



**SUCUL ORTAMLARDAN TEKSTİL BOYALARININ ENZİMATİK
VE/VEYA MİKROBİYAL YOLLARLA GİDERİMİ**

Lütfiye Pelin SEYHAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EKİM 2016

Lütfiye Pelin SEYHAN tarafından hazırlanan “SUCUL ORTAMLARDAN TEKSTİL BOYALARININ ENZİMATİK VE/VEYA MİKROBİYAL YOLLARLA GİDERİMİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Mehmet Yakup ARICA

Biyoloji Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

İkinci Danışman: Prof. Dr. Gülay BAYRAMOĞLU

Kimya Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Ayşenur UĞURLU

Çevre Mühendisliği, Hacettepe Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Leyla AÇIK

Biyoloji Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. İlkay AÇIKGÖZ ERKAYA

Çevre Mühendisliği, Ahi Evran Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 17/10/2016

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Lütfiye Pelin SEYHAN

17/10/2016

SUCUL ORTAMLARDAN TEKSTİL BOYALARININ ENZİMATİK VE/VEYA MİKROBİYAL YOLLARLA GİDERİMİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Lütfiye Pelin SEYHAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ekim 2016

ÖZET

Tekstil endüstrisinde kullanılan boyaların sucul ortamlardan uzaklaştırılmasında, mevcut yöntemler yetersiz kalmaktadır. Sucul sistemlerden tekstil boyaların uzaklaştırılması için etkili ve uygulanabilir bir yöntem olarak mikroorganizmalar, boyaların biyolojik yolla parçalanmasında son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Mikroorganizmalar arasında beyaz çürükçül fungusların biyokütlelerinin biyosorpsiyon çalışmalarında, ekonomik ve etkili bir yöntem olduğu doğrultusunda çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında, tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılan, Kristal Viyole ve Reaktif Yeşil 19 boyalarının uzaklaştırılması planlanmıştır. Boyaların uzaklaştırılması için biyosorbent olarak, bir beyaz-çürükçül fungus olan *Lentinus concinnus*'un canlı biyokütlesi yukarıda verilen boyar maddelerin sucul ortamdan biyosorpsiyonu çalışmalarında kullanılmıştır. Çalışmada, boya giderimi üzerine sıcaklık, boya konsantrasyonu, pH gibi parametrelerin etkileri, kesikli sistemde araştırılmış ve en iyi boya giderim koşulları belirlenmiştir. Ortam pH'ının biyosorpsiyona etkisi 4,0-8,0 aralığında araştırılmış, optimum pH Reaktif Yeşil 19 ve Kristal Viyole için sırasıyla, pH 4,0 ve 6,0 olarak bulunmuştur. Reaktif Yeşil 19 için maksimum biyosorpsiyon kapasitesi, 25°C ve 35°C için sırasıyla, 0,38 µmol/g ve 0,6 µmol/g olarak gözlenmiştir. Kristal Viyole için maksimum biyosorpsiyon kapasiteleri ise 25°C ve 35°C için sırasıyla, 0,29 µmol/g ve 0,48 µmol/g olarak bulunmuştur. Boya giderimini en iyi açıklayan izoterm modelleri incelenmiştir. Her iki boya için de Langmuir ve Freundlich izoterm modellerinin giderim işlemine uygunluğu araştırılmıştır. Sulu ortamlardan maksimum boya giderimi, Reaktif Yeşil 19 ve Kristal Viyole için sırasıyla, 25°C'de %56 ve %58; 35°C'de ise %100 ve %66 mertebesinde bulunmuştur. Fungus biokütlesinin, sucul sistemlerden tekstil boyalarının giderimi için yüksek bir potansiyele sahip olduğu görülmüştür.

Bilim Kodu : 20308
Anahtar Kelimeler : Boya giderimi, *Lentinus concinnus*, Reaktif Yeşil 19, Kristal Viyole, Beyaz çürükçül fungus.
Sayfa Adedi : 75
Danışman : Prof. Dr. Mehmet Yakup ARICA
İkinci Danışman : Prof. Dr. Gülay BAYRAMOĞLU

REMOVAL OF TEXTILE DYES FROM AQUATIC ENVIRONMENTS BY
ENZYMATIC AND/OR MICROBIAL METHODS

(M. Sc. Thesis)

Lütfiye Pelin SEYHAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

October 2016

ABSTRACT

Current methods are insufficient for the removal of the dyes used in the textile industry from the aquatic environment. As an effective and feasible method for removing textile dyes from aquatic systems, microorganisms have been used extensively in recent years for the biodegradation of dyes. There is a great deal of research among microorganisms that biomass of white-rot fungi is an economical and effective method of biosorption studies. In this study, the removal of Crystal Violet and Reactive Green 19 dyes widely used in the textile industry is planned. The biosorption studies of dyes from aquatic environment, were made using active biomass of *Lentinus concinnus*, a white-rot fungi as fungal biosorbent. In the study, dye removal on the effects of parameters such as temperature, dye concentration, pH, etc. were investigated batch system and the optimum removal conditions were determined. Optimum pH values were investigated in the range of 4,0 to 8,0 and they were found as pH 4,0 for Reactive Green 19 and pH 6,0 for Crystal Violet. The maximum biosorption capacities for Reactive Green 19 at 25°C and 35°C, were found as 0,38 µmol/g and 0,6 µmol/g, respectively. The maximum biosorption capacities for Crystal Violet were found as 0,29 µmol/g and 0,48 µmol/g, at 25°C and 35°C, respectively. The isotherm models describing the best dye removal were examined. For both dyes, compliance of Langmuir and Freundlich isotherm models to the removal process was investigated. Maximum dye removal from aqueous environment was found as 56% and 100% for Reactive Green 19 and 58% and 66% for Crystal Violet, at 25°C and 35°C, respectively. It was found that biomass of fungi has a high potential for the removal of textile dyes from aquatic systems.

Science Code : 20308

Key Words : Dye removal, *Lentinus concinnus*, Reactive Green 19, Crystal Violet, White- rot fungi.

Page Number : 75

Supervisor : Prof. Dr. Mehmet Yakup ARICA

Co-Supervisor : Prof. Dr. Gülay BAYRAMOĞLU

TEŞEKKÜR

Tezimin bütün aşamalarında geniş kapsamlı bilgi birikimi ile bana yol gösteren, deneyimlerini, yardımlarını ve desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen çok değerli Hocam ve danışmanım, Sayın Prof. Dr. M. Yakup ARICA'ya sonsuz teşekkürleri bir borç bilirim.

Çalışmalarım esnasında bana kapılarını açan, bu tezin yürütülmesinde ilgisini, emeğini, deneyimlerini benimle paylaşan değerli Hocam, Sayın Prof. Dr. Gülay BAYRAMOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarımın deneysel aşamalarını benimle paylaşan, benden çalışmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen değerli Hocam, Sayın Doç. Dr. Meltem YILMAZ'a teşekkür ederim.

Son olarak, hayatımda doğru yönü bulmamı sağlayan ailem ve çok sevgili dostlarıma bu süreçte bana olan tükenmez maddi manevi desteklerinden dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER	5
2.1. Boyarmaddeler.....	5
2.2. Boyarmadde Üretiminde Kullanılan Hammaddeler	5
2.3. Boyarmaddelerin Sınıflandırılması	5
2.3.1. Çözünürlüklerine göre boyarmaddeler	5
2.3.2. Boyama özelliklerine göre boyarmaddeler	7
2.3.3. Kimyasal özelliklerine göre boyarmaddeler	11
2.4. Boyaların Toksisitesi	15
2.5. Boyarmadde Arıtım Teknolojileri.....	15
2.5.1. Kimyasal yöntemler	16
2.5.2. Fiziksel yöntemler.....	17
2.5.3. Biyolojik yöntemler	19
2.6. Adsorpsiyon İzotermi ve Kinetiği	24
2.6.1. Langmuir izoterm modeli	25
2.6.2. Freundlich izoterm modeli.....	26
2.6.3. Biyosorpsiyon kinetiği	27

Sayfa

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	29
4. MATERYAL VE METOD.....	37
4.1. Materyal.....	37
4.1.1. Boyarmaddeler.....	37
4.1.2. Fungal biyokütle.....	38
4.1.3. Besiyeri ve çözeltiler.....	39
4.2. Metod.....	39
4.2.1. Fungus üretimi ve gelişimi.....	39
4.2.2. Biyosorpsiyon deneyleri.....	40
4.2.3. Biyosorpsiyona boya konsantrasyonunun etkisi.....	40
4.2.4. Biyosorpsiyona pH'ın etkisi.....	40
4.2.5. Biyosorpsiyona sıcaklığın etkisi.....	41
4.2.6. Tekrar kullanılabilirlik.....	41
5. BULGULAR.....	43
5.1. Spektrofotometrik Çalışmalar.....	43
5.1.1. Dalga boyu taraması.....	43
5.1.2. Boyarmaddelerin kalibrasyonları.....	44
5.1.3. pH'ın etkisi.....	45
5.1.4. Boya konsantrasyonunun ve sıcaklığın etkisi.....	50
5.1.5. Tekrar kullanılabilirlik.....	57
5.2. İzoterm Modelleri.....	57
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	63
KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	77

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Bazı beyaz çürükçül fungusların içindeki ligninolitik peroksidazların dağılımı	24
Çizelge 2.2. RL değeri ve izoterm ilişkisi.....	26
Çizelge 4.1. Reactive Green 19 ve Crystal Violet'in karakteristik özellikleri.....	37
Çizelge 4.2. <i>Lentinus concinnus</i> fungusunun taksonomik sınıflandırılması.....	38
Çizelge 5.1. Reactive Green 19 ve Crystal Violet boyalarının fungal biyokütle ile giderim sonuçları için elde edilen Langmuir sabitleri ve korelasyon katsayıları	59
Çizelge 5.2. Reactive Green 19 ve Crystal Violet boyalarının fungal biyokütle ile giderim sonuçları için elde edilen Freundlich izoterm modeli parametreleri ve korelasyon katsayıları	60

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Reaktif boyarmaddelerin karakteristik yapısı	9
Şekil 4.1. Crystal Violet'in kimyasal yapısı	37
Şekil 4.2. Reactive Green 19'un kimyasal yapısı	38
Şekil 5.1. Reactive Green 19'a ait dalgaboyu spektrumu	43
Şekil 5.2. Crystal Violet'e ait dalgaboyu spektrumu	44
Şekil 5.3. Reactive Green 19'a ait kalibrasyon grafiği	44
Şekil 5.4. Crystal Violet' ait kalibrasyon grafiği	45
Şekil 5.5. Reactive Green 19'un farklı pH değerlerinde zamana bağlı konsantrasyon değişimi.....	46
Şekil 5.6. Reactive Green 19'a ait farklı pH değerlerinde zamana bağlı biyosorpsiyon kapasitesi grafiği	46
Şekil 5.7. Crystal Violet'in farklı pH değerlerinde zamana bağlı konsantrasyon değişimi.....	47
Şekil 5.8. Crystal Violet'e ait farklı pH değerlerinde zamana bağlı biyosorpsiyon kapasitesi grafiği	48
Şekil 5.9. Reactive Green 19 ve Crystal Violet için farklı pH değerlerinde biyosorpsiyon kapasitelerinin karşılaştırılması.....	49
Şekil 5.10. Reactive Green 19 ve Crystal Violet için farklı pH değerlerinde giderim yüzdelерinin karşılaştırılması	49
Şekil 5.11. 25°C'de Reactive Green 19 konsantrasyonunun zamana bağlı değişim grafiği.....	50
Şekil 5.12. Reactive Green19'un 25°C'de zamana bağlı biyosorpsiyon kapasitesi grafiği	50
Şekil 5.13. 35°C'de Reactive Green 19 konsantrasyonunun zamana bağlı değişim grafiği.....	51
Şekil 5.14. Reactive Green 19'un 35°C'de zamana bağlı biyosorpsiyon kapasitesi grafiği.....	52
Şekil 5.15. 25°C'de Crystal Violet konsantrasyonunun zamana bağlı değişim grafiği.....	53

Şekil	Sayfa
Şekil 5.16. 25°C’de Crystal Violet’in zamana bağlı biyosorpsiyon kapasitesi grafiği.....	53
Şekil 5.17. 35°C’de Crystal Violet konsantrasyonunun zamana bağlı değişim grafiği ..	54
Şekil 5.18. Crystal Violet’in 35°C’de zamana bağlı adsorpsiyon kapasitesi grafiği	55
Şekil 5.19. Reactive Green 19 ve Crystal Violet’in 25°C’de giderim yüzdelerinin karşılaştırılması	56
Şekil 5.20. Reactive Green 19 ve Crystal Violet’in 35°C’de giderim yüzdelerinin karşılaştırılması	56
Şekil 5.21. Reactive Green 19 ve Crystal Violet ile üç ardışık boya yüklemesi sonuçları.....	57
Şekil 5.22. Reactive Green 19 boyasının biyosorpsiyonu için Ce’ye karşı Ce/qe grafiği.....	58
Şekil 5.23. Crystal Violet boyasının biyosorpsiyonu için Ce’ye karşı Ce/qe grafiği	59
Şekil 5.24. Reactive Green 19 boyasının 25°C’deki biyosorpsiyon işlemi için, Ln C’ye karşı Ln q grafiği	60
Şekil 5.25. Reactive Green 19 boyasının 35°C’deki biyosorpsiyon işlemi için, Ln C’ye karşı Ln q grafiği	61
Şekil 5.26. Crystal Violet boyasının 25°C’deki biyosorpsiyon işlemi için, Ln C’ye karşı Ln q grafiği.....	61
Şekil 5.27. Crystal Violet boyasının 35°C’deki biyosorpsiyon işlemi için, Ln C’ye karşı Ln q grafiği.....	62

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

q	Biyosorpsiyon kapasitesi
C_t	t anındaki boya konsantrasyonu
q_m	Maksimum biyosorpsiyon kapasitesi
°C	Santigrat derece
µg	Mikrogram
C	Adsorpsiyon sonrası çözeltideki madde derişimi
C_e	Sıvı ortamdaki metal iyonları konsantrasyonu
C_o	Adsorplanan madde başlangıç konsantrasyonu
C_s	Adsorplanan maddenin doygunluk derişimi
g	Gram

Kısaltmalar

Açıklamalar

BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
KV	Crystal Violet (Kristal Viyole)
PCB	Poliklorlu Bifenil
RG 19	Reactive Green 19 (Reaktif Yeşil 19)
TOC	Toplam Organik Karbon

1. GİRİŞ

Su kirliliği, su kaynağının fiziksel, kimyasal, bakteriyolojik, radyoaktif ve ekolojik özelliklerinin değişmesi nedeniyle ya da birtakım bozulmalar yaratan madde veya enerji atıklarının su kaynağına boşaltılmasıyla oluşur. İnsanoğlunun gerçekleştirdiği endüstriyel faaliyetler su kirliliği denilen çevre sorununu ortaya çıkaran en büyük etkindir. Endüstri, yaşadığımız dünyanın her geçen gün gelişen ve genişleyen bir olgusudur. Tekstil endüstrisi, boya endüstrisi ile birlikte sucul ortamları kirleterek yaşadığımız çevreyi, canlıları tehdit eden endüstrilerden yalnızca bir tanesidir [1].

Tekstil endüstrileri büyük miktarlarda su ve kimyasal maddeler tüketirler. Tekstil endüstrisinin kullandığı sular işlemsel atık suyu olarak tanımlanırlar. Tekstil endüstrisi içerisinde iplik yıkanması, ağartma, boyama, son ürünlerin yıkanması ve durulanması gibi pek çok işlem başından sonuna kadar yüksek hacimlerde su gerektirmektedir. Kullanılan bu tekstil endüstrisi işlemsel atık sularının ve kimyasalların atık su olarak fabrikaların yakınındaki dere, gölet, akarsu gibi dış doğal sulara aktarılıp, su ortamındaki ışık geçirgenliğini azaltarak suda yaşayan bitkiler için fotosentetik aktiviteyi olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca, bu atık sulardaki bulunan boyar maddeler ve ağır metaller sucul organizmalarda birikerek, toksik, mutajenik ve kanserojenik gibi pek çok etkiyle canlıların yaşamlarını tehdit etmenin yanında daha büyük ekolojik sorunlara da neden olmaktadır. Bu nedenle, boyar madde içeren tekstil endüstrisi atık sularının geniş çaplı çevresel problemlere sebebiyet vermemesi adına yapılabilecek en önemli araştırma, işlemsel atık sularının sucul habitata karışmadan kaynağında kirliliğin uzaklaştırılması önem kazanmaktadır. Bu nedenle, boya giderimi araştırmaları günden güne geliştirilerek gereken değeri ve önemi kazanmaktadır [2, 3].

Tekstil fabrikalarındaki boyama ve yıkama işlemleri sonucunda atık sularında meydana gelen renklenmeyi oluşturan maddeler uzun hidrokarbon zincirlerinden oluşan ve toksik özellik taşıyan maddeler oldukları için verildikleri sucul ortamlarda kolaylıkla yıkıma uğramazlar. Bu nedenle, sucul ortamlarda bulunan canlı organizmalar açısından olumsuz etkilerin önünün açılmasına neden olmaktadır [4]. Atık sulardaki renkliliğin gözle görülebilir olmasının su geçirgenliğini ve gaz çözünürlüğünü azaltarak sucul ekosistemi olumsuz yönde etkilediği belirtilmektedir [1,5].

Günümüzde endüstriyel olarak yaklaşık 10,000 farklı boya ve pigment üretildiği belirtilmektedir. Araştırmacılar, 2000 yılında dünya çapında bu boyaların yıllık üretiminin 7×10^5 tonun üzerinde olduğunu ve bu boyaların %10-15 'inin boyama işlemleri sonucunda atık sular ile dış ortama deşarj edildiğini belirtmişlerdir [11- 13].

Boya Sanayicileri Derneği'nin verilerine göre, boya pazarı, 71,7 milyar dolarlık büyük bir pazardır ve küresel çapta boya üretimi 29,4 milyon ton civarındadır. Üretilen boyaların üçte ikisi tekstil sektöründe kullanılmaktadır. Türkiye'nin boya üretimindeki yerine baktığımızda, Avrupa'nın altıncı üreticisi olduğunu ve toplam üretim kapasitesinin yıllık yaklaşık 800 bin ton/yıl olduğu görülmektedir. Bu seviye, dünya pazarlarının %2'si civarındadır [23]. Dünyada ve ülkemizde üretilen boyar maddelerin kullanım alanları ve bu maddelere olan gereklilik geçmişten günümüze artış göstermiş, artmaya da devam etmektedir. Doğal ve sentetik boyar maddelerin yaklaşık %80'i tekstil endüstrisinde, yün, pamuk, ipek gibi maddelerin renklendirilmesi amacıyla kullanılmaktadır [19].

Tekstil endüstrisini takiben sentetik boyarmaddelerin; plastik, deri, lastik, kereste sanayi, sentetik lif üretimi, selüloz ve kağıt sanayi, kozmetik ve ilaç sanayi, gıda sanayi, inşaat sanayi, otomotiv ve makine sanayi, matbaacılık, cam, porselen ve güzel sanatlar gibi oldukça geniş çaplı kullanım alanlarına sahip oldukları bilinmektedir [20].

Diğer bazı temel sektörlerle kıyaslandığında, tekstil endüstrisinin ürettiği atık su miktarı çok fazladır. Bir boyama işleminde, kumaşın kilosu başına 40 ile 65 litre arasında atık su oluşmaktadır. Tekstil sektörünün atık suları, genellikle, yüzey aktif maddeler, organik toksikler, metaller (Zn, Co, Ni, Cr, vb. metal atomlarını içeren boyalar), alkaliler, tuz artışı, BOİ ve KOİ'de yükselme, pH'nın artması ve çözücüler açısından zengin bir kirlilik oluşturmaktadır [23].

Bahsedilen kimyasalların biyolojik parçalanmaya dirençli olmaları nedeniyle, çevre ve insan sağlığı açısından en riskli olan kirleticilerden birisi boyalardır. Üstelik atık sulardaki boya miktarı, kullanılan toplam boyanın, neredeyse %40'ı kadarına karşılık gelmektedir [23]. Aşırı miktarda üretilen boya atıklarının içinde, en fazla rastlanılan boya grubu, (ağırlıkça %70'i) reaktif boyalar olduğundan, bu tez çalışmasında model boya olarak bir reaktif boya seçilmiştir.

Boya atıkları, deterjanlara, mikrobiyal parçalanmaya, fotolize, kimyasallara çok dayanıklı olduğundan, yeteri kadar arıtılmadan deşarj edildiğinde, alıcı ortamda çok uzun süre kalırlar, örneğin, Reactive Blue 19 (RB19)'un 25°C ve pH 7,0'da yarılanma ömrü 46 yıl olarak tespit edilmiştir [23].

Tekstil ve boyar madde üretim endüstrilerinden arıtım tesislerine ve dış ortama verilen atık suların önemli sağlık ve çevre kirliliği problemlerine neden olması, renk giderimi ile ilgili son yıllarda önemli bir bilimsel ilgi alanı oluşturmaktadır [5- 13]. Atık sulardan renk giderimi için günümüze kadar pek çok fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtım süreçleri araştırılmış, avantaj ve dezavantajları ile birlikte bilimsel yayınlarda yerini almış ve her geçen gün gelişen ve yenilenen teknoloji ile bunların daha da çoğalacağı ve ekolojik problemlerin çözümüne yardımcı olacağı bilinen bir gerçektir.

Flokulasyon/koagülasyon, adsorpsiyon ve kimyasal oksidasyon, ozonlama gibi fiziksel ve kimyasal metotlar geçmişte çalışılmış olan araştırmalardır. Bu yöntemlerin yanı sıra geçmişte çalışılmış ve günümüzde de hala çalışılmakta olan biyolojik arıtım sistemleri etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda çeşitli boyar maddeleri renksizleştirebilen, ortamdan uzaklaştırabilen birçok mikroorganizma (bakteri, alg ve fungus gibi) türü belirlenmiş, olumlu ve olumsuz yönleri araştırılmıştır. Biyolojik arıtım, kolay uygulanabilir olması, arıttımdaki etkinliği ve maliyetinin düşük olması nedeniyle diğer sistemlerinden (fiziksel ve kimyasal) daha avantajlı ve daha etkilidir [14]. Fungal renk giderimi, bakteri ve alg kullanımına göre günümüzde var olan arıtım işlemlerinin yerini alabilecek veya bu işlemleri destekleyecek bir alternatif olarak görülmektedir.

Bu tez çalışmasında, tekstil fabrikaları işlemlerinde yaygın olarak kullanılan Kristal Violet ve Reaktif Yeşil 19 boyar maddelerinin beyaz-çürükçül fungus olan *Lentinus concinnus* aktif biokütleleri ile ön işlem uygulanmaksızın sıvı fazda biyosorpsiyon çalışmaları çeşitli parametreler kullanılarak araştırılmış, optimum renk giderimi için uygun olan parametreler belirlenmiştir. Bunun için araştırma sırasında öncelikle kullanılacak olan boyar maddelerin ölçümlemeleri yapılmış ve organizmanın dozu belirlenmiştir. Daha sonra biyosorpsiyona sıcaklığın, boya konsantrasyonunun, pH'ın etkileri araştırılmış, izoterm ve kinetik hesaplamaları ile desteklenmiş ve literatür taraması yapılarak elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.



2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Boyarmaddeler

Maddeleri (kumaş, elyaf, vb.) renkli hale getirmede kullanılan maddelere ‘boyar madde’ adı verilir. Boyar maddelerin boyama işleminde kullanılması için süspansiyon veya çözelti halinde bulunması gerekmektedir ve daha sonra boyama işlemlerinde uygulamaları yapılmaktadır. Bu şekilde renkli maddeler elde edilir [7]. Boyar maddeler 400- 700 nm arasında görünür ışığı absorbe edebilme yetenekleri sayesinde renkli görünümünü kazanırlar.

2.2. Boyar Madde Üretiminde Kullanılan Ham Maddeler

Boyar madde üretimi sırasında benzen, toluen, ksilen, naftalin, fenol gibi aromatik yapıli hidrokarbonlar yer almaktadır. Bunların esas ana kaynağını kömür ve petrol oluşturmaktadır [20, 21]. Boyar maddeler, organik ve inorganik kaynaklı olabilmekle birlikte; organik boyar maddelerin esas kaynağı petrokimyasal maddelerdir. Petrol ve kömürden hidrokarbonlar, hidrokarbonlardan ise boyar maddeler üretilir. İnorganik boyar maddeler ise pigmentlerden elde edilir [4]. Hidrokarbonlar aslında renksiz olmalarına rağmen kendilerine ‘kromofor’ adı verilen doymamış gruplar bağlanırsa renkli görünürler. Kromofor bağlanmış hidrokarbonlara ise ‘kromojen’ denilmektedir [9, 24].

2.3. Boyar Maddelerin Sınıflandırılması

Boyar maddelerin sınıfları çözünürlüklerine göre, boyama özelliklerine göre ve kimyasal özelliklerine göre olmak üzere üç genel başlık altında incelenebilir [7].

2.3.1. Çözünürlüklerine göre boyarmaddeler

Boyar maddelerin yapısal özellikleri onların belirli çözücüler içerisinde çözünmelerine olanak sağlar. Bu çözücülerin en bilinenlerinden biri kuşkusuz ki sudur. Boyar maddeler de buna bağlı olarak suda çözünebilirler ve suda çözünemeyenler şeklinde iki başlık altında sınıflandırılmaktadır [7].

Suda çözünen boyalar

Boyar madde molekülleri en az bir tane tuz oluşturabilen gruba sahiptirler. Sentezleri esnasında kullanılan başlangıç maddeleri suda çözünen bir gruba sahip değilse, bu grup boyar madde molekülüne sonradan eklenerek suda çözünebilme özelliği kazandırılabilir. Ancak, boyarmadde sentezinde başlangıç maddelerinin iyonik grup içermesi daha tercih edilebilir bir yöntemdir.

Suda çözünebilir boyar maddeler tuz oluşturabilen grubun özelliğine göre üçe ayrılır;

- Anyonik Boyarmaddeler
- Katyonik Boyarmaddeler
- Zwitter İyon Karakterli Boyarmaddeler

Anyonik boyar maddeler: Suda çözünebilir anyonik boyar maddeler genellikle sülfonik asit ($-\text{SO}_3^-$) grubu, kısmen de karboksilik asit ($-\text{COO}^-$) grubu içerirler. Asit ve direkt boyar maddeler anyonik boyar maddeler arasında yer almaktadır [7].

Katyonik boyar maddeler: Suda çözünebilir katyonik boyar maddeler $-\text{NH}_2$ gibi bir bazik grup içeren maddelerdir. Bunlar, asitlerle tuz oluşturmuş halde bulunurlar. Bazik boyalar bu grup içerisinde yer almaktadır [18].

Zwitter iyon karakterli boyarmaddeler: Bu grup içerisinde yer alan boyar maddelerin molekülleri hem asidik hem de bazik gruplar bulundurur [7].

Suda çözünmeyen boyalar

Tekstil dahil farklı birçok alanda kullanılan, suda çözünmeyen boyar maddeler 6 farklı grup altında incelenmektedir [7].

Substratta çözünen boyarmaddeler: Substrat içinde çözünenler grubuna giren boyar maddeler, sentetik elyaf üzerine yapılan uygulamalarda kullanılan dispersiyon boyar maddeleridir [7].

Organik çözücülerde çözünen boyarmaddeler: Solvent boyar maddeleri adıyla da bilinen bu gruba ait boyar maddeler sprey veya lak halinde uygulanabilirler. Matbaa mürekkebi, vaks ve petrol ürünlerinin renklendirilmesi işlemlerinde kullanılabilmektedirler [7].

Geçici çözünürlüğe sahip boyar maddeler: İndirgenme maddeleri ile suda çözünür duruma getirilerek elyaf üzerine uygulanırlar. Daha sonra elyaf içerisinde iken yükseltgenerek tekrar suda çözünemez hale gelirler. Küp ve kükürt boyar maddeleri bu grup içerisinde yer alır [7].

Polikondensasyon boyarmaddeleri: Elyaf üzerine uygulama sırasında veya sonrasında birbiriyle veya başka moleküllerle yoğunlaştırılarak büyük moleküller oluşturan boyarmaddelerdir [7].

Elyaf içinde oluşturulan boyar maddeler: İki ayrı bileşenden elyaf içinde kimyasal bir reaksiyonla oluşturulan boyar maddeler bu sınıfa girer. Bunlar suda çözünmeyen pigmentlerdir [7].

Pigmentler: Elyafa veya diğer substratlara karşı bir çekim gücü bulunmayan, boyar maddelerden çok farklı yapılara sahip bileşikleridir. Süspansiyon halinde kuruyan yağlar ve reçineler içinde uygulanırlar [7].

2.3.2. Boyama özelliklerine göre boyar maddeler

Boyama özelliklerine göre boyar maddeler sınıflandırılırken, araştırmacılar kimyasal yapıyı değil elyafı hangi yöntem ile boyadığını göz önüne almışlardır. Bu nedenle, boyama özelliklerine göre boyar maddeler aşağıda verildiği gibi on farklı grupta incelenebilmektedir [7].

Asidik boyar maddeler

Asidik boyar maddeler, $Bm-SO_3^-Na^+$ (Bm: boyar madde) genel formülüne sahiptirler ve molekülde bir ya da birden fazla sülfonik asit grubu (SO_3H) veya karboksilik asit grubu ($COOH$) içerirler. Bu boyar maddeler yün, ipek, poliamid, kağıt, deri ve besin maddelerinin boyanmasında kullanılırlar. Uygulamalarının asidik banyolarda yapılması ve

hemen hemen hepsinin organik asitlerin tuzu oluşu nedeni ile bu boyar maddelere asidik boyar maddeler adı verilmiştir. Bu kimyasal yapıları göz önüne alındığında çözünürlükleri bakımından anyonik boyar maddeler grubuna girmektedirler. Asidik boyar maddeler ile elyaf arasında iyonik bağ meydana gelmesi ile elyafa bağlanabilirler [7].

Bazik boyar maddeler

Organik bazların hidroklorürleridir ve katyonik grubu renkli kısımlarında taşırlar. Pozitif yük taşıyıcı olarak, N ya da S elementi içerirler. Yapılarından dolayı bazik (proton alan) olarak etki ederek anyonik grup içeren liflere bağlanırlar. Başlıca poliakrilonitrilde, kısmen de yün ve pamuk elyafının boyanmasında kullanılırlar. Elyaf ile boyar madde arasındaki bağ iyoniktir; boyar madde katyonu, elyafın anyonik grupları ile tuz oluşturur. Işık ve yıkama özgünlüklerinin düşük olması sebebi ile bu boyama işlemi önemini büyük ölçüde yitirmiştir [7].

Mordan boyar maddeler

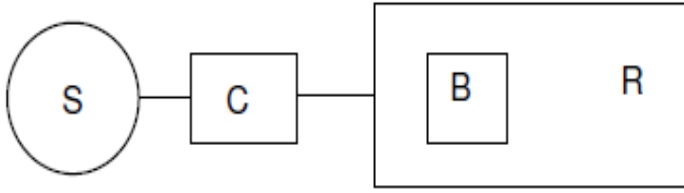
Mordan sınıfına ait boyar maddeler asidik ve bazik fonksiyonel gruplar içermektedir. Bitkisel veya hayvansal kökenli elyaf ile kararsız bileşikler oluştururlar. Mordan, boyar maddeyi elyafa sabitleyen madde olarak tanımlanır. Mordan olarak genellikle Al, Sn, Fe, Cr tuzları kullanılarak bu tuzların katyonları ile boyar madde moleküllerinin elyaf üzerinde suda çözünmeyen kompleksler oluşturması sağlanmaktadır [7].

Direkt (Substantif) boyar maddeler

Direkt boyar maddeler, genellikle sülfonik asitlerin bazen de karboksilik asitlerin sodyum tuzlarıdır. Yapıları bakımından direkt ve asit boyar maddeler arasında bir sınır bulunmamakla birlikte bu iki sınıf boyama yöntemlerindeki farklılık ile birbirinden ayrılmıştır. Direkt boyar maddeler, bir ön işlem yapılmadan (mordanlama) selüloz veya yüne doğrudan kimyasal olarak bağlanırlar. Elyafın iç misellerinde hiçbir kimyasal bağ meydana getirilmeden depo edilmektedirler. Sulu çözeltilerde zwitter iyon şeklinde bulunurlar. Suyu dayanıklılıkları sınırlı olmakla birlikte, boyama sonrası uygulanacak ek işlemlerle bu özelliklerinin düzeltilebildiği belirtilmiştir [7].

Reaktif boyar maddeler

Elyaf yapısındaki fonksiyonel gruplarla (-OH, -NH ve -SH grupları ile) kovalent bağ oluşturabilen boyar maddelerdir [12]. Kovalent bağ özelliğine sahip tek boyar madde sınıfı olarak bilinmektedir. Bu bağ nedeniyle elyaf üzerine kuvvetle tutunabilmektedir. Gerek güçlü bağ yapıları gerek molekül boyutları nedeniyle reaktif boyalar biyodegradasyona dayanıklıdır ve atık suların başlıca sorunlarından biri olarak kabul edilmişlerdir [11]. Reaktif boyar maddelerin ışık, yaş ve ter haslıkları yüksektir [16]. Reaktif boyar maddeler, selüloz liflerini boyamak için kullanılırlar [9]. Reaktif boyar maddelerde ortak olan özellik, hepsinin kromofor taşıyan renkli grup yanında bir reaktif molekülü ve bir boyama molekülünün çözünürlüğünü sağlayan grup içermesidir [7]. Bir reaktif boyar maddenin karakteristik yapısı şematik olarak Şekil 2.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Reaktif boyarmaddelerin karakteristik yapısı.

Şekil 2.1'deki görselde, S; suda çözünebilen gruptur. Selüloz ve protein elyafı boyayabilen reaktif boyar maddelerde 1- 4 adet sülfonik asit grubu bulunur. Bu özel gruplar moleküle çözünürlük sağlarlar. C; moleküle renk veren gruptur. Reaktif boyar maddenin molekülünde renk verici grup olarak her türlü sınıfa (azo, antrakınon ve fitalosiyanin türevleri) rastlamak mümkün olmaktadır. B; köprü bağlarıdır. Moleküldeki renkli grup ile reaktif grubu birbirine bağlayan; -NH-, -CO-, -SO₂- gibi gruplardır. R ise reaktif gruptur. Elyaftaki fonksiyonel grup ile kovalent bağ oluşturan gruptur [7].

Reaktif boyar maddelerin molekülünde sarı, turuncu ve kırmızı renk verici grup mono azo yapısında; mor, koyu kırmızı ve lacivert renkleri verici grup bakırlı mono ve diazo yapısında; parlak ve açık mavi renkleri veren grup ise antrakınon ve fitalosiyanin türevleri oldukları belirtilmektedir [1, 7]. Reaktif boyalar, reaktif grubun kimyasal yapısına veya bu grubun kimyasal reaktivitesine göre sınıflandırılırlar. Azalan aktiviteye göre [82];

1. Diklortriazin
2. Diflorkloroprimidin
3. Vinilsülfon
4. Monoklortriazin
5. Kloroprimidin
6. Akrilolamino
7. Monoflortriazin

Reaktif boyalar ayrıca, boyama işlemi özelliklerine göre, üç gruba ayrılır [82];

1. Yüksek reaktif boyalar (Soğukta boyanan boyalar): Sıcaklık 20-40°C arasındadır. Reaktiflik yüksek olduğu için sıcaklık yükseltmeden ve alkali ilavesini arttırmadan elyaf ile çok kolay reaksiyona girerler.
2. Orta derecede reaktif boyalar (Ilıkta boyanan boyalar); Esas olarak bu grup sınıflandırmada yaygın değildir. Genel olarak soğuk bekletmede yer alırlar.
3. Az reaktif boyalar (Sıcakta boyanan boyalar): Bu tip monoklortriazin (M.C.T.) veya triklorprimidin (T.C.P) grubu içeren boyar maddelerdir. Boyama sıcaklıkları 60-80°C arasındadır, reaksiyon kabiliyetleri zayıf oldukları için sıcaklığı yükseltmek ve alkali ilavesini arttırmakla aktivite sağlanır. Sıcak boyamada sıcaklık yüksekliği nedeni ile çok düzgün boyamalar elde edilir ve boyar madde nüfuzu mükemmeldir [82].

Küpe boyar maddeler

Karbonil grubu (C=O) içeren ve suda çözünmeyen boyar maddelerdir. İndirgeme ile suda çözünür hale getirilerek elyafa bağlanması sağlanmaktadır. Daha sonra elyafa bağlı haldeyken oksidasyonla yeniden suda çözünmez hale getirilmektedirler. İndirgen olarak sodyum ditiyonit ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$), oksidasyon için hava oksijeni kullanılır. İndirgeme sonucu boyar madde molekülündeki keto grubu enol grubuna dönüşmektedir [7].

İnkişaf boyar maddeler

Elyafa bağlandıktan sonra istenilen boyar madde özelliği kazandırılabilen boyar maddelerdir. Azoik boyar maddeler de denilmektedir. Ftalosiyenin boyar maddeler bu gruba girer [7].

Metal-kompleks boyar maddeler

İçerisinde belirli gruplar barındıran azo boyar maddeleriyle metal iyonlarının kompleks oluşturması sonucu meydana gelirler. Kompleks oluşumunda azo grubunun rol oynadığı bilinmektedir. Metal katyonu olarak Co, Cr, Cu ve Ni iyonları kullanılmaktadır. Işık ve yıkama özgünlükleri yüksek olan boyar maddelerdir [7].

Dispersiyon boyar maddeler

Suda çözünürlüğü çok az olan boyar maddelerdir. Boyar madde, hidrofobik elyaf üzerine difüzyon yoluyla taşınmaktadır [7]. Amino grup ve hidroksil grubu içerirler ve düşük molekül ağırlıklarına sahiptirler. Boyama sırasında amino grup ve hidroksil grupları ile elyaf arasında hidrojen bağı oluşur. Polyesterin boyanmasında en sık kullanılan boyalardır [12].

Pigment boyar maddeleri

Organik, anorganik, metalik ve floresan olarak dört çeşittirler [24]. Elyafın boyanmasında organik pigmentler tercih edilmektedir. Pigment boyar maddelerinin kimyasal bağ veya absorblama yapmadıkları, bunun yerine, bağlayıcı madde adı verilen sentetik reçineler ile elyaf yüzeye bağlanmalarının sağlandığı bilinmektedir. Açık renklerin yıkama ve ışık haslıkları yüksektir [7].

2.3.3. Kimyasal özelliklerine göre boyar maddeler

Boyar maddelerin kimyasal özelliklerine göre sınıflandırılmasında, molekül yapısı, molekülün renklendirici özellikteki grupları da esas alınabilmektedir. Boyar maddeler

kimyasal özelliklerine göre sınıflandırılırken sentez ve pratik uygulamaları göz önüne alınmıştır [7, 19, 21].

Nitro boyar maddeler

Nitro boyalar, fenol, naftol veya aromatik aminlerin nitro grubu içeren türevleridir. Bunların, en eski sentetik boyalardan oldukları belirtilmektedir. Bu boyaların yapısında nitro ve bazı hallerde sülfü grup olduğundan dolayı asidik özellik göstermekte ve teknik sınıflandırmaya göre asidik boyar madde grubunda da yer almaktadırlar [19, 20].

Azo boyar maddeler

Azo boyar maddeler organik boyaların en büyük ve en önemli sınıfını oluşturmaktadır. Bu boyar maddeler tekstil, lastik, deri, plastik, sentetik elyaf boyama işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Asidik, bazik, reaktif, pigment, inkişaf ve lak boyar maddeler bu grubun içinde yer almaktadır [19, 20]. Kükürt ve küpe boyalar dışında kalan diğer grupların hepsinde azo grubu mevcuttur. Yapılarında bulunan $-N=N-$ azo grubu ile karakterize edilmişlerdir. Molekül yapılarında en az bir tane aril grubu barındırırlar. Azo boyar maddelerinin genel anlamda formülizasyonu şu şekildedir; $Ar-N=N-R$ (R; aril veya alkil) [7]. Azo grubuna bağlı karbon atomları alifatik veya aromatik olabilirler. Eğer alifatik grup içeriyorsa bu boyar maddelerin renk şiddetleri düşük, renk tonları geniş bir spektruma sahip olur. Aromatik grup içeriyorlar ise bu boyar maddeler kararlı, renk şiddeti yüksek ve parlak renkler oluşturmaya eğilimlidirler [7, 10]. Aromatik bileşiklerin yapısında bulunan azo grubunun güçlü bir kromofor olduğu belirtilmiştir [22]. Azo boyaları, ısıya karşı dayanıklıdır ve ışığa ya da oksijene maruz kaldıklarında renklerini kaybetmezler. Yapısında azo grubu bulunduran boyar maddelerin hepsi sentetik özellikte boyar maddelerdir; doğal boyar maddeler içerisinde azo grubu bulundurmazlar. Yapılarında bulundurdıkları azo grubu sayısına göre aşağıdaki gibi isimlendirilirler [7, 10];

- Mono-azo : Bir azo grubu taşır.
- Di-azo : İki azo grubu taşır.
- Tri-azo : Üç azo grubu taşır.

- Poli-azo : Dört veya daha fazla azo grubu taşır [7].

Bazık yapıları azo boyar maddeler suda çözünmezler, bu nedenle HCl ile tuz oluştururlar. Esas kullanım alanları deri ve kağıt endüstrisi olmasının yanında tekstilde de kullanılabildikleri bilinmektedir [19- 21]. Asidik yapıları azo boyar maddeler suda çözünabilirler ve sodyum tuzu şeklinde kullanılabılırler. Asidik azo boyar maddelerinin esas kullanım alanı tekstil endüstrisi olup, yün ve elyaf boyaması işlemlerinde sıklıkla kullanılmaktadırlar [19- 21].

Nitrozo boyar maddeler

Nitrozo boyar maddeleri yapılarında nitro- grubu barındırırlar. Bu grupta bulunan boyar maddelerin çoğunun o-nitrozofenol ve o-nitrozonaftol türevleri oldukları bilinmektedir. Bu boyalar, ışık ve su ile muameleye dayanıklı olmadıkları için tekstil endüstrisi içerisinde kullanımları tercih edilmemektedir [7, 19-21].

Polimetin boyar maddeler

Yapısında polimetin ($-CH=$) ve heteroatomlar olan bileşiklerdir. Katyonik boyalar bu grubun içerisinde. Polimetin boyaların, poliakrilonitril liflerinin boyanmasında kullanıldığı bilinmektedir [19- 21].

Arilmetin boyar maddeler

Bu grup içerisindeki boyar maddelerden en önemlisi triarilmetandır. Bunun haricinde, diarilmetan ve ksanten gibi boyar maddeler de bulunmaktadır. Triarilmetan boyar maddelerinin nadir olarak yün ve pamuk liflerinin boyanmasında kullanıldıkları bilinmektedir [19, 20].

Aza (18) annulen boyar maddeler

Aza (18) annulen sınıfı boyar maddeler, konjuge halde çift bağ meydana getiren siklik yapıda boyar maddelerdir. Kana ve yeşil yapraklara rengini verenler ile ftalosiyanın bu gruba ait en önemli boyar maddelerdendir [7].

Karbonil boyar maddeler

Molekül yapılarında konjuge çift bağ bulunan ve bu bağlara konjuge durumda olan iki karbonil grubu içeren bileşikler karbonil boyar maddeleri oluşturmaktadır. İndigo ve antrakinon boyar maddeler bu grubun iki alt sınıfını oluşturmaktadır [7].

Antrakinon boyar maddeler

Bu sınıfta yer alan boyar maddeler, antrakinon türevleridir; oksi-antrakinon, asidik antrakinon ve polisiklik küpe boyar maddeleridir [19].

İndigo boyar maddeler

Doğal olarak bitkilerde bulunan indikanın fermantasyonla glikoz ve indoksile dönüşümü ve daha sonra hava oksijeni ile oksitlenerek indigoya dönüşmesiyle üretilmektedir. Asidik tuzları halinde üretilmektedir [19].

Kükürt boyar maddeler

Kükürt boyar maddeler yapılarında sülfohidrür (-SH), sülfür (-S-), disülfür (-S-S-), sülfoksit (-SO-) gibi grupları bulunduran boyar maddelerdir. Suda çözünebilirler. Literatüre göre, titazin türevi olan kükürt boyar maddeleri siyah, mavi ve yeşil renkli olmakta; tiyoazol türevi olan kükürt boyar maddeler sarı, turuncu renkli olmakta; azin halkası içerenler ise kırmızı ve kahverengi olmaktadır [19- 21].

Kinakridon boyalar

Kinakridon boyar maddelerin yapılarında akridon grubu bulunduran bileşikler olduğu belirtilmektedir. Bunlar ise akridin türevleri olarak bilinmektedir [19- 21].

Kinonimin boyar maddeler

Bu gruptaki bileşikler indirgenerek aminlere ve diaminlere dönüşürler. Bu boyar maddeler genellikle deri endüstrisinde, derilerin boyanması için kullanılmaktadır [19].

2.4. Boyaların Toksisitesi

Boyaların çoğu, kararlı kimyasal yapıları nedeniyle, doğal alıcı ortamlarda cereyan eden, pek çok fiziksel, kimyasal ve biyolojik saldırılara karşı dayanıklıdır. Kolay parçalanmamaları nedeniyle, boya kirliliği, alıcı ortamları ve ortamdaki canlıların yaşamını uzun süreli olarak etkilemektedir. Dayanıklılık özelliği sebebiyle, tekstil sektörünün en yoğun olarak kullandığı boyalardan biri de reaktif boyalardır [23].

Reaktif boyalar, ürünlerde parlak, solmayan renkler, çeşitlendirilebilir kimyasal yapı, geniş renk yelpazesi ve kolay boya uygulama işlemleri gibi avantajlar sunmaktadır; ancak aynı zamanda, reaktif azo boyalarının, sucul sistemlere boşaltılması, çeşitli sorunlara yol açmaktadır. Biyolojik olarak parçalanmaya dirençli olması sebebiyle, boyalar, biyobirikim özelliğine sahiptir. Biyokonsantrasyon özelliğinin yüksek olmasının bir sonucu olarak, sucul organizmaların bünyesinde, suda bulunduğundan daha fazla miktarda bulunur. Boyaların biyobirikimi, dozuna bağlı olarak, akut veya kronik toksisite ve mutajenik etki yapmaktadır ve bu boyaların çoğu, sucul ortamda, kanserojenik aminlere dönüşebilirler [23].

Reaktif boyaların toksisitesine yönelik olarak yapılan çalışmalardan birinde, tekstil sektörünün atık suları ortamında, Reaktif Black 5, Procion Yellow H-EXL, Procion Navy H-EXL ve Procion Crimson H-EXL boyalarının, *Vibrio fischeri* bakterisi üzerindeki toksisitesi incelenmiştir. Anaerobik ve aerobik dekolorizasyon işleminden sonra, hidrolize Reaktif Black 5'in toksisitesinin arttığı bildirilmiştir [83]. Yapılan bu ve benzeri birçok çalışma ile reaktif boyaların sucul canlılar üzerinde toksik etkisinin bulunduğu tespit edilmiştir.

2.5. Boyar Madde Arıtım Teknolojileri

Sucul ortamlardan boya giderimi günümüzde tek bir yöntemle sınırlı değildir. Geçmişten günümüze, atık suların çeşidine bağlı olarak renklerin giderilmesinde birbirinden farklı pek çok yöntem denenmiş ve uygulanmıştır [18]. Boya giderimi çalışmalarını genel olarak üç farklı yönteme dayandırabiliriz. Bunlar; fiziksel yöntemler, kimyasal yöntemler ve biyolojik yöntemlerdir ve bunlar da kendi içlerinde çeşitli süreçler barındırabilirler.

2.5.1. Kimyasal yöntemler

Tekstil boyalarının atık sulardan arıtılması kapsamında kimyasal yöntemler, geniş çaplı araştırmalara tabi tutulmuş ve uygulamaya konulmuş yöntemlerdendir. Kimyasal yöntemler atık suların kalitelerinde değişikliklere neden olabilmekle beraber, bu değişiklikler tolere edilebilecek düzeylerdedir [17, 25]. Kimyasal arıtım yöntemleri arasında en sık kullanılanları kimyasal çöktürme ve flokleştirme yöntemi ile oksidasyon-indirgeme yöntemleridir. Bunların yanı sıra ozonlama da rağbet görmektedir [17].

Kimyasal flokülasyon ve çöktürme (koagülasyon)

Bu yöntemle kimyasal maddeler yardımı ile flokleştirme ve çöktürme işlemleri yapılarak atık sulardaki çözünmüş maddelerin ortamdan giderilmesi sağlanmaktadır. Flokülasyon/Koagülasyon işlemleri ile renk giderimi çalışmalarında en çok kullanılan kimyasallar arasında FeCl_3 ve CaCl_2 , FeSO_4 ve Mg gösterilmektedir [13, 17]. Ancak, bu yöntemle birlikte meydana gelen maddelerin uzaklaştırılması bir sorun teşkil etmektedir [17]. Arıtım işlemleri sonrasında su içeriği yüksek bir çamur kütlelerinin oluşması nedeniyle koagülasyon dezavantajlı bir arıtım süreci olarak kabul edilmektedir [13].

Koagülasyon işlemini zorlaştıran bir başka neden ise katyonik boyaların kimyasal yapılarının zayıf olmasıdır. Koagüle olabilen asit ve reaktif boyalarda ise meydana gelen flokların kalitesi düşük olduğundan çökeltme verimi görülememektedir [14,18]. Kimyasal flokülasyon/koagülasyon ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda da renk giderimi esnasındaki süreç ve giderim sonrası süreç ile ilgili çeşitli olumlu ve olumsuz yanlar belirlenmiş ve belirtilmiştir [26, 27].

Oksidasyon

Tekstil fabrikası atık sularından boya gideriminde son yıllarda, parçalanabilmesi güç olan karmaşık yapılu organik bileşiklerin oksidatif yöntemler ile uzaklaştırılması önem kazanmıştır [28]. Bu işlemler, oksitleyici özellikteki hidroksil ($-\text{OH}$) radikalinin oluşturulmasına dayanmakta ve atık sulardaki toksik içerikli organik/inorganik maddelerin uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır [29]. Boya içerikli atık suların kimyasal oksidasyon işlemleri için klor (Cl), klordioksit (ClO_2), hidrojen peroksit (H_2O_2), ozon (O_3), ZnO , TiO_2

gibi bileşikler ve bunların UV ışınları ile birlikte kullanımları yaygındır [14, 29]. Bunlar arasında maliyet, uygulama kolaylığı, etkili kullanım bakımından en fazla araştırılanların fenton ve UV/H₂O₂ olduğu belirtilmiştir [29, 32, 39]. Klorun uygulandığı çalışmalarda boya molekülünün amino grubuna etki edildiği ve azo bağının kırılması sonucu parçalanmanın gerçekleştiği belirtilmiştir [14, 33]. Hidrojen peroksit (H₂O₂) ile yapılan çalışmalarda görülmüştür ki; hidrojen peroksit asit ortamında demir ve fenton reaktiflerini oluşturmakta ve hidroksil radikalleri meydana getirmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi oksitleyici özellikteki hidroksil radikali de boyanın parçalanmasını sağlamaktadır [14, 18]. Ayrıca, UV/H₂O₂ kombinasyonunun da reaktif boyaların parçalanmasında uygulanabilir olduğu belirtilmiştir [30, 31].

Ozonlama

Tekstil fabrikaları atık sularının arıtılmasında kullanılan kimyasal uygulamalardan biri de ozondur. Bazı kaynaklarda ozonlama işlemlerine 70'li yıllar içerisinde başladığı belirtilmektedir. Bu işlem ile dispers boyalar haricindeki diğer boyar maddelerin renk giderimleri sağlanabilmektedir [14, 17]. Ozonlama, esasında kimyasal yöntemler içerisinde oksidasyon işlemlerinin alt başlıklarından birini oluşturmaktadır. Ozonun oksidasyon potansiyelinin hidrojen peroksitten daha fazla olduğu bilinmektedir. Bu yöntem maliyet ve enerji gereksinimleri bakımından dezavantaja sahiptir [34]. Ozonlama ile atıksular, çevredeki sucul alanlara deşarj için uygun bir şekilde, renksiz ve düşük kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) olarak bırakılırlar. Ancak, ozonlama işleminin tek başına kullanımı ile çok iyi verim elde edilememekte, koagülasyona ek olarak kullanıldığında daha verimli olduğu belirtilmektedir [18]. Yapılan bazı araştırmalara göre çıkış sularına ozon işlemi uygulandıktan sonra bu suların tekrar kullanılabilmesi durumu arıtma tesisi için su tasarrufu sağlamaktadır [35]. Bir diğer avantajı ise gaz formunda uygulanabilmesinden dolayı atık çamur oluşturma probleminin bulunmamasıdır [18].

2.5.2. Fiziksel yöntemler

Tekstil endüstrisi atık sularının arıtımı kapsamında fiziksel yöntemlerden de faydalanılmıştır. Adsorpsiyon, iyon değişimi, membran filtrasyon gibi fiziksel teknolojiler boya arıtımında kullanılmaktadır.

Adsorpsiyon

Adsorpsiyon boya gideriminde oldukça etkili bir yöntem olmakla birlikte ekonomik yönden uygunluğu ile de tercih edilen bir yöntemdir [17]. Adsorpsiyon işlemleri bazı fizikokimyasal faktörlerle ilişki içerisinde. Bu faktörlerden bazıları boya/solvent etkileşimi, adsorban yüzey alanı, tanecik büyüklüğü, sıcaklık, pH ve temas süresidir [14, 17]. Bu teknolojiye adsorban olarak en çok kullanılan madde aktif karbon olmasına rağmen bu madde ekonomik açıdan bakıldığında oldukça pahalı bir maddedir ve çoğunlukla işletmelerin maliyetine olumsuz etki eder. Bu nedenle zeolit, odun külü, silika jeller, doğal killer, mısır koçanı, bataklık kömürü gibi pek çok malzeme de ucuz ve kolay elde edilebilir olmaları nedeniyle boyar maddelerin arıtımında adsorban olarak tercih edilmektedir [13, 14, 17, 18, 36, 39]. Adsorpsiyonda aktif karbon kullanımı ile asidik, bazik ve dispers boyar maddelerin arıtımı etkili bir şekilde gerçekleştirilebilirken; bunun aksine, reaktif ve direkt boyar maddelerin bu yöntemle giderimi gerçekleştirilememektedir [14, 17].

Membran filtrasyon

Membran filtrasyon yöntemi atık su arıtımı konusunda fazlaca çalışılmış fiziksel yöntemlerden biridir. Bu yöntem hem boyanın arıtımını hem de konsantre edilmesini içerir. Membran filtrasyon diğer yöntemler ile kıyaslandığında önemli bir üstünlüğe sahiptir; bu sistem kimyasala, sıcaklığa ve mikrobiyal aktivitelere karşı dirence sahip bir sistemdir [17]. Yönteme ilişkin yapılan bazı araştırmalarda arıtım sonrasında çıkan suyun tesis içinde tekrar kullanımının mümkün olduğu ve bu sayede tesis içi maliyetin düşürülebildiği belirtilmiştir [37]. Buna karşın, membran üzerinde kalan maddelerin temizlenmesi ve uzaklaştırılması durumu ortaya çıkmaktadır. Membranların kullanımı sonrası tıkanma olasılıkları yüksek olduğundan sürekli yenilenmeye ihtiyaçları vardır. Bu durumda membranların tesiste sürekli yenilenmek zorunda kalması tesisi içi maliyeti de olumsuz etkilemektedir [18, 33]. Günümüz endüstrisinde kullanılan membran sistemleri arasında nanofiltrasyon, ultrafiltrasyon, elektrodiyaliz, ters ozmos gibi sistemler yer almaktadır [14, 33].

İyon değişimi

İyon değişimi yoluyla boya içerikli atık suların arıtımı çok fazla tercih edilen bir yöntem değildir. Bunun nedeni ise arıtım yapabildiği boyar madde gruplarının çok sınırlı sayıda kalmasıdır. Yalnızca katyonik ve anyonik boyar maddelerin giderimi yapılabilmektedir. Bir maddenin etrafındaki sıvıdan belirli iyonları alıp, buna karşılık eşdeğer miktarda diğer iyonları sıvıya vermesi esasına dayanan bu fizikokimyasal yöntem yüksek maliyet gerektirmesi nedeniyle dezavantaja sahiptir [18, 38].

2.5.3. Biyolojik yöntemler

Biyolojik arıtım yöntemleri tekstil endüstrisi içerisinde kullanılan önemli yöntemlerden birisidir. Fiziksel ve kimyasal arıtım teknolojilerine oranla az bir maliyet ile gerçekleştirilebilmesi, daha az zararlı yan ürün oluşumu ve uygulamalar sonrasında daha az atık çamur üretmesi ile boyalı atık su arıtım teknolojilerinin en ideali ve en tercih edileni haline gelmiştir [14, 16, 17]. Biyolojik yolla gerçekleştirilen işlemlerde mikroorganizmalar büyük öneme sahiptir. Boya giderme yeteneğine sahip birçok mikroorganizma yardımıyla aerobik ve anaerobik ortamlarda arıtım yöntemleri ile biyosorpsiyon yöntemi üzerinde çok fazla geniş çaplı araştırmalar yapılmıştır [5].

Aerobik yöntem

Tekstil endüstrisi atık sularının arıtılmasında aktif çamur sistemleri günümüz teknolojileri arasında yaygın olarak kullanılan aerobik bir yöntemdir. Bazik, azo gibi suda oldukça iyi çözünebilen boyarmaddelerin renklerini mikroorganizmalar aerobik ortamda kendi üzerine adsorbe ederek boyalı suyun rengini giderebilirler. Bakteri üzerine adsorplanmış boyarmaddeler aktif çamurun depo alanlarına deşarj edilmesiyle anaerobik şartlarda toksik aromatik bileşiklerin oluşmasına neden olmaktadır [3, 5, 13, 17]. Boyar maddeler karmaşık kimyasal yapıları nedeniyle biyolojik parçalanmalara karşı oldukça dayanıklıdırlar. Biyolojik parçalanma, çok yavaş bir şekilde ve uzun bir zaman diliminde mümkün olmaktadır. Boyar maddelerin aerobik şartlarda uzun hidrolik alıkonma sürelerine ihtiyaç duyulduğunu gösteren araştırmalar mevcuttur [42]. Sentetik boyar maddeler, aerobik koşullarda mikrobiyal parçalanmaya karşı dirençlidirler. Bu boyar maddeler renk

solmalarını engellemek üzere sentezlenmişlerdir. Ayrıca molekül ağırlıklarının yüksek olması hücre zarından geçişlerine bir engel teşkil eder [40].

Tekstil atık sularının içeriğinin sürekli değişkenlik göstermesi de mikroorganizmaların canlı kalmasını zorlaştıran bir nedendir. Tekstil atık sularının aerobik arıtımında oluşabilecek bir diğer problem ise bakterilerin atık su içerisindeki substrata uymaması durumudur. Tekstil endüstrisi içerisinde pek çok kimyasal ve boya çeşidi kullanılmaktadır. Dolayısıyla, mikroorganizmaların bu maddelere adaptasyonları uzun zamana yayılmakta, sonuç olarak da sistem performansı düşük olmaktadır [41].

Anaerobik yöntem

Boyar madde içeren atık suların biyolojik arıtımında anaerobik sistemler de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle aerobik sistemlerle parçalanması mümkün olmayan azo boyar maddeleri ile yapılmış pek çok çalışma bulunmaktadır ve bu çalışmalarda anaerobik arıtımın bir ön işlem olarak uygulanması gerektiği vurgulanmıştır [43, 44]. Anaerobik arıtımda öncelikle asidojen bakteriler organik maddeleri molekül ağırlıkları düşük olan ara ürünlere fermente ederler. Ara ürünler ise asetojen bakteri tarafından kullanılıp asetat, karbon dioksit, moleküler hidrojen gibi maddeleri açığa çıkarır. Daha sonra ise metanojenik bakteriler açığa çıkan bu ürünleri metana indirgerler. Buna ek olarak, anaerobik renk giderimine karbon kaynağı ilavesine gereksinim vardır. İlave karbon da metan ve karbondioksite dönüştürülür ve elektronlar açığa çıkar. Bu elektronlar, elektron taşıma zincirinde son elektron alıcısı olan azo boyasına taşınır ve azo bağını indirger. Böylece azo boyar maddelerinin anaerobik olarak parçalanması ile renkleri giderilmiş olur [17, 18]. Anaerobik yöntemler, aerobik yöntemlere göre daha kısa süreli olması ve boyar maddenin adsorpsiyonu yerine biyolojik olarak parçalanabilmesi yönünden avantaj sahibidir [43, 44]. Azo bağının indirgenmesiyle iki aromatik amin oluşabilir ve anaerobik olarak parçalanmaları güçtür [46, 47]. Bu durumda, boyar madde normal şartlarda sitotoksik, mutajenik veya kanserojenik değilken, oluşan aromatik aminler bu özellikleri gösterebilmektedir. Anaerobik yöntemlerin, aerobik arıtıma ön işlem olarak önerilmesinin nedeni budur. Anaerobik ortamdan uzaklaştırılamayan aromatik aminler, aromatik bileşiğin halkasının açılması ve hidroksilasyon yoluyla aerobik ortamda mineralize olabilmektedir [45]. Yapılan bazı araştırmalarda anaerobik ortamlı bir ön işlemin ardından aerobik yöntemin uygulanması toksik bileşiklerin giderimi, rengin giderimi, KOİ, ve

BOİ'nin düşürülmesi açısından daha etkili sonuçların eldesine olanak sağladığı gösterilmiştir [41].

Biyosorpsiyon ve biyolojik parçalanma

Organik, inorganik maddeler ve metal iyonları gibi kimyasal ürünlerin bakteri, mantar, maya, küf, alg gibi mikrobiyal organizmalar aracılığıyla alınması veya biriktirilmesi biyosorpsiyon olarak ifade edilmektedir. Son yıllarda bu alanda çok sayıda araştırmalar yapılmaktadır. Ölü veya canlı bakteriler, maya ve funguslar boyar madde içeren atık suların renginin giderilmesinde kullanılabilmektedir [17, 48, 53]. Canlı hücreler hem biyolojik parçalama hem de biyosorpsiyon yapabilirken, ölü mikrobiyal kütleler biyosorpsiyon çalışmalarında kullanılmaktadır. Seçilen biokütlenin cinsine ve boyar maddenin kimyasal yapısına bağlı olarak bağlanma hızları ve kapasiteleri farklılık gösterebilmektedir [23, 57].

Biyosorpsiyon yöntemi, aktif veya pasif olmak üzere iki şekilde gerçekleşmektedir. Biyosorbentin yüzeyinde bulunan aktif merkezlere kirletici maddenin yüzey adsorpsiyonu şeklindeki biyosorpsiyon pasif alım olarak tanımlanabilir. Kirleticinin hücre içerisine alımı ise aktif alımdır. Aktif alım, kovalent bağ oluşumu, yüzey çöktürme, redoks reaksiyonları, hücre zarından sitoplazmaya taşınım ve sitoplazmadaki protein, lipid gibi yapılara bağlanma şeklinde gerçekleşir [23, 53].

Biyosorpsiyon teknolojisi kullanılarak yapılan dekolorizasyonun en önemli avantajının ucuz ve kolay elde edilen biyosorbentler kullanılarak boya derişiminin çok düşük seviyelere kadar azaltılabildiği belirtilmektedir [51]. İyon değişimi ve fiziksel adsorpsiyon sistemlerine oranla ucuz maliyetli olmasıyla birlikte, uygulama ekipmanlarının kolaylıkla elde edilebilmesi, işlem sonrası atık çamur oluşturmaması ve çözünen maddelerin daha sonradan geri kazanımlarının sağlanabilmesi gibi daha başka avantajları da mevcuttur [52]. Boyar madde içeren toksisitesi yüksek atık sularda biyosorpsiyon yöntemi avantajlı olmaktadır. Atık su ve çevre biyoteknolojileri alanlarında yapılan biyolojik arıtım çalışmalarında en çok kullanılan ve araştırılan organizmalar beyaz çürükçül funguslar olmuştur [17, 18]. Beyaz çürükçül fungusların kullanıldığı alanlardan bazıları şöyledir; boya giderimi, biyoremediasyon, kağıt hamurundan lignin giderimi, kağıt hamurunun beyazlatılması, organik sentez, şarap ve bira stabilizasyonu, gıda iyileştirilmesi, biyosensör

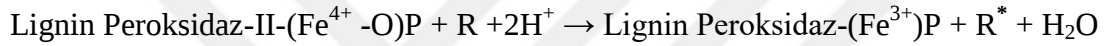
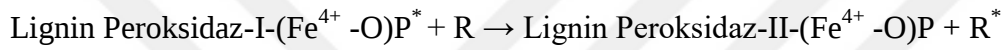
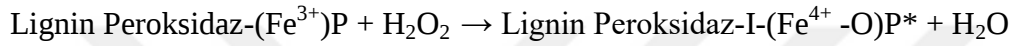
ve medikal uygulamaları [56]. Beyaz çürükçül funguslar ile boyalı atık suların renk giderimi çalışmalarına 1980'li yıllarda başlandığı bilinmektedir [49, 50]. Funguslardaki hif ve misellerden oluşan uzantılar atık su içerisindeki kirleticilere daha kolay ulaşılabilmesine olanak sağlamaktadır.

Beyaz çürükçül funguslar: Funguslar, oldukça geniş morfolojik çeşitliliğe sahip ve farklı yaşam ortamlarında dağılım gösterebilen, heterojen bir gruptur. Basidiomycetes sınıfında yer alan beyaz çürükçül funguslar, litik enzimler açısından çok zengindir. Litik enzimler, ayrıca doğal ve/veya sentetik çeşitli organik moleküllerin yıkılmasında görev yaparak, fungusun ekosistemdeki element döngülerinde önemli bir görev yapmalarını sağlarlar [95]. Örneğin, odun yapısındaki lignini parçalayarak, fungusun ağaçlar üzerinde yerleşmesine imkân sağlarlar [96]. Beyaz çürükçül fungusların sentezledikleri ekstraselüler enzimlerin, substrat seçiciliğinin düşük olması, arıtım uygulamalarında biyolojik giderim için kullanılabileceğini düşündürmektedir [54]. Bu fungusların, doğada en kararlı ve uzun süre varlık gösteren, bifeniller, poliaromatik hidrokarbonlar, fenolikler, dioksinler, furan halkaları gibi, zorlu aromatik halkaları metabolize etme yeteneğinde olduğu bilinmektedir [97]. Ürettikleri çok çeşitli enzimler sayesinde oldukça yüksek konsantrasyonlardaki kirleticilere dayanıklılıklarının yanında, kültüre edilebilmeleri için gereken substratların maliyetinin düşük olması, kolay kültüre edilmeleri, yüksek metabolik kapasiteleri ile, diğer organizmaların kullanımına göre daha avantajlıdır. Özellikle boya giderimi çalışmaları gibi biyoteknolojik uygulamalarda çok önemli bir yer edinmişlerdir [14, 54, 56]. Enzimler aracılığıyla, atık sulardan boya gideriminde, boya giderim hızının, enzimin elde edildiği kaynağa ve boyar maddenin kimyasal yapısına göre değişebildiği belirlenmiş [58], biyokütle üretiminin de renk giderimi için önem arz ettiği belirtilmiştir [9, 59].

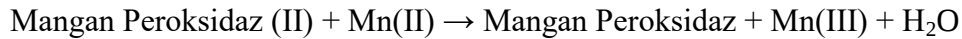
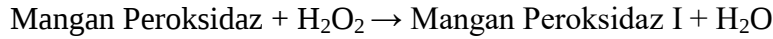
Fungal enzim sistemleri: Oksidoredüktaz enzimlerinden olan peroksidazlar, yaygın olarak bitki, fungus ve bakterilerde bulunmaktadır. Peroksidazlar, hidrojen peroksit varlığında çeşitli reaksiyonları katalizlemektedir [98]. Beyaz çürükçül funguslar başta olmak üzere, özellikle ağaç paraziti olarak, epifitik yaşam sürdüren funguslarda, önemli litik enzimler bulunmaktadır (Çizelge 2.1) [99, 100].

Bu enzimlerden, lignin peroksidazlar, beyaz çürükçül türlerin %40'ında bulunur ve lignin parçalamak için, hidrojen peroksit bağımlı oksidasyon reaksiyonunu katalizler ve lignin yapısındaki β glikozidik bağları kopararak, lignin zincirlerini kırar. Lignin peroksidazların,

atık su arıtmalarında faydalanılan diğer aktiviteleri arasında, aromatik alkollerin oksidasyonu, hidroksilasyon, kinon oluşumu ve aromatik halka açılması reaksiyonları yer almaktadır [99, 100]. Lignin peroksidaz enziminin, ferrik demir (Fe^{+3}) iyonunun, Fe^{+4} iyonuna yükseltgenmesi ile başlayan ve tekrar Fe^{+3} haline indirgenmesi sırasında, substrat bileşiklerinin yükseltgenmesi ile sonuçlanan iki basamaklı oksidasyon reaksiyonu, hidrojen peroksit bağımlı olarak gerçekleşir, ara ürün olarak radikal türler oluşur. Substrat olarak, fenol grubu içeren ve içermeyen, çeşitli aromatik bileşikleri kullanabilirler [100]. Lignin peroksidaz tarafından katalizlenen hidrojen peroksit bağımlı ve tek elektron üzerinden yürüyen, oksidasyon reaksiyonu şu şekildedir [100, 101];



Bir diğer etkin fungal peroksidaz enzimi olan, mangan peroksidaz da, hidrojen peroksit bağımlı olarak, manganın oksidasyonu üzerinden çalışır, reaksiyon şu şekildedir [100, 102, 103];



Lakkaz (benzenediol: oksijen oksidoredüktaz, EC 1.10.3.2), 60-80 kDa ağırlığındadır, aktif merkezinde dört bakır atomu içeren, hücre dışı ortamda kararlı, bir polifenol oksidaz grubu enzimidir. Enzimin optimum pH aralığı genellikle 3,0-7,5 ve optimum sıcaklık aralığı ise 40-80 °C arasında değişmektedir [105]. Veratril alkol varlığında, son elektron alıcısı olarak moleküler oksijen kullanarak, çeşitli fenolik bileşiklerin oksidasyonunu katalizler [100, 104]. Atık sulardan biyodegradasyona dayanıklı zenobiyotik aromatik bileşiklerin biyodegradasyonunda ve özellikle boya gideriminde başarıyla kullanılması, büyük oranda lakkaz enzimine bağlanmaktadır [55]. Lakkaz enzimlerinin önemini gösteren bir çalışma, Bayramoğlu ve arkadaşları tarafından yapılmıştır (2009). Çalışmada, destek materyali olarak, pGMA moleküler fırçası aşılınmış, pHEMA filmleri üzerine, lakkaz enzimi tutuklanmıştır. Hazırlanan enzim preparatları ile fenol, p-klorofenol ve anilin degradasyonu çalışılmıştır [106]. Başka bir çalışmalarında, lakkazın immobilizasyonu

için kitosan membranlarına önce itakonik asit aşılama ve sonra Cu(II) iyonu şelatlamışlardır ve toksik boyar maddelerin gideriminde kullanmışlardır. Hazırlanan enzim preparatının, yeşil kimyasallar kullanılarak üretildiği ve başka enzimlerin de tutuklanması için de kullanılabileceği bildirilmiştir. [107].

Çizelge 2.1. Bazı beyaz çürükçül fungusların içinde ligninolitik peroksidazların dağılımı [99, 100]

Organizmalar	Lakkaz	Lignin Peroksidaz	Mangan Peroksidaz
<i>Phlebia brevispora</i>	+	+	+
<i>Phlebia radiata</i>	+	+	+
<i>Pleurotus ostreatus</i>	+	+	+
<i>Pleurotus sapidus</i>	+	+	+
<i>Trametes gibbosa</i>	+	+	+
<i>Trametes hirsuta</i>	+	+	+
<i>Trametes versicolor</i>	+	+	+
<i>Phanerochaete chrysosporium</i>	+	+	+
<i>Trametes cingulata</i>	-	+	-
<i>Phanerochaete sordida</i>	-	+	-
<i>Ceriporiopsis subvermispora</i>	-	+	+
<i>Ganoderma colossum</i>	-	+	+
<i>Lentinus (Lentinula) edodes</i>	-	+	+
<i>Panus tigrinus</i>	-	+	+
<i>Trametes villosa</i>	-	+	+
<i>Pycnoporus cinnabarinus</i>	-	-	+
<i>Bjerkandera adusta</i>	+	-	-

2.6. Adsorpsiyon İzotermi ve Kinetiği

Adsorpsiyon dengesi, adsorpsiyon izotermi olarak bilinen bağıntılarla ifade edilebilir. Adsorpsiyon izotermi adsorbanın birim kütlesine adsorbe olan kimyasal madde miktarı ile dengedeki çözelti konsantrasyonu arasındaki ilişkiyi temsil eder. Genel olarak, sabit sıcaklıkta adsorplanan madde miktarı ile denge basıncı veya konsantrasyonu arasındaki

bağıntıya adsorpsiyon izotermi adı verilmektedir [60]. Adsorplama işlemi, adsorbanın yüzeyinde biriken madde konsantrasyonu ve çözelti içinde kalan madde konsantrasyonu arasında bir denge oluşuncaya kadar devam eder. Denge sağlandıktan sonra adsorpsiyon miktarında ve çözelti konsantrasyonunda değişiklik meydana gelmez.

Adsorpsiyon izotermi adsorplanan madde konsantrasyonu ile değişim gösteren fonksiyonlardır [60]. Bu izoterm, biyosorpsiyon olayını ifade eden hız denklemleri olarak da ifade edilebilmektedir. Biyosorpsiyon olayı sırasında hız denklemi, biyokütle yüzeyine adsorplanan madde miktarı (q_d) ve çözeltide adsorplanmadan kalan madde miktarı (C_d) arasında kurulmaktadır. Günümüz çalışmalarında biyosorpsiyon dengesi, su ve atık su arıtma uygulamalarından elde edilen verilerinin analizinde en fazla kullanılan izoterm, Langmuir ve Freundlich denklemleridir [60, 61, 70].

Adsorpsiyonun hangi izoterm ile daha iyi açıklanabildiğinin bulunabilmesi için deneysel olarak elde edilen veriler tüm izoterm denklemlerine uygulanıp grafiğe dökülmesi gerekmektedir. Verilerin doğrusal bir grafik oluşturduğu izoterm çeşidi adsorpsiyon için en uygun olanıdır [60].

2.6.1. Langmuir izoterm modeli

Langmuir izoterm modeli, adsorban yüzeyinde homojen olarak dağılmış, çok sayıda bağlanma bölgesinin bulunduğu ve bu bağlanma bölgelerinin tek bir moleküler tabakanın adsorpsiyonu için aynı afiniteye sahip olduğu ve adsorplanan moleküller arasında bir etkileşim olmadığı varsayımına dayanır. Tüm adsorpsiyon işlemi aynı mekanizmaya göre oluşur ve her bir adsorplanmış kompleks aynı yapıya sahiptir. Adsorpsiyon büyüklüğü, yüzeyin tamamen tek tabaka halinde kaplanmasından daha azdır [9]. Doğrusal Langmuir eşitliği aşağıdaki gibi verilmektedir;

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L} + \left(\frac{\alpha_L}{K_L}\right) C_e \quad (2.1)$$

Eşitlikte (2.1) yer alan C_e , adsorpsiyon sonrası çözeltide kalan maddenin konsantrasyonunu (mg/L); q_e , birim adsorban üzerinde adsorplanan madde miktarını (mg/g); K_L , adsorbanın

adsorplanma kapasitesine bağılı sabitini (L/g); α_L , adsorpsiyon enerjisine bağılı olan sabitini (L/mg) ifade etmektedir.

C_e/q_e değerinin, C_e değerine göre değişiminin grafiğe dökümünde meydana gelen doğrunun eğimi ve kesim noktası sırasıyla α_L/K_L ve $1/K_L$ sabitlerinin değerlerini verir. Tek tabakalı adsorpsiyonun olduğu sistemlerde bu izoterm denge halini açıklayamaz. Langmuir izotermi homojen bir adsorpsiyon izotermidir. Her molekülün aktivasyon enerjisi aynıdır [60].

Adsorpsiyon eğilimini bulmak amacıyla R_L (dağılma) sabiti hesaplanır. Hesaplama için kullanılan denklem şu şekildedir;

$$R_L = \frac{1}{1+bC_0} \quad (2.2)$$

Eşitlikte (2.2) yer alan b (α_L), Langmuir sabitini (L/mg) ve C_0 ise maddenin çözeltideki başlangıç derişimini (mg/L) göstermektedir. Sabitin 0 ile 1 arasında değer alması, adsorpsiyon eğiliminin yüksek olmasını ifade eder. Çizelge 2.2.'de R_L sabitine göre elverişlilik durumu verilmiştir [60, 62-65].

Çizelge 2.2. R_L değeri ve izoterm ilişkisi.

R_L Değeri	İzoterm
$R_L > 1$	Elverişli Değil
$R_L = 1$	Lineer
$0 < R_L < 1$	Elverişli
$R_L = 0$	Tersinmez

2.6.2. Freundlich izoterm modeli

Freundlich'e göre bir adsorbanın yüzeyi üzerinde bulunan adsorpsiyon alanları heterojendir. Çözeltilerde adsorpsiyonu açıklamak için üretilen ve doğrusal hale getirilen denklem şu şekildedir;

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} C_e \quad (2.3)$$

Eşitlikte (2.3) yer alan q_e , birim adsorban üzerinde adsorplanan madde miktarını (mg/g); C_e , adsorpsiyon sonrası çözeltide kalan maddenin konsantrasyonunu (mg/L), K_F , Freundlich model sabitini ve bir diğer model sabiti olan n ise adsorpsiyon yoğunluğunu ifade etmektedir [60]. $n > 1$ değeri adsorpsiyon işleminin elverişli olduğunu göstermektedir [67, 70]. $\log q_e$ 'nin $\log C_e$ 'ye göre grafiğe geçirilmesi ile K_F ve n sabitleri bulunur. Grafikten elde edilen doğrudan y eksenini kesen nokta $\log K_F$ 'yi ve eğim de $1/n$ 'i verir.

2.6.3. Biyosorpsiyon kinetiği

Adsorpsiyon kinetiği ile adsorban ve adsorbanın birbirlerine temas (alıkonma) süreleri bulunur. Adsorban maddenin adsorbana alınımı 4 temel basamakta gerçekleşir [60, 68]. Basamaklar şu şekilde sıralanabilir;

1. Film tabakası difüzyonu
2. Sınır tabakası difüzyonu
3. Parçacık içi difüzyonu
4. Sorpsiyon

Birinci basamakta, mikroorganizmanın yüzeyinde meydana gelen fiziksel adsorpsiyon ya da iyon değişimi yer alır. Oldukça hızlı bir basamaktır ve mikroorganizmanın kimyasal ile etkileşiminden kısa bir süre sonra denge durumu görülür. Bu duruma pasif giderim adı da verilmektedir [70]. Adsorpsiyon hızının uygun olduğu kinetik modelini belirlemek için türetilen teorik bazı eşitlikler kullanılmaktadır. Birinci ve ikinci derece kinetik model eşitlikleri aşağıdaki gibidir;

Birinci derece Lagergren eşitliği;

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_{1,ad} t}{2.303} \quad (2.4)$$

İkinci dereceden hız eşitliği;

$$\frac{1}{q_e - q_t} = \frac{1}{q_e} + kt \quad (2.5)$$

Eşitlikte (2.4), $k_{1,ad}$, Lagergren adsorpsiyon hız sabiti (dakika^{-1}); k , ikinci dereceden adsorpsiyon hız sabitini (g/mg dakika); q_e , denge meydana geldiği zaman adsorbe edilen madde miktarını (mg/g); q_t , herhangi bir zamanki adsorbe edilmiş olan madde miktarını (mg/g) göstermektedir.

$\log(q_e - q_t)$ ve $1/(q_e - q_t)$ değerlerinin t değerine karşı grafiğe geçirilmesi ile sırasıyla $k_{1,ad}$ ve k değerleri hesaplanır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler ile oluşturulan grafikler yardımıyla adsorpsiyona uygun olan izoterm ve adsorpsiyon hızının derecesi bulunur [60].

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Atık su artımı çalışmalarında, fungus biokütlelerinin kullanımı pek çok farklı kirletici grubunun atık sulardan arıtılması için tercih edilen bir biyosorpsiyon yaklaşımıdır. Fungal biyokütlelerin elde edilmesi, üretilmesi, diğer bazı bakteriyel ve bitkisel biyokütle ile karşılaştırıldığında oldukça kolay, nispeten daha güvenli ve hızlıdır. Funguslar, farklı kirletici gruplarını parçalayabilen, yüksek metabolik faaliyetleri ile ön plana çıkmaktadır. Funguslar arasında, özellikle ağaç paraziti olarak yaşayan, odun çürükçülü olan türler, kalıcılığı yüksek olan kirleticilerin biyolojik parçalanmasında önemli bir yere sahiptir. Bu gelişmiş degradasyon yeteneği, fungusların organik moleküllere etkili olan, çok çeşitli enzimleri üretebilmelerinden kaynaklanmaktadır. Kahverengi çürükçül mantarlar ve beyaz çürükçül mantarlar, parçalanmaya dirençli organik kirleticilerin yıkımında etkin rol oynayabilmektedir. Çeşitli atıkların biyolojik giderimi için beyaz çürükçül fungusların kullanımını çalışan araştırmacılar, bu fungusların bazı avantajlı yönlerini ortaya çıkarmıştır. Örneğin, beyaz çürükçül funguslar, düşük substrat seçiciliğine sahip olan, ligninolitik enzimler üretirler ve çok çeşitli kirleticilerin CO₂'e kadar yıkılmalarını sağlayabilirler. Söz konusu degradasyon enzimleri, çoğunlukla hücre dışına salgılanan, ekstraselüler enzimlerdir. Bu özellikleri ile bakterilerdeki gibi degradasyon için öncelikle molekülün hücre içine alınması zorunluluğu yoktur. Bakterilerle gerçekleştirilen giderim çalışmalarında, doğal ortamda bakterilerin uyum geliştirmesi için, ön üreme çalışmaları yapılmak zorundadır. Ancak, beyaz çürükçül funguslar için bu zorunluluk yoktur. Fungusların degradasyon enzimlerini üretmeleri, ortamda bulunan azot ve karbon kaynaklarına bağlı olarak indüklenmektedir. Bakterilerden üstün bir özellikleri olmak üzere, beyaz çürükçül fungusların, aşırı miktarda kirletici içeren atıksulara toleransları çok daha yüksektir. Fungal enzimler biyoremediasyon için yüksek verimde çalıştırılabilmektedir. Üstelik beyaz çürükçül fungusların üretimi için ihtiyaç duyulan substratlar ekonomik ve kolay erişilebilir maddelerdir. Örneğin evsel atıklar, tarımsal atıklar, gıda sektörünün atık suları gibi ortamlarda, kolaylıkla üretimleri sağlanabilmektedir [84].

Birçok kalıcı ve biyobirikim gösteren, PCB'ler, fenolik maddeler gibi organik molekülün parçalanmasında, sıklıkla kullanılan bazı beyaz çürükçül mantarlara, *Lentinula sp.*, *Phlebia sp.*, *Trametes sp.*, *Phanerochaete sp.*, cinslerine ait türler örnek olarak verilebilir. Beyaz

çürükçüllerden, *Phanerochaete chrysosporium* en yoğun çalışılan türdür. Odun dokusundaki lignin polimerini parçalayabilen *Phanerochaete chrysosporium*'un, çeşitli kanserojen bileşiklerin yıkımını da gerçekleştirdiği kanıtlanmıştır [85]. Bu türün kullanıldığı bir çalışmada, kalıcı organik kirleticiler arasında sayılan PCB'lerin, yüksek giderim verimi ile tamamen karbondoksit ve klor iyonlara kadar mineralize edildiği gösterilmiştir. Üstelik parçalanmış PCB'ler, klor atomunun yerleşim yeri ve klor sayısı açısından farklılık arz etmektedir. PCB türlerinin geniş bir yelpazesine etkili olması, türün ürettiği enzimlerin düşük bir substrat özgünlüğüne sahip olduğunu göstermektedir. Mineralizasyon yolağının takip edilebilmesi için deneylerde işaretli PCB'ler kullanılmıştır. Sonuçta elde edilen işaretli karbondioksitler, bir ve üç arası klor atomu içeren PCB türleri için %11- 16 oranında bir giderimin başarıldığını, dört ve altı klor atomu içeren türler için ise giderimin daha düşük seviyede (%0,4- 1,45) kaldığını göstermiştir [86].

Her mikroorganizmada olduğu gibi, çevresel şartlar, substratlar, öncül maddeler, stres koşulları gibi durumlarda, fungusların da metabolizma faaliyetleri indüklenbilir ya da baskılanabilir. Örneğin kısıtlı besin koşulları, en hızlı cevap oluşturan streslerden biridir. Bu gibi durumlarda, fungusun besine ulaşmak için ürettiği lignin degradasyon enzimlerinin sentezi indüklenir. Beyaz çürükçül funguslarla, Aroclor 1254 ve 1242 karışımları için detoksifikasyon çalışılan bir yayın daha mevcuttur. Bu çalışmada, *Trametes versicolor*'dan elde edilen fenoloksidaz (lakkaz ve tirozinaz) enzimleri ile *Phanerochaete chrysosporium* fungusundan elde edilen peroksidaz (mangan peroksidaz ve lignin peroksidaz) enzimleri, Aroclor gideriminde denenmiş ve en az %60 ve en fazla %72'lik bir giderim başarısı sağlanmıştır [88]. Söz edilen çalışmalardan görüldüğü üzere, beyaz çürükçül fungusların, kararlı aromatik halka yapılarına sahip olan bileşikleri degrade edebildiği ispatlanmıştır. Bu çalışmada biyokütlesi kullanılan, *Lentinus* cinsine ait literatürde çeşitli giderim çalışmaları da mevcuttur. Bunlardan biri, *Trametes versicolor* ve *Phanerochaete chrysosporium* ile birlikte, *Lentinus edodes* türünün de kullanıldığı bir PCB giderimi çalışmasıdır. Bu çalışmada, degradasyon ortamına, iyonik bir yüzey aktif olan Tween 80 eklenerek, çok yüksek derişimlerdeki PCB degradasyonu araştırılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, *Trametes versicolor* % 29- 70, *Phanerochaete chrysosporium* % 34- 73 ve *Lentinus edodes* % 0- 33 arasında giderim sağlamıştır [89].

Lentinus cinsinin kullanıldığı bir diğer çalışmada, *Lentinus tigrinus* türü fungus tercih edilmiştir ve Aroclor 1260 içeren toprak örneklerinin biyoremediasyonu

gerçekleştirilmiştir. Toprak yapısından hedef moleküllerin ayrılmasında yardımcı bir ajan olarak, soya yağı ilavesi yapılmıştır. *Lentinus tigrinus* mısır bitkisine tutuklanarak uygulanmıştır ve giderimin diğer ıslah çalışmalarına göre, daha yüksek sonuçlar verdiği görülmüştür [90]. *Lentinus sajor-caju* misellerine, sulu çözeltilerden Cr (VI) biyosorpsiyonunu çalışan Bayramoğlu ve diğerleri, dört farklı ön işlem uygulayarak biokütleyi modifiye etmişlerdir. İşlem görmemiş aktif misel, ısıtılarak inaktive edilmiş misel, asit ile inaktive edilmiş misel ve baz uygulanarak inaktive edilmiş miseller ile maksimum giderim, sırasıyla 0,363, 0,613, 0,478 ve 0,513 mmol Cr⁶⁺ /gram kuru ağırlık olarak elde etmişlerdir [78]. *Lentinus sajor-caju* ile uranyum giderimi de çalışılmıştır. Bayramoğlu ve ark., 2006 yılında yaptıkları çalışmada; doğal, ısıtılarak inaktive edilmiş ve alkali uygulanmış fungal biyokütle ile, sulu çözeltiden uranyum iyonlarının giderimini çalışmışlar ve sırasıyla biyosorpsiyon kapasitelerini 268, 342 ve 378 mg/g kuru ağırlık olarak bulmuşlardır [91]. Sözü edilen çalışmalarda, *Lentinus* ve diğer beyaz çürükçül fungus türlerinin, çeşitli kirleticilerin gideriminde, yüksek verimle kullanılabilme potansiyelinin bulunduğu anlaşılmaktadır. Özellikle boyar madde giderimine yönelik olarak, beyaz çürükçül funguslarla yapılan bazı önemli çalışmalar, aşağıda listelenmiştir;

Kirby ve diğerleri, tekstil endüstrisi atık sularının beyaz çürükçül funguslar tarafından iyileştirilmesini amaçlayan çalışmasında, *Phanerochaete chrysosporium* ve *Coriolus versicolor* mikroorganizmalarını kullanarak 8 farklı tekstil boyasının renk giderimi araştırmışlardır. Yapılan araştırmanın sonucunda renk giderimine *Phanerochaete chrysosporium* 'un %99, *Coriolus versicolor* 'ın ise %98 oranlarında katkı sağladığı ve başarılı olduğu verisini elde etmişlerdir [71].

Swamy ve Ramsay, yaptıkları çalışmada beş adet beyaz çürükçül fungus (*P. chrysosporium* BKM-F- 1767, *T. versicolor* ATCC 20869, *Trametes hirsuta*, *Bjerkandera* sp. BOS55, *Pleurotus ostreatus*) kullanmış ve Amaranth, Remazol Black B, Remazol Orange, Remazol Brilliant Blue, Reactive Blue ve Tropaeolin O boyaalarının dekolorizasyonu için çalışmışlardır. Yapılan araştırmaların sonucunda *Bjerkandera* sp. BOS55 ve *Trametes versicolor*'un agar plaklarında büyük ölçüde dekolorizasyon gerçekleştirdiklerini ve *Phanerochaete chrysosporium* misellerinin de diğer ikisi kadar renk gideriminde etkili olduğunu belirtmişlerdir [59].

Kapdan ve diğerleri, günümüzde *Trametes versicolor* olarak bilinen beyaz çürükçül fungus olan *Coriolus versicolor* mikroorganizmasını kullanarak Everzol Turkuaz Blue G boyasının atık sudan dekolorizasyonunu araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmalarda, pH, karbon ve azot kaynağı, TOC/N oranı ve atık su konsantrasyonu gibi çevresel parametrelerin renk giderimine etkisini araştırarak, sonucunda test edilen diğer karbon ve azot kaynakları arasından glikoz ve ürenin dekolorizasyon performansının yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. 700-1200 mg/L boya konsantrasyonu varlığında %80'e kadar renk gideriminin gerçekleştiğini belirtmişlerdir [72].

Fu ve Viraraghavan, yaptıkları araştırmada atık sulardan renk gideriminde *Aspergillus niger* 'in ölü formunu kullanarak Congo Red boyasının giderimini çalışmışlar ve sıvı ortamda başarılı sonuçlar almışlardır. Renk giderimine en uygun pH'ın 6,0 olduğunu ve NaHCO₃ kullanılarak yapılan ön işlem uygulamasıyla renk gideriminin daha etkili olduğunu gözlemlemişlerdir [57].

Libra ve diğerleri, *Trametes versicolor* aracılığıyla Reaktif Black 5 tekstil boyasının atık sulardan renk giderimini çevresel parametrelere bağlı olarak çalışmış, sonuç olarak renk giderim oranının kullanılan fungal biyokütleyle bağlı olduğunu rapor etmişlerdir [73].

Mazmancı ve diğerleri, Drimaren X3LR boyar maddesinin giderimini araştırmak amacıyla tutuklanmış beyaz çürükçül *Funalia trogii* ve *Pleurotus sajor-caju* funguslarının etkinliğini araştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda *Funalia trogii*'nin renk giderimindeki etkinliğinin *Pleurotus sajor-caju*'dan daha yüksek olduğu belirlenmiştir [74].

Mazmancı, yaptığı doktora tezi çalışmasında Remazol Black B (Reactive Black 5) boyar maddesinin *Funalia trogii* fungusu aracılığıyla dekolorizasyonunu araştırmıştır. Çalışmasında, pH, sıcaklık, karbon ve azot kaynağı gibi parametreleri değiştirmiş ve sonucunda boyar maddenin gideriminde 30°C sıcaklığın, pH 4,78'in ve ortama herhangi bir karbon ve azot kaynağı eklenmemiş halinin renk gideriminde en uygun koşullar olduğunu rapor etmiştir [46].

Tarım, yüksek lisans tez çalışmasında, Reactive Orange 14 ve Reactive Blue 2 tekstil boyalarının *Trametes trogii* kullanılarak atık sulardan fiziksel ve kimyasal birtakım işlemler uygulayarak biyosorpsiyonunu araştırmıştır. Araştırma sonunda Reactive Orange 14'ün fungal biyokütleyle ilgisinin ısı>doğal>alkol>asit şeklinde ve Reactive Black 2'nin

fungus biokütleye ilgisinin ise ısı>alkol>doğal>asit şeklinde olduğunu rapor etmiştir. Her iki boyar madde için en yüksek biyosorpsiyon kapasitesine ısıl işleme maruz bırakılan fungus biyokütle ile gerçekleştiğini belirtmiştir [76].

Nilsson ve diğerleri, kesikli ve sürekli reaktörlerde Reactive Blue 4 ve Reactive Red 2 boyalarının giderimini ortama beyaz çürükçül fungus aşılması yaparak çalışmışlardır. Ortama karbon kaynağı olarak glikoz ilave edildiğinde *Trametes versicolor*'un her iki boyayı da giderdiğini rapor etmişlerdir [75].

Erkurt, yüksek lisans tez çalışmasında, Remazol Brilliant Blue R ve Drimaren Blue CL-BR'nin *Pleurotus ostreatus*, *Coriolus versicolor* ve *Funalia trogii* beyaz çürükçül fungusları ile renk giderimlerini araştırmıştır. En fazla renk giderimini *Funalia trogii* ile elde ettiğini, en düşük renk giderimini ise *Pleurotus ostreatus* ile gerçekleştiğini belirtmiştir [1].

Bayramoğlu ve diğerleri, araştırmalarında Reactive Blue 4 boyar maddesinin giderimi için *Phanerochaete chrysosporium* fungusu ile kesikli ve sürekli sistemlerde çalışmış olup ısıl ve asit işlemi görmüş fungus biyokütlesinin renk gideriminde daha etkili olduğunu rapor etmişlerdir [77].

Arıca ve Bayramoğlu, beyaz çürükçül fungus olan *Lentinus sajor-caju* biyokütlesini kullanarak sıvı ortamdan Reactive Red 120 boyar maddesinin giderimi çalışmasını yapmışlardır. Çalışmalarında biyokütleye fiziksel ve kimyasal işlemler uygulayarak biyosorpsiyona etkileri belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, fiziksel ve kimyasal yüzey modifikasyonlarının kullanılması renk giderimi etkisini maksimize etmiş ve boya giderim kapasitesi ısıl işlem>asitle işlem>doğal>bazal işlem görmüş olarak rapor edilmiştir [78].

Cing Yıldırım, yaptığı doktora tezi çalışmasında, *Trametes versicolor*, *Funalia trogii* ve *Phanerochaete chrysosporium* funguslarını kullanarak Reactive Red 141, Reactive Red 120, Reactive Blue 171, Reactive Blue 198, Reactive Green 19 ve Acid Blue 74 boyar maddelerinin renk giderimini farklı parametreler üzerinden araştırmıştır. Sonuç olarak glukoz ve melas ilavesinin *T.versicolor*'da renk giderimine olumlu etki yaptığını görmüştür. Acid Blue 74'ün çok kısa bir zamanda %85 oranda dekolorize olduğunu

belirtmiştir. *T.versicolor* ve *F.trogii* funguslarının R.Blue 171, R.Blue 198, R.Green 19 ve Acid Blue 74 boyalarını etkili bir şekilde uzaklaştırdığını rapor etmiştir [54].

Revankar ve Lele, beyaz çürükçül fungus olan *Gonoderma* sp.'yi 100ppm konsantrasyondaki Amaranth, Reactive Orange 16, Cibacron Brilliant Red 3B-A, Acid Red 106, Orange II ve Remozal Brilliant Blue R boyar maddelerinin gideriminde kullanmıştır. Araştırmalar sonucunda *Gonoderma* fungusunun boya dekolorizasyon oranının geniş çaplı araştırmaları yapılmış olan *T.versicolor* ve *P.chrysosporium*'a göre daha yüksek olduğunu rapor etmiş ve nişasta ve maya özünün Amaranth boyasının renksizleştirilmesi için en iyi karbon ve azot kaynağı olduğunu, %96'lık bir renk giderimi elde ettiğini bildirmiştir [79].

Arıca ve Bayramoğlu, yaptıkları bir çalışmada, doğal ve ısıtılmış işlem görmüş *T.versicolor* yardımıyla kesikli sistemde Direct Blue 1 ve Direct Red 128'nin giderilmesini araştırmışlardır. Kesikli sistemde her iki boya çeşidi için biyosorpsiyon denge zamanı 6 saat olarak bulunmuştur. Renk giderimlerinin maksimum olduğu pH değerleri Direct Blue 1 için pH 6,0; Direct Red 128 için ise pH 3,0 olarak belirlenmiş ve fungal biyokütleyle yapılan fiziksel yüzey modifikasyonunda her iki boya için de biyosorpsiyon kapasitesinin doğal biyokütleyle göre arttığı rapor edilmiştir [80].

Cebecioğlu, yaptığı tez çalışmasında, Reactive Blue 2 ve Reactive Orange 14 boyar maddelerinin renk giderimini canlı ve ısıtılmış işlem görmüş(ölü) fungal preparatlar aracılığıyla araştırmıştır. Araştırma sonucunda her iki boya ve her iki fungus preparasyonu için optimum pH'ın pH 2,0 olduğunu belirtmiş ve biyosorpsiyon kapasiteleri karşılaştırıldığında her iki boya için de canlı fungusun ısıtılmış işlem görmüş fungustan daha yüksek biyosorpsiyon kapasitesine sahip olduğunu rapor etmiştir [23].

Boya giderimi çalışılan bir başka araştırma, Maurya ve diğerleri tarafından yapılmıştır. Yapılan çalışmada, inaktif makro funguslardan elde edilmiş biyosorbent kullanılmıştır. *Fomes fomentarius* ve *Phellinus igniarius* biyokütleleri ile, Methylene Blue ve Rhodamine B giderimi gerçekleştirilmiştir. Methylene Blue'nun Rhodamine B'den daha fazla adsorbe olduğu belirlenmiştir [92].

Bir diğer beyaz çürükçül funguslarla boya giderimi Eichlerova ve diğerleri tarafından gerçekleştirilmiştir. Funguslar, *Dichomitus squalens*, *Ischnoderma resinosum* ve

Pleurpotus calyptratus türleridir ve giderimi yapılan boyalar, Orange G ve Remazol Brilliant Blue R(RBBR) boyasıdır. *I. resinosum* ve *P. calyptrastus* ile Orange G giderimi için lakkaz, RBBR giderimi için mangan peroksidaz (MnP) enziminin etkili olduğunu, *D.squalens* gideriminde ise lakkaz ve MnP enzimlerinin ortak olarak etkili olduğunu rapor etmişlerdir [93].

Beyaz çürükçül funguslar olan *Dichomitus squalens*, *Daedalea flava*, *Irpex flavus* ve *Phanerochaete chrysosporium*'un sekiz boyanın (Coracryl Black, Coracryl Pink, Coracryl Violet, Coracryl Red, Reactive Yellow, Reactive Orange, Reactive Red, Rathidol Scarlet) renk giderimini çalışan Chander ve Arora, ekstraselüler enzim özütleri olarak, kültürlerin yaşının giderimde etkili olduğunu ispatlamışlardır. *Dichomitus squalens*'in yalnızca 2 saat içerisinde Coracryl Pink boyasını %100 verimle giderdiğini belirtmişlerdir [94].



4. MATERYAL VE METOD

4.1. Materyal

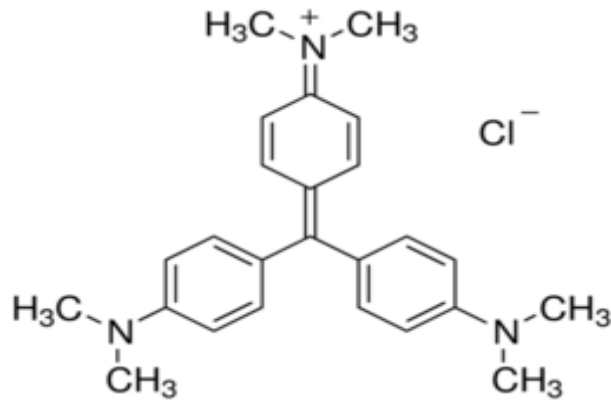
4.1.1. Boyar maddeler

Yapılan tez çalışması kapsamında, Crystal Violet (bazik yapılı) [8] ve Reactive Green 19 (asidik yapılı) [110] olmak üzere iki farklı tekstil boyar maddesi kullanılmıştır.

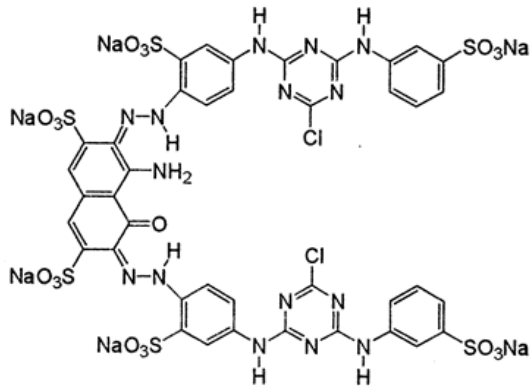
Boyar maddelere ait karakteristik özellikler Çizelge 4.1’de verilmiş olup, bu boyar maddelere ait kimyasal yapılar Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Crystal Violet ve Reactive Green 19’un karakteristik özellikleri

Boyar madde	Crystal Violet	Reactive Green 19
Moleküler Ağırlığı	407.98 g/mol	1418.94 g/mol
Color Index No	C.I.42555	C.I.205075
Max. Dalga Boyu	590 nm	620 nm
Kimyasal/Boya Sınıfı	Trifenilmetan	Azo
Molekül Formülü	$C_{25}H_{30}ClN_3$	$C_{40}H_{23}Cl_2N_{15}Na_6O_{19}S_6$



Şekil 4.1. Crystal Violet’in kimyasal yapısı



Şekil 4.2. Reactive Green 19'un kimyasal yapısı

4.1.2. Fungal biyokütle

Crystal Violet ve Reactive Green 19 boyalarının, sulu çözeltilerinden, etkili bir şekilde renk giderimini amaçlayan bu çalışmada, fungal biyokütle olarak, bir beyaz çürükçül fungus olan *Lentinus concinnus* mikroorganizmasının, 7 günlük aktif kültürü kullanılmıştır. Kültür kodu MAFF 430305 olan, *Lentinus concinnus* fungusunun, misel örneği, Japonya Tarım ve Balıkçılık Bakanlığı'na bağlı olarak hizmet veren, Ulusal Agrobiyolojik Bilimler Enstitüsü'nden (National Institute of Agrobiological Sciences- NIAS) temin edilmiştir. Çizelge 4.2'de *Lentinus concinnus* 'a ait taksonomik sınıflandırma verilmiştir.

Çizelge 4.2. *Lentinus concinnus* fungusunun taksonomik sınıflandırılması [100]

<i>Lentinus concinnus</i> Taksonomik Sınıflandırılması	
Üst Alem (Domain)	<i>Eukaryota</i>
Alem (Kingdom)	<i>Fungi</i>
Alt Alem (Subkingdom)	<i>Dikarya</i>
Şube (Phylum)	<i>Basidiomycota</i>
Alt Şube (Subphylum)	<i>Agaricomycotina</i>
Sınıf (Class)	<i>Basidiomycetes</i>
Alt Sınıf (Subclass)	<i>Agaricomycetidae</i>
Takım (Order)	<i>Polyporales</i>
Aile (Family)	<i>Polyporaceae</i>
Cins (Genus)	<i>Lentinus</i>
Tür adı (Species)	<i>Lentinus concinnus</i>

4.1.3. Besiyeri ve çözeltiler

Fungus izolatının saklanması için Agar içeren Sabouraud Dekstroz yatık besi ortamı, bu izolatlardan *L. concinnus* beyaz çürükçül fungusunun üretilip geliştirilmesi için ise Agar içermeyen Sabouraud Dekstroz sıvı besi ortamı kullanılmıştır. Sıvı besi ortamlarının hazırlık aşamasında 250 mL hacimli erlenler kullanılmış, çözelti haline getirilmiş besi ortamları bu erlenlere yaklaşık 100 mL olacak şekilde aktararak erlenlerin 1.5 atm basınç altında 121 °C’de 15 dakika otoklavlanarak steril hale gelmeleri sağlanmıştır. Sabouraud Dekstroz besi ortamlarının, içerik ve bileşimleri aşağıda sunulmuştur.

Sabouraud Dekstroz Besi ortamı: Peptone (10 g/L), D(+) Glucose (20 g/L) ve Agar (15 g/L).

Çözeltiler

Gerçekleştirilen çalışmada boya çözeltileri ile birlikte dekolorizasyonun gerçekleştirileceği %2 glukoz içeriğine sahip, %0,9 oranında NaCl (sodyum klorür) ile fizyolojik hale getirilmiş pH 6,0 Fosfat Tamponu (50 mM) kullanılmıştır. Hazırlanan tampon çözeltileri glukoz içerdiğinden, sterilizasyon sıcaklığı düşürülerek, 105°C’de 30 dakika süre ile otoklavda steril edilmiştir. Boya çözeltileri hazırlanırken 100 ppm stoklar halinde hazırlanmış, daha sonra her bir boyanın molar cinsinden karşılıkları hesaplanmıştır.

pH 6 Fosfat tamponu (50 mM): 0,1 M Na₂HPO₄ (30 mL), 0,1 M NaH₂PO₄ (220 mL) ve damıtık su (250 mL)

4.2. Metod

4.2.1. Fungus üretimi ve gelişimi

Sabouraud Dekstroz Agar yatık katı besi ortamında +4°C’de saklama koşullarına sahip *L.concinnus* izolatı, aktif biyokütle elde etmek amacıyla önceden steril edilmiş 250 mL erlenler içerisindeki 100 mL’lik Saboroud Dekstroz Broth sıvı besi ortamına öze yardımıyla alınan miseller inoküle edilerek 30°C ve 150 rpm çalkalamalı ortamda 7 günlük bir gelişim süresine tabi tutulmuştur.

4.2.2. Biyosorpsiyon deneyleri

Adsorpsiyon çalışmaları kesikli sistemle yürütülmüştür. 50 mL'lik erlenler içerisine toplam hacim 20 mL olacak şekilde boya çözeltisi ve glukoz içeren fizyolojik pH 6,0 fosfat tampon çözeltisi belirli oranlarda birleştirilmiş ve spektrofotometrik okumaları gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen *L. concinnus* biyokütleleri 7 günün sonunda filtre kağıdı ile süzölmüştür. Süzölerek sıvı ortamından ayrılan fungal biyokütleler hassas terazi yardımı ile her birinin yaş ağırlığı 0,5 g olacak şekilde parçalara ayrılmış ve adsorpsiyonun gerçekleştirileceği boya-tampon karışımına inoküle edilerek adsorpsiyon deneyleri oda sıcaklığında (25°C) 100 rpm çalkalamalı ortamda başlatılmıştır. Spektrofotometrik okumalar her bir boyanın önceden belirlenmiş dalga boyları ile gerçekleştirilmiştir. Bu dalga boyları Crystal Violet için 590 nm, Reactive Green 19 için ise 620 nm'dir. Spektrofotometrik okumalar adsorpsiyon sabitlenene kadar her 30 dakikada bir tekrarlanmıştır.

4.2.3. Biyosorpsiyona boya konsantrasyonunun etkisi

Yapılan çalışmalarda çözeltinin içerisindeki boya konsantrasyonunun fungal biyokütlenin gerçekleştirdiği adsorpsiyona etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmalarda her bir boyar madde için 5 farklı derişimde (2,5 µM; 5 µM; 10 µM; 15 µM; 20 µM) 20 mL'lik çözeltileri hazırlanarak spektrofotometrede maksimum absorbans yaptıkları dalga boylarında okumaları yapılmıştır. Yaş ağırlığı 0,5 g olan *L. concinnus* biyokütleleri her bir derişime inoküle edilmiş ve bir seri 25°C'de, bir seri de 35°C'de 100 rpm çalkalamalı sistemde 30 dakikalık aralıklarla spektrofotometrik absorbans değerleri okunmuştur.

4.2.4. Biyosorpsiyona pH'ın etkisi

Farklı pH değerlerinin adsorpsiyona etkilerinin araştırılması amacıyla başlangıçta hazırlanan %2 glukoz içeren fizyolojik tampon çözeltisi 0,1 M NaOH ve seyreltik HCl çözeltileri yardımı ile 5 farklı pH değerine ayarlanmıştır. Çalışmada etkisi araştırılan pH değerleri; pH 4,0; pH 5,0; pH 6,0; pH 7,0 ve pH 8,0'dır. Tampon çözeltinin pH değerleri ayarlandıktan sonra 10µM'lık 20mL boya-tampon karışımları hazırlanarak absorbanslarına bakılmıştır. Aktif fungus biyokütlesi yaş ağırlığı 0,5 g olacak şekilde tartılmış ve 50 mL erlenler içinde bulunan boya- tampon karışımına inoküle edilmiştir. 25°C'de 100 rpm

çalkalamalı sistemde adsorpsiyon başlatılmıştır. Absorbans değerleri adsorpsiyon sabitlenene kadar her 30 dakikada bir alınmıştır.

4.2.5. Biyosorpsiyona sıcaklığın etkisi

Sıcaklığın adsorpsiyona etkisinin araştırılması kapsamında, yapılan adsorpsiyonlar her bir boyar madde için, 25°C ve 35°C’de derişim taramaları şeklinde gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan 10µM’lık 20mL boya-tampon karışımlarının başlangıç absorbansları okunduktan sonra 0,5 g yaş ağırlıklı fungus biyokütlesi inoküle edilerek 100 rpm çalkalamalı sistemde adsorpsiyon çalışması başlatılmış ve her 30 dakikada bir spektrofotometrik absorbans okumaları gerçekleştirilmiştir.

4.2.6. Tekrar kullanılabilirlik

Fungus biyokütlelerinin boyar madde adsorpsiyonunda birden fazla kez kullanılabilir olup olmadığının araştırılması doğrultusunda çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda 10 µM’lık 20 mL boya-tampon karışımlarını absorbe etmiş olan 0,5 g yaş ağırlıklı biyokütle taze hazırlanan ve başlangıç absorbansı alınmış olan 10 µM’lık 20 mL yeni boya-tampon karışımına aktararak 30 dakikada bir alınan spektrofotometrik ölçümlerine devam edilmiştir. Biyokütlenin adsorpsiyonu sabitlendiği durumda işlem tekrarlanmıştır.

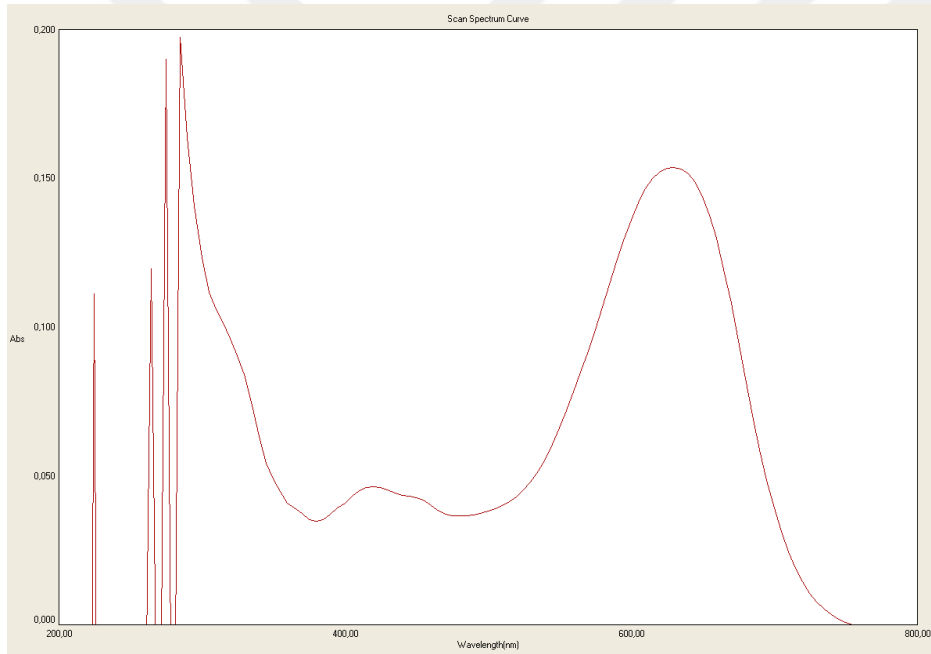


5. BULGULAR

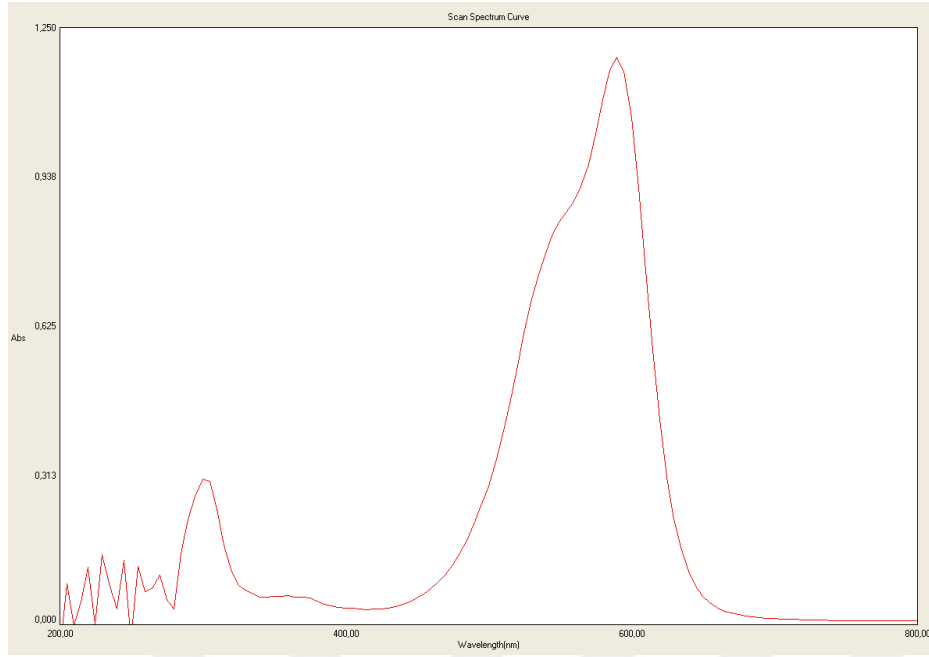
5.1. Spektrofotometrik Çalışmalar

5.1.1. Dalga boyu taraması

Araştırmada kullanılan boyar maddelerin dalga boyu taramaları sonucunda maksimum absorbans değerleri Crystal Violet için 590 nm ve Reactive Green 19 için 620 nm olarak saptanması nedeniyle spektrofotometrik çalışmalarda bu dalga boyları kullanıldı. İlgili boyalara ait spektrumlar Şekil 5.1. ve Şekil 5.2.'de verilmiştir.



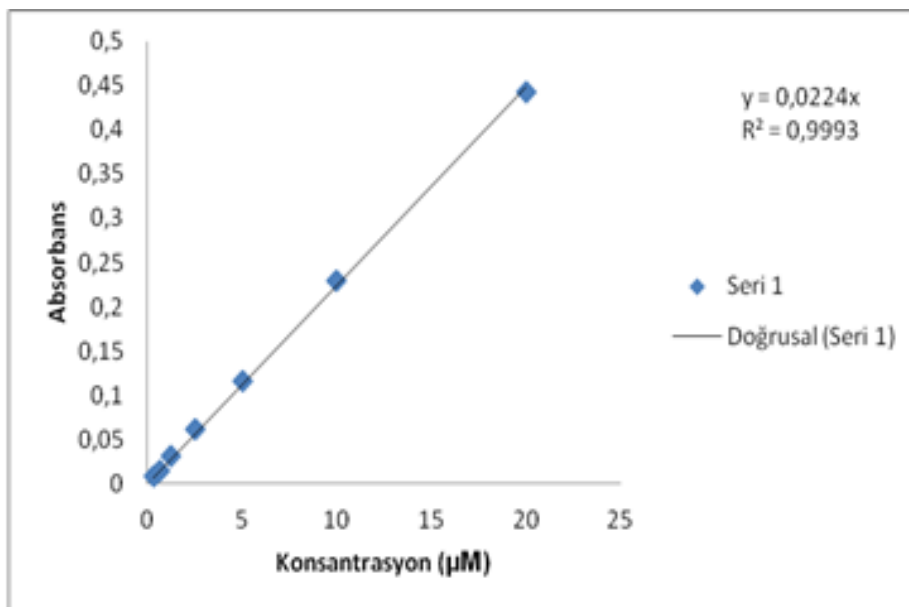
Şekil 5.1. Reactive Green 19'a ait spektrum



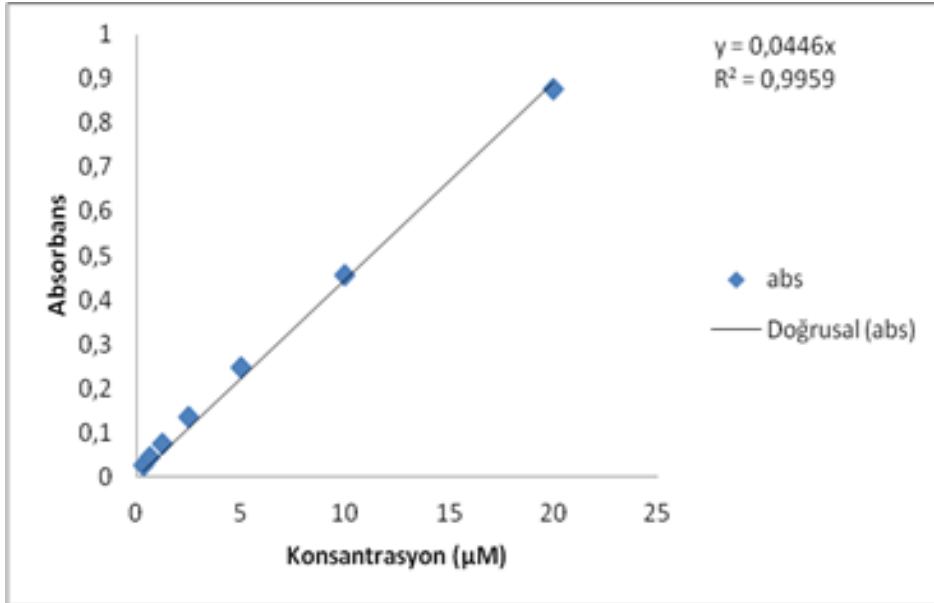
Şekil 5.2. Crystal Violet' e ait spektrum

5.1.2. Boyar maddelerin kalibrasyonları

Boya gideriminde örnek miktarlarının belirlenebilmesi için hazırlanan Reactive Green 19 ve Crystal Violet boyar maddelerinin, boya konsantrasyonuna karşı okunan absorbans değerlerini yansıtan, kalibrasyon grafikleri, sırasıyla Şekil 5.3. ve Şekil 5.4.'de görülmektedir.



Şekil 5.3. Reactive Green 19'un kalibrasyon grafiği

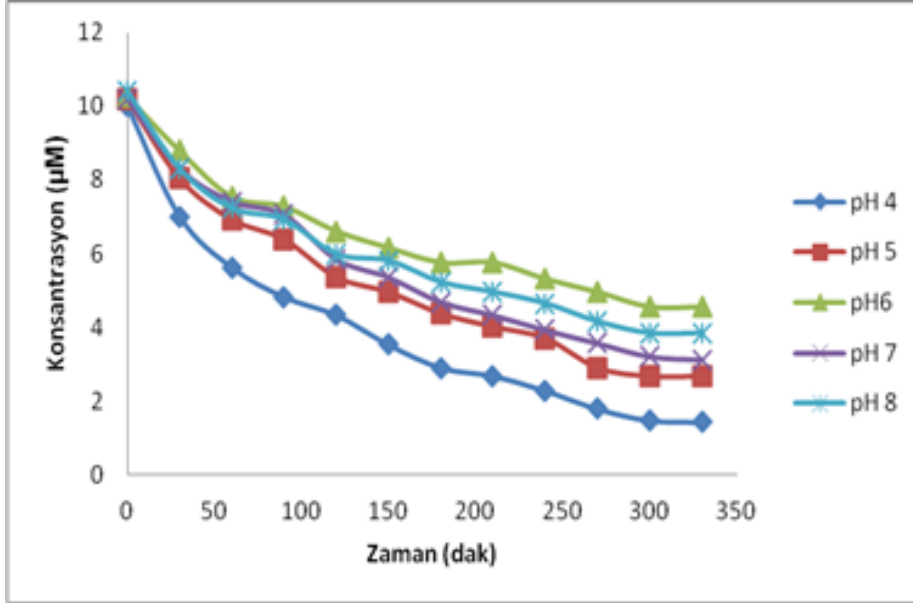


Şekil 5.4. Crystal Violet'in kalibrasyon grafiği

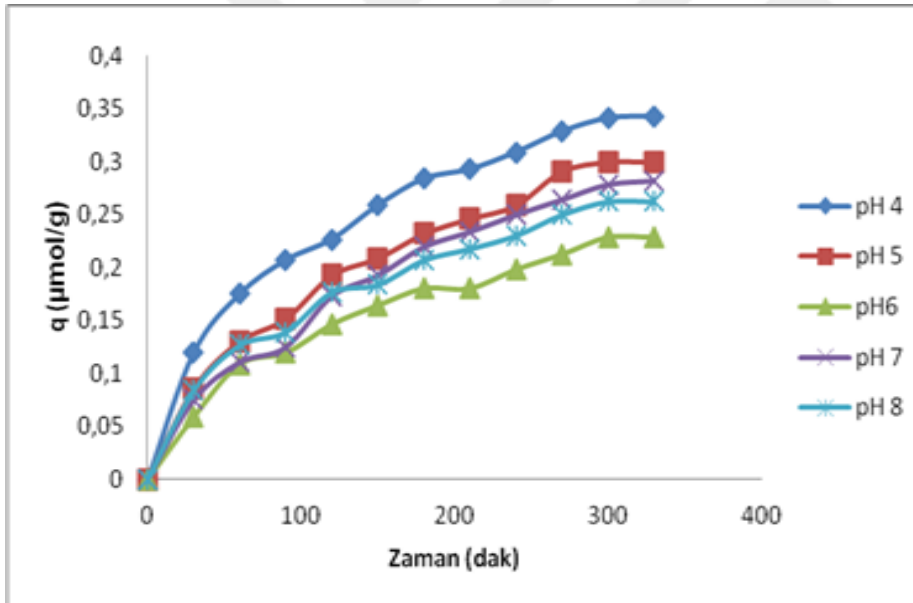
Şekil 5.3.'de verilen grafikte görüldüğü üzere standardın doğruluğunu gösteren R^2 değeri 0,9993 olup grafikten elde edilen denklem $y=0,0224x$ 'tir. Deneylerin sonunda hesaplar Reactive Green 19 için bu denklemden faydalanılarak yapılmıştır. Şekil 5.4.'deki grafiğe göre standardın doğruluğunu gösteren R^2 değeri 0,9959 ve grafikten elde edilen denklem ise $y=0,0446x$ 'tir. Hesaplamalar Crystal Violet boyar maddesi için bu denklemden faydalanılarak yapılmıştır.

5.1.3. pH'ın etkisi

Biyosorpsiyon, yüzey etkileşimine bağlı olarak meydana geldiği için ortamın pH'sı, organizma yüzeyindeki kimyasal grupları etkileyen önemli parametrelerden biridir. Çalışmada kullanılan Reactive Green 19 ve Crystal Violet boya maddelerinin, fungal biyokütle olan *L. concinnus* üzerine biyosorpsiyonu, pH 4,0- 8,0 aralığında ve oda sıcaklığında (25°C) araştırılmıştır. Elde edilen absorbans değerleri boyanın kalibrasyon eğrisindeki eğimine bölünerek t anındaki boya konsantrasyonu (C_t) hesaplanmıştır. Hesaplamalara göre zamana karşı konsantrasyon değişimini gösteren grafikler Reactive Green 19 ve Crystal Violet boyar maddeleri için sırasıyla Şekil 5.5. ve Şekil 5.7.'de verilmiştir. Diğer yandan $q=(C_0-C_t)V_t/m$ denklemi kullanılarak fungal biyokütlenin biyosorpsiyon kapasitesi hesaplanmış ve boyar maddeler için sırasıyla Şekil 5.6 ve Şekil 5.8'de gösterilmektedir.



Şekil 5.5. Reactive Green 19'un farklı pH değerlerinde zamana bağlı konsantrasyon değişimi

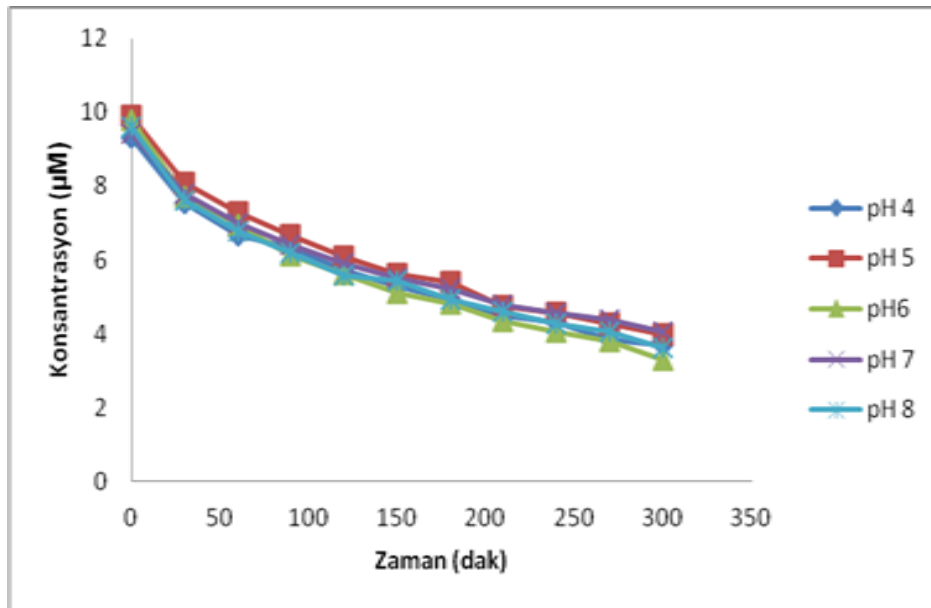


Şekil 5.6. Reactive Green 19'a ait farklı pH değerlerinde zamana bağlı biyosorpsiyon kapasitesi grafiği

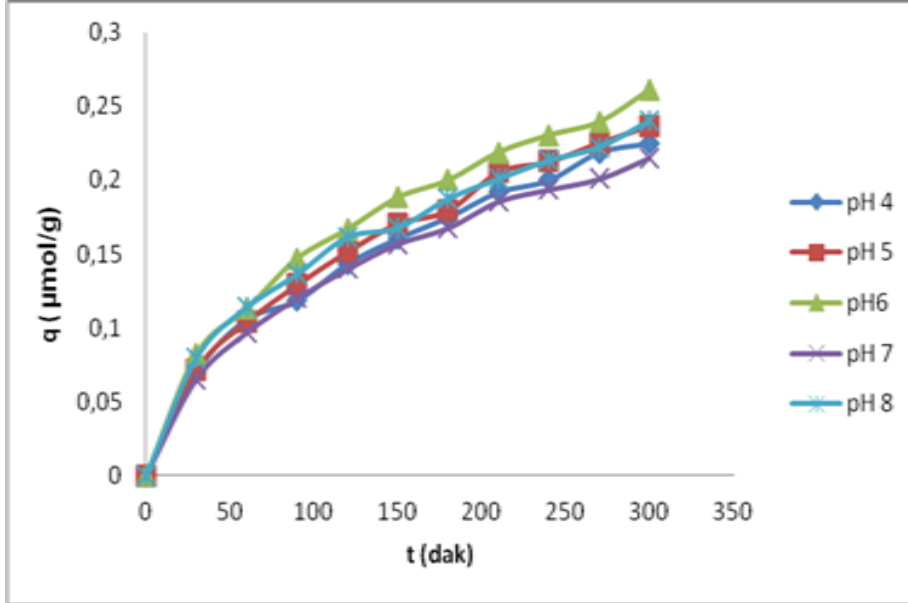
Reactive Green 19'a ait verilen grafikte (Şekil 5.5) görüldüğü üzere orbital çalkalamalı kesikli sistemde başlangıç boya konsantrasyonu, sıcaklık, mikroorganizmanın miktarı sabit tutularak sadece ortam pH'sını değiştirilmesi ile fungal biyokütlenin adsorpladığı boya miktarı da değişmektedir. Reactive Green 19 boyar maddesi pH 4,0'de yaklaşık %85'lik biyosorpsiyon ile oldukça verimli bir renk giderimine sahip olmuştur. pH 5,0; 6,0; 7,0 ve 8,0 değerleri için dekolorizasyon yüzdeleri sırası ile %73, %55, %68, %63 olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.5.'de verilen grafikte görüldüğü üzere, farklı pH değerlerinde

zamana bağılı olarak, ortamda kalan boya konsantrasyonu, yaklaşık 300 dakika içinde minimum değerlerine ulaşmıştır.

Şekil 5.6'daki grafikten izlendiği üzere, hesaplanan biyosorpsiyon kapasitelerine göre, pH 4,0 ortamında *L. concinnus*'un biyosorpsiyon kapasitesi en yüksek, pH 6,0 sıvı ortamında ise en düşük olarak belirlenmiştir. En yüksekten itibaren, biyosorpsiyon kapasiteleri, pH 4,0 (0,343 $\mu\text{mol/g}$) > pH 5,0 (0,300 $\mu\text{mol/g}$) > pH 7,0 (0,282 $\mu\text{mol/g}$) > pH 8,0 (0,263 $\mu\text{mol/g}$) > pH 6,0 (0,229 $\mu\text{mol/g}$) olarak sıralanmaktadır.



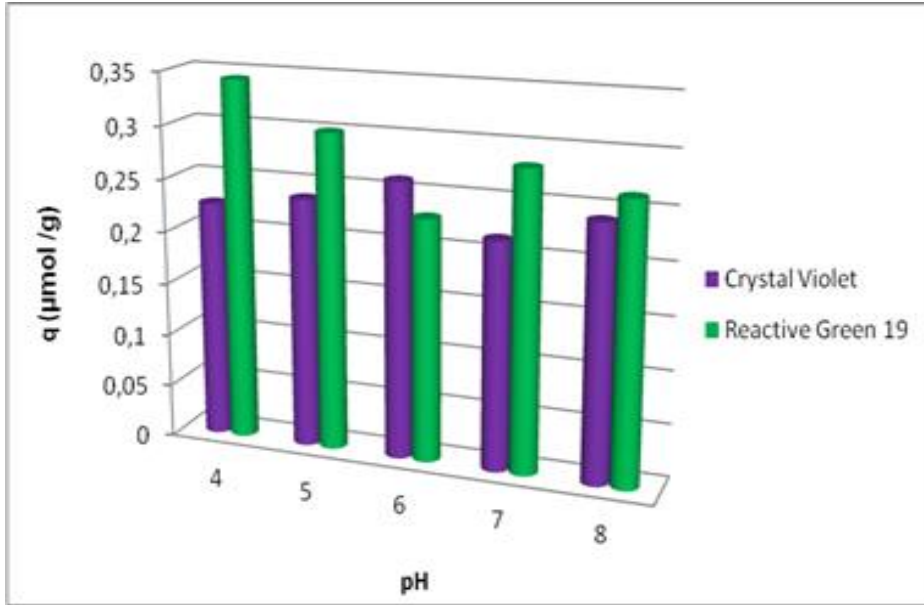
Şekil 5.7. Crystal Violet'in farklı pH değerlerinde zamana bağılı konsantrasyon değişimi



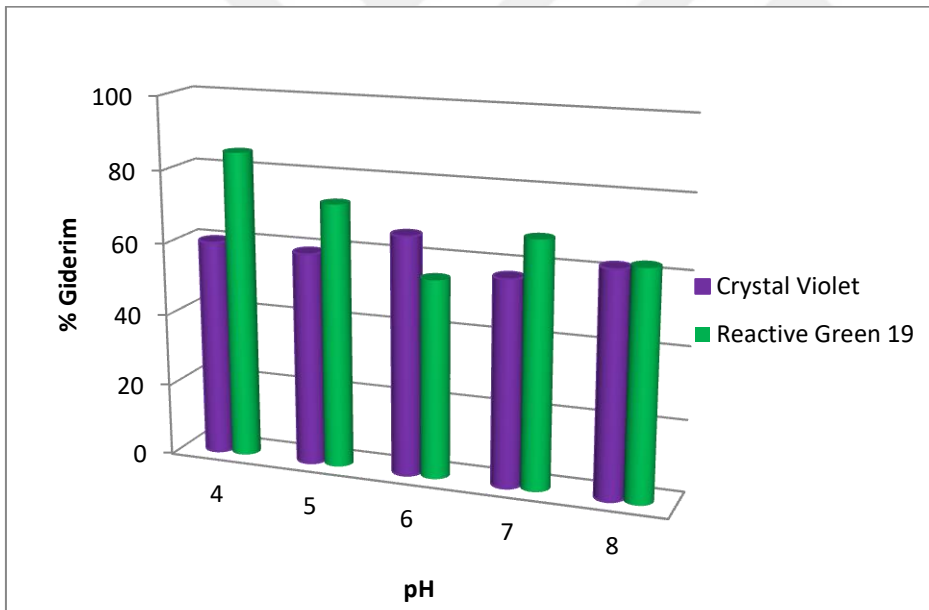
Şekil 5.8. Crystal Violet'e ait farklı pH değerlerinde zamana bağlı biyosorpsiyon kapasitesi grafiği

Elde edilen spektrofotometrik değerler ile hesaplanan C_t (t anındaki konsantrasyon) verileriyle oluşturulan Crystal Violet'in pH taraması sonuçları grafiğe aktararak Şekil 5.7.'de verilmiştir. Yüzde olarak renk giderimleri hesaplanmıştır. Giderim yüzdelerinin, araştırılan tüm pH değerleri için, birbirlerine çok yakın olduğu gözlenmiştir (%66- 57). En yüksek renk giderimi yüzdesi pH 6,0 ortamında yaklaşık %66 olarak belirlenmiştir. Diğer pH değerleri için hesaplanan yüzde dekolorizasyon sonuçları şu şekildedir: pH 4,0 için %60; pH 5,0 için %59; pH 7,0 için %57 ve pH 8,0 için %62.

Şekil 5.8.'de gösterildiği üzere Crystal Violet boyasının adsorpsiyon kapasiteleri ele alındığında pH 6,0 ortamında *L.concinnus* beyaz çürükçül fungusunun adsorpsiyon kapasitesinin en yüksek olduğu belirlenmiştir. pH 7,0'da ise en düşük kapasiteye sahip olduğu görülmüştür. Adsorpsiyon kapasitelerini en büyükten en küçüğe doğru bir sıraya koyduğumuzda ise şu sonucu elde etmekteyiz: pH 6,0 (0,261 µmol/g) > pH 8,0 (0,240 µmol/g) > pH 5,0 (0,237 µmol/g) > pH 4,0 (0,225 µmol/g) > pH 7,0 (0,215 µmol/g).



Şekil 5.9. Reactive Green 19 ve Crystal Violet için farklı pH değerlerinde biyosorpsiyon kapasitelerinin karşılaştırılması

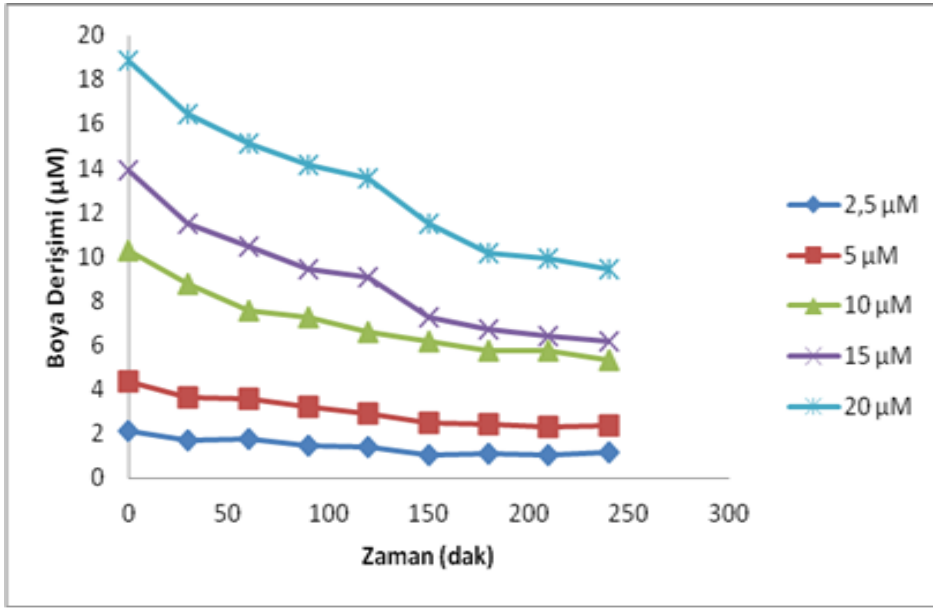


Şekil 5.10. Reactive Green 19 ve Crystal Violet için farklı pH değerlerinde giderim yüzdelerinin karşılaştırılması

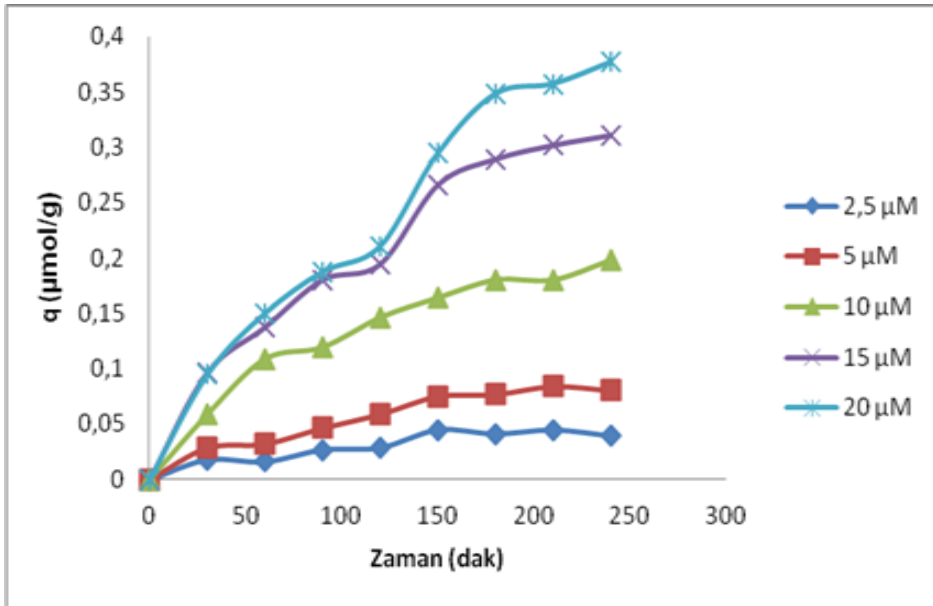
Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'dan görüldüğü üzere, Reactive Green 19 için optimum pH değeri, 4,0, Crystal Violet için ise, optimum pH değeri 6,0 olarak belirlenmiştir. *L. concinnus*'un Reactive Green 19 için biyosorpsiyon kapasitesinin, Crystal Violet için ulaşılan maksimum biyosorpsiyon kapasitesinden daha yüksek olduğu görülmektedir.

5.1.4. Boya konsantrasyonunun ve sıcaklığın etkisi

Çalışmalarda, her iki boyar madde için de 25°C ve 35°C olmak üzere farklı iki sıcaklıkta derişim taraması yapılarak biyosorpsiyon kapasitesine boya konsantrasyonunun ve sıcaklığın etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, aşağıda verilmiş olan grafikler üzerinden değerlendirilmiştir.



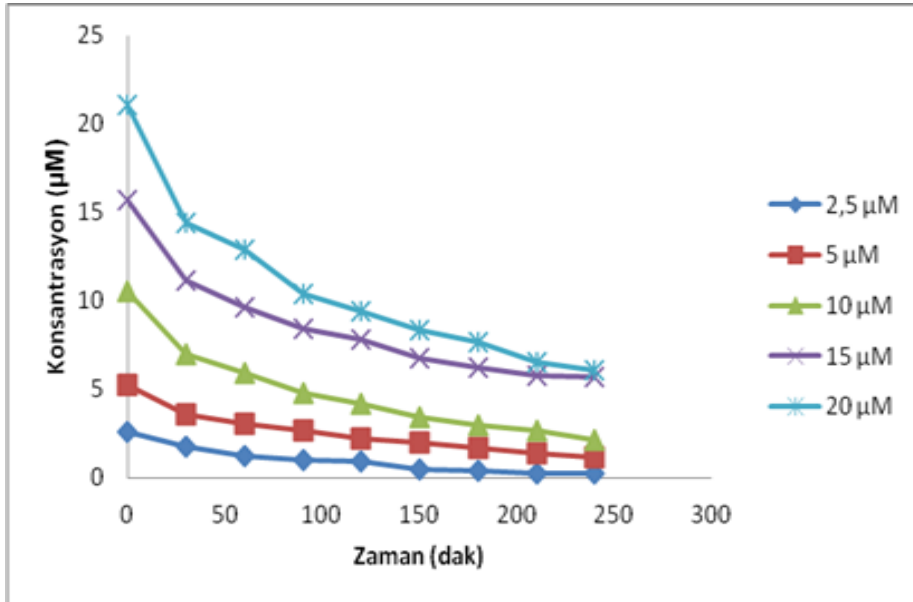
Şekil 5.11. 25°C'de Reactive Green 19 konsantrasyonunun zamana bağlı değişim grafiği



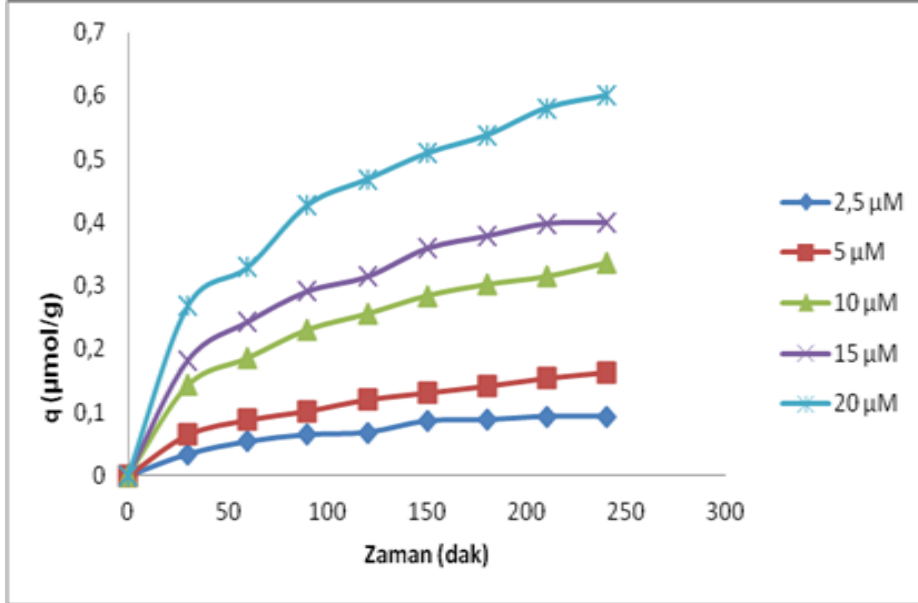
Şekil 5.12. Reactive Green 19'un 25°C'de zamana bağlı biyosorpsiyon kapasitesi değişim grafiği

Reactive Green 19 boyasına ait 25°C’de farklı başlangıç boya derişimlerinde gerçekleştirilen taramanın, biyosorpsiyon ortamında kalan son konsantrasyon değerleri Şekil 5.11.’de gösterildiği gibidir. Biyosorpsiyon kapasitesinin zamanla gösterdiği değişime ait grafik ise Şekil 5.12’de verilmiştir.

Elde edilen verilere (Şekil 5.11.) bakıldığında başlangıç boya konsantrasyonu; 2,5 µM olduğunda %45,8 giderim; 5 µM olduğunda %45,9; 10 µM olduğunda %48,0; 15 µM olduğunda %56,0 ve 20 µM olduğunda ise %50,0’lik bir boya gideriminin gerçekleştiği görülmektedir. Bu veriler göz önünde bulundurularak, 15 µM başlangıç konsantrasyonuna sahip bir sulu çözeltinin 25°C sıcaklıkta en yüksek ve en verimli şekilde boyayı uzaklaştırdığını, bu konsantrasyonun altında ve üstünde kalan konsantrasyonlarda ise renk gideriminin daha az bir miktarda gerçekleştiği ve bu durumun RG19’un başlangıç boya konsantrasyonundaki artış ile *L.concinnus* biyokütlesinin bu boyayı biyosorplama kapasitesinin de arttığı görülmektedir. En yüksek biyosorplama kapasitesi 20µM boya konsantrasyonlu sulu çözeltisinde olduğu belirlenmiştir. RG19’a ait 25°C’deki adsorpsiyon kapasitelerininin sıralaması şu şekildedir: 2,5 µM (0,025 µmol/g) < 5 µM (0,050 µmol/g) < 10 µM (0,124 µmol/g) < 15 µM (0,194 µmol/g) < 20 µM (0,236 µmol/g).



Şekil 5.13. 35°C’de Reactive Green 19 konsantrasyonunun zamana bağlı değişim grafiği

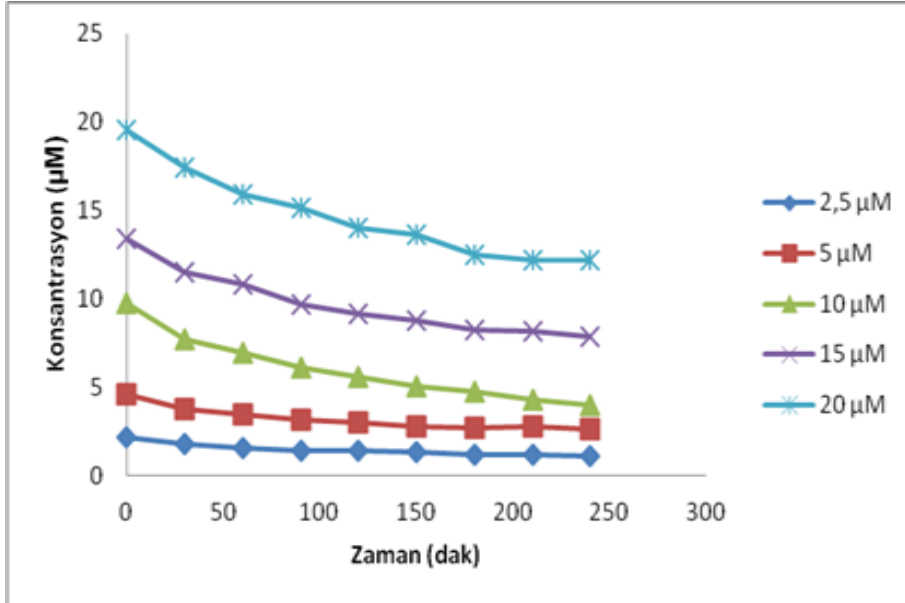


Şekil 5.14. Reactive Green 19'un 35°C'de zamana bağlı biyosorpsiyon kapasitesi grafiği

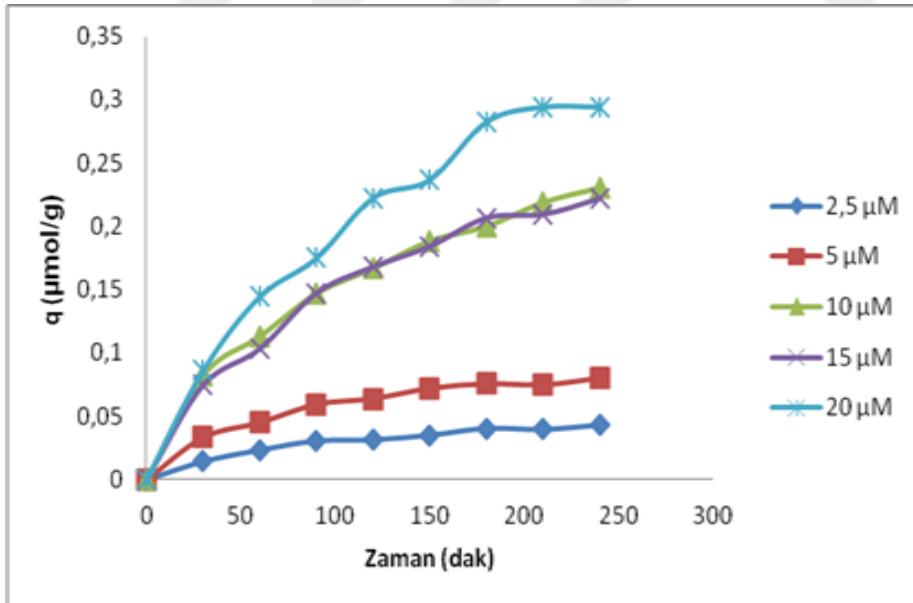
Reactive Green 19 boyasına ait 35°C'de farklı başlangıç konsantrasyonlarında gerçekleştirilen biyosorpsiyon çalışmasının verileri Şekil 5.13.'de gösterildiği gibidir. Bu boyaya ait zamana bağlı biyosorpsiyon kapasitesi değişimi grafiği ise Şekil 5.14'de verilmiştir. Buna göre, başlangıç konsantrasyonu 2,5 µM' da %100, 5 µM' da %77, 10 µM'da %79, 15 µM'da %63, 20 µM'da ise %71 mertebesinde bir boya uzaklaştırılması gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu veriler göz önünde bulundurularak 2,5 µM başlangıç konsantrasyonuna sahip bir sulu çözeltinin 35°C sıcaklıkta tamamen boyayı uzaklaştırdığı gözlenmiştir. 35°C sıcaklık altında orbital çalkalamalı kesikli sistemde gerçekleştirilen çalışmada Reactive Green 19'un başlangıç boya konsantrasyonu artışı ile *L.concinnus* biyokütlesinin bu boyayı biyosorplama kapasitesinin arttığı görülmektedir. En fazla adsorplama kapasitesi 20 µM boya konsantrasyonu içeren sulu çözeltisinde olduğu belirlenmiştir. Sıralama yapıldığında ise sonuçlar şu şekildedir: 2,5 µM (0,103 µmol/g) < 5 µM (0,162 µmol/g) < 10 µM (0,335 µmol/g) < 15 µM (0,400 µmol/g) < 20 µM (0,600 µmol/g).

Reactive Green 19 boyasının iki farklı sıcaklıklarda yapılan bu çalışmalardaki verilerini kıyaslarsak, 35°C sıcaklıkta *Lentinus concinnus* fungusunun %100'e varan daha verimli ve etkili bir şekilde boyayı uzaklaştırabildiği belirlenmiştir. Sıcaklığın arttırılmasıyla fungus biyokütlesinin de boya adsorplama kapasitesinin arttığı düşünülmektedir.

Crystal Violet boyasına ait 25°C’de farklı derişimlerde gerçekleştirilen konsantrasyon değişiminin verileri şekil 5.15.’de verilmiştir. şekil 5.16’da ise bu çalışmaya ait zamanla biyosorpsiyon kapasitesi değişimi grafiği sunulmuştur.



şekil 5.15. 25°C’de Crystal Violet konsantrasyonunun zamana bağlı değişim grafiği



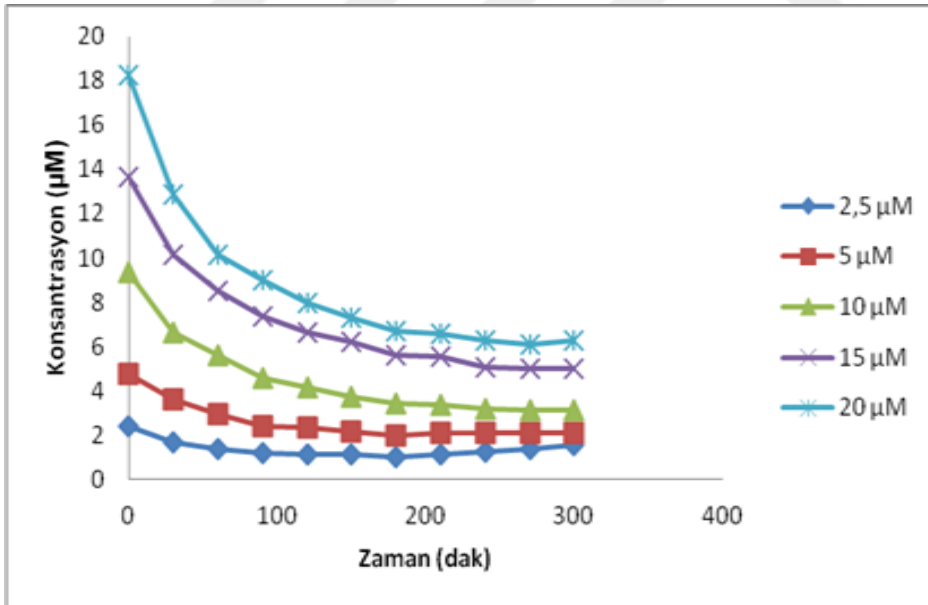
şekil 5.16. 25°C’de Crystal Violet zamana bağlı biyosorpsiyon kapasitesi grafiği

Elde edilen verilere bakıldığında başlangıç konsantrasyonu 2,5 µM’da %48, 5 µM’da %43, 10 µM’da %58, 15 µM’da %41, 20 µM olduğunda ise %37 mertebesinde bir boya uzaklaştırılması gerçekleştirildiği görülmektedir.

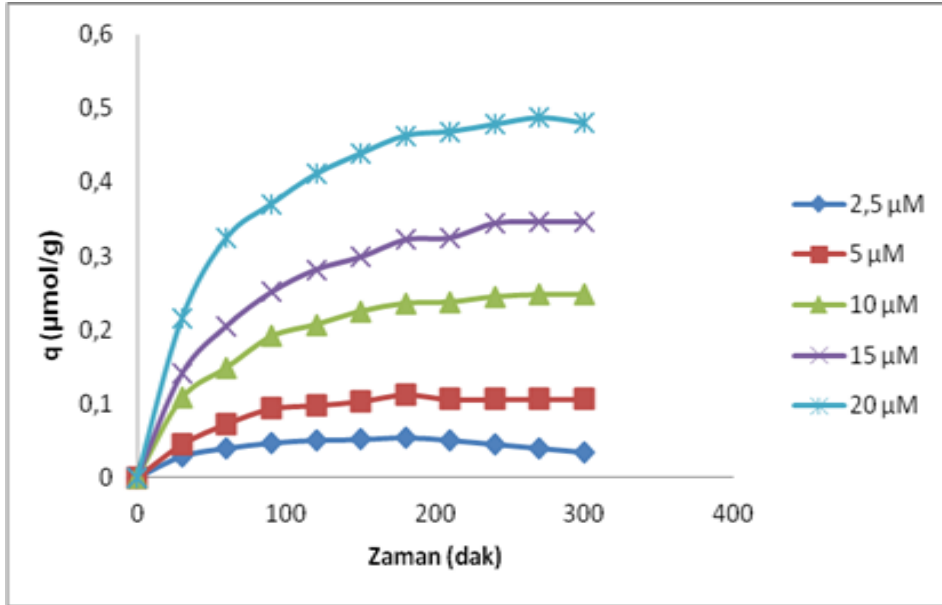
Bu veriler göz önünde bulundurulduğunda 10 μM başlangıç konsantrasyonuna sahip bir sulu çözeltinin 25°C sıcaklıkta en yüksek ve en verimli şekilde boyayı uzaklaştırdığını, bu konsantrasyonun altında veya üstünde kalan konsantrasyonlarda ise renk gideriminin daha düşük bir verimle gerçekleştiği gözlenmiştir.

Crystal Violet'nin 25°C'deki adsorpsiyon kapasitesine baktığımızda 10 μM ve 15 μM başlangıç derişimli çözeltilerdeki kapasitenin hemen hemen birbiri ile benzer olduğu, 20 μM konsantrasyonda ise en yüksek kapasite ile biyosorpsiyonun gerçekleştiği görülmektedir. Adsorpsiyon kapasiteleri sıralandığında şu sonuç ortaya çıkmaktadır: 2,5 μM (0,043 $\mu\text{mol/g}$) < 5 μM (0,079 $\mu\text{mol/g}$) < 15 μM (0,221 $\mu\text{mol/g}$) < 10 μM (0,230 $\mu\text{mol/g}$) < 20 μM (0,294 $\mu\text{mol/g}$).

Crystal Violet boyasına ait 35°C'de gerçekleştirilen konsantrasyon değişimi çalışmasının verileri Şekil 5.17.'de gösterilmiştir. Zamanla biyosorpsiyon kapasitesi değişimine ait grafik ise Şekil 5.18'da verilmiştir.



Şekil 5.17. 35°C'de Crystal Violet konsantrasyonunun zamana bağlı değişim grafiği



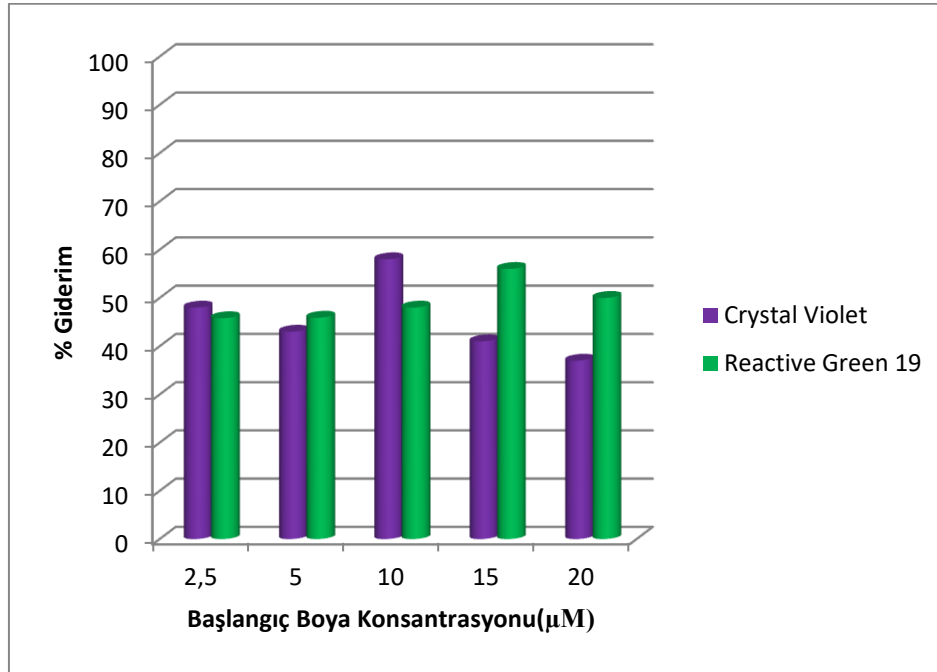
Şekil 5.18. Crystal Violet'in 35°C'de zamana bağlı adsorpsiyon kapasitesi grafiği

Elde edilen verilere bakıldığında başlangıç konsantrasyonu 2,5 µM'da %35, 5 µM'da %55, 10µM'da %66, 15 µM'da %63, 20 µM'da ise %65'lik bir boya gideriminin olduğu gözlemlenmiştir. Bu verilere göre 10 µM başlangıç konsantrasyonlu bir sulu çözeltinin 35°C sıcaklıkta en yüksek ve en verimli şekilde boyayı uzaklaştırdığı belirlenmiştir. Buna karşın, 10 µM, 15 µM ve 20 µM konsantrasyonlu çözeltilerin birbirine çok yakın renk giderim yüzdelerine sahip olduğu görülmektedir. Konsantrasyonun 10 µM'ın altında kalması boyanın yüzde (%) oranında giderimini azaltmıştır. 35°C sıcaklıkta boyanın biyosorpsiyon kapasitesi başlangıç derişimi ile doğru orantılı olarak artmış, çalışmalarda kullanılan en yüksek boya konsantrasyonlu çözeltide (20 µM) adsorpsiyon kapasitesi en yüksek olarak belirlenmiştir. Derişimlere göre adsorpsiyon kapasiteleri şu şekildedir: 2,5 µM (0,034 µmol/g) < 5 µM (0,105 µmol/g) < 10 µM (0,247 µmol/g) < 15 µM (0,346 µmol/g) < 20 µM (0,479 µmol/g).

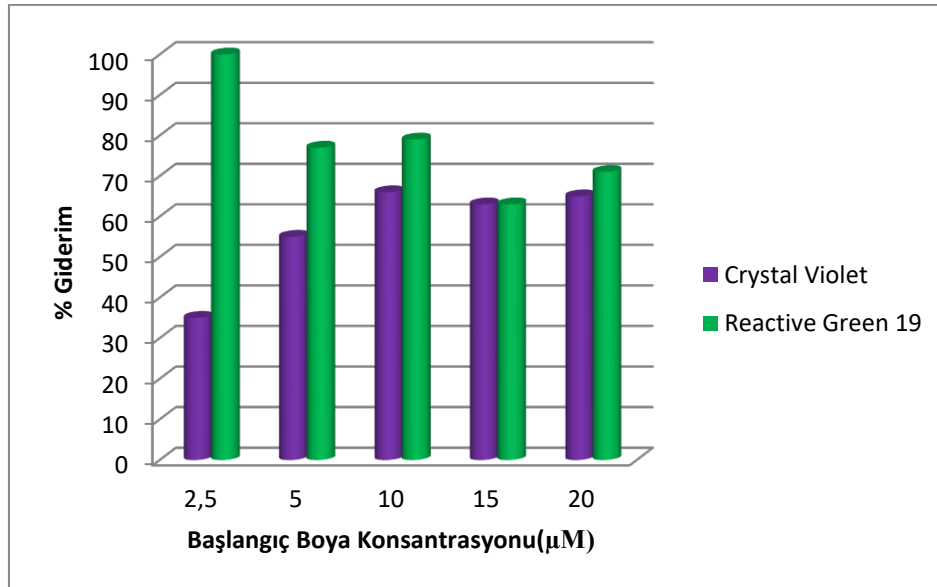
Crystal Violet boyasının hem boya konsantrasyonu hem de sıcaklık etkisini kapsayan çalışmalardaki verilerini birleştirdiğimizde 35°C sıcaklıkta *Lentinus concinnus* fungusunun en verimli şekilde renk giderimi yaptığı derişimin 10 µM olduğu ve sıcaklığın ise bu sonucu çok fazla etkilemediği, ancak 35°C sıcaklığın Crystal Violet uzaklaştırılmasında daha fazla etkin olacağı görülmektedir.

Her iki boyaya ait, 25°C ve 35°C'de yapılan taramalarla elde edilen giderim yüzdelerinin karşılaştırılması Şekil 5.19'da ve Şekil 5.20'de sunulmuştur. Bu iki grafikte verilen bilgiler

ışığında 25°C’de her iki boyanın da 2,5 ve 5 μM derişimlerde birbirine yakın oranda uzaklaştırıldığı görülürken, 35°C’de aynı derişimlerde yapılan deneyler arasında RG19 KV’den daha fazla oranda uzaklaştırılmıştır.



Şekil 5.19. Reactive Green 19 ve Crystal Violet’in 25°C’de giderim yüzdelerinin karşılaştırılması

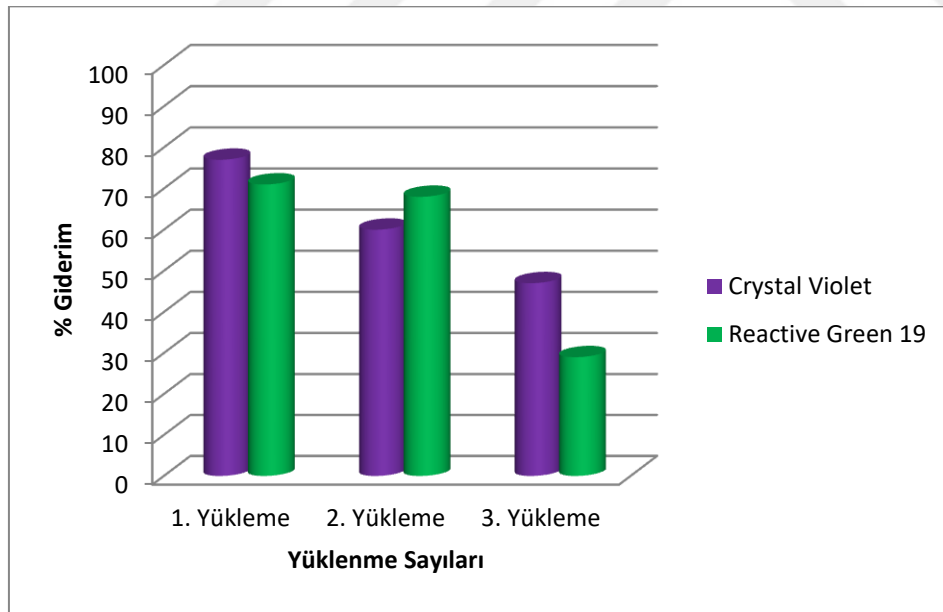


Şekil 5.20. Reactive Green 19 ve Crystal Violet’in 35°C’de giderim yüzdelerinin karşılaştırılması

5.1.5. Tekrar kullanılabilirlik

Belirli bir miktarda *Lentinus concinnus* biyokütlesinin adsorbe edebileceği boyar madde miktarını araştırmak amacıyla yapılan çalışma, üç kez aynı fungus biyokütlesinin kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Her basamak yaklaşık olarak 300 dakika sürdürülmüştür. Bunun sonucunda, Reactive Green 19 boyar maddesi belirli koşullar altında ilk biyosorpsiyonunda %71 oranında, ardından gerçekleştirilen ikinci biyosorpsiyonda %68 oranında ve üçüncü biyosorpsiyonunda ise %29 oranında boya adsorbe ettiği görülmüştür.

Bununla birlikte, Crystal Violet boyar maddesinin ilk biyosorpsiyonunda %77, ikinci biyosorpsiyonunda %60 ve üçüncü biyosorpsiyonunda %47 oranında bir giderim görülerek değerlendirmeye alındığında Crystal Violet boyar maddesinin biyosorpsiyonunda *Lentinus concinnus* aktif biyokütlesinin birden fazla kez kullanımının daha başarılı ve verimli gerçekleştiği belirlenmiştir. Sonuçlar Şekil 5.21’de sunulmuştur.



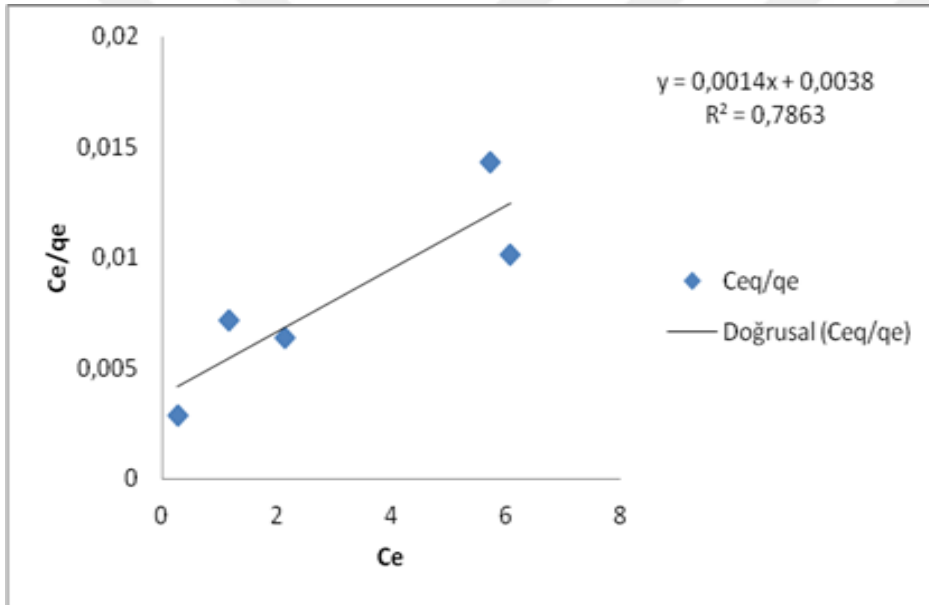
Şekil 5.21. Reactive Green 19 ve Crystal Violet ile üç ardışık boya yüklemesi sonuçları

5.2. İzoterm Modelleri

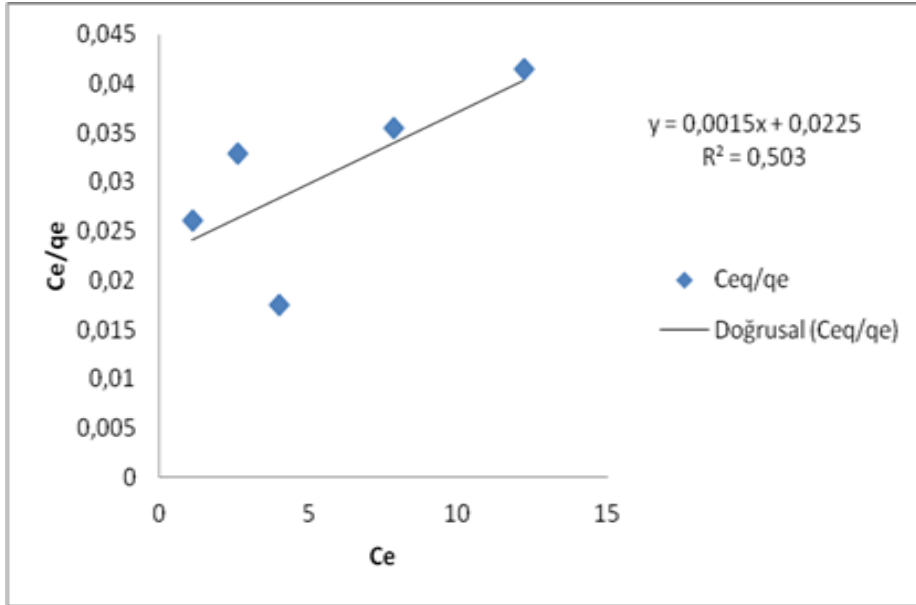
Fungal biyokütlenin absorpladığı boyar madde miktarı ile başlangıç boyar madde derişimi arasındaki ilişkiyi tanımlayan çeşitli izoterm modelleri vardır. İzoterm modelleri bu

ilişkiyi, sabit sıcaklık ve denge koşullarında açıklar ve boyar maddelerin giderim işleminin en iyi şekilde kurulması açısından önemlidir.

İlk olarak, *Lentinus concinnus* biyokütlesi ile, Reactive Green 19 ve Crystal Violet boyar maddelerinin sulu çözeltilerinden gideriminin, Langmuir izotermine uygunluğu araştırılmıştır. Sulu çözeltilerinden, Reactive Green 19 ve Crystal Violet boyalarının, fungal biyokütleyle biyosorpsiyonu, başlangıç boya konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak, 2,5-20 μM aralığında incelenmiştir. Elde edilen Langmuir izoterm modeli sabitleri, korelasyon katsayısı, Çizelge 5.1’de verilmiştir. Ce’ye karşı Ce/qe ile ifade edilen Langmuir eğrileri ise, Şekil 5.22 ve Şekil 5.23’de sunulmuştur.



Şekil 5.22. Reactive Green 19 boyasının biyosorpsiyonu için Ce’ye karşı Ce/qe grafiği



Şekil 5.23. Crystal Violet boyasının biyosorpsiyonu için C_e 'ye karşı C_e/q_e grafiği

Çizelge 5.1'den görüldüğü üzere, her iki boya için de Langmuir izoterm modelinin korelasyon katsayıları oldukça düşüktür. Elde edilen q_{deneysel} ve hesaplanan q_m değerleri birbirine uzaktır. Her iki boyanın giderimi için, Langmuir izoterm modelinin giderim işlemini tanımlamak için uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 5.1. Reactive Green 19 ve Crystal Violet boyalarının fungal biyokütle ile giderim sonuçları için elde edilen Langmuir sabitleri ve korelasyon katsayıları

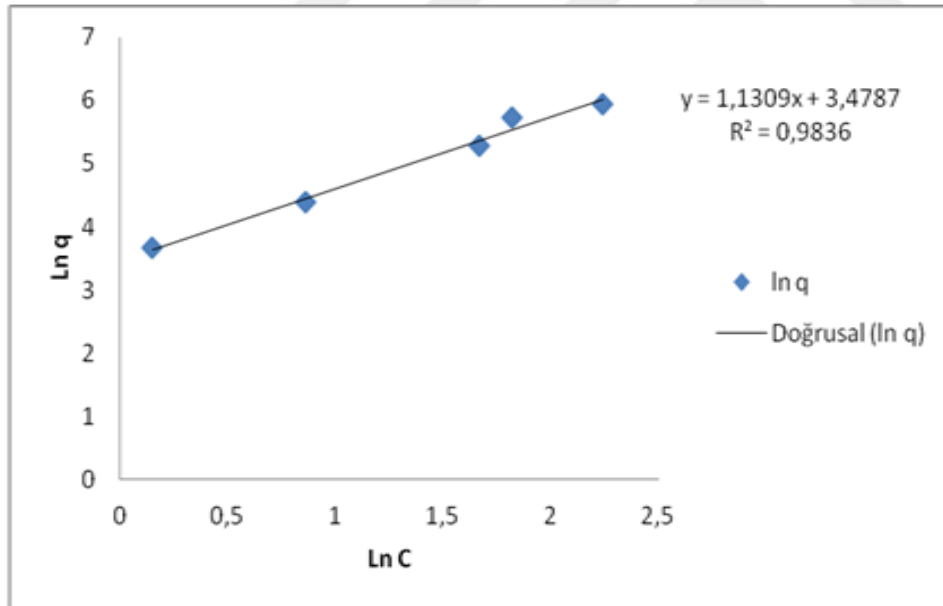
Langmuir Sabitleri			
Reactive Green 19			
q_{deneysel}	q_m	K_d	R^2
0,600	0,714	2,714	0,7863
Crystal Violet			
q_{deneysel}	q_m	K_d	R^2
0,294	0,666	15	0,5030

İkinci olarak, RG19 ve KV boyar maddelerinin biyosorpsiyonunun Freundlich izoterm modeline uygunluğu araştırılmış, Freundlich izoterm parametreleri (n ve K_F) belirlenmiştir. Her iki boya için elde edilen sonuçlar Çizelge 5.2'de sunulmuştur.

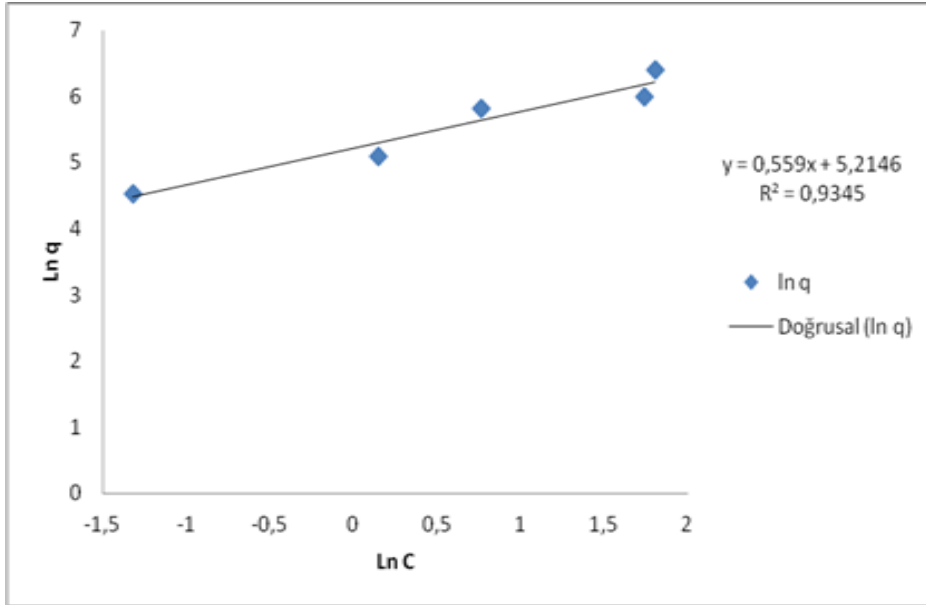
Çizelge 5.2. Reactive Green 19 ve Crystal Violet boyalarının fungal biyokütle ile giderim sonuçları için elde edilen Freundlich izoterm modeli parametreleri ve korelasyon katsayıları

Freundlich Sabitleri	Q_{deneysel}	n	K_f	R^2
Reactive Green 19 (25 °C’de)	0,377	0,884	32,419	0,9836
Reactive Green 19 (35 °C’de)	0,600	1,789	183,950	0,9345
Crystal Violet (25 °C’de)	0,294	1,212	43,502	0,8743
Crystal Violet (35 °C’de)	0,480	0,573	22,996	0,9232

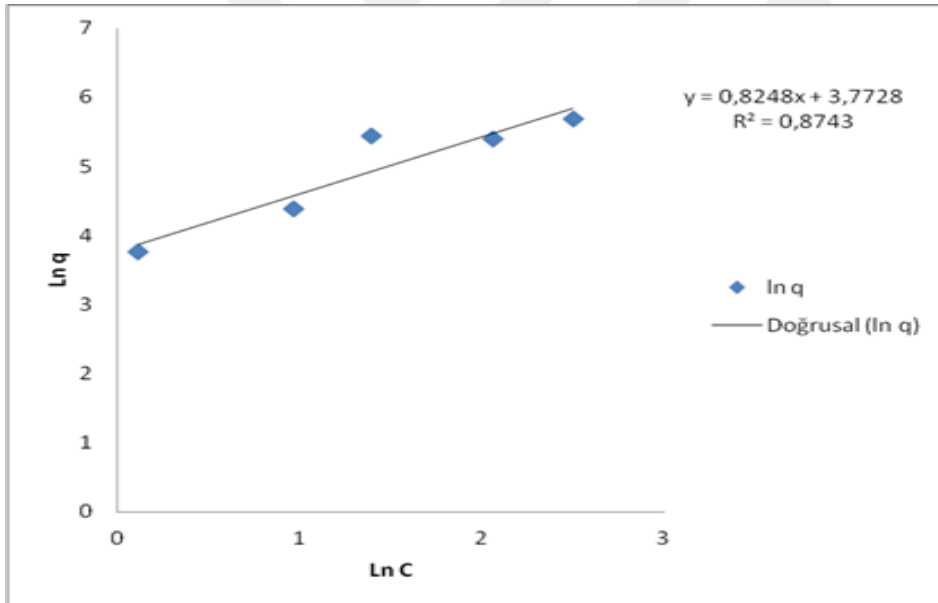
RG19 için 25°C ve 35°C’deki biyosorpsiyon işlemleri için hazırlanan $\ln C$ ’ye karşı $\ln q$ grafikleri, sırasıyla, Şekil 5.24 ve 5.25’de sunulmuştur. KV için, 25°C ve 35°C’deki biyosorpsiyon işlemleri için hazırlanan $\ln C$ ’ye karşı $\ln q$ grafikleri, sırasıyla, Şekil 5.26 ve 5.27’de sunulmuştur.



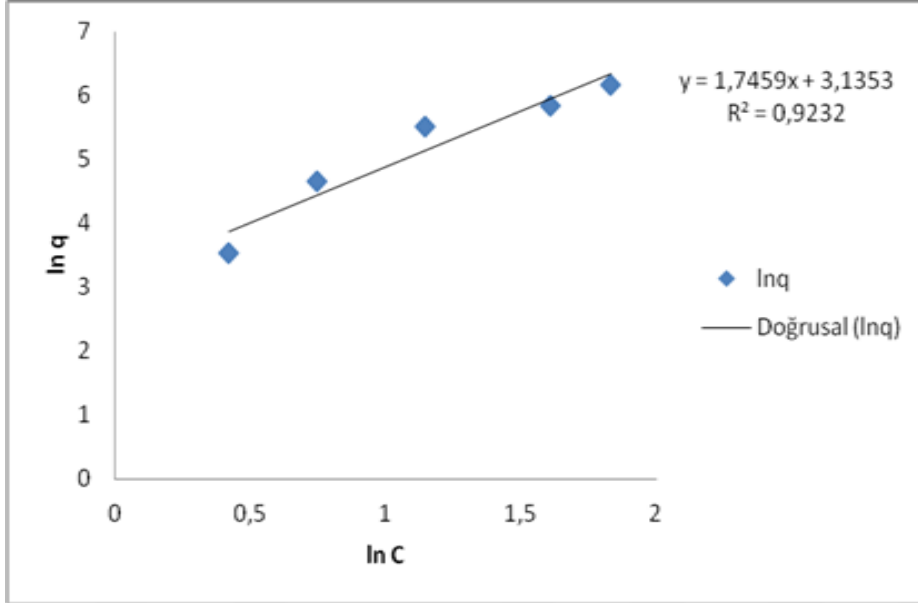
Şekil 5.24. Reactive Green 19 boyasının 25°C’deki biyosorpsiyon işlemi için, $\ln C$ ’ye karşı $\ln q$ grafiği



Şekil 5.25. Reactive Green 19 boyasının 35°C'deki biyosorpsiyon işlemi için, $\ln C$ 'ye karşı $\ln q$ grafiği



Şekil 5.26. Crystal Violet boyasının 25°C'deki biyosorpsiyon işlemi için, $\ln C$ 'ye karşı $\ln q$ grafiği



Şekil 5.27. Crystal Violet boyasının 35°C’deki biyosorpsiyon işlemi için, $\ln C$ ’ye karşı $\ln q$ grafiği

Freundlich izoterm modeli için korelasyon katsayıları, 25°C ve 35°C sıcaklık değerlerinde, Reactive Green 19 boyası için, Crystal Violet boyasından daha yüksek bulunmuştur.

Çalışılan tüm boya ve sıcaklık değerleri arasında, en yüksek K_F ve n değerleri ise 35°C’deki, RG19 giderimi için, sırasıyla; 183,950 ve 1,789 olarak elde edilmiştir. Freundlich modelinin K_F ve n değerlerinin yüksek olması, buna karşılık, Langmuir modelinin korelasyon katsayısının çok düşük olması, sulu ortamdan boya biyosorpsiyonu işleminin, Langmuir modeline kıyasla, Freundlich modeli ile daha iyi açıklanabileceğini göstermektedir.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Günümüzün en önemli problemi doğanın hızla artan endüstrileşme karşısında, zarar görmesi, doğal kaynakların kirlenmesi ve geri dönüştürülemeyecek kadar tüketilmeye başlanmasıdır. Hiçbir önlem alınmaksızın, sanayi tesislerinin aşırı çalışması çevre kirliliğinin oldukça tehlikeli boyutlarda atık madde ortaya çıkarmasına sebep olmuştur. Tekstil ve boyama işlemleri bu endüstriyel faaliyetlerin başında gelmektedir. Faaliyetler sonucu ortaya çıkan atık suların barındırdığı organik ve inorganik kirlilikler, çevre ve insan sağlığına olumsuz yönde etki etmektedir.

Boyar maddeler arıtılması oldukça güç, fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkilere karşı dirençli maddelerdir. Endüstriyel işlemler sonrasında arıtılmadan dış ortama bırakıldıklarında suya ve toprağa kirlilik yayarlar. Kalıcı renklenmelere sebebiyet vererek sudaki ışık geçirgenliğini azaltır, fotosentezi engellerler ve bu durumda sucul canlılar yoluyla besin zincirine katılarak birikirler, canlıların büyümesi olumsuz yönde etkilenir. İnsan sağlığına ise toksik, kanserojenik ve mutajenik doğrultuda etki ederler [76, 81].

Sanayi tesislerinin büyük olması sebebiyle boyar maddelerin uzaklaştırılması güçleşmektedir. Var olan yöntemler yeterli etkiyi yaratamamaktadır. Geniş kapsamlı tesislere uygun olarak ekonomik ve yüksek verimde boyanın uzaklaştırılmasını sağlayan yöntemlerin gerekliliğine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda, fiziksel ve kimyasal yöntemlerin aksine biyolojik materyallerin kullanımıyla gerçekleştirilen biyosorpsiyon metodu çağımız koşullarında öne çıkmaktadır. Biyolojik materyallerden bakteriler, bitkiler ve algler biyosorbent olarak kullanılabilir. Yakın dönemlerdeki yapılan çalışmalara bakıldığında, biyosorbent olarak beyaz çürükçül fungusların kullanımı artmakta olduğu ve bunların kullanımının araştırmacılara büyük avantajlar sağladığı sonucu elde edilmektedir.

Yapılan bu tez çalışmasında, tekstil fabrikası boyama işlemlerinde sıklıkla kullanılan ve atık bazında hem insan sağlığına zarar veren hem de atıkların bırakıldığı doğada yaşayan diğer canlıların yaşamlarını olumsuz yönde etkileyen kirletici boyalar arasında yer alan Crystal Violet ve Reactive Green 19 boyalarının sucul ortamdan uzaklaştırılması için biyosorbent madde olarak işleme tabi tutulmamış aktif *L.concinnus* beyaz çürükçül fungusu kullanılmıştır. Bu çalışmalar kapsamında boyaların etkili bir şekilde ortamdan

uzaklaştırılabilmesi adına sıcaklığın, başlangıçtaki boya konsantrasyonunun ve ortam pH'nın biyosorpsiyona etkileri araştırılmış, ucuzluk ve uygulama kolaylığı adına *Lentinus concinnus* biyokütlesinin tekrar kullanılabilirliği incelenmiştir.

Reactive Green 19 ve Crystal Violet boyalarının *Lentinus concinnus* biokütlesi içine biyosorpsiyonuna ortam pH'nın etkisi pH 4,0- 8,0 aralığında ve oda sıcaklığında araştırılmıştır. Reactive Green 19 ve Crystal Violet boyar maddeleri için belirlenen optimum pH değerleri farklılık göstermiştir. Bu değer, Reactive Green 19 için pH 4,0; Crystal Violet için ise pH 6,0 olarak bulunmuştur. pH değerlerinin boyalara göre farklılık göstermesini boyaların kimyasal yapılarına dayandırmak mümkündür. Bu boyalar farklı boya grupları içerisinde yer almakta ve bu sebeple yapılarında bulundurdıkları fonksiyonel gruplar da farklılık arz etmektedir. pH değeri, biyosorbentin yüzey yükünü etkileyen çok önemli bir faktördür. Fungal hücre duvarı yapısında yüksek miktarlarda polisakkarit barındırır. Bu makromoleküller fonksiyonel gruplara sahiptir ve biyosorpsiyon işlemi bu grupların protonlanıp protonlanmamasına bağlı bir işlemdir [15]. Reactive Green 19 azo grubu, asidik özelliğe sahip bir boyadır ve yapısında sülfonat ($-\text{SO}_3\text{Na}$) fonksiyonel gruplarını bulundurur. Ortamdaki pH'nın azalmasıyla birlikte *L.concinnus* fungal biyokütlesinin hücre duvarında bulunan amino grupları net pozitif yük kazanırlar. Bu bölgelere RG19'un yapısındaki negatif yüklü anyonik gruplar bağlanır ve biyosorpsiyon gerçekleşir. Ancak, çalışmamızdan da elde edildiği gibi ortamdaki pH'nın artması ile fungal biyokütle üzerindeki yük dağılımı değişir ve negatif yük dağılımı sayısı artar. Bunun sonucunda boya fungus yüzeyi ile etkileşemeyerek biyosorpsiyonu baskılanmış olur [78, 110]. Bunun haricinde, Crystal Violet ise trifenilmetan yapılı, bazik özellikte bir boyadır. CV'nin biyosorpsiyonunda ortamın optimum pH'nın 6,0 olarak belirlenmesini açıklığa kavuşturmak gerekir. pH değeri arttıkça boya çözeltisinin yük yoğunluğu azalmaktadır. Bu nedenle, pozitif yüklü boya molekülleri arasındaki elektrostatik itme ve fungus biyokütlesinin yüzeyi indirgenir. Böylece, boya emilimi artış gösterir [87, 108]. Adsorpsiyon bölgelerinde bulunan iyonlar boya katyonları ile rekabete girer ve adsorpsiyon kapasitesini artırır. Fungusun salgıladığı ekstraselüler enzimler, ortam pH'nın daha da artması durumunda bozularak biyosorpsiyonu baskılama eğilimi gösterirler. Biyosorpsiyon mekanizması hem iyon değişimi hem hidrofobik etkileşim hem kompleks oluşumu hem de elektrostatik kuvvetlerin bir arada işlev gördüğü çok yönlü bir mekanizmadır [23, 76, 108, 109].

Boyar maddenin fungal biyokütle üzerine biyosorpsiyonunun sıcaklığa etkisi gözlemlendiğinde her iki boya için de sıcaklığın artmasıyla adsorpsiyon kapasitelerinin arttığı belirlenmiştir. Her iki boyar madde de 35°C sıcaklıkta en verimli uzaklaştırmayı gerçekleştirmiştir. Sıcaklığa etkinin araştırılması kapsamında gerçekleştirilen deneylerde oda sıcaklığı (25°C) haricinde 35°C sıcaklığın seçilmesinin altında yatan neden, hücre membran geçirgenliğinin ısı artışıyla artacağı düşüncesi ve fungusun ürettiği ekstraselüler enzimlerin bozunmadan kalabileceği uygun sıcaklık elde edilmesi düşüncesidir. Yaptığımız araştırmadan da anlaşıldığı üzere, hem fungusun ürettiği ekstraselüler enzimlerin bozunmaması hem de gerçekleştirdiği biyosorpsiyon açısından en uygun sıcaklık 35°C olarak belirlenmiştir.

Boya konsantrasyonunun biyosorpsiyona etkisi 2,5-20 µM aralığında araştırılmış ve her iki boyar madde için de; başlangıç boya konsantrasyonu yükseldikçe, fungusun biyosorpsiyon kapasitesi de yükselmiştir. Reactive Green 19'un başlangıç boya konsantrasyonu 2,5 µM'dan 20 µM'a arttırıldığında, 25°C ve 35°C'lerdeki biyosorpsiyon kapasiteleri sırasıyla 9,5 ve 5,7 kat artmıştır. Crystal Violet 'nin konsantrasyonunun arttırılmasıyla ise 25°C ve 35°C'lerdeki biyosorpsiyon kapasiteleri sırasıyla 6,8 ve 14,0 kat arttığı belirlenmiştir.

Yapılan çalışmalarda fungal biyokütlenin tekrarlı kullanımıyla birlikte, hem en fazla oranda boyanın biyosorplanabilmesi, hem de maliyet, işlem ve zaman harcanmasının ortadan kaldırılması hedeflenmiştir. Yapılan deney sonuçlarına göre, her yeni boya yüklemesi sonrasında, fungal biyokütlenin boyayı biyosorplama yeteneği giderek azalma göstermiştir. Reactive Green 19'da üçüncü adsorpsiyondan %29 giderim verimi alınırken, Crystal Violet'de üçüncü biyosorpsiyonda %47 verim alınmıştır. *Lentinus concinnus* biyokütlesi, Crystal Violet gideriminde, Reactive Green 19'da olduğundan daha etkilidir.

Çalışmamızdan elde edilen olumlu sonuçlar çerçevesinde *Lentinus concinnus*'un Reactive Green 19 ve Crystal Violet boyar maddelerini uzaklaştırma konusunda uygunluğu gösterilmiştir. Uygulamanın kolaylığı ve fungal biyokütlenin tekrar tekrar kullanımı avantaj sağlamaktadır. Bununla birlikte, inaktif biyosorbentlerin besine gereksinim duymamaları, toksik atıklardan etkilenmemeleri, küçük konsantrasyonlarda yüksek verim elde edilebilmesi ve rejenerasyon kolaylığı nedeniyle canlı biyosorbentlere oranla daha etkili oldukları bilinmektedir. Buradan yola çıkarak kullandığımız fungal biyokütleyle kimyasal veya fiziksel bir inaktivasyon işlemi uygulanmasıyla biyosorpsiyon

mekanizmasının canlı fungal biyokütleyle oranla veriminin olumlu veya olumsuz yönde nasıl değişeceğinin değerlendirilmesi konusunda çalışmalar yapılabilir. Fungusun ürettiği enzimlerin saflaştırılarak izole edilmesi, maliyeti yüksek olmayacak şekilde uygulama yapılarak enzim üretimi ve enzimin izolasyon teknikleri araştırılabilir. Bu kapsamda araştırmaların genişletilmesi ve geliştirilmesi *Lentinus concinnus* biyokütlesinin biyosorpsiyon yeteneklerini daha da açığa çıkarmak konusunda büyük yarar sağlayacaktır.



KAYNAKLAR

1. Erkurt, E.A. (2006). *Remozal Brilliant Blue Royal ve Drimaren Blue CL-BR'nin Beyaz Çürükçül Funguslar Tarafından Renk Gideriminin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
2. Correia, V.M., Stephenson, T., Judd, S.J. (1994). Characterisation of Textile Wastewater-A Review, *Environmental Technology*, 15, 917- 929.
3. Kuruloğlu, H.E. (2006). *Aspergillus oryzae ile Procion Blau Boyar maddesinin Renk Giderimi*, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
4. Eren, Z. (2002). *Tekstil Boyarmaddesi İçeren Sulu Ortamlardan Renk Giderimi*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
5. Banat, I.M., Nigam, P., Shing, D., Marchant, R. (1996). Microbial Decolorization of Textile Dye-Containing Effluents: A Review, *Bioresource Technology*, 58, 217- 227.
6. Nigam, P., McMullan, G., Banat, I.B., Marchant, R. (1996). Decolorization of Effluent from the Textile Industry by a Microbial Consortium, *Biotechnology Letters*, 18, 117-120.
7. Başer, İ., İnancı, Y. (1990). *Boyarmadde Kimyası*. (İkinci Baskı). İstanbul: Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yayınları, 47- 52.
8. Sabnis, R.W. (2010). *Handbook of Biological Dyes and Stains- Synthesis and Industrial Applications*. (First Edition). Canada: Wiley, 115- 117.
9. Ataçağ Erkurt, H. (2006). *Tekstil Endüstrisi Boyar maddelerinden Levafix Brilliant Blue EB ve Cibacron Blue CR'nin Aktif ve İnaktif Aspergillus oryzae'ye Adsorpsiyonunun Araştırılması*, Doktora Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
10. İnternet: Bilinmeyen Yazar. Azo Boyaları. *Food-info*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.food-info.net%2Ftr%2Fcolour%2Fazo.htm+&date=2016-03-03>, Son Erişim Tarihi: 03.03.2016.
11. Al-Degs, Y., Khraisheh, M.A.M., Allen, S.J., Ahmad, M.N. (2000). Effect of Carbon Surface Chemistry on the Removal of Reactive Dyes from Textile Effluent, *Water Resources*, 34(3), 927- 935.
12. Van der Zee, F. (2002). *Anaerobic Azo Dye Reduction*, Doktora Tezi, University of Wageningen, Almanya.
13. Karapınar Kapdan, İ., Kargı, F. (2000). Atık Sulardan Tekstil Boyar maddelerinin Adsorpsiyonlu Biyolojik Arıtım Ve Giderimi, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 24(3), 169- 170.
14. Mercimek, H.A. (2007). *Trametes versicolor'ın Tekstil Boyalarının Gideriminde Kullanım Olanakları*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

15. Mezenner, N.Y., Hamadi, A., Kaddour, S., Bensaadi, Z., Bensmaili, A. (2013). Biosorption Behavior of Basic Red 46 and Violet 3 by Dead *Pleurotus mutilus* from Single- and Multicomponent Systems, *Journal of Chemistry*, 965041.
16. Başer, İ. (2002). *Elyaf Bilgisi*. (İkinci Baskı). İstanbul: Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yayınları, 1- 12.
17. Kocaer, F.O., Alkan, U. (2002). Boyar Madde İçeren Tekstil Atık Sularının Arıtım Alternatifleri, *Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7(1), 47- 55.
18. Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., Nigam, P. (2001). Remedation of Dyes in Textile effluent: A Critical Review on Current Treatment Technologies With A Proposed Alternative, *Bioresource Technology*, 77, 247- 255.
19. Kurbanova, R., Mirzaoglu, R., Ahmedova, G., Şeker, R., Özcan, E. (1998). *Boya Ve Tekstil Kimyası Ve Teknolojisi*, Türkiye: Konya Selçuk Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Yayınları, 33- 58.
20. Koçak, G. (2011). *Bacillus subtilis İle Reaktif Black 5 Boyar Maddesinin Renk Giderim Kinetiğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
21. Seventekin, N. (1988). *Boyar Madde Kimyasına Giriş*. (Birinci Baskı). Türkiye: İzmir Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çoğaltma Yayın, 78, 5- 42.
22. Labudzinska, A., Galka, S., Gorczynska, K. (1993). Studies of the Carbazole Azo Dyes by Means of UV/VIS Spectroscopy, *Journal Of Molecular Structure*, 294, 247- 250.
23. Cebecioğlu, F.N. (2010). *Reaktif Orange 14 Ve Reaktif Blue 2 Tekstil Boyalarının Beyaz Çürükçül Fungus *Lentinus Concinnus* İle Giderimi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
24. Zollinger, H. (2003). *Color Chemistry - Syntheses, Properties and Applications of Organic Dyes and Pigments*. (Third Edition). Newyork: Wiley- VCH, 1- 50.
25. Socha, K. (1991). Treatment of Textile Effluents, *Textile Month*, 12, 52- 56.
26. Tünay, O., Kabdaslı, I., Eremektar, G. ve Orhon, D. (1996). Color Removal From Textile Wastewaters, *Water Science and Technology*, 34(11), 9- 16.
27. Verma, A.K., Dash, R.R., Bhunia, P. (2012). A Review On Chemical Coagulation/Flocculation Technologies For Removal Of Colour From Textile Wastewaters, *Journal Of Environmental Management*, 93, 154- 168.
28. Hanay, Ö., Hasar, H. (2007). Fenton Oksidasyon Prosesi ile Tekstil Endüstrisi Atık Suyunda Renk Giderimi, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(4) 505- 509.

29. Dokuzoğlu, Z., Alkan, U., Yentürk A. (2008). Reaktif Boyarmadde İçeren Tekstil Atık Sularının İleri Oksidasyonu, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 13(2), 119- 128.
30. Muruganandham, M., Swaminathan, M. (2004). Photochemical Oxidation of Reactive Azo Dye with UV-H₂O₂ Process, *Dyes and Pigments*, 62, 269- 275.
31. Shu, H.Y., Chang, M.C. (2005). Decolorization Effects Of Six Azo Dyes By O₃, UV/O₃ And UV/H₂O₂ Processes, *Dyes and Pigments*. 65, 25- 31.
32. Bradu, C., Frunza, L., Mihalchea, N., Avramescua, S., Neata, M., Udrea, I. (2010). Removal Of Reactive Black 5 Azo Dye From Aqueous Solutions By Catalytic Oxidation Using CuO/Al₂O₃ And NiO/Al₂O₃, *Applied Catalysis B: Environmental*, 96, 548- 556.
33. Cing, S. (2001). *Tekstil Boyalarının Renginin Gideriminde Mikroorganizma Kullanımı*, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
34. Eren, H.A., Anış, P. (2006). Tekstil Boyama Atık Sularının Ozonlama ile Renk Giderimi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 11(1), 83- 91.
35. Perkins, W.S., Walsh, W.K., Reed, I.E. And Namboodri, C.G. (1995). A Demonstration of Reuse of Spent Dyebath Water Following Color Removal with Ozone, *Textile Chemist And Colorist*, 28(1), 31- 37.
36. Sevimli, M.F. (2000). *Tekstil Endüstrisi Atık sularından Ozonlama ile Renk Giderimi ve Ozonlamanın Biyolojik Arıtılabilirliğe Etkisi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
37. Rozzi, A., Antonelli, M., Arcari, M. (1999). Membrane Treatment of Secondary Textile Effluents For Direct Reuse, *Water Science and Technology*, 40(4-5), 409- 416.
38. Gönder, Z.B. (2004). *Fenton Prosesi ve İyon Değişimi Kombinasyonu ile Renkli Atık Suların Arıtımı*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
39. Sert, N.D. (2006). *İlaç Endüstrisi Atık Sularında Fenton Prosesi ile Renk ve KOİ Giderimi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
40. Willmott, N., Guthrie, J., Nelson, G. (1998). The Biotechnology Approach to Colour Removal from Textile Effluent, *Journal of the Society of Dyers and Colorists*, 114, 38- 41.
41. Başbüyük, M., Yüceer, A., Yılmaz, T. (1998, 22-24 Haziran). *Tekstil Atık Sularında Renk Giderilmesinde Kullanılan İleri Teknolojiler*, 1.Atık Su Sempozyumu (82- 87), Kayseri.
42. Karcher, S., Kornmüller, A., Jekel, M. (1999). Removal of Reactive Dyes by Sorption/Complexation with Cucurbituril, *Water Science and Technology*, 40 (4-5), 425- 433.

43. Chung, K.T., Stevens, S.E. (1993). Decolorization of Azo Dyes by Environmental Microorganism and Helminths, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 12, 2121-2132.
44. Brown, M.A., De Vito, S. (1993). Predicting Azo Dye Toxicity, *Critical Reviews in Environmental Science Technology*, 23, 249- 324.
45. Oneill, C., Lopez, A., Esteves, S., Hawkes, F. R., Hawkes, D.L., Wilcox, S. (2000). Azo Dye Degredation in an Anaerobic-Aerobic Treatment System Operating on Simulated Textile Effluent, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 53, 249- 254.
46. Mazmancı, M.A. (2003). *Beyaz Çürükçül Fungus Funalia trogii Kullanılarak Diazo Boyarmadde Reaktif Black 5'in Renk Giderimi*, Doktora Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
47. Kuai, L., De Vreese, I., Vandevivere, P. (1998). GAC-Amended UASB Reactor for The Stable Treatment of Toxic Textile Wastewater, *Environmental Technology*, 19, 1111- 1117.
48. Özmişçi, S., Kargı, F. (2004, 13- 15 Ekim). *Toz Aktif Çamurun Değişik Boyar Maddelerin Gideriminde Biosorpsiyon Performansının Değerlendirilmesi*, 1.Ulusal Çevre Kongresi, Sivas.
49. Fukuzumi, T. (1980). Microbial Decolorization and Defoaming of Pulping Waste Liquors in Lignin Biodegradation, *Potential Applications CRC Press*, 1, 215- 230.
50. Eaton, D., Chang, H.M., Kirk, T.K. (1980). Fungal Decolorization of Kraft Bleach Plant Effluent, *Tappi Journal*, 63, 103- 109.
51. Crini, G. (2006). Non-Conventional Low-Cost Adsorbents for Dye Removal: A Review, *Bioresource Technology*, 97, 1061- 1085.
52. Volesky, B. (1999, June). *Sorption for the Next Century*, International Biohydrometallurgy Symposium, El Escorial, Spain.
53. Kertmen, M. (2008). *Fabrika Atıklarının Neden Olduğu Boyar Madde Kirliliklerinin Biyolojik Adsorbent Kullanılarak Sulu Ortamdan Adsorpsiyon Tekniği ile Uzaklaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
54. Cing Yıldırım, S. (2007). *Beyaz Çürükçül Funguslarla Tekstil Boyalarının Renginin Giderimi*, Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
55. Bayramoğlu, G., Yılmaz, M., Arica, M.Y. (2010). Reversible immobilization of laccase to poly(4-vinylpyridine) grafted and Cu(II) chelated magnetic beads: Biodegradation of reactive dyes, *Bioresource Technology*, 101, 6615- 6621.
56. Göksel Dizge, M. (2007). *Trametes versicolor Beyaz Çürükçül Fungusundan Lakkaz Enziminin Saflaştırılması ve Kısmi Nitelendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

57. Fu, Y., Viraraghavan, T. (2002). Removal of Congo Red From an Aqueous Solution by Fungus *Aspergillus niger*, *Advances in Environmental Research*, 7, 239- 247.
58. Nyanhongo, G.S., Gomes, J., Gubitz, G.M., Zvauya, R., Read, J. and Steiner, W. (2002). Decolorization of Textile Dyes by Laccase form a Newly Isolated Starin of *Trametes modesta*, *Water Research*, 36, 1449- 1456.
59. Swamy, J. and Ramsay, J.A. (1999). The Evaluation of White Rot Fungi in the Decoloration of Textile Dyes, *Enzyme and Microbial Technology*, 24, 130- 137.
60. Şahan, A. (2007). *Farmosetik Maddelerin Aktif Çamur Arıtma Prosesinde Abiyotik Gideriminin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
61. Wong, Y.C., Szeto, Y.S., Cheung, W.H., Mckay, G. (2004). Adsorption of Acid Dyes on Chitosan- Equilibrium Isotherm Analyses, *Process Biochemistry*, 39, 693-702.
62. Ho, Y.S., Wang, C.C. (2004). Pseudo-Isotherms for the Sorption of Cadmium Ion onto Tree Fern, *Process Biochemistry*, 39, 759- 763.
63. Bayat, B. (2002). Comparative Study of Adsorption Properties of Turkish Fly Ashes: I. The Case of Nickel(II), Copper(II) and Zinc(II), *Journal of Hazardous Materials*, 95(3), 251- 273.
64. Başıbüyük, M., Forster, C.F. (2003). An Examination of Adsorption Characteristics of a Basic Dye (Maxilon Red BL-N) on to Live Activated Sludge System, *Process Biochemistry*, 38, 1311- 1316.
65. Aksu, Z., Yener, J. (2001). A Comperative Adsorption/Biosorption Study of Mono-Chlorinated Phenols onto Various Sorbents, *Waste Management*, 21, 695- 702.
66. Smith, J.M. (1981). *Chemical Engineering Kinetics*. (Second Edition). London: McGraw-Hill International Book, 287- 347.
67. Chiou, M.S., Li, H.Y. (2002). Equilibrium and Kinetic Modeling of Adsorption of Reactive Dye on Cros Linked Chitosan Beads, *Chemosphere*, 50, 1095- 1105.
68. Keskinan, O., Göksu, M.Z.L., Yüceer, A., Başıbüyük, M., Forster, C.F. (2003). Heavy Metal Adsorption Characteristics of a Submerged Aquatic Plant (*Myriophyllum spicatum*), *Process Biochemistry*, 39(2), 179- 183.
69. Waranusantigul, P., Pokethitiyook, P., Kruatrachue, M., Upatham, E. S. (2003). Kinetics of Basic Dye (Methylene Blue) Biosorption by Giant Duckweed (*Spirodela polyrrhiza*), *Environmental Pollution*, 125, 385- 392.
70. Bozanta, E., Ökmen, G. (2011). Biyosorpsiyon ve Mikroorganizmalar, *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 4(2), 69- 77.
71. Kirby, N., McMullan, G., Marchant, R. (1997). Bioremediation of Textile İndustry Wastewater by White-rot Fungi, *Global Environmental Biotechnology*, 711- 718.

72. Kapdan, I.K., Kargı, F., McMullan, G., Marchant, R. (2000). Effect of Environmental Conditions on Biological Decolorization of Dyestuff by *C. versicolor*, *Enzyme and Microbial Technology*, 26, 381- 387.
73. Libra, J.A., Borchert, M., Banit, S. (2003). Competition Strategies For The Decolorization Of A Textile Reactive Dye With The White Rot Fungi *Trametes versicolor* Under Nonsterile Conditions, *Biotechnology and Bioengineering*, 82(6), 736- 744.
74. Mazmancı, M.A., Ünyayar, A., Erkurt, E.A. (2003, Ekim). *Drimarene X3LR'nin Tutuklanmış Funguslar Tarafından Renk Giderimi*, V.Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Ankara.
75. Nilsson, I., Möller, A., Mattiasson, B., Rubindamayugi, M.S.T., Welandar, U. (2006). Decolorization of Synthetic and Real Textile Wastewater by the Use of White-rot Fungi, *Enzyme and Microbial Technology*, 38, 94- 100.
76. Tarım, Y. (2005). *Organik Kökenli Tekstil Boyalarının Sulu Ortamlardan Uzaklaştırılmasında Trametes trogii'nin Kullanılması*, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
77. Bayramoğlu, G., Çelik, G., Arica, M.Y. (2006). Biosorption of Reactive Blue 4 Dye by Native and Treated Fungus *Phanerocheate chrysosporium*: Batch and Continuous Flow System Studies, *Journal of Hazardous Materials*, B137, 1689- 1697.
78. Arica, M.Y., Bayramoğlu G. (2007). Biosorption of Reactive Red-120 dye from aqueous solution by native and modified fungus biomass preparations of *Lentinus sajor-caju*, *Journal of Hazardous Materials*, 149, 499- 507.
79. Revankar, M.S., Lele, S.S. (2007). Synthetic Dye Decolorization by White Rot Fungus, *Ganoderma* sp. WR-1, *Bioresource Technology*, 98, 775- 780.
80. Arica, M.Y., Bayramoğlu G. (2007). 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 Materials*, 143, 135- 143.
81. Couto, S.R., Herrera, J.L.T. (2006). Industrial and Biotechnological Applications of Laccase: A Review, *Biotechnology Advances*, 24, 500- 513.
82. Taner, T. (2006). *Katyonik Alkil Trimetilamonyum Bromür Surfaktantlar ile C.I. Reactive Orange 16 Etkilesimi*, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
83. Gottlieb, A., Shaw, C., Smith, C., Wheatley, A., Forsythe, S. (2003). The Toxicity of Textile Reactive Azo Dyes After Hydrolysis and Decolourisation, *Journal of Biotechnology*, 101, 49- 56.
84. Yıldırım, S.C. (2007). *Beyaz Çürükçül Funguslarla Tekstil Boyalarının Renginin Giderilmesi*, Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.

85. Demir, G., Özcan, H. K., Elmaslar, E., Borat, M. (2006). Decolorization of azo dyes by the white rot fungus *Phanerochaete chrysosporium*, *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 3, 74- 85.
86. Field, J.A., Sierra-Alvarez, R. (2008). Microbial Transformation and Degredation of Polychlorinated Biphenyls, *Enviromental Pollution*, 155, 1- 12.
87. Lin, Y., He, X., Han, G., Tian, Q., Hu, W. (2011). Removal of Crystal Violet from Aqueous Solution Using Powdered Mycelial Biomass of *Ceriporia lacerata* P2, *Journal of Environmental Sciences*, 23, 2055- 2062.
88. Şam, M. (2006). *Bazı PCB'lerin (Poliklorlu Bifeniller) Enzimatik Yıkımı veya Dehalogenasyonuna Bağlı Detoksifikasyonu Üzerine Bir Araştırma*, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
89. Ruiz-Aguilar, G.M.L., Fernández-Sánchez, J.M., Rodríguez-Vázquez, R., Poggi-Varaldo, H. (2002). Degradation by White-Rot Fungi of High Concentrations of PCB Extracted from a Contaminated Soil, *Advances in Environmental Research*, 6, 559-568.
90. Federici, E., Giubilei, M., Santi, G., Zanaroli, G., Negroni, A., Fava, F., Petruccioli, M., D'Annibale, A., (2012). Bioaugmentation of a historically contaminated soil by polychlorinated biphenyls with *Lentinus tigrinus*, *Microbial Cell Factories*, 23, 11- 35.
91. Bayramoğlu, G., Çelik, G., Arica, M.Y. (2006). Studies on Accumulation of Uranium by Fungus *Lentinus sajor-caju*, *Journal of Hazardous Materials*, 136(2), 345- 353.
92. Maurya, N.S., Mittal, A.K., Cornel, P., Rother, E. (2006). Biosorption of Dyes Using Dead Macro Fungi: Effect of Dye Structure, Ionic Strength and pH, *Bioresource Technology*, 97, 512- 521.
93. Eichlerova, I., Homolka, L., Lisa, L., Nerud, F. (2005). Orange G and Remazol Brilliant Blue R Decolorization by White Rot Fungi *Dichomitus squalens*, *Ischnoderma resinotum* and *Pleurotus calyptratus*, *Chemosphere*, 60, 398- 404.
94. Chander, M., Arora, DS. (2007). Evaluation of some white-rot fungi for their potential to decolourise industrial dyes, *Dyes and Pigments*, 72, 192- 198.
95. Wesenberg, D., Kyriakides, I., Agathos, S.N. (2003). White-Rot Fungi and Their Enzymes for the Treatment of Industrial Dye Effluents, *Biotechnology Advances*, 22, 161- 187.
96. Cajthaml, T., Svobodová, K. (2011). *Microbial Degradation of Xenobiotics*, Berlin: Springer-Verlag, 291- 316.
97. Pinedo-Rivilla, C., Aleu, J., Collado, I.G. (2009). Pollutants Biodegradation by Fungi, *Current Organic Chemistry*, 13, 1194- 1214.
98. Duran, N., Esposito, E. (2000). Potential Applications of Oxidative Enzymes and Phenoloxidase-Like Compounds in Wastewater and Soil Treatment: a Review, *Applied Catalysis B-Environmental*, 28, 83- 99.

99. Eriksson, K.E.L., Bermek, H. (2009). Lignin, Lignocellulose, Ligninase, *Reference Module in Life Sciences: Encyclopedia of Microbiology*. (Third Edition). Oxford: Elsevier, 373- 384.
100. Kuzu, Ö. (2013). *PCB Biyodegradasyonu için Yeni Bir Biyosorbentin Kullanım Potansiyelinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
101. Edwards, S. L., Raag, R., Wariishi, H., Gold, M. H., Poulos, T. L. (1993). Crystal structure of lignin peroxidase, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 90, 750- 754.
102. Breen, A., Singleton, F.L. (1999). Fungi in Lignocellulose Breakdown and Biopulping, *Curr. Opin. Biotech.*, 10, 252- 258.
103. Singh, S.K., Yadav, M., Yadava, S., Singh, K.D.Y. (2011). Coal Depolymerising Activity and Haloperoxidase activity of Mn Peroxidase from *Fomes durissimus* MTC-1173, *Bioinorganic Chemistry and Applications*, 260802.
104. Yang, Y., Ma, F., Yu, H., Fan, F., Wan, X., Jiang, M. (2011). Characterization of a Laccase Gene from the White-Rot Fungi *Trametes* sp. 5930 Isolated from Shennongjia Nature Reserve in China and Studying on the Capability of Decolorization of Different Synthetic Dyes, *Biochemical Engineering Journal*, 57, 13- 22.
105. Birhanlı, E. (2003). *Mikroorganizmaların Lakkaz Üretimine Çesitli Faktörlerin Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
106. Bayramoğlu, G., Arica, M.Y. (2009). Immobilization of Laccase onto Poly(Glycidylmethacrylate) Brush Grafted Poly(Hydroxyethylmethacrylate) Films: Enzymatic Oxidation of Phenolic Compounds, *Materials Science and Engineering*, 29, 1990- 1997.
107. Bayramoğlu, G., Gürsel, İ., Yılmaz, M. (2012) Immobilization of Laccase on İtaconic Acid Grafted and Cu(II) İon Chelated Chitosan Membrane for Bioremediation of Hazardous Materials, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 87, 530- 539.
108. Chakraborty, S., Chowdhury, S., Das Saha, P. (2011). Adsorption of Crystal Violet From Aqueous Solution Onto NaOH-Modified Rice Husk, *Carbohydrate Polymers*, 86, 1533- 1541.
109. El-Sayed, G.O. (2011). Removal of Methylene Blue and Crystal Violet from Aqueous Solutions by Palm Kernel Fiber, *Desalination*, 272, 225- 232.
110. Altıntaş, B. (2011). *Tekstil Boyalarının Lakkaz Enzimi Kullanılarak Atık Sulardan Giderilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SEYHAN, Lütfiye Pelin
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 28.08.1990, Ankara
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (537) 767 76 08
E-mail : lutfiye.pelin.seyhan@gazi.edu.tr
lpseyhan@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Biyoloji	Devam Ediyor
Lisans	Anadolu Üniversitesi /Biyoloji	2013
Lise	Ankara 75.Yıl Lisesi	2007

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2016-Halen	Acıbadem Eskişehir Hastanesi	Üreme Sağlığı Teknisyeni

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Dağcılık, doğa yürüyüşü, kampçılık, kitap okuma



GAZİ GELECEKTİR..