

***Trametes versicolor* İLE TEKSTİL BOYAR  
MADDELERİNİN RENGİNİN GİDERİMİ**

**DECOLORIZATION OF TEXTILE DYES BY  
*Trametes versicolor***

**ÖZGECAN ERDEM**

**PROF. DR. NİLÜFER CİHANGİR**

**Tez Danışmanı**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Biyoloji Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2014

## ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlerle bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu, atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

08/09/2014

ÖZGECAN ERDEM

# ***Trametes versicolor* İLE TEKSTİL BOYAR MADDELERİNİN RENGİNİN GİDERİMİ**

**Özgecan ERDEM**

**Yüksek Lisans, Biyoloji Bölümü**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nilüfer CİHANGİR**

**Eylül 2014, 58 sayfa**

Tekstil endüstrisinde yüksek oranda boyar madde kullanılmaktadır. Kullanılan bu boyar maddeler ve diğer kimyasallar sonucu oluşan atık ürünler deniz, göl, akarsu gibi alıcı ortamlara atık su olarak verilmektedir. Yüksek oranda kimyasal madde ile kontamine olmuş atık sular genellikle kimyasal ve fiziksel yöntemlerle arıtılmaktadırlar. Biyolojik yöntemlerle arıtım ise ekonomik olmasının yanı sıra daha etkilidir. Bu bilgiler ışığında, bakteriler, algler, bitkiler ya da funguslar kullanılarak uygulanan arıtım yöntemleri öne çıkmaktadır. *Trametes versicolor*'un da içinde bulunduğu beyaz çürükçül funguslar tekstil atık sularının biyoremediasyonunda çoklukla kullanılan mikroorganizmalar arasındadır.

*Trametes versicolor* ATCC 200801 ile yaptığımız çalışmamızda Solazol Blue BB, Neutrilan Black, Reactive Bright Yellow, Reactive Red ve Solazol Turquoise Blue boyar maddelerinin giderimi incelendi. Dekolorizasyon oranı karşılaştırmaları sonucu Reactive blue 19(Solazol Blue BB) %99 ile en yüksek orana sahip oldu. Bu yüzden çalışmalara

Reactive Blue 19 ile devam edildi. 6 günlük kültür ile yapılan çalışmalarda, 2 saate gerçekleşen dekolorizasyon için optimum fizyolojik koşullar incelendi. Karbon kaynağı olarak, glukoz, ksiloz ve maltozda en yüksek oranlar elde edildi. Azot kaynağı olarak mikroorganizmanın pepton ve NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 'ı kullanarak dekolorizasyon işlemine % 97 ve % 99 oranlarında gerçekleştirdiği rapor edildi. Optimum pH 4 olarak belirlenirken, düşük sıcaklığın dekolorizasyon işlemine etkilemediği ancak 60°C 'nin üzerine çıkıldığında dekolorizasyon oranının düştüğü gözlendi. alkalama hızının boya giderim işlemine etkilemediği rapor edildi. Son olarak ham lakkaz özütüyle yapılan çalışmada %90 oranında sonuç veren dekolorizasyon işleminin enzimatik biyodegradasyon ile olabileceği belirlendi.

**Anahtar kelimeler:** Reactive Blue 19, dekolorizasyon, *Trametes versicolor* ATCC 200801

## **ABSTRACT**

### **DECOLORIZATION OF TEXTILE DYES BY *Trametes versicolor***

**Özgecan ERDEM**

**Master of Science, Department of Biology**

**Supervisor: Prof. Dr. Nilüfer CİHANGİR**

**September 2014, 58 pages**

Dyes are used with high incidence in textile industry. Waste products that are composed in consequence of mentioned dye and other chemicals are discharged to receiving environment as sea, lake, stream etc. Waste water that is contaminated with high level of chemical agents are generally purified with chemical and physical method. On the other hand, water treatment with biological methods is more effective as well as being economic. In the light of this knowledge, water treatment methods which are adopt with using bacteria, algae, plant, or fungi become prominent. White rot fungi including *Trametes versicolor* participating microorganisms that are frequently used in the bioremediation of textile waste water.

In this thesis, decolorization of Solazol Blue BB, Neutrilan Black, Reactive Bright Yellow, Reactive Red and Solazol Turquoise Blue are investigated by using *Trametes versicolor*.

As a result of the comparison of decolorization percentage, Reactive Blue 19 (Solazol Blue BB) had the highest rate as 99%. So, investigations were proceeded with Reactive Blue 19. Optimum physiological conditions were investigated with 6-days old cultures for decolorization occurs in 2 hours. High percentages were achieved in glucose, xylose and maltose as carbon resource. Microorganisms decolorize with using peptone and  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  in the percentage of 97% and 99% as a nitrogen resource. In addition to determine the optimum pH is 4, decolorization is not effected from low temperature, and however decreased decolorization rate was observed when the temperature increased over  $60^\circ\text{C}$ . Decolorization is not effected by agitation speed. All things considered, decolorization which results 90%, can be used with enzymatic biodegradation in this experiment with crude laccase extract.

**Key words:** Reactive Blue 19, decolorization, *Trametes versicolor* ATCC 200801

## TEŞEKKÜR

Lisans, yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam süresince bilgi, ilgi ve yardımını benden esirgemeyen değerli danışmanım, Prof. Dr. Nilüfer CİHANGİR'e saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim süresince bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren Prof. Dr. Nilüfer AKSÖZ' e saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Her koşulda sabırla yanımda olan, beni bugüne kadar yetiştiren annem Fulya ERDEM, babam Mücahit ERDEM ve anneannem Müveddet KEYF' e teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam süresince yardımlarını benden esirgemeyen Arş. Gör. Dr. Demet ERDÖNMEZ ve Arş. Gör. Y. Doruk ARACAGÖK' e,

Lisans döneminde ve yüksek lisans döneminde hep beraber çalıştığımız, birbirimize her koşulda destek olduğumuz Sebahat TEKCAN DÜĞENCİ' ye,

Yüksek lisans döneminde her konuda yanımda olan Arş. Gör. Kübra ERKAN' a, Kardeşim yerine koyduğum, hiçbir koşulda beni yalnız bırakmayan, destek olan Gizem KADIOĞLU BECANIM' a, yıllardır her günümüzü beraber geçirdiğimiz her zaman yanımda olan Selin KÜTLÜ ve Ali Emir ÇAKMAK' a, lisans döneminden beri her konuda destek olan Özge ÜNLÜ, Gülşah TOSUN ve Gözde YALIM'a, iyi-kötü günlerimizi beraber geçirdiğimiz, hayatımı neşeli kılan arkadaşlarım, Gözde KOŞARSOY, Muhammed Hasan AKYIL, Gizem YAŞAL, Hamideh HAMMAMCHI, Solat REZAEİ, Solmaz MOSAYYEBİ, Seray KENAR, Mehmet Kürşat ŞAHİN ve Erkay ÖZGÖR' e

Lisans döneminde, özel çalışma sırasında bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen Arş. Gör. Sinem DİKEN GÜR' e,

Biyoteknoloji anabilim dalı hocaları ve öğrencilerine,

Tezimde kullandığım kimyasalları temin etmemi sağlayan, Piko Kimya Tekstil ve Tic. Ltd. Şti.' ye teşekkürü bir borç bilirim.

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1.GİRİŞ.....	1
2.GENEL BİLGİLER.....	3
2.1.Tekstil Atık Suları.....	3
2.1.1.Tekstil Atık Sularının Çevre Üzerine Etkisi.....	4
2.1.2.Tekstil Atık Sularının İnsan Üzerine Etkisi.....	5
2.2.Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Boyar Maddeler.....	6
2.2.1.Azo Boyar Maddeler.....	7
2.2.2. Boyar Maddeler.....	8
2.3.Tekstil Endüstrisi Atıklarının Arıtımı ve Arıtım Yöntemleri.....	10
2.3.1.Kimyasal Yöntemler.....	11
2.3.2.Fiziksel Yöntemler.....	11
2.3.3.Biyolojik Yöntemler.....	11
2.3.3.1.Aerobik Koşullarda Biyodegradasyon.....	12
2.3.3.2.Anaerobik Koşullarda Biyodegradasyon.....	13
2.3.3.3.Biyosorpsiyon.....	13
2.3.3.4.Bitkiler ile Yapılan Çalışmalar.....	14



2.3.3.5.Bakteriler ile Yapılan Çalışmalar.....	14
2.3.3.6.Algler ile Yapılan Çalışmalar.....	15
2.3.3.7.Mayalar ile Yapılan Çalışmalar.....	16
2.3.3.8.Fungus ile Yapılan Çalışmalar.....	18
2.3.3.8.1.Beyaz Çürükçül Funguslar.....	20
2.3.3.8.2. <i>Trametes versicolor</i> 'un Özellikleri.....	21
2.3.3.9. <i>T. versicolor</i> 'un Enzimleri.....	21
2.3.3.9.1.Lakkaz ve Kullanım Alanları.....	22
3.MATERYAL VE METOD.....	23
3.1.Çalışmada Kullanılan Boyar Maddeler.....	23
3.2.Boya Çözeltilerinin Hazırlanması ve Uygun Boyanın Saptanması....	23
3.3.Çalışmada Kullanılan Mikroorganizma, Üretimi ve Saklanması.....	23
3.3.1.Mikroorganizma İçin Optimum Üreme Süresinin Hesaplanması...24	
3.4.Çalışmada Kullanılan Besi Yerleri ve Çözeltiler.....	24
3.4.1.Besi Yerleri.....	24
3.5.%Dekolorizasyonun Hesaplanması.....	25
3.6.Kuru Ağırlıkların Hesaplanması.....	26
3.7.Uygun İnokulum Miktarının Saptanması.....	26
3.8.Dekolorizasyon Süresinin Hesaplanması.....	26
3.9. Uygun pH'nın Saptanması.....	27
3.10.Uygun Karbon Kaynağının Saptanması.....	27
3.11.Uygun Azot Kaynağının Saptanması.....	27
3.12.Uygun Sıcaklığın Saptanması.....	28
3.13.Uygun Çalkalama Hızının Saptanması.....	28
3.14.Lakkaz Aktivitesinin Hesaplanması.....	28

4.SONUÇ VE TARTIŞMA.....	29
4.1.Maksimum Dekolorizasyon Gerçekleştiren Boyar Maddenin Seçimi.....	29
4.2. <i>T. versicolor</i> ATCC 200801'in, Dekolorizasyon İçin Optimum Üreme Süresinin Tespit Edilmesi.....	30
4.3. <i>T. versicolor</i> ATCC 200801'in Dekolorizasyon İçin Optimum İnokulum Konsantrasyonunun Tespit Edilmesi.....	32
4.4. <i>T. versicolor</i> ATCC 200801 Tarafından Reactive Blue 19 Boyasının Dekolorizasyon Süresinin Tespit Edilmesi.....	33
4.5.Farklı pH Değerlerinin <i>T. versicolor</i> ATCC 200801'in Boya Gideriminin Üzerine Etkisi.....	33
4.6.Farklı Karbon Kaynaklarının <i>T. versicolor</i> ATCC 200801'in Boya Gideriminin Üzerine Etkisi.....	34
4.7.Farklı Azot Kaynaklarının <i>T. versicolor</i> ATCC 200801'in Boya Gideriminin Üzerine Etkisi.....	36
4.8.Farklı Sıcaklık Değerlerinin <i>T. versicolor</i> ATCC 200801'in Boya Gideriminin Üzerine Etkisi.....	37
4.9.Çalkalama Hızının <i>T. versicolor</i> ATCC 200801'in Boya Gideriminin Üzerine Etkisi.....	38
4.10. Boya Konsantrasyonunun <i>T. versicolor</i> ATCC 200801'in Boya Gideriminin Üzerine Etkisi.....	39
4.11. <i>T. versicolor</i> ATCC 200801' den Elde Edilen Kaba Enzim Özütünün Dekolorizasyon Üzerine Etkisi.....	41
KAYNAKLAR.....	44
ÖZGEÇMİŞ.....	57

## SİMGELER VE KISALTMALAR

gr	Gram
L	Litre
mg	Miligram
ml	Mililitre
mM	Milimolar
rpm	Dakikadaki Devir Sayısı (Revolution Per Minute)
°C	Santigrad Derece
U	Ünite Aktivite
U/ml	Ünite/mililitre
µl	mikrolitre
mg/l	miligram/litre
gr/ml	gram/mililitre
ppm	miligram/litre boyar madde
nm	nanometre
C.I.	Color Index
max.	Maksimum
MnP	Mangan Peroksidaz
Tyr	Tirozinaz
Lip	Lignin Peroksidaz
ABTS	2,2'-azino-bis(3- etilbenzotiazolin-6-sulfonik faset)
PDA	Potato Dextrose Agar
OD	Optik Dansite

# ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Solazol Blue BB boyasının kimyasal yapısı.....	9
Şekil 2.2. Neutrilan Black boyasının kimyasal yapısı.....	9
Şekil 2.3. Reactive Bright Yellow boyasının kimyasal yapısı.....	10
Şekil 2.4. Reactive Red boyasının kimyasal yapısı.....	10
Şekil 2.5. Solazol Turquoise Blue boyasının kimyasal yapısı.....	10
Şekil 4.1. 50 ppm Reactive Blue 19 boyası kullanılarak yürütülen çalışmaya ait bulgular.....	30
Şekil 4.2. <i>T. versicolor</i> ATCC 200801'in günlere karşı kuru ağırlık değerleri.....	31
Şekil 4.3. İnokulum konsantrasyonunun Reactive Blue 19 dekolorizasyonu üzerine etkisi.....	32
Şekil 4.4. <i>T. versicolor</i> ATCC 200801'in Reactive Blue 19 boyar maddesinin zamana karşı dekolorizasyon oranı.....	33
Şekil 4.5. Sıcaklık değişiminin Reactive Blue 19 dekolorizasyonu üzerine etkisi.....	37
Şekil 4.6. Çalkalama hızı değişiminin Reactive Blue 19 boyası üzerine etkisi.....	39

Şekil 4.7. Boya konsantrasyonu değişiminin Reactive Blue 19 dekolorizasyonu üzerine etkisi.....40

Şekil 4.8. Farklı konsantrasyonda Reactive Blue 19 boyası kullanılarak yürütölen çalışmaya ait bulgular.....41

Şekil 4.9. Kaba enzim özütünün Reactive Blue 19 dekolorizasyonu üzerine etkisi.....42

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Çalışmada Kullanılan Boyar Maddelerin Özellikleri.....	8
Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan boyar maddelerin dekolorizasyon yüzdeleri.....	29
Çizelge 4.2. <i>T.versicolor</i> ATCC 200801'in günlere ait % dekolorizasyon, kuru ağırlık ve enzim aktivitesi değerleri.....	31
Çizelge 4.3. Farklı pH değerlerinin dekolorizasyon üzerine etkisi.....	34
Çizelge 4.4. Farklı karbon kaynaklarının Reactive Blue 19 dekolorizasyonu üzerine etkisi.....	35
Çizelge 4.5. Farklı azot kaynaklarının Reactive Blue 19 dekolorizasyonu üzerine etkisi .....	36

## 1.GİRİŞ

Tekstil endüstrisinde fazla miktarda boyar madde kullanıldığı bilinmektedir. Kullanılan bu maddeler üretim sürecinde ve sonrasında alıcı ortamlara büyük miktarlarda tahliye edilmektedir. Çevreye bırakılan bu atıkların canlılar için toksik etkisinin yanı sıra ortamdaki görüntü kirliliğinden dolayı renginin uzaklaştırılmasına çalışılmaktadır [1],[2].

Alıcı ortam olan deniz, göl, akarsu gibi sucul ortamlara verilen atık sulardaki boyaların varlığı güneş ışığının geçmesini engellemekte böylece fotosentetik aktivite ve çözünmüş oksijen konsantrasyonunu azaltmaktadır. Oluşan bu anaerobik ortam sucul ortamda bulunan aerobik canlılara zarar vermektedir [3], [4], [5].

Bugüne kadar araştırmacılar tekstil atık sularından boyaların arıtımı için ekonomik yöntemler geliştirmeye çalışmışlardır, fakat boya atık sularının giderimi için uygulanabilir ve maliyeti düşük bir yöntem geliştirilememiştir. Atık sulardan boya giderimi büyük bir sorun olarak önemini korumaktadır. Atık sulardan boyaların uzaklaştırılması üç farklı yolla sağlanabilir. Bunlar; kimyasal, fiziksel ve biyolojik olarak 3 kategoriye ayrılır [6], [7].

Birçok mikroorganizma dekolorizasyon çalışmaları için kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılan mikroorganizmalardan birisi beyaz çürükçül funguslardır. Sahip oldukları lakkaz, lignin peroksidaz, mangan peroksidaz gibi enzimleri sayesinde; kağıt hamurunun ağartılması, tekstil boyalarının arıtılması, atık su detoksifikasyonu, biyopolimer modifikasyonu, biyoremediasyon gibi endüstriyel uygulamaları bulunmaktadır. [8], [9].

Yapılan çalışmada, *Trametes versicolor* ATCC 200801'in tekstil boyar maddeleri üzerinde çeşitli parametreler kullanılarak dekolorizasyon etkileri araştırıldı. pH değişimi, ortam sıcaklığı, azot ve karbon kaynağındaki değişimler, boya konsantrasyonu ve çalkalama hızı gibi

parametreler doğrultusunda boya gideriminde *Trametes versicolor* ATCC 200801 beyaz çürükçülünün ürettiği enzimin aktivitesi saptandı.



## **2. GENEL BİLGİ**

### **2.1. Tekstil Atık Suları**

Tekstil endüstrisinin boyama ve ürün işlenmesi sonrası oluşan, arıtılmayan ya da az düzeyde arıtılarak alıcı ortama bırakılan atıkların sebep olduğu ciddi çevre sorunları, son yıllarda dikkat çekmektedir. [2], [10].

Tekstil endüstrileri, yaş dokuma süreçleri için azımsanmayacak miktarda su ve kimyasal madde harcamaktadır. Bu kimyasal maddeler; haşıl sökme, pişirme, ağartma, boyama, emprime ve apreleme gibi işlemler sırasında kullanılmaktadır. Kullanılan kimyasallar, inorganik bileşik ve elementlerden polimer ve organik bileşiklere kadar dağılım göstermektedir [4] .

Son yıllarda bilim ve teknolojinin hızla gelişmesi ile birlikte, çeşitli endüstriyel işlemlerde kullanılacak olan kimyasallara olan talep artmış durumdadır. Hızla büyüyen endüstriyel gelişmeler sonucunda artan çevre kirliliği modern dünyanın karşı karşıya olduğu önemli sorunlardan biridir. Tekstil endüstrisinden %10-15 oranında boyar madde atık sulara karışır. Bu atık sular, kalıntı boya, yardımcı kimyasal maddeler, yüzey aktif maddeler, klorlu bileşikler ve bunların tuzlarını içermektedir[11]. Tekstil atık suları genellikle düşük biyoparçalanabilirlik, renk içeriği ve yüksek pH'ya sahip olmaları nedeniyle kirli atık sular arasında yer almaktadırlar [12].

Tekstil boyama endüstrisi, önemli miktarda boya ve yardımcı kimyasallar kullanılmaktadır. Boyama işlemi sonrasında ise yüksek oranda boya partikülleri içeren atık sular deşarj edilmektedir [13].

Tekstil endüstrisinde sentetik boyalar yaygın olarak kullanılmaktadır. Dünya çapında her yıl 280.000 ton tekstil boyası atık sulara karışmaktadır. Bu atıkların direkt olarak çevreye karışması toksik aromatik aminlerin oluşmasına neden olmaktadır [14].

Sentetik boyalar, sucul çevreyi kirleten önemli organo-kirleticilerdendir. Boyaların çevresel tehlikelerinin dışında, çok az konsantrasyonlarda bile ortamda bulunması estetik görünümü etkilemesinin yanı sıra suya ulaşan güneş ışınlarının geçmesini engelleyerek fotosentetik canlılar üzerinde olumsuz etkilere neden olur [15].

Boyar madde içeren atık sular genellikle, 5-1500 mg/l konsantrasyonda reaktif boyar madde içermektedir. Böyle yüksek oranda kimyasal madde ile kontamine olmuş endüstriyel atık sularının arıtılması gerek çevre, gerek de insan sağlığı için önemlidir [16].

### **2.1.1. Tekstil Atık Sularının Çevre Üzerine Etkisi**

Tekstil boyama endüstrisinde farklı çeşit ve miktarda boya kullanılır. Boyama işlemi sonrası, yoğun miktarda boya içeren renkli atık suyu alıcı ortama verilir. Atıkların neden olduğu kritik çevresel etmenlerden birisi; hidrosülfidlerin varlığıyla ışığın suya geçmesinin engellenmesi, dolayısıyla büyük ölçüde suda bulunan oksijen konsantrasyonunun azalmasıdır [13].

Tekstil atık sularının neden olduğu kirlilik sadece sucul ortamlarla sınırlı olmayıp, toprak kirliliğine de yol açmaktadır. Özellikle azo boyaların anaerobik koşullar altında karsinojenik maddelere dönüşmesi durumu önemli sorunlar ortaya çıkarmaktadır [17].

### **2.1.2. Tekstil Atık Sularının İnsan Üzerine Etkisi**

Tekstil imalatında kullanılan her türlü boya, azo boyar maddelerdir. Renklendiriciler olarak da ifade edilen bu maddeler Avrupa Birliği'nin yasak listesinde yer almaktadır. T.C. Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü'ne göre, 1 Mart 1995 tarihinden itibaren aril aminler ile bunları içeren azo - boyar maddelerinin deri, tekstil ve hazır giyim ürünlerinde ve bunların boyahanelerinde kullanılmaları yasaklanmıştır. Ancak 30 ppm'in altındaki azo boyar maddeli ürünlerin ithalatı ülkemizde serbesttir[18].

Azo boyar maddelerin kullanıldığı ürünler insan vücuduna temas ettiğinde, özellikle ter yoluyla hücreleri etkilemekte ve ciddi sağlık sorunlarına neden olmaktadır. Bu maddelerin en fazla kullanıldığı tekstil ürünleri ise Hindistan'dan gelen tekstil ürünleridir. Bugüne kadar toplam 2210 firmadan alınan numunelerin 55'inde limitin üzerinde azo boyarlı madde tespit edilirken yetkililer özellikle Çin, Bangladeş, Hindistan ve Nepal'den gelen ürünlerin kontrol edilmesi gerektiğini belirtmektedir. Şu an kullanılan boyar maddelerin %70'ini oluşturan azo boyar maddeler enzimlerin etkisiyle aromatik aminlere indirgenebilmektedir. Bunlardan bazıları ise kanserojen özelliğe sahiptir [19].

Tekstil endüstrisinde sık kullanılan bir diğer boya çeşidi ise proteinlerle reaksiyona girdiğinde alerjiye sebep olan reaktif boyar maddeler olarak nitelenmektedir [19].

Nikel, kobalt, krom, bakır gibi ağır metal iyonları boyar maddeler aracılığıyla terleme yoluyla insan vücuduna geçebilmektedir. Krom deriyi etkilemektedir ve deri ülserine yol açabilir. Kürklerin kırmızıya boyanmasında kullanılan civa, zehirlenmelere sebep olabilmektedir. Nikel alerjik reaksiyonlara, bakır ise bebeklerde akciğer rahatsızlarına sebep olabilir [19].

## 2.2. Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Boyar Maddeler

1856 yılında, William Henry Perkin yanlışlıkla dünyanın ilk sentetik boyasını keşfetmiştir. Bu boyalar, fiberlere uygulandığında onlara kalıcı renk sağlayan, terlemeye, ışığa, suya ve okside edici ajanlar dahil birçok kimyasala karşı dayanıklı maddeler olarak tanımlanmıştır [20], [21]. 19. yüzyıldan bu yana 10.000'den fazla sentetik boya üretilmekte ve çeşitli ürünlerin imalatında kullanılmaktadır.

Boyar maddeler çözünürlüklerine, kimyasal yapılarına, boyama özelliklerine, kullanım alanlarına göre birçok şekilde sınıflandırılabilirler [22].

Boyar maddelerin çözünürlüklerine göre sınıflandırılması;

### a) Suda Çözünen Boyar maddeler

- Anyonik suda çözünen boyar maddeler
- Katyonik suda çözünen boyar maddeler
- Zwitter iyon karakterli boyar maddeler

### b) Suda Çözünmeyen Boyar maddeler

- Substratta çözünen boyar maddeler
- Organik çözücülerde çözünen boyar maddeler
- Geçici çözünürlüğü olan boyar maddeler
- Polikondensasyon boyar maddeleri
- Elyaf içinde oluşturulan boyar maddeler
- Pigmentler

Boyar maddelerin boyama özelliklerine göre sınıflandırılması;

### a) Bazik (katyonik) Boyar maddeler

### b) Asit Boyar maddeleri

### c) Direkt Boyar maddeler (Substantif Boyar maddeler)

- d) Mordan Boyar maddeler
- e) Reaktif Boyar maddeler
- f) Küpe Boyar maddeler
- g) İnkişaf Boyar maddeler
- h) Metal kompleks Boyar maddeler
- i) Dispersiyon Boyar maddeler
- j) Pigment Boyar maddeler

Boyar maddelerin kimyasal yapılarına göre sınıflandırılması;

- a) Azo Boyar maddeleri
- b) Nitro ve Nitrozo Boyar maddeleri
- c) Polimetin Boyar maddeleri
- d) Arilmetin Boyar maddeleri
- e) Azo [18] Annulen Boyar maddeleri
- f) Karbonil Boyar maddeleri
- g) Kükürt Boyar maddeleri

### **2.2.1.Azo Boyar Maddeler**

Azo boyar maddeler, bir amin ya da fenole diazotlanmış şekilde bağlı olan amin çiftlerinden ve bir ya da daha fazla azo bağlarından oluşmaktadırlar. Çok fazla çeşitli olmalarıyla birlikte boyar maddelerin en geniş sınıfını oluşturmaktadırlar. En az 3000 çeşit olan azo boyar maddeler, genellikle tekstil, kağıt, gıda, kozmetik ve farmasötik sektöründe kullanılmaktadır [23].

Reaktif azo boyar maddeler kompleks aromatik moleküler yapıya sahiptirler. Bunun yanı sıra, azo gruplarının kuvvetli elektron geri çekme özelliği sayesinde oksijenazın etkisine karşı korunabilmektedirler. Bu özelliklerinden dolayı konvensiyonel aerobik arıtım sistemleri azo boyalar üzerinde etkili olmamaktadır [24], [25].

Bunların yanı sıra azo boyar maddeler okside ve redükte olabilir yapıya sahiptirler ve ortamda bir karbon kaynağı olduğu zaman, mikrobiyal elektron taşıma zincirinde, elektron akseptörü olarak görev yaparak dekolorize olabilmektedirler [26], [25].

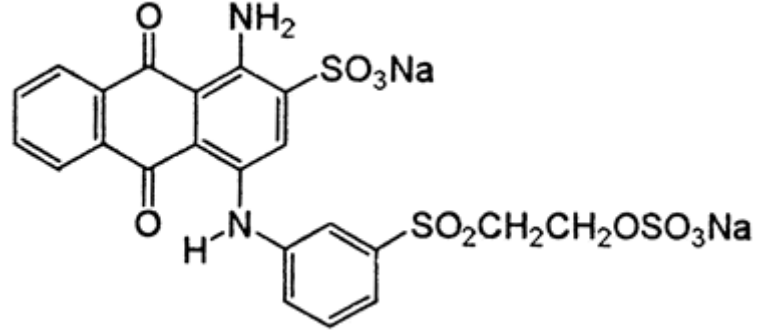
### 2.2.2. Boyar Maddeler

Çalışmada azo boyar maddeler grubuna giren, Solazol Blue BB, Neutrilan Black, Reactive Bright Yellow, Reactive Red ve Solazol Turquoise Blue kullanılmıştır. Bu boyar maddelerin özellikleri Çizelge 2.1. 'de verilmiştir.

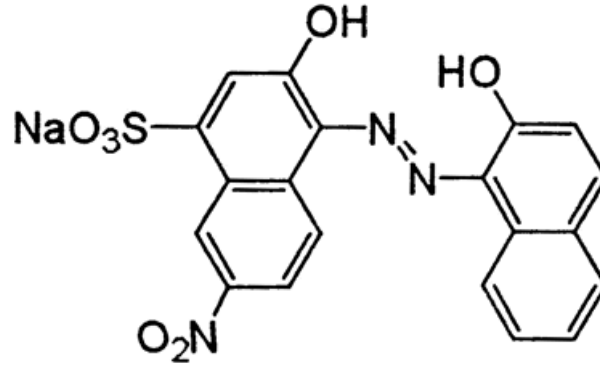
**Çizelge 2.1.** Çalışmada Kullanılan Boyar Maddelerin Özellikleri

Boyar Madde	Ticari İsmi	Kimyasal Formülü	Max. Absorbans Değeri(nm)	Color Index
Solazol Blue BB	Reactive Blue 19	$C_{22}H_{16}N_2Na_2O_{11}S_3$	609 nm	C.I.61200
Neutrilan Black	Acid Black 194	$C_{20}H_{12}N_3NaO_7S$	570 nm	C.I.Acid Black 194
Reactive Bright Yellow	Reactive Orange 12	$C_{20}H_{13}ClN_9Na_3O_{10}S_3$	364 nm	C.I.13248
Reactive Red	Reactive Red 120	$C_{44}H_{24}Cl_2N_{14}O_{20}S_6Na_6$	536 nm	C.I.292775
Solazol Turquoise Blue	Reactive Blue 21	$C_{18}H_{15}N_7OS$	660 nm	C.I.Reactive Blue 21

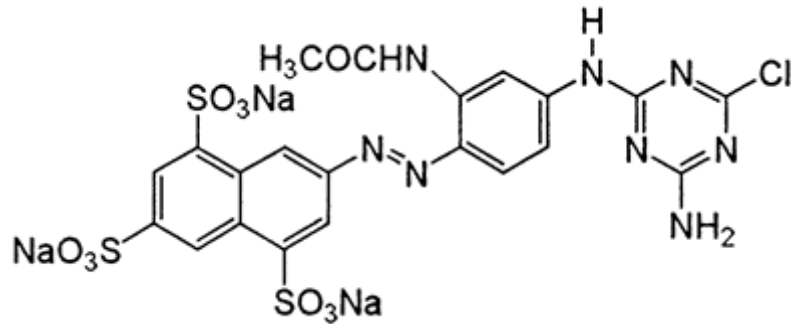
Çalışmada kullanılan boyar maddelerin kimyasal yapıları aşağıda gösterilmektedir [82], [83], [84], [85], [86].



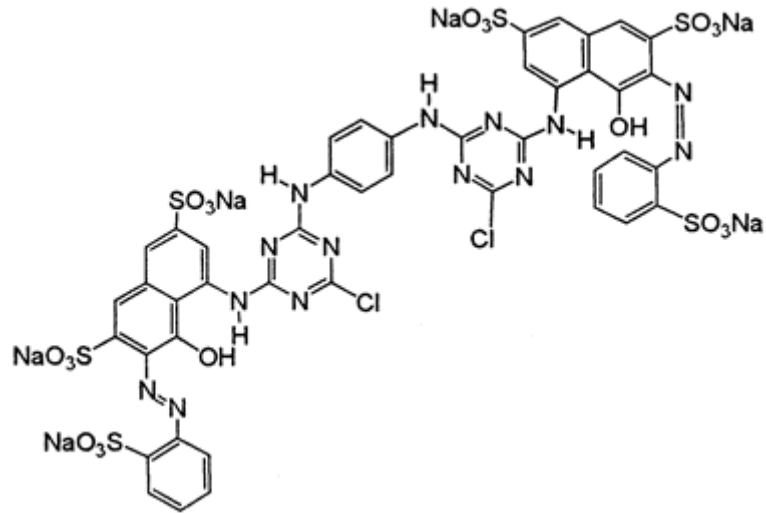
**Şekil 2.1.** Solazol Blue BB boyasının kimyasal yapısı



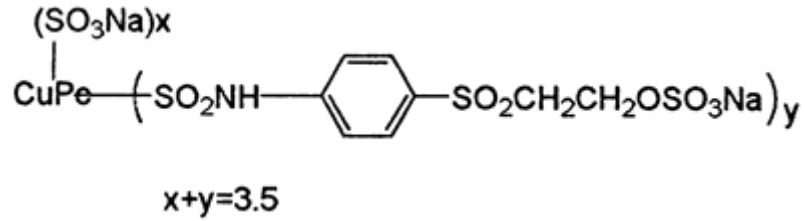
**Şekil 2.2.** Neutrilan Black boyasının kimyasal yapısı



**Şekil 2.3.** Reactive Bright Yellow boyasının kimyasal yapısı



**Şekil 2.4.** Reactive Red boyasının kimyasal yapısı



**Şekil 2.5.** Solazol Turquoise Blue boyasının kimyasal yapısı

### 2.3. Tekstil Endüstrisi Atıklarının Arıtımı ve Arıtım Yöntemleri

Dilüsyon, adsorbsiyon, koagülasyon, flokülasyon, kimyasal presipitasyon, oksidasyon, iyon değişimi, ters osmoz ve ultrafiltrasyon gibi çeşitli fizikokimyasal yöntemler sıvı ortamdan rengin giderimi için kullanılmaktadır [27]. Buna rağmen, yüksek maliyet, zararlı maddelerin üretimi ve yoğun enerji ihtiyaçları bu yöntemleri sınırlandıran özelliklerdendir. Atık arıtım teknolojileri arasında adsorbsiyon, biyoparçalanabilir özelliğe sahip olmayan organik maddeleri ortadan kaldırmak adına en etkili olan yöntemlerden biridir. Aktif karbon, etkili ve kalıcı olduğundan dolayı en çok kullanılan adsorbentlerden birisidir [28].

Günümüzde tekstil atık su arıtımında yukarıda bahsedildiği gibi çeşitli kimyasal ya da fiziksel yöntemler kullanılmasına rağmen biyolojik



yöntemler bunların yanında daha ekonomik ve daha etkilidir. Fiziksel ve kimyasal yöntemler sonucunda oluşan aktif çamurun da ayrıca ortamdan uzaklaştırılması diğer bir dezavantajdır [29].

### **2.3.1.Kimyasal Yöntemler**

Tekstil atık suyunun arıtımında daha çok kimyasal yöntemler tercih edilir. Bunun nedenlerinden ikisi kullanılan kimyasalların ya da uygulanan dozların koşullara göre değiştirebilmesidir [30].

Renkli tekstil atık sularının dekolorizasyonu için kullanılan kimyasal yöntemler aşağıdaki gibi sıralanabilir [29].

- Oksidatif prosesler
- Fenton ayırıcı
- Ozonlama
- Fotokimyasal işlemler
- Sodyum hipoklorit ile muamele
- Elektrokimyasal işlemler
- Kimyasal flokleştirme ve çöktürme

### **2.3.2.Fiziksel Yöntemler**

Renkli tekstil atık sularının dekolorizasyonu için kullanılan fiziksel yöntemler aşağıdaki gibi sıralanabilir [29].

- Membran filtrasyonu
- İyon değiştiriciler
- Adsorbsiyon
- Radyasyon

### **2.3.3.Biyolojik Yöntemler**

Kimyasal yöntemler sonucu oluşan toksik maddelerin fazlalığı ve çevresel etkileri son yıllarda tekstil atık suyu arıtımında biyolojik

sistemlerin kullanımını arttırmıştır. Kimyasal ve fiziksel yöntemlere göre daha ekonomik olan biyolojik arıtmalarda birçok bakteri, fungus ve alg biyokütleleri ve bunların enzimleri kullanılmaktadır [30].

Tekstil boyalarını degrede ve dekolorize edebilen mikroorganizmalar olduğunu gösteren birçok çalışma mevcuttur. Fiziksel ve kimyasal yöntemlere nazaran biyolojik sistemlerde canlı organizmalar kullanıldığı için çevresel koşullara karşı daha çabuk adapte olabilmektedirler [31].

Çeşitli bakteri ve funguslar aerobik ve anaerobik koşullar altında biyodegradasyon yapabilmektedirler. Bunun dışında biyosorpsiyon yoluyla, genetiği değiştirilmiş mikroorganizmalar ve enzimler kullanılarak ya da mikrobiyal konsorsiyum yoluyla renk giderimi de sağlanabilmektedir.

Ayrıca bu yöntemlerin dışında bitkiler ile de arıtım yapılabilir ve de bu olay fitoremediasyon olarak adlandırılır.

### **2.3.3.1. Aerobik Koşullarda Biyodegradasyon**

Tekstil boyalarının büyük çoğunluğunu oluşturan azo boyar maddeler gibi boyalar, oksijen varlığında biyodegradasyona karşı dirençlidir. Bunun nedeni boya malzemelerinin ışık kaynaklı oksidatif etkilere karşı renklerinin solmayacak şekilde üretilmesidir. Ayrıca boyar maddelerin moleküler ağırlıklarının yüksek olması, mikroorganizmalarının hücre zarından geçişini zorlaştırmaktadır [31], [24].

Önceki yıllarda yapılan çalışmalarda, atık suda bulunan boyar maddelerin düşük bir miktarının aerobik ortamda dekolorize olduğu belirtilmiştir. Ancak son yıllarda yapılan çalışmalara bakacak olursak boyar maddelerin aerobik ortamlarda da parçalanabildiğini görebiliriz. Özellikle lignini degrede edebilen lignin peroksidaz, mangan peroksidaz, lakkaz gibi enzimlere sahip olan bakteriler ve funguslar boyaları aerobik ortamda parçalayabilmektedirler.

### **2.3.3.2.Anaerobik Koşullarda Biyodegradasyon**

Günümüzdeki son çalışmalar, tekstil atık sularının arıtımında anaerobik biyodegradasyon üzerine yönelmiştir [32]. Azo boyaların toksisitesi ile birlikte rekalsitrant yapısı, aerobik yöntemlerle biyodegradasyonunu zorlaştırmaktadır. Azo boyaların biyodegradasyonunda ilk adımda boyaya rengini veren elektrofilik azo bağının indirgen koşulları sağlanır ve anaerobik ortamda kırılarak renksiz hale gelir. Ancak azo boyalarının parçalanması ile ortaya çıkan aromatik aminler, anaerobik koşullarda degradasyona uğramaya karşın dirençlidirler [33]

Ortaya çıkan aromatik aminler toksik olduğu için öncesinde bir ön arıtım yapılmaktadır. Boyar maddelerin arıtımında aerobik ve anaerobik yöntemlerinin ikisinin birden kullanılması daha etkili bir yoldur. İlk basamaktaki anaerobik sistemde renk giderimi gerçekleşirken ikinci basamakta devreye giren aerobik sistemde iste ortaya çıkan aromatik aminlerin yıkımı gerçekleşmektedir [29], [26].

### **2.3.3.3.Biyosorpsiyon**

Alg, maya, filamentöz fungus ya da bakterilerden elde edilen biyokütle, biyosorpsiyon yoluyla boyaların gideriminde kullanılmaktadır. Mikroorganizmanın biyosorpsiyon kapasitesi, hücre duvarındaki amino, karboksil, hidroksil, fosfat gibi farklı fonksiyonel gruplar içeren heteropolisakkarit ve lipid yapısına bağlıdır. Bu yapılar boya ve hücre duvarı arasında kuvvetli bağlar kurmaktadır [10], [34], [35], [36], [37].

Biyosorpsiyon mekanizmasında ölü hücreler, canlı hücrelere göre biyosorbent olarak daha avantajlıdır. Ölü hücrelerin nütrientlere ihtiyaç duymamaları, uzun süre saklanabilir ve tekrar kullanılabilir olmaları ve de organik çözücüler ya da sürfektanları kullanarak rejenere olabilmeleri avantajlı olmalarını sağlayan önemli noktalardandır. [38], [10].

#### **2.3.3.4.Bitkiler ile Yapılan Çalışmalar**

Fitoremediasyon, etkili ve de pahalı olmayan şekilde, atık sularda bulunan ağır metal ve organik kirleticiler ile kontamine olmuş toprak ve kaynak suları arıtmak için kullanılabilen yöntemlerden birisidir [39]. Az miktarda nütriente ihtiyaç duyan büyük miktarda biyokütle kullanılması ve kolay kontrol edilebilir olması fitoremediasyonun avantajlı kılan noktalardandır.

Ghodake ve arkadaşlarının *Brassica juncea*, *Sorghum vulgare* ve *Phaseolus mungo* ile yaptığı çalışmaya göre bu bitkiler azo boyaları sırasıyla %79, % 57 ve % 53 oranında dekolorize etmeyi başarmışlardır [40]. Yine benzer şekilde Kagalkar ve arkadaşlarına göre *Blumea malcommi* Reactive Red 5B boyasının renk giderimini sağlayabilmektedir [41]. Patil ve arkadaşları ise *Tagetes patula*'nın Reactive Red 198 üzerinde etkisine bakmış ve degradesyon mekanizmasının enzimatik olduğunu belirtmişlerdir [39].

Ancak, biyoremediasyonun büyük ölçekli kullanımı bazı sorunları ortaya çıkarmaktadır. Bitki tarafından tolere edilen kirleticilerin düzeyi bitkinin biyoyararlanılabilirliğini azaltmaktadır. Ayrıca büyük ölçekli kullanımın fazla alan gerektirmesi de bir dezavantajdır [40].

#### **2.3.3.5.Bakteriler ile Yapılan Çalışmalar**

Genellikle boyar maddelerin dekolorizasyonu, farklı bakteriler tarafından anaerobik, fakültatif anaerobik ya da aerobik koşullarda gerçekleşir. Son dönemlerde yapılan çalışmalar bakteriyel dekolorizasyon işlemlerinin fungal sistemlere kıyasla daha hızlı olduğunu belirtmektedir [42].

Bakteriler tuzluluk, sıcaklık gibi ekstrem koşullara dayanıklıdırlar ve de farklı tipte oksidoredüktaz enzimlerine sahiptirler [43]. Bazı bakteriler, aerobik azoredüktaz ile azo bağlarını kırarak dekolorizasyon yapabilme yeteneğine sahiptirler.

Eğer anaerobik koşullarda dekolorizasyon işlemi gerçekleşiyorsa ortamda organik enerji kaynakları bulunması gerekmektedir. Glukoz, nişasta, asetat, etanol gibi basit substratlar bunlara örnek gösterilmektedir [42].

Lin ve ark. Reactive Blue 13 boyası ile yaptıkları çalışmada, aerobik ve anerobik olmak üzere iki aşama kullanmışlardır. Kullandıkları mikroorganizma olan *Pseudomonas* sp., 70 saat içerisinde, statik durumda %83.2 dekolorizasyon göstermiştir [44].

Bir başka tercih edilen yöntem ise karışık kültürlerdir. Jain ve arkadaşları *Bacillus* sp. V1DMK, *Lysinibacillus* sp. V3DMK, *Bacillus* sp. V5DMK, *Bacillus* sp. V7DMK, *Ochrobacterium* sp. V10DMK, *Bacillus* sp. V12DMK 6 farklı tür üzerinden bir çalışma yürütmüşlerdir. Boyar madde olarak Reactive Violet 5R kullandıkları çalışmada 37 °C'de pH 7 de maksimum dekolorizasyon oranını elde etmişlerdir [45].

Işık ve ark. Congo Red ve Direct Black 38 azo boyar maddelerinin aerobik ve anaerobik koşullarda biyodegradasyonunu gözlemlemek için fakültatif mikroorganizmalar olan *E.coli* ve *Pseudomonas* sp. ile çalışmışlardır. Anaerobik koşullarda *E.coli* ile %98 ve %72, *Pseudomonas* ile %100 ve %83 oranla boya giderimi tespit etmişlerdir. Aerobik koşullarda ise herhangi bir verim elde edememişlerdir [33].

### **2.3.3.6. Algler ile Yapılan Çalışmalar**

Bazı azo boyar maddeler, tekstil atık suları alıcı sucul ortamlara bırakıldığı için bu ortamlarda bulunabilmektedirler. Buna rağmen bazı alglerin üremesinde herhangi bir etki göstermediği görülmüştür [46].

Bunun yanı sıra, mikroalgler, renkli atık sularının biyoremediasyonu için iyi bir seçenektir. Ayrıca ekstra karbon kaynağına ihtiyaç duymamaları da bir avantajdır [47]. Algler, enerjiyi güneş ışığından, karbonu ise

havadan temin etmektedirler. Bu özelliklerinden dolayı alglerin kültürasyonu diğer yöntemlere göre daha uygundur [10].

Algler ile gerçekleşen dekolorizasyonun mekanizması, enzimatik degradasyon, adsorpsiyon ya da ikisi birden olabilmektedir. Bakterilerle benzer olarak, algler de azo boyar maddelerin renk giderimini indüklenmiş azo redüktaz ile azo bağları kırarak ve sonucunda aromatik aminleri oluşturarak gerçekleştirmektedir. Bunların yanında oksidatif enzimler de dekolorizasyon işlemlerinde görev almaktadırlar [48] .

Ergene ve arkadaşları gölden izole ettikleri *Scenedesmus quadricauda* ile yaptıkları çalışmada algi immobilize ederek Remazol Brilliant Blue R üzerine etkisine bakmışlardır. Sonuç olarak *S.quadricuada*'nın biyosorpsiyon mekanizması ile başarılı bir şekilde dekolorizasyon sağladığını belirtmişlerdir [49] .

Priya ve ark. ise bir tuzlu su siyanobakteri olan *Oscillatoria curviceps* BDU92191 ile yaptıkları çalışmada Acid Black boyar maddesinin dekolorizasyonunu araştırmışlardır. Azotsuz ortamda renk gideriminin gerçekleştiğini ve azot kaynağı olarak boyar maddenin kullanıldığını belirtmişlerdir. 8 gün sonunda % 84 dekolorizasyon oranı elde etmişler ve de bunu enzimatik reaksiyonlara bağlamışlardır [48].

### **2.3.3.7.Mayalar ile Yapılan Çalışmalar**

Mayalar, biyoremediasyonda birçok avantaja sahip oldukları için dekolorizasyon işlemlerinde uzun süredir kullanılmaktadır. Hızlı üremeleri, filamentöz funguslara göre daha hızlı dekolorizasyon yapabilmeleri, yüksek kapasitede ağır metal ve de boyar madde akümüasyonu yapabilmeleri mayalar için önemli avantajlar sağlamaktadır [50].

Bazı alışmalar, renkli atık sularının biyoremediasyonunda, mayalar tarafından enzimatik olmayan süreçler kullanıldığını göstermektedir. Bu süreçler, biyoakümülasyon ve biyosorpsiyon olarak iki çeşit olabilmektedir. Biyoakümülasyon mekanizması, genellikle üremesi devam eden canlı maya hücreleri tarafından gerçekleşmektedir. Dekolorizasyon işlemlerinde biyoakmlasyonun tercih edilme sebebi, biyokütlenin ayrılma işleminden kaçınılıyor olmasıdır [51].

Biyosorpsiyon mekanizmasında ise l hücre de canlı hücre kullanılabilir. Biyosorpsiyon süreci, maya hücresinin yüzeyi ile boyar madde arasında fiziko-kimyasal bir ilişkiyi ya da l hücrenin içerisine pasif difüzyonu içerebilmektedir [51].

Bu mekanizmaların dışında mikroalgelere ve bakterilere benzer olarak enzimatik biyodegradasyon mekanizmasını da dekolorizasyon süreçlerinde kullanabilmektedirler.

Maya biyokütleleri ile adsorpsiyon düşük pH'larda daha etkili olmaktadır. Örneğın; *Candida albicans* ile Direct Violet 51'in maksimum akümülasyonu pH 2'de gerçekleşmiştir [35]. *Candida tropicalis* ise Violet 3 'n dekolorizasyon işlemini pH 4'te gerçekleştirmektedir. [37],[10].

Boyar maddelerin degradasyonu, mayaların üreme süreci ve de primer metabolizmaları ile oldukça alakalıdır [52]. Mayalar ortamda bir karbon ya da enerji kaynağı olmadan zor remektedirler. Bu yüzden dekolorizasyon işlemleri karbon kaynağı gerektirmektedir [53]. Azo boyar maddelerin varlığı, MnP, Tyr, NADH-DCIP redüktaz gibi oksidaz ve redktazları indüklemektedir [10].

Singh ve arkadaşları, Malaşit Yeşili boyar maddesinin dekolorizasyonu için l *S. cerevisiae* MTCC 174 hücrelerini immobilize ederek

çalışmışlardır. Bunun sonucunda en yüksek dekolorizasyon oranı olan %96.25'e pH 6.88 ve 0.49 gram ölü hücre kullanarak ulaşmışlardır [54].

Tan ve arkadaşları, ise yeni bir izolat olan *Magnusiomyces ingens* LH-F1 ile bir çalışma yürütmüşlerdir. Optimize, aerobik koşullarda, bir azo boyar madde olan Acid Red B'nin yüksek oranda renginin giderildiğini rapor etmişlerdir [55].

Aksu, *Saccharomyces cerevisiae* ile Remazol Blue, Remazol Black B ve de Remazol Red RB'nin renk giderimini araştırmıştır. Biyoakümülyasyon yoluyla olan dekolorizasyon işleminde Remazol Black B'nin yüksek oranda dekolorize edildiği belirtilmiştir [28].

Aracagök ve Cihangir, *Yarrowia lipolytica* NBRC 1658 ile yürüttükleri çalışmada Reactive Black 5 boyar maddesinin renk giderimini araştırmışlardır. Optimum koşullar sağlandığında 24 saat içerisinde % 97 oranında dekolorizasyon tespit edilmiştir [56].

### **2.3.3.8.Funguslar ile Yapılan Çalışmalar**

Filamentöz funguslar, çevrede kolay bulunabilen ve de çeşitli karbon ve azot kaynaklarına hızlı adapte olabilen mikroorganizmalardır. Dekolorizasyon işlemlerinde fungusların kullanılması son yıllarda ilgi çeken bir yöntem olmaya başlamıştır. *Phanerochaete* en çok tercih edilen funguslardan biridir [10]. Bunun dışında *Trametes*, *Bjerkandera*, *Aspergillus*, *Pleurotus* ve *Phlebia* gibi cinsler de kullanılmaktadır. Dekolorizasyon işlemi adsorpsiyon ya da enzimatik mekanizmalarla olmaktadır. Yapılan çalışmalar arasında *Cunninghamella elegans*'ın inaktive miçellerinin kullanılması, liyofilize ölü *T. versicolor* hücrelerinin kullanılması gibi örnekler yer almaktadır.



Adsorpsiyon mekanizması, yüklü boya molekülü ve hücre yüzeyi arasındaki elektrostatik çekim dolayısıyla pH 2-3 arasında gerçekleşmektedir. Fungal biyokütlenin adsorpsiyon kapasitesi, sıcaklık arttıkça boyanın kinetik enerjisi ve yüzey aktivitesi artacağı için artmaktadır. Ancak buna rağmen çok yüksek sıcaklıklarda dekolorizasyon oranı, adsorbent yüzeylerinin ya da bazı aktif bölgelerin deaktivasyonu ile azalmaktadır.

Songserm ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada lakkaz enzimi üreten *Polyporus pseudobetulinus* beyaz çürükçül mantarının; Ambifix Blue H3R boyasını 8 günde %98 oranında, Ambifix Yellow H3R boyasını 10 günde %24 oranında ve Ambifix Red HE3B boyasını ise 18 günde %50 oranında rengini giderdiği saptanmıştır. Sadece 5 U/ml lakkaz eklenerek çalışıldığında ise Ambifix Blue H3R boyasının %65 oranında 15 dakikada, Malaşit Yeşili ise %80 oranında 24 saat içerisinde renk giderimi elde edilmiştir [57].

Vishwakarma ve arkadaşları, bir beyaz çürükçül fungus olan *Pleurotus* türleri ile çalışmıştır. Azo boyalarla yapılan bu çalışmada lakkaz ve MnP enzimleri Ca-aljinat küreciklerine immobilize edilmiş ve boya giderimi üzerinde olan etkisine bakılmıştır. Aerobik ve mikroaerofilik ortamlarda yapılan çalışmada 18 saat içerisinde %99 oranında renk giderimi gözlenmiştir [11].

2012 yılında, Berlin'de Champagne ve arkadaşları tarafından yapılan bir diğer çalışmada NaCl'ün lakkaz üzerine etkisine bakılmıştır. Bir beyaz çürükçül fungus olan *Trametes versicolor*'un ürettiği lakkaz enziminin; Reactive Blue 19 boyasının renginin giderimi ve ABTS ile oksidasyonu üzerinde etkisine bakıldığında NaCl'ün her ikisinin de inhibisyonuna neden olduğu saptanmıştır [58].

Yeşilada ve arkadaşları, *Funalia trogii* peletlerinin, Astrazon mavi, siyah ve kırmızı boyar maddelerinin renginin gideriminde kullanılabilirliğini araştırmış ve %75 den daha fazla oranda renk gideriminin, 24 saatte

gerçekleştirdiğini belirtmiştir. Bu çalışmada en yüksek renk gideriminin, 30°C'de ve pH 6-11 aralığında olduğu rapor edilmiştir [59].

Subaşıoğlu ve Bilkay'ın, *Humicola fuscoatra* ile yaptıkları çalışmada fungusun Methyl Orange üzerine etkisi araştırılmıştır. Ölü hücre biyokütlesi ile yapılan renk giderimi çalışmalarında % 65 oranında olan maksimum dekolorizasyon 30 °C'de pH 8'de gerçekleşmiştir [60].

#### **2.3.3.8.1. Beyaz Çürükçül Funguslar**

Ahşabın ya da ağaçların üzerinde beyaz çürüklere neden olan, beyaz çürükçül funguslar Basidiomycetes sınıfına dahildirler. Mikroorganizmanın miselyumları hücre boşluğuna penetre olmakta ve de ligninolitik enzimler salgılamaktadırlar [61].

Beyaz çürükçül funguslar, tekstil boyaları, aromatik bileşikler ve özellikle de lignin gibi diğer mikroorganizmalar tarafından zor parçalanabilen bileşikleri salgıladıkları ekstraselüler enzimler ile parçalayabilirler [62], [63].

Lakkaz, MnP, Lip, NADH peroksidaz gibi salgıladıkları enzimlerden dolayı biyoteknolojik çalışmalarda kullanılmaktadırlar. Bu çalışmalarda kullanılan mikroorganizmalara *Trametes versicolor* başta olmak üzere, *Phanerochate chrysosporium* *Funalia trogii*, *Pleurotus eryngii*, *Pleurotus ostreatus* ve *Pleurotus sajor-caju* örnek olarak gösterilebilir [64].

Beyaz çürükçül fungusların, yapılan çalışmalara bakıldığında; enzim üretiminde, ağır metallerin adsorpsiyonunda, kağıt ve kağıt hamuru üreten endüstrilerde ligninin parçalanmasında, tekstil, petrokimya, zeytinyağı fabrikası gibi bir çok endüstriyel atık sularının arıtımında, biyosensör olarak, biyoteknolojinin birçok alanında kullanıldığı dikkat çekmektedir [65].

### **2.3.3.8.2. *Trametes versicolor*'un Özellikleri**

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

**Alem:** Fungi

**Şube:** Basidiomycota

**Sınıf:** Hymenomyces

**Takım:** Aphyllophorales

**Aile:** Polyporaceae

**Cins:** *Trametes*

**Tür:** *Trametes versicolor*

Odunsu bir ağaç gövdesinde üst üste binmiş demetler şeklinde, yığın halinde bir görüntüsü ve dayanıklı, sert bir makrofungus yapısı vardır. Sahip olduğu ligninolitik enzimler biyoteknolojide farklı birçok yerde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra medikal alanda da kullanılmaktadırlar. Taşıdıkları crystin adlı bileşik birçok virüsün gelişmesini baskılamaktadır. [65], [66].

Odunun degradasyonunu enzimatik reaksiyonlar ile sağlayarak, minerallerin ve nutrientlerin geri dönüşümünü sağlayarak, kendinin ve ekosistemdeki diğer organizmaların kullanmasına olanak sağlamaktadır. Normalde kahverengi olan lignini beyaz çürükçüller, lignin peroksidaz ile parçaladıktan sonra ortaya sadece beyaz selüloz kalmaktadır. *T. versicolor* ve diğer beyaz çürükçüller bu ismi buradan almaktadırlar [67].

### **2.3.3.9. *T. versicolor*'un Enzimleri**

*T. versicolor*'dan elde edilen enzimler; 16 izoformu olan lignin peroksidaz (LiP), 5 izoformu olan mangan peroksidaz (MnP), lakkaz,

karboksimetil selülaz, avikelaz, piranoz 2-oksidad ve sellobioz dehidrogenaz olarak bilinmektedir.

Dekolorizasyon işlemlerinde sıklıkla kullanılan enzimler lakkaz, MnP ve LiP'dır.

MnP (EC 1.11.1.13) , belli başlı bazı Basidiomycota sınıfına ait funguslar tarafından üretilmektedir. Ligninolitik funguslar tarafından salgılanan, oksidoredüktaz sınıfına ait hücre dışı bir enzimdir.

Odon ve toprakta bulunan mangan (II) iyonlarını ( $Mn^{2+}$ ),  $Mn^{3+}$  iyonlarına oksitleyerek düşük moleköl ağırlığına sahip difüze olabilen redoks aracı gibi davranmaktadır. Lignin yapısındaki fenolik bileşiklere atak yaparak degradasyonunu sağlamaktadırlar [68].

Lip (EC 1.11.1.14) ise yine lignin yıkımından sorumlu olan hücre dışı enzimlerden birisidir. Rekalsitrant aromatik bileşiklerin çeşitli türlerini mineralize etmekte, fenolik bileşiklerin ve polisiklik aromatiklerin bir grubunu okside etmektedir [68].

#### **2.3.3.9.1. Lakkaz ve Kullanım Alanları**

Lakkaz (E.C. 1.10.3.2.), katalitik merkezinde yapısal ve fonksiyonel olarak 3 bakır merkezi içeren enzim grubudur. Lakkaz tarafından oksitlenebilen substratlar şu şekildedir: metokis- veya amino-monofenoller ve aromatik daiminler, ABTS [2,2'-azino-bis-(3-etilbenzothiazoline-6-sulfonik asit)], 1-naftol, hidroksiindoller. Bunların yanı sıra normalde tek başına substrat olarak görev yapmayan bazı bileşikler de ABTS varlığında okside olabilmektedirler [69].

Substrat özgüllüğünün bu şekilde geniş olması nedeniyle lakkaz enzimi, kontamine topraklar ve atık suların detoksifikasyonunda tercih edilen enzimlerden biri haline gelmiştir.

### **3. MATERYAL VE METOD**

#### **3.1.Çalışmada Kullanılan Boyar Maddeler**

Çalışmada Piko Kimya Tekstil ve Tic.Ltd.Şti.'den temin edilen Solazol Blue BB, Neutrilan Black, Reactive Bright Yellow, Reactive Red ve Solazol Turquoise Blue boyar maddeleri kullanılmıştır. Bu boyar maddelerin özellikleri Çizelge 2.1.' de verilmiştir.

Boya stokları 110 °C'de 25 dakika otoklavda steril edildikten sonra besi yerine eklendi.

Kullanılan boyar maddelerin maksimum absorbanları spektrofotometrede kalibrasyon eğrisi çıkartılarak tespit edildi.

#### **3.2.Boya Çözeltilerinin Hazırlanması ve Uygun Boyanın Saptanması**

Çalışmada kullanılan boyalar; Solazol Blue BB, Neutrilan Black, Reactive Bright Yellow, Reactive Red ve Solazol Turquoise Blue'nin 50 ppm'lik sıvı çözeltileri 0,005 gram boyaya 1 ml distile su eklenerek hazırlanan stok boya çözeltisi otoklavda 121 °C'de 15 dk steril edildi. Steril edilen boya çözeltileri 100 ml'lik Vogel besi yerine 1ml olarak eklendikten sonra çalışmaya hazırlandı. Her bir boyanın eklendiği besi yerlerine, 6 günlük inkübasyona bırakılmış olan kültürden 3 ml inokulum yapıldı ve tekrardan inkübasyona bırakıldı.

#### **3.3. Çalışmada Kullanılan Mikroorganizma, Üretimi ve Saklanması**

Çalışmada kullanılan *Trametes versicolor* ATCC 200801 Hacettepe Üniversitesi Biyoloji Bölümü Biyoteknoloji Anabilim Dalı'ndan temin edildi. Mikroorganizma her 3-4 haftada bir PDA(Potato Dextrose Agar) yatık besi yerine 30 °C'de inkübasyona bırakıldı ve stok kültürler hazırlandı. Hazırlanan stok kültürler +4 °C'de saklandı.

### 3.3.1. Mikroorganizma İçin Optimum Üreme Süresinin Saptanması

Çalışmada kullanılan mikroorganizma olan *Trametes versicolor* ATCC 200801'in optimum üreme süresinin saptayabilmek için her güne bir tane olmak üzere 9 ayrı Vogel besi yeri hazırlandı.

Her birine 5 ml steril serum fizyolojik(% 0.9 NaCl) eklenmiş spor süspansiyonundan  $2 \times 10^6$  spor/ 100 ml besiyeri olacak şekilde ekim yapıldı ve 30 °C'de 150 rpm'de inkübasyona bırakıldı. Her gün 1'er kültürün inkübasyonu durdurularak % dekolorizasyonları ve enzim aktiviteleri hesaplandı. Hesaplanan verilere göre ise optimum üreme süresi saptandı.

### 3.4. Çalışmada Kullanılan Besi Yerleri ve Çözeltiler

*Trametes versicolor* ATCC 200801 taze kültürleri PDA yatık besi yerinde 6 günde üretildi. Canlılığı sağlamak için ise 4 haftada bir pasajlandı.

Renk giderimini gözlemlmek için ise Vogel minimal besi yeri kullanıldı.

#### 3.4.1. Besi Yerleri

##### PDA(Potato Dextrose Agar) – Merck

Patates ekstratı ..... 4gr.

D (+) glukoz ..... 20 gr.

Agar – agar .....15 gr.

Distile su .....1000 ml

##### Vogel Besi yeri

Ana Stok Çözeltisi (100 ml için);

Na<sub>3</sub>.sitrat.5H<sub>2</sub>O:..... 15 gr.

KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>:.....25 gr.

NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>: .....10 gr.

MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O: .....1 gr.

CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O: .....0,5 gr.

İz element stok çözeltisi (20 ml için) ;

$C_6H_8O_7 \cdot H_2O$ : ..... 0,5 gr

$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ : .....0,5 gr

$Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ : 0,1 gr

$CuSO_4 \cdot H_2O$ : .....0,025 gr

$MnSO_4 \cdot H_2O$ : .....0,005 gr

$H_3BO_3$ : .....0,005 gr

$H_3P(MO_3O_6) \cdot H_2O$ : ...0,005 gr

İz element çözeltisi 1 gece boyunca manyetik karıştırıcıda karıştırıldı. Çözelti ışıktan etkilenmemesi gerektiği için renkli şişede hazırlandı.

Ana stok çözelti hazırlanırken  $CaCl_2$  haricinde tartıldı ve 80 ml distile su eklendi.  $CaCl_2$  ise ayrı olarak tartılarak 10 ml distile suda çözdürüldü ve 80 ml'lik ana stok çözeltisine eklendi. Ortama 1 ml iz element çözeltisinden eklendi ve son olarak eksik hacim distile su ile tamamlandı.

Vogel besi yeri hazırlanırken her bir besi yeri için 10 gram glukoz(Merck) eklendi. 10 ml ana stok çözeltisinden eklendi ve de toplam hacim 500 ml'ye tamamlandı.

Hazırlanan besi yerinin pH'sı 1 M HCl ve 1 M NaOH ile 4,7'ye ayarlandı.

Tüm besi yerleri 110 °C'de 25 dakika otoklavda steril edildi.

### **3.5.% Dekolorizasyonun Hesaplanması**

Dekolorizasyon çalışması öncesinde hazırlanan içerisinde 1 ml 50 ppm boya bulunan besi yerlerinin absorbans değeri spektrofotometrede ölçülmüştür. Dekolorizasyon sonrası absorbans ölçülmeden önce inkübasyondan alınan kültürlerin her biri filtre kağıdı kullanılarak süzölmüştür. Süzöntülerin de spektrofotometrede absorbans değerleri ölçülmüştür.

% Dekolorizasyon hesaplanırken ise aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$\% \text{ Dekolorizasyon} = \frac{ABS \text{ d.}\ddot{o} - ABS \text{ d.s.}}{ABS \text{ d.}\ddot{o}} \times 100$$

ABS d.ö: Dekolorizasyon öncesi ölçülen absorban değeri  
ABS d.s: Dekolorizasyon sonrası ölçülen absorban değeri

### **3.6.Kuru Ağırlıkların Hesaplanması**

Kültürlerde üreme miktarı, hücre kitlesindeki değişmelerin kuru ağırlık olarak (gr/ml) ölçülmesiyle saptanmıştır. Bu amaçla fungus kitlesi önceden darası alınmış filtre kağıtlarıyla süzülerek kültür ortamından uzaklaştırılmıştır. Üzerinde miselyum kitlesi bulunan filtre kağıtları kurutulduktan sonra tartılmış ve elde edilen değerler gr kuru miselyum/100 ml besi yeri olarak hesaplanmıştır.

### **3.7. Uygun İnokulum Miktarının Saptanması**

Yatık agardaki stok kültüre 5 ml steril serum fizyolojik eklendi, hazırlanan süspansiyondan steril Vogel besi yerine ekim yapıldı ve 30 °C'de çalkalamalı inkübatörde 6 gün inkübasyona bırakıldı. 6 günlük üretim sonunda farklı hacimlerdeki inokulum miktarları(1ml, 2ml, 3ml, 4ml, 5ml) 250 ml'lik erlenlerdeki steril 100 ml Vogel besi yerine eklendi. Ardından her erlene 50 ppm, 1 ml steril Solazol Blue BB boyasından eklendi.

### **3.8.Dekolorizasyon Süresinin Hesaplanması**

5 adet 1 ml boya eklenmiş olan 100 ml'lik besi yerine 6 günlük kültürden 3 ml'lik inokulum eklenmiştir. Her birinin yarım saat aralıklarla inkübasyonu durdurulmuş ve absorbanları spektrofotometrede ölçülmüştür. Dekolorizasyonun durduğu saat optimum dekolorizasyon süresi olarak kabul edilmiştir.



### **3.9. Uygun pH'nın Saptanması**

Dekolorizasyon için kullanılan Vogel besi yerinin pH'sı 1M HCl ve 1M NaOH ile pH'sı 2,3,4,5,6,7,8 ve 9'a ayarlanmıştır. 250 ml'lik erlenlerde bulunan her bir 100 ml'lik besi yerine, 1 ml boya eklenmiş ve 6 günlük kültürden 3 ml inokulum eklendikten sonra inkübasyona bırakıldı.

### **3.10. Uygun Karbon Kaynağının Saptanması**

Hazırlanan Vogel besi yerine kullanılan glukoz yerine farklı karbon kaynakları denendi. İlk olarak glukozsuz Vogel ana stoğu hazırlandı. Aynı besiyerlerine fruktoz, maltoz, pektin, ksiloz ve nişasta eklendi ve bir de karbon kaynağı eklenmeden besiyeri hazırlandı. Yatık agardaki stok kültüre 5 ml steril serum fizyolojik eklendi ve hazırlanan süspansiyondan Vogel besi yerine ekim yapıldı. 6 günlük inkübasyon sonrası aynı karbon kaynakları kullanılarak dekolorizasyon için steril Vogel besiyerleri hazırlandı. Her bir karbon kaynağının olduğu kültürlerden alınan 3 ml'lik inokulum 1 ml boyanın bulunduğu besiyerlerine eklendi ve inkübasyona bırakıldı. Inkübasyon sonrası hangi karbon kaynağının dekolorizasyon için en uygun olduğu saptandı.

### **3.11. Uygun Azot Kaynağının Saptanması**

Hazırlanan Vogel besiyerinde kullanılan  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  yerine farklı azot kaynakları denendi. İlk olarak azotsuz Vogel ana stoğu hazırlandı. Aynı besiyerlerine pepton, yeast extract,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{NaNO}_3$  eklendi ve bir de azot kaynağı eklenmeden besiyeri hazırlandı. Yatık agardaki stok kültüre 5 ml steril serum fizyolojik eklendi ve hazırlanan süspansiyondan Vogel besiyerine ekim yapıldı. 6 günlük inkübasyon sonrası aynı azot kaynakları kullanılarak dekolorizasyon için steril Vogel besiyerleri hazırlandı. Her bir azot kaynağının olduğu kültürlerden alınan 3 ml'lik inokulum 1 ml boyanın bulunduğu besiyerlerine eklendi ve inkübasyona bırakıldı. Inkübasyon sonrası hangi azot kaynağının dekolorizasyon için en uygun olduğu saptandı.

### 3.12.Uygun Sıcaklığın Saptanması

Her bir 100 ml'lik besi yerine 1 ml boya eklendi. İnkübatörün sıcaklığı 10, 25, 30, 40, 50, 60, 70 °C'ye ayarlandı. Her bir besi yerine 3 ml 6 günlük kültürlerden eklendi. İnkübasyona bırakıldıktan sonra hangi sıcaklığın dekolorizasyon için optimum olduğu saptandı.

### 3.13.Uygun Çalkalama Hızının Saptanması

250 ml'lik erlenlerde bulunan her bir 100 ml Vogel besi yerine 1 ml boya eklenip, inkübatörün çalkalama hızı statik duruma, 50 rpm, 100 rpm, 150 rpm, 200 rpm'e ayarlandıktan sonra 6 günlük kültürden 3'er ml boyalı besi yerlerine eklendi. İnkübasyona bırakıldıktan sonra hangi çalkalama hızının optimum olduğu saptandı.

### 3.15.Lakkaz Aktivitesinin Hesaplanması

Lakkaz aktivitesi ölçümü için Guaiakol yöntemi tercih edildi. Enzim tepkimesi tüplerinde 4,9 ml ve 1 mM Guaiakol içeren 50 mM Sodyum Asetat tamponu(pH=4,5) ve enzim kaynağı olarak ise 0,1 ml kültür sıvısı kullanıldı. Kör olarak ise 4,9 ml Guaiakol içeren 50 mM Sodyum Asetat tamponu(pH=4,5) ve de 0,1 ml kaynatılarak denatüre edilmiş kültür sıvısı kullanıldı.

Enzim tepkimesi tüpleri 37 °C'de 15 dakika su banyosunda inkübasyona bırakıldı. Spektrofotometrede 465 nm'de OD(Optik Dansite)'si okundu ve ünite aktivite hesaplandı [70].

Çalışmada, 37°C'de 1 dakikada 1ml için OD=465 nm'de absorbansı 0,1 birim artıran enzim miktarı 1 U aktivite olarak tanımlandı.

Ünite aktivite şu formülle hesaplandı;

$$U = \frac{A(OD)}{0,1 \times 1,5}$$

## 4.SONUÇ VE TARTIŞMA

### 4.1.Maksimum Dekolorizasyon Gerçekleşen Boyar Maddenin Seçimi

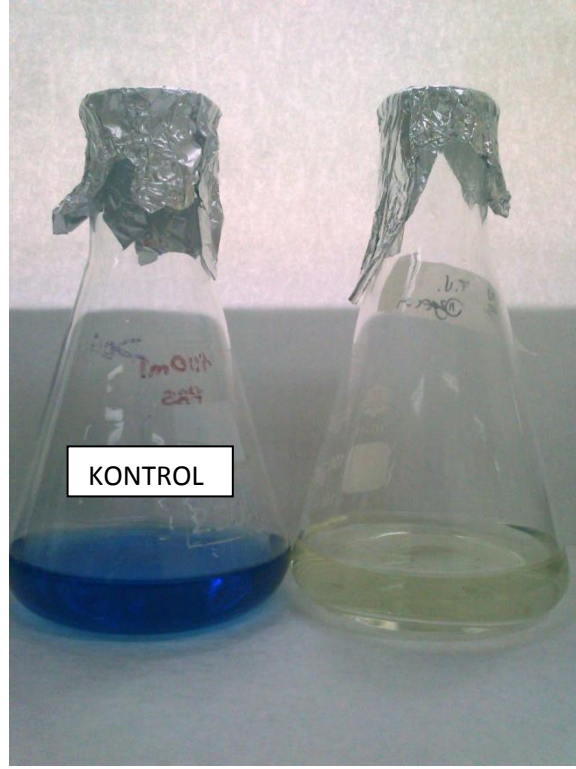
Çalışmada kullanılan Solazol Blue BB, Neutrilan Black, Reactive Bright Yellow, Reactive Red ve Solazol Turquoise Blue boyar maddelerinin *T. versicolor* ATCC 200801 tarafından renklerinin giderimi araştırılmıştır. Modifiye Vogel sıvı besi yerinde üretilen 6 günlük *T. versicolor* ATCC 200801 kültürünün, 50 ppm boya içeren besi yerine eklenip, 30<sup>0</sup>C'de çalkalamalı koşullarda inkübasyona bırakılması sonucu maksimum dekolorizasyon yüzdesi, Solazol Blue BB boyası üzerinde elde edilmiş ve çalışmalar bu boyar madde ile sürdürülmüştür. Benzer olarak, Champagne ve arkadaşlarının *T. versicolor*'dan elde ettikleri lakkaz ile yaptıkları çalışmada % 97.5 oranında dekolorizasyon sonucu elde etmişlerdir [71]. Nyanhongo ve arkadaşları ise *Trametes modesta* ile yaptıkları çalışmada %98 oranında dekolorizasyon sonucu elde etmişlerdir. Bu sonuçların izinde çalışmamız desteklenmektedir [72].

Çalışmada elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1. ve Şekil 4.1.' de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Çalışmada kullanılan boyar maddelerin dekolorizasyon yüzdeleri

Boyar maddeler	% Dekolorizasyon
Solazol Blue BB	99
Neutrilan Black	83
Reactive Bright Yellow	76
Reactive Red	56
Solazol Turquoise Blue	85

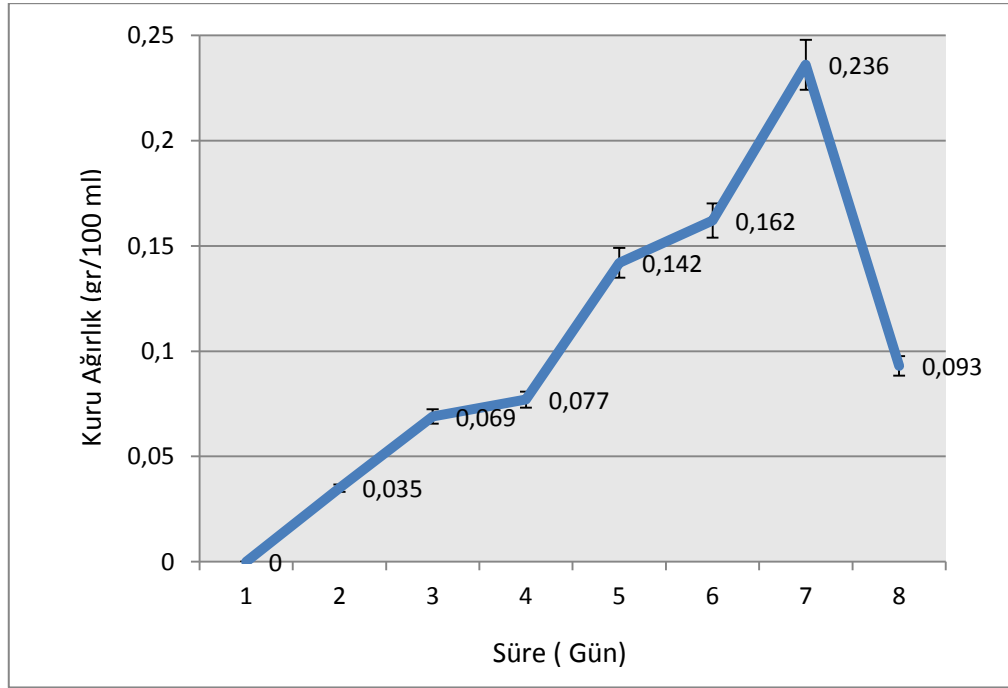
\*Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapma %0.05 olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 4.1.** 50 ppm Reactive Blue 19 boyası kullanılarak yürütülen çalışmaya ait bulgular

#### **4.2.T. *versicolor* ATCC 200801'in, Dekolorizasyon İçin Optimum Üreme Süresinin Tespit Edilmesi**

5 ml steril serum fizyolojik ile PDA yatık besi yerindeki kültürden *T. versicolor* ATCC 200801'in misel süspansiyonu hazırlandıktan sonra modifiye Vogel besi yerine ekim yapılmış ve 30<sup>0</sup>C, 150 rpm'de inkübasyona bırakılmıştır. Her 24 saatte bir örnek alınarak, % dekolorizasyon, kuru ağırlık ve de lakkaz aktivitesi hesaplanmıştır. Çalışmalar sonucunda maksimum dekolorizasyon yüzdesine Şekil 4.2. ve Çizelge 4.2 'de belirtildiği gibi 6.günde ulaşılmıştır.



**Şekil 4.2.** *T. versicolor* ATCC 200801'in günlere karşı kuru ağırlık değerleri

\*Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir.

**Çizelge 4.2.** *T. versicolor* ATCC 200801'in günlere ait % dekolorizasyon, kuru ağırlık ve enzim aktivitesi değerleri

\*Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapma %0.05 olarak hesaplanmıştır.

Gün	% Dekolorizasyon	Kuru Ağırlık(gr/100 ml)	Lakkaz Aktivitesi(U/ml)
1. Gün	17	0	0
2. Gün	23	0,035	0,2
3. Gün	74	0,069	0,25
4. Gün	78	0,077	0,43
5. Gün	90	0,142	0,58
6. Gün	99	0,162	0,66
7. Gün	99	0,236	4,62
8. Gün	99	0,093	4,74

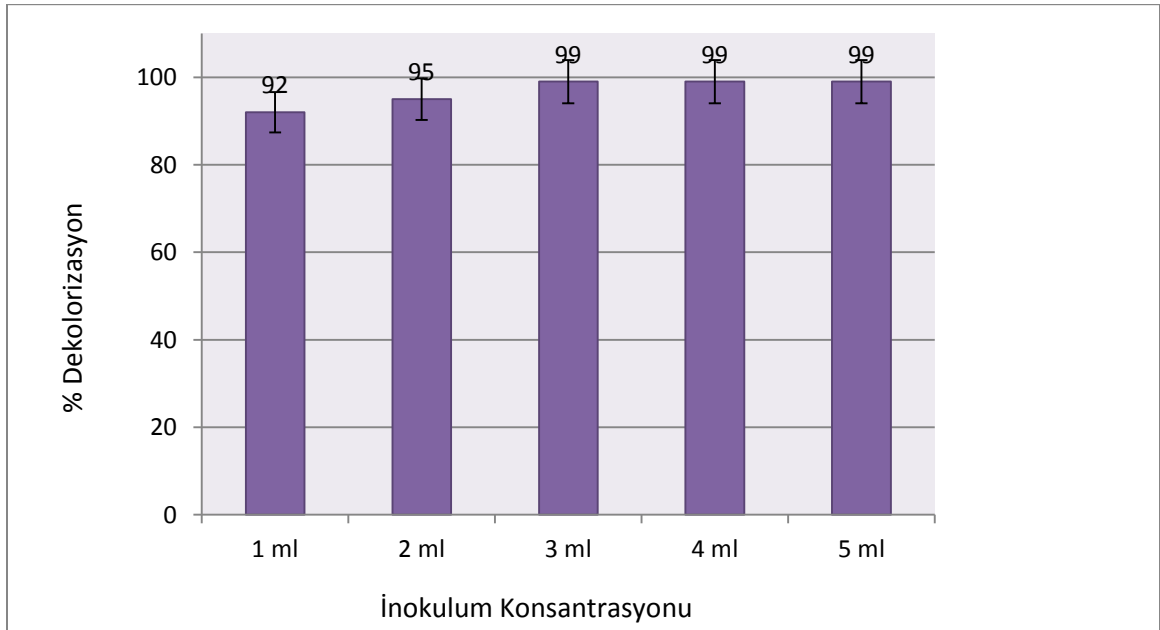
#### 4.3.T. *versicolor* ATCC 200801'in Dekolorizasyon İçin Optimum İnokulum Konsantrasyonunun Tespit Edilmesi

Çalışmada, 6 gün inkübasyona bırakılan *T. versicolor* ATCC 200801 kültüründen sırası ile 1, 2, 3, 4 ve 5 ml alınarak boyar madde içeren besi yerine ekim yapılmıştır. Alınan sonuçlara göre 3 ml inokulum konsantrasyonu ve üzerinde maksimum dekolorizasyon oranı görüldüğü gözlenmiştir. (Şekil 4.3.)

Radha ve arkadaşlarının 2005 yılında *Phanerochaete chrysosporium* ile yaptıkları çalışmada inokulum miktarını 2 ml olarak belirtmişlerdir [73].

Shahvali ise, maksimum %10 olacak şekilde olan inokulum miktarının tekstil atık sularının artımı için yeterli olacağını belirtmektedir[74].

Düşük hacimde inokulum konsantrasyonu belirlendiğinde %92 gibi yüksek bir oranda dekolorizasyon aktivitesi gözlenmiştir.

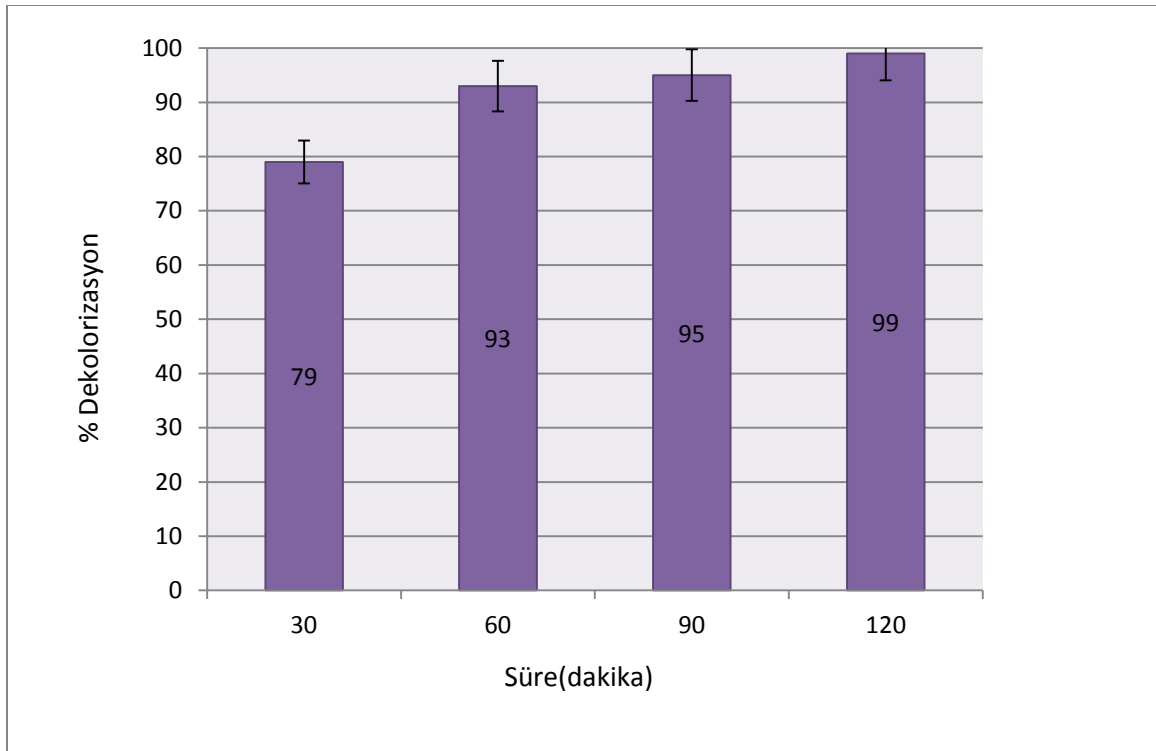


**Şekil 4.3.** İnokulum konsantrasyonunun Reactive Blue 19 dekolorizasyonu üzerine etkisi

\*Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir.

#### 4.4.T. versicolor ATCC 200801 Tarafından Reactive Blue 19 Boyasının Dekolorizasyon Süresinin Tespit Edilmesi

Dekolorizasyon süresinin belirlenmesi için boyar madde içeren besi yerine 6 günlük *T. versicolor* ATCC 200801 kültüründen ekim yapıldıktan sonra her 30 dakikada bir spektrofotometrik ölçüm yapılmıştır. İzlenen ölçümler sonrasında 2 saat sonunda % 99 oranında boya giderimi olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.4.).



**Şekil 4.4.** *T. versicolor* ATCC 200801'in Reactive Blue 19 boyar maddesinin zamana karşı dekolorizasyon oranı

\*Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir.

#### 4.5.Farklı pH Değerlerinin *T. versicolor* ATCC 200801'in Boya Gideriminin Üzerine Etkisi

Farklı pH değerlerinin *T. versicolor* ATCC 200801'in boya giderimi üzerinde etkisini araştırmak amacıyla Vogel modifiye besi yerinin pH'sı 1M NaOH ve HCl ile 2-9 arasına ayarlanmıştır. Çizelge 4.3.' te de verildiği gibi maksimum dekolorizasyon pH 4'te gözlenmiştir.

Nyanhongo ve arkadaşları *T.modesta* ile yaptıkları çalışmada pH 4.5'da %98 oranında dekolorizasyon sonucu, yine aynı mikroorganizma ile ancak Reactive Blue 221 boyar maddesi ile yaptıkları çalışmada ise pH 4.5'da % 100 oranında dekolorizasyon sonucu elde etmişlerdir [72]. Chagas ve arkadaşları 2001 yılında, bir beyaz çürükçül olan *Phanerochaete chrysosporium*'un, azo boyar madde olan Amaranth'ı pH 4.5'da %98.5 oranında dekolorize edebildiğini belirtmişlerdir [64].

**Çizelge 4.3.** Farklı pH değerlerinin dekolorizasyon üzerine etkisi

pH	% Dekolorizasyon
2	39
3	66
4	97
5	70
6	55
7	15
8	18
9	16

\*Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapma %0.05 olarak hesaplanmıştır.

#### **4.6.Farklı Karbon Kaynaklarının *T. versicolor* ATCC 200801'in Boya Gideriminin Üzerine Etkisi**

Farklı karbon kaynaklarının etkisini araştırmak üzere Vogel besi yerinin karbon kaynağı olarak bulunan glukoz dışında fruktoz, maltoz, pektin, ksiloz, nişasta kullanılmış ayrıca karbon kaynağı eklenmeyen besi yeri denenmiştir. Çizelge 4.4.'da görülen sonuçlara göre maksimum dekolorizasyon glukoz dışında maltoz ve ksilozda da gözlenmiştir. Besi yerine herhangi bir karbon kaynağı eklenmediği zaman boya giderimi oranının azaldığı görülmektedir. Bu sonuçlardan yola çıkarak dekolorizasyon işleminde görevli olan lakkaz enziminin üretiminin karbon kaynağıyla alakalı olduğu söylenebilmektedir.



Benzer olarak Mikiashvili ve arkadaşları farklı karbon kaynaklarının *T. versicolor* tarafından üretilen lakkaz enziminin aktivitesini nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Çalışmamızda bulduğumuz sonuçlara benzer olarak karbon kaynağı olarak maltoz kullanıldığında ölçülen enzim aktivitesi, glukoz kullanıldığında ölçülen enzim aktivitesine yakın çıkmıştır [75].

Funguslar için en çok kullanılan karbon kaynağı glukozdur. Ancak endüstriyel açıdan bakıldığında masraflı olacağı için başka karbon kaynakları aranmaktadır. Kapdan ve arkadaşları, bu durumu göz önünde bulundurarak *Coriolus versicolor* 'un, Everzol Turquoise Blue G boyar maddesi üzerindeki etkisine bakmışlardır. Karbon kaynağı olarak glukoz yerine, nişasta, fruktoz ve melas denemişlerdir ancak en yüksek dekolorizasyon oranına yine glukozda ulaşmışlardır [76].

Zhang ve arkadaşları beyaz çürükçül funguslar için ideal karbon kaynaklarının glukoz, maltoz ve sellobiyoz olduğunu, sukroz, laktoz ve ksilanın ise uygun karbon kaynakları olmadığını rapor etmişlerdir [77].

**Çizelge 4.4.** Farklı karbon kaynaklarının Reactive Blue 19 dekolorizasyonu üzerine etkisi

<b>Karbon kaynağı</b>	<b>% Dekolorizasyon</b>	<b>Kuru ağırlık(gr/100ml)</b>	<b>Lakkaz Aktivitesi (U/ml)</b>
Fruktoz	56	0,058	0,18
Maltoz	98	0,205	4,93
Pektin	45	0,178	0,8
Ksiloz	99	0,254	9,15
Nişasta	86	0,481	13,22
Glukoz	99	0,270	4,77
Karbon kaynağı içermeyen	40	0,025	0

\*Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapma %0.05 olarak hesaplanmıştır.

#### 4.7.Farklı Azot Kaynaklarının *T. versicolor* ATCC 200801'in Boya Gideriminin Üzerine Etkisi

Farklı azot kaynaklarının denemek amaçlı Vogel besi yerine besi yerinin azot kaynağı olan  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  dışında pepton, yeast extract,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{NaNO}_3$  kullanılmış ve bir de azot kaynağı içermeyen besi yeri hazırlanmıştır. Besi yerinin içeriğindeki azot kaynağı olan  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 'ün yanı sıra pepton kullanıldığında da yüksek dekolorizasyon oranı elde edilmiştir (Çizelge 4.5.). Azot kaynağı eklenmediğinde ise lakkaz üretiminde ve dekolorizasyon oranında azalma görülmüştür. Azot kaynağının lakkazın çalışma mekanizmasıyla alakalı olduğu sonucuna varılabilmektedir.

Ryu ve Weon'a göre  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  *Aspergillus sojae*'nin dekolorizasyon çalışmalarında en uygun azot kaynağıdır [78].

**Çizelge 4.5.** Farklı azot kaynaklarının Reactive Blue 19 dekolorizasyonu üzerine etkisi

Azot kaynağı	% Dekolorizasyon	Kuru Ağırlık (gr/100ml)	Lakkaz aktivitesi (U/ml)
Pepton	97	0,329	6,11
Yeast extract	37	0,226	1,49
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	87	0,1	1,44
$\text{KNO}_3$	31	0,063	0,24
$\text{NH}_4\text{Cl}$	86	0,179	5,16
$\text{NaNO}_3$	51	0,068	0
$\text{NH}_4\text{NO}_3$	99	0,294	4,77
Azot kaynağı içermeyen	24	0,065	0

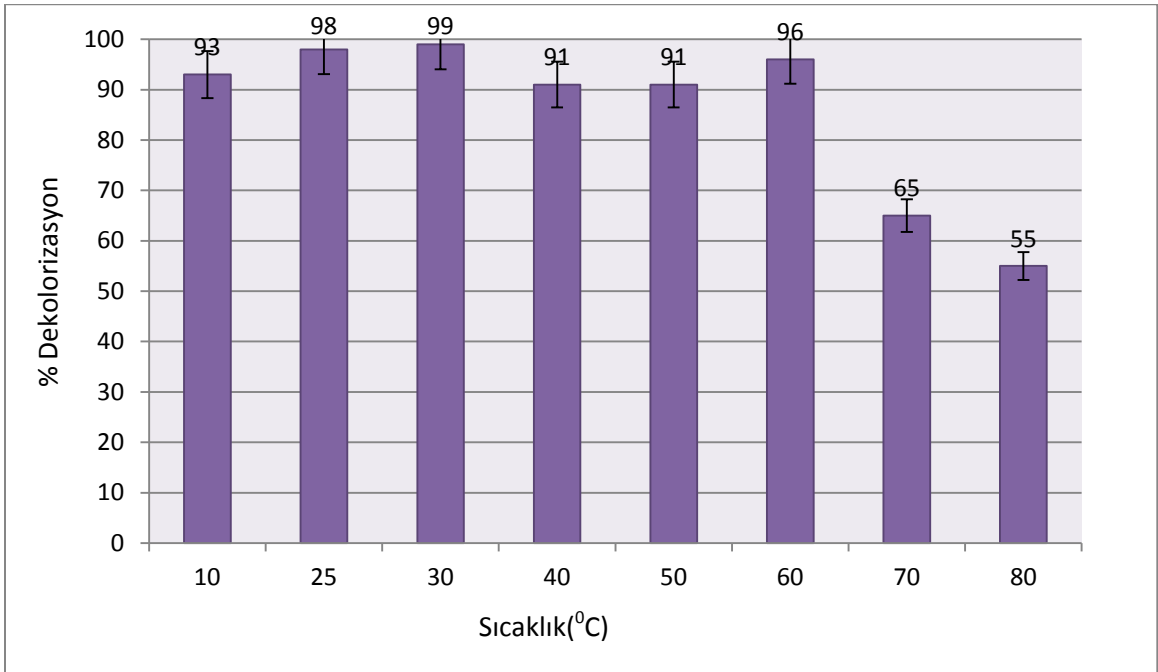
\*Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapma %0.05 olarak hesaplanmıştır.

#### 4.8.Farklı Sıcaklık Değerlerinin *T. versicolor* ATCC 200801'in Boya Gideriminin Üzerine Etkisi

*T. versicolor* ATCC 200801'in optimum üreme sıcaklığı olan 30°C haricinde 10°C, oda sıcaklığı, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C denenmiştir. Alınan veriler sonucunda düşük sıcaklığın dekolorizasyon oranını etkilemediği, sıcaklık yükseldikçe ise dekolorizasyon oranının düşmeye başladığı gözlenmiştir (Şekil 4.5.).

Romero ve arkadaşlarının *T.versicolor* ile yaptıkları deney düzeneği 25°C'de kurulmuştur. % 80'nin üzerinde boya giderimi oranı gözlemlenmiştir [79]. Dhakar ve arkadaşları ise *Trametes hirsuta* 'nın lakkaz üretimini araştırmışlar ve de 4-48 °C sıcaklık aralığını tolere edebildiğini rapor etmişlerdir [80].

Bu sonuçlar eşliğinde *T. versicolor* ATCC 200801'in geniş bir sıcaklık aralığında enzim aktivitesini koruyabildiği ve dekolorizasyon işlemini gerçekleştirebildiğini doğrulayabilmekteyiz.



**Şekil 4.5.** Sıcaklık değişiminin Reactive Blue 19 dekolorizasyonu üzerine etkisi

\*Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir.

#### **4.9.Çalkalama Hızının *T. versicolor* ATCC 200801'in Boya Gideriminin Üzerine Etkisi**

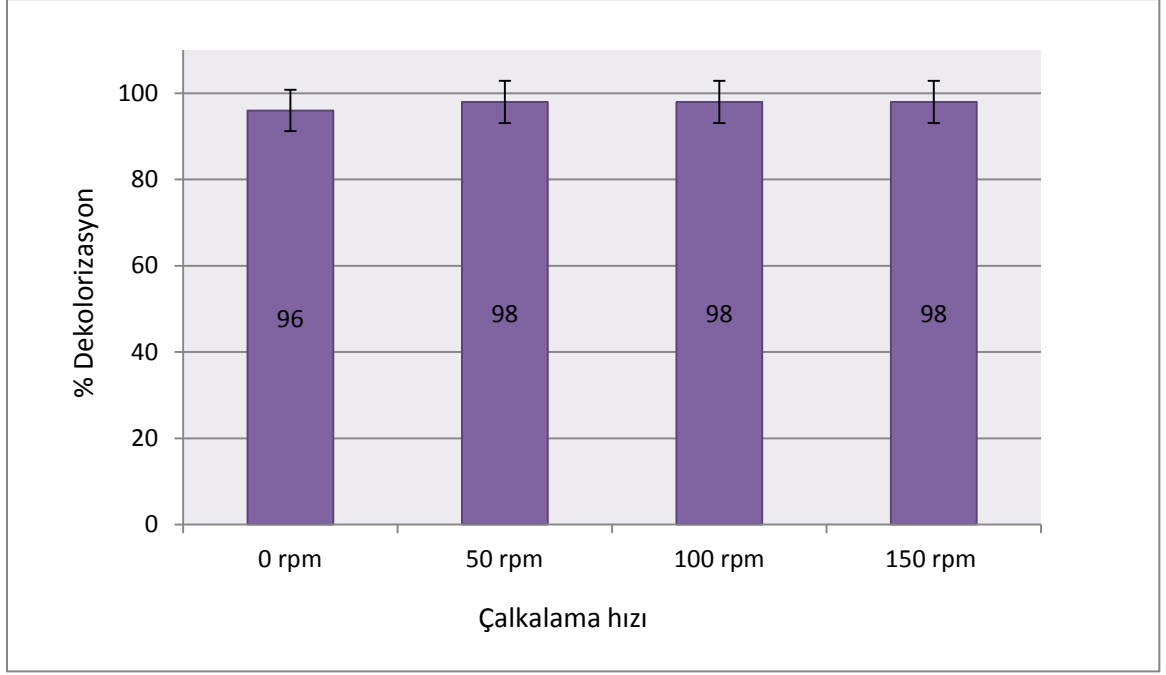
*T. versicolor* ATCC 200801'in inkübasyonu için, inkübatörün çalkalama hızı 50, 100, 150 rpm ve de statik koşullara ayarlanmıştır. Şekil 4.6.'da da verilen sonuçlara göre çalkalama hızının dekolorizasyon oranını etkilemediği gözlenmiştir.

Champagne ve Ramsey *T.versicolor* ve Amaranth boyar maddesi ile yaptıkları çalışmada 250 rpm çalkalama hızının dekolorizasyon işlemi için optimum olduğunu belirtmişlerdir [71].

Aksu ve arkadaşları 2007 yılında *T.versicolor* ve Remazol Black B boyar maddesi ile çalışma yapmışlardır. 100 rpm çalkalama hızıyla kurulan deney düzeneğinde 4 günlük inkübasyon süresinde % 88 oranında dekolorizasyon oranı elde etmişlerdir [81].

Yine Yeşilada ve arkadaşlarının *Funalia trogii* ile yaptıkları çalışmada, Astrazon Red FBL boyar maddesinin en yüksek dekolorizasyon oranını 100-150 rpm çalkalama hızı koşullarında elde ettiğini rapor etmişlerdir [59].

Yapılan benzer çalışmalarda karşımıza çıkan yüksek ya da orta hızda çalkalama hızına sahip deney düzeneklerinin aksine, çalışmamızda statik koşullarda da yüksek oranda dekolorizasyon yüzdesi elde edilmiştir. Lakkaz enzimi dışında, anaerobik koşullarda çalışan başka enzimlerin de dekolorizasyon işleminde görevli olması, elde ettiğimiz sonuçların nedeni olarak açıklanabilir.

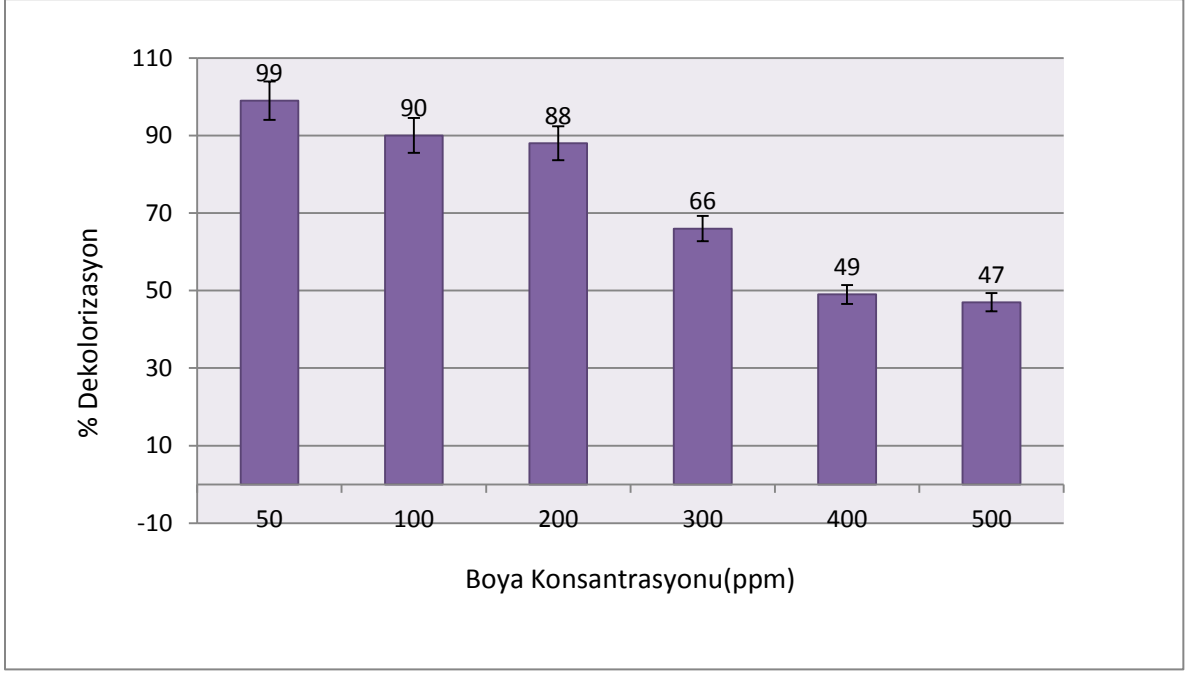


**Şekil 4.6.** Çalkalama hızı değişiminin Reactive Blue 19 boyası üzerine etkisi

\*Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir.

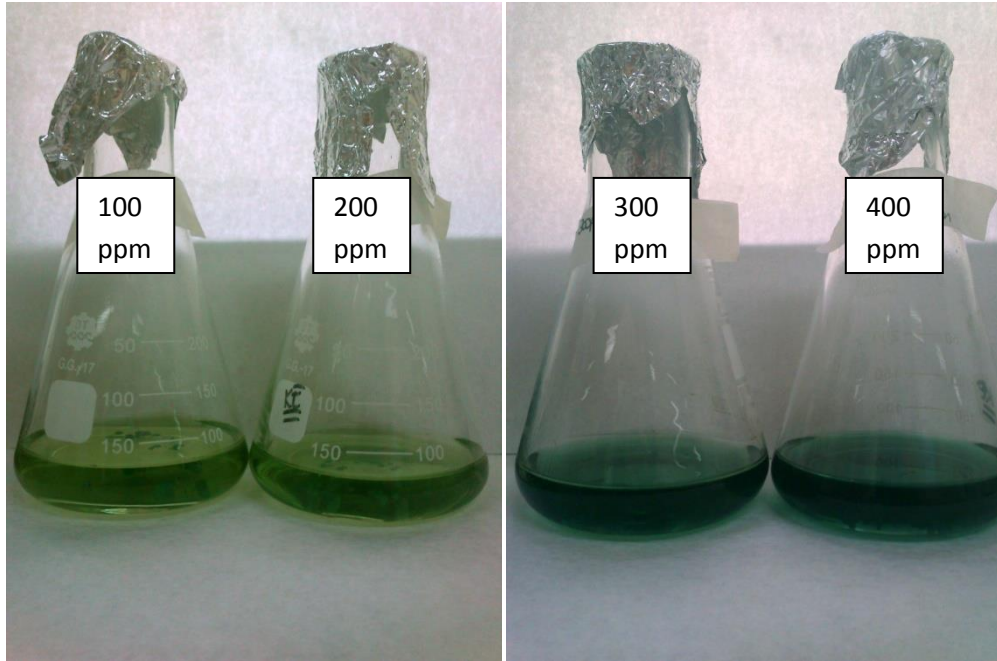
#### **4.10.Boya Konsantrasyonunun *T. versicolor* ATCC 200801'in Boya Gideriminin Üzerine Etkisi**

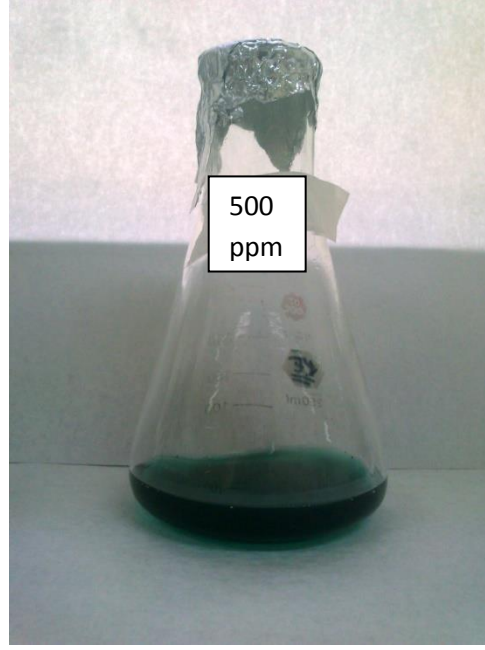
50 ppm boya konsantrasyonu ile devam edilen çalışmalardan sonra sırasıyla besi yerine 100 ppm, 200ppm, 300 ppm, 400 ppm ve 500 ppm boya eklenerek boya konsantrasyonunun dekolorizasyon üzerinde etkisi araştırılmıştır. Şekil 4.7.'da da verilen sonuçlara göre boya konsantrasyonu arttıkça *T. versicolor* ATCC 200801'in boyar maddeleri dekolorize edebilme yeteneği azaldığı görülmektedir.



**Şekil 4.7.** Boya konsantrasyonu değişiminin Reactive Blue 19 dekolorizasyonu üzerine etkisi

\*Sonnular üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir.

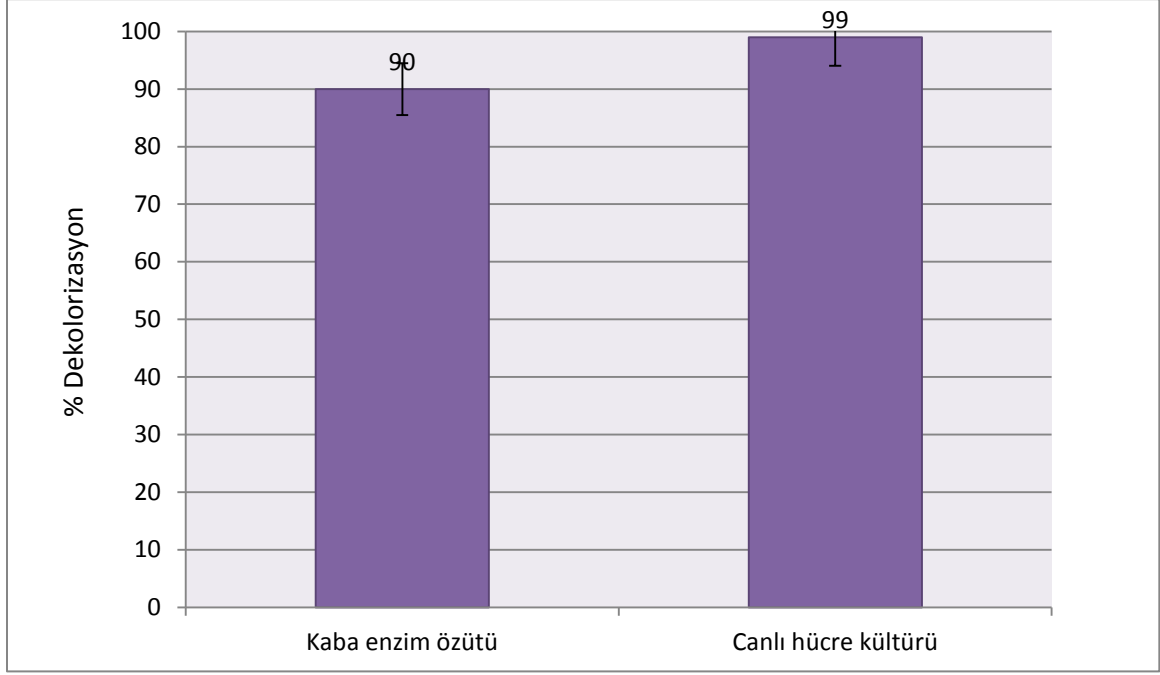




**Şekil 4.8.** Farklı konsantrasyonda Reactive Blue 19 boyası kullanılarak yürütülen çalışmaya ait bulgular

#### **4.11.T. *versicolor* ATCC 200801'den Elde Edilen Kaba Enzim Özütünün Dekolorizasyon Üzerine Etkisi**

Filtrasyonun etkisine bakmak için iki farklı deney düzeneği kurulmuştur. 6 gün inkübasyona bırakılan *T. versicolor* ATCC 200801, vakum pompasıyla süzöldükten sonra, boyar madde içeren besi yerine öncelikle sadece kaba enzim özütünden 3 ml, diğer besi yerine ise canlı hücre içeren kültürden 3 ml eklenmiştir. Deney sonucunda kaba enzim özütünün de yüksek oranda dekolorizasyon etkisine sahip olduğu, bu yüzden de boyar madde giderim işleminin sadece canlı hücre biyosorpsiyonuna bağlı olmadığı gözlenmiştir (Şekil 4.9.).



**Şekil 4.9.** Kaba enzim özütünün Reactive Blue 19 dekolorizasyonu üzerine etkisi

\*Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir.

Tekstil atık sularının arıtımı son yıllarda büyük önem kazanmıştır. Ancak kimyasal ve fiziksel yöntemlerle arıtımın yeterince ekonomik olmaması sebebiyle biyolojik arıtım öne çıkmaya başlamıştır. Bu bağlamda, çalışmamızda kullanılan *Trametes versicolor* beyaz çürükçül fungusu arıtım konusunda önemli bir mikroorganizma olabilmektedir. Düşük sıcaklıklarda ve de oda sıcaklığında yüksek aktivite gösterebilmesi, yüksek sıcaklıklara gerek duymaması endüstriyel açıdan kullanılması için bir avantajdır. Üretimi için optimum koşullar sağlandıktan sonra 2 saat gibi kısa bir sürede dekolorizasyon gerçekleştirebilmesi, zamandan tasarruf etmek için önemli bir noktadır. Ancak çalışmamızı daha da ileri noktalara taşıyabilmek için dekolorizasyon sonucu açığa çıkan ürünler aydınlatılmalı ve de alıcı ortamlara verildikten sonra toksik bir etki oluşturup oluşturmayacakları araştırılmalıdır. Ayrıca enzim immobilizasyonu yapılarak, endüstriyel açıdan efektif olarak tekrar kullanılabilir ürünler oluşturulabilir ve de maliyet daha da düşürülebilir.



Çalışma bulgularımız bütün bu ileri araştırmalar için temel olabileceği düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

[1] Çabuk, A., Gedikli, S., Aytar, P., Ünal, A., Kolankaya, N. Decolorization of denim dyestuff by laccase enzyme. *Anadolu University Journal of Science And Technology–C Life Sciences and Biotechnology*, 1(1), 59-70. **2011.**

[2] Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., & Nigam, P. Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresource technology*, 77(3), 247-255. **2001.**

[3] Yalçın, P. *Tekstil Boyalarının Gideriminde Tarımsal Atık Kullanımı*, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, **2005.**

[4] Banat, I. M., Nigam, P., Singh, D., & Marchant, R. Microbial decolorization of textile-dyecontaining effluents: a review. *Bioresource technology*, 58(3), 217-227. **1996.**

[5] Kumar V., Wati L., Nigam P., Banat I., Yadav B, Singh D., *et al.*, "Decolorization and biodegradation of anaerobically digested sugarcane molasses spent wash effluent from biomethanation plants by white-rot fungi," *Process Biochemistry*, vol. 33, pp. 83-88, **1998.**

[6] Dos Santos A. B., Cervantes F. J., van Lier J. B., "Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: perspectives for anaerobic biotechnology," *Bioresource Technology*, vol. 98, pp. 2369-2385, **2007.**

[7] Kaushik P. , Malik A., "Fungal dye decolourization: recent advances and future potential," *Environment International*, vol. 35, pp. 127-41, **2009**.

[8] Leonowicz A., Cho N., Luterek J., Wilkolazka A., Wojtas-Wasilewska M., Matuszewska A., *et al.*, "Fungal laccase: properties and activity on lignin," *Journal of basic microbiology*, vol. 41, pp. 185-227, **2001**.

[9] Pilatin S., & Kunduhoğlu, B.. Decolorization of textile dyes by newly isolated *Trametes versicolor* strain. *Anadolu University Journal of Science and Technology–C Life Sciences and Biotechnology*, 1(2), 125. **2011**.

[10] Solís M, Solís A., Pérez H. I., Manjarrez N., Flores M., "Microbial Decolorization of Azo Dyes: A Review," *Process Biochemistry*, vol. 47, pp. 1723-1748, **2012**.

[11] Selvam, K. Arungandhi K., Rajenderan G. ,Yamuna M. Bio-Degradation of Azo Dyes and Textile Industry Effluent by Newly Isolated White Rot Fungi.*Open Access Scientific Reports* vol 1. **2012**.

[12] Eyvaz, M., Bayramoğlu, M., Kobya, M. Tekstil Endüstrisi Atıksularının Elektrokoagülasyon ile Arıtılması: Teknik ve Ekonomik Değerlendirme. *İTÜ Dergisi/e*, 16(1-3). **2010**.

[13] Kolekar Y. M., Nemade H. N., Markad V. L., Adav S. S, Patole M. S., Kodam K. M., "Decolorization and biodegradation of azo dye, reactive blue 59 by aerobic granules," *Bioresource Technology*, vol. 104, pp. 818-22, **2012**.

[14] Jin X. C., Liu G. Q., Xu Z. H., Tao W. Y., "Decolorization of a dye industry effluent by *Aspergillus fumigatus* XC6," *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 74, pp. 239-43, **2007**.

[15] Novotny C., Svobodova K., Benada O., Kofronova O., Heissenberger A., Fuchs W., "Potential of combined fungal and bacterial treatment for color removal in textile wastewater," *Bioresource Technology*, vol. 102, pp. 879-88, **2011**.

[16] Güngörmedi, G., Şaşmaz, S., Aytar, P., Gedikli, S., Ünal, A., Çabuk, A., & Kolankaya, N. *Trametes versicolor* Biyokütlesi İle Reaktif Red 198 Boyarmaddesinin Biyosorpsiyonu. *Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskişehir Osmangazi University, 1*, 22(2), 247-264. **2009**.

[17] Jonstrup M., Kumar N., Guieysse B., Murto M., Mattiasson B, "Decolorization of textile dyes by *Bjerkandera* sp. BOL 13 using waste biomass as carbon source," *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, vol. 88, pp. 388-394, **2013**.

[18] T.C.Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Tekstil Ürünlerinde Azo Boyar Madde ve Aril Aminler Hakkında Genelge, **1994**.

[19] Ekinci, M., *Bir Tekstil Boyası Olan Poly R-478'in Streptomisetler ile Renk Giderimi*, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, **2007**.

[20] Rai H. S., Bhattacharyya M. S., Singh J., Bansal T. K., Vats P. Banerjee, U. C., "Removal of Dyes from the Effluent of Textile and Dyestuff Manufacturing Industry: A Review of Emerging Techniques With Reference to Biological Treatment," *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 35, pp. 219-238, **2005**.

[21] Saratale R. G., Saratale G. D., Chang J. S., and Govindwar S. P., "Bacterial decolorization and degradation of azo dyes: A review," *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, vol. 42, pp. 138-157, **2011**.

[22] Küni, G., *Reaktif Kırmızı 195 Azo Boyar Maddesinin İleri Oksidasyon Yöntemleri ile Parçalanması*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, **2009**.

[23] Sahasrabudhe M., Pathade G., "Decolourization of CI reactive yellow 145 by *Enterococcus faecalis* strain YZ66," *Archives of Applied Science Research*, vol. 3, pp. 403-414, **2011**.

[24] Nigam, P., Banat, I. M., Singh, D., Marchant, R. Microbial process for the decolorization of textile effluent containing azo, diazo and reactive dyes. *Process biochemistry*, 31(5), 435-442. **1996**.

[25] Supaka N., Juntongjin K., Damronglerd S., Delia M., Strehaiano P., "Microbial decolorization of reactive azo dyes in a sequential anaerobic-aerobic system," *Chemical Engineering Journal*, vol. 99, pp. 169-176, **2004**.

[26] O'Neill C., Lopez A., Esteves S., Hawkes F., Hawkes D., Wilcox S., "Azo-dye degradation in an anaerobic-aerobic treatment system operating on simulated textile effluent," *Applied microbiology and biotechnology*, vol. 53, pp. 249-254, **2000**.

[27] Bayramoglu G., Yakup Arica M., "Biosorption of benzidine based textile dyes "Direct Blue 1 and Direct Red 128" using native and heat-treated biomass of *Trametes versicolor*," *Journal of Hazardous Material*, vol. 143, pp. 135-43, **2007**.

[28] Aksu Z., Reactive dye bioaccumulation by *Saccharomyces cerevisiae*, *Process Biochemistry*, vol. 38, pp. 1437-1444, **2003**.

[29] Erdoğan, E.A., *Lignin ve Tekstil Boyalarının Streptomyces sp. Suşlarının Kullanılarak Parçalanmasının Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, **2008**.

[30] Kocaer, F. O., Alkan, U. Boyar Madde İçeren Tekstil Atıksularının Arıtım Alternatifleri, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik - Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt: 7, Sayı:1, **2002**.

[31] Pilatin, S., *Beyaz Çürükçül Funguslar ile Tekstil Boyar Maddelerinin Renginin Giderimi*, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, **2004**.

[32] Ong S.-A., Toorisaka E., Hirata M., Hano T., "Decolorization of Orange II using an anaerobic sequencing batch reactor with and without co-substrates," *Journal of Environmental Sciences*, vol. 24, pp. 291-296, **2012**.

[33] Işık, M., Sponza, D. Kongo Red ve Reaktif Black 38 Boyalarının Anaerobik/Ardışık Sistemle Mineralizasyonu, *Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi* Cilt 13 Sayı 2 sh. 1-12, **2003**.

- [34] Bhatnagar A., Sillanpää M., Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment—A review, *Chemical Engineering Journal*, vol. 157, pp. 277-296, **2010**.
- [35] Vitor V., Corso C. R., Decolorization of textile dye by *Candida albicans* isolated from industrial effluents," *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, vol. 35, pp. 1353-7, **2008**.
- [36] Srinivasan A. , Viraraghavan T., Decolorization of dye wastewaters by biosorbents: a review," *Journal of Environmental Management*, vol. 91, pp. 1915-29, **2010**.
- [37] Das D., Charumathi D., Das N., Bioaccumulation of the synthetic dye Basic Violet 3 and heavy metals in single and binary systems by *Candida tropicalis* grown in a sugarcane bagasse extract medium: modelling optimal conditions using response surface methodology (RSM) and inhibition kinetics," *Journal of Hazardous Material*, vol. 186, pp. 1541-52, **2011**.
- [38] Fu Y., Viraraghavan T., Fungal decolorization of dye wastewaters: a review," *Bioresource technology*, vol. 79, pp. 251-262, **2001**.
- [39] Patil P., Desai N., Govindwar S., Jadhav J. P., Bapat V., "Degradation analysis of Reactive Red 198 by hairy roots of *Tagetes patula* L. (Marigold)," *Planta*, vol. 230, pp. 725-35, **2009**.
- [40] Ghodake G. S., Talke A. A., Jadhav J. P., Govindwar S. P., Potential of *Brassica juncea* in order to Treat Textile Effluent Contaminated Sites, *International Journal of Phytoremediation*, vol. 11, pp. 297-312, **2009**.

[41] Kagalkar A. N., Jagtap U. B., Jadhav J. P., Bapat V. A., Govindwar S. P., "Biotechnological strategies for phytoremediation of the sulfonated azo dye Direct Red 5B using *Blumea malcolmii* Hook," *Bioresource Technology*, vol. 100, pp. 4104-10, **2009**.

[42] Pandey A., Singh P., Iyengar L., Bacterial decolorization and degradation of azo dyes," *International Biodeterioration & Biodegradation*, vol. 59, pp. 73-84, **2007**.

[43] Nachiyar C. V., Rajkumar G. S., Degradation of a tannery and textile dye, Navitan Fast Blue S5R by *Pseudomonas aeruginosa*," *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, vol. 19, pp. 609-614, **2003**.

[44] Lin J., Zhang X., Li Z., Lei L., Biodegradation of Reactive blue 13 in a two-stage anaerobic/aerobic fluidized beds system with a *Pseudomonas* sp. isolate, *Bioresource technology*, vol. 101, pp. 34-40, **2010**.

[45] Jain K., Shah V., Chapla D., Madamwar D., Decolorization and degradation of azo dye--Reactive Violet 5R by an acclimatized indigenous bacterial mixed cultures-SB4 isolated from anthropogenic dye contaminated soil, *Journal of Hazardous Materials*, vol. 213-214, pp. 378-86, **2012**.

[46] Acuner E., Dilek F. B., Treatment of tectilon yellow 2G by *Chlorella vulgaris*," *Process Biochemistry*, vol. 39, pp. 623-631, **2004**.

[47] Omar, H. H. Algal decolorization and degradation of monoazo and diazo dyes. *Pakistan Journal of Biological Science*, 11(10), 1310-1316. **2008**.



- [48] Priya B., Uma L., Ahamed A. K., Subramanian G., and Prabakaran D., Ability to use the diazo dye, C.I. Acid Black 1 as a nitrogen source by the marine cyanobacterium *Oscillatoria curviceps* BDU92191," *Bioresource Technology*, vol. 102, pp. 7218-23, **2011**.
- [49] Ergene A., Ada K., Tan S., Katircioğlu H., Removal of Remazol Brilliant Blue R dye from aqueous solutions by adsorption onto immobilized *Scenedesmus quadricauda*: Equilibrium and kinetic modeling studies," *Desalination*, vol. 249, pp. 1308-1314, **2009**.
- [50] Martorell M. M., Pajot H. F., de Figueroa L. I. C., Dye-decolourizing yeasts isolated from Las Yungas rainforest. Dye assimilation and removal used as selection criteria," *International Biodeterioration & Biodegradation*, vol. 66, pp. 25-32, **2012**.
- [51] Erkurt, H.A., *Biodegradation of Azo Dyes, The Handbook of Environmental Chemistry*, Volume 9, Springer, **2010**.
- [52] Yang, Q., Tao, L., Yang, M., Zhang, H. Effects of glucose on the decolorization of Reactive Black 5 by yeast isolates. *Journal of Environmental Sciences*, 20(1), 105-108. **2008**.
- [53] Waghmode T. R., Kurade M. B., Govindwar S. P., Time dependent degradation of mixture of structurally different azo and non azo dyes by using *Galactomyces geotrichum* MTCC 1360, *International Biodeterioration & Biodegradation*, vol. 65, pp. 479-486, **2011**.
- [54] Singh Arora D. Kumar Sharma R., Ligninolytic fungal laccases and their biotechnological applications," *Applied Biochemistry and Biotechnology*, vol. 160, pp. 1760-88, **2010**.

[55] Tan L., Li H., Ning S., Xu B., Aerobic decolorization and degradation of azo dyes by suspended growing cells and immobilized cells of a newly isolated yeast *Magnusiomyces ingens* LH-F1," *Bioresource Technology*, vol. 158, pp. 321-8, **2014**.

[56] Aracagök, Y.D., Cihangir N., Decolorization of Reactive Black 5 by *Yarrowia lipolytica* NBRC 1658," *American Journal of Microbiological Research*, vol. 1, pp. 16-20, **2013**.

[57] Pajareeya S., Decolorization of textile dyes by *Polyporusseudobetulinus* and extracellular laccase, *African Journal of Microbiology Research*, vol. 6, **2012**.

[58] Champagne P. P., Nesheim M. E., Ramsay J. A., A mechanism for NaCl inhibition of Reactive Blue 19 decolorization and ABTS oxidation by laccase, *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 97, pp. 6263-9, **2013**.

[59] Yesilada, O., Asma, D., Cing, S. Decolorization of textile dyes by fungal pellets. *Process Biochemistry*, 38(6), 933-938. **2003**.

[60] Subaşıoğlu, T., Bilkay, I. S. Determination of biosorption conditions of Methyl Orange by *Humicola fuscoatra*. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 68(12), 1075. **2009**.

[61] Gao D., Du L., Yang J., Wu W. M., Liang H., A critical review of the application of white rot fungus to environmental pollution control," *Critical Reviews in Biotechnology*, vol. 30, pp. 70-7, **2010**.

[62] P. S, Feasibility of bioremediation by white-rot fungi, *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 57, pp. 20-33, **2001**.

[63] Göksel Dizge M., *Trametes versicolor* Beyaz Çürükçül Fungusundan Lakkaz Enziminin Saflaştırılması ve Kısmi Nitelendirilmesi , Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, **2007**.

[64] Chagas, E. P., & Durrant, L. R.. Decolorization of azo dyes by *Phanerochaete chrysosporium* and *Pleurotus sajorcaju*, *Enzyme and microbial technology*, 29(8), 473-477. **2001**.

[65] Mercimek, H.A., *Trametes versicolor'un* Tekstil Boyalarının Gideriminde Kullanım Olanakları, Yüksek Lisans Tezi, Çukuroava Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, **2007**.

[66] Koban, A., *Ligninolitik Enzim ve Basidiomata Üretimi Açısından en Verimli Trametes versicolor İzolatının Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, **2011**.

[67] Pazarlıoğlu, N., Sarıışık, A.M., Timur, S., Telefoncu, A., Gorton, L., Akkaya, A. Zirai Atıklar Kullanılarak *Trametes versicolor*'dan Piranoz 2 Oksidaz Enziminin Karıştırmalı Tank Reaktörde Üretimi, Tekstil Sanayinde Biyo-Ağartmada Kullanımı ve Biyo-Analitik Uygulama Olanaklarının Araştırılması, *Proje*, İzmir, **2008**.

[68] Hofrichter, M. Review: lignin conversion by manganese peroxidase (MnP). *Enzyme and Microbial technology*, 30(4), 454-466. **2002**.

[69] Tuncer, M., Lakkaz, Kısım 1: Yapısı, Katalitik Özellikleri ve Dağılımları, *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22, 19-63. **2010**.

[70] Taşpınar, A., Kolankaya, N. Optimization of enzymatic chlorine removal from kraft pulp. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 61(1), 15-21. **1998.**

[71] Champagne P. P., Ramsay J. A., Reactive blue 19 decolouration by laccase immobilized on silica beads," *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 77, pp. 819-23, **2007.**

[72] Nyanhongo, G. S., Gomes, J., Gübitz, G. M., Zvauya, R., Read, J., Steiner, W.. Decolorization of textile dyes by laccases from a newly isolated strain of *Trametes modesta*. *Water Research*, 36(6), 1449-1456. **2002.**

[73] Radha K. V., Regupathi I., Arunagiri A., Murugesan T., Decolorization studies of synthetic dyes using *Phanerochaete chrysosporium* and their kinetics, *Process Biochemistry*, vol. 40, pp. 3337-3345, **2005.**

[74] Shahvali, M., Assadi, M. M., Rostami, K. Effect of environmental parameters on decolorization of textile wastewater using *Phanerochaete chrysosporium*. *Bioprocess Engineering*, 23(6), 721-726. **2000.**

[75] Mikiashvili N., Elisashvili V., Wasser S., Nevo E., Carbon and nitrogen sources influence the ligninolytic enzyme activity of *Trametes versicolor*, *Biotechnol Lett*, vol. 27, pp. 955-9, **2005.**

[76] Kapdan, I. K., Kargia, F., McMullan, G., & Marchant, R. Effect of environmental conditions on biological decolorization of textile dyestuff by *C. versicolor*. *Enzyme and microbial technology*, 26(5), 381-387 **2000.**

[77] Zhang D., Pan X., Removal of malachite green from water by Firmiana simplex wood fiber, *Electronic Journal of Biotechnology*, vol. 12, **2009**.

[78] Ryu B.H., Weon Y. D., Decolorization of azo dyes by *Aspergillus sojae* B-10, *Journal of Microbiology and Biotechnology*, vol. 2, pp. 215-219, **1992**.

[79] Romero S., Blánquez P., Caminal G., Font X., Sarrà M., Gabarrell X., Different approaches to improving the textile dye degradation capacity of *Trametes versicolor*," *Biochemical Engineering Journal*, vol. 31, pp. 42-47, **2006**.

[80] Dhakar K., Pandey A., Laccase Production from a Temperature and pH Tolerant Fungal Strain of *Trametes hirsuta* (MTCC 11397)," *Enzyme Research*, vol. 2013, p. 869062, **2013**.

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

[82] Reactive Blue 19, <http://www.worlddyevariety.com/reactive-dyes/reactive-blue-19.html> (Ağustos, **2014**).

[83] Acid Black 194, <http://www.worlddyevariety.com/acid-dyes/acid-black-194.html> (Ağustos, **2014**).

[84] Reactive Orange 12, <http://www.worlddyevariety.com/reactive-dyes/reactive-orange-12.html> (Ağustos, **2014**).

[85] Reactive Red, <http://www.worlddyevariety.com/reactive-dyes/reactive-red-120.html> (Ağustos, **2014**).

[86] Reactive Blue 21, <http://www.worlddyevariety.com/reactive-dyes/reactive-blue-21.html> (Ağustos, **2014**).

# ÖZGEÇMİŞ

## Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı: Özgecan ERDEM

Doğum Yeri: Ankara

Doğum Tarihi: 17/02/1988

Medeni Hali: Bekar

E-posta: [ozgecanerdem@hotmail.com](mailto:ozgecanerdem@hotmail.com)

Adresi: Kızılarpınarı cad. 74/6 Keçiören/Ankara

## Eğitim

Lise: Özel Yüce Fen Lisesi (2002-2005)

Lisans: Hacettepe Üniversitesi-Biyoloji Bölümü(2005-2010)

Yüksek Lisans: Hacettepe Üniversitesi-Biyoloji Bölümü-Biyoteknoloji Anabilim Dalı(2011-2014)

## Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce: KPDS(72)

## İş Deneyimi:

08.2013-12.2013 - Bilim Laboratuvar Cihazları- Satış Pazarlama Sorumlusu

## Deneyim Alanları:

Biyoteknoloji, Mikrobiyoloji

**Tezden Üretilmiş Proje ve Bütçesi:**

(-)

**Tezden Üretilmiş Yayınlar:**

(-)

**Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar:**

FEMS 2013-5<sup>th</sup> Congress of European Microbiologists (Leipzig, Germany)

Decolorization of Reactive Blue 19 Dye by *Trametes versicolor*