidrojen Fosfat
PDA	Patato Dextrose Agar
SBM	Stok Basal Medium
RR	Remazol Red RR (Dystar)
RBB-R	Remazol Brillatn Blue -R
KOI	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
Co	Biyosorpsiyon ortamındaki başlangıç boya derişimi
Cf	Herhangi bir anda biyosorpsiyon ortamındaki kalan boya derişimi
T	Sıcaklık (°C)

1. GİRİŞ

1.1. Çevre ve Çevre Kirliliği

Çevre dünya üzerinde yaşamını sürdüren canlılarının hayatları boyunca ilişkilerini sürdürdüğü dış ortamdır. Diğer bir deyişle Ekosistem olarak tanımlanabilir. Hava, su ve toprak bu çevrenin fiziksel unsurlarını, insan, hayvan, bitki ve diğer mikroorganizmalar ise biyolojik unsurlarını teşkil etmektedir. İnsanların yaşamsal faaliyetleri sonucu su, hava ve toprakta meydana gelen olumsuz değişimlerle ekolojik dengenin bozulması ile çevrede meydana gelen gürültü, koku ve atık materyallerin çevrede arzu edilmeyen oluşumlara ise Çevre Kirliliği denir. Doğada kirlenmeye neden olan etmenleri ikiye ayırabiliriz; doğal etmenler ve insan faaliyetleri sonucu oluşan etmenler olmak üzere iki grupta inceleyebiliriz [1]. Doğal etmenler; doğadan kaynaklanan depremler, volkanik patlamalar, seller gibi doğadan kaynaklanan etmenlerdir. İnsan faaliyetlerinden kaynaklanan etmenler ise aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Evler, iş yerleri ve taşıt araçlarında; kullanılan petrol, fosil kalitesiz kömür gibi yakıtların bilinçsiz tüketilmesi.
- Sanayi atıkları ve evsel atıkların çevreye bilinçsiz bırakılması.
- Nükleer kaynaklı radyasyon yayılımı.
- Kimyasal ve biyolojik silahların kullanılması.
- Tarım ilaçları, böcek öldürücüler, soğutucu ve spreylerde zararlı gazlar üretilip bilinçsiz ve gereksiz kullanılması.
- Orman yangınları, ağaçların kesilmesi, bilinçsiz ve zamansız avlanmalardır.

Yukarıda sayılan insan kaynaklı kirleticilerin bilinçli kullanılması çevre kirliliği büyük ölçüde önlenir. Çevre bilimcilere göre genelde, iki çeşit kirlenme vardır; Birinci tip kirlenme; Biyolojik olarak ya da doğada kendiliğinden zararsız olan maddelerin oluşturduğu kirliliktir. Hayvansal atıklar, bitkisel atıklar birinci tip kirlenmeye neden olur. Kolay ve kendiliğinden zamanla yok olan maddelerin meydana getirdiği kirliliğe geçici kirlilik de denir. İkinci tip kirlenme: Biyolojik olarak veya kendiliğinden yok olmayan ya da çok uzun yıllarda yok olan maddelerin oluşturduğu kirliliktir. Plastik, deterjan, boyar maddeler, tarım ilaçları, böcek öldürücüler, radyasyon vb. insan kaynaklı maddeler ikinci tip kirlenmeye neden olur [2]. Evsel ve endüstriyel atıklar çevre kirliliğini oluşturan temel unsurlardır. Birinci ve ikinci kirleticiler atıklar işlem görmeden doğrudan doğaya verildiğinde "atık" adını alırlar [3]. Günden güne çoğalan nüfusun artan teknoloji ihtiyacı sebebi ile endüstride gelişme ve büyüme gerçekleşmiş, bununla ilgili olarak doğal kaynakların kullanımında artış görülmüştür.

Nüfustaki hızlı artış ve dolayısıyla artan kentleşmenin getirdiği sanayileşme gibi faktörler çevre kirliliğinin artmasına neden olan faktörlerdir. Enerji kaynaklarının hızlı tüketilmesi, başta su olmak üzere kullanılan bütün doğal kaynaklarda kirleticiler unsurlar kritik

boyut ve miktarlara ulaşmıştır. Çevre kirliliği ile ilgili sorunların dünya genelinde büyük sorun oluşturması ve enerji kaynaklarının hızla tükenmesinin bir sonucu olarak, her endüstri alanında rekabetçi pazar ortamında varlığını devam ettirebilmesi için, çevre bilinci ve doğal kaynakların dikkatli kullanılması gerekli hale gelmiştir. Endüstriyel işletmeler ve bilimsel kurumlar çevre ile ilgili daha bilinçli ve eskiye oranla daha ciddi yaklaşımla alternatif üretime yönelmiştir. Bu konuda endüstrilerde izlediği yol daha az kimyasal madde ve su kullanarak, daha az atık su ve atık hava açığa çıkartarak, çevreyi minimum derece de kirleten, daha az enerji tüketimi çevre dostu üretim yöntemlerinin geliştirilip ve uygulanması konusunda daha bilinçlenmek durumunda kalmışlardır[4]. Bu hususta artan bilinçlenmeyle birlikte endüstriyel atıklar, alıcı ortamdaki suya ulaştığı zaman atığın içeriğinde kirletici ile doğru orantılı olarak çevreye ciddi yan etkiler olabilir. Kaynağında atık oluşumunun minimizasyonu, atıkların geri kazanımı ve yeniden kullanımı ve oluşan atıksuların arıtımı daha fazla nitelik arz etmektedir.



2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

2.1. Endüstriyel Atık Sular

Su dünyanın dörtte üçünü kaplayan ve yaşamın kaynağıdır. Okyanuslardaki ve denizlerdeki su insanoğulunun kullanımı için elverişli olmadığından tatlı su göletleri, tatlı su göletleri, nehirler ve yeraltı sularından yararlanabiliriz. Temiz su yaşamın vazgeçilmezidir. İçme suları ve endüstriyel kullanım için temiz suyun bulunması, 21. yüzyılın en büyük zorluklarından biridir. Küresel nüfus ve sanayideki hızlı artış, doğal kaynaklarımız üzerinde ve ekosistemimizde büyük olumsuzluklar yaratmıştır [5].

Endüstriyel kaynaklı atıklar, alıcı ortamda kısıya ulaştığı zaman atığın içeriğinde kirletici ile doğru orantılı olarak çevreye ciddi yan etkiler olabilir. Ayrıca, insan sağlığı ve sulardaki milyonlarca canlı, suların kirliliği yüzünden zarar görmektedir. Bu atık sularla, yağmurla havayla ve oradan da topraklara karışan kimyasallar yüzünden, yeryüzünde yaşayan tüm canlıları olumsuz yönde etkileyerek yaşamsal faaliyetlerini kısıtlayarak ve nesli tükenme aşamasına gelmesine yol açmıştır. Yerleşim bölgelerinde ve endüstri bölgelerinde endüstrinin atık kaynağının ve alıcı ortamın kullanım amacına bağlı olarak oluşan atık sulardaki kimyasal ve maddelerin deşarj edilmeden atık sudan uzaklaştırılmalıdır.

Çevre kirliliği sorunlarını oluşturanların başında ilaçlar, gıda katlı maddeleri, yüzey aktif metaller, pestisitler, koruyucular, çamaşır deterjanları, dezenfektanlar, çamaşır deterjanları, kişisel bakım ve boya gibi atıkların sulara karışmaktadır. Doğal sularda ki organik bileşiğin artması çoğunlukla kimyasal sentez ve işlemeye yönelik kimyasal teknolojilerin geliştirilmesinin bir sonucudur [6].

Tekstil endüstrisinde yüksek miktarda kullanılan boyar maddeler genellikle toksik yapıda ve kanserojen etkiye sahiptirler. Bu yüzden endüstriyel atıkların kullandıkları boyar madde kirlilikleri istenmeyen bir durumdur. Bu tür atıklardaki kirliliklerin temas edildiğinde kanser ve cilt hastalıklarına neden olabilmektedirler. Ayrıca alıcı ortamdaki canlı popülasyonunda olumsuz yönde etki etmektedir. Bu tür kirliliklerin alıcı ortama verilmeden bertaraf edilmesi insan sağlığı, canlı popülasyonu ve çevrenin korunması açısından oldukça önemlidir [7].

2.2. Tekstil Endüstrisi

Tekstil; İnsan yaşamının her alanında varlığını önemle sürdürebilen yaşamın her döneminde gereksinim duymuştur.

Dünya ve ülkemizde sanayinin hızlı gelişimi ile birlikte tekstil endüstrisinde de son yıllarda büyük adımlar atılmaktadır. Yaşamın her alanında tekstil varlığını sürdüren ve ihtiyaçlarımızı karşılayan ürünlerin üretilmesi aynı zamanda ürün kalitesinde çevre şartlarına

karşı uzun vadede dayanıklı ürünler sunmaya çalışmaktadır. Günümüzde kullanılan sentetik boyar maddelerden geçmişte bitki köklerinden kaynaklı bitkisel boyalar oranla günümüzde maliyeti daha düşük ve boyama kapasiteleri yüksek ve çevresel faktörlere karşı dayanıklı (rekalsitran yapılı) boyar maddeler kullanılmaktadır [8].

Birçok ülkenin gelir kaynağı olan tekstil endüstrisi ve bu sektörün getirdiği çevresel sorunlar göz ardı edilemez. Günümüzde, tekstil endüstrisi tarafından ağartma, boyama, baskı ve terbiye gibi çeşitli süreçlerde kullanılan 3600 farklı boya ve 8000 farklı kimyasal kullanılmaktadır. Bu kimyasalların çoğu insan sağlığına, su hayatına doğrudan ve dolaylı bir tehdit oluşturmakta ve su ve toprak kirliliğine neden olmaktadır [5]. Endüstriyel kaynaklı atıksular ortamında ciddi problemler oluşturmaktadır.

Tekstil endüstrisi kaynaklı atık sularını oluşturan temel kaynak, doğal liflerin yıkanması, ağartılması ve boyanması parametreleridir [9]. Tekstil sanayisinde imalat sürecinde 1 kg tekstil kumaş üretmek için yaklaşık 200 litre su ve boyalar ve kimyasallar kullanılmaktadır. Boyar maddeler arasında reaktif ve dispers boyalar, büyük tekstil pazarındaki en çok kullanılan boyarmaddelerdir. Yapılan imalat süresinde kullanılan boyalar ve kimyasallar kumaşa sabitlenmemektedir. Bunun sonucunda üretim sırasında tekstil atık suyu da kimyasal ve boya kalıntıları bulunmaktadır. Diğer kirleticiler arasında alkaliler, organik ve inorganik tuzlar, asitler ve ağır metaller bulunur. Günlük üretim yaklaşık 20.000 kg tekstil işlendikten sonra yaklaşık 3×10^6 L atık su oluştuğu tahmin edilmektedir [10].

2.3. Boyar Maddeler ve Çevrede Yarattığı Sorunlar

2.3.1. Boyar Maddeler

Nesnelere renk vermek, dış yüzeyini korumak yada albenili bir görünüm için renkli bir görünüm sağlayan maddelere “boya” denir. Cisimlerin kendilerinin renkli olması için uygulanan maddelere ise “boyar madde” adı verilir [11]. Tekstil, kâğıt, dokuma, deri, yiyecek gibi çoğu endüstriyel alanda boya kullanılır [12].

100 binin üzerinde ticari kuruluşun her yıl 700,000 ton boya kullandığı bilinmektedir [13]. Günümüzde ticari olarak satılan 10 000 farklı boya vardır ve bu boyaların yaklaşık %5-10'u endüstriyel atıksularda kalarak çevreye verilmektedir [14,15]. Dünyada her yıl yaklaşık 10 milyar kg civarında boya, atık olarak doğaya karışmaktadır [16]. Tekstil endüstriyel kaynaklı atık sular da çözünmüş ya da kolloidal yapıda olabilen rengin ana kaynağı kullanılan boyar maddeler son yıllarda sentetik boyaları içeren atıksuların deşarjı ile ortaya çıkan problemler oldukça dikkat çekmektedir [17].

Tekstil endüstrisinde kullanılan kimyasallar ve boya içermesi ile atıksuların toksisitesi yüksektir ve deşarjı, atık su kirliliğinin en önemli sebebi olarak kabul edilmiştir. Çünkü boya

molekülleri uzun ve geniş moleküllü yapıları yüzünden, ışık ve mikroorganizma eylemleri gibi doğal yollarla bozulmaya direnç gösterirler ve su kütleleri içine boşaldığında, uzun süre sularda kalabilmektedirler [18].

Tekstil endüstri kaynaklı atıksularının en karakteristik parametresi olan renk, estetik ölçüler açısından ve çevreye verdiği zarar açısından endüstrinin en önemli kirleticilerinden biridir. Renkli atıksular alıcı ortama verilmeden önce arıtmaları gerekmektedir. Nehir, göl ve alıcı ortamına verilen renkli atıksular güneş ışığının geçmesini engelleyerek, fotosentez aktivitesi ve çözünmüş oksijen miktarını azaltmaktadır. Bunun sonucunda anaerobik sürecin başlaması ekolojik dengenin bozulması ile aerobik ortamda yaşayan canlılar olumsuz etkilenmek. Tekstil endüstrisinde açığa çıkan atık suların nehir, göl ve deşarj ortamına verilmeden önce atık sudan uzaklaştırılmalıdır.

2.4. Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Boyar Maddeler Ve Özellikleri

Boyar maddeler günlük çevremizde gördüğümüz ve kullandığımız cisimlerin renklendirilmesini sağlayan kimyasal bileşiklerdir. Boyar maddeler doğal ve sentetik olmak üzere iki gruba ayrılır. Günümüzde kullanılan çoğu boyar maddeler sentetik boyar maddelerdir. Sentetik boyar maddeler tekstil, boya, kâğıt, baskı gibi endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde kullanılan 100.000'in üzerinde sentetik boyar maddeler ticari olarak kullanılmakta ve yılda 700.000 ton boya üretimi gerçekleştirilmektedir [19]. Genel olarak boyaların dekolorizasyonu zordur. Çünkü boya yapısı itibariyle karmaşık moleküllerden oluşması onların suya, ısıya ya da birçok kimyasal maddeye dirençli hale getirdiği için ortamlardan uzaklaştırılması daha zordur.

Çift bağlardaki elektronların kolaylıkla aktifleşebilmeleri ile görünür spektrum bölgesinde (400-700 nm) bir adsorpsiyon için bileşikte çift bağların bulunması gereklidir. Günümüzde kullanılan sentetik boyar maddelerin çoğunun yapısında çift bağ içeren molekül olarak; naftalin, benzen, antrasen gibi aromatik çekirdekler kullanılmaktadır. Mor ötesi ışınların absorbe ederek aktifleştirmeleri nedeniyle bu çekirdekler tek başlarına renksiz olarak görünürler. Ancak yakın ultraviyole ışınlarını görebilen böcekler için bunlar renklidir [20]. Boyar maddeler 400-700 nm arasında görünür bölgede ışığı absorbe edebilme kapasiteleri ile karakterize edilir ve ışığı absorbe ederek renkli görünmesini sağlar. Günümüzde değişik yapılarda olan boyar maddeler farklı amaçlarda kullanılmaktadırlar. Renklendiriciler, boyalar ya da pigmentlerdir. Pigmentler su ortamında çözünmemeleriyle karakterize edilirler. Alıcı ortamda ki suda tamamiyle çözünebilen boyalar tekstil materyalleri, saç, tırnak ve deri gibi çeşitli maddelere uygulanmaktadır.

Boyalar genellikle iki anahtar bileşenden oluşan küçük molekülüdür. Bunlardan kromofor grup, boyaya rengini veren grup; fonksiyonel grup ise boyanın kumaşa

sabitlenmesini sağlayan gruptur. Normalde bütün hidrokarbonlar renksizdirler, bunlara kromofor adı verilen doymamış gruplar bağlandığında renkli görünürler. Kromofor grup bağlanmış hidrokarbonlara kromojen adı verilmektedir [21]. Kromojenlerin tam olarak boyarmadde özelliği alabilmesi için “oksokrom” adı verilen ikinci seri grup moleküllerinin bileşikile bağlanması gerekmektedir. Oksokrom gruplar kromojen ile bağlanarak renk şiddeti ve renk denkliliğini arttırmaktadır. Oksokromların en önemlileri arasında -OH, -NH₂, -NH sayılabilir. Bir boyarmaddenin ayrıca çözünebilmesini sağlayacak -SO₃H ve -CO₂H gibi asidik özellikte ve bazik özellikte çözüdürücü gruplara ihtiyacı vardır. Bu gruplar da oksokromlar gibi özellikle tekstil alanında kullanılmakta olup, boyanın kumaşa tutunmasına yardım eder [21].

Boyarmaddelerde en sık kullanılan kromofor grubu azo grubudur. Boyarmaddeler diğer önemli indigo ve sülfür grubu içermektedir. Fonksiyonel grup, boyarmaddelerin yün iplik ile pamuğa bağlanmasını sağlamaktadır. Tekstil endüstrisinin farklı tip materyallerinin boyanması için materyallerin tipine göre fonksiyonel gruplar kullanılmaktadır [22].

Tekstil endüstrisinde kullanılan birçok boya tuz halinde bulunmaktadır. Bu boyalardan sodyum, potasyum, kalsiyum, amonyum katyonlarıyla boya iyonu anyonunun yaptığı tuzlara asit boyalar; -CH₃COO, COOC-COO, Cl₄, SO₂ gibi anyonlarla boya iyonu katyonunun meydana getirdiği tuzlara bazik boyalar denmektedir. Organik tuz olan boyarmaddeler su veya başka bir eriyik içinde çözünüp anyon ve katyon gruplarına ayrılarak, aynı çözelti içerisinde bulunan kimyasal maddeler ile birleşebilecek hale gelmektedirler. Ancak bu iyonlaşma olayı tekstil endüstrisinde kullanılan tüm boyarmaddeler ile aynı hızda olmamaktadır. Bazı boyarmaddelerin molekülleri tamamen ikiye ayrıldığı halde bazı boyarmaddelerin molekülleri bir kısmı ikiye ayrılırken diğer kısmı ise ayrılmamaktadır. Bunların bazısında yalnız boya kökü, bazılarında hem boya kökü hem tuz kökü eriyik için de anyon ve katyon halinde olmalarına rağmen kolloid formlarını korumaktadır. Boya banyosu içinde irili ufaklı agregat halinde dolaşmaktadırlar. Agregat halinde bulunan boya banyosunun sıcaklığının yükselmesi ile kökler daha küçük kısımlara ayrılarak boya banyosunun yoğunluğunu artırarak boyama gücünü yükseltmektedirler [23].

2.4.1. Boyarmaddelerin Sınıflandırılması

Tekstil endüstrisinde dispers, reaktif, asit, bazik, kükürt ve direkt boyalar da dâhil olmak üzere bir dizi boya sınıfı kullanılmaktadır. Boyaların sınıflandırılması için birkaç yol vardır. Kimyasal yapı, renk ve farklı uygulama yöntemleri açısından sınıflandırılabilir. Örneğin, bunlar arasında, vat, kükürt ve dispers gibi boyalar suda çözünmeyen boyalar olarak adlandırılırlar ve bu nedenle bunları atık sudan ayırmak kolaydır. Öte yandan, reaktif, direkt, bazik ve asit boyalar gibi boyalar suda çok çözünür boyalardır ve bu nedenle bunları geleneksel ayırma işlemleriyle atık sudan uzaklaştırmak zordur [24].

2.4.1.1. Asidik Boyalar

Asit boyalar anyoniktir, suda çözünür. Boyaların en çok bulunduğu sınıftır. Bu boyalar, protonize -NH₂ fiber grubu ve asit grubu boyası arasında iyonik bağ kurarlar [25]. Genellikle yün, naylon, ipek, mürekkep, deri ve kâğıt üzerine uygulanırlar. Bu boyalardan ticari öneme sahip grupları; Antrokinon, ksanten, azo (nitroso, premetallize edilmiş boyalar), nitro ve trifenilmetanlardır [26].

2.4.1.2. Bazik Boyalar

Katyonik grubu renkli kısmında taşıyan bir boya çeşididir. Katyonik grup olarak N ya da S pozitif atomu içerirler. Bu boyaların yapısı bazik oldukları için anyonik grup bulunduran kumaşlara bağlanırlar. Boyarmadde katyonu, kumaşın anyonik grupları arasında tuz oluşturur [27]. Genelde poliakrilonitril, mürekkepler, kâğıt, işlenmiş naylon, polyester, pamuk elyaflar ve yünlerin boyanmasında kullanılırlar [26].

2.4.1.3. Direkt Boyalar

Direkt boyalar suda çözünebilir ve anyonik boyalardır. Direkt boyaların yapısı sülfonik ya da karboksilik asitlerin sodyum tuzlarından oluşurlar. Yıkama dayanıklılığı suda çözünürlüklerinden dolayı zayıftır. Eklenmiş elektrolit içeren nötr veya az alkali banyoda uygulanırlar. Bu boyalar, kumaşlara hidrojen bağları ve Van der Waals kuvveti ile bağlanır. Ucuz olmaları ve kumaşların boyanmasının basittir. Boyama sırasında kumaşa zarar vermediği için ticari olarak çok tercih edilen bir boya türüdür, fakat parlaklıktan yoksundur. Genellikle selülozik elyaf kumaşlarda ya da deri, kâğıt, suni ipek, naylon ve basit elyafların boyanmasında kullanılmaktadır [25]. Boyaların çoğu azo sınıfına aittir. Diğerleri ise, ftalosiyanın, oksazin ve stilben boyalardır [26].

2.4.1.4. Dispers Boyalar

Düşük molekül ağırlıklı bileşikler ile oluşan amino ve hidroksil grubu boya türüdür. Boyama sırasında boyar maddedeki amino, elyaf ve hidroksil grupları arasında hidrojen bağları oluşmaktadır. Genellikle yüksek sıcaklık-basınç veya düşük sıcaklık-taşıyıcı yöntemleri ile uygulanmaktadır. Özellikle polyester boyamalarında kullanılan bu boya, poliyamit, asetat ve plastik boyamalarında da kullanılırlar. Boya uygulanmadan önce polyester ön işlemlerden geçirilir. Bunlardan en önemlisi ise, termofiksasyondur. Termofikse işlemi, kumaşın ısı ve sulu işlemlerde korunması amacıyla yapılan bir uygulamadır [26].

2.4.1.5. Reaktif Boyalar

Reaktif boyaların yapılarında farklı reaktif gruplar bulunur. En çok tekstil endüstrisinde kullanılan bu boyalar parlak, suya dayanıklı ve uygulaması kolay bir boya türüdür. Selülozik elyaf, naylon, yün, pamuk, ipek ve poliamid boyanmasında sıklıkla kullanılırlar. Boya üzerindeki reaktif bölge, ısı ve pH etkisi altında kovalent olarak boyayı bağlamak için kumaş üzerindeki fonksiyonel grup ile reaksiyona girer [24].

Suda çözünmeleri zor olduğu için atık sularda en çok karşılaşılan boya reaktif boyalardır. Bunun sebepleri; pamuk boyaması gibi işlemler başta olmak üzere endüstride oldukça fazla kullanılmaları ve boyama sırasında boyar maddenin bir kısmının dokuya bağlanmayarak sulu ortamda kalmasıdır. Genellikle, bu boyaların sularda çözünür hale gelebilmesi için sülfonik asitlerin sodyum tuzları kullanılır [28].

Reaktif boyalar reaktifliklerine göre düşük ve yüksek reaktif boya maddeler olmak üzere gruplandırılırlar. Yüksek reaktifliğe sahip olan boyalar, düşük olanlara göre daha hızlı bir şekilde boyama sağlar. Düşük reaktifliğe sahip olan boya maddeleri ise boyama işlemi sırasında hidroliz daha az olacağı için boya madde kaybı da az olur [29].

Reaktif boya grubunda yer alan boyalar ise, antrakinon, formazan, ftalosiyanın, azo, oksazin ve bazik boyalardır [24,26].

2.4.1.6. Sülfür Boyalar

Sülfür boyaları, özellikle koyu siyah, lacivert, haki, yeşil ve diğer birkaç renk tonu ile selülozik boyamada, daha ucuz fiyata ve genellikle suni ipeklerde ve pamukta kullanılırlar. Sülfür boyaları noniyoniktir ve kükürt boyası oksidasyonla indirgenmiş ve çözüldürülmüş anyonik halde uygulanır [30]. Bu boyalar genellikle parlaklıktan yoksundur ama modifiye edilerek üretilen renk tonları, parlak kırmızı, turuncu ve sarıdır. Boyanmış selülozdaki fazla serbest sülfür, depolama sırasında yayılarak atmosfere zarar vermektedir. Ayrıca, sodyum sülfür atık suyunu kirletir ve beton deşarj borularını aşındırır [25].

2.4.1.7. Vat Boyalar

Vat boyaları, yapılarındaki C=O kromoforunu koruyarak suda çözünmezlik oluşturur. Boyalar, selülozikler için afinite ve sağlamlık gösterdiğinde, sulu ortamdan uygulama için indirgenir ve çözülür. Genellikle tüm tonlar parlaktır, yün ve pamuklarda kullanılırlar. Herhangi bir yanlış kullanımı, boyanın renk tonunu aşırı azaltabilir. Vat boyalarının çözmek için

kullanılan sodyum hidrosülfid ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) gibi alternatif indirgeme sistemlerine ihtiyaç duyarlar. İndigo boyalar ve antrakinon boya ları bu gruba girerler [25,26].

2.4.1.8. Azo Boyalar

En büyük boya grubu olup, tüm boyar maddeleri üretiminin % 60-70'ini oluşturmaktadır. Sentetik olarak elde edilen bu boyalar tekstil ve deri endüstrilerinde başlıca kullanılırlar. Doğal boyar maddelerin hiçbirinde azo grubuna rastlanmaz. Azo boyar maddelerin bilinen 10.000'den fazla çeşidi vardır. İnsanların isteklerine göre her geçen gün de artmaktadır. Azo boya ları aromatik halkalar ve bir veya birde fazla azo grubu bulundururlar. Azo grupları, $\text{R}_1\text{-N=N-R}_2$ şeklindedir. Aromatik halkalar çoğunlukla sülfonat grupları ile yer değiştirilirler, böylece boya lar suda çok çözünür ve dolayısıyla atık sudan arınmak için difüze olurlar [33].

Kompleks yapıları yüzünden azo boya lar, biyodegradasyona karşı dirençli yapıda olurlar. Aynı zamanda bu boya lar önemli derecede kanserojen ve mutajeniktir. Atık sularla çevreye verilmeden önce bu sebeplerden dolayı mutlaka etkili bir şekilde uzaklaştırılması gerekmektedir [34].

2.4.1.9. Pigment Boyalar

Pigment boya lar suda çözünmezler, organik ya da inorganik bileşiklerden oluşan boya lar dır. Azo bileşikli yada metal-kompleks filatosiyeninlerdir.

Genellikle, kumaş fabrikalarında koyulaştırıcılarla birlikte tüm elyaf, pamuklu ve sentetik lifleri boyamada kullanılabilen bir boya türüdür. Boya ların kumaş tarafından tutulması bağlayıcı reçineler yardımıyla gerçekleşir ve yüksek sıcaklıklarda sabitlenirler [35].

2.4.1.10. Mordan Boyalar

Mordan boya lar bilinen en eski boya lar dandır ve hala kullanım oranı % 23 civarlarındadır. Mordan boya lar da boyama işlemi, mordanların elyaflara eklenmesiyle olur. Genellikle mordan olarak kalay, demir, krom ve alüminyum tuzları kullanılmaktadır. Mordan boya lar maddeler daha çok ipek, kâğıt ve deri gibi maddelerin boyanmasında kullanılmaktadır.

Boya lar hayvansal ve bitkisel lifleri tek başına boyamaya yetmezler ve mutlaka mordana ihtiyaç duyarlar. Metal hidroksitleri asidik boya lar için kullanılan, tannik asit ise bazik boya lar için mordan olarak kullanılan maddelerdir. Nötral bir boya türüdürler ve genellikle yün boyamacılığında kullanılırlar. Yapılarında bazik veya asidik fonksiyonel gruplar içeren bu boya lar ve boyanacak lifle kararsız bileşikler oluştururlar. Mordan maddeler elyaf ve boya lar maddeye arasında köprü görevi görmektedir [36].

2.4.1.11. Kükürt Boyalar

Kükürt boyar maddelerinin üretimi, kumaşa uygulaması ve bu boyaların kimyasal yapısının farklı olmasından dolayı özel bir boya sınıfıdır. Kükürt boyları suda çözünmez yapıya sahiptirler. Aromatik ve heterosiklik yapılardan oluşan bu boyalar, kükürt ve kükürt açığa çıkaran maddelerin ısıtılmasıyla elde edilirler [36].

2.4.1.12. İndigo Boyalar

İndigo boyları, vat-indigoid boya sınıfına ait karakteristik mavi bir renge sahip organik bir boyadır ve çivit olarak da bilinir. 1900'lere kadar yalnızca çivitağacı (Indigofera) ve çiviototu (Isatis tinctoria) bitkilerinden çıkarılan daha sonra sanayileşen önemli bir boyarmaddedir. İndigo boyları, tanınan boyların en eskisidir. Çok eskiden beri Asya, Mısır, Yunanistan, Roma, İngiltere ve Peru'da kullanılmıştır. Günümüzde üretilen çoğu indigo boyası, bazıları hala bitkilerden doğal olarak üretilmesine rağmen, sentetik kökenlidir. İlk defa sentetik olarak indigo boyası, Alman kimyager Baeyer tarafından elde edilmiştir [37].

İndigo, vat boyası sınıfının bir üyesi olmasına rağmen, diğer vat boylarının aksine, indirgenmiş ve çözündürülmüş halde selülozikler için bir afiniteye sahip değildir. İndigo alımının kapsamı, farklı denim ön işlemleriyle kullanılabilir. DMSO, kolayca indigo elde etmek için doğru çözücüdür. Çevre dostu alternatif indirgeme sistemleri de geliştirilmiştir. İndigo, çoğunlukla selülozik liflere (pamuk) uygulanır [24].

2.4.1.13. Metal-Kompleks Boyalar

Metal-kompleks boyarmaddeleri; kobalt, krom, nikel ve bakır gibi metallerin boyar madde molekülleri ile kompleks oluşturması sonucunda elde edilirler. Boyaların renk tonları metal-kompleksinden dolayı renk parlaklığı biraz azalır yani mattır. Başlıca yün ve poliamid kumaşlar olmak üzere selülozik lifler, deri, ipek, kağıt gibi bir çok malzeme metal kompleks boyar maddeler ile boyanabilmektedir [27].

2.4.1.14. Solvent Boyalar

İyonik olmayan boylardır ve çoğunlukla diazo bileşiklerinden oluşurlar yani sülfonik asit, karboksilik asit veya kuaterner amonyum gibi gruplar içermezler. Temel kimyasal sınıfları çoğunlukla azo ve antrakinondur. Plastikler, yağlar ve mumlar gibi malzemelerde kullanılırlar [38].

2.5. Tekstil Endüstrisi Atık Suların Arıtımında Kullanılan Yöntemler

2.5.1. Fiziksel Yöntemler

2.5.1.1. Adsorpsiyon

Ekonomik açıdan uygun olan adsorpsiyon yöntemi biyolojik olarak parçalanması zor organik boyar maddeleri atık sulardan uygun adsorban (katı maddeler) yüzeyinde tutularak fiziksel ve kimyasal bağlarla tutularak ayırma işlemidir. Atık sudan boyar maddenin renk gideriminin de oldukça etkili bir yöntemdir [39].

Toz veya granüler yapıdaki bulunan aktif karbon tekstil endüstrisi atık suların renk gideriminde en sık kullanılan adsorbanlardır ve bu adsorbanlarla yapılan çalışmalar sonucu yüksek oranda renk giderim elde edilmiştir. Adsorpsiyon prosesi, boya/sorbent etkileşimi, adsorbanın yüzey alanı, tanecik büyüklüğü, sıcaklık, pH ve temas süresi gibi pek çok fiziko-kimyasal faktörün etkisine bağlıdır. Aktif karbon adsorpsiyon yöntemi ile renk gideriminde en çok sık kullanılan yöntemdir. Metodun performansı kullanılan karbonu tipine ve atıksuyun karakteristiğine bağlıdır. Aktif karbonun pahalılığı ve jenerasyonunun zor olmasından kaynaklı kullanımı sınırlıdır. Bu nedenle son yıllarda daha ucuz adsorbentlerin kullanılabilirliği araştırılmaktadır [40].

2.5.1.2. Membran Filtrasyonu

Membran filtrasyon ile atık sulardan renk giderimi sağlamak mümkündür. Membran filtrasyon yöntemi ile boyanın sürekli olarak arıtılması ve atık sudan ayırmak mümkündür. Membran prosesleri boyama işlemi sırasında kullanılan boyar madde, yardımcı kimyasalların ve suyun geri kazanımını sağlamak amacıyla kullanılabilir [41]. Ultrafiltrasyon, ters osmoz ve elektrodializ membran sistemleri ticari amaçlı olarak kullanılmaktadır. Sistemin sıcaklığa, kimyasal çevreye ve mikrobiyal aktiviteye karşı dirençli olması diğer yöntemlere göre avantajlıdır. Membran teknolojileri, temel dezavantajı sermaye giderlerinin yüksekliği, membranın çabuk tıkanması, ayırmadan sonra kalan konsantre atığın çevreye deşarj edilmeden önce bertaraf problemlerine neden olması ve yenilenme gerekliliği gibi dezavantajlara da sahiptir [42,43].

2.5.1.3. İyon Değişimi

Boyama işlemi sırasında özellikle boyalar, çoğu kimyasal olarak ya anyonik ya da katyonik olduğu için, liflere kovalent bağlarla tutundukları için genellikle iyon değiştirme yöntemiyle giderilebilirler adsorpsiyon gibi basit yöntemlerle uzaklaştırılmamaktadırlar [40]. Bu yöntemde

boyar madde içeren atıksulardan katyonik ve anyonik boyalar uzaklaştırılabilmektedir. Rejenerasyonla adsorban kaybının olmaması, çözücünün kullanıldıktan iyileştirilebilmesi ve çözünebilir boyar maddelerin etkin şekilde giderilebilir olması avantajlarıdır. Ancak, yöntemin kullanımı çoğu boyada, doygunluğa ulaşıldığında organik çözücüler pahalılığından dolayı yönetim maliyeti oluşu ve dispers boyalar için pek etkili olmadığından dezavantajlarıdır [42,44].

2.5.2. Kimyasal Yöntemler

2.5.2.1. Oksidasyon

Oksidasyon yönteminin basit olması kimyasal yöntemler arasında en çok kullanılan renk giderim yöntemidir. Kimyasal oksidasyon yönteminin kullanım sonucu boya molekülündeki aromatik halka kırılarak atıksudaki boyar madde giderilir [42].

Kimyasal oksidasyon yöntemi sonucu boya molekülünde bulunan aromatik halka kırılarak atık sudaki boyar madde giderilir. Oksidasyon aşağıdaki yöntemlerle uygulanabilir;

- Ozon
- Fotokimyasal yöntem
- Elektrokimyasal yöntem
- Sodyum hipoklorit (NaOCl)
- H₂O₂-Fe(II) tuzları (Fenton ayırıcı)

Kimyasal maddeler arasında gerçekleşen elektron transferine kimyasal oksidasyon prosesinin temel amacıdır. Boyar maddede bulunan aromatik halkaların kırılmasıyla boyanın giderimi sağlanır. Atık su içerisinde bulunan maddelerin kararsız ara ürüne veya son ürüne dönüştürmesi kimyasal olarak oksitlenmesi olarak ifade edilebilir [45].

2.5.2.2. Kimyasal Floklaştırma ve Çöktürme Yöntemi

Floklaştırma ve çökeltme yöntemi atık sudan kimyasal maddeler yardımıyla sağlanır. Atıksuya içersine eklenen kimyasal maddeler yardımıyla meydana gelen floklaşma ile çözünmüş maddeler ve kolloidler giderilir. En çok kullanılan kimyasallar arasında Al₂(SO₄)₃, FeCl₃, FeSO₄ve kireç sayılabilir [42]. Uygulanan yöntemde kullanılan uygun dozda kimyasal çöktürme deneylerinde orta seviyeden yüksek seviyeye kadar renk giderimi sağlanmıştır [42]. Katyonik boyar maddeler kimyasal yapılarından dolayı katyonik boyar maddeler son derece zayıf koagüle ya da hiç koagüle olamamaktadır. Uygulanan yöntemin asit, direkt ve reaktif boyar maddelerine karşı koagüle olmakla birlikte oluşan flokların kalitesi çok zayıf olup ortama flokülant ilavesi bile çökeltme verimini pek arttırmaması yöntemi dezavantajlı yapmaktadır. Dispers boyar maddelere karşı ise koagülasyon ve flokülasyon yöntemleriyle tam bir renk giderimi

sağlanmaktadır [46]. Kimyasal çöktürme yöntemini dezavantajı kılan inşaat masraflarından ziyade işletme masrafları önem taşımaktadır. Özellikle uygulanan floklaşma maddeleri ve meydana gelen çamurun bertaraf edilmesi, giderlerin masraflarının önemli bir kısmını teşkil etmektedir [46].

2.5.2.3. Cucurbituril Yöntem

Cucurbituril glikoluril ve formaldehitten oluşan bir polimerdir. Şeklinin, Cucurbitaceae bitki sınıfının bir üyesi olan balkabağına benzemesinden dolayı bu şekilde isimlendirilmiştir. İsimdeki uril, bu bileşiğin üre monomerini de içerdiğini ifade etmektedir. Yapılan çalışmalar bileşiğin çeşitli tipteki tekstil boya için oldukça iyi bir sorpsiyon kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir. Maliyeti diğer kimyasal yöntemlere göre dezavantajlıdır [42].

2.5.3. Biyolojik Yöntemler

Fiziksel ve kimyasal yöntemler boyar maddelerin renk gideriminde genellikle kullanılan metodlardır. Fakat Bu nedenle pahalı olmayan ve etkili bir yöntemin çok önemli kazanımları olacaktır. Bunun için alternatif, kaçınılmaz olarak biyoteknolojidir. Biyolojik arıtma prosesleri, tekstil endüstrisi ve atık sularının arıtımında sıklıkla kullanılmaktadır. Fiziksel ve kimyasal yöntemlerin uygulama alanlarının sınırlı olması her boya için kullanılmaması kullanılan bu yöntemlerin maliyet açısından tesis, ekipman ve malzeme açısından ekonomik olmamaları ve çevre kirliliği problemini tam olarak ortadan kaldırmamaları bu yöntemleri dezavantajlı yapmaktadır [47]. Biyolojik yöntemler ise fiziksel ve kimyasal yöntemlere göre avantajları; daha az çamur üretmesi, maliyetinin düşük olması, alıcı ortamlara daha az zararlı yan ürün oluşturması tekstil endüstrisi atık suların arıtımı için ideal çözüm yöntemidir. Biyolojik yöntemleri maliyetleri düşüktür ve giderim sonucunda alıcı ortamda oluşan ürünler toksik değildir. Biyolojik proseslerin az çamur oluşturması diğer yöntemlere göre avantajlı yapmaktadır [48]. Dezavantajı sürekli değişken bileşiminden dolayı arıtımda kullanılan mikroorganizmaları canlı tutmak zorlaşmaktadır [49].

2.5.3.1. Aerobik Yöntem

Biyolojik arıtma yöntemlerinden oksijenli ortamda gerçekleştiği prosesler aerobik proseslerdir. Aerobik arıtımdaki aktif çamur aşaması, farklı karakterizasyona sahip atıksuları arıtmak için kullanılmaktadır [50]. Aerobik olarak arıtımda kullanılan konvansiyonel aktif çamur sistemleri için atık su içerisinde bulunan boyar maddelerin biyolojik olarak indirgenmeye karşı dirençlidir. Atık suda çözülmüş halde bulunan bazik, direkt ve bazı azo boyar maddeler mikroorganizmalar tarafından indirgenememekte ancak fiziksel bir olay ile

bakteri üzerine boyar maddelerin bir kısmı adsorbe olup giderilebilmektedir. Aerobik arıtma yöntemi azo boyar maddelerinin tek başına parçalanma konusunda yetersizdir. Azo boyar maddelerin parçalanmasının ilk aşaması anaerobik ortamda boyar maddeye rengini veren elektrofilik azo bağının indirgen koşulların sağlandığı da boyar maddenin kırılması ve renksiz hale gelmesidir. Mikrobiyal olarak parçalanmaya karşı azo boyar maddelerin yapısal dirençli olmasının nedeni, renklerinin solmamasını sağlayacak şekilde kimyasal ve ışığa dayanıklı olacak şekilde üretilmeleridir. Bu prosesin temel fonksiyonu, organik kirleticileri karbondioksit, su ve biyokütleye dönüştürmektir [50]. Boyar maddelerin molekül ağırlığının yüksek olması da aerobik arıtım için dezavantaj olmaktadır [51,52].

2.5.3.2. Anaerobik Yöntem

Anaerobik arıtım oksijenin olmadığı ortamlarda mikroorganizmalar tarafından gerçekleşen sistemlerdir. Boyar maddelerin anaerobik parçalanması, özellikle aerobik şartlarda altında parçalanamayan boyarların etkili olmaktadır. Boyar madde renk gideriminin anaerobik ortamsa olabilmesi için ilave karbon kaynağına ihtiyaç vardır. Bu yöntemler de boyaların, organik halojenlerin ya da ağır metallerin gideriminde olumlu sonuçlar vermektedir. Anaerobik koşullarda azo boyaların büyük bir bölümü biyolojik olarak kolay ayrışan aromatik aminlere dönüşürler [53]. Anaerobik ortamda oksijensiz ortamda organik maddelerin metan, karbondioksit ve suya dönüştürüldüğü bir süreçtir. Anaerobik ortama ilave edilen karbonun metan ve karbondioksite dönüşmesi sonucunda elektronlar açığa çıkar. Açığa çıkan elektronlar son elektron alıcısı olarak reaktif boyar maddeleri kullanır ve azo bağının indirgenmesini sağlar. Gerçekleşen bu işlem oksijensiz ortamda gerçekleşmektedir. Bu nedenle azo bağının kırılmasını aerobik procesten önce anaerobik şartlarda sağlanmalıdır [46].

Anaerobik sistemin en önemli avantajı biyogaz üretiminin gerçekleşmesidir. Oluşan biyogaz ısı ve güç kaynağı olarak yeniden kullanılabilir ve enerji maliyetini düşürür. Anaerobik arıtmanın sonucu oluşan ürünlerin toksik-kanserojen aromatik aminlerin oluşması anaerobik arıtmanın yöntemin dezavantajlarından bir tanesidir [39,50].

2.5.3.3. Biyodegradasyon (Biyolojik Parçalanma)

Biyodegradasyon, mikroorganizmalar tarafından organik ve inorganik materyallerin optimum koşullar altında ayrıştırılma işlemidir [54]. Mikroorganizmalar organik maddeleri büyümeleri ve metabolizmaları nedeniyle indirgemektedir. Sonuç olarak, biyolojik parçalanmada karmaşık organik maddeler karbondioksit ve suya dönüştürülür [55]. Bakteri ve mantarlar, çevredeki elementleri geri dönüştürmeye yardımcı olan toprağın iyi bilinen parçalayıcılarıdır.

Biyolojik arıtma sistemleri, askıda büyüyen mikroorganizmalar tarafından organik maddelerin parçalanması prensibiyle çalışır. Biyodegradasyon yönteminde biyolojik olarak parçalanabilen bileşikler, mikroorganizmanın hücre dışı enzimlerine bağlanması ile hücre membranından geçerek, hücre içerisine taşınmaktadır. Hücre içerisinde bir seri dönüşüm reaksiyonları gerçekleşerek daha küçük ara ürünlere dönüşür. Bu reaksiyonlar sırasında açığa çıkan enerji hücrelerin çoğalması, onarılması ve hareket etmesinde kullanılmaktadır [56].

2.5.3.4. Biyoremediasyon (Biyolojik İyileştirme)

Biyoremediasyon inorganik ya da organik maddelerin parçalamak için mikroorganizmalar yardımıyla uzun süreli arıtım prosesleri biyoremediasyon olarak bilinmektedir. Biyoremediasyon fungus, bakteri ve mikroorganizmaların kullanılarak zararlı maddeleri toksik olmayan bileşiklere hızlı bir şekilde dönüştüren ve toksisitesini azaltan doğal olarak meydana gelen bir proses olup, kimyasal sıvıların ve tehlikeli atıkların biyolojik olarak arıtılması için kullanılan tekniklerden biridir.

Biyoremediasyonun etkili olabilmesi için, mikroorganizmaların kirliliklere enzimatik atakta bulunarak onları zararsız ürünlere dönüştürmeleri gerekir. Mikroorganizmalar yoluyla biyoremediasyon, iki tipe ayrılabilir: in-situ (saha içi) biyoremediasyon ve ex-situ (saha dışı) biyoremediasyondur [57].

İn-situ biyoremediasyon, bulunduğu yerdeki kirli toprağın ve suyun arıtılmasıdır. Özellikle petrolle kirlenmiş alanların arıtımında kullanılır. Bu işlem çok etkili ve daha ucuzdur. Bu yöntemin en önemli avantajı toprağı ortamdaki çıkarmaya gerek yoktur ve patojenik olmayan mikroorganizmaların kullanımıyla yapılır. Areobik bir yöntemdir oksijene ihtiyaç vardır [58].

Ex-situ biyoremediasyon, kirlenmiş toprak veya suyun ilk kullanım alanından çıkarıldıktan sonra arıtılmasını içerir [59]. Ex-situ biyoremediasyona biyolojik yığınlar, kompostlaştırma, landfarming, reaktörlerde arıtım yöntemleri örneklerdir [60].

Biyoremediasyon işleminde aktif olarak yer alan oksidoredüktazlar, lakkazlar, hidrolazlar ve peroksidazlar gibi çeşitli enzimler vardır [61]. Çeşitli arke, bitki, bakteri, alg ve fungusların bioremediasyon kabiliyetini gösterdiği bulunmuştur [62]. Biyoremediasyonun etkinliğini arttırmak için besinler, oksijen, pH, nem ve ısı kontrol altında tutulmalıdır. Biyoremediasyon, çevre kirlenmelerini temizlemek için biyolojik ajanlar kullanan bir biyoteknolojik yaklaşımdır.

2.5.3.5. Biyosorpsiyon

Biyosorpsiyon ağır metal gibi inorganik maddelerin ve boya gibi organik kirleticilerin mikrobiyal kütle ile adsorpsiyonu veya kütle birikimi biyosorpsiyon olarak ifade edilmektedir. Böylece kirletici maddelerin geri kazanımının ve/veya çevresel olarak kabul edilebilir şekilde uzaklaştırılmasını sağlar. Bakteriler, maya ve funguslar boyar madde içeren atıksuların renginin giderilmesinde biyosorpsiyon ile kullanılmak mümkündür. Kullanılan mikroorganizmaların cinsini ve boyar maddenin yapısına bağlı olarak farklı bağlanma hızları ve kapasiteleri söz konusudur. Boyar madde içeren atıksu çok toksik olduğunda biyosorpsiyon avantajlı olmaktadır [24]. Son yıllarda farklı boya türlerinin giderilmesi için biyosorbent olarak denenmiştir. Boyalar, üzerindeki renklerin kalıcılığı sağlamak amacıyla özel olarak üretilirler. Buda onları mikrobiyal parçalanmaya karşı dirençli hale getirir. Biyosorpsiyonu temas süresi, suyun sertliği, mikroorganizmanın kalitesi ve substrat konsantrasyonu biyosorpsiyonu etkileyen en önemli faktörler olarak sıralanabilir [41].

Biyosorpsiyon için uygun mikrobiyal biyokütle, organik kirletici moleküller veya iyonlar içeren sulu çözelti ile temas ettirilir. Temas işleminin, biyokütlenin bu molekülleri tutması ve dengeye ulaşması için yeterli bir süre devam etmesi sağlanır ve sıvı fazdan ayrılır ve kirletici içeren biyokütle tekrar üretim için ya da bertaraf edilir [24].

2.6. Beyaz Çürükçül Funguslar

Boya giderim fiziksel ve kimyasal yöntemler etkilidir. Bu yöntemler yüksek maliyet ve tehlikeli yan ürün oluşturması nedeni ile alternatif maliyeti düşük ve tehlikeli yan ürün oluşturmaması ile biyolojik yöntem alternatif bir yöntemdir. Bakteri, fungus ve alg gibi mikroorganizmaların boyar maddelerde renk giderimi amacıyla kullanılmaktadır. Beyaz çürükçül funguslar çok sayıda çevre kirleticilerini parçalama yeteneğine sahiptir. Boyar maddelerde renk gideriminde beyaz çürükçül fungus kullanımı en etkili biyoteknolojik alternatiflerden birisidir. Bu funguslar, boyar maddelerin de içerisinde olduğu pek çok farklı çevresel kirleticiyi yıkma yeteneğine sahiptir [63,64].

Beyaz çürükçül mantar lignini tamamen CO₂ ve H₂O ye parçalayan bilinen tek organizmadır. Beyaz çürükçül mantarlar küresel karbon döngüsünün anahtar düzenleyicileridir. Diğerleri yalnızca 1 ya da 2 lignin değiştirici enzim üretirken, beyaz çürükçül mantarlar üç lignin değiştirici enzim üretir. Beyaz çürükçül mantarlar; lignin peroksidazlar (LIP'ler), mangan peroksidazlar (MNP'ler) ve lakkazlar olarak adlandırılan üç enzim üretirler. Bu enzimler, ligninin fungal parçalanmasında önemli bir rol oynar [65,66].

Beyaz çürükçül funguslar hücre dışı enzim sistemleri ile lignin, ksinoiyotik, boyar maddeleri indirgeyebilmektedir [67,68]. *Trametes versicolor*, *Phanerochaete chrysosporium* ve

Coriolus versicolor beyaz çürükçül funguslar lignin ve renk giderimden en yaygın kullanılan türleri'dir [69,70].

Funguslar ile renk giderim çalışmaları 1980'li yılların başlarında başlamıştır [71].

2.6.1. *Trametes versicolor*

Polyporaceae familyasına ait olan bu beyaz çürükçül fungus, literatürde *Coriolus versicolor* olarak da geçmektedir. Halk arasında görünümü hindi kuyruğunu andırdığı için ismi hindi kuyruğu olarak bilinmektedir. Sınıflandırılması şu şekildedir.

Tablo 2.1. *Trametes versicolor* sınıflandırılması

Alem	Fungi
Şube	Basidiomycota
Sınıf	Hymenomyces
Takım	Aphyllphorales
Aile	Polyporaceae
Cins	Trametes
Tür	<i>Trametes versicolor</i>

Ağaç gövdesinde odunsu dayanıklı sert makrofungus yapıya sahiptir. Dünyada çok yaygın olup odun tahripçisidir. Daha çok ilkbahar ve sonbaharda ölü ve kurumak üzere olan ağaç kütükleri üzerinde toplu şekilde çıkmaktadır. Yapısında ligninolitik enzimler birçok biyoteknoloji kullanılmaktadır [72,73]. Kahverengi görüntüsü olan beyaz çürükçüller, lignin peroksidaz ile parçalanmaları sonucu açığa çıkan sadece beyaz selüloz kalmaktadır. *Trametes versicolor* ve diğer beyaz çürükçüller bu ismi buradan almaktadırlar [64,74].

Yapılan taz çalışmamızda sentetik boyar maddelerin biyolojik olarak düşük maliyet ve kısa sürede arıtılması amaçlanmaktadır. Çalışmamızda biyolojik arıtım için beyaz çürükçül fungus olan *Trametes versicolor* kullanılmıştır.



Şekil 2.1. *Trametes versicolor*'ın doğadan bir görüntüsü [72,75]

2.7. Literatürde Yapılan Çalışmalar

Heinflig ve ark. 1997 yapılan renk giderim çalışmasında lignin yıkım yeteneğine sahip olan 18 fungus türü ile renk giderim çalışmış, üç azo boyar maddesi; Reactive Orange 96, Reaktive Black 5, Reaktive Violet 5, ile iki fitohalosiyanın boyar maddesi; Reaktive Blue 15 ve Reaktive Blue 38 ve çalışmada kullanılan *Trametes versicolor*, *Phanerochaete chrysosporium* ve *Bjerkandera adusta* fungal kültürlerden bütün boyar maddeleri yıkabildiği rapor edilmiştir [76].

Swamy ve ark. 1999 beyaz çürükçül fungus olan *Trametes versicolor* ile yapılan renk giderim çalışmasında mono-azo grubundan amarant boyar maddesi kullanılmış ve 7 gün inkübasyon süresinde %63 oranında renk giderimi olduğu rapor edilmiştir [77].

Rodrigues ve ark. 1999 yapılan renk giderim çalışmasında substrat olarak çimleri kullanıldığı, katı fazda üretilmiş beyaz çürükçül fungusların kültür özütü, boyar madde renk giderimde kullanılmıştır. *Trametes hispida* ve *Trametes versicolor*' dan izole edilen lakkaz enzimi kullanılmıştır. Lakkaz enzimi Remazol Brilliant Blue R, Acid Blue 185, Reaktive Blue 158, Acid Black 184, Orisol Blue ve Orisol Tuquoise'yi ağarttığı ve yapılan çalışmada, lakkaz enziminin aktivitesindeki artış ile boyar madde renk giderimindeki artışın paralel olduğu rapor edilmiştir [78].

Ramsay ve ark. 2002 yapılan renk giderim çalışmasında, Amaranth, Tropaeolin O, Congo Red, Reaktive Blue 15 ve Reaktive Black 5 beyaz çürükçül fungus olan *Trametes versicolor* kullanılmıştır. Boya emilimi olmadan tamamen renklendirilmiştir. Cibacron Parlak Kırmızı 3G-P, Cibacron Parlak Sarı 3B-A ve Remazol Parlak Mavi R, kısmen biyomaslara emdirilmiş bazı boyalarla renklendirilmiştir. Dekolonasyondan sonra Amaranth, Tropaeolin O ve Reaktif Siyah 5 içeren çözeltilerin toksisitesi değişmediği; Reaktif Mavi 15, Remazol Parlak Mavi R ve Cibacron

Parlak Kırmızı 3G-P toksik olmayan seviyelere indiği ve Cibacron Parlak Sarı 3B-A ve Kongo Kırmızısı çok zehirli olduğu rapor edilmiştir [79].

Mazmanci ve ark. 2002 yapılan renk giderim çalışmasında beyaz çürükçül fungus olan *Coriolus versicolor* kültürü ile Metilen Mavisinin yeniden renklenmesi gösterilmiştir. *Coriolus versicolor*'un 5 ve 10 mg L metilen mavisini içeren ortamları etkili bir şekilde renklendirdiği bulunmuştur. Deklorlama, C / N oranının 2: 1'e ayarlandığı ortamlarda daha yüksek bulunmuştur ve sekonder metabolik fazda ise maksimum renk giderici aktivite elde edildiği rapor edilmiştir [80].

Erkurt 2006 yapılan renk giderim çalışmasında beyaz çürükçül fungus türleri *Pleurotus ostreatus*, *Funalia trogii* ve *Coriolus versicolor* kültürü ile Remazol Brilliant Blue-R ve Drimaren Blue CL-BR'in renk giderimi araştırılmıştır. Statik koşullarda, 30° C ve pH 5.0' da 48 saat inkübasyon süre de pH, kuru misel ağırlığı, renk giderimi, lakkaz, peroksidaz enzim aktivitesi, protein miktarı analizleri yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda en yüksek renk giderimi *Funalia trogii* en düşük renk giderimi *Pleurotus ostreatus* olduğunu, *Coriolus versicolor* Drimaren Blue CL-BR'in 60 mg/L üstü derişimlerinde toksik etkisi olduğunu rapor edilmiştir [40].

Mercimek 2008 yapılan renk giderim çalışmasında *Trametes versicolor*'ın anyonik özellikte reaktif boyar maddeler Reactive Blue 19, Reactive Black 5 ve Reactive Red 194 üzerine boyar maddelerin renk giderim aktivitesi araştırılmıştır. Statik ve çalkalamalı koşullarda çalışılmıştır. Statik kültürlerde 14. günün sonunda bu oran sırasıyla % 93, % 87 ve % 79, çalkalamalı kültürlerde 4. günün sonunda renk giderim oranı en yüksek Reactive Black 5 için % 97, Reactive Blue 19 için % 93 ve Reactive Red 194 için % 92 olduğu rapor edilmiştir [72].

Srinivasan ve ark. 2009 yapılan çalışmada beyaz çürüklüğü fungus olan *Trametes versicolor*'ın Reaktif Turuncu-16 ve Reaktif Kırmızı-35 boyar maddelerin renk giderim ile optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Boya, glikoz ve amonyum klorür konsantrasyonlarının renk giderme üzerindeki etkisi araştırılmıştır. RO-16 ve RR-35 için % 94.5 ve % 90.7'lik maksimum renk giderimi, boya, glikoz ve amonyum klorürün optimum konsantrasyonlarında, yani RO-16 için 0.66, 17.50 ve 2.69 g / L ve 0.68, 16.67 ve 2.13 g / L Sırasıyla RR-35 rapor edilmiştir [82].

Gedikli ve ark. 2010 yapılan çalışmada *Trametes versicolor* fungus kullanılmıştır. Ticari olarak piyasada satılan bir kot boyasının buğday kepeği içeren potato dekstroze broth besiyerinde geliştirilmesi ile elde edilen lakkaz aktivitesi yüksek kültür sıvısı ile renk giderimi çalışılmış ve optimum koşullar belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda pH 4.0, boya konsantrasyonu 75 mg/l, sıcaklık 55°C, 120 dakika inkübasyon süresi ile yapılan deney

sonucunda belirlenen optimum koşullarda % 68.02 renk giderimi elde edildiği rapor edilmiştir [83].

Mazmanci ve ark. 2010 yapılan çalışmada beyaz çürükçül fungus olan *Funalia Trogii*'nin Reaktif siyah 5'in renk giderimi statik koşullar altında sıcaklık, pH'ın optimizasyonu incelenmiştir. Optimal pH ve sıcaklık sırasıyla 4.78 ve 30°C olarak bulunmuştur. Kinetik çalışmalarda yapılmıştır. Lineweaver-Burk grafiği, statik durum altında *Funalia trogii* tarafından diazo boya Reaktif Siyah 5 renk giderimi için 196.07 mg / L'lik bir gün için bir 406.66 mg / L Km Vmax verdiği rapor edilmiştir [84].

Champagne ve ark. 2012 yapılan çalışmada, beyaz çürükçül fungus olan *Trametes versicolor*'ın ürettiği lakkaz enzimin NaCl'ün lakkaz üzerine etkisine bakılmıştır. Reactive Blue 19 boyar maddesinin renginin giderimi ve ABTS ile oksidasyonu üzerinde etkisine incelenildiğinde NaCl'ün her ikisinin de inhibisyonuna neden olduğu rapor edilmiştir [85].

Nesheim ve ark. 2013 yapılan çalışmada beyaz çürük funguslar tarafından üretilen lakkaz, sodyum klorür ve sodyum sülfat gibi tuzlar içeren tekstil atık sularının rengini giderme potansiyelleri araştırılmıştır. Reaktif Mavi 19 ve 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit) (ABTS) oksidasyonu sırasında *Trametes versicolor* lakkaz üzerine sodyum klorür ve sodyum sülfatın etkisi kinetik analizi ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar, sodyum klorürün hem ABTS oksidasyonunu hem de boya renk giderimini inhibe ettiğini, sodyum sülfatın lakkaz aktivitesini etkilemediğini rapor edilmiştir [86].

Erdem ve ark. 2014 yapılan çalışmada beyaz çürükçül fungus türüne ait olan olan *Trametes versicolor* Reactive Bright Yellow, Solazol Blue BB, Reactive Red, Solazol Turquoise ve Neutrilan Black Blue boyar maddelerinin renk giderimi incelenmiştir. Dekolorizasyon sonucu optimum pH 4 olarak belirlenmiştir. Reactive blue 19 %99 ile en yüksek orana sahip olduğu, karbon kaynağı olarak, glukoz, ksiloz ve maltozda en yüksek oranlardan elde edilmiştir. Azot kaynağı ise mikroorganizmanın NH₄NO₃ ve pepton'u kullanarak dekolorizasyon işlemini % 97 ve % 99 oranlarında gerçekleştirdiği rapor edilmiştir [87].

Gedikli ve ark. 2014 yapılan çalışmada beyaz çürükçül fungus türüne ait olan *Trametes versicolor* kültürünün batık fermentasyon koşulları altında lakkaz üretimini araştırılmıştır. Üretilen lakkaz enzimi ile Box-Behnken metodu kullanılarak Reaktif Mavi 49 boyar madde dekolorizasyonunun optimizasyonu amaçlanmıştır. Sonuçlar, pH'nın 2,95, başlangıç boya konsantrasyonunun 55,6 mg L-1, enzim miktarının 0,76 mL ve reaksiyon süresinin 46,91 dakika olduğu koşullarda en yüksek Reaktif Mavi 49 renk gideriminin %98 olduğunu göstermiştir [88].

Deveci E.Ü. 2017 yapılan çalışmada beyaz çürükçül fungus türüne ait olan *Phanerochaete chrysosporium*, *Pleotrus ostreatus* fungal biyoreaktörler ile Reactive Red 180 ve Acid Red 88 boyar madde çözeltilerinin biyolojik ayrışması incelenmiştir. Fungal biyolojik prosesin kullanıldığı sistemde 100 mg/L boya konsantrasyonunda, optimum çalışma pH değerleri *Phanerochaete chrysosporium* için pH 4,5, *Pleotrus ostreatus* için pH 5,0 olarak tesbit edilmiştir. Fungal biyoreaktörde, *P. chrysosporium* için KOİ gideriminin %94 ve *P. ostreatus* için ise %98 olduğu ve boyar maddeden renk giderimi *P. chrysosporium* için %98,0 ve *P. ostreatus* için %99,5 olduğu rapor edilmiştir [89].

Erdem ve ark. 2017 yapılan çalışmada beyaz çürükçül fungus türüne ait olan *Trametes versicolor* ile Reactive blue 19, Reactive Orange 12, Reactive Blue 21, Reactive Red 120, Acid Black 194 boyar maddelerin renk giderim araştırılmıştır. Yürütülen çalışmalar sonucunda en yüksek verimi %99 oranla Reactive Blue 19 boyar maddesi için uygun pH 4 olarak belirlenmiştir. Boya gideriminin düşük sıcaklıklardan etkilendimeidiği ancak 60 °C'nin üzerine çıktığında renk giderim oranının düştüğü rapor edilmiştir [90].

Nobuyuki ve ark. 2018 yapılan çalışmada beyaz çürükçül fungus *Trametes versicolor*'un saflaştırılmamış kültür süpernatantı kullanılarak yeni bir enzimatik membran biyoreaktör sistemi ile boya atık suyunun renk giderimini araştırmıştır. Bir antrakinin tipi boya içeren model boya atıksu ve boya renk giderme aktivitesi sergileyen süpernatant, reaktörde enzim geri dönüşümüne izin veren bir ultrafiltrasyon membranı ile sürekli karıştırılmış bir tank membran reaktöründe karıştırılmıştır. Enzimatik membran biyoreaktöründen elde edilen sonuçlar, yaklaşık% 80 oranında renk giderme oranının olduğunu rapor edilmiştir [91].

Balasaraswathy ve ark. 2018 yapılan çalışmada beyaz çürükçül fungus türüne ait olan *Trametes versicolor* ile renk giderimi, azo boyaları tekstil endüstrisinde sıklıkla kullanılır ve boya pazarının yaklaşık% 70'ini oluşturur. Spektroskopik analizler her 24 saatte bir yapılmıştır. Ultravioleviyeli Spektrofotometrik çalışma, tekstil boyalarının bozulmasını gösteren görünür bölge tepe noktasının (480nm) tamamen kaybolduğunu gösterdi. Bu, 48 saat fungal tedavide azo bağının kırılmasını gösteren Fourier Transform-Infra Red Spektroskopik çalışmalarla daha da doğrulandığını rapor edilmiştir [17].

3. MATERYAL ve YÖNTEM

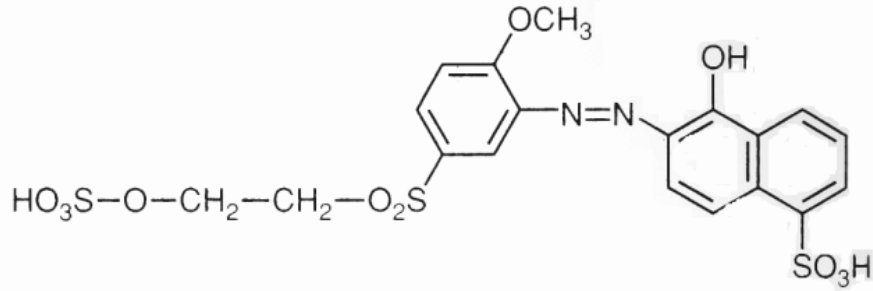
3.1. Materyal

3.1.1. Mikroorganizma Kaynağı

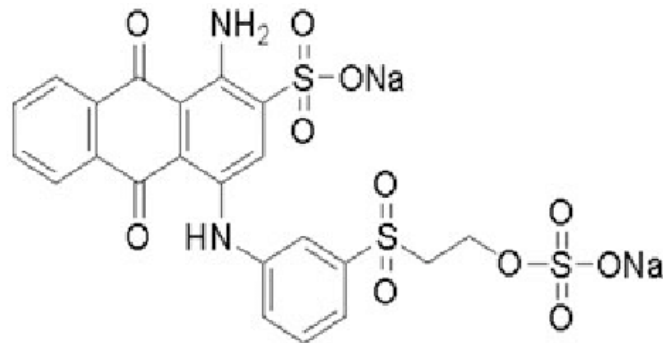
Gerçekleştirilen tez çalışmasında kullanılan Polyporaceae grubuna ait, *Pleurotus ostreatus* (1), *Funalia trogii* (2) ve *Trametes versicolor* (3) misel kaynağı fungal izolat Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölüm Laboratuvarından temin edilmiştir.

3.1.2. Çalışmada Kullanılan Boyar Maddeler

Gerçekleştirilen tez çalışmasında Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölüm Laboratuvarından temin edilen 2 adet sentetik boyar madde kullanılmıştır. Bu boyar maddenin özellikleri Tablo 3.1. belirtilmiştir.



Şekil 3.1. Remazol Red RR kimyasal yapısı



Şekil 3.2. Remazol Brilliant Blue-R kimyasal yapısı

Tablo3.1. Çalışmada kullanılan boyar maddelerin kimyasal özellikleri

Boya	Remazol Red RR	Remazol Brilliant Biue-R
Renk	Kırmızı	Mavi
Amax	520 nm	595nm
Yapısı	Bifonksiyonel	Monofonksiyonel
Reaktivlik	Orta	Orta
Reaktivlik Grubu	MCT/VS	VS
Substantivite	Yüksek	Düşük

3.1.3. Ortamın pH'sı

Ortam pH'sı fungus için optimum gelişme ve deşarj standartlarına uygun olarak pH 6'ya ayarlanmıştır.

3.1.4. Çalışmada Kullanılan Besiyerleri

Gerçekleştirilen tez çalışması süresince kullanılan *Trametes versicolor* ve diğer iki fungus kültürünün devamlılığı sağlamak PDA (Potato Dextrose Agar)besiyeri kullanılmıştır, üretim ortamı için fungus kültürlerinin hazırlanmasında ve fungus üretimi için SBM (Stok Basal Medium) besiyerleri kullanılmıştır.

3.1.4.1. Potato Dextrose Agar

Merck marka hazır besiyeri kullanılması öngörülmektedir. Hazırlanacak olan besiyeri 1000 ml distile su içinde 39 g Potato Dextrose Agar çözülerek hazırlanacaktır. Hazırlanacak olan besiyeri 1 bar basınç 121 ° C'de 15 dakika ile sterilizasyon işlemine tabi tutulmuştur.

3.1.4.2. Fungus Üretimi İçin Kullanılacak Mineral Ortam Stok Basal Medium

Renk gideriminde kullanılmak üzere misel süspansiyonun üretilmesi amacıyla hazırlanmıştır.

Tablo 3.2. Stok Basal Medium'un içeriği

Bileşen	(g/L)
Glikoz	10
NH ₄ H ₂ PO ₄	0,50
K ₂ HPO ₄	0,20
MgSO ₄ .7H ₂ O	0,05
CaCl ₂ .2H ₂ O	0,01
Distile su	1000 ml

Yukarıda belirtilen bileşenler saf su içerisinde çözüldükten sonra pH'ı 6'a ayarlanarak 1 bar basınçta 121^oC'de, 15 dakika sterilizasyon işlemine tabi tutulmuştur.

3.1.4.3. Sentetik Boyar Madde İçin Kullanılacak Mineral Ortam Stok Basal Medium

Sentetik Boyar madde 50-75-100 mg/L değişken konsantrasyonlarda kullanılarak pH'ı 6'a ayarlanarak 1 bar basınçta 121 °C 'de 15 dakika süreyle otoklavda sterilizasyon işlemine tabi tutulmuştur.

Tablo 3.3. Stok Basal Medium'un içeriği

Bileşen	(g/L)
Glikoz	10
NH ₄ H ₂ PO ₄	0,50
K ₂ HPO ₄	0,20
MgSO ₄ .7H ₂ O	0,05
CaCl ₂ .2H ₂ O	0,01
Distile su	1000 ml

3.1.5. Kullanılacak Çözeltiler

- Boya çözeltileri ve besiyerlerin pH ayarları için; 0,1 N NaOH ve 0,1 N HCl çözeltileri kullanılmıştır.
- KOI analizleri için; KCr₂O₄, H₂SO₄, FAS çözeltileri kullanılmıştır.

3.1.6. Kullanılacak Cihaz ve Ekipmanlar

Tez çalışması, Mersin Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümü Laboratuvarlarında bulunan cihaz ve ekipmanlar kullanılarak yapılmıştır. Araştırmada kullanılacak cihazlar çalışma kapsamında UV-Visspektrofotometre (PG Instruments, T 80), hassas terazi (KERN 440-45, Almanya), santrifüj (Hettich Mikro 22R), pH Metre(Seven Compact S210), Vorteks (Dragon Lab MX-S, Çin), İnkübatör (Ordel, Türkiye), Otoklav (Sanyo, Japonya), Steril laminar akımlı güvenlik kabini (Faster, İtalya), Derin Dondurucu (Arçelik, Türkiye), Otomatik Pipetler (Nichipet EX II, Japonya), Steril pipet ucu olarak (PhysioCare concept, Hollanda) uçları, KOİ HeachCompany 45600-00 COD reaktörü kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. *Trametes versicolor*'ın Üretimi ve Saklanması

Tez çalışmasında kullanılan *Trametes versicolor* ve diğer iki fungus üretimi ve daha sonraki çalışmalar da stok kültür devamlılığı için steril koşullar sağlanarak Patato Dextrose Agar (PDA) besiyerine ekilmi yapılmış ve 5 gün inkübatörde 30°C'de inkübasyona bırakılmıştır. *Trametes versicolor*'ın PDA besiyerinde gelişen misel formu Şekil 3.3.'de gösterilmiştir. Fungus devamlılığı için 3-4 haftada bir pasajlama işlemi yapılmıştır ve sonraki çalışmalar için stok kültürler +4°C'de saklanmıştır.

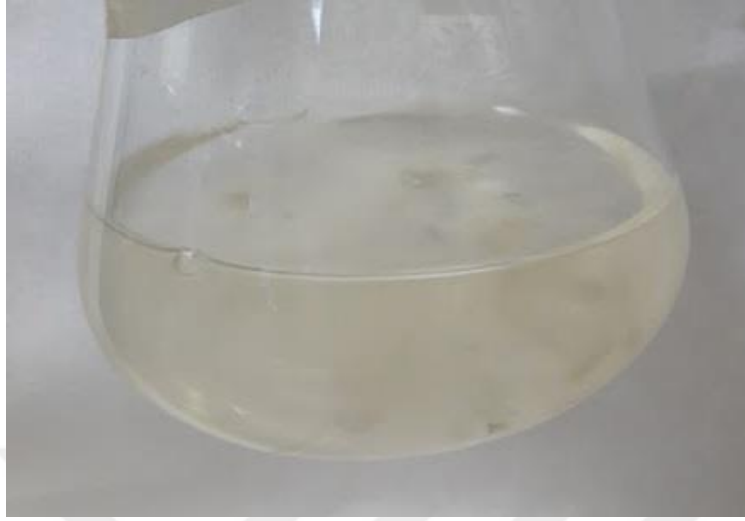


Şekil 3.3. PDA besiyerinde 5 günlük gelişmiş *Trametes versicolor* görüntüsü

3.2.2. Misel Formda *Trametes versicolor*'ın Renk Giderim Çalışmaları İçin Hazırlanması

PDA besiyerinde gelişen misel formlarındaki fungusun steril 100mL SBM besiyeri içeren 250 mL'lik erlenlere plastik öze yardımı ile kazıma işlemi yapılarak misel formlarını aktarılmıştır. Homojenizatör yardımı ile elde edilen misel süspansiyonu (1 mL) 100 mL SBM

besiyeri içeren 250 mL 'lik erlenlere aktarılmıştır. Hazırlanan misel süspansiyonu renk giderim çalışmalarında kullanılmak üzere 30°C derecede 5 gün inkübatöre üretilmeye bırakılmıştır. Şekil 3.4.'de SBM besiyerinde 5 gün inkübe edilmiş misel süspansiyonu gösterilmiştir.



Şekil 3.4. *Trametes versicolor*'ın misel süspansiyonunun 5 gün inkübe edilmiş SBM besiyerine ait bir görüntü

3.2.3. Renk Giderim Çalışmalarında Optimizasyon İçin Kullanılmak Üzere Boyar Madde İçerikli SBM Besiyerine Misel Ekilmesi

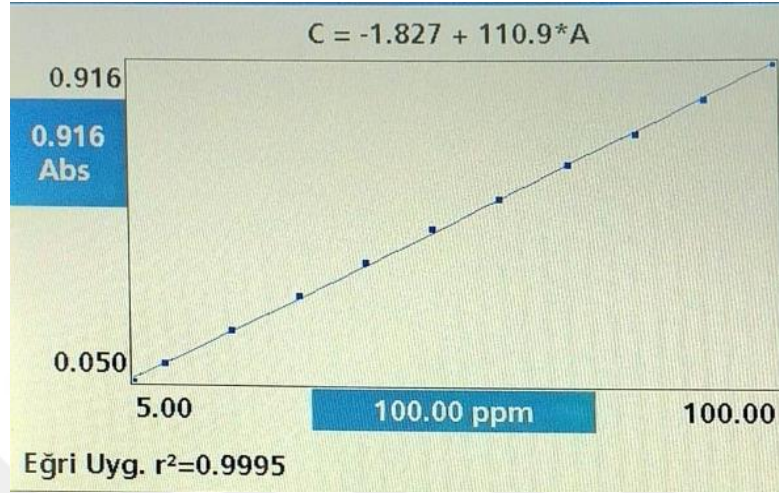
Yapılan optimizasyon çalışmalarında Remozal Red RR Dystar ve Remozal Brilliant Blue-R boyar maddelerin optimum koşulları belirlemek amacı ile statik ve çalkamalı ortamlarda deneyler yürütülmüştür. pH'ı 6 ve 50, 75 ve 100 mg/L konsantrasyonlara sahip 100 mL SBM içerikli boyar maddeler 250 mL'lik erlenlere 1'er mL misel solüsyonu eklenmiştir. Çalkamalı ve statik çalışmalarda SBM içerikli boyar maddelerin kontrol grubu olarak misel eklenmemiştir. Yapılan statik kültür çalışmaların da optimum sıcaklığı belirlemek amacı ile farklı sıcaklıklar 25, 30, 35 ve 40 °C'de 5 gün süre ile inkübasyona bırakılmıştır. Optimum sıcaklıkta farklı 25, 50, 75 mg/L konsantrasyonlarda çalkalama hızının renk giderimine etkisini belirlemek için çalkalama hızı 100, 125 ve 150 rpm'de 5 gün inkübasyona bırakılmıştır.

3.3. Yapılan Analizler

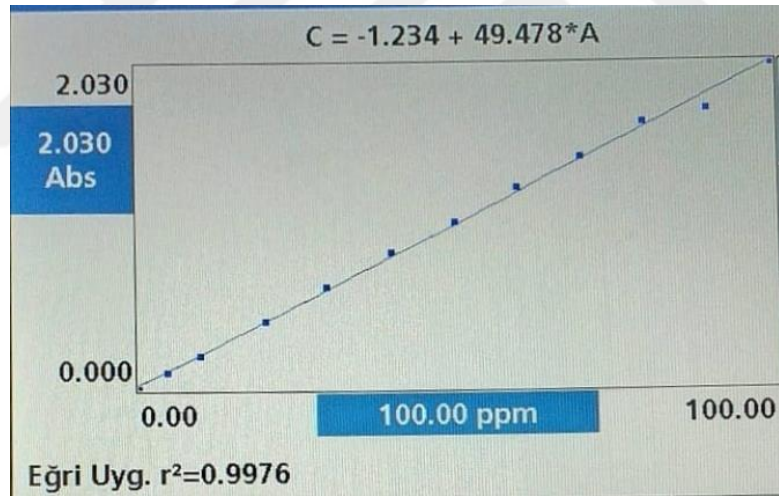
Yapılan optimizasyon çalışma sırasında optimum koşulların belirlenmesi amacıyla renk analizi yapılmıştır. Optimum koşullar altındakimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)analizi yapılmıştır.

3.3.1. Boyar Madde Çözeltilerinin Hazırlanması

100 ppm'lik (mg/L'lik) RBB-R ve RR boyar maddelerin stok çözeltisinden hazırlanan (0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 ve 100 ppm) hazırlanan standart çözeltiler 595 nm ve 520 nm dalga boyunda spektrofotometrik olarak okunmuş ve kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur.



Şekil 3.5. Remazol Brilliant Blue- R boyar maddesi abs kalibrasyon eğrisi



Şekil 3.6. Remazol Red RR boyar maddesi abs kalibrasyon eğrisi

3.3.2. Boyar Madde Renk Analizi

Funguslar ile yapılan ön çalışmada *Trametes versicolor* en iyi renk giderici fungus seçilmiş ve tüm optimizasyon çalışmaları bu fungus ile yapılmıştır. Yapılan optimizasyon çalışmalarında; konsantrasyon, sıcaklık, statik ve çalkamalı ortam gibi parametrelerin biyogiderimi üzerine etkileri araştırılmak ve optimum koşulların belirlemek için boyar madde içeren besiyerlerinde renk değişimi absorbans olarak belirlenmiştir. *Trametes versicolor*'ın miselinin boyar madde ile muamele sonucunda fungusun aktivitesine bağlı olarak

kullanılan boyar maddelerinin analizini belirlemek için inkübasyon süresi boyunca (0.dk, 1., 2., 3., 4., 5., günler) günlük inkübasyon süresince toplam hacmin %10'unu geçmeyecek şekilde alınan numune süpernatant kısmını ayırmak için 6000 rpm'de 5 dakika santrifüjleme işlemi sonucu spektrofotometrede kalibrasyon eğrilerini oluşturduğumuz RBB-R ve RR boyar maddelerin renk giderimlerini belirlemek için spektrofotometrik okumalar ile renk analizi edilmiştir. Spektrofotometrik analizde kontrol aşaması olarak distile su kullanılmıştır. Spektrofotometrik analizler laboratuvarında mevcut bulunan santrifüj işlemi Hettich Mikro 22R ve PG Instruments, T 80 spektrofotometre model kullanılarak yapılmıştır.

3.3.3. Biyosorpsiyon Veriminin Hesaplanması

Biyosorpsiyon verimi, boyar madde gideriminde, dengede, adsorbentin adsorpladığı boyar madde derişiminin, başlangıç boyar madde derişimine oranı olarak tanımlanmıştır ve bunun için kullanılan formülü;

$$\% \text{ boya giderimi} = ((C_0 - C_f) / C_0) \times 100$$

Burada;

C₀: Biyosorpsiyon ortamındaki başlangıç boya derişimi (mg/L)

C_f: Herhangi bir anda biyosorpsiyon ortamında kalan boya derişimi (mg/L) tanımlanmıştır [93].

3.3.4. Kimyasal Oksijen İhtiyacı Analizi (KOİ)

Biyoyıkılabilirliğinin tesbit edilmesi amacı ile kullanılan yöntemlerden biri KOİ değerlerinin ölçülmesidir [96]. Yapılan optimizasyon çalışmalarında bulunmuş olan optimum koşullarda inkübasyon süresince günlük Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ölçümü yapıştır [79].

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Tez çalışmasında, en yüksek giderimi elde eden fungusu bulmak için yapılan ön çalışmada Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Araştırma Laboratuvarından temin edilen kültür koleksiyonu'nda bulunan funguslar ve boyalar kullanılmıştır. 1, 2 ve 3 numaralı fungal izolatların, tekstil endüstrisinde kullanılan ve kimyasal yapıları farklı Remazol Brilliant Blue-R, Remazol Red boyalarının biyosorpsiyonunda kullanılması araştırılmıştır. En yüksek giderimi elde eden fungusun boya biyogideriminde sıcaklık, biyosorpsiyon zamanı ve artan boya konsantrasyonu parametreler optimize edilmiştir.

Tez çalışmasında fungal biyokütle ile yapılan boya biyosorpsiyon optimizasyon çalışmalarında elde edilen verileri kullanılarak kimyasal oksijen ihtiyacı analizi yapılmıştır.

4.1. Fungus ve Boya Seçimi

Tez çalışmasında kullanılmak üzere yüksek kapasite ile boya giderimi yapabilen fungusu seçebilmek için, pH değeri 6'ya ayarlanmış distile su içeren deney ortamına, 1 gr/L ağırlıktaki üç farklı fungus izolatu ve başlangıç boya konsantrasyonları yaklaşık 50 mg/L olan 2 farklı tekstil boyası eklenerek 0.dk, 1, 2, 3, 4, 5. gün analizleri yapılmıştır. Alınan örnekler santrifüj işlemi yapılarak boya giderimleri spektrofotometrik olarak hesaplanmıştır ve yüzde giderimleri bulunmuştur (Tablo 4.1.).

Deneylerde kullanılan funguslar 1, 2 ve 3 numaralı olarak kodlanmıştır fungal izolatlar Patato dextro agar besiyerinde geliştirilmiştir. Homojenizetör ile homojenize edilen fungus çözeltisinden son konsantrasyon 1 g/L olacak şekilde çalışma ortamına eklenmiştir.

Tablo 4.1. de görüldüğü gibi, Remazol Brilliant Blue R, Remazol Red RR boyar maddeleri en iyi giderim yüzdesini 3. Numaralı fungus ile sağladığı gözlenmiştir. Remazol Brilliant Blue R boyar maddesini 1 numaralı fungusun statik ortamda % 79.21, çalkalamalı ortamda % 83.47, 2 numaralı fungusun statik ortamda % 65.23, çalkamalı ortamda % 71.46, 3 numaralı fungusun statik ortamda % 95.13, çalkamalı ortamda % 97.43 oranında giderim yaptığı bulunmuştur. Remazol Red RR boyar maddesini 1 numaralı fungusun statik ortamda % 68.52, çalkalamalı ortamda % 75.31, 2 numaralı fungusun statik ortamda % 42.93, çalkamalı ortamda % 47.29, 3 numaralı fungusun statik ortamda %98.06, çalkamalı ortamda % 99.13 oranında giderim yaptığı bulunmuştur. Yapılan deneyler sonucunda gözlemlenen 50 mg/L konsantrasyonunda %'lik boya giderim funguslarla en iyi giderimi yapan 3 numaralı fungustur.

Tablo 4.1.Fungal izolatlarının Remazol Red RR, Remazol Brilliant Blue R boyar maddelerine karşı 5. gün biyosorpsiyon kapasiteleri

Remazol Red RR	Statik Renk Giderim %	Çalkalamalı Renk Giderim %
1 numaralı fungus	68.52	75.31
2 numaralı fungus	42.93	47.29
3 numaralı fungus	98.06	99.13
Remazol Brilliant Blue-R	Statik Renk Giderim %	Çalkalamalı Renk Giderim %
1 numaralı fungus	79.21	83.46
2 numaralı fungus	65.23	71.46
3 numaralı fungus	95.13	97.43

(Remazol Red RR, Remazol Brilliant Blue-R, Co= 50 mg/L, Ph=6, T=30 °C, X=1 gr/L, çalkalama hızı: 100 devir/dakika)

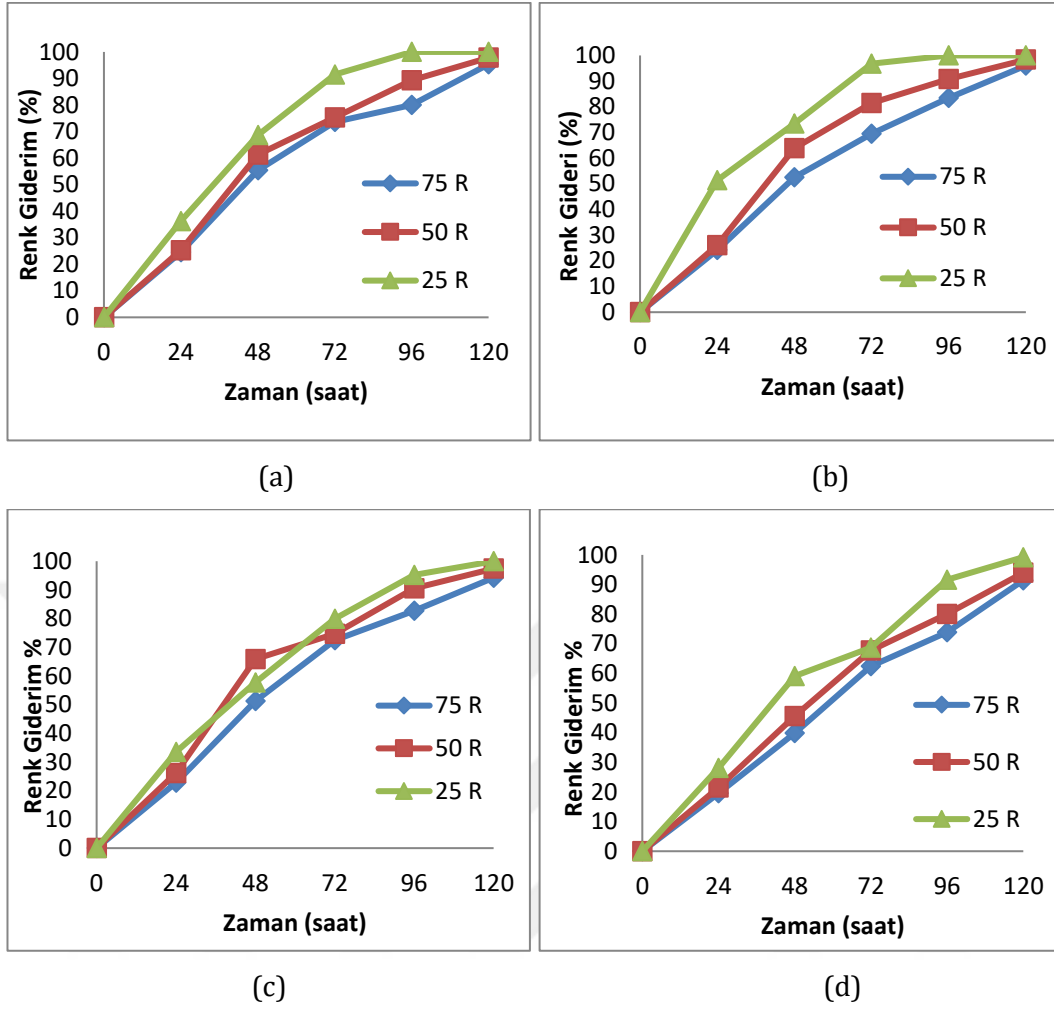
Tez çalışmasında kullanılacak olan fungus; en yüksek boya giderimi 3 numaralı fungal izolat olduğu tespit edilmiştir. En yüksek giderimi elde eden izolat beyaz çürükçül fungus olan *Trametes versicolor*' dır.

Erkurt 2006 yapılan renk giderim çalışmasında beyaz çürükçül fungus türleri *Pleurotus ostreatus*, *Funalia trogii* ve *Coriolus versicolor* kültürü ile Remazol Brillant Blue-R ve Drimaren Blue CL-BR'in renk giderimi araştırılmıştır. Statik koşullarda, 30° C ve Ph 5.0'da 48 saat inkübasyon süre de pH, kuru misel ağırlığı, renk giderimi, lakkaz, peroksidaz enzim aktivitesi, protein miktarı analizleri yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda en yüksek renk giderimi *Funalia trogii* en düşük renk giderimi *Pleurotus ostreatus* olduğunu, *Coriolus versicolor* Drimaren Blue CL-BR'in 60 mg/L üstü derişimlerinde toksik etkisi olduğunu rapor edilmiştir [40]. Bizim çalışmamızda *Pleurotus ostreatus*, *Funalia trogii* ve *Coriolus versicolor* kültürü ile çalışılmış en yüksek giderimi *Trametes versicolor* kültürüdür ve 60 mg/L üstü konsantrasyonda toksik etki gözlenmemiştir.

4.2. RBB-R ve RR Boyalarının *Trametes versicolor* ile Gideriminde Optimum Koşulların Belirlenmesi

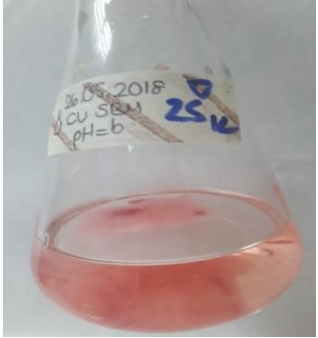
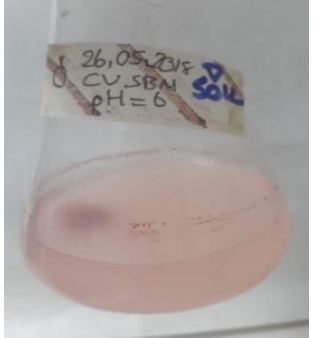

4.2.1. Statik Şartlarda Yürütülen Çalışmada Optimum Koşulların belirlenmesi

Trametes versicolor misel süspansiyonuna çalışmada kullanılan RBB-R ve RR boyar maddelerin farklı konsantrasyonları (25, 50, 75 mg/L) eklenerek hazırlanan sıvı kültürlerin 5 günlük statik inkübasyonu takiben 2 boyar maddenin de renginin giderildiği gözlenmiştir. Sıcaklığa bağlı değişimin biyosorpsiyonda etkisini belirlemek amacıyla RBB-R ve RR pH 6'da, 1 gr/L *Trametes versicolor* fungusu 25, 30, 35 ve 40 °C'de optimum sıcaklığını belirlemek için farklı boya derişimleri (25, 50 ve 75 mg/L) ve farklı zaman aralıklarında (0, 1, 2, 3, 4 ve 5. günlerde) ölçümler yapılmış ve etkisi incelenmiştir.



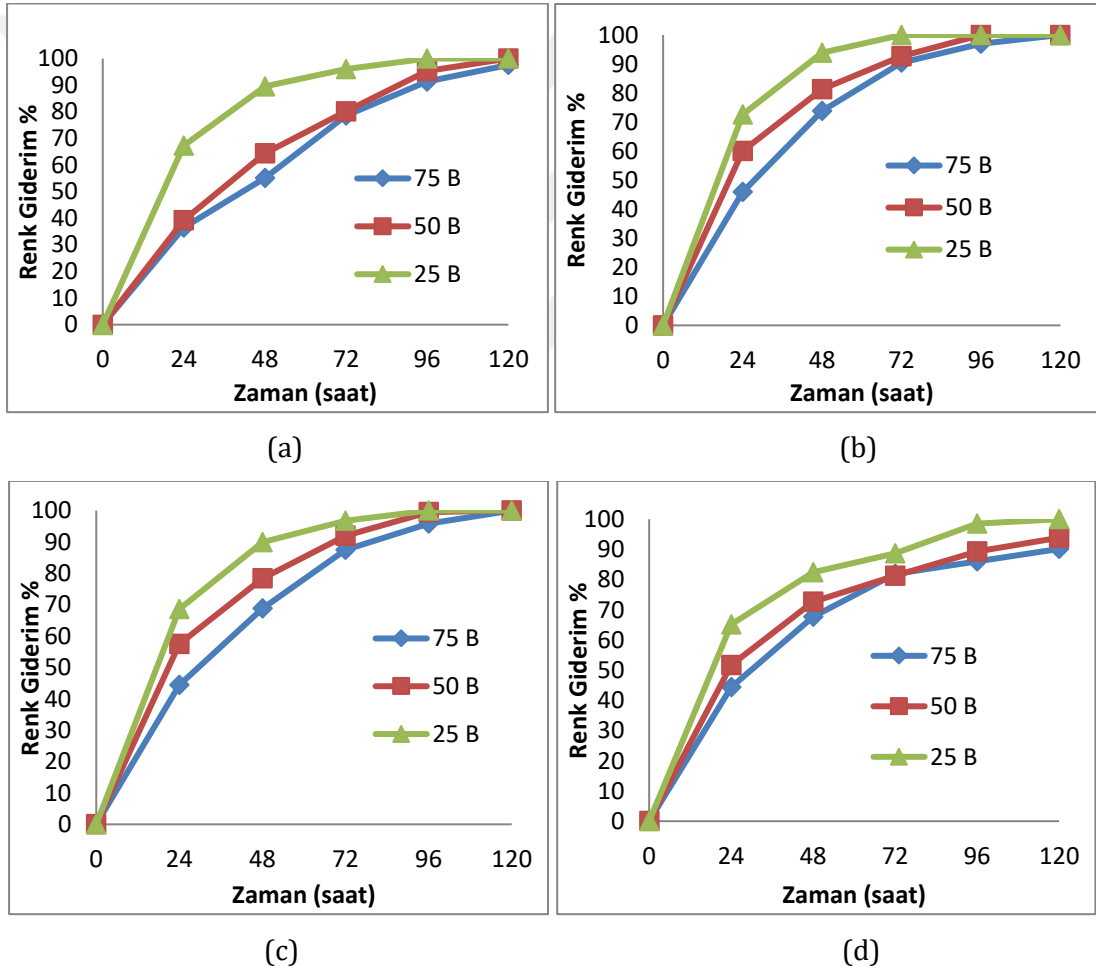
Şekil 4.1. Remazol Red RR boyası ve *Trametes versicolor* beyaz çürükçül fungusun statik şartlarda sıcaklığın boya derişimine etkisi

(T= 25 ° (a), 30° (b) , 35° (c) ve 40° (d) C, X=1 g/L, pH=6)

Remazol Red RR Statik 30° C	 25 mg/L 72.saat %100	 50 mg/L 120.saat %98,37	 75 mg/L 120.saat % 94,05
-----------------------------------	---	---	---

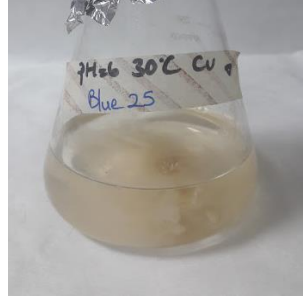


Şekil 4.2. Statik koşullarda Remazol Red RR boyar maddesinin *Trametes versicolor* ile renk giderim

Sıcaklığa bağlı değişimin biyogiderime etkisini belirlemek amacıyla pH 6'de, 1 gr/L *Trametes versicolor* misel süspansiyon varlığında artan boya derişimleri (25, 50 ve 75mg/L) ve farklı zaman aralıklarının da (24, 48, 72, 96, 120 saatlerde) ölçümler yapılmış ve etkisi incelenmiştir. Şekil 4.1.'ten yürütülen çalışmalarda Remazol Red RR boyası 25, 50, 75mg/L konsantrasyonlarda biyogiderim süresi arttıkça birim biyosorbent kütlesi başına biyogiderimi kapasitesi 25° C' de en yüksek değer 25 mg/L 72. saatte %100, 50 mg/L 120. saatte %97.83, 75 mg/L 120 saatte %95.34, 30° C' de en yüksek değer 25 mg/L 72. saatte %100, 50 mg/L 120. saatte %98.37, 75 mg/L 120. saatte %94.05, 35° C' de en yüksek değer 25 mg/L 120. saatte %99.24, 50 mg/L 120. saatte %97.41, 75 mg/L 120 saatte %93.24, 40° C' de en yüksek değer 25 mg/L 72. saatte %99.24, 50 mg/L 120. saatte %93.98, 75 mg/L 120. saatte %91.43'dür. Sıcaklığa bağlı optimizasyon çalışmasında en yüksek biyogiderim veriminin 30° C' de olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.3. Remazol Brilliant Blue-R boyası ve *Trametes versicolor* beyaz çürükçül fungusun statik şartardasıcaklığın boya derişimine etkisi

(T= 25 ° (a), 30° (b) , 35° (c) ve 40° (d) C, X=1 g/L, pH=6)

Remazol Brillant Blue-R Statik 30° C			
	25 mg/L 72.saat %100	50 mg/L 120. Saat %100	75 mg/L 120.saat % 97,02

Şekil 4.4. Statik koşullarda Remazol Brilliant Blue-R boyar maddesinin *Trametes versicolor* ile renk giderim

Sıcaklığa bağlı değişimin biyogiderime etkisini belirlemek amacıyla pH 6'de, 1 gr/L *Trametes versicolor* misel süspansiyon varlığında artan boya derişimleri (25, 50, ve 75mg/L) ve farklı zaman aralıklarının da (24, 48, 72, 96, 120 saatlerde) ölçümler yapılmış ve etkisi incelenmiştir. Şekil 4.3'ten yürütülen çalışmalarda Remazol Brilliant Blue-R boyası 25, 50, 75mg/L konsantrasyonlarda biyogiderim süresi arttıkça birim biyosorbent kütlesi başına biyogiderimi kapasitesi 25° C' de en yüksek değer 25 mg/L 120. saatte %100, 50 mg/L 120. saatte %100, 75 mg/L 120 saatte %97.55, 30° C' de en yüksek değer 25 mg/L 72. saatte %100, 50 mg/L 120. saatte %100, 75 mg/L 120. saatte %97.02, 35° C' de en yüksek değer 25 mg/L 96. saatte %100, 50 mg/L 120. saatte %100, 75 mg/L 120 saatte %100, 40° C' de en yüksek değer 25 mg/L 120. saatte %100, 50 mg/L 120. saatte %93.88, 75 mg/L 120. saatte %90.17'dür. Sıcaklığa bağlı optimizasyon çalışmasında en yüksek biyogiderim veriminin 30° C' de olduğu gözlemlenmiştir.

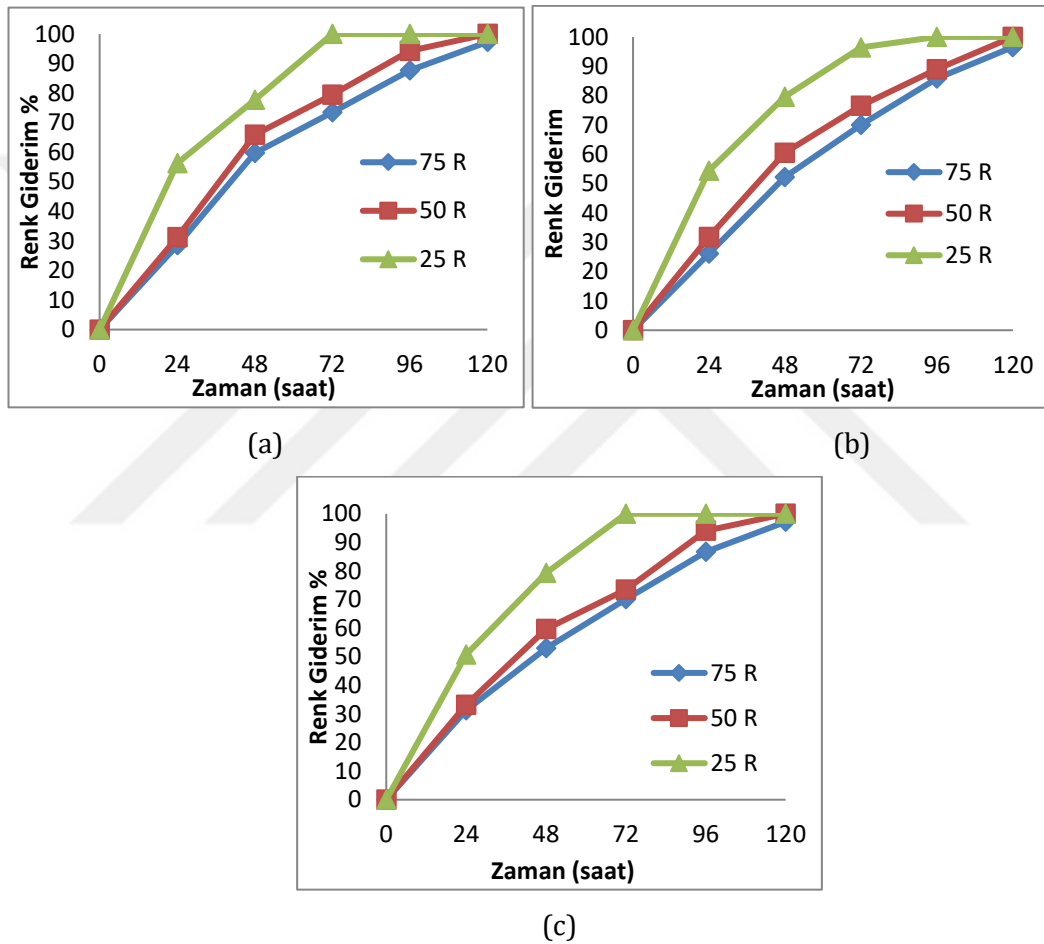
Erdem ve ark. 2017 yapılan çalışmada beyaz çürükçül fungus trüne ait olan *Trametes versicolor* ile Reactive blue 19, Reactive Orange 12, Reactive Blue 21, Reactive Red 120, Acid Black 194 boyar maddelerin renk giderim araştırılmıştır. Yürütülen çalışmalar sonucunda en yüksek verimi %99 oranla Reactive Blue 19 boyar maddesi için uygun pH 4 olarak belirlenmiştir. Boya gideriminin düşük sıcaklıklardan etkilendimeği ancak 60 °C'nin üzerine çıktığında renk giderim oranının düştüğü rapor edilmiştir [90]. Bizim çalışmamızda 40 °C 'de renk giderim oranı düştüğünü gözlemlenmiştir bu çalışma ile tutarlı sonuç vermiştir.

Romero ve ark. 2006 yapılan çalışmada *Trametes versicolor* ile yaptıkları deney düzeneği 25°C'de kurulmuştur. % 80'nin üzerinde boya giderimi oranı gözlemlenmişlerdir [95].

Dhakar ve ark. 2003 yapılan çalışmada *Trametes hirsuta* 'nın lakkaz üretimini araştırmışlar ve de 4-48 °C sıcaklık aralığını tolere edebildiğini rapor etmişlerdir [96]. Yaptığımız çalışmalarda düşük sıcaklıkta giderim oranı etkilenmemektedir sıcaklık yükseldikçe renk giderim oranları düştüğü yapılan çalışmalarla elde edilen sonuçlar bizim çalışmamız ile paraleldir.

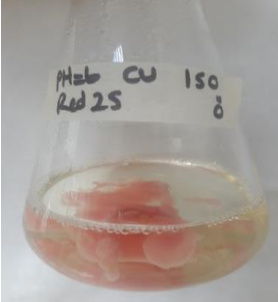
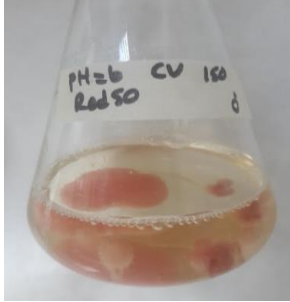
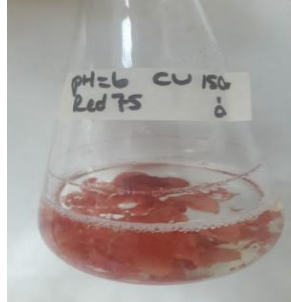
4.2.2. Çalkalamalı Şartlarda Yürütülen Çalışmada Optimum Koşulların belirlenmesi

Trametes versicolor misel süspansiyonuna çalışmada kullanılan RBB-R ve RR boyar maddelerin farklı konsantrasyonları (25, 50 ve 75 mg/L) eklenerek hazırlanan sıvı kültürlerin 5 günlük çalkalamalı inkübasyonu takiben 2 boyar maddenin de renginin giderildiği gözlenmiştir. Sıcaklığa bağlı değişimin statik şartlarda en yüksek biyogiderimi 30° C olarak belirlenmiştir. Çalkalamalı ortamda 30° C sıcaklıkta farklı çalkalama hızın da (100, 125, 150 rpm) ölçümler yapılmış ve etkisi incelenmiştir.



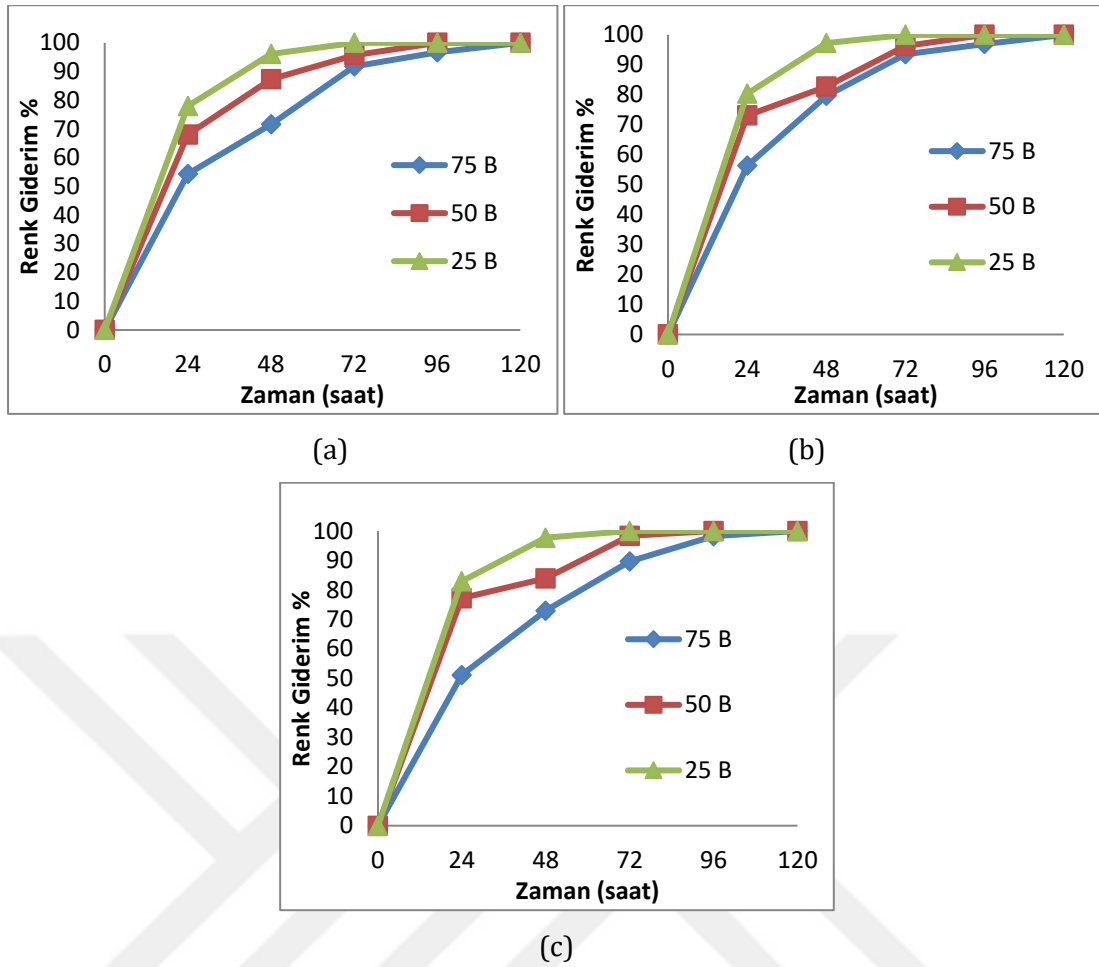
Şekil 4.5. Remazol Red RR boyası ve *Trametes versicolor* beyaz çürükçül fungusun çalkamalı şartlarda boya derişimine etkisi

(T=30° C, X=1 g/L, pH=6, Çalkalama hızı= 100 (a), 125 (b), 150 (c) rpm)

Remazol Red RR Çalkalamalı 150 rpm 30° C			
	25 mg/L 72.saat %100	50 mg/L 120. Saat %100	75 mg/L 120.saat %97,74

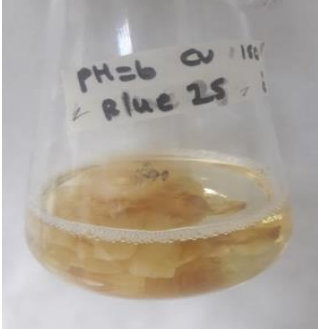
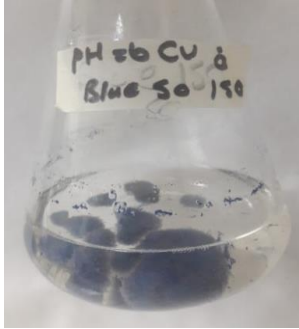
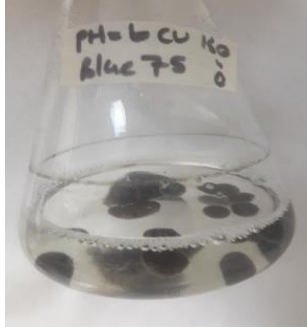
Şekil 4.6. Çalkalamalı koşullarda Remazol Red RR boyar maddesinin *Trametes versicolor* ile renk giderim

30° C' de amacıyla pH 6'de, 1 gr/L *Trametes versicolor* misel süspansiyon varlığında artan boya derişimleri (25, 50, ve 75 mg/L) ve farklı zaman aralıklarında (0, 24, 48, 72, 96, 120 saatlerde) ölçümler yapılmış ve etkisi incelenmiştir. Şekil 4.5.'ten yürütülen çalışmalarda Remazol Red RR boyası 25, 50, 75 mg/L konsantrasyonlarda biyogiderim süresi arttıkça çalkalama hızı birim biyosorbent kütlesi başına biyogiderimi kapasitesi 30° C' de 100 rpm'de 25 mg/L 72. saatte %100, 50 mg/L 120. saatte %98.17, 75 mg/L 120. saatte %97.30, 125 rpm'de 25 mg/L 96. saatte %100, 50 mg/L 120. saatte %100, 75 mg/L 120. saatte %96.56, 150rpm' de 25 mg/L 72. saatte %100, 50 mg/L 120. saatte %100, 75 mg/L 120 saatte %97.74 farklı rpmler'de yapılan çalışmada en yüksek biyogiderim veriminin 150 rpm de olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.7. Remazol Brilliant Blue-R boyası ve *Trametes versicolor* beyaz çürükçül fungusun çalkamalı şartlarda boya derişimine etkisi

(T=30°C, X=1 g/L, pH=6 Çalkalama hızı= 100 (a), 125 (b), 150 (c) rpm)

Remazol Brillant Blue-R Çalkamalı 150 rpm 30°C			
	25 mg/L 72.saat %100	50 mg/L 96.saat %100	75 mg/L 120.saat %100

Şekil 4.8. Çalkamalı koşullarda Remazol Brilliant Blue-R boyar maddesinin *Trametes versicolor* ile renk giderim

30° C' de amacıyla pH 6'de, 1 gr/L *Trametes versicolor* misel süspansiyon varlığında artan boya derişimleri (25, 50, ve 75mg/L) ve farklı zaman aralıklarında (0, 24, 48, 72, 96, 120

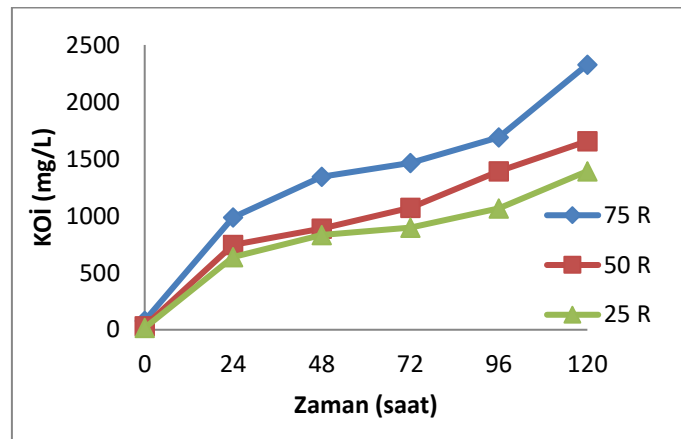
saatlerde) ölçümler yapılmış ve etkisi incelenmiştir. Şekil 4.7.'ten yürütülen çalışmalarda Remazol Brilliant Blue-R boyası 25, 50, 75mg/L konsantrasyonlarda biyogiderim süresi arttıkça çalkalama hızı birim biyosorbent kütlesi başına biyogiderimi kapasitesi 30° C' de 100 rpm'de 25 mg/L 96. saatte %100, 50 mg/L 120. saatte %97.42, 75 mg/L 120. saatte %96.55, 125 rpm'de 25 mg/L 72. saatte %100, 50 mg/L 96. saatte %98.17, 75 mg/L 120. saatte %97.30, 150rpm' de 25 mg/L 72. saatte %100, 50 mg/L 96. saatte %100, 75 mg/L 120 saatte %100 farklı rpmler'de yapılan çalışmada en yüksek biyogiderim veriminin 150 rpm'de olduğu gözlenmiştir.

Champagne ve ark. 2007 *Trametes versicolor* ve Amaranth boyar maddesi ile yaptıkları çalışmada 250 rpm çalkalama hızının dekolorizasyon işlemi için optimum olduğunu belirtmişlerdir [97]. Yaptığımız çalışmada 100, 125 ve 150 rpm' de en yüksek giderim 150 rpm olarak bulunmuştur.

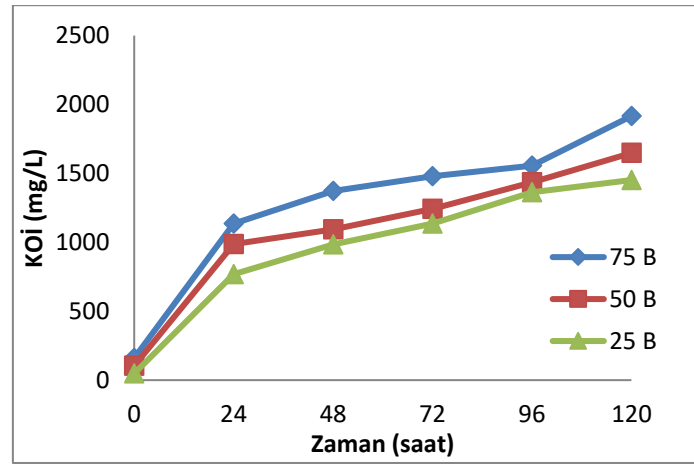
Aksu ve ark. 2007 yılında *Trametes versicolor* ve Remazol Black B boyar maddesi ile çalışma yapmışlardır. 100 rpm çalkalama hızıyla kurulan deney düzeneğinde 4 günlük inkübasyon süresinde % 88 oranında dekolorizasyon oranı elde etmişlerdir [98]. Yaptığımız tez çalışmasında benzer sonuçlar gözlenmiştir.

4.2.3. Statik Şartlarda Yürütülen Çalışmada KOİ Bulguları

Statik koşullarda yürütülen çalışma sonucunda elde edilen KOİ analizleri incelenerek belirlenen % kirlilik eliminasyonu Şekil 4.9. ve Şekil 4.10. grafiksel olarak belirtilmiştir.



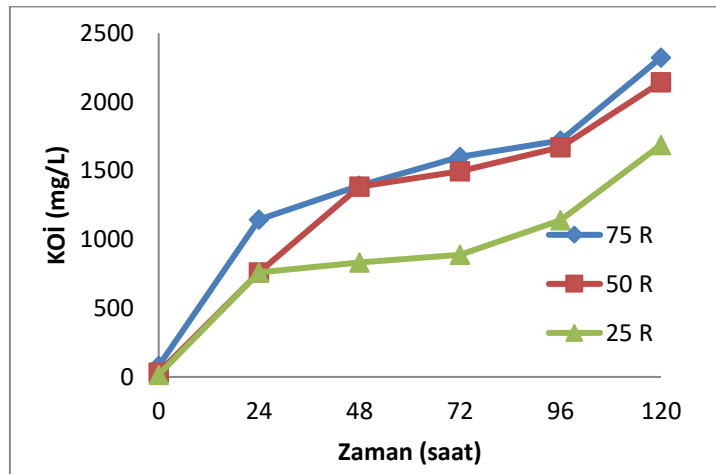
Şekil 4.9. *Trametes versicolor* beyaz çürükçül fungusun statik şartlarda Remazol Red RR boyasının renk giderilmesinde KOİ değişimi (T= 30° C, X=1 g/L, pH=6)



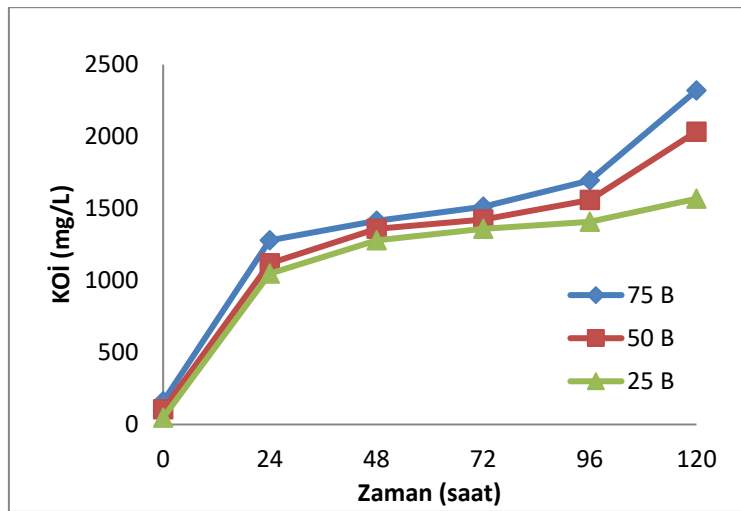
Şekil 4.10. *Trametes versicolor* beyaz çürükçül fungusun statik şartarda Remazol Brilliant Blue-R boyasının renk giderilmesinde KOİ değişimi
($T=30^{\circ}\text{C}$, $X=1\text{ g/L}$, $\text{pH}=6$)

4.2.4. Çalkalamalı Şartlarda Yürütülen Çalışmada KOİ Bulguları

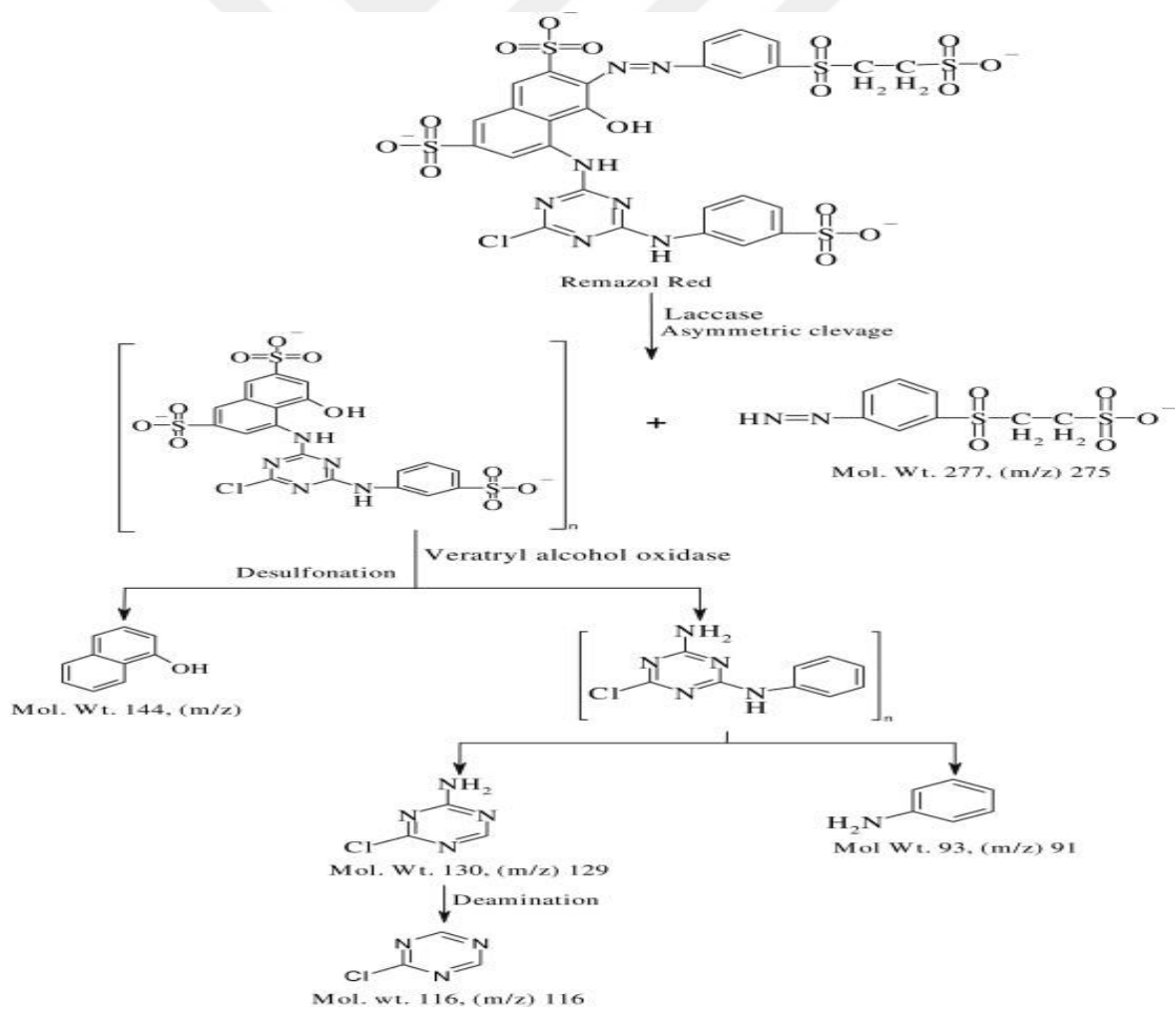
Çalkalamalı koşullarda yürütülen çalışma sonucunda elde edilen KOİ analizleri incelenerek belirlenen % kirlilik eliminasyonu Şekil 4.11. ve Şekil 4.12. grafiksel olarak belirtilmiştir.



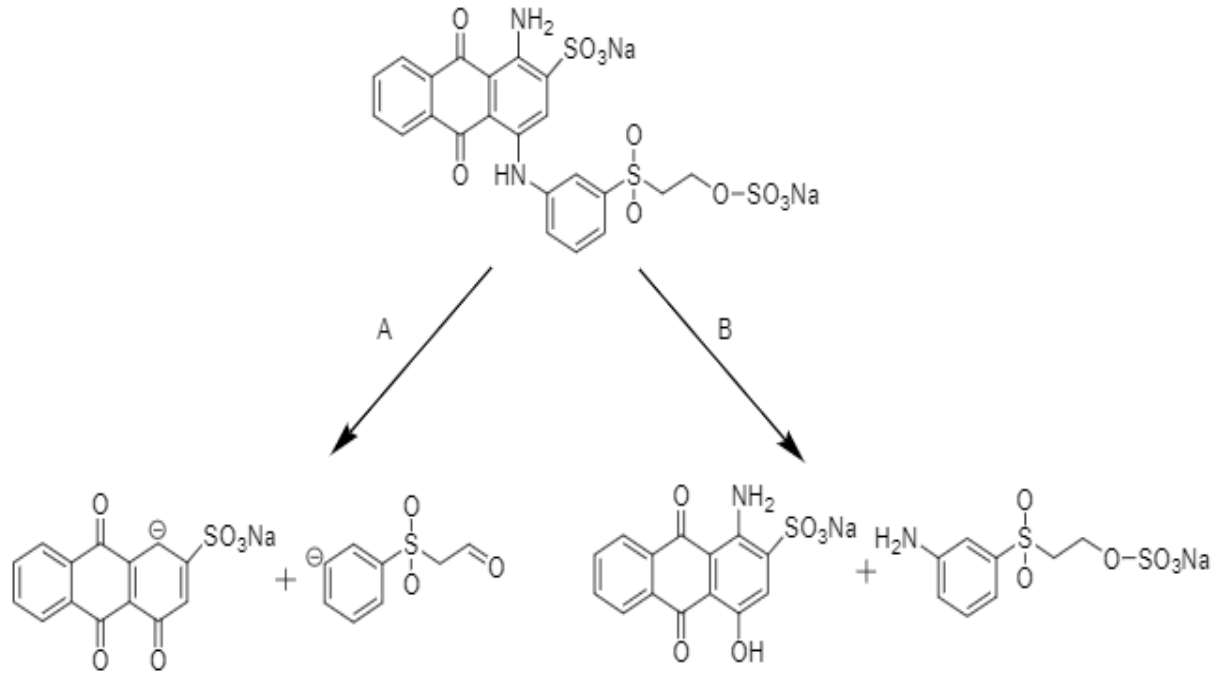
Şekil 4.11. *Trametes versicolor* beyaz çürükçül fungusun statik şartarda Remazol Red RR boyasının renk giderilmesinde KOİ değişimi
($T=30^{\circ}\text{C}$, $X=1\text{ g/L}$, $\text{pH}=6$ Çalkalama hızı= 150 rpm)



Şekil 4.12. *Trametes versicolor* beyaz çürükçül fungusun statik şartlarda Remazol Brilliant Blue-R boyasının renk giderilmesinde KOİ değişimi
(T=30°C, X=1 g/L, pH=6 Çalkalama hızı= 150 rpm)



Şekil 4.13. Remazol Red RR boyar maddesinin kimyasal bozunması [99]



Şekil 4.14. Remazol Brilliant Blue-R boyar maddesinin kimyasal bozunması [100]

Ekolojik açıdan endüstriyel proseslerden kaynaklı atık suların biyolojik yıkılabilirliğini tayin etmek gereklidir. Statik ve çalkalamalı ortamlarda kullanılan boyar madde konsantrasyonunun (T0) artması ile KOİ'nin arttığı bulunmuştur. Çalışma boyunca yapılan KOİ analizleri sonucunda KOİ değerlerinin zamanlar artış gösterdiği saptanmıştır. KOİ değerlerinin yükselmesi boyar maddelerin kimyasal yapısını oluşturan bağ yapılarının göstermektedir [99, 100].

Mercimek 2008 yapılan renk giderim çalışmasında *Trametes versicolor*'ın anyonik özellikte reaktif boyar maddeler Reactive Blue 19, Reactive Black 5 ve Reactive Red 194 üzerine boyar maddelerin renk giderim aktivitesi araştırılmıştır. Statik ve çalkalamalı koşullarda çalışmalar yürütülmüştür. Statik kültürlerde 14. günün sonunda bu oran sırasıyla % 93, % 87 ve % 79, çalkalamalı kültürlerde 4. günün sonunda renk giderim oranı en yüksek Reactive Black 5 için % 97, Reactive Blue 19 için % 93 ve Reactive Red 194 için % 92 olduğu rapor edilmiştir. Statik ve çalkalamalı ortamlarda renk giderim çalışmasında *Trametes versicolor* fungusunun renk giderim statik ve çalkalamalı ortamda yüksek giderim elde edildiği ve KOİ analizleri yaptığımız tez çalışmasında benzer şekilde KOİ oranları benzer şekildedir [72].

Gedikli ve ark. 2010 yapılan çalışmada beyaz çürükçül fungus olan *Trametes versicolor* fungusu kullanılmıştır. Ticari olarak piyasada satılan bir kot boyasının buğday kepeği içeren potato dekstroze broth besiyerinde geliştirilmesi ile elde edilen lakkaz aktivitesi yüksek kültür sıvısı ile renk giderimi çalışılmış ve optimum koşullar belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar

sonucunda pH 4.0, boya konsantrasyonu 75 mg/l, sıcaklık 55°C, 120 dakika inkübasyon süresi ile yapılan deney sonucunda belirlenen optimum koşullarda % 68.02 renk giderimi elde edildiği rapor edilmiştir [83]. Yaptığımız tez çalışmasında pH 6 da 75 mg/L konsantrasyonda iki boyar maddemizde 40 °C'de yüksek giderimler elde edilmiştir.

Güngörmedi ve ark. 2009 yapılan çalışmada Reaktif Red 198 boyar maddesinin *Trametes versicolor* kuru biyokütlesi ile biyosorpsiyonu çalışılmış ve en uygun koşullar belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda pH 2,0, biyokütle miktarı 0,4 g, başlangıç boyar madde konsantrasyonu 75 mg/l, temas süresi 20 dk, çalkalama hızı 100 rpm, sıcaklık 35°C olarak seçilmiştir. Optimum koşullarda en yüksek %92,57 verim elde edilmiştir. Ayrıca yapılan FTIR analizleri ile *T. versicolor* fungal biyokütlesinin sahip olduğu ve Reaktif Red 198 biyosorpsiyonunda etkili olabilecek fonksiyonel gruplar belirlenmiştir [98]. Yapılan çalışmalarda ve çalışmamızda *Trametes versicolor* fungusunun pH 2 ve pH 6 aralığında yüksek giderimler elde edildiği tespit edilmiştir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Tez çalışmamda beyaz çürükçül fungus olan *Pleuretous ostreatus*, *Funalia trogii* ve *Trametes versicolor* ile yapılan ön çalışmalarda en yüksek giderimi *Trametes versicolor* fungusunda rastlanmış ve tüm optimizasyon çalışmaları bu fungus ile gerçekleşmiştir. *Trametes versicolor* beyaz çürükçül fungusu ile Remazol Red RR ve Remazol Brilliant Blue-R boyar maddelerinin giderimi için optimum sıcaklık, statik ve çalkalamalı ortamda giderimleri araştırılmıştır. Renk giderim bulguları incelendiğinde *Trametes versicolor* fungusunun en yüksek giderimi 30° C'de gerçekleşmiştir.

Remazol Red RR boyar maddesinin farklı konsantrasyonlar da (25, 50, 75 mg/L) ve farklı çalkalama hızında (100, 125, 150 rpm) gerçekleştirilmiş ve çalkalamalı ortamlarda en yüksek giderimi 150 rpm 72.saat 100 %, 120.saat 100 %, 120.saat 97,74 %, statik ortamda en yüksek giderim 72.saat 100%, 120.saat 98,37 %, 120.saat 94,05 % giderilmiştir. Remazol Brilliant Blue-R boyar maddesinin farklı konsantrasyonlar da (25, 50, 75 mg/L) çalkalamalı ortamlarda en yüksek giderimi 150 rpm 72.saat 100 %, 96.saat 100 %, 120.saat 100 %, statik ortamda en yüksek giderim 72.saat 100 %, 120.saat 100 %, 120.saat 97.02 % giderilmiştir. Remazol Brilliant Blue-R boyar maddesinin Remazol Red RR boyar maddesine oranla daha yüksek verimde giderildiği sonucuna varılmıştır.

Çalkalamalı koşullarda yürütülen renk giderim çalışmalarının statik koşullarda yürütülen renk giderim çalışmalarından daha kısa ve yüksek verimde olması tekstil atıksularının arıtımı için alternatiftir. KOİ analizleri incelendiğinde *Trametes versicolor* her iki boyar maddenin KOİ değerlerinin başlangıçta ölçülen KOİ değerlerinin yüksek çıkmıştır. Boyar maddelerin kimyasal yapısındaki yan grupların koptuğu ve açık uçların meydana geldiğini düşüncesine vardırırmaktadır. Çalkalamalı ve statik uygulamalar sonucunda *Trametes versicolor* fungusunun renk giderim ve kirlilik eliminasyonu başarısının arttığı gözlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda *Trametes versicolor* fungus türünün, denenen boyar maddelerin sudan arıtımında en yüksek verimi elde ettiği ortaya konulmuştur. Yapılan tez çalışmamızda lakkaz ve peroksidaz enzim analizlerine bakılmış ama aktivite gözlemlenememiştir.

Çalışmaların gerçek tekstil atıksuları üzerinde çalışmaların devam etmesi teknik uygulamalarda fungusun yoğunlaştırılmış veya peletlenmiş misellerin boyar maddeli atık su üretilen işletmelerinin üzerinde çalışmaların devam etmesi ve endüstriyel ölçekli pilot tesislerde denemeler yapılabilir. İleri arıtım teknolojileri ile yapılacak olan entegre sistemler arıtım verimliliğinin artırılması açısından önemli olacaktır.

6. KAYNAKLAR

- [1]. 03 Ocak (2020). <https://cevreonline.com/cevre-kirliligi/> adresinden erişildi.
- [2]. 14 Kasım (2019). <http://www.zmo.org.tr/etkinlikler/5tk02/44.pdf> adresinden erişildi.
- [3]. Gülümser T., Akça C., Bahtdyard M.İ. (2009). Yün terbiyesinde ozonla işlemin beyazlık derecesine etkisinin araştırılması, *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, sf: 52, sayı:1.
- [4]. Dağdelen, S. (2012). Remazol brillant blue r boyasının sulu çözeltiden uzaklaştırılması için zeytin posasının (pirina) adsorbent olarak kullanımının araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, 7 Aralık Üniversitesi, Kilis.
- [5]. Hussain, T., Wahab, A. (2018). A critical review of the current water conservation practices in textile wet processing. *Journal of Cleaner Production*, 198; 806-81.
- [6]. Sharma, S.K. (2015). *Green chemistry for dyes removal from waste water. Research trends and applications*, Hoboken, New Jersey: Wiley-Scrivener.
- [7]. Miranda, Rde, C., Gomes, Ede, B., Pereira, N., Marinmorales, M.A., Machado, K.M., Gusmao, N.B. (2013). Bio-treatment of textile effluent in static bioreactor by *curvularia lunata* urm 6179 and *Phanerochaete chrysosporium* urm 6181. *Bioresour, Technol*, 142, 361-367.
- [8]. Arslan H.A. (2004). Bazı boyar madde gruplarının aktif çamur biyokütlesi tarafından adsorplanabilme özelliği. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [9]. Rajaguru, P., Kalaiselvi, K., Palanivel, M. And Subburam, V. (2000). Biodegradation of azo dyes in a sequential anaerobic-aerobic system. *Appl, Microbiol, Biotechnol*, 54: 268-273.
- [10]. Raman, C.D., Kanmani, S. (2016). Textile dye degradation using nano zero valent iron: a review, *journal of environmental management*. 177(15); 341-355.
- [11]. Apohan E. (2001). Biyoteknolojik işlemeden geçmiş ve geçmemiş tekstil fabrikası boyalarının çeşitli organizmalar üzerine toksik etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya.
- [12]. Garg V.K., Amita M., Kumar R., GuptaR. (2004). Basic dye (methylene blue) removal from simulated wastewater by adsorption using Indian Rosewood sawdust: a timber industry waste, *Dyes and Pigments*. 63 243-250.
- [13]. Fu Y., Viraraghavan T. (2001). Fungal decolorization of dye wastewaters: a review. *Bioresource Technology*, 79 251-262.
- [14]. Wong Y., Yu J. (1999). Laccase catalyzed decolorization of synthetic dye. *Water Research*, 33 3512-3520.
- [15]. Yeşilada O., D. Asma, S. Cing. (2003). Decolorization of textile dyes by fungal pellets. *Process Biochemistry*, 38 933-938.
- [16]. Fu L., Wen X., Xu L., Qian, Y. (2001). Removal of copper-phthalocyanine dye from waste water biosorption acclimated sludge under anaerobic or aerobic conditions. *Process Biochemistry*, 37; 151-156.

- [17]. Balasaraswathy. Sa., Ramamurthy. Nb., Sivasakthivelan. Pc. (2018). Decolorization and biodegradation studies of the textile effluent treated by *Trametes versicolor*. International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences Page: 44-48.
- [18]. Wong, S., Yac'cob, Ngadi, N. (2018). From pollutant to solution of wastewater pollution: Synthesis of activated carbon from textile sludge for dye adsorption. Chinese Journal of Chemical Engineering, 26(4); 870-878.
- [19]. Kapdan, İ., Kargı, F. (2000). Atık sulardan tekstil boyar maddelerinin adsorpsiyonlu biyolojik arıtım ile giderimi. Turk J. Engin. Environ. Sci, 24: 161-169.
- [20]. İçoğlu, H.İ. (2006). Pamuklu dokunmuş kumaşların reaktif boyarmaddelerle boyanması ve uygulama yöntemlerinin incelenmesi. Yüksel Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [21]. Savcı, S. (2005). Basic blue 41 boyar maddesinin canlıve inaktif sucul bitki myriophyllum spicatum tarafından adsorplanabilirliğinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [22]. Kaykiođlu, G., Debik, E. (2006). Anaerobik arıtım prosesleri ile tekstil atıksularından renk giderimi. Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 4, 59-68.
- [23]. Özcan, Y., Ulusoy, E. (1978). Tekstil elyaf ve boyama tekniği, 2557 (39), İstanbul Üniversitesi Yayınları, 371-376.
- [24]. Aksu, Z. (2005). Application of biosorption for the removal of organic pollutants: a review. Process Biochemistry, 40; 997-1026.
- [25]. Chakraborty, J.N. (2014). Fundamentals and practices in colouration of textiles. WPI, 29-45.
- [26]. Mustafa, T.Y., Tushar, K.S., Sharmeen, Ang, H.M. (2014). Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review. Advances in Colloid and Interface Science, 209; 172-184.
- [27]. Başer, İ. ve İnanıcı, Y. (1990). Boyar madde kimyası. Marmara Üniversitesi Yayın No: 482, 216 s, İstanbul.
- [28]. Christie, R.M. (2001). Colour chemistry. RSC Publication, England, 206 p.
- [29]. Sumathi, S. and Manju, B.S. (2000). Uptake of reactive textile dyes by aspergillus foetidus. Enzyme and Microbial Technology, 27(6); 347-355.
- [30]. Gupta, V.K. (2009). Application of low-cost adsorbents for dye removal – A review. Journal of Environmental Management, 90; 2313-2342.
- [31]. Ong S., Uchiyama, K., Inadama, D., Ishida, Y., Yamagiwa, K. (2010). Treatment of azo dye Acid Orange 7 containing wastewater using up-flow constructed wetland with and without supplementary aeration. Bioresour, Technol, 101; 9049-9057.
- [32]. Lang, W., Sirisansaneeyakul, S., Ngiwsara L., Mendes S., Martins L.O., Okuyama M., Kimura A. (2013). Characterization of a new oxygen-insensitive azoreductase from *brevibacillus laterosporus tistr1911*: toward dye decolorization using a packed-bed metal affinity reactor. Bioresour, Technol, 150; 298-306.

- [33]. Saratale, R.G., Saratale, G.D., Changand, J.S., Govindwar, S.P. (2010). Decolorization and degradation of reactive dyes and dye wastewater by a developed bacterial consortium. *Biodegradation*, 21; 999-1015.
- [34]. Pinheiro, H.M., Touraud, E., Thomas, O. (2004). Aromatic amines from azo dye reduction: status review with emphasis on direct UV-spectrophotometric detection in textile industry wastewaters. *Dyes Pigm*, 61; 121-139.
- [35]. Gürcüm, B.H. (2005). *Tekstil malzeme bilgisi*, 1. Basım Grafiker Yayınları, 321-328.
- [36]. Erdik, E., Obalı, M., Yüksekışık, N., Öktemer, A., Pekel, T., İhsanoğlu, E. (2001). *Denel organik kimya*, 4.Baskı, Ankara Üniversitesi Basımevi, 835 s, Ankara.
- [37]. Bankole, P.O. and Adekunle, A.A. (2017). Degradation of indigo dye by a newly isolated yeast, *Diutina rugosa* from dye wastewater polluted soil. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(5); 4639-4648.
- [38]. Frank, V. (2002). *Anaerobic azo dye reduction*. Phd thesis, University of Wageningen, Almanya.
- [39]. Şahin, Y. (2006). *Asit boya banyosu atıksularının kimyasal prosesler ile ön arıtılabilirliğinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [40]. Erkut, E. (2008). *Aktif karbon adsorpsiyonu ile boyar madde giderimi*. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 39-71.
- [41]. Mıdık, F. (2011). *Reaktif sarı 145 azo boyar maddesinin ve 2,4-diklorofenoksiasetik asit pestisitinin yüksüz nano demir, fenton ve foto-fenton prosesleri ile karşılaştırmalı giderilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, 89 s, Adana.
- [42]. Kocaer, O. F., Alkan U. (2002). *Boyar madde içeren tekstil atık sularının arıtım alternatifleri* Uludağ Üniversitesi. *Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7 (1), 4755 Bursa.
- [43]. Verma, A.K., Dash, R.R., Bhunia, P.A. (2012). Review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. *Journal of Environmental Management*, 93; 154-168.
- [44]. Joshi, M., Bansal, R., Purwar, R. (2004). Colour removal from textile effluents. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 29; 239-259.
- [45]. Holkar, C.R., Jadhav, A.J., Pinjari, D.V., Mahamuni, N.M., Pandit, A.M. (2016). A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches. *Journal of Environmental Management*, 182; 351-366.
- [46]. Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., Nigam, P. (2001). Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresource Technology*, 77, 247-255.
- [47]. Zhang F., Yu J.(2000). Decolourisation of acit violet 7 with complex pellets of white rot fungus and activated carbon. *Bioproc Eng*, 23 295-301.
- [48]. Forgacs, E., Cserhati, T. and Oros, G. (2004). Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review. *Environ. Int*, 30, 953-971.

- [49]. Başibüyük, M., Yüceer, A., Yılmaz, T. (1998). Tekstil atık sularında renk giderilmesinde kullanılan ileri teknolojiler. I. Atık Su Sempozyumu, 82-87, Kayseri.
- [50]. Rennuit, C., Triola, J.M., Eriksen, S., Jimenez, J., Carrere, H., Hafner, S.D. (2018). Comparison of pre- and inter-stage aerobic treatment of waste water sludge: effects on biogas production and COD removal. *Bioresource Technology*, 247; 332-339
- [51]. Willmott, N., Guthrie, J., Nelson, G. (1998). The biotechnology approach to colour removal from textile effluent. *Journal of the Society of Dyers and Colorists*, 114, 3841.
- [52]. Kuai, L., De Vreese, I., Vandevivere, P. (1998). GAC-amended UASB reactor for the stable treatment of toxic textile waste water. *Environmental Technology*, 19, 17.
- [53]. Dörtkol, M. (2014). Doğal ve modifiye kil ile sulu çözeltilerden boyar madde giderimi. Yüksek lisans tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, 86s, Nevşehir.
- [54]. Makela, R.M., Donofrio, N. and de Vries, P.R. (2014). Plant biomass degradation by fungi. *Fungal Genetics and Biology*, 72; 2-9.
- [55]. Das, N. and Chandran, P. (2011). Microbial degradation of petroleum hydrocarbon contaminants: an overview, *Biotechnology Research International*.
- [56]. O'Neill, C., Lopez, A., Esteves, S., Hawkes, F.R., Hawkes, D.L., Wilcox, S. (2000). Azo dye degradation in an anaerobic aerobic treatment system operating on simulated textile effluent. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 53; 249254.
- [57]. Marykensa, V. (2011). Bioremediation - an overview. *J. Ind. Pollut. Contr*, 27;161-168.
- [58]. Gomes, H.I., Dias-Ferreira, C. (2013). Overview of in situ and ex situ remediation technologies for PCB-contaminated soils and sediments and obstacles for fullscale application. *Science of The Total Environment*, 445-446; 237-260.
- [59]. Marykensa, V. (2011). Bioremediation - an overview. *J. Ind. Pollut. Contr*, 27;161-168.
- [60]. Chagas-Spinelli, A., Kato, M.T. (2012). Bioremediation of a tropical clay soil contaminated with diesel oil. *Journal of Environmental Management*, 113; 510516.
- [61]. Kadri, T., Rouissi, T., Brar, S.K., Cledon M. (2017). Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) by fungal enzymes: a review. *J. Environ. Sci*, 51; 52-74.
- [62]. Sharma, B., Dangi, A.K. (2018). Contemporary enzyme based technologies for bioremediation: A review. *Journal of Environmental Management*, Volume 210, Pages 10-22.
- [63]. Kahraman S., Yesilada O. (2003). Decolorization and bioremediation of molasses wastewater by white rot fungi in semi-solid state condition. *Folia Microbiol.* 48: 4 525-528
- [64]. Apohan E. (2001). Biyoteknolojik işlemlerden geçmiş ve geçmemiş tekstil fabrikası boyalarının çeşitli organizmalar üzerine toksik etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya.
- [65]. Wu, J., Xiao, Y.Z., Yu, H.Q. (2005). Degradation of lignin in pulp mill wastewaters by white-rot fungi on biofilm. *Bioresour, Technol*, 96, 1357-1363

- [66]. Raghukumar, C., Mohandass, C., Kamat, C., Shailaja, M.S. (2004). Simultaneous detoxification and decolorization of molasses spent wash by the immobilized white-rot fungus *Flavodon flavus* isolated from a marine habitat. *Enzyme Microbial Technol*, 35, 197-202.
- [67]. Benzalel, L., Hadar, Y., Fu, P.P., Cerniglia, C.E. (1996). Metabolism of phenanthrene by the white rot fungus *pleurotus ostreatus*. *Appl. And Environ. Microbiol*, July, 2547-2553.
- [68]. Cloete, T.E., Celliers, L. (1999). Removal of acorlor 1254 by the white rot fungus *Coriolus versicolor* in the presence of different concentrations of Mn(IV) oxide. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 44: 243-253.
- [69]. Kapdan, I., Kargi, F., McMullan, G., Marchant, R. (2000). Comparison of white rot fungi cultures for decolorization of textile dyestuffs. *Bioprocess Engineering*, 22: 347-351.
- [70]. Ozsoy. H.D. (2001). Reaktif Boyar maddeler remazol brilliant blue r ve drimaren blue X3LR'nin beyaz çürükçül funguslarla renk giderimi. Yüksek Lisans Tezi. Mersin Üniversitesi.
- [71]. Lau, W.J., Ismail A.F. (2009) Polymeric nanofiltration membranes for textile dye wastewater treatment: preparation, performance evaluation, transportmodelling, and fouling control - a review. *Desalination*, 245, 321-348.
- [72]. Mercimek, H.A. (2007). *Trametes versicolor*'un Tekstil boyalarının gideriminde kullanım olanakları. Yüksek Lisans Tezi, Çukuroava Üniversitesi, Adana.
- [73]. Koban, A. (2011). Ligninolitik enzim ve basidiomata üretimi açısından en verimli trametes versicolor izolatının belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- [74]. Pazarlıoğlu, N., Sarıışık, A.M., Timur, S., Telefoncu, A., Gorton, L., Akkaya, A. (2008). Zirai atıklar kullanılarak *Trametes versicolor*'dan piranoz 2 oksidaz enziminin karıştırılmalı tank reaktörde üretimi, tekstil sanayinde biyo-ağartmada kullanımı ve biyo-analitik uygulama olanaklarının araştırılması. Proje, İzmir.
- [75]. 10 Aralık (2019) <https://tr.pinterest.com> adresinden erişildi.
- [76]. Heinfling, A., Bergbauer, M., Szewyk, U. (1997). Biodegradation of azo and phtalocyanine dyes by *Trametes versicolor* and *Bjerkandera adusta*. 48: 261-266.
- [77]. Swamy, J., Ramsay J.A. (1999). Effects of Mn²⁺ and NH₄ concentrations on laccase and mangase peroksidase production and amaranth decoloraiton by *Trametes versicolor*. *Appl. Microbiol, Biotechnol*, 51: 391-396.
- [78]. Rodriques, E., Pickard, M. A., Duhalt, R. V. (1999). industrial dye decolorization by lignolotic fungi. *Current microbiology*, 38: 27-32.
- [79]. Ramsay J.A., Nguyen T. (2002). Decoloration of textile dyes by *Trametes versicolor* and its effect on dye toxicity. *Biotechnology Letters* 24: 1757-1761.
- [80]. Mazmanci, M.A., Unyayar, A., Ekiz, H.I. (2002). Beyaz çürüklüğü mantarı *Coriolus versicolor* tarafından metilen mavinin renk giderimi. *Fresenius Çevre Bülteni, Cilt 11 Sayı 5* 254-258.
- [81]. Ustabaş, E. (2016). İşlenmiş ve demlenmiş atık çaydan elde edilen aktif karbonun tekstil boyar maddesi metilen mavisini adsorplama özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne.

- [82]. Srinivasan. S.V., Murthy, D.,VS. (2009). *Trametes versicolor* kullanarak tekstil boyalarının renk giderimi için istatistiksel optimizasyon. Tehlikeli Maddeler Dergisi Cilt 165, Sayılar 1-3 , Sayfa 909-914.
- [83]. Gedikli. S., Aytar, P.,Çubuk, A., Ünal, A.,Kolankaya, N. (2010). Lakkaz enzimi ile kot boyar maddesinin dekolorizasyonu. Anadolu University Journal Of Science And Technology –C Life Sciences and Biotechnology Cilt/Vol. :1-Sayı/No: 1 : 59-70.
- [84]. Mazmanci, M.A., Unyayar, A. (2010). Decolorization efficiency of *Funalia trogii* under static condition: Effect of C: N ratios. Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Mersin Universtiy, Mersin.
- [85]. Champagne P. P., Nesheim M. E., Ramsay J. A. (2012). A mechanism for NaCl inhibition of Reactive Blue 19 decolorization and ABTS oxidation by laccase. Applied Microbiology and Biotechnology, vol. 97, pp. 6263-9.
- [86]. Nesheim M.E. , Ramsay J.A. (2013). Reaktif mavi 19 renk gideriminin NaCl inhibisyonu ve lakkaz ile ABTS oksidasyonu için bir mekanizma. Appl Microbiol Biotechnol. 97 (14): 6263-9. doi: 10.1007 / s00253-012-4525-y.
- [87]. Erdem,Ö., Cihangir, N. (2014). *Trametes Versicolor* ile tekstil boyar maddelerinin renginin giderimi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, İstanbul.
- [88]. Gedikli. S., Aytar. P., Buruk. Y., Apohan. E., Çabuk. A.,Yeşilada. Ö., Burnak. N. (2014). *Trametes versicolor* ile lakkaz üretimi ve renk giderimi: taguchi ve box-behnken yöntemlerinin uygulaması. Turkish Journal of Biochemistry / Turk Biyokimya Dergisi 2014, Vol. 39 Issue 3, p298-306. 9p.
- [89]. Deveci, E.Ü. (2017). Tekstil endüstrisi atıksularının fungal biyoreaktörde aritilabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde.
- [90]. Erdem,Ö., Cihangir, N. (2017). Bazı tekstil boyar maddelerinin *Trametes versicolor* ile sulu çözeltilerden renginin giderimi. Hacettepe J.Biol. & Chem, 45(4),499-507.
- [91]. Nobuyuki. K., Mitsunobu. T., Satohi. K., Yuki. M. (2018). Membrane type wastewater decolorization using culture supernatant of *Trametes versicolor*. Eiji Iritani Department of Chemical Engineering, Nagoya University, Nagoya, Japan.
- [92]. Özeren İ. (2019). Reaktif boyaların biyogideriminde fungal biyokütle kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- [93]. Donlagic, J. Ve Yevec, J. (1998). comparison of catalysed and noncatalysed oxidation of azo dye and effect on biodegradability. Environmental Science & Technology, 33(9) : 1294-1302.
- [94]. Romero S., Blánquez P., Caminal G., Font X., Sarrà M., Gabarrell X. (2006). Different approaches to improving the textile dye degradation capacity of *Trametes versicolor*. Biochemical Engineering Journal, vol. 31, pp. 42-47.
- [95]. Dhakar K., Pandey A. (2013). Laccase production from a temperature and ph tolerant fungal strain of *Trametes hirsuta* (MTCC 11397). Enzyme Research, vol, p. 869062.
- [96]. Champagne P. P., Ramsay J. A. (2007). Reactive blue 19 decolouration by laccase immobilized on silica beads. Applied Microbiology and Biotechnology, vol. 77, pp. 819-23.

[97]. Aksu, Z., Dönmez, G. A. (2003). Comparative study on the biosorption characteristics of some yeasts for Remazol Blue reactive dye. *Chemosphere*, 50(8), 1075-1083.

[98]. Güngörmedi G., Şaşmaz S., Aytar P., Gedikli S., Ünal A., Çabuk A., Kolankaya N. (2009). *Trametes versicolor* biyokütlesi ile reaktif red 198 boyarmaddesinin biyosorpsiyonu. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* Cilt: XXII, Sayı:2.

[99]. Shekhar B., Jadhav S., Phugare S. (2011). Biochemical degradation pathway of textile dye remazol red and subsequent toxicological evaluation by cytotoxicity, genotoxicity and oxidative. *Stress Studies*, Pages 733-743.

[100]. Barbora L., Daniela C., Miroslav O. (2016). Degradation of synthetic dyes by laccases a mine review *nova biotechnologica ve chimica* 15-1.



ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı :Özlem Sansarcı
Doğum Tarihi :10.09.1994
E-mail :ozlemznzrc@gmail.com

Öğrenim Durumu :

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lisans	Çevre Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2012-2016
Yüksek Lisans	Çevre mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2017-2020

ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

1.Gülçiçek, O. ;Ünyayar, A. ; Özer, E. ; Sansarcı,O.; Thermophilic Bacteria Investigation In Petroleum Contaminated Soils By Different Isolation Method. GAZİ UNİVERSİTY JOURNAL OF SCİENCE, 2019, 32, 1-17. <http://http://dergipark.gov.tr/gujs>