

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEKSTİL BOYALARININ BİYOGİDERİMİNDE FUNGUS KULLANIMI

Gözde BODUR

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2019**

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Gözde BODUR tarafından hazırlanan “**Tekstil Boyalarının Biyogideriminde Fungus Kullanımı**” adlı tez çalışması 10/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Sevgi ERTUĞRUL KARATAY
Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı



Jüri Üyeleri:

Başkan: Prof. Dr. Zümriye AKSU
Hacettepe Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü



Üye : Prof. Dr. Sevgi ERTUĞRUL KARATAY
Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı



Üye : Doç. Dr. İlker BÜYÜK
Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Özlem YILDIRIM
Enstitü Müdür Vekili

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

10/05/2019



Gözde BODUR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TEKSTİL BOYALARININ BİYOGİDERİMİNDE FUNGUS KULLANIMI

Gözde BODUR

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sevgi ERTUĞRUL KARATAY

Bu tez çalışmasında, tekstil endüstrisinde yaygın kullanılan, Remazol Brilliant Blue R(RBBR) boyasının Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Biyoteknoloji Araştırma Laboratuvarı Kültür Koleksiyonu'nda bulunan 17 farklı fungal izolat ile biyogiderimi çalışılmıştır. En yüksek kapasitede biyogiderim yapabilen üç filamentli fungus (2 ve 3 kodlu izolatlar ile *Aspergillus tubingensis*) seçilmiş ve sonraki çalışmalarda kimyasal yapıları farklı olan Reactive Black 5(RB5), Reactive Red 120 (RR120), Brilliant Blue R(BBR), Reactive Orange 14 (RO14), RBBR boyaalarının giderimi için kullanılmıştır. En yüksek boya gideriminin elde edilmesi amacıyla, melas içeren besiyerinde boya çeşidi, pH (4, 5, 6, 7), başlangıç boya konsantrasyonu (300-1200 mg/L), inkübasyon süresi (2- 4 gün) ve inokulum miktarı gibi parametreler optimize edilmiştir.

Deneyler sonunda, seçilen funguslar denenen pH değerlerinde yüksek biyogiderim kapasitesi göstermektedir. 2 numaralı fungal izolat ile yapılan çalışmalarda en yüksek biyogiderim, inkübasyonun 4. gününde 286.95 mg/L boya konsantrasyonunda % 92.92, 3 numaralı fungal izolat ile yapılan çalışmalarda, 293.33 mg/L boya konsantrasyonunda % 98.61, *A. tubingensis* ile yapılan çalışmalarda ise 305.45 mg/L boya konsantrasyonunda % 98.66 olarak bulunmuştur. İnokulum miktarı artırıldığında ise 2 numaralı fungal izolat en yüksek biyogiderimi 313.04 mg/L RB5 varlığında % 93.98, 3 numaralı fungal izolat 315.23 mg/L BBR varlığında % 99.24, *A. tubingensis* ise 308.18 mg/L RR120 varlığında % 99.11 bulunmuştur. Bu koşullarda maksimum spesifik boya alımı ise 2, 3 numaralı fungal izolatlar ve *A. tubingensis* için yaklaşık 300 mg/L boya konsantrasyonunda 40.22, 44.23, 46.15 mg/g olarak bulunmuştur.

Elde edilen sonuçlara göre; tez çalışmasında kullanılan funguslar tekstil endüstrilerinin oluşturduğu boya içeren atıksuların gideriminde oldukça ümit vaat edici biyoremediasyon ajanlarıdır.

Mayıs 2019, 68 sayfa

Anahtar Kelimeler: Fungus, Biyoakümülyasyon, *Aspergillus tubingensis*, Tekstil Atıksuyu

ABSTRACT

Master Thesis

THE USAGE OF FUNGI FOR TEXTILE DYES BIOREMOVAL

GÖZDE BODUR

Ankara University

Graduate School of Naturel and Applied

Science Department of Biology

Supervisor: Prof. Dr. Sevgi Ertuğrul KARATAY

In this thesis, bioremoval of Remazol Brilliant Blue R (RBBR) dye which is widely used in textile industry has been studied with 17 different fungal isolates from Culture Collection of Biotechnology Research Laboratory, Biology Department, Ankara University. Three filamentous fungi (2, 3 coded isolates and *Aspergillus tubingensis*) with highest capacity of dye removal were selected for further experiments. They were also used for bioremoval studies of Reactive Black 5 (RB5), Reactive Red 120 (RR120), Brilliant Blue R (BBR), Reactive Orange 14 (RO14) and RBBR dyes. In order to obtain the highest dye removal, dye types, pH (4, 5, 6, 7), initial dye concentration (300-1200 mg/L), incubation time (2- 4 days) and amount of inoculum were optimized in the media containing molasses.

As a result of the experiments, it was found that the selected fungi showed high bioremoval capacity in all pH values. In the studies performed with isolate number 2, the highest bioremoval capacity was obtained at the end of 4th day incubation at pH 5 as 92.92% when the initial RB5 concentration was 286.95 mg/L. Isolate number 3 had the highest bioremoval capacity as 98.61% in the presence of 283.33 mg/L BBR. *A. tubingensis* showed the highest bioremoval capacity as 98.66% when the RR120 concentration was 305.45 mg/L. The maximum specific dye uptakes at nearly 300 mg/L initial dye concentration were found as 40.22, 44.23, 46.15 mg/g for 2, 3 isolates and *A. tubingensis*, respectively. When the amount of inoculum was increased, the highest bioremoval capacities were found as 93.98%, 99.92%, and 99.11% for RB5, BBR, and RR120, respectively.

According to these results, the local fungal isolates used in the study are promising bioremediation agents that can be used in the removal of wastewater from the textile industries.

May 2019, 68 pages

Key Words: Fungi, Bioaccumulation, *Aspergillus tubingensis*, Textile wastewater

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında her türlü desteği gösteren, bilgisi ve tecrübesi ile daima yön veren çok değerli hocam, Prof. Dr. Sevgi ERTUĞRUL KARATAY'a (Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı), yardım ve bilgilerini esirgemeyen sevgili hocalarım Prof. Dr. Gönül DÖNMEZ, Prof. Dr. Nur KOÇBERBER KILIÇ ve Arş. Gör. Ekin DEMİRAY hocama teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve lisansüstünde birlikte çalıştığım, her zaman desteğini yanımda hissettiğim canım arkadaşım İpek ÖZEREN'e ve çalışmalarım boyunca destek olan tüm laboratuvar arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Hayatım boyunca yanımda olan, sıkıntı ve zorlukları beraber aştığım, hayat ışığım annem Aynur BODUR'a, kendime daima örnek alacağım ağabeyim Arş. Gör. Onur Can BODUR'a ve babam Aydın BODUR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

GÖZDE BODUR

Ankara, Mayıs 2019

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ... ..	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1.GİRİŞ	1
2.KAYNAK ÖZETLERİ... ..	3
2.1 Kirlilik	3
2.2 Su Kirliliği.....	3
2.3 Boyalar	4
2.3.1 Boyaların sınıflandırılması.....	5
2.3.1.1 Asidik boyalar	6
2.3.1.2 Bazık boyalar	6
2.3.1.3 Direkt boyalar	6
2.3.1.4 Dispersif boyalar	6
2.3.1.5 Solvent boyalar	6
2.3.1.6 Sülfür boyalar.....	7
2.3.1.7 Reaktif boyalar.....	7
2.3.1.8 Vat boyalar	7
2.3.1.9 Azo boyalar	8
2.3.1.10 Antrokinon boyalar.....	8
2.3.1.11 İndigo boyalar	8
2.3.1.12 Nitro ve nitroso boyalar.....	8
2.3.1.13 Ftalosiyanın boyalar	9
2.4 Atıksu Arıtım Yöntemleri.....	9
2.4.1 Fiziksel arıtım yöntemleri.....	10
2.4.1.1 Adsorpsiyon	10
2.4.1.2 Koagülasyon-flokülasyon	10
2.4.1.3 Membran filtrasyon	11

2.4.1.4 İyon değişimi.....	11
2.4.2 Kimyasal arıtım yöntemleri	11
2.4.2.1 Oksidasyon.....	12
2.4.2.2 Ozonlama	12
2.4.2.3 Kimyasal flokleştirme ve çöktürme	12
2.4.2.4 Fotokimyasal.....	12
2.4.2.5 Elektrokimyasal	13
2.4.3 Biyolojik arıtım yöntemleri	13
2.4.3.1 Aerobik arıtım	13
2.4.3.2 Anaerobik arıtım.....	14
2.4.3.3 Biyodegradasyon	14
2.4.3.4 Biyosorpsiyon	4
2.4.3.5 Biyoakümülyasyon	15
2.5 Tekstil Atıksularının Arıtımında Kullanılan Mikroorganizmalar	15
2.5.1 Tekstil atıksularının arıtımında fungusların kullanımı	15
2.6 Funguslar	15
2.6.1 Microsporidia	16
2.6.2 Chytridiomycota.....	16
2.6.3 Zygomycota.....	16
2.6.4 Glomeromycota	16
2.6.5 Basidiomycota.....	17
2.6.6 Ascomycota	17
2.7 Boyaların Arıtımında Funguslarla Yapılan Biyogiderim Çalışmaları	17
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	20
3.1 Materyal	20
3.1.1 Mikroorganizma kaynağı	20
3.1.2 Deneylerde kullanılan boyalar ve özellikleri	20
3.2 Yöntem	20
3.2.1 Boya solüsyonlarının hazırlanması.....	21
3.2.2 Melash besiyerinin hazırlanması	21
3.2.3 En yüksek kapasitede boya gideren fungus seçimi	21
3.2.4 Boya seçimi	22
3.2.5 Başlangıç pH değerinin biyogiderime etkisi	22

3.2.6 Başlangıç boya konsantrasyonunun biyogiderime giderime etkisi	23
3.2.7 Artan inokülüm miktarının biyogiderime etkisi	23
3.2.8 Artan Boya konsantrasyonların ve artan inokülüm miktarının maksimum spesifik boya alımına etkisi	23
3.3 Analiz Yöntemleri	24
3.3.1 Spektrofotometrik analiz.....	24
3.3.2 Kuru ağırlığın belirlenmesi	24
3.3.3 Sonuçların değerlendirilmesinde kullanılan formüller	25
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	26
4.1 Fungus Seçimi.....	26
4.2 Boya Seçimi.....	28
4.3 Başlangıç pH Değerinin Biyogiderime Etkisi	30
4.4 Artan Boya Konsantrasyonlarının Biyogiderime Etkisi	31
4.5 Artan İnokülüm Miktarının Biyogiderime Etkisi.....	33
4.6 Artan Boya Konsantrasyonu, Artan İnokülüm Miktarının Mikrobiyal Gelişime Etkisi.....	48
4.7 Gram Başına Düşen Maksimum Spesifik Boya alım (qm) Tabloları.....	40
5.TARTIŞMA VE SONUÇ.....	45
5.1 Fungus ve Boya Seçimi	47
5.2 Başlangıç pH Değerinin Biyogiderime Etkisi	50
5.3 Artan Boya Konsantrasyonlarının Biyogiderime Etkisi	52
5.4 Artan İnokülüm Miktarının Biyogiderime Etkisi.....	55
5.5 Artan Boya Konsantrasyonlarının ve Artan İnokülüm Miktarının Mikrobiyal Gelişim, Maksimum Spesifik Boya Alımına Etkisi.....	67
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ.....	68

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	Amonyum sülfat
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	Alüminyum sülfat
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Kalsiyum klorür dihidrat
FeCl_3	Demir (III) klorür
FeSO_4	Demir (II) sülfat
HCl	Hidroklorik asit
KH_2PO_4	Mono potasyum fosfat
MgSO_4	Magnezyum sülfat
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Magnezyum sülfat heptahidrat
NaCl	Sodyum klorür
NaOH	Sodyum hidroksit
NH_4Cl	Amonyum klorür
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	Amonyum dihidrojen fosfat
NH_4NO_3	Amonyum nitrat
BBR	Brillant Blue R
RBBR	Remazol Brilliant Blue R
RB5	Reactive Black 5
RO14	Reactive Orange 14
RR120	Reactive Red 120
C_0	Başlangıç boya miktarı (mg/L)
C_{ad}	Mikroorganizma tarafından ortamdan uzaklaştırılan boya miktarı(mg/L)
COD	Kimyasal oksijen ihtiyacı
dk	Dakika
g	Gram
L	Litre
mg	Miligram
nm	nanometre
PAH	Polisiklik aromatik hidrokarbon
ppm	Binde bir konsantrasyon
qm	Maksimum spesifik boya alımı (mg/g)
rpm	Dakikada devir
T	Sıcaklık
TDS	Toplam çözünmüş katı maddeler
v	Hacim
w	Ağırlık
X_m	Mikroorganizmaların kuru ağırlığı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1 2, 3 numaralı fungal izolatlar ve <i>A. tubingensis</i> ile yapılan pH çalışmasında biyogiderim oranları	30
Şekil 4.2 2 numaralı fungal izolat ile RB5 boyasının artan konsantrasyonlarında inokülüm miktarının üçüncü günde biyogiderime etkisi	35
Şekil 4.3 3 numaralı fungal izolat ile BBR boyasının artan konsantrasyonlarında inokülüm miktarının üçüncü günde biyogiderime etkisi	36
Şekil 4.4 <i>A. tubingensis</i> ile RR120 boyasının artan konsantrasyonlarında inokülüm miktarının üçüncü günde biyogiderime etkisi	37
Şekil 4.5 RB5' in 2 numaralı fungal izolat ile yapılan biyogiderim çalışmasında, artan boya konsantrasyonlarına ve inokülüm miktarına bağlı olarak besiyerlerindeki mikrobiyal gelişim miktarları	38
Şekil 4.6 BBR' in 3 numaralı fungal izolat ile yapılan biyogiderim çalışmasında, artan boya konsantrasyonlarına ve inokülüm miktarına bağlı olarak besiyerlerindeki mikrobiyal gelişim miktarları	39
Şekil 4.7 RR120' nin <i>A. tubingensis</i> ile yapılan biyogiderim çalışmasında, artan boya konsantrasyonlarına ve inokülüm miktarına bağlı olarak besiyerlerindeki mikrobiyal gelişim miktarları	40

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Boyaların sınıflandırılması	5
Çizelge 3.1 Çalışmalarda kullanılan boyalar	20
Çizelge 4.1 Fungusların RBBR boyasını biyogiderim yüzdeleri	27
Çizelge 4.2 2 numaralı fungal izolat ve RB5, RR120, RO14, BBR, RBBR boyaları ile yapılan çalışmada biyogiderim yüzdeleri	28
Çizelge 4.3 3 numaralı fungal izolat ve RB5, RR120, RO14, BBR, RBBR boyaları ile yapılan çalışmada biyogiderim yüzdeleri	29
Çizelge 4.4 A. tubingensis ve RB5, RR120, RO14, BBR, RBBR boyaları ile yapılan çalışmada biyogiderim yüzdeleri	29
Çizelge 4.5 2 numaralı fungal izolat ile RB5 boyasının artan konsantrasyonunun biyogiderime etkisi	31
Çizelge 4.6 3 numaralı fungal izolat ile BBR boyasının artan konsantrasyonunun biyogiderime etkisi	32
Çizelge 4.7 A. tubingensis ile RR120 boyasının artan konsantrasyonunun biyogiderime etkisi	32
Çizelge 4.8 2 numaralı fungal izolat ile RB5 boyasının artan konsantrasyonlarında inokülüm miktarının biyogiderime etkisi	33
Çizelge 4.9 3 numaralı fungal izolat ile BBR boyasının artan konsantrasyonlarında inokülüm miktarının biyogiderime etkisi	34
Çizelge 4.10 A. tubingensis ile RR120 boyasının artan konsantrasyonlarında inokülüm miktarının biyogiderime etkisi	34
Çizelge 4.11 RB5' in 2 numaralı fungal izolat ile yapılan biyogiderim çalışmalarında, gram başına düşen maksimum spesifik boya alım değerleri	41
Çizelge 4.12 BBR' in 3 numaralı fungal izolat ile yapılan biyogiderim çalışmalarında, gram başına düşen maksimum spesifik boya alım değerleri	42
Çizelge 4.13 RR120' nin A. tubingensis ile yapılan biyogiderim çalışmalarında, başına düşen maksimum spesifik boya alım değerleri	43

1. GİRİŞ

Son yıllarda yaşanan endüstriyel gelişmeler sonucunda çevrede olumsuz değişiklikler meydana gelmektedir. Tekstil endüstrisi gibi pek çok endüstrinin, ürünlerini renklendirmek amacıyla boyaları kullanması, çevrede organik içerikli atıksuların oluşmasına neden olmaktadır. Boyaların atıksulara salınması sebebiyle yaşamsal faaliyetler için bu suları kullanan kişiler etkilenebilmektedir. Boyalar kanserojen etkiye sebep olmalarının yanı sıra böbreklerin işlev bozukluğu, beyin ve merkezi sinir sistemi gibi oldukça ciddi hasarlara neden olmaktadır (Adagoke vd. 2015).

Renk görünebilen bir kirliliktir ve su kaynaklarının toksik olarak renklenmesi su kaynaklarını kabul edilemez kılmaktadır. Bu kirliliğin kaynağı doğal boyalara göre sentetik boyaların kullanım kolaylıkları, ucuz maliyetleri ve renk çeşitlilikleri sebebiyle kullanılmalarından kaynaklanmaktadır (Aksu 2010).

Boyalar yaygın olarak gıda, ilaç, kozmetik, baskı, tekstil ve deri endüstrilerinde kullanılmaktadırlar. Tekstil endüstrisinde dünya çapında, sentetik boyaların kullanımında yıllar içerisinde büyük bir artış yaşanmıştır. Bu artış sentetik boyaların çevreye salınmasıyla fauna ve flora karşı büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Çevrede bulunan boyar maddelerin bilinen birçok kimyasal ve fiziksel yöntemle renklerinin giderilmesi ya da bozunumları her zaman zordur (Bankole vd. 2018).

Tekstil atıksularından boyaların uzaklaştırılması için fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılmaktadır. Fiziksel ve kimyasal yöntemlerin yüksek maliyeti, sınırlı oluşu, diğer su bileşenlerinin karışması, oluşan atıklar sebebiyle dezavantajlıdır. Bu sebeplerle mikroorganizmalarla yapılan tekstil atıksularının arıtımı oldukça dikkat çekmektedir (Kaushik vd. 2009).

Biyolojik arıtım düşük maliyetli ve çevre dostu olması sebebiyle oldukça avantajlıdır ve biyolojik arıtımın yapılan çalışmalarla büyük bir potansiyeli olduğu anlaşılmıştır. (Senthilkumar vd. 2014).

Funguslar, organik maddelerin parçalanması, gıda, tıbbi amaç, endüstriyel ürünlerin oluşturulması, enzim üretimi gibi pek çok alanda kullanılmaktadırlar (Akkara vd. 2014).

Bu tez çalışmasında kullanılan funguslar gibi birçok fungus türünün de atıksulardan boya gideriminde kullanılabilmesi mümkündür. Fungusların biyolojik arıtımda kullanımını ekonomik ve aynı zamanda oldukça çevre dostu bir yaklaşımdır.

Biyolojik arıtım yöntemlerinden birisi olan biyoakümülyasyon, kirleticilerin metabolik yollarla aktif olarak büyüyen hücreler içerisinde birikmesi olarak tanımlanabilmektedir (Sandhya vd. 2010).

Tez çalışmasında, biyogiderim kapasiteleri araştırılan, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Biyoteknoloji Araştırma Laboratuvarı kültür koleksiyonunda bulunan fungal izolatlar mikroorganizma kaynağı olarak kullanılmıştır. Tekstil endüstrisinde kullanılan, farklı kimyasal yapıya sahip Reactive Red 120, Reactive Black 5, Brilliant Blue R, Remazol Brilliant Blue, Reactive Orange 14 boyları biyogiderim çalışmalarında kullanılmıştır. Fungusların biyogideriminde artan boya konsantrasyonlarının etkisi, artan inokülüm miktarının etkisi, başlangıç pH değeri gibi parametreler optimize edilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Kirlilik

İnsanların ve diğer canlıların büyümesi ve devamlılığı çevrenin kalitesine bağlıdır ve günümüzde gelişmekte olan dünyada çevre kirliliği en önemli sorunlardandır. Çevresel kirlilik sadece sağlığa zararlı değil, aynı zamanda tüm popülasyonlara tehdit oluşturmaktadır. Artan nüfus, sanayileşme, tarımsal faaliyetler ve diğer çevresel değişimler gün geçtikçe çevremizin kalitesi kötüleştirmektedir. Çevrede bulunan toksik kimyasallar tüm canlılar için ortak bir tehdit oluşturmaktadır. Kirleticiler ortamda katı, sıvı ve gaz olarak bulunabilmektedirler. Genel olarak kirleticiler kimyasal ve biyolojik olarak sınıflandırılmaktadırlar. Biyolojik kirleticiler toksik olan mikroorganizmaları kapsarken, Kimyasal kirleticiler organik ve inorganik olmak üzere sınıflara ayrılmaktadır. Organik kirleticiler arasında, boyalar, pestisitler, fenoller ve polinükleer aromatik hidrokarbonlar yer almaktadır. Toksik inorganik kirleticiler ise metal iyonları ve bunların komplekslerinden oluşmaktadır. Bu kirleticiler toksik olmaları sebebiyle doğada kanserojen olarak kabul edilmektedirler. Çevresel kirleticilerin çoğu insan vücuduna su ve gıda maddeleri yoluyla girmektedirler. Bu sebeple kirleticilerin çeşitli amaçla kullanımlarından önce mutlaka sudaki konsantrasyonları belirlenmelidir (Imran vd. 2004).

2.2 Su Kirliliği

Su, bir yaşam kaynağıdır ve doğal kaynakların en önemli kaynağı kabul edilmektedir. Su kaynakları insan veya endüstriyel faaliyetler sebebiyle kirlenmekte ve kullanılamaz hale gelmektedir. Dünya çapında artan kimyasal kirlilik sebebiyle su kaynaklarının kirlenmesi, temel çevresel sorunlardan birisidir. Dünya nüfusunun ve sanayileşmenin hızla artmasıyla ağır metaller, boyalar, ilaçlar, pestisitler su kaynaklarına karışmaktadırlar (Reddy vd. 2012).

Tekstil endüstrileri, farklı boyalar içeren yüksek hacimli atıksu üretmektedir. Bu bileşikler yalnızca atıksuları kitletmekle kalmamakta, aynı zamanda kimyasal oksijen

ihtiyacı (COD) konsantrasyonunu, izin verilen sınırların ötesinde arttırmaktadır (Cotillas vd. 2018).

Tekstil endüstrileri tarafından açığa çıkan atıksu, küresel bir su kirliliği oluşturmaktadır. Renklerinin yanı sıra bazı boyalar ve bunların bozunma ürünlerinin kanserojen olduğu bilinmektedir ve parçalanmaları çok uzun sürmektedir. Bu nedenle boya içeren atıksuların su ortamındaki etkilerinin azaltılması oldukça gereklidir (Ito vd. 2018).

2.3 Boyalar

Sentetik boyalar deri, tekstil ve kağıt endüstrisi gibi çeşitli yerlerde renk verme özelliklerinden dolayı kullanılmaktadır. Her yıl 100.000 ticari boyadan 700.000 ton farklı boya üretildiği düşünülmektedir. Tüm sentetik boyalar tehlikeli bir yapıya sahiptirler. Bu nedenler sentetik boyaların su kaynaklarına karışacak şekilde çevreye girmelerine kesinlikle izin verilmemelidir (Katheresan vd. 2018).

Boyalar genellikle amaca hizmet etmeleri sebebiyle çevredeki su kütlelerine dikkatsizce atılmaktadır. Tekstil endüstrisi (% 54) dünyanın dört bir yanında çevrede bulunan boya atıkların yarısından fazlasını oluşturmaktadır. Boyama endüstrisi (% 21), kağıt ve hamur endüstrisi (% 10), tabakhane ve boya endüstrisi (% 8) ve boya imalat sanayinin de (% 7) ile yüksek miktarda boya atığı ürettiği bilinmektedir (De Gisi vd. 2016).

Boya kullanılan diğer endüstriler arasında, tekstil endüstrisinin, dünya çapında yılda 10.000 ton kadar en yüksek miktarda boya maddesi kullandığı söylenmektedir. Tekstil endüstrisindeki boya maddelerinin yüksek oranda kullanılması, çok miktarda boya atıksuyunun oluşmasına neden olmaktadır. Boya atıksuları çok sayıda tehlikeli kimyasal madde içermektedir. Boya atıkları doğa için zehirli olmaları sebebiyle insan ve hayvanların yaşamlarını tehlikeye sokabilmektedir. Su kaynakları günlük aktiviteler, insanlar ve hayvanlar için gereklidir. Su kaynaklarında boya atıklarının varlığı kabul edilememektedir. Günümüzde boya moleküllerinin su kaynaklarından uzaklaştırılması çevresel bir sorun olmaktadır. Boya atıksularının geri kazanım teknikleri, yakın

zamanda iyi bir çözüm bulunmadığı takdirde temiz su kaynaklarının hızla tükeneceği düşüncesiyle ilgi çekici bi konu haline gelmiştir (Katheresan vd. 2018).

2.3.1 Boyaların sınıflandırılması

Bilinen ilk sentetik boya (Mauveine) 1856 yılında Perkin tarafından keşfedilmiştir. Pek çok sentetik boya türü vardır. Boyalar kimyasal yapılarına göre, uygulama alanlarına göre sınıflandırılabilir. Boyaların kimyasal yapılarını ele almadan önce uygulama alanlarına göre sınıflandırmak daha avantajlı olmaktadır. Boyalar uygulama alanlarına göre; asidik, bazik, direkt, dispers, solvent, sülfür, reaktif, vat olarak ayrılmaktadırlar (Hunger 2003).

Boyanın kimyasal sınıflandırılmalarında, karakteristik özelliklerine göre kolayca tanımlanmaktadırlar. Örneğin azo boyalar güçlü, düşük maliyeti ve çok yönlü iken, antrakinon boyalar ise zayıf ve yüksek maliyetlidir. Kimyasal yapılarına göre boyalar; azo, antrakinon, indigo, nitro, nitroazo ve ftalosiyenin olarak ayrılmaktadır (Yagub vd. 2014).

Çizelge 2.1 Boyaların sınıflandırılması (Hunger 2003).

Uygulama Alanlarına Göre	Kimyasal Özelliklerine Göre
Asidik	Azo
Bazik	Antrokinon
Direkt	İndigo
Dispers	Nitro ve Nitroazo
Solvent	Ftalosiyenin
Sülfür	
Reaktif	
Vat	

2.3.1.1 Asidik boyalar

Asidik boyaları anyoniktir,suda çözünebilirler. Protonize - NH₂ elyaf grubu ile boya asit grubu arasında iyonik bağ oluşturmaktadırlar. Bu boyalar genellikle yün, ipek ve az da olsa mürekkep püskürtmeli baskıda, gıda ve kozmetik ürünlerinde de kullanılmaktadır (Chakraborty 2014).

2.3.1.2 Bazik boyalar

Katyonik boyalardır. Genellikle naylon, polyester, ipek, yün, pamuk, kağıt, elyafların boyanmasında kullanılmaktadırlar. Bazik boyaların suda çözünmesi sebebiyle renkli katyonlarını suya bırakmaktadırlar. Bazı bazik boyalar biyolojik aktivite gösterir ve tıpta antiseptik olarak kullanılmaktadırlar (Vardar 2006).

2.3.1.3 Direkt boyalar

Direkt boyalar, suda çözünebilir boyalardır. Kullanımları oldukça kolay olmasına rağmen sadece pamuk, kağıt, deri, naylon gibi belirli yüzeylerde kullanılmaktadırlar (Burkinshaw 1995).

2.3.1.4 Dispersif boyalar

Suda çözünmeyen boyalardır. Düşük molekül ağırlıklı amino ve hidroksil grupları gibi bileşiklerden oluşmaktadırlar. Genellikle yüksek sıcak ve basınç yöntemleri ile uygulanmaktadırlar. Ağırlıklı olarak polyester, selüloz, selüloz asetat ve akrilik elyaflar üzerinde kullanılmaktadırlar (Mustafa vd. 2014).

2.3.1.5 Solvent boyalar

Solvent boyalar, suda çözünmeyen fakat çözücüyle çözünebilir boyalardır. Karboksilik asit veya kuaterner amonyum gibi çözündürücü gruplardan yoksundurlar. Plastik, benzin, yağ ve balmumu renklendirmek için kullanılmaktadırlar (Hunger 2003).

2.3.1.6 Sülfür boyalar

Sülfür boyalar, küçük bir boya grubudur. Genellikle koyu renk tonları, düşük maliyetli ve iyi yıkama özelliklerine sahip olmaları bu boyaları ekonomik olarak kullanılabilir kılmaktadır fakat oldukça sınırlı ipek, kağıt ve bazı deri ürünlerinde kullanılabilmelei bu boyaların kullanımlarını sınırlamaktadır (Shore 1995).

2.3.1.7 Reaktif boyalar

Reaktif boyalar kumaştaki aktif kısımlar ile kovalent bağ yapabilme özelliği bulunduran, hidroksil, amino hidroksil grupları, amino grupları gibi sahip fonksiyonel gruplar bulundurmaktadır. Basit ve uygulanabilir özelliktedirler ve uygun koşullar oluşturulduğunda uzun yıllar kullanılabilir özellikleri vardır (Ölmez 1999).

Reaktif boyalar, yüksek ısıl işleme dayanıklı olmaları sebebiyle tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Selüloz ile reaksiyona girebilmekte ve kovalent bağ oluşturabilmektedirler. Bazı özel renkler elde etmek için kırmızı, sarı, mavi renkte reaktif boyalar karıştırılarak kullanılmaktadır. (Zhang vd.2018).

Reaktif boyalar ilk olarak 1956 yılında piyasa sürülmüşlerdir. Basit boyama yöntemleri ile son derece yüksek yıkama özelliğine sahiptirler. Reaktif boyaların kimyasal yapıları basit, boyamaları daha parlaktır. Özellikle tekstil ürünlerinin mürekkep püskürtmeli baskılarında yüksek saflıkta reaktif boyalar kullanılmaktadırlar (Hunger 2003).

2.3.1.8 Vat boyalar

Bu boyalar pamuk ve diğer selüloz elyaflarını renklendirmek için yıllardır kullanılmaktadır. Yüksek maliyetlerine ve yumuşak renklerine rağmen, bu boyalar bazı tekstillerde üstün dayanıklılıklarından dolayı son derece önemlidir. Son yıllarda pek çok yeni vat boyası geliştirilmiştir (Benkhaya vd. 2005).

2.3.1.9 Azo boyalar

Azo Boyalar; tekstil boyalarının uygulanmasın % 60-70' ini içermektedirler ve yapılarında bir veya daha fazla azo bağının ($-N=N-$) bulunmasıyla karakterize edilmektedirler. Azo boyaların çoğunluğu ksenobiyotik ve doğada kanserojen olması sebebiyle oldukça tehlikelidir (Sinha vd. 2018).

2.3.1.10 Antrokinon boyalar

Organik çözücülerde çözünen basit bir yapıya sahiptirler. Kumaşlarda, benzin, yağ, plastiklerin renklendirilmesinde kullanılmaktadırlar Parlak renk sağlaması sebebiyle tercih edilmektedirler (Shah vd. 2013).

2.3.1.11 İndigo boyalar

Bilinen en eski boyalardır. Yaklaşık 5000 yıldır yün, keten, pamuk gibi tekstil ürünlerinin boyanmasında kullanılmışlardır. Günümüzde sadece neredeyse kot pantolon ve ceketleri boyamak için karakteristik indigo mavisi kullanılmaktadır (Bankole vd 2017).

2.3.1.12 Nitro ve nitroso boyalar

Bu boyalar küçük moleküler yapılar için ilgi çekici olmakta ve az ticari öneme sahiptirler. Yün, ipek gibi doğal hayvansal liflerin boyanmasında kullanılmaktadırlar (Bartosova vd. 2017).

2.3.1.13 Ftalosiyanın boyalar

Suda çözünebilmektedirler ve başka hiçbir boya kategorisinde bulunmayan parlak turkuaz ve yeşil tonlarını vermektedirler (Wöhrle vd. 2017).

2.4 Atıksu Arıtım Yöntemleri

Su kirliliği küresel bir sorundur ve su kütlelerinde ve çevrede bulunan karbonlu ve besin bileşiklerinin kirlenmesini önlemek için atıksuların mutlaka arıtılması gerekmektedir. Çevre koruma ajansı EPA'ya göre, toplam enerji kullanımının yaklaşık % 3 - 4' ü su arıtmada kullanılmaktadır (Otondo vd. 2018).

Tekstil endüstrisinden elde edilen atıksular genellikle renkli, kimyasal oksijen ihtiyacı (COD), kompleks kimyasallar, inorganik tuzlar, toplam çözünmüş katılar (TDS), pH, sıcaklık, bulanıklık ve tuzluluk açısından oldukça yoğundur (Lafi vd. 2018).

İnsan faaliyetleri, artan kentleşme ve nüfus, doğal kaynakların ayırım olmaksızın kullanımı ekosistemde dengesizliklere ve kirlilik oranının artmasına neden olmaktadır. Yüksek miktarda organik içerikli toksik madde içeren atıksuların oluşumu, tüketimin fazla olduğunu göstermektedir. Çevredeki bu durumun azaltılması için kaynaklarımızın verimli kullanımı ve atıkların arıtılması ile mümkün olmaktadır. Bu sebeple atıkların olumsuz etkilerini en aza indirebilmek ve potansiyel olarak geri kazanımları için farklı atık arıtma teknolojileri geliştirilmiştir. Arıtma teknolojileri fiziksel, kimyasal, biyolojik olmak üzere 3'e ayrılmaktadır. Ancak, biyolojik arıtma yöntemi; ekonomik, atık stabilizasyonu ve kaynak geri kazanımı ile en değerli olan olarak kabul edilmektedir (Zia vd. 2013).

Boyaları gidermek için kullanılan yöntemlerden olan kimyasal yöntemler güçlü oksitleyici ajanlar kullanan ya da ileri oksidasyon teknikleri olan fotokimyasal ve elektrokimyasal oksidasyon proseslerini içermektedir. Ancak bu yöntemler bazı boyalara karşı verimsizlik ve oldukça yüksek maliyetler içermektedir. Fiziksel yöntemler ise yüksek miktarda çamur, düşük etkinlik ve yüksek maliyete sahiptirler. Biyolojik yöntemler ise oldukça ucuz, çerveye zarar vermeyen, çok çeşitli boyalara uygulananabilen bir yöntemdir (Paz vd. 2017).

2.4.1 Fiziksel arıtım yöntemleri

Fiziksel yöntemler koagülasyon, flokülasyon, filtrasyon, adsorpsiyon gibi prosedürlere dayanmaktadır. Koagülasyon, flokülasyon temelli fiziksel yöntemler, dispers boya içeren atıksuların renk giderimi için uygundur fakat reaktif ve vat boyaları içeren atıksular için düşük giderim verimliliğine sahiptirler. Fiziksel arıtım yöntemleri düşük dekolorizasyon verimi ve ortaya çıkan çamur fazlalığından dolayı kullanımları oldukça sınırlı olmaktadır (Rauf vd. 2012).

2.4.1.1 Adsorpsiyon

Absorpsiyon terimi, bir maddenin iki faz arasında (sıvı-katı ya da gaz-katı) birikimini ifade etmektedir. Adsorpsiyon; kimyasal ve fiziksel olarak sınıflandırılabilir. Kimyasal adsorpsiyon, genel olarak elektronların değişmesinden dolayı adsorban molekülleri veya adsorbat iyonları arasında güçlü kimyasal ilişkilerin oluşmasıyla gerçekleşmektedir (Yagub vd. 2014).

Çeşitli boyaları içeren atıksular için ilgi çekicidir fakat adsorban seçiminde dikkatli olunmalıdır. Aktif karbon geniş boya kullanımı için etkili bir adsorban olmasına karşın yüksek fiyatı ve rejenerasyonundaki zorluk sebebiyle kullanımı sınırlıdır. Ekonomik olarak ve uygulanabilir bir adsorpsiyon yöntemi için, bazı araştırmacılar turba, bentonit kili, uçucu kül ve polimerik reçineler gibi düşük maliyetli bir adsorban malzeme kullanmışlardır (Holkar vd. 2016).

2.4.1.2 Koagülasyon-flokülasyon

Bazı kimyasallar atıksularda hızla dağılır, basılı duran partiküllerin özelliklerini değiştirebilir ve böylece hızlı bir şekilde batan flokları birleştirir, oluştururlar. Bu sürece koagülasyon denilmektedir. Negatif yüklü kolloidal süspansiyonlar fiziksel işlem sırasında normal olarak yerlerine yerleşemezler ve çıkarılamazlar. Koagülasyon yöntemi uygulandığında bu durum basit bir hale gelmektedir. Koagülasyon, parçacıklar arasındaki elektrokinetik itmeyi azaltan pozitif iyonların eklenmesiyle

gerçekleştirilebilmektedir. Koagülasyon, sistemin kimyasallarından, pH'ından ve sıcaklığından etkilenmektedir (Nguyen vd. 2013).

2.4.1.3 Membran filtrasyon

Bu yöntem membran bazlı boyaların ayrılması için kullanılmaktadır. Az yer kaplamakta ve kurulumu oldukça kolaydır. Boya moleküllerinin geçirgenliği membran boyunca yüksek basınçta ilerlemektedir. Bu işlem kısmi basınç farkı ile yönetilmektedir. Boya moleküllerinin nüfuz etmesini kolaylaştırmak için birçok yeni membran geliştirilmiştir. Bu yöntem umut vericidir fakat büyük sermaye yatırımı ve membran tıkanması, membranların büyük miktardaki boyaları işleyememesi, gibi problemleri ticarileşmesini engellemekte ve daha fazla araştırma ve geliştirme gerekmektedir (Vikrant vd. 2018).

2.4.1.4 İyon değişimi

Bu yöntemde yüklü boyalar ve iyon değiştirme reçineleri üzerindeki fonksiyonel gruplar arasındaki güçlü etkileşimler sayesinde boyaları sulu çözeltiden ayırabilen bir yöntemdir (Ahmad vd. 2014).

İyon değişimi yöntemi, yüksek maliyeti ve kullanılabilecekleri boya spektrumunun dar olması sebebiyle henüz yaygın kullanılmamaktadır (Vikrant vd. 2018).

2.4.2 Kimyasal arıtım yöntemleri

Kimyasal madde eklenerek kimyasal reaksiyon oluşturmak suretiyle yapılan arıtım yöntemidir. Kimyasal arıtım yöntemleri genellikle pahalıdır ve konsantre çamur birikimi çevresel bir problem oluşturmaktadır. Ayrıca aşırı kimyasal birikimi sebebiyle ikincil bir problemin ortaya çıkması ihtimali de oluşmaktadır. Son zamanlarda, hidroksil radikalleri gibi pek çok güçlü oksitleyici ajanların üretimine dayanan oksidasyon işlemleri olarak bilinen teknikler kirleticilerin bozunmasını sağlamıştır. Bu yöntemler kirlenmiş suların arıtımı için etkili olsa da çok maliyetli olmaları, yüksek enerji talepleri

ve kimyasal reaktiflerin fazla kullanılması sebebiyle hem çevresel hem de ticari olarak çekici gelmemektedir (Crini 2006).

2.4.2.1 Oksidasyon

Oksidasyon, atıksuların arıtılmasında oksitleyici maddelerin klor, hidrojen peroksit kullanılarak UV destekli olarak gerçekleştirilmektedir. Oksidasyon sonucu boya molekülündeki aromatik halka kırılarak giderim yapılır ve uygulanması oldukça basittir (Ahmad vd. 2014).

2.4.2.2 Ozonlama

Ozonlama tekniğinde ozonun güçlü oksidatif etkisi ile hızlıca OH, O₂ gibi serbest radikallere dönüşmektedir ve bu yöntemde serbest radikallerin boyalarla etkileşime girmesiyle gerçekleştirilmektedir (Ahmad vd. 2014).

2.4.2.3 Kimyasal flokleştirme ve çöktürme

Atıksuya eklenen kimyasal maddeler yardımıyla yapılan arıtım yöntemidir. Flokleştirme ile çözünmüş maddeler, kolloidler giderilmektedir. Kullanılan kimyasallara Al₂(SO₄)₃, FeCl₃, FeSO₄ ve kireç örnek verilebilir (Kocaer 2002).

2.4.2.4 Fotokimyasal

Boya moleküllerinin, hidrojen peroksit varlığında UV radyasyonu ile CO₂ ve H₂O dönüştürülmesi işlemidir. Parçalanma yüksek konsantrasyonlardaki hidroksil radikallerinin oluşmasıyla meydana gelmektedir. Böylelikle boyar maddelerin kimyasal oksidasyonu gerçekleştirilmektedir (Kocaer 2002).

2.4.2.5 Elektrokimyasal

Bu yöntemde; reaktör, anot, katot, iletken elektrolit ve güç kaynağından oluşmaktadır. Anotta yük reaktif türlerden elektroda geçerek oksidasyonu arttırırken, katotta ise yük reaksiyona giren türlere geçerek oksidasyon durumunda azalmaya neden olmaktadır. Oksidasyon süresi bileşiklerin kararlılığına, konsantrasyonuna, sıcaklığa, pH' a, anotun büyüklüğüne ve uygulanan akıma bağlıdır (Vlyssides vd. 1999).

2.4.3 Biyolojik arıtım yöntemleri

Biyolojik arıtım yöntemlerinde bakteri, fungus, maya, mikroalg, bitkilerin yaşayan/ölü biyokütleleri kullanılabilmektedir (Paz vd. 2017).

Biyolojik arıtımın temel ilkesi hidrokarbonlar, yağ, ağır metal, böcek ilacı, boya vb. kirletici maddelerin enzimatik bir şekilde parçalanması ve geri dönüştürülmesidir. Kirleticilerin kimyasal yapısı, konsantrasyonları, çevrenin fizikokimyasal yapısı gibi faktörlere bağlıdır. Biyolojik arıtım işlemlerin kontrolü çevre koşulların (toprak tipi, sıcaklık, pH, oksijen, besinlerin varlığı) optimizasyonu sebebiyle karmaşık bir sistemdir (Abatenh vd. 2017).

Biyolojik arıtma tekniklerinin fiziksel ve kimyasal arıtmaya göre ekonomik oluşu, arıtma verimliliği, daha az çamur oluşumu sebebiyle tercih edilmektedir (Suresh vd. 2018).

2.4.3.1 Aerobik arıtım

Aerobik arıtma işlemi organik kirleticiler asimile etmek için moleküler ya da serbest oksijen (O_2) varlığında gerçekleşmektedir. Mikroorganizmalar kirlilik yaratan maddeleri yan ürünlere dönüştürmektedir (David 2016).

2.4.3.2 Anaerobik arıtım

Oksijenin olmadığı ortamlarda gerçekleşmektedir. Aktif çamur sistemleri ile karşılaştırıldığında enerji tüketimi önlenmektedir. Anaerobik işlemlerde atıksudaki besinler yeniden kullanım ve kazanım için korunabilmektedir. Böylece enerji ve ekonomik olarak faydaları vardır (Syed vd. 2019).

2.4.3.3 Biyodegradasyon

Mikroorganizmaların organik kirleticileri daha az zararlı hale getirmek için metabolik olarak dönüştürmesidir. Biyodegradasyon, oksijen, besin, pH, kirlilik yoğunluğu, kirlenmiş çevrenin geçmişi gibi faktörlerden etkilenmektedir (Margesin vd. 2001).

2.4.3.4 Biyosorpsiyon

Biyosorpsiyon, metal, boya gibi organik ve inorganik kirleticilerin ölü biyokütle yardımıyla sulu çözeltilerden uzaklaştırılmasıdır. Biyokütle olarak bakteri, fungus, alg kullanılabilir (Aksu 2010).

2.4.3.5 Biyoakümüülasyon

Biyoakümüülasyon, kirleticilerin aktif büyüyen hücreler tarafından hücrenin içerisinde birikmesidir. Biyoakümüülasyon ortamda yeterince karbon ve azotun bulunması durumunda tekstil boyalarının uzaklaştırılması için kullanılabilir (Aksu 2003).

Bakteri, fungus ve alglerin çoğu boyarmaddeleri biyolojik olarak biriktirme veya giderme yeteneğine sahiptirler (Okur vd. 2014).

Son yıllarda, canlı biyokütlenin, boyaların biyogiderim için kullanılması ile ilgili pek çok çalışma yayınlanmıştır. Biyogiderim çalışmalarını farklı fizikokimyasal koşullar pH, sıcaklık, çalkalama hızı, karbon ve azot kaynağı, boya tipi ve konsantrasyon gibi etmenlerin etkilediği belirlenmektedir (Taskin vd. 2010).

2.5 Tekstil Atıksularının Artımında Kullanılan Mikroorganizmalar

Atıksuların çevreye olan etkisi sebebiyle günümüzde tekstil atıksularının arıtımıyla ilgili çalışmalar yürütülmektedir. Bu yürülen çalışmalarda bakteriler, algler, mayalar ve funguslar kullanılmaktadır (Solis vd. 2012).

2.5.1 Tekstil atıksularının arıtımında fungusların kullanımları

Boyalar uygarlığımızın parçasıdır fakat tekstil endüstrisinden çevreye verilen atıksular kirliliğe neden olmaktadır. Boyalar genellikle aromatik ve heterosiklik bileşiklerdir. Toksik ve hatta kanserojendirler. Bu sebeple boyaların renklerinin giderilmesi ve parçalanması için yöntemler geliştirilmelidir (Vyas vd. 1995).

Biyolojik arıtımın boyaların renklerinin giderilmesi ve tekstil atıksularından uzaklaştırılması için daha ucuz ve çevre dostu bir alternatif sunmaktadır. Yapılan çalışmalarda bakteri, fungus ve mayaların renk giderimi yapabildikleri bilinmektedir (Chacko vd. 2011).

Tekstil atıksularının renklerinin funguslar ile giderilmesi, canlı hücrelerle biyolojik olarak parçalamak ve ölü hücrelerle boyaları adsorplayacak şekilde yaşamsal olarak sınıflandırılabilir (Miao 2004).

2.6 Funguslar

Funguslar, ökaryotik olup çoğu çok hücrelidir. Taksonomik olarak 4 sınıfa ayrılmaktadırlar. Bu sınıflar; Microsporidia, Chytridiomycota, Zygomycota, Glomeromycota, Basidiomycota, Ascomycota, olarak ayrılmaktadırlar (Taylor 2015).

2.6.1 Microsporidia

Zorunlu hücre içi parazitlerdir. Konak hücre dışında metabolik aktivasyon gösterememektedirler (Sancak vd. 2005).

2.6.2 Chytridiomycota

Bu sınıfı diğer sınıflardan ayıran en önemli özellik tek bir pürüzsüz flagelluma sahip olan zoospordur. Bu özellik, karasal bir yaşam tarzını benimseyen gruplarda kaybolan, fungusların ilkel bir özelliği olduğu düşünülmektedir. Yüzen zoosporları sayesinde yaşam döngüsünü su içerisinde geçirdiği görülmektedir. Yaklaşık 800 bin türü olduğu bilinmektedir (Carlile vd. 2001).

2.6.3 Zygomycota

Bu fungusların çoğu temel olarak toprakta yaşarlar ya da parçalanmış bitki ve hayvan kalıntıların üstünde yaşarlar. Hücre duvarları kitin, kitosan ve poliglukolik asitten oluşmaktadır (Deacon 2006).

2.6.4 Glomeromycota

Bilinen en eski fungus grubu olarak bilinmektedirler. Yaklaşık 400 milyon yıl öncesine dayanan fosil kayıtlarında rastlanabilmektedir. Bitkilerle birlikte mikoriza oluşturmaktadırlar (Carris vd. 2012).

2.6.5 Basidiomycota

Yaklaşık 30.000 tanımlanmış türün bulunduğu en büyük ikinci fungus sınıfıdır. Basidiomycota üyeleri, basidium denilen tipik bir topus şeklindeki yapı üzerinde basidiosporlar üretmektedirler (Carris vd. 2012).

2.6.6 Ascomycota

Bugüne kadar tarif edilen fungusların % 75' ini oluşturmaktadırlar. Fungus aleminin oldukça önemli bir sınıfını oluşturmaktadırlar. Bu sınıfın en önemli özelliği kese benzeri yapısı olan askuslardır. Askuslarda eşeyli spor üretmeleri bu sınıfa özgü bir özelliktir (Deacon 2006).

2.7 Boyaların Arıtımında Funguslarla Yapılan Biyogiderim Çalışmaları

Yesilada vd. (2003) yaptıkları çalışmada beyaz çürükçül fungusların pelletleri ile çeşitli boyaların (Astrazone Black, Astrazone Blue ve Astrazone Red) biyogiderimleri araştırılmıştır. Tüm fungal pelletlerin 24 saat içerisinde boyaların % 75' inden fazlasını giderebildikleri bulunmuştur.

Eichlerova vd. (2005) yaptıkları çalışmada RBBR boyasının biyogiderimini beyaz çürükçül fungusların (*Dichomitus squalens*, *Ischnoderma resinosum* ve *Pleurotus calyptratus*) ekim koşulları ve farklı ligninolitik enzim üretimine bağlı olarak biyogiderim oranlarının farklılıkları araştırılmıştır. Yüksek, orta ve düşük azot içeriği olan kültür ortamlarında statik ve çalkalamalı olarak yürütülen çalışmalarda, 500 mg/L konsantrasyona sahip RBBR boyası 5. günlük inkübasyonda % 96 giderim oranı bulunmuştur.

Srinivasan vd. (2009) yaptıkları çalışmada beyaz çürükçül bir fungus olan *Trametes versicolor* ile Reactive Orange 16 ve Reactive Red 35 boyalarının giderimi araştırılmıştır. En yüksek giderim RO16 için % 94.5 ve RR35 için % 90.7 bulunmuştur.

Ali vd. (2009) yaptıkları biyoremediasyon çalışmasında *Aspergillus flavus* ve *Alternaria solani* ile Malachite Green boyasının renk giderimi araştırılmıştır. 10 mg/L ve 50 mg/L arasında değişen boya konsantrasyonlarında her iki fungus 6 günlük inkübasyon süresi sonunda % 96' lara ulaşan renk giderimi bulunmuştur.

Xin vd. (2010) yaptıkları çalışmada *Penicillium oxalicum* fungusu ile Reactive Blue 21 boyasının biyogiderimi araştırılmıştır. 48 saatlik süre sonunda 400 mg/L konsantrasyondaki boyanın % 99.7' sinin giderildiği bulunmuştur.

Karaca vd. (2012) yaptıkları çalışmada *Aspergillus niveus* ve *Fusarium moniliforme* ile Blue 13 boyasının biyogiderimi araştırılmıştır. *Aspergillus niveus* için pH 3, 35°C ve 120-150 rpm de % 95 giderim bulunurken, *Fusarium moniliforme* için pH 7, 20°C ve 120 rpm de % 95 giderim elde edilmiştir. *Aspergillus niveus* için ölü ve canlı hücrelerle yapılan biyogiderim sonuçları yakın bulunmuştur. *Fusarium moniliforme* ölü hücrelerle biyogiderim yaklaşık %90 larda bulunurken canlı hücrelerle giderim % 75 bulunmuştur.

Ang vd. (2014) yaptıkları çalışmada *Pleurotus sajor-caju* 'dan saflaştırılan lakkaz enzimi ile *Trametes versicolor* ' ın ticarileştirilmiş lakkaz enzimi ile RBBR boyasının giderimi araştırılmıştır. 30 mg/L konsantrasyona sahip RBBR boyasını 0.0006 U/L enzim aktivitesine *P. sajor-caju* 'nın düşük enzim aktivitesi sayesinde gideremediği bulunmuştur. Bununla birlikte yaklaşık 12 kat arttırılan enzim aktivitesi ile (0.07 U/L) 24 saat içerisinde % 36' ya kadar RBBR boyasının giderildiği bulunmuştur. *Trametes versicolor* ile yapılan ve ticari lakkazın kullanıldığı çalışmada 0.1 U/L enzim aktivitesinde ise 24 saatlik inkübasyonun sonunda sadece % 25' lik giderim bulunmuştur.

El-Rahim vd. (2017) yaptıkları çalışmada 19 farklı azo boyasının, beş *Aspergillus* türü ve *Lichtheimia sp.* ile giderimleri araştırılmıştır. Tüm funguslar azo boyalarının dekolorizasyonunu sağlamıştır. En kolay giderilebilen boya Violet olmuştur. % 71.1'den %93.3'e kadar renk giderimi görülmüştür. Renk giderimi en dirençli olan boya ise Fast Green olmuştur.

Yang vd. (2016) yaptıkları çalışmada 7 farklı sentetik boyanın (Acid Blue 40, Reactive Red 11, Acid Blue 193, Acid Blue 62, Acid Blue 113, Reactive Blue 74, Acid Red 73), izole edilen 13 fungus ile renk giderimleri araştırılmıştır. En yüksek giderimin % 93.97 ile Acid blue 40 ve % 100 ile Reactive Red 11 olmuştur.

El-Rahim vd. (2017) yaptıkları çalışmada Red Azo boyasının *Aspergillus niger* ile biyogiderimi araştırılmış. pH 9 'da, 100 mg/L konsantrasyondaki Red Azo boyası 7 günlük inkübasyon süresi sonunda % 58.6 giderim elde edilmiştir.

Przystas vd. (2018) yaptıkları çalışmada farklı kimyasal yapılara sahip olan azo ve trifenilmetan boyalarının fungal biyokütle ile atıksulardan giderilmesi araştırılmıştır. İmmobilize edilmiş *Pleurotus ostreatus*, *Gleophyllum odoratum* ve *Polyporus picipes* fungus kullanılmış, farklı katı destelerle (Köpük, yıkayıcı, polistiren, çapraz ayırıcılar, fırça, ızgara, talaş) biyokütle immobilizasyonu test edilmiştir. En iyi gelişimin yıkayıcı, fırça, ızgara ve talaş yüzeyleri olduğu bulunmuştur. Brilliant Blue ve Evans Blue kullanılan çalışmada en iyi boya giderimi talaş yüzeyinde % 82.40 ve % 19.01 olarak bulunmuştur.

Afiya vd. (2019) yaptıkları çalışmada beyaz çürükçül funguslarının enzimatik olarak RBBR boyasının giderilmesi araştırılmıştır. *Coriolus versicolor* ve *Pleurotus Ostreatus* beyaz çürükçül funguslarla pH 2.5-6.5, sıcaklık 30°C-60°C, boya konsantrasyonu 10 mg/L-125 mg/L ve zaman olarak 0-480 dakika parametreleri denenmiştir. Elde edilen sonuçlarda optimum koşullar 480 dakikanın sonunda pH 4.0, 30°C, 20U enzim aktivitesi, 100 mg/L ve 50 mg /L boya konsantrasyonda bulunmuştur. Optimize edilen koşullar sonunda renk giderimi sırasıyla *C. versicolor* ve *P. ostreatus* için % 80.42 ve %70.42 bulunmuştur. En yüksek lakkaz aktivitesi *P. ostreatus*'a göre (1.41U) *C. versicolor*' da (19.50U) bulunmuştur.

Arunprasath vd. (2019) yaptıkları çalışmada katyonik bir boya olan Malachite green boyasının *Lasiodiplodia sp.* ile giderimi araştırılmıştır. *Lasiodiplodia sp.* Malachite green boyasını çok çeşitli sıcaklıklarda (20°C - 45°C) ve farklı pH (3–12) aralıklarında giderebilme kabiliyeti göstermiştir. Maksimum biyogiderimin % 96.9 ile 50 mg/L' lik boya konsantrasyonda, pH 7' de olduğu bulunmuştur.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Mikroorganizma kaynağı

Gerçekleştirilen tez çalışmasında boya giderim kapasiteleri araştırılan, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Biyoteknoloji Araştırma Laboratuvarı kültür koleksiyonunda bulunan fungal izolatlar mikroorganizma kaynağı olarak kullanılmıştır.

3.1.2 Deneylerde kullanılan boyalar ve özellikleri

Bu tez çalışmasında, Sigma Aldrich marka saf ve toz halde bulunan, Reactive Black 5, Reactive Red 120, Brilliant Blue R, Reactive Orange 14 ve Remazol Brilliant Blue R boyaları kullanılmıştır.

Çizelge 3.1 Çalışmada kullanılan boyalar

Kullanılan Boyalar	CAS numarası	Molekül Ağırlığı (g/L)	Kimyasal formülü
RB5	17095-24-8	991.82	$C_{26}H_{21}N_5Na_4O_{19}S_6$
RR120	61951-82-4	1469.98	$C_{44}H_{24}C_{12}N_{14}O_{20}S_6Na_6$
BBR	6104-59-2	825.97	$C_{45}H_{44}N_3NaO_7S_2$
RO14	12225-86-4	631.4	$C_{19}H_{12}C_{12}N_8O_9S_2$
RBBR	2580-78-1	626.54	$C_{22}H_{16}N_2Na_2O_{11}S_3$

3.2 Yöntem

Tez çalışmasında, bir şeker fabrikası atığı olan melaslı besiyerinde seçilmiş olan funguslar ile; pH, farklı kimyasal boya, artan boya konsantrasyonu, artan inokülüm miktarı, inkübasyon süresi gibi parametrelerin boya giderimine olan etkisi incelenmiştir.

3.2.1 Boya solüsyonlarının hazırlanması

Tez çalışmasında, kullanılan boyaların stok solüsyonları, konsantrasyon % 2 (w/v) olacak şekilde boyaların distile su içerisinde çözülmesiyle elde edilmiştir. Deney çalışmalarında bu stok boyalar gerekli miktarlarda kullanılmıştır.

3.2.2 Melash besiyerinin hazırlanması

Tez çalışmasında, üretim maliyetini düşürmek amacıyla melash besiyeri kullanılmıştır. 1 g/L $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ve 0.5 g/L KH_2PO_4 içeren % 8 (v/v) melas çözeltisi besiyerine 0.1 M NaOH ile pH değeri 5 olacak şekilde ayarlandıktan sonra otoklavda 121 °C’de steril edilmiştir.

Melash besiyeri içeriği: (1 L için) (Aksu ve Dönmez 2005)

1.0 g..... $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

0.5 g..... KH_2PO_4

3.2.3 En yüksek kapasitede boya gideren fungus seçimi

En iyi boya giderimi yapan fungusu seçebilmek için önce fungusların ortama adapte olmaları amacıyla, yaklaşık 30 mg/L konsantrasyonda RBBR boyası içeren yatık Sabouraud Dextrose Agar içerisine inoküle edilmişlerdir. Altı gün boyunca inkübasyona bırakılan fungal izolatlar, altı günlük inkübasyon süresinin sonunda yaklaşık 30 mg/L RBBR boyası içeren 250 ml’lik Erlen Mayer’e 100 ml melash besiyerine inoküle edilmişlerdir. Melash besiyeri pH 5 olacak şekilde ayarlanmıştır. Funguslar, sıcaklık 30° C, çalkalama hızı 100 rpm’e ayarlanarak dört günlük inkübasyona bırakılmıştır. Dördüncü günün sonunda boya giderimleri ölçülmüştür. Ölçümler için 3 ml örnek alınmıştır. Örnekler kapaklı tüplerlerde, Med. Instruments MPW-351 model santifüj ile 5000 rpm’ de 5 dk santrifüj edildikten sonra

süpernatantında gerekli seyreltmeler yapılarak 560 nm’ de Shimadzu UV 2001 model spektrofotometrede spektrofotometrik analiz ile ölçülmüştür.

3.2.4 Boya seçimi

Tez çalışmasında, farklı kimyasal yapıya sahip beş tekstil boyası olan Reactive Black 5, Reactive Red 120, Reactive Orange 14, Brilliant Blue R, Remazol Brilliant Blue R kullanılmıştır. Biyogiderim çalışmaları için 2, 3 numaralı fungal izolatlar ile *A. tubingensis* kullanılmıştır. Yaklaşık 100 mg/L konsantrasyonda olan Reactive Black 5, Reactive Red 120, Reactive Orange 14, Brilliant Blue R, Remazol Brilliant Blue R boya 250 ml’lik erlene 100 ml melaslı besiyeri olacak şekilde eklenmiştir. Melaslı besiyeri 100 rpm çalkalamalı inkübatöre inkübasyon için bırakılmıştır. İnkübasyon süresi sonunda 3’er ml örnek alınarak 5000 rpm’ de 5 dk santrifüjlenmiştir ve boya giderimi spektrofotometrik olarak incelenmiştir. Deney sonucunda beş tekstil boyasının biyogiderim oranlarında boya seçilebilmesi için fark görülmemiştir. Bu sebeple daha sonra artan boya konsantrasyonu ile yapılan çalışmada, melaslı besiyerlerine yaklaşık 300 mg/L konsantrasyonda Reactive Black 5, Reactive Red 120, Reactive Orange 14, Brilliant Blue R, Remazol Brilliant Blue R boya eklenmiştir. İnkübasyon süresinin sonunda 2, 3 numaralı fungal izolatlar ve *A. tubingensis*’ in en iyi biyogiderim yaptığı boyalar seçilmiştir.

3.2.5 Başlangıç pH değerinin biyogiderime etkisi

Tez çalışmasında, fungus ve boya seçiminin ardından, fungusların en iyi boya giderimi yaptıkları optimum pH değerini belirleyebilmek amacıyla, 2, 3 numaralı fungal izolatlar ve *A. tubingensis* ile çalışmalar yapılmıştır. Yaklaşık 100 mg/L konsantrasyona sahip boyalar sırasıyla RB5, BBR ve RR120 melaslı besiyerlerine eklenmişlerdir. Besiyeri 0.1 M NaOH ve 0.1 M HCl ile pH değerleri 4, 5, 6, 7 ye ayarlanarak, fungusların farklı pH’ larda gelişimleri araştırılmıştır.

3.2.6 Başlangıç boya konsantrasyonunun biyogiderime giderime etkisi

En yüksek kapasite ile giderilen RB5, BBR ve RR120 boya ları artan konsantrasyonda, boya konsantrasyonları yaklaşık 300 mg/L, 600 mg/L, 900mg/L ve 1200 mg/L konsantrasyonda olacak şekilde pH 5'e ayarlanan melaslı besiyerine eklenmiştir. 250 ml'lik Erlen Mayer'e 100 ml melaslı besiyeri kullanılmıştır. 2, 3 numaralı fungal izolatlar ve *A. tubingensis* besiyerlerine inoküle edilmiştir. Fungal izolatlar; 100 rpm çalkalama hızında 30°C sıcaklıkta dört gün boyunca inkübasyona bırakılmıştır. 2. günden itibaren 3 ml örnekler alınarak 5000 rpm' de 5dk sentifüj edilmiştir. Daha sonra süpernatant kısmı alınarak boya giderimi için spektrofotometrik olarak incelenmiştir.

3.2.7 Artan inokülüm miktarının biyogiderime etkisi

Başlangıç boya konsantrasyonlarının etkisinin araştırılmasından sonra artan hücre miktarının etkisinin belirlenmesi amacıyla inokülüm miktarı iki katına çıkarılmıştır. Başlangıç boya miktarları yaklaşık 300 mg/L, 600 mg/L, 900 mg/L, 1200 mg/L olacak şekilde melaslı besiyerlerine eklenmiştir. Melaslı besiyerleri 250 ml'lik erlene 100 ml hacimde olacak şekilde hazırlanmıştır. 2, 3 numaralı fungal izolatlar ve *A. tubingensis* besiyerlerine inoküle edilmişlerdir ve 4 gün boyunca inkübasyona bırakılmışlardır. İnkübasyon süresi boyunca 2. günden itibaren erlenlerden 3 ml örnekler alınarak 5000 rpm de 5dk sentifüj edilmiştir. Daha sonra süpernatant kısmı alınarak boya giderimi için spektrofotometrik olarak incelenmiştir.

3.2.8 Artan boya konsantrasyonların ve artan inokülüm miktarının mikrobiyal gelişim, maksimum spesifik boya alımına etkisi

Artan boya konsantrasyonlarında ve inokülüm miktarının biyogiderime olan etkisinin araştırıldığı çalışmalarda, başlangıç boya miktarları yaklaşık 300 mg/L, 600 mg/L, 900 mg/L, 1200 mg/L olacak şekilde melaslı besiyerlerine eklenmiştir. 2, 3 numaralı fungal izolatlar ve *A. tubingensis* besiyerlerine inoküle edilmişlerdir. 4 gün boyunca 30°C sıcaklıkta ve 100 rpm çalkalama hızında inkübasyona bırakılmışlardır. İnkübasyon

süresinin sonunda kuru ağırlık yöntemiyle mikrobiyal gelişim ve maksimum spesifik boya alımı belirlenmiştir.

3.3 Analiz Yöntemleri

3.3.1 Spektrofotometrik analiz

İnkübasyon süresi boyunca alınan örnekler 5000 rpm’de 5 dakika santrifüjlendikten sonra süpernatantında gerekli seyreltmeler yapılmasıyla Shimadzu UV 2001 marka spektrofotometre ile spektrofotometrik olarak ölçülmüştür, Boya giderimi, süpernatant kısmı boya alımının en iyi adsorbans yaptığı dalga boylarında ölçülerek belirlenmiştir. Boyaların dalga boyları şu şekildedir;

Reactive Black 5: 600 nm

Reactive Red 120: 520 nm

Reactive Orange 14: 435 nm

Brillant Blue R: 560 nm

Remazol Brilliant Blue R: 560 nm

(Kılıç, Karatay, Dönmez, 2011).

3.3.2 Kuru ağırlığın belirlenmesi

İnkübasyon süresinin sonunda mikrobiyal gelişim kuru ağırlık yöntemi ile belirlenmiş, bu sürenin sonunda Whatman kurutma kağıdı ile süzülen mikroorganizmalar etüvde (Nüve FN 400) 60°C’de 24 saat kurutulmuştur. 24 saatin ardından hassas terazide tartılmıştır (Dönmez 2006).

3.3.3 Sonuçların değerlendirilmesinde kullanılan formüller

Mikroorganizmanın boya giderim verimi için kullanılan formül:

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

C_o : Ortamdaki başlangıç boya deriřimi (mg/L)

C_f : Ortamda kalan boya deriřmi (mg/L)

(Bankole vd. 2018).

Gram başına düşen maksimum spesifik boya alımı (q_m) için kullanılan formül:

$$q_m = (C_o - C_f) / X_m = C_{ad} / X_m$$

X_m : Kurutulmuř hücrenin çözeltideki maksimum deriřimi (g/L)

C_o : Ortamdaki başlangıç boya deriřimi (mg/L)

C_{ad} : Ortamdan uzaklaştırılan boya miktarı (mg/L)

C_f : Ortamda kalan boya deriřimi (mg/L)

(Bankole vd. 2018).

4. ARASTIRMA BULGULARI

Bu tez çalışmasında, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoteknoloji Araştırma Laboratuvarı Kültür koleksiyonu'nda bulunan funguslar ve boyalar kullanılmıştır. 2, 3 numaralı fungal izolatlar ile *A. tubingensis* ile tekstil endüstrisinde kullanılan ve kimyasal yapıları farklı olan, Remazol Brilliant Blue R, Reactive Red 120, Brilliant Blue R, Reactive Orange 14 ve Reactive Black 5 boyalarının biyogiderimleri belirlenmiş, yapılan biyogiderim çalışmalarında, artan boya konsantrasyonunun etkisi, ortam pH değeri, artan inokülüm etkisi gibi parametreler araştırılmıştır.

4.1 Fungus Seçimi

Tez çalışmasında kullanılmak üzere 17 farklı fungustan yüksek kapasitede boya giderimi yapabilen fungusu belirleyebilmek amacıyla, pH değeri 5'e ayarlanmış, yaklaşık 30 mg/L RRBR boyası melaslı besiyerine eklenmiştir. Melaslı besiyerine inoküle edilen funguslar 4 günlük inkübasyon süresinin sonunda erlenlerden alınan 3 ml örnekler santrifüj edildikten sonra, boya giderimleri spektrofotometrik olarak hesaplanmıştır ve Çizelge 4.1 de elde edilen biyogiderim değerleri gösterilmiştir. Dört günlük inkübasyon süresinin sonunda 2, 3 numaralı fungal izolatlar ve *A. tubingensis*'in en yüksek oranda biyogiderim yapabildikleri bulunmuştur.

Çizelge 4.1 Fungusların RBBR boyasını giderim yüzdeleri

Fungal izolat kodu	Biyogiderim(%)
1	38.53
2	100.0
3	100.0
4	36.17
5	5.43
6	63.59
7	49.4
8	74.46
<i>A. tubingensis</i>	100.0
10	22.45
11	20.09
12	61.7
13	16.78
14	8.27
15	51.3
16	49.4
17	74.94

(T: 30°C, çalkalama hızı: 100 devir/dakika, C₀: 30 mg/L, pH:5, inkübasyon süresi: 4 gün)

Bu deney sonucunda % 100 ile en yüksek biyogiderim yüzdesine 2, 3 numaralı fungal izolatlar ile *A. tubingensis* olduğu belirlenmiş ve çalışmalara bu funguslar ile devam edilmiştir.

4.2 Boya Seçimi

Çalışmada seçilen 2, 3 numaralı fungal izolatlar ve *A. tubingensis* ile farklı kimyasal yapıdaki boyaların biyogiderim verimliliğini belirleyebilmek amacıyla, yaklaşık 100 mg/L ve 300 mg/L konsantrasyonlarında Reactive Black 5, Reactive Red 120, Reactive Orange 14, Brilliant Blue R ve Remazol Brilliant Blue R stok boyalarından alınan boyalar melaslı besiyerine eklenmiştir. İnkübasyonun 4. gününde 2, 3 numaralı fungal izolatlar ve *A. tubingensis* ile yapılan ölçümler sonucunda hesaplanan biyogiderim oranları çizelge 4.2 - 4.4 te gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 2 numaralı fungal izolat ve RB5, RR120, RO14, BBR, RBBR boyaları ile yapılan çalışmada biyogiderim yüzdeleri

Kullanılan boya	Başlangıç boya konsantrasyonu C_0 (mg/L)	Biyogiderim (%)	Başlangıç boya konsantrasyonu C_0 (mg/L)	Biyogiderim (%)
RB5	107.24	96.37±0.4	310.14	92.13±0.9
RR120	98.72	98.25±0.8	293.63	86.99±0.6
RO14	95.68	94.31±1.0	257.2	57.85±2.8
BBR	112.44	96.21±0.1	279.68	91.94±0.7
RBBR	108.72	99.31±0.8	277.27	57.29±5.6

(T: 30°C, çalkalama hızı: 100 devir/dakika, pH:5, inkübasyon süresi: 4 gün)

Çizelge 4.2 incelendiğinde inkübasyonun dördüncü gününde en yüksek giderimin, % 92.13±0.9 ile RB5 boyası olduğu görülmektedir. RBBR boyası ise % 57.29±5.6 ile en düşük verimle giderilen boya olmuştur.

Çizelge 4.3 3 numaralı fungal izolat ve RB5, RR120, RO14, BBR, RBBR boya ları ile yapılan çalışmada biyogiderim yüzdeleri

Kullanılan boya	Başlangıç boya konsantrasyonu C_0 (mg/L)	Biyogiderim (%)	Başlangıç boya konsantrasyonu C_0 (mg/L)	Biyogiderim (%)
RB5	116.32	98.85±0.8	304.34	90.63±5.8
RR120	110.0	98.2±2.4	283.18	97.35±2.8
RO14	95.04	81.0±4.9	286.4	73.56±2.1
BBR	92.63	99.21±0.1	277.46	99.82±0.0
RBBR	95.27	99.73±0.2	303.63	88.0±1.4

(T: 30°C, çalkalama hızı: 100 devir/dakika, pH:5, inkübasyon süresi: 4 gün)

Çizelge 4.3 incelendiğinde inkübasyonun dördüncü gününde en yüksek giderimin % 99.82±0.0 ile BBR boyası olduğu görülmektedir. RO14 boyası ise % 73.56±2.1 ile en düşük verimle giderilen boya olmuştur.

Çizelge 4.4 *A. tubingensis* ve RB5, RR120, RO14, BBR, RBBR boya ları ile yapılan çalışmada biyogiderim yüzdeleri

Kullanılan boya	Başlangıç boya konsantrasyonu C_0 (mg/L)	Biyogiderim (%)	Başlangıç boya konsantrasyonu C_0 (mg/L)	Biyogiderim (%)
RB5	98.16	98.86±0.2	300.0	92.69±2.9
RR120	108.72	99.17±0.3	279.09	98.12±0.3
RO14	114.4	91.79±2.5	290.0	66.41±1.2
BBR	97.77	99.31±0.1	284.12	97.01±0.8
RBBR	92.0	96.8±1.1	298.18	50.3±3.0

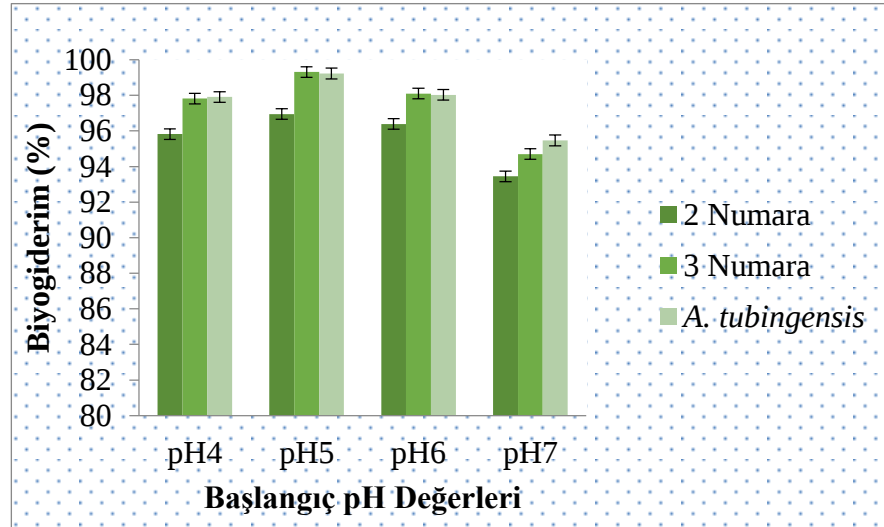
(T: 30°C, çalkalama hızı: 100 devir/dakika, pH:5, inkübasyon süresi: 4 gün)

Çizelge 4.4 incelendiğinde inkübasyonun dördüncü gününde en yüksek giderimin % 98.12 ± 0.3 ile RR120 boyası olduğu görülmektedir. RBBR boyası ise % 50.3 ± 3.0 ile en düşük oranda giderimi yapılan boya olmuştur.

Elde edilen sonuçlara göre 4 günlük inkübasyonun sonunda 2, 3 numaralı fungal izolatlar ve *A. tubingensis*' in en iyi oranda giderim yaptıkları boyalar sırasıyla RB5, BBR ve RR120 olduğu belirlenmiş ve çalışmalara bu boyalar ile devam edilmiştir.

4.3 Başlangıç pH Değerinin Biyogiderime Etkisi

Başlangıç pH değerinin biyogiderime etkisinin araştırılması için en yüksek biyogiderim kapasitesine sahip olan 2, 3 numaralı fungal izolatlar ve *A. tubingensis*' in en iyi biyogiderim gösterdikleri RB5, BBR ve RR120 boya ile yaklaşık 100 mg/L konsantrasyonda yapılan deneylerde, melaslı besiyerlerinin pH değerleri 4, 5, 6 ve 7 olacak şekilde ayarlanarak çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda, 4. günün sonunda alınan 3 ml örnekler santrifüj edildikten sonra spektrofotometrik yöntemle incelenmiş olup, farklı pH değerlerinde seçilmiş olan fungusların giderim yüzdeleri Şekil 4.1' de sunulmuştur.



Şekil 4.1 Gösterilen 2, 3 numaralı fungal izolatlar ve *A. tubingensis* ile yapılan pH çalışmasında biyogiderim oranları

(T: 30°C, C₀: 100 mg/L çalkalama hızı: 100 devir/dakika, pH:5, inkübasyon süresi: 4 gün)

Şekil 4.1 incelendiğinde 2 numaralı fungal izolatın pH değerleri 4, 5, 6 ve 7' de sırasıyla; biyogiderim yüzdeleri % 95.82±0.1, % 96.95±0.7, % 96.39±0.4, % 93.45±0.5 olarak bulunmuştur. 3 numaralı fungal izolatın biyogiderim yüzdeleri sırasıyla; % 97.82±0.8, % 99.31±0.2, % 98.1±0.2, % 94.7±0.4 olarak bulunmuştur. *A. tubingensis* 'in biyogiderim yüzdeleri ise % 97.91±0.4, % 99.23±0.6, % 98.03±0.7, % 95.47±0.5 olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre farklı pH değerlerinde tüm funguslar iyi biyogiderim verimi göstermesi sebebiyle çalışmalara pH 5 ile devam edilmiştir.

4.4 Artan Boya Konsantrasyonlarının Biyogiderime Etkisi

Artan boya konsantrasyonlarında biyogiderim oranlarının belirlenmesi amacıyla, 2 numaralı fungal izolat için RB5 boyası, 3 numaralı fungal izolat için BBR boyası, *A. tubingensis* için RR120 boyası pH 5 olacak şekilde artan konsantrasyonlarda melaslı besiyerlerine eklenmişlerdir. 2. günden itibaren uzaklaştırılan boya miktarları ve biyogiderim oranları hesaplanmış, değerler Çizelge 4.5, Çizelge 4.6, Çizelge 4.7 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 2 numaralı fungal izolat ile RB5 boyasının artan konsantrasyonunun biyogiderime etkisi

Başlangıç Boya Konsantrasyonu(mg/L)	2. gün		3. gün		4. gün	
	C _{ad}	%	C _{ad}	%	C _{ad}	%
286.95	173.91	60.6±1.2	234.05	81.56±1.7	266.66	92.92±2.1
597.1	292.02	48.9±1.8	306.52	51.33±1.2	425.36	71.23±1.2
857.97	230.43	26.85±1.1	294.2	34.29±1.4	397.1	46.28±1.4
1214.49	248.55	20.46±1,6	323.91	26.67±0.0	433.33	35.67±0.5

(T: 30°C, çalkalama hızı: 100 devir/dakika, pH: 5, inkübasyon süresi : 4 gün, inokülüm miktarı : tek)

Çizelge 4.5 incelendiğinde, ikinci günden itibaren boya konsantrasyonlarındaki artışa paralel olarak ortamdan uzaklaştırılan boya miktarı da artış göstermektedir. Fakat artan boya konsantrasyonları biyogiderim oranlarını düşürmektedir. İnkübasyonun dördüncü gününde, artan boya konsantrasyonlarına bağlı olarak, en yüksek giderim oranı % 92.92±2.1 bulunurken en düşük biyogiderim oranı % 35.67±0.5 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.6 3 numaralı fungal izolat ile BBR boyasının artan konsantrasyonunun biyogiderime etkisi

Başlangıç Boya Konsantrasyonu(mg/L)	2.gün		3.gün		4.gün	
	C _{ad}	%	C _{ad}	%	C _{ad}	%
293.33	222.38	75.81±0.2	237.85	81.08±0.8	289.28	98.61±0.3
536.19	321.9	60.03±0.2	347.38	64.78±1.6	525.95	98.09±0.8
906.66	473.8	52.25±0.3	521.9	57.56±0.4	785.23	86.6±2.5
1161.9	296.19	25.49±0.5	319.52	27.49±0.2	348.57	30.0±0.1

(T: 30°C, çalkalama hızı: 100 devir/dakika, pH: 5, inkübasyon süresi : 4 gün, inokülüm miktarı : tek)

Çizelge 4.6 incelendiğinde, ikinci günden itibaren boya konsantrasyonlarındaki artışa paralel olarak ortamdan uzaklaştırılan boya miktarı da artış göstermektedir. Fakat artan boya konsantrasyonları biyogiderim oranlarını düşürmektedir. İnkübasyonun dördüncü gününde, artan boya konsantrasyonlarına bağlı olarak, en yüksek giderim % 98.61±0.3 olarak bulunurken, en düşük giderim oranı % 30.0±0.1 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.7 *A. tubingensis* ile RR120 boyasının artan konsantrasyonunun biyogiderime etkisi

Başlangıç Boya Konsantrasyonu(mg/L)	2.gün		3.gün		4.gün	
	C _{ad}	%	C _{ad}	%	C _{ad}	%
305.45	225.68	73.88±0.9	292.5	95.76±0.3	301.36	98.66±0.1
548.18	331.36	60.44±0.3	443.18	80.84±0.3	512.04	93.4±0.3
927.27	447.27	48.23±0.2	558.4	60.21±0.4	713.86	76.98±0.3
1235.45	316.36	25.60±0.3	565.9	45.8±0.6	698.86	56.56±0.5

(T: 30°C, çalkalama hızı: 100 devir/dakika, pH: 5, inkübasyon süresi : 4 gün, inokülüm miktarı : tek)

Çizelge 4.7 incelendiğinde, ikinci günden itibaren boya konsantrasyonlarındaki artışa paralel olarak ortamdan uzaklaştırılan boya miktarı da artış göstermektedir. Fakat artan boya konsantrasyonları biyogiderim oranlarını düşürmektedir. İnkübasyonun dördüncü gününde, artan boya konsantrasyonlarına bağlı olarak, en yüksek giderim % 98.66 ± 0.1 olarak hesaplanırken, en düşük giderim oranı % 56.56 ± 0.5 olarak hesaplanmıştır.

4.5 Artan İnokülüm Miktarının Biyogiderime Etkisi

Artan boya konsantrasyonlarında inokülüm miktarının biyogiderime etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda artan boya konsantrasyonlarında inokülüm miktarının etkisi incelenmiştir. 2 numaralı fungal izolat için RB5 boyası, 3 numaralı fungal izolat için BBR boyası, *A. tubingensis* için RR120 boyası besiyeri pH 5 olacak şekilde ayarlandıktan sonra artan konsantrasyonlarda melaslı besiyerlerine eklenmişlerdir. 2. günden itibaren uzaklaştırılan boya miktarları biyogiderim oranları hesaplanmıştır. Çizelge 4.8- 4.10 de gösterilmiştir. Artan boya konsantrasyonlarında tek ve çift inokülüm miktarının biyogiderime olan etkisi ise şekil 4.2- 4.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8 2 numaralı fungal izolat ile RB5 boyasının artan konsantrasyonlarında, inokülüm miktarının biyogiderime etkisi

(T: 30°C, çalkalama hızı: 100 devir/dakika, pH:5, inkübasyon süresi : 4.gün, inokülüm miktarı : çift)

Başlangıç Boya Konsantrasyonu(mg/L)	2.gün		3.gün		4.gün	
	C _{ad}	%	C _{ad}	%	C _{ad}	%
313.04	200.0	63.88 ± 0.9	278.26	88.88 ± 2.6	294.2	93.98 ± 0.6
626.08	323.18	51.61 ± 0.9	344.92	55.09 ± 1.9	455.07	72.68 ± 2.6
927.53	263.76	28.43 ± 0.4	347.82	37.49 ± 1.3	462.31	49.84 ± 1.1
1275.36	282.6	22.15 ± 2.0	410.14	32.15 ± 1.7	500.0	39.2 ± 2.0

Çizelge 4.8 incelendiğinde, 2. günden itibaren artan boya konsantrasyonlarına paralel olarak inokülüm miktarının da artmasıyla beraber, ortamdan uzaklaştırılan boya miktarı da artmıştır. Fakat artan boya konsantrasyonları biyogiderim oranlarını düşürmektedir. İnkübasyonun 4. gününde, artan boya konsantrasyonlarında inokülüm miktarına bağlı % 39.2 ± 2.0 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.9 3 numaralı fungal izolat ile BBR boyasının artan konsantrasyonlarında, inokülüm miktarının biyogiderime etkisi

(T: 30°C, çalkalama hızı: 100 devir/dakika, pH:5, inkübasyon süresi : 4.gün, inokülüm miktarı : çift)

Çizelge 4.9 incelendiğinde, 2. günden itibaren artan boya konsantrasyonlarına paralel

Başlangıç Boya Konsantrasyonu(mg/L)	2.gün		3.gün		4.gün	
	C _{ad}	%	C _{ad}	%	C _{ad}	%
315.23	241.42	76.58±0.6	305.23	96.82±0.6	312.85	99.24±0.6
575.23	349.52	60.76±0.2	444.76	77.31±1.1	567.14	98.59±0.1
901.9	489.52	54.27±0.1	549.52	60.92±0.2	794.28	88.06±0.4
1203.81	327.61	27.21±0.7	370.47	30.77±1.2	377.14	31.32±0.1

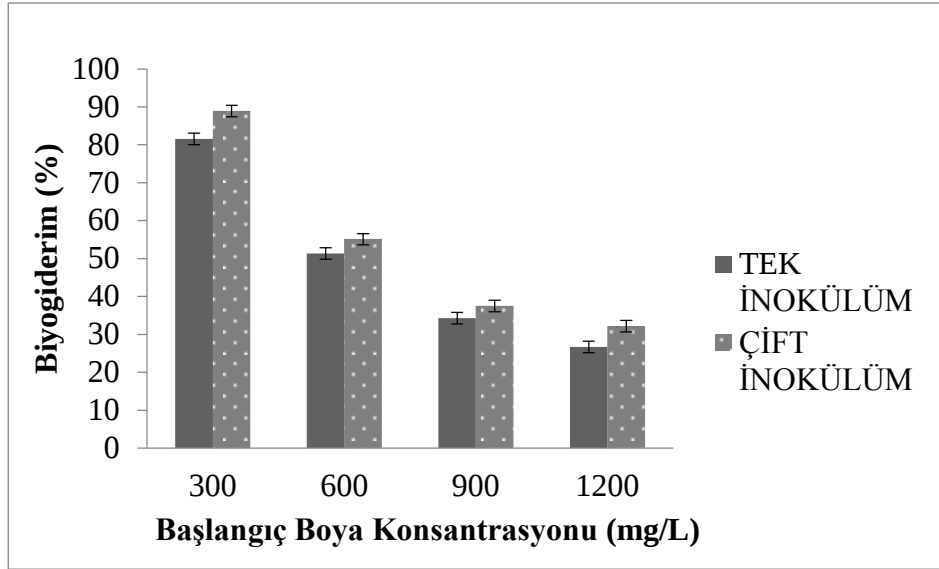
olarak inokülüm miktarının da artmasıyla beraber, ortamdan uzaklaştırılan boya miktarı da artmıştır. Fakat artan boya konsantrasyonları biyogiderim oranlarını düşürmektedir. İnkübasyonun 4. gününde, artan boya konsantrasyonlarında inokülüm miktarına bağlı olarak, en yüksek giderim oranı % 99.24±0.6 olarak bulunurken, en düşük giderim oranı % 31.32±0.1 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.10 *A. tubingensis* ile RR120 boyasının artan konsantrasyonlarında, inokülüm miktarının biyogiderime etkisi

(T: 30°C, çalkalama hızı: 100 devir/dakika, pH:5, inkübasyon süresi : 4.gün, inokülüm miktarı : çift)

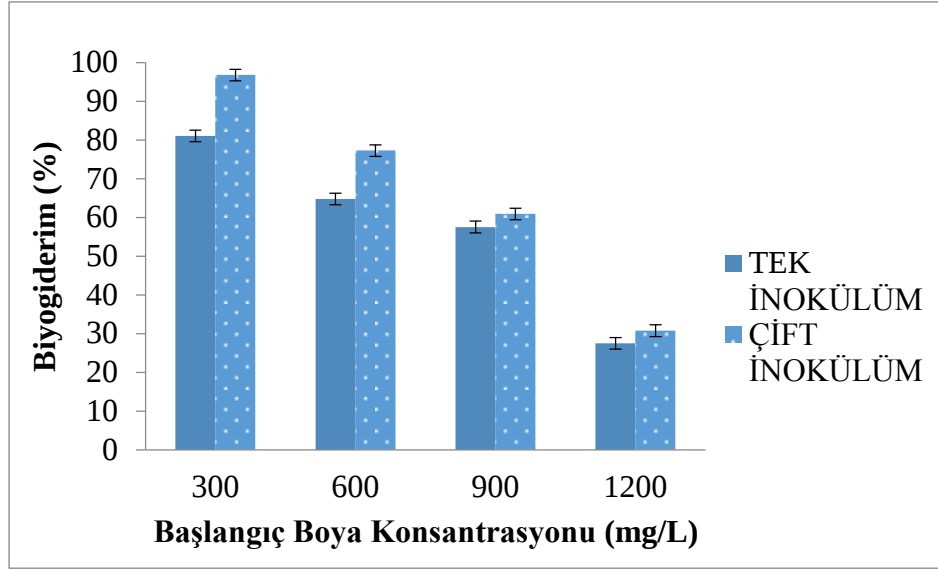
Başlangıç Boya Konsantrasyonu(mg/L)	2.gün		3.gün		4.gün	
	C _{ad}	%	C _{ad}	%	C _{ad}	%
308.18	237.27	76.99±0.6	298.63	96.9±0.6	305.45	99.11±0.0
591.81	364.09	61.52±0.4	510.0	86.17±0.3	553.63	93.54±0.5
910.9	448.63	49.25±0.2	557.72	61.22±0.7	724.09	79.49±0.8
1219.09	332.72	27.29±0.9	582.27	47.76±1.4	737.72	60.51±0.7

Çizelge 4.10 incelendiğinde, 2. günden itibaren boya konsantrasyonlarındaki artışa paralel olarak inokülüm miktarının da artmasıyla beraber, biyogiderim yüzdelerinde de artış görülmektedir. İnkübasyonun 4. gününde, artan boya konsantrasyonlarında inokülüm miktarına bağlı olarak, en yüksek giderim % 99.11±0.0 olarak bulunurken, en düşük giderim oranı % 60.51±0.7 olarak bulunmuştur.



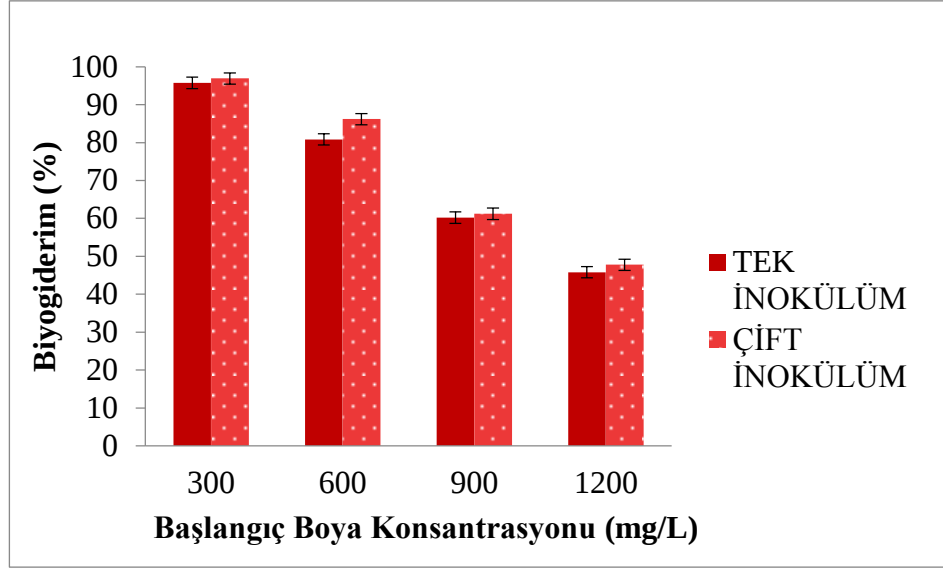
Şekil 4.2 2 numaralı fungal izolat ile Reactive Black 5 boyasının artan konsantrasyonlarında inokülüm miktarının üçüncü günde biyogiderime etkisi (T: 30°C, çalkalama hızı: 100 rpm, pH: 5)

Şekil 4.2 incelendiğinde tek ve çift inokülüm ile yapılan yaklaşık 300, 600, 900, 1200 mg/L artan boya konsantrasyonlarında yapılan çalışmalarda, RB5 boyasının giderim yüzdelerinde çift inokülüm etkisi en iyi 3. günde görülmektedir. Tek inokülüm ile yapılan çalışmalarda artan boya konsantrasyonlarına göre biyogiderim yüzdeleri sırasıyla % 81.56±1.7, % 51.33±1.2, % 34.29±1.4, % 26.67±0.0 olarak bulunmuştur. Çift inokülüm ile yapılan çalışmalarda ise artan boya konsantrasyonlarına göre sırasıyla; % 88.88±2.6, % 55.09±1.9, %37.49±1.3, % 32.15±1.7 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.3 3 numaralı fungal izolat ile Brilliant Blue R boyasının artan konsantrasyonlarında inokülüm miktarının üçüncü günde biyogiderime etkisi (T: 30°C, çalkalama hızı: 100 rpm, pH: 5)

Şekil 4.3 incelendiğinde tek ve çift inokülüm ile yapılan yaklaşık 300, 600, 900, 1200 mg/L artan boya konsantrasyonlarında yapılan çalışmalarda, BBR boyasının giderim yüzdelerinde çift inokülüm etkisi en iyi 3. günde görülmektedir. Tek inokülüm ile yapılan çalışmalarda artan boya konsantrasyonlarına göre biyogiderim yüzdeleri sırasıyla % 81.08±0.8, % 64.78±1.6, % 57.06±0.4, % 27.49±0.2 olarak bulunmuştur. Çift inokülüm ile yapılan çalışmalarda ise artan boya konsantrasyonlarına göre sırasıyla % 96.82±0.6, % 77.31±1.1, % 60.92±0.2, % 30.77±1.2 olarak bulunmuştur.

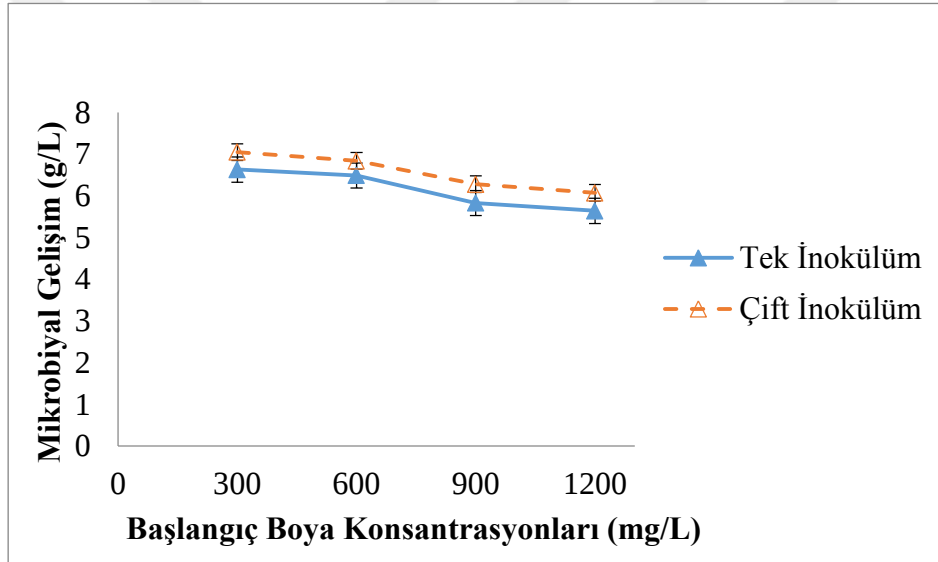


Şekil 4.4 *A. tubingensis* ile Reactive Red 120 boyasının artan konsantrasyonlarında inokülüm miktarının üçüncü günde biyogiderime etkisi (T: 30°C, çalkalama hızı: 100 rpm, pH: 5.0)

Şekil 4.4 incelendiğinde tek ve çift inokülüm ile yapılan yaklaşık 300, 600, 900, 1200 mg/L artan boya konsantrasyonlarında yapılan çalışmalarda, RR120 boyasının giderim yüzdelerinde çift inokülüm etkisi en iyi 3. günde görülmektedir. Tek inokülüm ile yapılan çalışmalarda artan boya konsantrasyonlarına göre biyogiderim yüzdeleri sırasıyla % 95.76±0.3, % 80.84±0.3, % 60.21±0.4, % 45.8±0.6 olarak bulunmuştur. Çift inokülüm ile yapılan çalışmalarda ise artan boya konsantrasyonlarına göre sırasıyla % 96.9±0.6, % 86.17±0.3, % 61.22±0.7, % 47.76±1.4 olarak bulunmuştur.

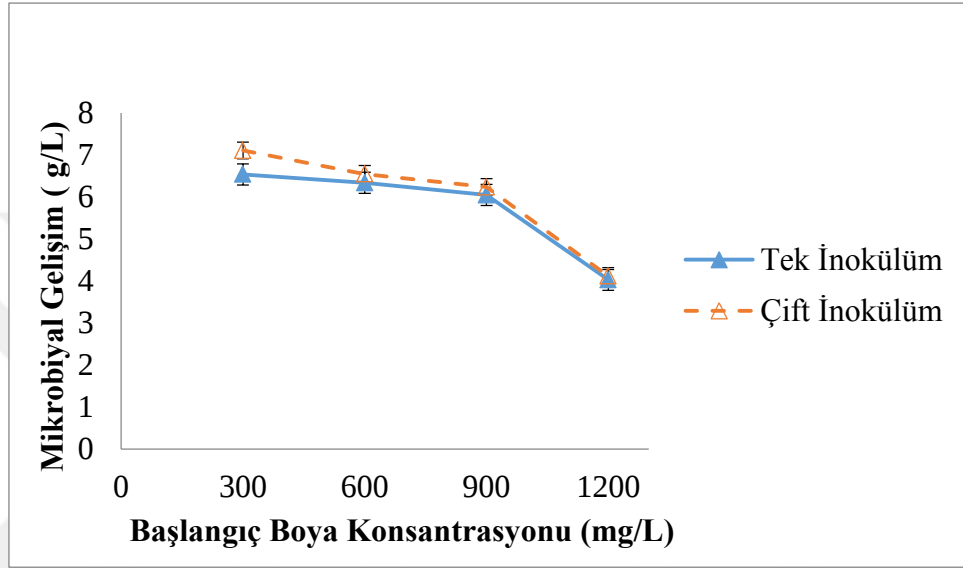
4.6 Artan Boya Konsantrasyonu, Artan İnokülüm Miktarının Mikrobiyal Gelişime Etkisi

Artan boya konsantrasyonlarının biyogiderime olan etkisi ve inokülüm miktarının biyogiderime olan etkisinin araştırılmasından sonra 2, 3 numaralı fungal izolatlar ve *A. tubingensis* ile yapılan çalışmalarda inkübasyon süresinin sonunda mikrobiyal gelişim kuru ağırlık yöntemi ile belirlenmiştir. Değerler Şekil 4.5, 4.6, 4.7 de gösterilmiştir. Elde edilen değerler incelendiğinde artan boya konsantrasyonları mikrobiyal gelişimi etkilemiş, düşük konsantrasyona sahip besiyerlerinde daha iyi mikrobiyal gelişim görülürken, yüksek konsantrasyonda mikrobiyal gelişimde azalma görülmüştür.



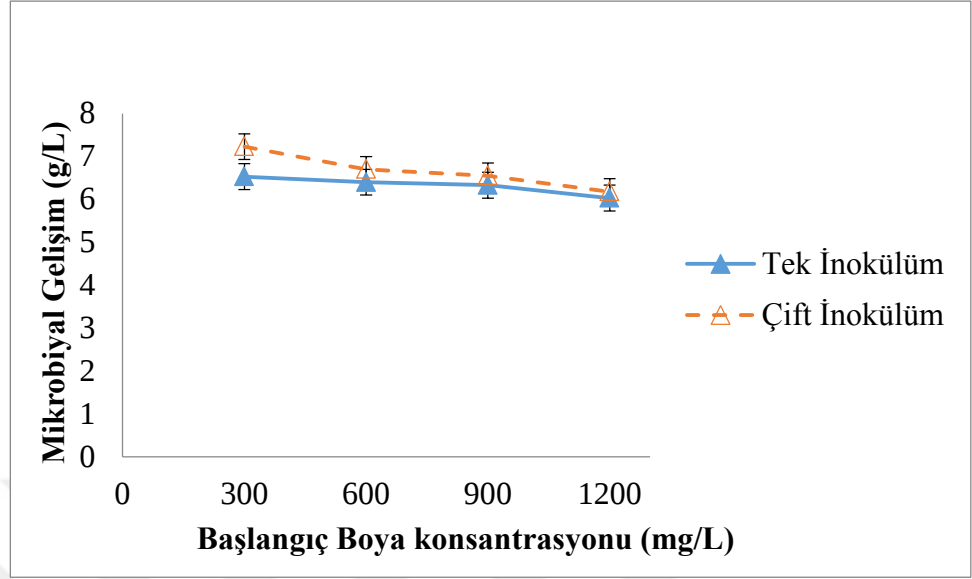
Şekil 4.5 RB5' in 2 numaralı fungal izolatlar ile yapılan biyogiderim çalışmasında, artan boya konsantrasyonlarına ve inokülüm miktarına bağlı olarak besiyerlerindeki mikrobiyal gelişim miktarları (T: 30°C, pH:5, çalkalama hızı:100 rpm, inkübasyon süresi : 4 gün)

Şekil 4.5 incelendiğinde boya konsantrasyonu arttıkça mikrobiyal gelişim etkilenmiştir. Artan Boya konsantrasyonlarında tek inokülüm ile yapılan çalışmalarda en iyi mikrobiyal gelişim 6.63 g/L bulunurken en düşük mikrobiyal gelişim 5.64 g/L bulunmuştur. Çift inokülüm ile yapılan çalışmalarda en iyi mikrobiyal gelişim 7.05 g/L bulunurken, en düşük mikrobiyal gelişim 6.07 g/L bulunmuştur.



Şekil 4.6 BBR' in 3 numaralı fungal izolatlar ile yapılan biyogiderim çalışmasında, artan boya konsantrasyonlarına ve inokülüm miktarına bağlı olarak besiyerlerindeki mikrobiyal gelişim miktarları (T: 30°C, pH:5, çalkalama hızı:100 rpm, inkübasyon süresi: 4 gün)

Şekil 4.6 incelendiğinde boya konsantrasyonu arttıkça mikrobiyal gelişim etkilenmiştir. Artan Boya konsantrasyonlarında tek inokülüm ile yapılan çalışmalarda en iyi mikrobiyal gelişim 6.54 g/L bulunurken en düşük mikrobiyal gelişim 4.03 g/ L bulunmuştur. Çift inokülüm ile yapılan çalışmalarda en iyi mikrobiyal gelişim 7.11 g/L bulunurken en düşük mikrobiyal gelişme 4.12 g/L bulunmuştur.



Şekil 4.7 RR120' nin *A. tubingensis* ile yapılan biyogiderim çalışmasında, artan boya konsantrasyonlarına ve inokülüm miktarına bağlı olarak besiyerlerindeki mikrobiyal gelişim miktarları (T: 30°C, pH:5, çalkalama hızı:100 rpm, inkübasyon süresi: 4 gün)

Şekil 4.7 incelendiğinde boya konsantrasyonu arttıkça mikrobiyal gelişim etkilenmiştir. Artan Boya konsantrasyonlarında tek inokülüm ile yapılan çalışmalarda en iyi mikrobiyal gelişim 6.53 g/L bulunurken en düşük mikrobiyal gelişim 6.03 g/ L bulunmuştur. Çift inokülüm ile yapılan çalışmalarda en iyi mikrobiyal gelişim 7.23 g/L bulunurken en düşük mikrobiyal gelişme 6.18 g/L bulunmuştur.

4.7 Gram Başına Düşen Maksimum Spesifik Boya alım (q_m) Tabloları

Artan boya konsantrasyonları ve inokülüm miktarının biyogiderime olan etkisini belirleyebilmek amacıyla pH 5 ile yapılan deneylerde gram başına düşen maksimum spesifik boya alımları Çizelge 4.11-4.13 de gösterilmiştir. Boya konsantrasyonu arttıkça mikrobiyal gelişime de bağlı olarak maksimum spesifik boya alımında artış görülmektedir.

Çizelge 4.11 RB5' in 2 numaralı fungal izolat ile yapılan biyogiderim çalışmalarında gram başına düşen maksimum spesifik boya alım değerleri

C ₀ (mg/L)		C _{ad} (mg/L)		q _m (mg/g)		X _m (g/L)		%	
Tek İnokülüm	Çift İnokülüm	Tek İnokülüm	Çift İnokülüm	Tek İnokülüm	Çift İnokülüm	Tek İnokülüm	Çift İnokülüm	Tek İnokülüm	Çift İnokülüm
286.95	313.04	266.66	294.2	40.22±0.1	41.73±0.1	6.63±0.02	7.05±0.02	92.92±2.1	93.98±0.6
597.1	626.08	425.36	455.07	65.54±0.2	66.53±0.1	6.49±0.02	6.84±0.01	71.23±1.2	72.68±2.6
857.97	927.53	397.1	462.31	68.11±0.2	73.61±0.5	5.83±0.02	6.28±0.04	46.28±1.4	49.84±1.1
1214.49	1275.36	433.33	500.0	76.83±0.4	82.37±0.0	5.64±0.03	6.07±0.01	35.67±0.5	39.2±2.0

(T: 30°C, çalkalama hızı: 100 devir/dakika, pH:5, İnkübasyon süresi: 4 gün)

Çizelge 4.12 BBR' in 3 numaralı fungal izolat ile yapılan biyogiderim çalışmalarında, gram başına düşen maksimum spesifik boya alım değerleri

C ₀ (mg/L)		C _{ad} (mg/L)		q _m (mg/g)		X _m (g/L)		%	
Tek İnokülüm	Çift İnokülüm	Tek İnokülüm	Çift İnokülüm	Tek İnokülüm	Çift İnokülüm	Tek İnokülüm	Çift İnokülüm	Tek İnokülüm	Çift İnokülüm
293.33	315.23	289.28	312.85	44.23±0.0	44.0±0.1	6.54±0.02	7.11±0.04	98.61±0.3	99.24±0.6
536.19	575.23	525.95	567.14	82.95±0.1	86.58±0.4	6.34±0.03	6.55±0.03	98.09±0.8	98.59±0.1
906.66	901.9	785.23	794.28	129.79±0.1	127.28±0.8	6.05±0.05	6.24±0.04	86.6±2.5	88.06±0.4
1161.9	1203.81	348.57	377.14	86.49±0.2	91.53±0.1	4.03±0.02	4.12±0.01	30.0±0.1	31.32±0.6

(T: 30°C, çalkalama hızı: 100 devir/dakika, pH:5, İnkübasyon süresi: 4 gün)

Çizelge 4.13 RR120' nin *A. tubingensis* ile yapılan biyogiderim çalışmalarında, gram başına düşen maksimum spesifik boya alım değerleri

C ₀ (mg/L)		C _{ad} (mg/L)		q _m (mg/g)		X _m (g/L)		%	
Tek İnokülüm	Çift İnokülüm	Tek İnokülüm	Çift İnokülüm	Tek İnokülüm	Çift İnokülüm	Tek İnokülüm	Çift İnokülüm	Tek İnokülüm	Çift İnokülüm
305.45	308.18	301.36	305.45	46.15±0.1	42.24±0.1	6.53±0.02	7.23±0.02	98.66±0.1	99.11±0.0
548.18	591.81	512.04	553.63	80.0±0.2	82.63±0.4	6.4±0.02	6.7±0.02	93.4±0.3	93.54±0.5
927.27	910.9	713.86	724.09	112.77±0.1	110.54±0.5	6.33±0.01	6.55±0.01	76.98±0.3	79.49±0.8
1235.45	1219.09	698.86	737.72	115.89±0.7	119.37±0.6	6.03±0.09	6.18±0.03	56.56±0.5	60.51±0.7

(T: 30°C, çalkalama hızı: 100 devir/dakika, pH:5,İnkübasyon süresi: 4 gün)

Çizelge 4.11 incelendiğinde inkübasyonun 4. gününde 2 numaralı fungal izolat ile yapılan çalışmalarda, boya konsantrasyonu arttıkça maksimum spesifik boya alımında da artış olduğu görülmektedir. Düşük konsantrasyonda maksimum spesifik boya alım değeri tek inokülüm ile yapılan çalışmalarda 40.22 mg/g, çift inokülümde 41.73 mg/g olarak bulunmuştur. Yüksek konsantrasyonda maksimum spesifik boya alım değeri, tek inokülüm ile yapılan çalışmalarda 76.83 mg/g, çift inokülümde ise 82.37 mg/g olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.12 incelendiğinde inkübasyonun 4. gününde 3 numaralı fungal izolat ile yapılan çalışmalarda, boya konsantrasyonu arttıkça maksimum spesifik boya alımında da mikrobiyal gelişmeye bağlı olarak artış olduğu görülmektedir. Fakat yüksek boya konsantrasyonunda mikrobiyal gelişim azalmış ve maksimum spesifik boya alımı da olumsuz etkilenmiştir. Düşük konsantrasyonda maksimum spesifik boya alım değeri tek inokülüm ile yapılan çalışmalarda 44.23 mg/g, çift inokülümde 44.0 mg/g olarak bulunmuştur. Yüksek konsantrasyonda maksimum spesifik boya alım değeri mikrobiyal gelişimin negatif etkilenmesi sebebiyle, tek inokülüm ile yapılan çalışmalarda 86.49 mg/g, çift inokülümde ise 91.53 mg/g olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.13 incelendiğinde inkübasyonun 4. gününde *A. tubingensis* ile yapılan çalışmalarda, boya konsantrasyonu arttıkça maksimum spesifik boya alımında da artış olduğu görülmektedir. Düşük konsantrasyonda maksimum spesifik boya alım değeri tek inokülüm ile yapılan çalışmalarda 46.15 mg/g, çift inokülümde 42.24 mg/g olarak bulunmuştur. Yüksek konsantrasyonda maksimum spesifik boya alım değeri, tek inokülüm ile yapılan çalışmalarda 115.89 mg/g, çift inokülümde ise 119.37 mg/g olarak bulunmuştur.

5.TARTIŞMA VE SONUÇ

Tekstil endüstrisinin oluşturduğu çeşitli maddeler ve boyar maddelerin çevreye bırakılması, insan sağlığını olumsuz etkilemesi yanında ışığın sudaki geçirgenliğini etkileyerek sudaki yaşamı da oldukça olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sebeple atıksuların çevreye bırakılmasından önce mutlaka ortamdan uzaklaştırılmaları gerekmektedir. Atıksuların fiziksel ve kimyasal yöntemlerle giderimi yapılmaktadır fakat büyük miktarda çamur oluşturmaları, sadece belirli kimyasal yapıdaki boyalara etki etmeleri, oldukça maliyetli olmaları ve ortamda başka maddelerin oluşumuna sebebiyet verdikleri için alternatif yöntemlere yönelmek gerekmektedir. Bu sebeple son yıllarda atıksuların arıtımındaki biyolojik yöntemlerin uygulanması diğer yöntemlere kolay oluşu ve daha ekonomik olmaları sebebiyle tercih edilmektedir.

Tekstil boyalarının kimyasal yapılarının farklılığı sebebiyle mikroorganizmalar ile olan etkileşimleri de farklılık göstermektedir bu sebeple boyalara dayanıklı mikroorganizmaların seçimiyle biyolojik arıtım sistemlerinde canlı hücre kullanımı büyük önem taşımaktadır.Yapılan çalışmada çevreye zarar vermeden ve arıtım maliyetini düşürmek amacıyla funguslar kullanılmıştır. Funguslar, çevrede kolay bulunabilen ve çeşitli ortamlara hızla adapte olabilen mikroorganizmalardır. Son yıllarda funguslarla yapılan biyogiderim çalışmaları oldukça umut vaat edicidir.

Bu tez çalışmasında Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Biyoteknoloji araştırma laboratuvarı kültür koleksiyonunda bulunan 2, 3 numaralı funguslar ve *A. tubingensis* kullanılmıştır. Biyogiderim çalışmalarında ise Sigma marka kimyasal yapıları farklı olan Reactive Red 120, Reactive Black 5, Brilliant Blue R, Reactive Orange 14 ve Remazol Brilliant Blue R boyaları kullanılmıştır.

En iyi kapasite ile boya giderimi yapabilen fungal izolatu seçebilmek için konsantrasyonu 30 mg/L olarak ayarlanan RBBR boyası ile yapılan deney sonucunda en iyi boya giderimi yapan fungusların 2, 3 numaralı fungal izolatlar ve *A. tubingensis* olduğu anlaşılmıştır.

2, 3 numaralı fungal izolatlar ve *A. tubingensis*'in farklı kimyasal yapıdaki boyaların biyogiderimindeki verimini belirleyebilmek amacıyla, yaklaşık 100 mg/L ve 300 mg/L konsantrasyona sahip Reactive Red 120, Reactive Black 5, Brilliant Blue R, Reactive Orange 14 ve Remazol Brilliant Blue R boyaları ile yapılan deneylerde; 2 numaralı fungal izolat için % 92.13 ile RB5 boyası, 3 numaralı fungal izolat için % 99.82 ile BBR boyası, *A. tubingensis* için % 98.12 ile RR120 boyası seçilmiştir.

Biyogiderime başlangıç pH değerinin etkisini belirlemek amacı ile yaklaşık 100 mg/L RB5, BBR ve RR120 içeren besiyeri ortamları pH 4, 5, 6, 7 olarak ayarlanmıştır. Tüm pH değerlerinde yüksek biyogiderim görülmesi sebebiyle deneylere pH 5 ile devam edilmesine karar verilmiştir.

Artan boya konsantrasyonlarının biyogiderime olan etkisinin belirlenebilmesi için en iyi kapasite ile giderilen RB5, BBR, RR120 boyalarının artan konsantrasyonlarında yaklaşık 300, 600, 900, 1200 mg/L konsantrasyonlarda çalışmalar yapılmıştır. 2 numaralı fungal izolat ve RB5 boyası ile yapılan deneylerde en iyi biyogiderim değeri 300 mg/L konsantrasyonda % 92.92 olarak hesaplanmıştır. 3 numaralı fungal izolat ve BBR boyası ile yapılan deneylerde en iyi biyogiderim değerleri 300-600 mg/L boya konsantrasyonlarında % 98.61, % 98.09 olarak hesaplanmıştır. *A. tubingensis* ve RR120 boyası ile yapılan deneylerde en iyi biyogiderim değerleri 300-600 mg/L konsantrasyonlarında % 98.66, % 93.4 olarak hesaplanmıştır.

İnokulum miktarının biyogiderime olan etkisinin belirlenebilmesi için, en iyi kapasitede giderilen RB5, BBR, RR120 boyalarının yaklaşık 300, 600, 900, 1200 mg/L artan konsantrasyonlarında çalışmalar yapılmıştır.

2 numaralı fungal izolat ve RB5 boyası ile yaklaşık 300 mg/L boya konsantrasyonunda en iyi biyogiderim % 93.98 olarak hesaplanmıştır. 3 numaralı fungal izolat ve BBR boyası ile yapılan deneylerde en iyi biyogiderim değerleri yaklaşık 300-600 mg/L konsantrasyonlarda % 99.24, % 98.59 olarak hesaplanmıştır. *A. tubingensis* ve RR120 boyası ile yapılan deneylerde en iyi biyogiderim değerleri 300-600 mg/L konsantrasyonlarında % 99.11, % 93.54 olarak hesaplanmıştır.

Artan boya konsantrasyonları, inokulum miktarının mikrobiyal gelişime ve maksimum spesifik boya alımına etkisinin belirlenebilmesi için yapılan çalışmalarda, boya konsantrasyonun mikrobiyal gelişimi etkilediği görülmektedir. 2 numaralı fungal izolat ile yapılan çalışmalarda yaklaşık 300 mg/L boya konsantrasyonu ile yapılan çalışmalarda tek inokulumde mikrobiyal gelişim 6.63 g/L bulunurken, çift inokulumde 7.05 g/L mikrobiyal gelişim bulunmuştur. 3 numaralı fungal izolat ile yapılan çalışmalarda tek inokulumde ise mikrobiyal gelişim 6.54 g/L bulunurken, çift inokulumde 7.11 g/L bulunmuştur. *A. tubingensis* ile yapılan çalışmalarda ise tek inokulumde 6.53 g/L mikrobiyal gelişim bulunurken, çift inokulumde 7.23 g/L bulunmuştur. Ayrıca boya konsantrasyonu arttıkça maksimum spesifik boya alımı da artmıştır. Yüksek boya konsantrasyonlarında maksimum spesifik boya alım değerleri, tek inokulum ile yapılan çalışmalarda, 2 numaralı fungal izolat için 76.83 mg/g, 3 numaralı fungus için 129.79 mg/g ve *A.tubingensis* için 115.89 mg/g olarak bulunmuştur. Çift inokulumde ise maksimum spesifik boya alım değerleri sırasıyla; 82.37, 127.28, 119.37 mg/g olarak bulunmuştur.

5.1 Fungus ve Boya Seçimi

Tez çalışmasında kullanılmak üzere 17 farklı fungustan yüksek kapasitede boya giderimi yapabilen fungal izolatu belirleyebilmek amacıyla yaklaşık 30 mg/L RBBR boyası ile yapılan deneylerde dört günlük inkübasyon süresinin sonunda en iyi biyogiderim yapabilen 2, 3 numaralı fungal izolatlar ve *A. tubingensis* olmuştur. 2, 3 numaralı fungal izolatlar ile *A. tubingensis* 'in biyogiderim oranları % 100 bulurken en düşük biyogiderim oranı ise % 5.43 ile 5 numaralı fungal izolat olarak bulunmuştur.

En iyi kapasitede boya giderimi yapan fungal izolat seçiminin ardından en iyi giderilen boyanın seçilmesi amacıyla kimyasal yapısı birbirinden farklı beş ticari boya olan RB5, BBR, RR120, RBBR, RO14 boyalarının yaklaşık 100 ve 300 mg/L konsantrasyonlarında 2, 3 numaralı fungal izolatlar ve *A. tubingensis* ile çalışmalar yapılmıştır. 2 numaralı fungal izolat ile yaklaşık 100 mg/L konsantrasyonda yapılan deneylerde RB5, RR120, RO14, BBR, RBBR boyalarının giderim oranları sırasıyla % 96.37, % 98.25, % 94.31 % 96.21, % 99.31 olarak hesaplanmıştır. 3 numaralı fungal izolat ile yaklaşık 100 mg/ L konsantrasyonda yapılan deneylerde RB5, RR120, RO14, BBR, RBBR boyalarının giderim oranları sırasıyla % 98.85, % 98.2, % 81.0, % 99.21, % 99.73 olarak hesaplanmıştır. *A. tubingensis* ile yaklaşık 100 mg/L konsantrasyonda yapılan deneylerde ise RB5, RR120, RO14, BBR, RBBR boyalarının giderim oranları sırasıyla % 98.86, % 99.17, % 91.79, % 99.31, % 96.8 olarak hesaplanmıştır. 2, 3 numaralı fungal izolatlar ve *A. tubingensis* yaklaşık 100 mg/L boya konsantrasyona sahip deneylerde giderim oranlarının yüksek oluşu sebebiyle boya seçimi yapılamadığından, boya konsantrasyonu yaklaşık 300 mg/L olacak şekilde deneyler yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda 2 numaralı fungal izolat için en yüksek verimle giderilen % 92.13 giderim oranı ile RB5 boyası seçilmiştir. 2 numaralı fungal izolatın en düşük oranda giderim yaptığı boya ise % 57.29 ile RBBR boyası olmuştur. 3 numaralı fungal izolatın en iyi giderim oranına sahip % 99.82 ile BBR boyası seçilirken, en düşük verimle giderilen %73.56 ile RO14 boyası olmuştur. *A. tubingensis* için en yüksek verimle giderilen % 98.12 giderim oranı ile RR120 boyası seçilmiştir. *A. tubingensis*'in en düşük verimle giderim yaptığı boya ise % 50.3 ile RBBR boyası olmuştur.

Filamentli funguslar çevrede her yerde bulunabilirler ve metabolizmaları sayesinde farklı karbon ve azot kaynaklarına karşı hızlı adaptasyon göstermektedirler. Filamentli funguslar biyogiderim için düşük maliyetli oluşları ve boyaların giderimi konusunda oldukça ilgi çekici bir alternatif olmaktadır (Solis vd. 2012).

Literatürde de tez çalışmasında kullanılan boyaların funguslar ile giderimine yönelik bir takım çalışmalar bulunmaktadır.

Grisales vd. (2019) yaptıkları çalışmada *Luffa cylindrica* üzerinde immobilize edilen *Leptosphaerulina sp.* ile 200 mg/L konsantrasyonda RB5 boyasının biyogiderimi araştırılmıştır. Kültür ortamı 10 g/L glukoz 5 g/L pepton, 2 g/L amonyum tartarat, 1 g /L maya özütü 1 g/L-1 KH_2PO_4 , 0.5 g/L KCl ve 0.5 g/L $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ içermektedir. 15 günlük sürenin sonunda % 91.9 biyogiderim oranı bulunmuştur.

Mazmanci vd. (2005) yaptıkları çalışmada, RB5 boyasının *Funalia trogii* ile biyogiderimi araştırılmıştır. Kültür ortamı 0.5 g/L $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.5 g/L $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 20.0 g/L KH_2PO_4 , glukoz, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ den oluşmaktadır. 150 mg/L boya konsantrasyonlarında yapılan deneylerde 21 günlük inkübasyon süresinin sonunda 30 °C pH 5' te % 99 biyogiderim oranı bulunmuştur.

Adnan vd. (2015) yaptıkları çalışmada termofilik bir fungus olan *Trichoderma atroviride* ile 50 mg/L boya konsantrasyonunda RB5 boyasının biyogiderimi araştırılmıştır. Karbon kaynağı olarak glukoz ve azot kaynağı olarak maya özütü kullanılmıştır. pH 5 'te 27°C de %91.1 biyogiderim oranı bulunmuştur.

Erdem vd. (2017) yaptıkları diğer bir çalışmada RBBR boyasının ve RR120 boyasının *Trametes versicolor* ile renginin giderilmesi araştırılmıştır. Fruktoz, maltoz, pektin, ksiloz, nişasta karbon kaynaklarında ve pepton, maya özü, amonyum nitrat gibi farklı azot kaynaklarının kullanıldığı çalışmalarda, en iyi biyogiderim oranı 2 saatlik inkübasyon sonunda glukoz ve amonyum nitratin kullanılmasıyla 50 mg/ L boya % 99 100 mg/L boya konsantasyonunda % 90 biyogiderim, 50 mg/L RR120 boyasında ise % 56 biyogiderim bulunmuştur.

Palmieri vd. (2005) yaptıkları çalışmada RBBR boyasının *Pleurotus ostreatus* beyaz çürükçül fungusu ile biyogiderimi araştırılmıştır. Sıvı kültürde yapılan biyogiderim çalışmasında vertail alkol ile desteklenmiş PDY besiyeri kullanılmıştır. PDY besiyerinin içeriği 24 g/L potato dextrose ve 5 g/L maya özütünden oluşmaktadır.

Artırılmış lakkaz enzim karışımı yaklaşık 2 saatlik sürenin sonunda ile 50 mg/L boya konsantrasyonunun % 95' i giderilmiştir.

Permpornsakul1 vd. (2016) yaptıkları çalışmada beyaz çürükçül fungus olan *Phanerochaete sordida* ile RB5 boyasının biyogiderimi araştırılmıştır. *Phanerochaete sordida* modifiye edilen malt özütü sıvı besiyeri içerisine 30°C 'de pH 7' de inkübasyona bırakılmıştır. 3 günlük sürenin sonunda, 100 mg/L konsantrasyonda % 100 biyogiderim bulunurken, 200 mg/L konsantrasyonda yaklaşık % 70 giderim oranı bulunmuştur.

Yesilada vd. (2014) yaptıkları çalışmada SBM besiyeri kullanılmıştır. SBM besiyerinin içeriği; KH_2PO_4 , $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ve glukoz oluşmaktadır. *Funalia trogii* den elde edilen ham lakkaz ile RB5 boyasının biyogiderimi araştırılmıştır. 54 U/mL lakkaz aktivitesinde 100 mg/L boya konsantrasyonu 12.5 gün sonunda % 78.14 bulunmuştur.

Gül (2013) yaptığı çalışmada 100 mg/L konsantrasyonda RB5 ve RBBR boyasının *Rhizopus arrhizus* ile biyogiderimi araştırılmıştır. Tiyamin, KH_2PO_4 , NH_4Cl , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, tiyamin, glukozdan oluşan kültür ortamında yapılan çalışmalarda 2 günlük inkübasyon sonunda pH 3'te 100 mg/L RB5 ve RBBR boyasının giderimi % 100 bulunmuştur.

Yukarıda özetlenen çalışmalara bakıldığında, yapılan tez çalışmasında şeker fabrikası atığı olan melaslı besiyeri kullanılarak 300 mg/L içeren boya konsantrasyonlarında seçilen funguslar yüksek oranda biyogiderim verimi göstermektedirler.

5.2 Başlangıç pH Değerinin Biyogiderime Etkisi

En iyi kapasitede boya giderimi yapan fungal izolatlar ve en iyi giderilen boya seçiminden sonra başlangıç pH değerinin biyogiderime olan etkisinin araştırılması için RB5, BBR ve RR120 boya ile 100 mg/L konsantrasyonda yapılan deneylerde melaslı besiyerlerinin değerleri pH değerleri 4, 5, 6, 7 ye ayarlanmıştır. 2 numaralı

fungusun pH 4, pH 5, pH 6, pH 7 için biyogiderim yüzdeleri sırasıyla % 95.82, % 96.95, % 96.39, % 93.45 olarak hesaplanmıştır. 3 numaralı fungusun pH 4, pH 5, pH 6, pH 7 için biyogiderim yüzdeleri ise % 97.82, % 99.31, % 98.1, % 94.7 bulunmuştur. *A. tubingensis*'in pH 4, pH 5, pH 6, pH 7 için biyogiderim yüzdeleri ise % 97.91, % 99.23, % 98.03, % 95.47 bulunmuştur. Yapılan çalışma sonucunda pH değerinin boya giderimine olan etkisi fark edilemediğinden tez çalışmasında yapılan deneylere pH 5 ile devam edilmiştir.

Boyalar farklı fonksiyonel gruplara sahip kompleks aromatik organik bileşiklerdir. Bu nedenle farklı pH değerlerinde farklı iyonlaşma değerlerine sahip olmaları molekülleri üzerindeki net yükü değiştirmektedir. Bu sebeple sucul ortamdan boyaların uzaklaştırılması için pH değeri oldukça önemli bir parametredir (Matheickal 1997).

Literatürde farklı funguslar ve en iyi biyogiderim gösterdikleri pH 5 değerinde yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Ibrahim vd. (2017) yaptıkları çalışmada *Aspergillus sp.* ve *Pleurotus sp.* ile RR120 boyasının 10 mg/L ve 20 mg/L konsantrasyonundaki deneylerde pH 5, 7 ve 9 değerleri denenmiştir. Kültür ortamı olarak MSS kullanılmıştır. MSS kültür ortamının içeriği; 2.0 g Na₂HPO₄, 0.71 g K₂SO₄, 4.0 g NH₄HPO₄, 0.53 g KH₂PO₄, 0.10 g MgSO₄.7H₂O' den oluşmaktadır. Yapılan çalışmada, hidrojen iyonlarının konsantrasyonu fungus büyümesini sınırlandırmıştır ve 15 günlük sürede pH 5'te en iyi giderim oranı *Aspergillus sp* için % 63, *Pleurotus sp.* için % 60 olarak bulunmuştur.

Taskin vd. (2010) yaptıkları çalışmada *Aspergillus niger MT-1* ile RB5 boyasının biyogiderimi araştırılmıştır. Kültür ortamı olarak melas ve amonyum klorür kullanılmıştır. 100 mg/L boya konsantrasyonundaki deneylerde pH 3-9 aralığı denenmiştir ve 2.5 gün sonunda en iyi pH 5 'te %61 biyogiderim oranı bulunmuştur.

Kumar vd. (2015) yaptıkları çalışmada *Aspergillus sulphureus* ile Reactive Black HFGR boyasının biyogiderimi araştırılmıştır. 200 mg/L boya konsantrasyonunda yapılan deneylerde karbon kaynağı olarak sükroz kullanılmasıyla pH 4-8 aralığı denenmiştir. 10 günlük sürenin sonunda en iyi biyogiderim pH 5' te % 93.04 olarak bulunmuştur.

Yapılan tez çalışmasında üç fungusun da pH 5 değerinde yüksek boya giderimi yaptığı gözlenmekle birlikte 4, 6 ve 7 değerlerinde de oldukça yüksek verimler elde edilmiştir.

Tekstil endüstrisinde kullanılan boyalar atıksuların rengini değiştirmesinin yanında yüksek pH, KOİ ve toksik katı maddelere içeriğini arttırmaktadırlar (Kim vd. 2003). Bu sebeple pH değerlerinin geniş aralıkta değiştiği göz önünde bulundurulduğunda tez çalışmasında kullanılan funguslar için pH faktörünün sınırlayıcı etki göstermeyeceği görülmektedir.

5.3 Artan Boya Konsantrasyonlarının Biyogiderime Etkisi

En yüksek kapasite ile giderilen RB5, BBR, RR120 boya ları artan boya konsantrasyonlarında biyogiderim oranlarını belirleyebilmek amacıyla 2, 3 numaralı fungal izolatlar ve *A. tubingensis* ile yapılan çalışmalarda, inkübasyonun ikinci, üçüncü, dördüncü gününde örnekler alınarak giderim oranları belirlenmiştir, 2 numaralı fungal izolat ile 286.95, 597.1, 857.97, 1214.49 mg/L konsantrasyonundaki RB5 boyasının giderim kapasitesi araştırılmıştır. En yüksek boya giderim yüzdeleri sırasıyla % 92.92, % 71.23, % 46.28, % 35.67 olarak hesaplanmıştır. 3 numaralı fungal izolat ile artan boya konsantrasyonunda giderim verimini belirleyebilmek için, 293.33, 536.19, 906.66, 1161.9 mg/L konsantrasyonundaki BBR boyasının giderim kapasitesi araştırılmıştır. Deneylerde inkübasyon süresi boyunca ikinci, üçüncü, dördüncü gün örnekler alınarak giderim oranları belirlenmiştir. En yüksek boya giderim yüzdeleri sırasıyla % 98.61, % 98.09, % 86.6, % 30.0 olarak hesaplanmıştır. *A. tubingensis* ile artan boya konsantrasyonunda giderim verimini belirleyebilmek için 305.45, 548.18, 927.27, 1235.45 mg/L konsantrasyonundaki RR120 boyasının giderim kapasitesi araştırılmıştır.

En yüksek boya giderim yüzdeleri sırasıyla % 98.66, % 93.4, % 76.98, % 56.56 olarak hesaplanmıştır.

Boyalar mikroorganizmalar için toksik olmasının yanında, yüksek boya konsantrasyonu daima daha toksik etkiye sahiptir. Bu toksik etkinin metabolik aktiviteyi etkilemesinden dolayı olduğu düşünülmektedir ve her araştırmaya bağlı olarak her mikroorganizmanın biyogiderim yaptıkları boya tipi de farklı olmaktadır (Pavko 2011).

Literatürde artan boya konsantrasyonlarının biyogiderime olan etkisiyle ilgili bir takım çalışmalar bulunmaktadır.

Harazona vd. (2019) yaptıkları çalışmada Mnp enziminin etkinliğinde *Phanerochaete sordida* beyaz çürükçül fungusu ile 200, 500, 750, 1000 mg/L boya konsantrasyonunda RR120 boyasının biyogiderimi araştırılmıştır. 7 günün sonunda %90.7, %89.4, %85.6 ve % 75.9 biyogiderim oranları bulunmuştur.

Park vd. (2007) yaptıkları çalışmada RB5 boyasının *Funalia trogii* ile biyogiderimi için optimum koşullar araştırılmıştır. Karbon kaynaklarından früktoz, gliserol ve nişastanın biyogiderim çalışmaları için uygun olduğuna, laktoz ve sükrozun ise biyogiderim çalışmalarında uygun olmadığı bulunmuştur. Azot kaynağı olarak ise amonyum tartrat, maya özü ve pepton kullanıldığında biyogiderim oranı yüksek bulunmuştur. 150 mg/L, boya konsantrasyonunda 4.günlük inkübasyon süresinin sonunda glukoz ve amonyum tartarat kullanıldığında yaklaşık %93' e varan biyogiderim oranı bulunmuştur. 250 mg/L ve 350 mg/L boya konsantrasyonlarında yapılan çalışmalarda latin kare metodu uygulanmıştır ve optimum şartlar sağlandığında biyogiderim oranları %93, %96 olarak bulunmuştur.

Kumar vd. (2015) yaptıkları çalışmada Reactive Black HFGR (RB5) boyasının *Aspergillus sulphureus* fungusu ile giderimi araştırılmıştır. Karbon kaynağı olarak glukoz, fruktoz, sükroz kullanılması, boya konsantrasyonu 50, 200, 300 mg/L ve pH 4-8 aralığı parametreleri incelenmiştir. 20 günlük inkübasyon süresinin sonunda yüksek boya konsantrasyonu fungusun biyogiderim oranına negatif etki göstermesi sebebiyle, en iyi biyogiderim %93.04 ile pH 5, 200 mg/L RB5 ve karbon kaynağı olarak sükroz kullanılmasıyla bulunmuştur.

Taskin vd. (2010) yaptıkları çalışmada şeker fabrikasının kontamine olmuş topraktan izole edilen *Aspergillus niger MT-1* ile yaptıkları çalışmada RB5 boyasının biyogiderimi araştırılmıştır. *Aspergillus niger MT-1* için ucuz karbon kaynağı olarak melas ve azot kaynağı olarak amonyum klorür kullanılmasıyla en iyi giderim verimini bulmuşlardır. 4 gün 4 saatlik sürenin sonunda, 300 mg/ L' lik boya konsantrasyonunda biyogiderim % 91 olarak bulunmuştur.

Borchert vd. (2010) yaptıkları çalışmada *Trametes versicolor* ile batch reaktörü prosesi uygulanarak uzun bir süre enerji kaynağı olmadan, karbon kaynağı olarak glukoz kullanarak RB5 ve RBBR boyalarının biyogiderimleri araştırılmıştır. 100-500 mg/L konsantrasyonlarda yapılan çalışmalarda 18 döngü boyunca 200 gün sonunda, %91-99.5 biyogiderim oranı bulunmuştur.

Erdem vd. (2017) yaptıkları çalışmada RBBR boyasının *Trametes versicolor* ile biyogiderimi araştırılmıştır. Fruktoz, maltoz, pektin, ksiloz, nişasta karbon kaynaklarında ve pepton, maya özütü, amanyum nitrat gibi farklı azot kaynakları kullanılmıştır. Artan boya konsantrasyonlarının biyogiderime olan etkisinin belirlenebilmesi amacıyla, 50, 100, 200, 300, 400, 500 mg/L RBBR boya konsantrasyonlarında yapılan çalışmalarda, boya konsantrasyonu arttıkça biyogiderim oranının düştüğü belirlenmiştir. En düşük konsantrasyonda %99 biyogiderim oranı bulunurken, en yüksek boya konsantrasyonunda %47 biyogiderim oranı bulunmuştur.

Wang vd. (2008) yaptıkları çalışmada *Aspergillus fumigatus* ile RBBR boyasının biyogiderimi araştırılmıştır. Kültür ortamı glukoz, KH_2PO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, NaCl ve maya özütü içermektedir. 70.3, 213.1, 374.4, 570.3, 734.1 mg/L boya konsantrasyonlarında yapılan çalışmalarda 2.günlük sürenin sonunda biyogiderim oranları sırasıyla % 100, % 98.3, %57.6, % 31.7, %20.6 olarak bulunmuştur.

Yukarıda özetlenen çalışmalara bakıldığında, yapılan tez çalışmasında şeker fabrikası atığı olan melaslı besiyeri kullanılmıştır ve çalışmalarda kullanılmak üzere seçilen tüm fungusların yüksek boya konsantrasyonlarında dahi biyogiderim yapabildikleri görülmektedir.

5.4 Artan İnokülüm Miktarının Biyogiderime Etkisi

Artan boya konsantrasyonlarının biyogiderime olan etkisinin araştırılmasından sonra inokülüm miktarının biyogiderime etkisinin belirlenmesi için çalışmalar yapılmıştır. 2 numaralı fungal izolat ile yapılan deneylerde RB5 boyasının konsantrasyonları 313.04 mg/L, 626.08 mg/L, 927.53, 1275.36 mg/L olacak şekilde melaslı besiyerine eklemiştir. En yüksek boya giderim oranları sırasıyla % 93.98, %72.68, % 49.84, % 39.2 olarak bulunmuştur. 3 numaralı fungal izolat ile yapılan deneylerde BBR boyasının 315.23 mg/L, 575.23 mg/L, 901.9 mg/L, 1203.81 mg/L olacak şekilde melaslı besiyerine eklenmiştir. En yüksek boya giderim oranları sırasıyla % 99.24±0.6, % 98.59, % 88.06 % 31.32 olarak bulunmuştur. *A. tubingensis* ile yapılan deneylerde RR120 boyasının 308.18 mg/L, 591.81 mg/L, 910.9 mg/L, 1219.09 mg/L olacak şekilde melaslı besiyerine eklenmiştir. En iyi boya giderim oranları sırasıyla % 99.11, % 93.54, % 79.49, % 60.51 olarak bulunmuştur.

Artan boya konsantrasyonlarında inokülüm etkisi en iyi inkübasyonun üçüncü gününde görülmektedir. 2 numaralı fungus ile RB5 boyasının artan konsantrasyonlarında çift inokülüm etkisinin en iyi görüldüğü inkübasyonun üçüncü gününde biyogiderim yüzdeleri sırasıyla % 88.88, % 55.09, % 37.49, % 32.15 olarak hesaplanırken, tek inokülüm ile yapılan çalışmada biyogiderim yüzdeleri sırasıyla % 81.56, % 51.33, %

34.29, % 26.67 olarak hesaplanmıştır. 3 numaralı fungal izolat ile BBR boyasının artan konsantrasyonlarında çift inokulum etkisinin en iyi görüldüğü inkübasyonun üçüncü gününde biyogiderim yüzdeleri sırasıyla % 96.82, % 77.31, % 60.92, % 30.77 olarak hesaplanırken, tek inokulum ile yapılan çalışmada biyogiderim yüzdeleri sırasıyla % 81.08, % 64.78, % 57.56, % 27.49 olarak hesaplanmıştır. *A. tubingensis* ile RR120 boyasının artan konsantrasyonlarında çift inokulum etkisinin en iyi görüldüğü inkübasyonun üçüncü gününde biyogiderim yüzdeleri sırasıyla % 96.9, % 86.17, % 61.22, % 47.76 olarak hesaplanırken, tek inokulum ile yapılan çalışmada biyogiderim yüzdeleri sırasıyla % 95.76, % 80.84, % 60.21, % 45.8 olarak hesaplanmıştır.

Literatürde inokulum miktarının biyogiderime olan etkisiyle ilgili çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Erdem (2014) yaptığı çalışmada *T. versicolor* ile 50 mg/L konsantrasyondaki RBBR boyasının biyogiderim deneyinde inokulum miktarının etkisi araştırılmıştır. Karbon kaynağı olarak glukoz, azot kaynağı olarak amonyum nitrat kullanılan çalışmalarda, 1-5ml miktarda inokulum miktarları denenmiştir. RBBR boyası içeren ortama inoküle edilen *T. versicolor* bulunan sonuçlara göre 3 ml inokulum miktarından sonra maksimum biyogiderim oranına ulaşmıştır. En düşük inokulumde biyogiderim % 92, en yüksek inokulumde ise % 99 bulunmuştur.

Radha vd. (2005) yaptıkları çalışmada beyaz çürükçül fungus olan *Phanerochaete chrysosporium* ile farklı sentetik boyaların (Methyl violet, acid orange, acid red 114, vat magenta, methylene blue, acid green) biyogiderimleri araştırılmıştır. Kültür ortamı glukoz, 5.0 g/L KH_2PO_4 , 2.0 g/L NH_4Cl , 0.05 g/L $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.5 g/L $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0.1 g/L tiyaminde oluşmaktadır. 50 mg/L methyl violet boya konsantrasyonunda yapılan çalışmalarda, 0.25-4 ml inokulum miktarları denenmiştir. Biyogiderim oranı yaklaşık % 95 ile 2 ml inokulum miktarında bulunmuştur.

Asgher vd. (2013) yaptıkları çalışmada beyaz çürükçül fungus olan *Schizophyllum commune* ile Solar Brilliant Red 80 boyasının 100 mg/L konsantrasyonunun biyogiderimi araştırılmıştır. Nitrojen kaynağı olarak amonyum sülfat kullanarak, karbon kaynağı olarak glukoz kullanılmasıyla % 79.9 biyogiderim bulunmuştur. 1-7 ml miktarda inokülüm etkisinin de araştırıldığı çalışmada inokülüm miktarındaki artışın boyanın giderimi ile orantılı olarak arttığı bulunmuştur. Fakat bir süre sonra inokülüm miktarındaki artış ortamdaki besinlerin erken tükenmesinden dolayı fungusların renk giderim etkinliğinde azalmaya neden olmuştur.

Yukarıda özetlenen çalışmalara bakıldığında yapılan tez çalışmasında, hücre miktarının iki katına çıkarılması biyogiderim oranlarını olumlu olarak etkilemiştir. Tüm boya konsantrasyonlarda inokülüm etkisi görülmekle beraber tüm fungusların giderebileceği biyogiderim kapasitesine daha hızlı ulaşması inokülüm miktarının artmasıyla açıkça görülmektedir.

5.5 Artan boya konsantrasyonlarının ve inokülüm miktarının mikrobiyal gelişim, maksimum spesifik boya alımına etkisi

Artan boya konsantrasyonlarının biyogiderime olan etkisi ve inokülüm miktarının biyogiderime olan etkisinin araştırılmasından sonra 2, 3 numaralı funguslar ve *A. tubingensis* ile yapılan çalışmalarda inkübasyon süresinin sonunda mikrobiyal gelişim kuru ağırlık yöntemi ile belirlenmiştir. 2 numaralı fungal izolat ile düşük konsantrasyonda yapılan çalışmalarda, tek inokülümde mikrobiyal gelişim 6.63 g/L, çift inokülümde 7.05 g/L olarak bulunmuştur. Yüksek konsantrasyonda yapılan çalışmalarda, tek inokülümde 5.64 g/L bulunurken, çift inokülümde mikrobiyal gelişim 6.07 g/L bulunmuştur. 3 numaralı fungal izolat ile yapılan çalışmalarda yüksek boya konsantrasyonu mikrobiyal gelişimi olumsuz yönde etkilemiş ve yüksek konsantrasyonlarda yapılan çalışmalarda mikrobiyal gelişim sınırlandırılmıştır. Düşük konsantrasyonda yapılan çalışmalarda tek inokülümde 6.54 g/L, çift inokülümde 7.11 g/L olarak bulunmuştur. Yüksek konsantrasyonda tek inokülümde 4.03 g/L, yüksek konsantrasyonda ise 4.12 g/L olarak bulunmuştur. *A.tubingensis* ile düşük

konsantrasyonda yapılan çalışmalarda, tek inokulumde 6.53 g/L, çift inokulumde 7.23 g/L olarak bulunmuştur. Yüksek konsantrasyonda yapılan çalışmalarda, tek inokulumde 6.03 g/L, çift inokulumde ise 6.18 g/L olarak bulunmuştur. Maksimum spesifik boya alımının belirlenebilmesi için yapılan çalışmalarda, boya konsantrasyonu arttıkça maksimum spesifik boya alımı da artış göstermektedir. 2 numaralı fungal izolat ile yapılan çalışmalarda, düşük konsantrasyonda tek inokulumde 40.22 mg/g, çift inokulumde 41.73 mg/g olarak bulunmuştur. Yüksek konsantrasyonda ise tek inokulumde 76.83 mg/g, çift inokulumde 82.37 mg/g olarak bulunmuştur. 3 numaralı fungus ile yapılan çalışmalarda, boya konsantrasyonu arttıkça mikrobiyal gelişime bağlı olarak maksimum spesifik boya alımı da artış göstermektedir. Düşük konsantrasyonda tek inokulumde 44.23 mg/g, çift inokulumde 44.0 mg/g olarak bulunmuştur. Yüksek konsantrasyonda ise mikrobiyal gelişim negatif etkilenmesi sebebiyle maksimum spesifik boya alımı da etkilenmiştir. Yüksek konsantrasyonda tek inokulumde 86.49 mg/g, çift inokulumde ise 91.53 mg/g olarak bulunmuştur. *A. tubingensis* ile yapılan çalışmalarda, düşük konsantrasyonda tek inokulumde 46.15 mg/g, çift inokulumde 42.24 mg/g olarak bulunmuştur. Yüksek konsantrasyonda ise tek inokulumde 115.89 mg/g, çift inokulumde ise 119.37 mg/g olarak bulunmuştur.

Literatürde artan boya konsantrasyonlarının ve inokulum miktarının mikrobiyal gelişim, maksimum spesifik boya alımına etkisi ile ilgili çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Renganathan vd. (2008) yaptıkları çalışmada Acid Red 18 ve RB5 boyaalarının *Schizophyllum commune* ve *Trametes versicolor* ile biyogiderimleri araştırılmıştır. Kültür ortamı olarak potato dextrose kullanılmıştır. 3.günlük inkübasyon sonunda boyalar besiyerine eklenmiştir. RB5 boyasının 10, 20, 30, 50, 70, 100 mg/L boya konsantrasyonlarında, 5 günlük inkübasyon süresinin sonunda *S. commune* ile yapılan çalışmalarda artan boya konsantrasyonlarına göre sırasıyla biyogiderim oranları % 64.5, % 63.7, % 62.2, % 61.2, % 49.3, % 37.2 olarak bulunmuştur. *T. versicolor* ile RB5 boyasının biyogiderim çalışmalarında ise artan boya konsantrasyonlarına göre sırasıyla, % 63.3, % 62.5, % 62.0, % 61.0, % 48.6, % 36.7 olarak bulunmuştur. Artan boya konsantrasyonlarında mikrobiyal gelişim Acid Red 18 boyasının 10 mg/L konsantrasyonunda 21.9 g/L bulunurken, 100 mg/L boya konsantrasyonunda 19.5

olarak bulunmuştur. RB5 boyasının 10 mg/L konsantrasyonunda mikrobiyal gelişim 23.2 bulunurken, 100 mg/L boya konsantrasyonunda 20.8 olarak bulunmuştur. *S. Commune* ile yapılan çalışmalarda maksimum spesifik boya alımı ise Acid Red 18 için 82.1-179.1 mg/g, *T. versicolor* ile yapılan çalışmalarda RB5 için 76.1-178.3 mg/g olarak bulunmuştur.

Singh vd. (2017) yaptıkları çalışmada Acid Red ve Basic Blue boyalarının *A. flavus* ile biyogiderimi araştırılmıştır. Kültür ortamı olarak potato dextrose kullanılmıştır. 100 mg/L boya konsantrasyonunda yapılan çalışmalarda biyogiderim oranları Basic blue için % 62 bulunurken, Acid red % 77 bulunmuştur. 1-10 gün boyunca kuru ağırlık ölçülmüştür. Acid red boyası ile yapılan çalışmalarda inkübasyonun ilk gününde 0.16 (g/40 ml) bulunan kuru ağırlık, inkübasyonun 10. gününde 1.12 (g/40 ml) olarak ölçülmüştür. Basic blue ile yapılan çalışmalarda ise 1. günde 0.05 (g/40 ml) bulunan kuru ağırlık, inkübasyonun 10. gününde 0.98 (g/40 ml) olarak bulunmuştur.

Bankole vd. (2018) yaptıkları çalışmada, *Achaetomium strumarium* ile Acid Red 88 boyasının biyogiderimi araştırılmıştır. Kültür koşulları 100 ml potato dextrose içermektedir. 10-80 mg/L boya konsantrasyonlarında yapılan deneylerde biyogiderim verimi boya konsantrasyonlarına bağlı olarak düşmekte, maksimum spesifik boya alımı ise artmaktadır. 10 mg/L konsantrasyonda 4 günün sonunda biyogiderim % 99.55, maksimum spesifik boya alımı 24.35 mg/g olarak bulunurken, 80 mg/L boya konsantrasyonunda % 62.23 biyogiderim oranı, maksimum spesifik boya alımı ise 128.49 mg/g olarak bulunmuştur.

Lu vd. (2017) yaptıkları çalışmada *Aspergillus niger* fungusu ile Congo Red boyasının biyogiderimi araştırılmıştır. Kültür ortamı 10 g glukoz, 2 g NH₄Cl, 2 g KH₂PO₄, 0.5 g MgSO₄ and 2 g maya özütü içermektedir. 25-300 mg/L boya konsantrasyonlarında yapılan deneylerde boya konsantrasyonu arttıkça maksimum spesifik boya alımı da artmıştır. Düşük konsantrasyonda 14.63 mg/g, yüksek konsantrasyonda 151.99 mg/g olarak bulunmuştur. Batch reaktörü prosesi uygulanarak yapılan çalışmalarda durmaksızın 6 döngüde % 98.5 biyogiderim oranı bulunmuştur.

Özetlenen çalışmalar ışığında boya konsantasyonlarındaki artış fungusların mikrobiyal gelişiminde dramatik bir azalmaya sebep olmamaktadır. Yalnızca 3 numaralı fungal izolat için yüksek boya konsantrasyonu negatif bir etki göstermektedir. Fungusların yüksek boya konsantrasyonlarını dahi tolere edebildikleri görülmektedir.

Sonuç olarak; tekstil arıtımı son yıllarda büyük önem kazanmaktadır. Tekstil atıksularının arıtımında kullanılan fiziksel ve kimyasal yöntemlerin ekonomik olmayışları, sadece belirli boyalara etki etmeleri ve yoğun aktif çamur üretmeleri sebebiyle biyolojik arıtım oldukça ön plana çıkmaktadır. Tez çalışmasında, tekstil endüstrisinde kullanılan RB5, RR120, BBR boyalarının ülkemizden izole edilen filamentli funguslar ile bu boyaların biyogiderimleri araştırılmıştır. Filamentli fungusların farklı kimyasal yapıdaki boyalara dahi etki edebilmeleri, değişen pH değerlerinden etkilenmemeleri ve çalışmaların şeker fabrikası atığı ile yapılması, önem arz etmektedir. Bu sebepler sonucunda tekstil endüstrilerinin atıksularının arıtımı yapılırken, düşük maliyet ve doğaya verilebilecek tüm ekstra zararların önüne geçilebilmek için kullanılan bu funguslar oldukça umut vaad edici olmaktadırlar

KAYNAKLAR

- Adegoke, K., Bello, O. 2015. Dye sequestration using agricultural wastes as adsorbents. *Water Resources and Industry*, 12; 8-24.
- Adnan, L., Sathishkumar, P., Yusoff, A. M. 2015. Metabolites characterisation of laccase mediated Reactive Black 5 biodegradation by fast growing ascomycete fungus *Trichoderma atroviride* F03. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 104; 274-282.
- Afiya, H., Ahmet, E., Shah, M. 2019. Enzymatic Decolorization of Remazol Brilliant Blue Royal (RB 19) textile dye by White Rot Fungi. *Journal of Applied and Advanced Research*, 4; 11.
- Ahmad, A., Mohd-Setapar, H., Chuong, C. S., Khatoon, A., Wani, W.A., Kumar, R., Rafatullah, M. 2015. Recent advances in new generation dye removal technologies: novel search for approaches to reprocess wastewater. *Royal Society of Chemistry*, 5; 30801.
- Akkara, M., Tosun, H. 2014. Industrial Products Derived From Fungi: a review. *Electronic Journal of Food Technologies*, 9; 46-53
- Aksu, Z. 2003. Reactive dye bioaccumulation by *Saccharomyces cerevisiae*. *Process Biochemistry*, 38; 1437-1444.
- Aksu, Z. 2005 Application of biosorption for the removal of organic pollutants: a review. *Process Chemistry*, 40; 997-1026.
- Aksu, Z., Balibek, E. 2010. Effect of salinity on metal-complex dye biosorption by *Rhizopus arrhizus*. *Journal of Environmental Management*, 91; 1546-1555.
- Ali, H., Ahmad, W., Haq, T. 2009. Decolorization and degradation of malachite green by *Aspergillus flavus* and *Alternaria solani*. *African Journal of Biotechnology*, 8; 1574-1576.
- Ang, T. N., Ngoh G.C., Chua, A. S. M., Ismail I. 2014. Remazol Brilliant Blue R Dye Decolorization by Laccase Produced By *Pleurotus Sajor-caju* via Solid-State Fermentation. 978-602.
- Arunprasath, T., Sudalai, S., Meenatchi, R., Jeyavishnu, K., Arumugam, A. 2019. Biodegradation of triphenylmethane dye malachite green by a newly isolated fungus strain. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 17; 672-679.
- Asgher, M., Yasmeen, Q., 2013. Enhanced decolorization of Solar brilliant red 80 textile dye by an indigenous white rot fungus *Schizophyllum commune* IBL-06. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 20; 347-352

- Bankole O.P., Adekunle A. A., Obidi O.F., Olukanni O.D., Govindwar S.P., Degradation of indigo dye by a newly isolated yeast, *Diutina rugosa* from dye wastewater polluted soil. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5; 4639-4648
- Bankole, P., Adekunle, A., Obidi, O. 2018. Biodegradation and detoxification of Scarlet RR dye by a newly isolated filamentous fungus, *Peyronellaea prosopidis*. *Sustainable Environment Research*, 5; 214-222
- Bankole, P.O., Adekunle A.A., Govindwar S.P. 2018. Enhanced decolorization and biodegradation of acid red 88 dye by newly isolated fungus, *Achaetomium strumarium*. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1589–1600.
- Bartossova, A., Blinkova, L., Sirotiak, M., Michakikova, A. 2017 Usage of FITR-ATR as non-destructive Analysis of Selected Toxic Dyes. 25, 40.
- Benkhaya, S., El-Harfi, S., El-Harfi, A. 2017. Classifications, properties and applications of textile dyes: a review. *Journal of Enviromental Engineering*, 311-320
- Borchert, M., Libra, J. 2001. Decolorization of reactive dyes by the white rot fungus *Trametes versicolor* in sequencing batch reactors. *Biotechnology and Bioengineering*, 3; 313-321
- Burkinshaw S.M., 1995. *Chemical Principles of Synthetic Fibre Dyeing*, Springer Science and Business Media.
- Carlile, M.J., Watkincon, S.C., 2000. 'Laccases: Structure, Reactions, Distribution. *The Fungi Academic Press*, London, 35, 93-96.
- Carris L. M., Little, C., Stiles C. M. 2012. *Introduction to Fungi*. The American Phytopathological Society.
- Chacko, J., Subramaniam, K. 2011. Enzymatic Degradation of Azo Dyes: a review. *International Journal of Environmental Sciences*, 6; 1250-1260
- Chakraborty, J.N. 2014 *Fundamentals and Particites in Colouration of Textiles*. WPI, 29-45.
- Cotillas, S., Llanos, J. 2018. Removal of Procion Red MX-5B dye from wastewater by conductive-diamond electrochemical oxidation. *Electrochimica Acta*, 1-7.
- Crini, G., 2006. Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review. *Bioresource Technology*, 97; 1061-1085
- David M., 2017. *A Review Paper on Industrial Waste Water Treatment Processes*.
- De Gisi, S., Lofrano, G., Grassi, M. 2016. Characteristics and adsorption capacities of low-cost sorbents for wastewater treatment: a review. *Sustainable Materials and Technologies*, 9; 10-40
- Deacon J. 2006. *Fungal Biology*. Blackwell Publishing Ltd. *The Physical Science Basis*, 7; 1-30

- Dönmez, G. 2006. Tekstil atıksularının renginin gideriminde fotosentetik, aerobik ve anaerobik mikroorganizmaların kullanımı. Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi.
- Eichlerova, I., Homolka, L., Lisa, L., Nerud, F. 2005. Orange G and Remazol Brilliant Blue R decolorization by white rot fungi *Dichomitus squalens*, *Ischnoderma resinosa* and *Pleurotus calyptratus*. *Chemosphere*, 60; 398-404.
- El-Rahim, W., Moawad, H., Azeiz, A. 2017. Optimization of conditions for decolorization of azo-based textile dyes by multiple fungal species. *Journal of Biotechnology*, 260; 11-17
- Erdem, Ö., Cihangir, N. 2019. Color Removal of Some Textile Dyes from Aqueous Solutions Using *Trametes versicolor*. *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry*, 4; 499-507
- Grisales, M. P., Castrillon-Tabon, M., Copete-Pertuz, L. 2019. Biotransformation of the antibiotic agent cephadroxy and the synthetic dye Reactive Black 5 by *Leptosphaerulina* sp. immobilised on *Luffa* (*Luffa cylindrica*) sponge. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 18 ;1011051
- Gül, Ü. 2013. Treatment of dyeing wastewater including reactive dyes (Reactive Red RB, Reactive Black B, Remazol Blue) and Methylene Blue by fungal biomass. *Water SA*, 39; 593-598
- Harazono, K., Watanabe, Y., Nakamura K. 2003. Decolorization of azo dye by the white-rot basidiomycete *Phanerochaete sordida* and by its manganese peroxidase. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 95; 455-459.
- Holkar, C.R., Jadhav, A.J., Pinjari, D.V., Mahamuni, N.M., Pandit, A.B. 2016. A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches. *Journal of Environmental Management*, 182; 351-366
- Hunger, K. 2003. *Industrial Dyes Chemistry, Properties Applications*. 14-35.
- Ibrahim, N., Talib, S., Ismail, H. 2018. Decolorization of reactive red-120 by using macrofungus and microfungus. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 9; 954
- Imran, A., Aboul-Enein, H. 2004. Chiral Pollutants: Distribution, Toxicity and Analysis by Chromatography and Capillary Electrophoresis
- Ito, T., Shimada, Y. 2018. Potential use of bacteria collected from human hands for textile dye decolorization. *Water Resources and Industry*, 20; 46-53
- Karaca, H., Kivanc, M. 2012. Decolorization of Blue 13 with *Aspergillus Niveus* and *Fusarium Moniliforme*. 21-30
- Katheresan, V., Kansedo, J., Lau, S. 2018. Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: a review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6; 4676-4697

- Kaushik, P., Malik, A. 2009. Fungal dye decolourization: Recent advances and future potential. *Environment International*, 1; 127-141
- Kılıç, N.K, Karatay, S.E., Dönmez, G., 2011. Potential of *Gonium* spp. in Synthetic Reactive Dye Removal, Possible Role of Laccases and Stimulation by Triacantanol Hormone. *Water, Air, & Soil Pollution*, 222(1-4); 297-303.
- Kocaer, F., Alkan, U. 2002. Boyar madde içeren tekstil atıksularının arıtım alternatifleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7; 47-55
- Kumar, S., Kumar R. 2015. Decolorization of Reactive Black HFGR by *Aspergillus sulphureus* Decolorization of Reactive Black HFGR by *Aspergillus sulphureus*. *Annals of Biology Research*, 3; 3811-3817
- Lafi, R., Gzara, L., Lajimi, R. 2018. Treatment of textile wastewater by a hybrid ultrafiltration/electrodialysis process. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 132; 105-113
- Lu, T., Zhang, Q., Yao, S. 2017. Efficient decolorization of dye-containing wastewater using mycelial pellets formed of marine-derived *Aspergillus niger*. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 25; 330-337.
- Margesin, R., Schinner, F. 2001. Biodegradation and bioremediation of hydrocarbons in extreme environments. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 56; 650-663.
- Mazmanci, M., Ünyayar. A. 2005. Decolourisation of Reactive Black 5 by *Funalia trogii* immobilised on *Luffa cylindrica* sponge. *Process Biochemistry*, 40; 337-342
- Miao, Y. 1992 Biological Remedation of dyes in textile effluent. a review. *Current Treatment Technologies*, 1-10
- Mustafa, T. Yagub, Tushar, Kanti S., Sharmeen, A., Ang, H.M. 2014. Dye and its removal from aqueous solution by *Acidithiobacillus thiooxidans*. *Journal of Environmental Management*, 182; 265-271
- Nyugen, T., Juang, R. 2013. Treatment of waters and wastewaters containing sulfur dyes: a review. *Chemical Engineering Journal*, 219; 109-117
- Okur, M., Saracoglu, N., Aksu, Z. Use of response surface methodology for the bioaccumulation of Violet 90 metal-complex dye by *Candida tropicalis*. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 38; 217-230
- Otondo, A., Kokabian, B., Stuart-Dahl, S. 2018. Energetic evaluation of wastewater treatment using microalgae *Chlorella vulgaris*. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6; 3213-3222

- Palmieri, G., Cennamo, G., Sannia, G. 2005. Remazol Brilliant Blue R decolourisation by the fungus *Pleurotus ostreatus* and its oxidative enzymatic system. *Enzyme and Microbial Technology*, 36; 17-24
- Park, C., Lim, J., Lee, Y. 2007. Optimization and morphology for decolorization of reactive black 5 by *Funalia trogii*. *Enzyme and Microbial Technology*, 40; 1758-1764
- Paz, A., Carballo, J., Perez, M. 2017. Biological treatment of model dyes and textile wastewaters. *Chemosphere*, 181; 168-177
- Permpornsakul, P., Prasongsuk, S., Lotrakul, P. 2016. Biological treatment of reactive black 5 by resupinate white rot fungus *Phanerochaete sordida*. *Polish Journal of Environmental Studies*, 3; 1167-1176
- Przystas, W., Zabłocka-godlewska, E., Grabinska-Sota, E. 2017. Efficiency of decolorization of different dyes using fungal biomass immobilized on different solid supports. *Brazilian Journal of Microbiology*, 9; 285-295
- Radha, K., Regupathi, I., Arunagiri, A. 2005. Decolorization studies of synthetic dyes using *Phanerochaete chrysosporium* and their kinetics. *Process Biochemistry*, 40; 3337-3345
- Rauf A. M., Ashraf, S.S. 2012. Survey of recent trends in biochemically assisted degradation of dyes. *Chemical Engineering Journal*, 520-530
- Reddy D., Lee, S. 2012. Water Pollution and Treatment Technologies. *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*, 02; 2-4
- Renganathan, S., Thilagaraj, W., Miranda, L. 2006. *Accumulation of Acid Orange 7, Acid Red 18 and Reactive Black 5 by growing Schizophyllum commune*. *Bioresource Technology*, 97; 2189-2193
- Sancak, S., Akyön, Y. Microsporidia: general characteristics, infections and laboratory diagnosis. *Mikrobiyoloji Bulteni*, 39; 513-522
- Sandhya, S. 2010. Biodegradation of Azo Dyes Under Anaerobic Condition: Role of Azoreductase. 39-57
- Senthilkumar, S., Perumalsamy, M., Janardhana Prabhu, H. 2014. Decolourization potential of white-rot fungus *Phanerochaete chrysosporium* on synthetic dye bath effluent containing Amido black 10B. *Journal of Saudi Chemical Society*, 6; 845-853
- Shah, M., Patel, K., Nair, S., Darji, A.M. 2013. Environmental Bioremediation of Dyes by *Pseudomonas aeruginosa* ETL-1 Isolated from Final Effluent Treatment Plant of Ankleshwar. *American Journal of Microbiological Research*; 1; 74-83
- Shore J., 1995. *Cellulosics Dyeing*, Society of Dyers and Colourists.

- Singh, L. 2017. Decolourization of Azo (Acid Red) and Anthraquinonic (Basic Blue) Dyes by the Fungus *Aspergillus flavus*. International Journal of Biomedical Engineering and Clinical Science, 3; 1
- Sinha, A., Lulu, S., Vino, S., 2018. Degradation of reactive green dye and textile effluent by *Candida* sp. VITJASS isolated from wetland paddy rhizosphere soil. Journal of Environmental Chemical Engineering, 6; 5150-5159
- Solis, M., Solis, A., Perez, H. 2013. Microbial decolouration of azo dyes: a review. Process Biochemistry, 12; 1723-1748.
- Srinivasan, S., Murthy, D. 2009. Statistical optimization for decolorization of textile dyes using *Trametes versicolor*. Journal of Hazardous Materials, 165; 909-914
- Suresh, A., Grygolowicz-Pawlak, E., Pathak, S. 2018. Understanding and optimization of the flocculation process in biological wastewater treatment processes: a review. Chemosphere, 210; 401-416
- Syed, Z., Sonu, K., Dongre, A., Sogani, M. 2019. Bioelectrical Systems for Removal of Endocrine Disrupting Compounds From Waste Water: a review. Global Journal of Engineering Science and Reseaches, 2348 – 8034
- Taskin, M., Erdal, S. 2010. Reactive dye bioaccumulation by fungus *Aspergillus niger* isolated from the effluent of sugar fabric-contaminated soil. Toxicology and Industrial Health, 26; 239-247
- Taylor, T. N., Krings M., Taylor, E. L. 2015. Fossil Fungi. 382 p. Academic Press, ISBN: 978-0-12-387731-4
- Vardar, B., 2006. Tekstil Endüstrisi Reaktif Boya Banyolarının Elektrokimyasal Yöntemler ile Arıtımı, Yüksek Lisans Tezi
- Vikrant, K., Giri, B., Raza, N. 2018. Recent advancements in bioremediation of dye: Current status and challenges. Bioresource Technology, 253; 355-367
- Vlyssides, A., Loizidou, M., Karlis, P. 1999. Electrochemical oxidation of a textile dye wastewater using a Pt/Ti electrode. Journal of Hazardous Materials, 70; 41-52
- Vyas, B.R.M., Molitoris H.P. 1995. Involvement of an Extracellular H₂O₂-Dependent Lignolytic Activity of the White Rot Fungus *Pleurotus ostreatus* in the Decolorization of Remazol Brilliant Blue R. Applied and Environmental Microbiology, 61; 3919-3927
- Wang, B., Hu, Y. 2008. Bioaccumulation versus adsorption of reactive dye by immobilized growing *Aspergillus fumigatus* beads. Journal of Hazardous Materials, 157; 1-7.
- Wöhrle, D., Schnurpfeil, G., Makarov, S. G., Kazarin, A., Suvorova, O.N. 2012 Practical Applications of Phthalocyanines – from Dyes and Pigments to Materials for Optical, Electronic and Photo-electronic Devices. Macroheterocycles, 5; 191-202

- Xin, B., Chen, G., Zheng, W. 2010. Bioaccumulation of Cu-complex reactive dye by growing pellets of *Penicillium oxalicum* and its mechanism. *Water Research*, 44; 3565-3572
- Yagub, M., Sen, T., Afroze, S. 2014. Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: a review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 209; 172-184
- Yagub, M.T., Sen, T.K., Afroze, S., Ang, H.M. 2014. Dye and its removal from aqueous solution by adsorption. *Advances in Colloid and Interface Science*, 209, 172-184.
- Yang, P., Shi, W., Wang, H. 2016. Screening of freshwater fungi for decolorizing multiple synthetic dyes. *Brazilian Journal of Microbiology*, 4; 828-834.
- Yesilada, O., Asma, D., Cing, S. 2003. Decolorization of textile dyes by fungal pellets. *Process Biochemistry*, 38; 933-938
- Yesilada, Ö., Birhanli, E., Ercan, S. 2014. Reactive dye decolorization activity of crude laccase enzyme from repeated-batch culture of *Funalia troglia*. *Turkish Journal of Biology*, 38; 103-110
- Zhang, H., Yang, H., Xie, K., Hou, A., Gao, A. 2018. Novel reactive dyes with intramolecular color matching combination containing different chromophores. *Dyes and Pigments*, 159; 576-583.
- Zia, S., Graham, D., Dolfing, J. 2018. Wastewater treatment: Biological. *Water Research*, 20, 2645-2655

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gözde BODUR

Doğum Yeri : Aydın

Doğum Tarihi : 02.04.1993

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Lüleburgaz Anadolu Lisesi (2011)

Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü (2015)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı
(2019)

Uluslararası Poster Sunumu:

Bodur, G., Karatay, S.E., Dönmez, G. “Mycoremoval of Reactive Dyes With Different Chemical Structures in Molasses Medium page 214, abstract book. International Conference, Smart Bio“ 3-5 of May 2018, Kaunas Lithuania