

**ÇEŞİTLİ FUNGUS TÜRLERİNİN BAZI TEKSTİL BOYA
ATIKLARININ RENK GİDERİMİ ÜZERİNE ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF VARIOUS FUNGI ON
DECOLOURIZATION OF SOME TEXTILE DYES**

SOLAT REZAEİ

PROF. DR. NİLÜFER CİHANGİR
Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Biyoloji Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

2014

SOLAT REZAEI'nin hazırladığı "**Çeşitli Fungus Türlerinin Bazı Tekstil Boya Atıklarının Renk Giderimi Üzerine Etkisinin Araştırılması**" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **BİYOLOJİ ANABİLİM DALI'** nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Emir CANSUNAR
Başkan

Prof. Dr. Nilüfer CİHANGİR
Danışman

Prof. Dr. Nevin KESKİN
Üye

Prof. Dr. Sumru ÇITAK
Üye

Doç. Dr. Işıl Seyis BİLKEY
Üye

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fatma SEVİN DÜZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK

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

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

beyan ederim.

11/12/2014

SOLAT REZAEİ

ÖZET

ÇEŞİTLİ FUNGUS TÜRLERİNİN BAZI TEKSTİL BOYA ATIKLARININ RENK GİDERİMİ ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

SOLAT REZAEİ

Yüksek Lisans, Biyoloji Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. NİLÜFER CİHANGİR

ARALIK 2014, 60 sayfa

Bu çalışmada alternatif fungal kültür kullanılarak boya giderimi amaçlandı. İncelenen funguslar arasında *Funalia trogii* nin en yüksek boya giderimi potansiyeline sahip olduğu saptandı ve yüksek dekolorizasyon değerini elde etmek için bazı kültürel parametreler optimize edildi. Üretim ortamındaki karbon ve azot kaynaklarının etkisi incelendiğinde boya giderimi için karbon kaynağı olarak glukoz ve azot kaynağı olarak NH_4NO_3 'n uygun olduğu saptandı. En yüksek dekolorizasyonu elde etmek için kültür ortamının fizyolojik koşulları incelendiğinde 0,2 g/L NH_4NO_3 ve 30 g/L glukoz içeren pH değeri 5 olan kültür ortamında, 30°C' de, 150 rpm uygun olduğu görüldü. Optimize koşullarda elde edilen sonuçlar başlangıç koşulları ile kıyaslandığında dekolorizasyonda artış gözlemlendi.

Anahtar Kelimeler:

Danışman: Prof. Dr. Nilüfer CİHANGİR, Hacettepe Üniversitesi, Biyoloji Bölümü,
Biyoteknoloji Anabilim Dalı

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF VARIOUS FUNGI ON DECOLOURIZATION OF SOME TEXTILE DYES

SOLAT REZAEİ

Master of Science, Department of Biology

Supervisor: Prof. Dr. Nilüfer CİHANGİR

DECEMBER

2014, 60 pages

The objective of this study was to investigate decolorization through using various fungal cultures. Among the fungi investigated, *Funalia trogii* was found to have the highest potential for decolorization, and among the colors examined, Solazol Blue SPBRF H/C had the highest rate in decolorization. Moreover, in order to get the highest rate of decolorization, cultural parameters were optimized. When the effect of carbon and nitrogen sources were scrutinized in the production medium, it was found that glucose as the carbon source and NH_4NO_3 as the nitrogen source were the most suitable sources. To obtain the highest decolorization, the physiological conditions of the cultural medium were examined. In light of these findings, 0.2 g/L NH_4NO_3 and 30 g/L containing glucose in a 5 pH cultural medium, rotation speed of 150 rpm was found to be suitable for decolorization process. Compared with the initial conditions, the results obtained within optimization conditions indicated an increase in the decolorization rate.

Keywords:

Advisor: Prof. Dr. Nilüfer CİHANGİR, Hacettepe University, Department of Biology,
Biotechnology Section

TEŞEKKÜR

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

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

Tez çalışmalarım boyunca bilgi ve tecrübeleriyle bana katkıda bulunan Sayın Prof. Dr. Emir CANSUNAR ve Sayın Doç. Dr. Işıl Seyis Bilkay'a teşekkür ederim.

Her koşulda sabırla yanımda olan, beni bugüne kadar yetiştiren annem ve babama teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarımda büyük yardımı olan değerli arkadaşım Yusuf Doruk ARACAGÖK'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans döneminde hep beraber çalıştığımız, birbirimize her koşulda destek olduğumuz Navid YAKHDANSAZ, Özgecan ERDEM 'e Muhammed Hasan AKYIL, Sebahat TEKCAN DÜĞENCİ' ye, Kübra ERKAN' a, Gözde KOŞARSOY, Biyoteknoloji anabilim dalı hocaları ve öğrencilerine, teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
1.GİRİŞ	1
2.GENELBİLGİLER.....	3
2.1.Boyar maddelerin tarihçesi	3
2.2.RENK ve Boyar maddeler ile ilgili genel bilgi.....	3
2.2.1.RENK.....	3
2.2.2.Renk teorileri	4
2.3.Boyar maddelerin sınıflandırılması	5
2.3.1:Boyar maddelerin kimyasal yapısına göre sınıflandırması	6
2.3.1.1.Azo Boyar maddeler	6
2.3.1.2. Nitro ve Nitrozo Boyar maddeler	6
2.3.1.3. Polimetin Boyar maddeler	7
2.3.1.4 Arilmetin Boyar maddeleri	7
2.3.1.5. Aza annulen Boyar maddeleri	7

2.3.1.6.Karbonil Boyar maddeler	7
2. 3.1.7.Kükürt Boyar maddeler	8
2.3.2 Boyama özelliğine göre boyar maddeler	8
2.3.2. 1. Küpe Boyar maddeler	8
2. 3.2.2.Direkt Boyar maddeler	8
2. 3.2.3.Reaktif Boyar maddeler	8
2. 3.2.4.Dispers Boyar maddeler	9
2. 3.2.5- Asit Boyar Maddeler	10
2.3.2.6- Bazik Boyar Maddeler	10
2.3.3. Boyar maddelerin Çözünürlüklerine Göre Sınıflandırılması	10
2. 3.3.1.Suda çözünen boyar maddeler.....	11
2. 3.3.2. Suda Çözünmeyen Boyar Maddeler	11
2.4.Boyar madde Giderim Yöntemleri	11
2.4.1.Tekstil Atık Sularında Renk Giderme Yöntemleri	11
2.4.1.1.Kimyasal yöntemler	13
2.4.1.2. Fiziksel yöntemler	17
2.4.1.3.Biyolojik Yöntemler	19
2.4.1.4.Biyoteknoloji	22
2.5. Dekolorizasyonla ilgili Yapılmış Bazı Çalışmalar	26
3.MATERYAL ve YÖNTEM.....	30
3.1.1 Çalışmada Kullanılan Boyar maddeler	30

3.1.2 Çalışmada Kullanılan Mikroorganizmalar	33
3.1.3.Besiyeri ve içerikleri	33
3.2 YÖNTEMLER	34
3. 2.1. Boyar madde absorpsiyon spektrumu çıkarması	34
3.2.2: Mikroorganizmaların Üretimi	35
3.2.4. Dekolorizasyon Çalışmaları	35
3.2.5.Dekolorizasyon yeteneğine sahip en uygun mikroorganizmanın belirlenmesi	36
3. 3.Dekolorizasyon için uygun koşulların belirlenmesi	36
3.3.1:Çalkalamalı inkübasyonda çalkalama hızının dekolorizasyona etkisini araştırılması	36
3.3.2.Boya giderimi için uygun sıcaklığın araştırılması	36
3.3.3. Uygun PH Değerinin araştırılması	37
3.3.4.Üreme ortamına ilave edilen Azot kaynaklarının boya giderimi üzerine etkisinin araştırılması	37
3.3.5.Üreme ortamında Amonyum Nitrat miktarının, dekolorizasyon üzerine etkisinin araştırılması.....	37
3.3.6: Üreme ortamına ilave edilen Karbon kaynaklarının boya giderimi üzerine etkisinin araştırılması.....	38
3.3.7. Üreme ortamında Glukoz miktarının, dekolorizasyon üzerine etkisinin araştırılması	38
3.3.8. Başlangıç koşulları ile optimize edilmiş koşulların Boya Giderimi açısından karşılaştırılması	38
3. 4. Lakkaz Üretimi.....	39
3. 5.Lakkaz Aktivitesinin Ölçümü	39

3. 6. Elde Edilen Ham Lakkaz ile Boya Giderimi	40
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	41
4.1.Maksimum Dekolorizasyon Gerçekleştiren Fungus Suşunun seçimi	42
4.2 Dekolorizasyon için Optimum Koşulların Belirlenmesi	44
4.2.1 <i>Funalia trogii</i> Kültüründe Çalkalama Hızının Boya Giderimine Etkisi	44
4.3. <i>Funalia trogii</i> Kültüründe İnkübasyon sıcaklığının Boya Giderimine Etkisi	47
4.4. <i>Funalia trogii</i> Kültüründe PH değerinin Boya Giderimine Etkisi	48
4.5. <i>Funalia trogii</i> Kültüründe Farklı Azot kaynağının Boya Giderimine Etkisi	50
4.5. <i>Funalia trogii</i> Kültüründe NH_4NO_3 Miktarının Boya Giderimine Etkisi	51
4.6. <i>Funalia trogii</i> Kültüründe Farklı Karbon kaynağının Boya Giderimine Etkisi ...	53
4.7. <i>Funalia trogii</i> Kültüründe Glukoz Miktarının Boya Giderimine Etkisi	54
4.8.Başlangıç Üretim Koşulları ile Optimize Edilmiş Koşulların Karşılaştırılması ..	55
4.9.Ham Lakkaz ile Dekolorizasyon	56
KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ	69

SİMGELER VE KISALTMALAR

gr	:	Gram
L	:	Litre
mg	:	Miligram
mL	:	Mililitre
mM	:	Milimolar
r.p.m	:	Dakikadaki Devir Sayısı (Revolution Per Minute)
°C	:	Santigrad Derece
U/ml	:	Ünite/mililitre
µl	:	mikrolitre

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Reaktif boyar maddelerin şematik yapısı	9
Şekil 3.1. Direct Yellow 29	31
Şekil 3.2. Basic Red 46.....	31
Şekil 3.3. Reactive Black 5	31
Şekil 3.4. Direct Blue 71	32
Şekil 3.5. Basic Yellow 13.....	32
Şekil 3.6. Reactive yellow 15	32
Şekil 4.1. Çalkalama Hızının Boya Gideriminde Etkisi.....	44
Şekil 4.2. 0.05gr/l Direct Blue 71 tekstil boyası kullanılarak yürütülen çalkalamalı çalışmalara ait sonuçlar	46
Şekil 4.3. 0.05gr/l Direct Blue 71 boyası kullanılarak yürütülen statik çalışmalara ait sonuçlar	46
Şekil 4.4. İnkübasyon Sıcaklığının Boya Giderimine Etkisi	47
Şekil 4.5. <i>Funalia trogii</i> Kültüründe PH Değerinin Boya Giderimine Etkisi	49
Şekil 4.6. <i>Funalia trogii</i> Kültüründe Farklı Azot Kaynaklarının Boya Giderim ve Lakkaz Aktivitesine Etkisi	50
Şekil 4.7. <i>Funalia trogii</i> Kültüründe Uygun azot Miktarının Boya Giderimine Etkisi. Üretimler.....	52
Şekil 4.8. <i>Funalia trogii</i> Kültüründe Uygun Karbon Kaynağının Boya Giderimine Etkisi	53

Şekil 4.9. <i>Funalia trogii</i> Kültüründe Uygun Karbon Miktarının Boya Giderimine Etkisi	54
Şekil 4.10. Başlangıç Üretim ile Optimize edilmiş koşullarında Enzim aktivitesi ve Boya giderimi açısından karşılaştırılması	56
Şekil 4.11 Elde Edilen Ham Lakkaz İle Boya Giderimi	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1,1: Işık absorpsiyonu ve cisimlerin görünen rengi	4
Çizelge.3.1 Çalışmada kullanılan boyar maddelerin ticari isimleri, C.I ve maksimum absorbans değerleri.....	30
Çizelge.4,1. Çalışmada kullanılan fungusların dekolorizasyon yüzdesi	43

1.GİRİŞ

Günümüzde çevre sorunları ve buna paralel olarak sorunların çözümüne yönelik çalışmalar giderek artmaktadır. Nüfus artışı, programsız kentleşme, arıtım tesisi gibi üniteleri içermeyen sanayi bölgeleri ve birçok benzer nedenden dolayı günümüzde çevre sorunları ile karşılaşmaktayız. Boyar maddeler gibi atık maddelerin doğaya terk edilmesi ne yazık ki gün geçtikçe artmaktadır ve canlı hayatının temel taşlarından olan su, toprak ve havada ciddi problemlere yol açmaktadır [1].

Tekstil ve boyar madde üretim endüstrilerinden çıkan ve boyar madde içeren atık suların, arıtılması en güç atık sulardan biri olduğu belirtilmektedir. Bunun nedeni boyar maddelerin genellikle sentetik kaynaklı ve kompleks aromatik moleküler yapıya sahip olmaları ve bu yapıların boyar maddeleri daha kararlı ve biyolojik parçalanmaya karşı dirençli hale getirmesi olarak belirtilmiştir. Arıtımda en önemli sorun atık suların içerdiği boyar maddelerin kimyasal ve fiziksel özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Atık sularda renk giderimi işlemi yapılmadan, alıcı ortamlara verilmesi önemli çevre sorunlarına yol açıp ve çevre problemlerine neden olmaktadır. Tekstil ve boyama endüstrilerinde sentetik boyaların kullanımı bu boyaların sentezinin kolay ve ucuz olması, oldukça dayanıklı ve doğal boyalarla karşılaştırıldığında renklerinin oldukça çeşitli olmaları nedeniyle giderek artmaktadır [2].

Ticari boyar maddelerin renkleri, içerdikleri kompleks kromofor sisteminden kaynaklanmaktadır. Bu boyar maddelerin, güneş ışığına ve yıkama proseslerine oldukça dayanıklı oldukları ve ayrıca mikrobiyal parçalanmaya karşı direnç gösterdikleri belirtilmektedir. Her yıl dünyada 10000 farklı boyar madde üretilmekte olduğu bu boyar maddelerin yaklaşık %10'unun endüstriyel atık sularla atıldığı belirtilmiştir [3].

Son yıllarda su kirliliği kontrolü önem kazanmıştır. Atık sudaki renk, gözle görülebilir olduğundan sucul ortamlarda olumsuz bir görünüm yarattığı, suyun geçirgenliğini ve gaz çözünürlüğünü etkilediği belirtilmektedir. Alıcı ortamlarda boyar madde konsantrasyonuna bağlı olarak nehirlerdeki rengin giderek artması nedeniyle nehirlerin ışık geçirgenliği azalmaktadır. Çünkü boyar maddeler 400–

700 nm arasında görünür ışığı absorbe ederek alıcı su ortamlarındaki primer üreticilerin fotosentezini engellemekte ve primer üreticilerin yok olmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda nehirlerdeki ekosistem ciddi şekilde etkilenmektedir [4].

Boyar maddeler karsinojenik ve toksik etkilerinden dolayı da canlılar üzerinde olumsuz etkilerinin olduğu belirtilmiştir . Alıcı su kaynaklarına verilen bunun gibi boyar maddelerin çok düşük konsantrasyonları bile istenmeyen bir durumdur. Bu nedenle boyar maddeler içeren tekstil endüstrisi atık sularından renk giderimi önem kazanmaktadır [5].

Günümüzde atık sulardan boyar maddelerin giderimi büyük oranda fiziksel ve kimyasal yöntemler ile gerçekleştirilmektedir. Ancak bu yöntemlerin maliyetinin oldukça yüksek olması ve ortaya çıkan büyük miktarda konsantre çamurun yok edilmesi problemlere neden olmaktadır. Bu nedenle atık suların boyar maddelerden arınması için etkili ve ekonomik olan biyolojik sistemler gibi alternatif yöntemlere gereksinim vardır [6].

2.GENEL BİLGİ

2.1.Boyar Maddelerin Tarihçesi

İnsanlar giysilerini, deri ve eşyalarını boyamak için ilk çağlardan beri boyar maddeleri kullanmışlardır. Literatüre göre 19. Yüzyılın başına kadar tüm boyalar, bitkilerden, likenlerden, böceklerden ve funguslar gibi doğal kaynaklardan elde edilmiştir. Dünyanın ilk ticari ve sentetik boyası 1856 William Henry tarafından bulunmuştur. Sentetik boyaların kullanımı 19.yüzyılın sonlarına dayanmaktadır. 2000 'li yıllarda yaklaşık altı yüz bin ton boya üretilip ve Çin, Hindistan, Güney Kore Doğu Avrupa ve Tayvan 'da tüketildiği belirtilmiştir.1995'den itibaren Çin boyalı atık üretim açısından en önde giden ülke olup ve halen liderliğini sürdürmektedir. Dünyada yıllık tekstil boyası üretimi 800 bin ton olduğu tahmin edilmektedir. Dünya çapındaki boya piyasası 6,6 milyar dolarken Asyalı ülkeler son on yılda 2,7 milyar dolar ile ve batılı ülkeler boya firmaları piyasanın yaklaşık yarısını elde tutmaktadır. Türkiye'de (İstanbul) bir tekstil fabrikasından çevreye bırakılan atık su miktarının 140 bin ton olduğu bildirilmiştir. Buna ilaveten boyamada kullanılan yardımcı kimyasal maddelerin miktarı da yaklaşık 700 ton olmuştur. Tek bir fabrika açısından düşünüldüğünde, ülke çapında tüm tekstil boya sanayinden açığa çıkan atık su miktarı oldukça fazla olmaktadır [1],[3],[7].

2.2.Renk ve Boyar Maddeler İle İlgili Genel Bilgi

2.2.1. Renk

Renk, ışıktan meydana gelmektedir. Işığın kuvveti her ne kadar yüksek ise, görünen rengin de parlaklığı ve kuvveti o kadar yüksek ve sağlamdır. Işık olmayan yerde renk mevcut değildir. Bir cismin üzerine düşen ışık tamamını yansıtıyorsa, yansıyan ışık beyaz olarak görünür. Buna karşılık cisim, gelen ışığı tamamen absorblayıp hiç yansıtıyorsa görünen renk siyahtır. Cisim, üzerine düşen beyaz ışıktan, belli dalga boyundaki ışıkları absorbe ediyorsa, beyaz ışıktan geri kalanlar yansır ve bu yansıyan ışık veya ışıklar dalga boyuna bağlı olarak bir renkte

görünür. Cisimlerin güneş ışığından absorbe ettikleri ışığın dalga boyuna göre, görünmekte oldukları renk 1,1 çizelge 'de verilmiştir [8].

Çizelge 1,1: Işık absorpsiyonu ve cisimlerin görünen rengi

Absorplanan Işık Dalga Boyu (nm)	Renk	Cismin Görünen Rengi
400-500	Menekşe	Sarımsı yeşil
440-480	Mavi	Sarı
480-490	Yeşilimsi Mavi	Turuncu
490-500	Mavimsi Yeşil	Kırmızı
500-560	Yeşil	Mor
560-580	Sarımsı Yeşil	Menekşe
580-595	Sarı	Mavi
595-605	Turuncu	Yeşilimsi Mavi
605-750	Kırmızı	Mavimsi Yeşil

2.2.2. Renk Teorileri

Başere ve ark. Göre 1968 yılında Garbe ve Liberman tarafından yapılan denemelerde, renkli organik bileşiklere hidrojen katıldığında rengin kaybolduğunu aynı bileşiklerden hidrojen çıkarıldığında ise rengin tekrar ortaya çıktığı görüntülenmiştir. Bu denemenin sonucu organik bileşiklerin renkli olmasını doymamış karakterde olmaları ile ilişkili olduğunu tespit etmektedir [8].

Bu çalışmaya dayanarak yapılan diğer çalışma ise 1876 de Kromofor teorisidir. Witt bir bileşiğin renkliliğini o bileşiğin molekülündeki doymamış karakterde bulunan nitrozo (-N=O), nitro (-NO₂), karbonil (>C=O), azo (-N=N-) gibi gruplar ile zayıf asidik veya zayıf bazik karakterde hidroksil (-OH), amino (-NH₂) gibi grupların bulunması ile ve bunların karşılıklı etkileşiminden meydana geldiğini

kanıtlamıştır. Doymamış karakterde gruplara Kromofor veya renk verici diğer grup ise renk arttırıcı veya Oksokrom, bunları taşıyan bileşikler de Kromojen olarak isimlendirilmiştir [8].

2.3. Boyar Maddelerin Sınıflandırılması

Boyar maddelerin sınıflandırılması çeşitli şekilde yapılabilmektedir. Sınıflandırmada kimyasal yapı, boyama özellikleri, çözünürlük, kullanım yerleri gibi çeşitli özellikleri göz önüne alınarak yapılmaktadır.

Boyar maddelerin çözünürlüklerine göre sınıflandırılması:

Boyar maddelerin kimyasal yapılarına göre sınıflandırılması

1. Azo boyar maddeler
2. Nitro ve nitrozo boyar maddeler
3. Polimetin boyar maddeler
4. Arilmetin boyar maddeler
5. Aza annulen boyar maddeler
6. Karbonil boyar maddeler
7. Kükürt boyar maddeler.[8]
1. Suda çözünen boyar maddeler
 - Anyonik boyar maddeler
 - Katyonik boyar maddeler
 - Noniyonik boyar maddeler
2. Suda çözünmeyen boyar maddeler [8].

Boyar maddelerin boyama özelliklerine göre sınıflandırılması

1. Küpe boyar maddeleri
2. Direkt boyar maddeler
3. Reaktif boyar maddeler
4. Dispers boyar maddeler
5. Asit boyar maddeler
6. Bazik boyar maddeler [9].

2.3.1. Boyar Maddelerin Kimyasal Yapısına Göre Sınıflandırması

2.3.1.1. AZO Boyar Maddeler

Sayısı oldukça fazla olan Azo boyar maddeler, organik boyar maddelerin en önemli sınıfını oluşturmakta olup, kükürt ve küpe dışında tüm boyama yöntemlerinde kullanılmaktadır. Karakterizasyon işlemleri ise yapılarındaki Kromofor grubu olan azo (-N=N) grup ile edilmektedir. Azo boyar maddeler, yapısında amino- ya da oksi-grup olduğundan dolayı bazik veya asidik özellik göstermektedirler. Azo boyar maddelerin asidik özellikleri, molekül yapısında sülfogrupları bulunduğu yükselmektedir. Yapısında sülfogrup olan azo boyar maddeleri Na- tuzları (çözünen azo boyalar), Ba ve Ca- tuzları olarak (çözünmeyen azo boyalar, laklar) kullanılmaktadırlar [8].

Yapısında sülfogrup ve karboksil-grup olmayan azo boyar maddeler suda çözünmezler. Bu tip boyar maddeler, pigment boyar maddeler grubunda yer almaktadırlar. Ayrıca yağlarda çözünen azo boyar maddeler de bulunmaktadır. Bunlar yağlarda, alkollerde, benzende ve diğer organik çözücülerde ve suda çözünmektedirler. Bu boyaların yapısında sülfogrupları ve halojenler bulunmamaktadır [8].

En yaygın ve sentetik olarak üretilen azo grubu boyar maddeler suda kolayca çözülme ve düşük derece de degradable göstermeleri nedeniyle çevre kirliliği açısından en problemliler olarak tanımlanmaktadırlar. Azo boyar maddeler yapısında bulunan azo grubu sayısına bağlı olarak Mono-azo, Di-azo, Tri-azo ve Poli-azo boyar maddeler isimlendiriliyorlar [10].

2.3.1.2. Nitro ve Nitrozo Boyar Maddeler

En eski sentetik boyalar olan bu sınıf, kimyasal yapısında birbirine göre orta konumda bulunan Nitro veya Nitrozo grubu ile birlikte elektron verici grup içerir. O-nitrozofenol ve O-nitrozonaftolün türevleri olarak bilinen nitrozo boyalar diğer boyar maddelerin sentezinde de kullanılmaktadırlar [8].

2.3.1.3.Polimetin Boyar Maddeler

Renkli bileşikler arasında büyük bir grup oluşturan polimetin boyar maddeleri, yapılarında bulunmuş olan q yükünü göz önüne alarak sınıflandırılma imkanını sağlamaktalar. Q pozitif yüküne sahip ise katyonik, negatif ise anyonik ve yüksüz ise nötral polimetin boyar maddeler olarak isimlendirilmektedir. En önemli kullanım alanları, elektrofotografik film kopya işleminde ışık duyarıcısı olarak kullanılmalarıdır [8].

2.3.1.4.Arilmetin Boyar Maddeleri

Genel formülleri Ar-X-Ar şeklinde gösterilmekte olan bu sınıf boyar maddeler de X 'in olduğu durumu göz önüne alarak adlandırılır. Bu formülde X yerine -CH veya N olabilir. X in -CH₂ olduğu durumlarda bu bileşiklere diarikarbonyum -C (Ar) = şeklindekiler ise triarilkarbonyum bileşikler adı verilir. Bu grup-N=ise aza türevidir. Bütün arilmetin boyar maddelerinde ve bunların aza analoglarında X le gösterilen bu grup absorpsiyon sisteminin temel parçasıdır. Bu tür boyar maddelerin sayısız reaksiyonları bu grubun elektrofilik özelliğine dayanır [8].

2.3.1.5. Azo Annulen Boyar Maddeleri

Ardı ardına C=C ve C-C bağlarından ibaret olan monosiklik halka [n] Annulen olarak da adlandırılabilir. Bu yapıyı bulunduran maddeler Annulen boyar maddeleri olarak adlandırılır [8].

2.3.1.6.Karbonil Boyar Maddeler

Molekül yapısında konjuge çift bağlar ve bunları konjuge durumda en az iki karbonil gurubu içeren bileşiklere karbonil boyar maddeleri adı verilir. İndigo ve antrakınon yapısında olmak üzere iki alt sınıfa ayrılır [8].

2.3.1.7.Kükürt Boyar Maddeler

Aromatik aminlerin, fenollerin, kükürt ve sodyum sülfür veya sodyum polisülfür ile reaksiyondan meydana gelen, suda çözünmeyen, makromoleküler yapılı, renkli organik bileşikler kükürt boyar maddeleri olarak adlandırılır [8].

2.3.2. Boyama Özelliğine Göre Boyar Maddeler

2.3.2. 1. Küpe Boyar maddeler

Suda çözünmeyen ve karbonik grubu içeren boyar maddelerdir. İndirgeme yolu ile suda çözünür hale getirilir ve bu halde iken gerek bitkisel gerek hayvansal liflerin boyamasında kolayca kullanılır. Daha sonra elyafa bağlı iken oksidasyon ile tekrar çözünmez hale getirilmektedirler. İndirgen olarak sodyum ditiyonit ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$), oksidasyon için hava oksijeni kullanır. İndirgenme sonucu boyar madde molekülün de bulunmuş olan keto grubu enol grubuna dönüşür [11].

2.3.2.2.Direkt Boyar maddeler

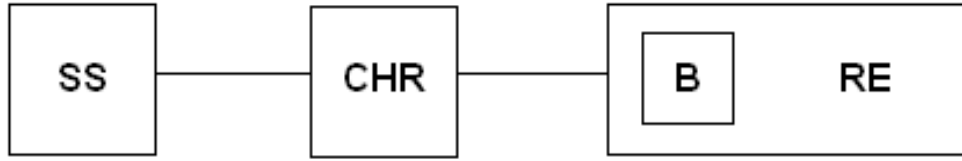
Genellikle sülfonik asitlerin, bazen de karboksilik asitlerin sodyum tuzlarıdır. Yapısal olarak direkt ve asit boyar maddeler arasında kesin bir sınır olmadığından boyama yöntemi farklılık göstermektedir. Direkt boyar maddeler sınıfı, boyama işlemlerinin basit oluşu, düşük maliyetli ve boyama esnasında elyafa zarar vermemek gibi üstün özellikler nedeniyle önemli yere sahiptir. Genel olarak selülozik elyafların boyamasında kullanılmakta ancak bu sınıf boyar maddeler kağıt, deri, yün, ipek ve naylon boyamasında da kullanılmaktadır [9].

2.3.2.3-Reaktif Boyar maddeler

Tekstil endüstrisinde selüloz liflerinin boyanması için en yaygın olarak kullanılmakta olan bir boyar madde sınıfıdır.[12].Suda çözünen boyar maddeler grubuna girmekte olan Reaktif boyar maddeler, ayrıca elyaf ile kovalent bağ oluşturan tek renklendiricilerdir.[13].Reaktif boyaların yaklaşık %80'i azo kromojen bazlıdır. Azo boyalar en fazla renk ve yapı çeşitliğine sahip olan sentetik boya grubudur.[14]Bütün reaktif boyar maddelerin yapısı Kromofor taşıyan renkli grup,

moleküler çözünürlük sağlayan grup ve tepkimeye giren 3 ana gruptan oluşmaktadır [15].

Şekil 2,1.Reaktif boyar maddelerin şematik yapısı



SS: Çözünürlük sağlayan grubu,
CHR: Kromofor grubunu,
B: Köprü grubunu,
RE: Reaktif grubu simgelemektedir

SS grubu reaktif boyar maddenin suda çözünmesini sağlar. CHR renk verici olarak tanımlanır. B grubu CHR grupla RE grup arasında bağ oluşturur. RE grup Elyaftaki fonksiyonel grup ile kovalent bağ oluşturan gruptur. Örneği Reaktif grup, selülozda reaksiyon verebilecek olan grup (hidroksil) kökleriyle kimyasal etkileşime girerek boyar maddenin liflere çekilmesini sağlar [15].

2.3.2.4- Dispers Boyar maddeler

Hidrofob karakterli, suda çözünmeyen veya çok az miktarda çözünen boyar maddelerdir. Dispersiyon boyar maddeleri iki formda bulunur;

- Mikrodispers granüller veya toz boyar maddeler
- Sıvı boyar maddeler [16].

2.3.2.5- Asit Boyar Maddeler

Direkt boyar maddeler gibi moleküler ağırlıkları 300-500 arasında olan sülfonik asitlerin tuzlarıdır [9]. Boyama işleminin asidik banyolar da yapılması ve hemen hemen hepsinin organik asitlerin tuzları olması nedeniyle bu ismi alan asit boyar maddeler, genellikle hayvansal liflere,(yün ve ipeğe) uygulanan önemli sınıf olmakla birlikte bitkisel liflere uygulanmadığı bilinmektedir [18].

2.3.2.6- Bazik Boyar Maddeler

En karakteristik özellikleri parlaklık ve renk şiddeti olarak bilinen Bazik boyar maddeler, organik bazların hidroklorürleri şeklinde olup, katyonik grubu renkli kısımda taşırlar[8]. Bazik boyar maddeler, Yün, ipek ve pamuk üzerinde ışığa ve yıkamaya karşı dayanıklılığının çok düşük olması nedeniyle pamuk boyacılığında önemini kaybetmiş ve yerini günümüzde Reaktif boyar maddeler ile pamuk üzerinde daha parlak renkler elde edilebilen boyar madde sınıfına vermiştir [9].

2.3.3. Boyar Maddelerin Çözünürlüklerine Göre Sınıflandırılması

Başer ve İnanıcı (1990), Boyar maddeler; sudaki çözünürlüklerine göre, suda çözünen boyar maddeler ve suda çözünmeyen boyar maddeler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır [8].

2.3.3.1.Suda Çözünen Boyar Maddeler

Suda çözünen boyar madde molekülleri en az bir tane tuz oluşturabilen grup taşımaktadırlar. Boyar maddenin sentezi sırasında kullanılan başlangıç maddeleri suda çözünen grup içermiyorsa, bu grup boyar madde molekülüne sonradan eklenerek de çözünürlük sağlanabilir. Ancak tercih edilen yöntem, boyar madde sentezinde başlangıç maddelerinin iyonik grup içermesidir. Suda çözünebilir boyar maddeler tuz oluşturabilen grubun karakterine göre üçe ayrılır [8].

- **Suda Çözünen Anyonik Boyar Maddeler**

Suda çözünen grup olarak en çok sülfonik (-SO₃-) , kısmen de karboksilik (-COO-) asitlerin sodyum tuzlarını içerirler: (-SO₃Na ve -COONa). Boyama özelliklerine göre sınıflandırmadaki asit ve direkt boyar maddeler bu tipin örnekleridir [8].

- **Suda Çözünen Katyonik Boyar Maddeler**

Moleküldeki çözünürlüğü, sağlayan -NH₂ gibi bir bazik grup asitlerle tuz teşkil etmiş halde bulunur. Bu gruba giren boyar maddelerin anorganik asitler (HCl) ya da organik asitler (COOH)₂ ile tepkimeleri sonucu tuzları oluşturulmakta ve tuzları olarak kullanılmaktadır [11].

- **Zwitter İyon Karakterli Boyar maddeler**

Veya Noniyonik boyar maddeler ki bunların molekülünde hem asidik hem de bazik grupları bulunur. Bunlar bir iç tuz oluştururlar. Boyama sırasında bazik veya nötral ortamda anyonik boyar madde gibi davranış gösterirler[8],[11].

2.3.3.2. Suda Çözünmeyen Boyar Maddeler

Tekstilde ve diğer alanlarda kullanılan ve suda çözünmeyen boyar maddeleri çeşitli gruplara ayırmak mümkündür. Bunlar; Substratta çözünen, Organik çözücülerde çözünen, Geçici çözünürlüğü olan, Polikondenzasyon, elyaf içinde oluşturulan boyar maddeler ve pigmentlerdir [8].

2.4. Boyar Madde Giderim Yöntemleri

2.4.1. Tekstil Atık Sularında Renk Giderme Yöntemleri

Geçmişte tekstil fabrikalarının atık sularının arıtılmasında genellikle belediye işletme sistemleri kullanılmaktaydı. Dünyada endüstriyel gelişmeye bağlı olarak toksik ağır metallerin ve boyar maddelerin neden olduğu çevre kirlenmesinin

artması karşın son yirmi yıldır atık sulardan ağır metal ve boyar maddelerin uzaklaştırmasına yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Tekstil atık sularının deşarj sınırlarını sağlayacak şekilde arıtılması için kullanılan geleneksel arıtım işlemleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtımı içermektedir [17],[20].

Renk giderimi tekniklerinin hızı ve uygulama kolaylığı tekstil endüstrisindeki en önemli sorundur. Bu süreçlerin seçimi için, tesis ve işletme masrafları, arazi gereksinimi, atık su özelliklerindeki değişikliklere karşın istenilen çıkış suyu kalitesinin sağlanması gibi hususlar göz önüne alınmalıdır [21].

Tekstil endüstrisinde kirletici bileşenlerin arıtılmasında kullanılan teknolojiler;

a. Askıda katı madde giderimi

- Izgaradan geçirme
- Çökeltme
- Filtrasyon
- Flotasyon

b. BOD/KOD azaltma yöntemleri

- Lagünler
- Aktif çamur
- Besi maddesi ilavesi
- Sabit yataklı biyolojik reaktörler
- Damlatmalı filtrele
- Döner diskler
- Aktif karbon adsorpsiyonu
- Kimyasal pıhtılaştırma

c. Yağ ve gres giderme

d. Krom giderme

e. Renk giderme

f. Fenolik bileşiklerin giderilmesi

g. Fosfat azaltma

h. Azot azaltma

i. Çamur azaltma.

Atık suların arıtımı için genellikle aktif çamur ve sonrası kimyasal çöktürme işlemleri uygulanmaktadır. Ancak azo boyaların hidrofilik özelliği nedeniyle

kimyasal çökeltme işlemleri azo boyaların arıtımı için yetersizdir ve uygun olmamaktadır. Vat boyalar için kimyasal yöntemler yaygındır. Aktif çamurdan sonra çeşitli kimyasal çöktürücüler ile bu boyalar çöktürülmektedir. Fakat çöktürme işleminin maliyetinin yüksek olması ve işlem sonrası yüksek miktarda aktif çamurun açığa çıkmasıdır. Uygulanmakta olan diğer işlem ise biyolojik yöntemlerdir. Maliyetinin düşük olması yanı sıra biyolojik çözümler hem boyalı atık suların yıkımını gerçekleştirmekte, hem de KOİ ve BOİ değerlerini düşürmektedir ve işlem sonrası kimyasal yöntemlere göre daha düşük miktarda aktif çamur açığa çıkmaktadır [20],[22],[23].

Boyar madde içeren atık sulardan renk giderimi için kullanılan kesin bir yöntem yoktur ancak atık suyun gösterdiği çeşide göre kullanılacak olan arıtım yönteminde değişiklik göstermektedir [24].

Her arıtım aşaması dört basamaktan oluşmaktadır.

1. Öncül arıtım (dengeleme, nötrleştirme ve dezenfekte etme)
2. Birincil arıtım (kumaş veya iplik parçalarının uzaklaştırılması, flotasyon ve çöktürme)
3. İkincil arıtım (fiziksel/kimyasal ayrışma ve biyolojik oksidasyonla organik yükün indirgenmesi)
4. Tersiyer arıtım (Adsorbsiyon, kimyasal oksidasyon, elektroliz, ters ozmoz yoluyla boyanın uzaklaştırılması [22]).

2.4.1.1.Kimyasal Yöntemler

Tekstil atık sularının kimyasal yöntemlerle arıtılması uzun yıllardan beri en çok rağbet gören yöntem olmuştur. Bunun en büyük nedeni şüphesiz atık su kalitesinde meydana gelen değişikliklerin kullanılan kimyasalda veya uygulanan dozda yapılan değişikliklerle kolayca tolere edilebilir olmasıdır.[24].Tekstil endüstrisi atık sularının arıtımında en yaygın olarak kullanılan kimyasal yöntemler oksidasyon yöntemleri, kimyasal çöktürme ve flokülasyon yöntemi ve Cucurbituril ile arıtımdır[25].

- **Oksidasyon**

Kolay uygulanabilirliği açısından kimyasal yöntemler arasında en çok kullanılan yöntemlerdir. Bunun en büyük nedeni uygulanmasının basit oluşudur. Kimyasal

oksidasyon, bileşimin oksidasyon halinin arıtıldığı bir prosesdir. Kimyasal oksidasyon sonucu boya molekülündeki aromatik halka kırılarak atık sudaki boyar madde giderilir .Oksidasyon işlemi için birçok oksidant kullanılabilir.[20] Oksitleyici olarak ozon, oksijen, hava, hidrojen peroksit, permanganat, klor ve hipoklorit, kloroksit gibi güçlü oksidasyon maddeleri kullanılmaktadır [21].

- **Ozon İle Renk Giderimi**

Ozon uygulamaları 70'li yılların başında başlamıştır. Ozon kuvvetli bir oksitleyicidir. Ozon, boya maddelerin kimyasal yapısında bulunan ve renk oluşumuna sebep olan azo, sülfino, metal kompleks gibi kimyasal yapıların oksidasyonu ile renk giderir. Yapılan birçok çalışmada ozonlama ile dikkate değer boyutlarda renk giderilmiştir. Ancak ozonlama sonucu elde edilen renk giderimi boyanın cinsine göre farklılık göstermektedir [20].

Strickland ve Perkins (1995) tarafından yapılan bir çalışmada 30 dakikalık bir zaman süresince ozonlanan azoik, dispers/sülfür ve reaktif boya içeren atık sularda başarılı bir renk giderimi sağlanırken, Vat boya maddesi içeren atık su için aynı başarıyı gösterememiş ve renk giderimi % 50 ile sınırlı kalmıştır [20].

Ozonun renk giderme performansı yüksek olmakla beraber bu yöntem geniş hacimlerde de etkilidir ve reaksiyon hızlı sayılabilir. Yüksek kararsızlığına bağlı olarak oldukça iyi bir yükseltgen olan ozon aynı zamanda tekstil yaşı proseslerinden kaynaklanan atık sularda bulunan yüzey aktif maddeler ve taşıyıcılar gibi diğer kirleticilerin giderilmesine de yardımcı olmaktadır. Boya içeren atık sulara uygulanan dozaj, toplam renge bağlıdır ve giderilecek KOİ bir kalıntı ya da çamur oluşumuna veya toksik ara ürünlerin oluşumuna neden olmaz. Ozonla oksidasyon, klorlu hidrokarbonların, fenollerin, pestisitlerin ve aromatik hidrokarbonların parçalanmasında da oldukça etkilidir. Boya içeren atık suların ozonlanmasında hız sınırlayıcı basamak ozonun gaz fazından atık suya olan kütle transferidir. Önemli bir avantaj ise ozonun gaz durumunda uygulanabilir olması ve dolayısıyla diğer bazı yöntemlerin aksine atık çamur oluşmamasıdır. Ozonlamanın dezavantajı ise kısa yarı ömrüne bağlı olarak ozonlamanın sürekli tekrarlanma gerekliliği maliyetinin yüksek olması atık çamur oluşmasıdır [8],[20].

- **Elektrokimyasal Yöntem İle Renk Giderimi**

Bu yöntem 90'lı yılların ortalarında geliştirilen yeni bir yöntemdir. Elektrokimyasal bir reaktör bir anot, bir katot, bir iletken elektrolit ve güç kaynağından oluşmaktadır. Anotta yük reaktif türlerden elektroda geçerek oksidasyon durumunu artırır. Katotta ise yük reaksiyona giren türlere geçerek oksidasyon durumunda azalmaya neden olur. Kısaca Elektrokimyasal bir reaksiyonda yük, elektrod ile iletken sıvı içindeki reaktif türler arasındaki ara yüzeyde transfer olur. Oksidasyon durumundaki değişimler türlerin kimyasal özelliklerinin ve formlarının değişmesine yol açar [26].

Son yıllarda yapılan çalışmalar elektro-oksidasyon için ince tabaka halinde soy metallerle (Platin, rutenyum) kaplanmış titanyum elektrodlarının kullanımı üzerinde yoğunlaşmıştır. Tekstil boyar maddesi içeren atık sularının elektrokimyasal olarak arıtıldığı bir çalışmada titanyum/platin anodu kullanılmış ve 18 dakikalık bir aktif arıtım süresinden sonra KOİ, BOİ ve renkteki azalmanın % 80'leri aştığı belirlenmiştir [26].

Diğer bir çalışmada fotokimyasal yöntemin ardından uygulanan elektrokimyasal yöntemin verimi belirgin olarak arttırdığı belirlenmiştir. Bu kombine prosesin kullanılmasıyla 120 dakikalık bir reaksiyon süresinde C.I. Reaktif Blue 19 boyar maddesinin rengi tamamen giderilmiş ve %50 oranında mineralizasyon sağlanmıştır [26].

Elektrokimyasal metodunun, atık sulardan boya gideriminin de etkili bir şekilde kullanılabilirliği açısından bazı önemli avantajlara sahiptir.

-kimyasal madde tüketimi çok az veya hiç yoktur.

-işlem sonucu çamur oluşumu söz konusu değildir.

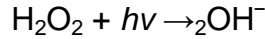
-oldukça ekonomik ve etkili bir boya giderimi sağlar ayrıca işlem esnasında renk gideriminin de ve dirençli kirleticilerin parçalanmasında yüksek verim gösterir.

Yöntemin en önemli dezavantajı tehlikeli bileşikler olasılığıdır.

Naumczyk ve ark. (1996) tarafından yapılan çalışmada tekstil atık sularının elektrokimyasal arıtım sürecinde oluşan kloro organik bileşik miktarlarının oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yöntemin diğer dezavantajı ise yüksek akım hızlarının renk gideriminin de doğrudan bir azalmaya neden olmasıdır. Kullanılan elektrik maliyeti diğer yöntemlerdeki kimyasal madde giderleriyle kıyaslanabilir niteliktedir [27],[28].

- **Fotokimyasal Yöntem**

Bu yöntem boya moleküllerini, hidrojen peroksit varlığında UV radyasyonu ile CO₂ ve H₂O'a dönüştürür. Parçalanma yüksek konsantrasyonlardaki hidroksil radikallerinin oluşmasıyla meydana gelir. Yani, UV ışığı hidrojen peroksiti aktive ederek iki hidroksil radikaline parçalanmasını sağlar. [20].



Böylece organik maddenin kimyasal oksidasyonu gerçekleşir. Fotokimyasal yöntemlerde UV radyasyonu genellikle civa ark lambalarıyla sağlanmaktadır.

Yapılan bir çalışmada civa lambalarının kullanılmasına alternatif olarak lazer destekli fotokimyasal arıtım önerilmiştir. Ancak yapılan çalışma sonucunda yöntemin enerji verimliliği açısından iyi sonuçlar vermediği görülmüş, yeni ve daha etkili bir radyasyon kaynağının geliştirilmesi gerekliliği vurgulanmıştır. Boyar madde giderim hızı UV radyasyonunun şiddetine, pH, boyar maddenin yapısı ve boya banyosunun kompozisyonuna bağlıdır [20].

Genellikle, pH 7 olduğunda, UV radyasyon şiddeti yüksek olduğunda, farklı boya sınıfları için farklı değerler alan optimum miktarda hidrojen peroksit uygulandığında ve boya banyosu yükseltgenme potansiyeli peroksitten büyük olan oksitleyici maddeler içermediğinde etkili bir renk giderimi söz konusudur. Boya içeren atık suların fotokimyasal yöntemlerle arıtılmasının en önemli avantajı atık çamur oluşmaması ve kötü kokulara neden olan organiklerin önemli derecede azaltılmasıdır [25].

- **Kimyasal Çöktürme**

Boyar maddelerin kimyasal arıtım yöntemlerinden biri'de kimyasal flokleştirme ve çöktürme yöntemidir. Atık suya ilave edilen bazı kimyasallar (Al₂(SO₄)₃, FeCl₃, FeSO₄ ve kireç) ile çözülmüş ve kolloidal halde bulunan maddeler, yumaklaştırma ve çökeltme ile sudan giderilir. Bu yöntemin en önemli dezavantajı ise kullanılan koagülantlar nedeniyle çıkış suyunda fazla miktarda atık çamur oluşmasıdır.[29]

- **Cucurbituril İle Arıtım**

Şeklinin, Cucurbitaceae bitki sınıfının bir üyesi olan balkabağına benzemesinden dolayı bu şekilde isimlendirilmiştir. İsimdeki uril, bu bileşiğin üre monomerini de içerdiğini ifade etmektedir. Cucurbituril glikoluril ve formaldehitten oluşan bir polimerdir [20].

2.4.1.2. Fiziksel Yöntemler

- **Membran Filtrasyonu**

Yapılan diğer yöntemlere göre en önemli üstünlüğü sistemin sıcaklığa, beklenmedik bir kimyasal çevreye ve mikrobiyal aktiviteye karşı dirençli olmasıdır. Besleme, Süzüntü ve Derişik akımlar membran işleminin üç fazıdır. Arıtma işlemi, besleme akımındaki bir bileşenin membran tarafından belli bir oranda tutulmasıdır. Membrandan geçen akım süzüntü, geçemeyen akım ise derişik akım olarak adlandırılmaktadır. Membrandan süzüntü tarafına doğru bir geçişin olması için bir itici kuvvetin uygulanması gerekmektedir. Membranlar itici kuvvetlerin tipine göre gruplandırılmaktadır. Bunlar boşluk boyutlarına bağlı olarak ters ozmos, nanofiltrasyon ve ultrafiltrasyon membranları olarak adlandırılmaktadır [30].

Ters osmoz membranları çoğu iyonik türler için %90'nın üzerinde verim gösterir ve yüksek kalitede bir permeat eldesi sağlar. Boya banyoları çıkış sularındaki boyalar ve yardımcı kimyasallar tek bir basamakta giderilmiş olur. Ancak yüksek ozmotik basınç farklılığı ters osmoz uygulamalarını sınırlandırmaktadır. Nanofiltrasyon membranları negatif yüzeysel yüklerinden dolayı iyon seçicidirler. Yani, çok valanslı anyonlar tek valanslı anyonlara göre daha sıkı tutulurlar. Membranların bu karakteristiğine bağlı olarak boyalı atık sularda bulunan bir kısım yardımcı kimyasal membrandan geçebilmektedir. Yapılan çalışmalar, membran filtrasyon ile çıkış suyunda düşük dozajda boyar madde içeren atık suların ,tekstil endüstrilerinde tesise geri kazanıldığının mümkün olduğunu gösterebilmektedir. Fakat bu yöntem suyun yeniden kullanımı açısından önemli parametre olan çözünmüş katı madde içeriğinin düşürebilmesinde başarısızdır. Membran teknolojileri, ayırmadan sonra kalan konsantre atığın bertaraf problemlerine neden

olması, sermaye giderlerinin yüksek olması, membranın tıkanma olasılığı ve yenilenme gerekliliği gibi dezavantajlara da sahiptir [20].

- **Adsorpsiyon**

Bir çözültide çözülmüş olarak bulunan iyon ya da moleküllerin, uygun bir ara yüzeyde yoğunlaşması veya konsantre olması işlemine adsorpsiyon, tutunan taneciklerin yüzeyden ayrılmasına desorpsiyon, katı yüzeyinde tutunan maddeye adsorplanan (adsorbat), katıya ise adsorplayıcı (adsorbent) adı verilir. Ara yüzey sıvı ile bir gaz, bir katı yada bir diğer sıvı arasında olabilir. Adsorplama kapasitesi yüksek olan bazı katılar; killer, zeolitler, kömürler ve çeşitli metal filizleri şeklinde; yapay katılar ise aktif kömürler, uçucu küller, yapay zeolitler, silika jeller ve metal oksitleri şeklinde sıralanabilir. Ekonomik açıdan makul bir yöntemdir ve yüksek kalitede ürün oluşumu sağlar. Adsorpsiyon prosesi, boya/sorbent etkileşimi, adsorbentin yüzey alanı, tanecik büyüklüğü, sıcaklık, pH ve temas süresi gibi pek çok fiziko-kimyasal faktörün etkisi altındadır. Aktif karbon yöntemi adsorpsiyon ile renk gideriminde en çok kullanılan yöntemidir. Metodun performansı kullanılan karbonun tipine ve atık suyun karakteristiğine bağlıdır. Rejenerasyon ve tekrar kullanım performansta azalmaya neden olurken bu dezavantaj aşırı miktarda aktif karbon kullanılmasıyla giderilebilir. Ancak aktif karbon pahalı bir malzemedir [8],[20].

Kullanılan diğer adsorban bataklık kömürüdür. Bataklık kömürü aktif karbona göre daha ucuzdur ancak aktif karbonun toz haldeki yapısından kaynaklanan geniş yüzey alanı daha yüksek bir adsorpsiyon kapasitesini sahiptir. Boya içeren atık sulardaki polar organik bileşiklerin ve geçiş metalleri bataklık kömür, adsorplayabilmektedir. Ağaç kırıntıları, uçucu kül+kömür karışımı, silika jeller, doğal killer, mısır koçanı gibi malzemeler de, boya gideriminin de ekonomik açıdan uygun olarak bilinen diğer adsorbanlardır [20].

- **İyon Değişimi**

Boya içeren atık suların arıtımında henüz yeterince yaygın olarak kullanılmamakta olan bir yöntemdir. Bunun ana nedeni, iyon değiştiricilerle arıtılarak olumlu sonuç alınan boya sınıfının kısıtlı olduğu düşüncesidir. Yöntemde, atık su, mevcut

değişim bölgeleri doygunluğa erişene kadar iyon değiştirici reçineler üzerinden geçer. Bu şekilde, boyar madde içeren atık sulardaki hem katyonik hem de anyonik boyalar uzaklaştırılabilmektedir. Yöntemin avantajları, rejenerasyonla adsorban kaybının bulunmaması, çözücünün kullanıldıktan sonra iyileştirilebilmesi ve çözünebilir boyaların etkin şekilde giderilebilmesidir. En büyük dezavantaj ise kuşkusuz yöntemin maliyetidir. Organik çözücüler oldukça pahalıdır. Ayrıca iyon değişimi metodu dispers boyalar için pek etkili değildir [20].

2.4.1.3. Biyolojik Yöntemler

Biyolojik arıtım, endüstriyel proseslerden alıcı sistemlere transfer olan organikler için en önemli giderim prosesidir. Biyolojik arıtım yöntemleri, tekstil endüstrisi atık suları için önerilen fiziksel ve kimyasal yöntemlerine göre daha düşük maliyet gerektirmede ve her boya için uygulanabilme özelliğine sahip olmaktadır. Son zamanlarda yapılan çalışmalar birçok boya türünü atık sudan giderebilme yeteneğine sahip yaygın mikroorganizma türlerinin varlığını vurgulamış ve Biyoteknolojik metodları ön plana çıkarmıştır. Biyolojik arıtım sistemlerin fiziksel ve kimyasal yöntemlere göre daha az çamur üretmesi, maliyetinin daha düşük olması veya alıcı ortamlar için zararlı yan ürünlerin oluşmaması gibi üstün özelliklerinden dolayı tekstil endüstrisi atık sularının arıtımı için ideal çözüm olarak kabul edilmektedir [8],[9],[20].

- **Aerobik Yöntem**

Tekstil endüstrisi atık suları, pH değişimlerine duyarlılığı yüksek olan konvansiyonel biyolojik arıtma tesislerinde önemli zorluklara sebep olmaktadır. Aerobik arıtımda en sık kullanılan yöntem aktif çamur yöntemidir. Aktif çamur sistemi dengeleme, havalandırma, çöktürme ve dezenfeksiyon süreçlerinden oluşur. Aktif çamur koloidal çözünmüş maddelerin mikroorganizmalar ile çökebilir biyolojik floklara dönüştürüldüğü süreçtir ve bu süreçte havalandırma havuzu içindeki mikroorganizmaların askıda tutulması esastır. Biyolojik arıtma ünitesi, havalandırma sonucu organik maddelerin askıda büyüyen mikroorganizmalar tarafından parçalanması prensibiyle çalışır. Mikroorganizmaların organik maddeleri oksitlemesi sonucu organik maddeler ya okside olur ya da biyokütleye

dönüşür. Gereken arıtma veriminin sağlanması için oluşan biyokütle için bir kısmı çöktürme kademesinde fazla çamur olarak sistemden atılırken, bir kısmı havalandırma ünitesine geri verilir. Aktif çamur sürecinde bakteriler en önemli mikroorganizmalardır, çünkü organik maddelerin parçalanmasından sorumludurlar. Bu sistemde genellikle filamentli bakteriler kullanılır. Endüstriyel atık suların arıtılmasında kullanılan konvansiyonel aktif çamur sistemleri için tekstil endüstrisindeki birçok boya bileşiği ya biyolojik olarak çok zor indirgenemekte ya da inert kalmaktadır. Suda iyi çözünen bazik, direkt ve bazı azo boya atıklarının olması durumunda mikroorganizmalar bu tür bileşikler biyolojik olarak indirgeyememekle birlikte boyanın bir kısmını adsorbe ederek atık suyun rengini almakta ve renk giderimi sağlanabilmektedir [31].

Flok halindeki bakteriyel kültür devamlı karıştırılan ve havalandırılan bir havuzda atık su ile beslenerek organik maddeler karbondioksit ve suya kadar parçalanırlar. Atık su, mikroorganizmaların çoğalması için gerekli temel besin maddelerinden olan azot ve fosfor yönünden fakir ise bu maddeler aktif çamur sistemine eklenmek zorundadır. Organik yükü fazla olan atık sular için doğrudan aktif çamur kullanmak aşırı enerji ihtiyacından dolayı mümkün değildir. Bu durumda aktif çamur yöntemi anaerobik arıtmadan sonra ikinci kademe olarak kullanılmaktadır. Azo boyar maddeler gibi sentetik boyaların aerobik şartlar altında mikrobiyal parçalanmaya karşı dirençli olmasının nedeni boya malzemelerinin, kimyasal ve ışık kaynaklı oksidatif etkiler sonucu, renklerinin solmasını önleyecek şekilde üretilmiş olmalarıdır. Boyar maddelerin aerobik biyodegradasyonunu zorlaştıran diğer bir faktör ise molekül ağırlıklarının yüksek olması sebebiyle, hücre zarından geçişlerinin zor olmasıdır. Ancak bazı boyar maddelerin aerobik olarak parçalanabileceği düşüncesi doğrultusunda yapılmış çalışmalar da mevcuttur. Odunsu bitkilerde bulunan, yapısal polimer lignini parçalayabilen ve ksenobiyotik maddelerin parçalanması amaçlı çalışmalarda en yaygın olarak kullanılan beyaz çürükçül küf *Phanerochaete chrysosporium'un*, lignin peroksidaz, manganeeze bağlı peroksidaz gibi enzimleri kullanarak boyar maddeleri parçalayabildiği bilinmektedir [32].

Ancak beyaz çürükçül mantarların, ligninolitik enzimlerin düşük pH değerlerinde (pH=4.5 -5) aktif olması ve atık sularda bulunma ihtimali düşük olan tiamin ile veratril alkol maddelerine ihtiyaç duyması gibi dezavantajları vardır [33].

- **Anaerobik Yöntem**

Oksijensiz ortamda gerçekleştirilen arıtma aşamalarından oluşan bir arıtım yöntemidir. Boyar maddelerin anaerobik parçalanması, özellikle aerobik ortamda parçalanamayan reaktif azo boyar maddelerde etkili olmaktadır. Organik maddelerin oksijensiz ortamda metan, karbondioksit ve suya dönüştürüldüğü bir süreçtir. Bu yöntemle tekstil atıklarının % 60-70'inde bulunan ve klasik yollarla arıtılmayan azo boyalar ve diğer çözünen boyalar dekolorize edilirler. Bu işlem oksidasyon redüksiyon mekanizmaları ile gerçekleşir. Anaerobik olarak renk arıtımının olabilmesi için fazladan karbon kaynağına ihtiyaç vardır. İlave karbonun metan ve karbondioksite dönüşmesi neticesinde elektronlar açığa çıkar. Bu elektronlar son elektron alıcısı olarak reaktif boyayı kullanır ve azo bağının indirgenmesini sağlar. Anaerobik sistemin büyük bir avantajı biyogaz üretimidir. Oluşan biyogaz ısı ve güç kaynağı olarak yeniden kullanılabilir ve enerji maliyetini düşürür. Birçok atık su çeşidi için uygulanabilmesi, enerji gerektirmemesi, hatta fazladan enerji üretebilmesi, düşük teknolojiyle çalışabilmesi ve maliyetinin düşük olması gibi avantajlara sahiptir. Alet ve teçhizat donanımı açısından aerobik arıtmaya göre daha ucuzdur. Aerobik ya da diğer çeşit arıtmaların uygulandığı sistemlerde anaerobik arıtma en azından bir ön arıtım olarak uygulanmalıdır. Çünkü anaerobik parçalanma sonucu oluşan bazı aromatik aminler sitotoksik, mutajenik ve kanserojen etkili olabilirler. Aromatik aminler halka yapısının açılması ve hidrosilasyonla aerobik ortamda mineralize olabilmektedir. Böylece boyar madde içeren atık suların kombine anaerobik aerobik sistemlerle arıtılması sonucu ilk basamakta etkili bir renk giderimi sağlanmakta ve anaerobik ortamda dirençli olan aromatik aminler aerobik basamakta giderilebilmektedir [34].

- **Biyosorpsiyon**

Kimyasal maddelerin mikrobiyal kütle tarafından adsorpsiyonu veya kütlede birikimi biyosorpsiyon olarak ifade edilmektedir. Ölü bakteriler, maya ve mantarlar boyar madde içeren atık suların renginin giderilmesinde kullanılabilirler. Tekstil boyalarının kimyası geniş bir yelpazede değişiklik gösterdiği için mikroorganizmalarla olan etkileşimler boyanın kimyasına ve mikrobiyal kütle

spesifik kimyasına dayanmaktadır. Bu nedenle kullanılan mikroorganizmanın cinsine ve boyaya bağlı olarak farklı bağlanma hızları ve kapasiteleri söz konusudur. Boyar madde içeren atık su çok toksik olduğunda biyosorpsiyon avantajlı olmaktadır [20].

2.4.1.4.Biyoteknoloji

Biyoteknoloji, canlılar (biyolojik sistemler) aracılığıyla ürün ve hizmet üretmek üzere bilim ve mühendislik ilkelerinin işlemlerde uygulanması olarak tanımlanabilir. Bu tanımda yer alan bilim ve mühendislik ilkeleri birçok bilim dalını kapsamakla birlikte, mikrobiyoloji, genetik, biyokimya, kimya ve işlem mühendisliği gibi disiplinlerde yoğunlaşmıştır. Bu tanımda yer alan “canlı” kapsamına mikroorganizma, bitki ve hayvan hücreleriyle onların ürünleri olarak bilinen biyolojik katalizörler (enzimler); ürün ve hizmet kapsamına ise, besin, ilaç, içecek, biyokimyasal maddelerle ilgili endüstriyel ürünler ve endüstriyel atıklar, gen terapisi vb. alınmaktadır. Modern biyoteknoloji kapsamında ki teknolojiler genetik mühendisliği; rekombinant mikroorganizma, hayvan ve bitki hücre kültürü; metabolik mühendislik; hibridoma teknolojisi; biyoelektronik; nanobiyoteknoloji; protein mühendisliği; transgenik bitkiler ve hayvanlar; doku ve organ mühendisliği; immunolojik yöntemler; genomikler ve proteomikler ve biyoreaktörleri içermektedir. Günümüzde artık biyoteknolojinin çevresel ve ekonomik yararları iyi bilinmektedir. Biyoteknolojinin yenilenemeyen yakıtların ve diğer kaynakların kullanımına yönelik bağımlılığın azaltılması, endüstriyel işlemler sonucu açığa çıkan kirleticilerin yarattığı olumsuzlukların giderilmesi, ekonomik ürünlerin imalatının desteklenmesi, yeni ürünlerin üretilmesi gibi faydaları bulunmaktadır. Çevre ve atık biyoteknolojisine yönelik çalışmalar son yıllarda hız kazanmıştır. Çünkü çevre ve atık biyoteknolojisinin amaçlarından birisi atıkların içeriğini doğanın zarar görmeyeceği düzeye indirgemektir. Çevre kirliliğinin hızla arttığı bu dönemde uygulanabilirliği yüksek ve etkili arıtım yöntemleri geliştirilmek zorundadır. Zaten normalde kullanılan arıtım sistemleri doğadakilerin modifiye şeklidir. Biyolojik olarak arıtım da bunu hedefler. Çünkü doğada mikroorganizmalar belirli bir hızda organik molekülleri yıkar. Biyoteknoloji bu modelleri erlenlere, havuzlara, fermentörlere uyarlar. Beyaz çürükçül funguslar da sahip oldukları birçok özellikten dolayı çevre ve atık biyoteknolojisi çalışmalarında sıkça kullanılmaktadır [35],[36].

- **Bakteriyel Arıtım**

Genel olarak, atık suların bakteriyel arıtımı aerobik (oksijen varlığında) ve/veya anaerobik koşullarda (oksijen yokluğunda) gerçekleşmektedir. Boyaların(boyar maddelerin) biyolojik olarak parçalanabilirliğindeki en önemli husus, uygulama sınıfından ziyade boyaların kimyasal yapısıdır. Günümüze kadar yapılan bakteriyel renk giderimi amaçlanan bilimsel araştırmalarda en çok azo boyalar kullanılmıştır. Azo bağlarının doğal yapısı, azo boya moleküllerinin oksidatif reaksiyonlara olan hassasiyetini engellemektedir. Bu açıdan azo boyalar genellikle aerobik koşullarda bakteriyel biyodegradasyona dirençlidirler. Azo boyar maddeler gibi sentetik boyaların aerobik şartlar altında mikrobiyal parçalanmaya karşı dirençli olmasına rağmen son birkaç yıl içerisinde aerobik koşullarda azo boyayı indirgeyen çeşitli bakteri grupları izole edilmiştir. Bunlardan çoğu azo boyayı büyüme ve gelişmek için kullanamadıklarından, bazı organik karbon kaynaklarına ihtiyaç duyarlar[37].Örneğin, *Bacillus subtilis*, aerobik ortamda p-aminoazobenzeni ancak ortamda başka bir karbon ve enerji kaynağı (glukoz) bulunduğunda parçalayabilmektedir.[38].

Benzer şekilde, *Pseudomonas stutzeri*, *Acetobacter liquefaciens* ve *Klebsiella pneumoniae* 4-dimetilaminoazobenzeni, glukoz veya nütrient karışımlarının bulunduğu aerobik ortamlarda indirgeyerek parçalayabilmektedir. Belirtilen aerobik bakterilerin yanı sıra, boyar maddelerini enerji ve karbon kaynağı olarak kullanabilen bazı bakterilere de rastlanmıştır. Bu tür bakteriler azo(-N=N-) bağını kırarlar ve oluşan aromatik aminleri karbon ve enerji kaynağı olarak kullanarak çoğalırlar. Bunlara örnek olarak, *Xenophilus azovorans* KF 46 ve *Pigmentiphaga kullae* K24 bakterileri verilebilir. Adı geçen bakteriler aerobik şartlar altında Carboxy-Orange I ve Carboxy-Orange II boyası üzerinde üreyüp ve çoğalabilmekteler.[39]. *Actinomycetes* ve bunlar arasından özellikle *Streptomyces* türü, lignini biyolojik olarak parçalayan ekstrasellüler peroksidaz enzimi üretmektedirler. Bazı *Actinomycetes* türleri olan *Streptomyces badius* 252, *Streptomyces* sp. strain EC22 ve *Thermomonospora fusca* T800 aerobik ortamlarda boyaların renklerini gidermiştir.[40].Bu bakteriler üzerindeki benzer araştırmalar değişik araştırmacılar tarafından da yapılmıştır [41]. *Actinomycetes* haricinde, aerobik ortamlarda boyaların (özellikle sülfonik asitli azo boyaları) rengini giderebilen ve/veya tamamen mineralleştirebilen bakteri türlerinin izole

edilmesi oldukça zor olmaktadır. Azo boyalar haricindeki boya türlerini aerobik ortamlarda biyolojik giderebilen mikroorganizma türlerini izole etme çalışmaları çok başarılı olmamıştır. Anaerobik koşullar ise boya madde içeren atıksuların arıtımında daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Anaerobik koşullarda azo boyalar indirgenmekte ve renk giderimi sağlanabilmektedir [42].

Bu proses “Azoredüktaz” adı verilen çözünmüş sitoplazmik enzimler tarafından gerçekleştirilir. Bu enzimler anaerobik koşullarda çözünmüş flavinler vasıtasıyla bazı azo boyalarına elektron transferinin gerçekleşmesinde rol oynarlar ve böylece bu enzimler vasıtasıyla azo boyalar indirgenir. Bazı polimerik boya moleküllerinin ve yüksek yüklü sülfonatlı azo boyaların hücre membranından geçmesi zor olacağından, bazı “azoredüktaz” enzimlerinin sitoplazma dışında yer alması muhtemeldir [43].

Azo boyaların anaerobik ortamlarda renksiz ve tehlikeli aromatik aminlere indirgenmesi daha kolay olmasına rağmen, bunların tamamen mineralizasyonu zor olmaktadır. Aromatik aminlerin giderimi ise aerobik koşulları gerektirmektedir. Bu açıdan anaerobik koşullar azo boyasının biyolojik olarak arıtılabilirliğinde ilk basamağı oluşturmaktadır. Kompleks organik bileşiklerin parçalanmaları asitojenik ve metanojenik gibi birçok bakteri gruplarını içeren bir topluluk gerektirir [44].

Boyaların bu koşullar altında indirgenmesi için mutlaka bir karbon/enerji kaynağı gerekmektedir. Şu ana kadar yapılan bilimsel çalışmalarda glukoz, nişasta, asetat, etanol ve daha kompleks yapıdaki substratlar anaerobik koşullarda yaygın olarak kullanılmıştır [45]. Anaerobik koşullarda renk giderme verimi eklenen organik karbon kaynağına ve boyanın yapısına bağlı olmasına rağmen, birçok boya çeşidinin anaerobik koşullarda indirgeniyor olmasından dolayı indirgenme spesifik bir proses değildir [23]. Karışık aerobik ve fakültatif anaerobik mikrobiyal topluluklar ile çeşitli azo boyaların anoksik koşullarda indirgendiği bazı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir [46].

Bu toplulukların çoğu aerobik koşullar altında yaşayabilmesine rağmen, renk giderimi sadece anaerobik koşullarda gerçekleşmektedir. *Pseudomonas luteola*, *Aeromonas hydrophila*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas* gibi birçok saf kültür bakterileri anoksik şartlar altında azo boyaların indirgenmesinde başarılı olmuşlardır [47].

• **Funguslarla Gerçekleştirilen Arıtım**

Fungusların ekonomik açıdan bazı zararlara neden olmalarına rağmen yararları bu olumsuzlukları ortadan kaldıracak kadar büyüktür. Funguslar içerisinde küfler, mayalar ve şapkaklı mantarlar da dahil edilir. Biyoteknolojide fungusların çok geniş bir kullanım alanları vardır. Funguslar protein kaynağı olarak sitrik asit ve penisilin gibi çeşitli biyokimyasalların üretiminde kullanılabilirler. Mayaların ekmek ve alkol üretiminde kullanıldıkları unutulmamalıdır, yine *Agaricus bisporus* kültür mantarı olarak değerlendirilmektedir, *Pleurotus ostreatus'un* da kültür mantarı olarak değerlendirilmesi gün geçtikçe artmaktadır. Bunun yanı sıra özellikle son yıllarda fungusların endüstriyel atıkların ve aromatik maddeler veya ksenobiyotik maddelerin arıtımında ve yıkımında kullanımı üzerine yoğun araştırmalar vardır Bugüne kadar boyar maddelerinin biyolojik giderimi ile ilgili yapılan bilimsel araştırmalarda, en yaygın olarak kullanılan saf mikroorganizma kültürleri beyaz çürükçül mantarlardır. Bu organizma grubu, kompleks polimerik yapıya sahip olan bitki materyali olan ligninin ayrışmasında önemli rol oynadığından dolayı küresel karbon döngüsünün merkezinde yer almaktadır. Beyaz çürükçül mantarlar, ligninin yanı sıra, zor biyolojik ayrışmaya uğrayan geniş bir spektruma sahip organik kirleticilerin biyolojik ayrışmasında da rol oynarlar. Bu mikroorganizmalar, spesifik olmayan lignin peroksidaz (LiP), manganez peroksidaz (MnP) ve lakkaz enzimleri yardımıyla bu geniş spektruma sahip organik kirleticileri biyolojik olarak ayrıştırırlar. LiP aromatik olmayan bileşikleri katalize etmesine rağmen MnP ve bakır içeren lakkaz (benzendiol:oksijen oksidoredüktaz) birçok aromatik bileşikleri katalize eder [48].

Beyaz çürükçül mantarların ve bu mantarlardan saflaştırılan enzimlerin kullanıldığı biyoteknolojik çalışmalara pek çok örnek vermek mümkündür.

1. Enzim üretiminde kullanımı [49].
2. Ağır metallerin biyolojik adsorpsiyonunda kullanımı [50].
3. Boyar maddelerin ve tekstil fabrikası atık sularının renginin gideriminde kullanımı [51].
4. Kağıt ve kağıt hamuru üreten endüstrilerde ligninin parçalanmasında kullanımı [52].
5. Zeytinyağı fabrikası atık suyunun arıtımında/renginin gideriminde kullanımı [53].

6. Mikrobiyal protein kaynağı olarak kullanımı .
7. Pestisid ve herbisid 'lerin biyolojik yıkımında kullanımı [54].
8. Kağıt , tekstil ve petrokimya endüstrilerinden alıcı ortama bırakılan endüstriyel atıkların toksisitesinin azaltılmasında kullanımı
9. Hormon üretiminde
10. Anti-kanser ilaçlarının üretiminde katalizör olarak kullanımı [55],[56].
11. Son zamanlarda kozmetik ve dermatolojik ürünlerin hazırlanmasında kullanımı [57].
12. Nanobiyoteknoloji alanında biyosensör olarak kullanımı [58]

Beyaz çürükçül mantarlar tarafından boyar madde içeren atıksularda gerçekleştirilen renk giderimi, ilk olarak *Phanerochaete chrysosporium* türünde, ligninolitik aktiviteyi ölçen metodu geliştiren Glenn ve Gold (1983) tarafından rapor edilmiştir. *Phanerochaete chrysosporium* üzerinde en çok çalışılan mantar türü olmasına rağmen, *Trametes (Coriolus) versicolor*, *Bjerkandera adusta*, *Pleurotus* ve *Phlebia* türleri üzerinde de çalışılmıştır [59],[60].

Beyaz çürükçül mantarların, ligninolitik enzimlerin düşük pH değerlerinde (pH = 4,5-5) aktif olması ve atık sularda bulunma ihtimali düşük olan tiamin ile veratril alkol maddelerine ihtiyaç duyması gibi dezavantajları bulunmaktadır [33].

2.5. Dekolorizasyonla İlgili Yapılmış Bazı Çalışmalar

Tekstil ve boya fabrikalarının çevreye(nehirlere) atık boşaltması ve kullanılan atık su uygulama sistemleri, sağlık açısından son yıllarda çevre kontrol faaliyetlerine ilginin artmasına neden olmuştur. Atıkların arıtımı için biyolojik renk giderimi ve yıkımı bu kirliliğin çevreden uzaklaştırılması için daha düşük maliyetli ve etkili bir teknik olarak görülmektedir. Beyaz çürükçül fungusların çeşitli enzimleri sentezleme yetenekleri bu alanda da kullanım olanaklarını artırmaktadır. Lignin peroksidaz (LiP) üreten kahverengi çürükçül fungus *Poliporus ostreiformis*'in boya renk giderim aktivitesinin *P. chrysosporium*'dan daha yüksek olduğunu saptamışlardır . *P. chrysosporium*'un Orange II, Tropoefolin O, Kongo kırmızısı ve Azure B gibi azo ve heterosiklik boya renkleri yıktığı görülmüştür.[62]Yapılan çalışmalarda bazı polimerik boya renkleri, trifenilmetanın ve kristal viyolenin *P. chrysosporium* tarafından yıkıldığı saptanmıştır [62].

Forgacs ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada indigo boyaların *Pleurotus sajor-caju* tarafından renginin giderildiğini belirtmişlerdir. Aynı şekilde Doralice ve arkadaşları da (2001) *Pleurotus sajor-caju* ile indigo-blue boyasını % 94 oranında renginin giderildiğini saptamışlardır [63].

P. chrysosporium'un kullanıldığı bir çalışmada Paszczyński ve arkadaşları(1992) sulfonatlanmış beş azo boyada sulfo grubunun boyaya bağlanma şeklinin boyanın parçalanma özelliğini etkilediğini belirtmişlerdir [64].

Başka bir çalışmada da *P. chrysosporium*'dan elde edilen LiP' yi kullanarak farklı kimyasal sınıf ve yapılara sahip olan boyaların dekolorizasyonun; kromoforik sistem, yükün işareti ve yükün dağılımına bağlı olmadığını ancak büyük ölçüde oksokromik gruba bağlı olduğunu tespit etmişlerdir. Beyaz çürükçül fungusların çeşitli enzimleri sentezleme yetenekleri bu alanda da kullanım olanaklarını artırmaktadır. Lignin peroksidaz (LiP) üreten kahverengi çürükçül fungus *Poliporus ostreiformis*'in boya renk giderim aktivitesinin *P. chrysosporium*'dan daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir Minussi ve arkadaşları (2001) tarafından yapılan bir çalışmada *T. versicolor* ve *T. villosa* beyaz çürükçül funguslarının Reactive Blue 19 tekstil boyasını %100 renginin giderdiğini gözlemlemişlerdir.[64],[65].

Yeşilada 1996' da yaptığı bir çalışmada da kristal viyole de *C. versicolor*'un yüksek dekolorizasyon yeteneğine sahip olduğunu belirtmiştir [66].

Mou ve arkadaşları (1991) da yüksek boya konsantrasyonlarının düşük renk giderimi ile sonuçlandığını belirtmişlerdir [67].

Young ve Yu (1997) da yüksek boya konsantrasyonunun dekolorizasyon hızını düşürdüğünü belirtmişlerdir [68].

Murugesan ve ark. (2006), tekstil boyalarının renginin gideriminde biofilm teknolojisini kullanmışlardır. Bu çalışmalarda *Pleurotus sajor-caju*'dan saflaştırılmış lakkaz enzimi kullanılarak Reaktif Black 5'in renginin giderimi test edilmiştir [69].

Amaral ve ark. (2004), tarafından yapılan çalışmalarda *Trametes versicolor*'ın 3 adet sentetik tekstil boyasının (R.Orange 4, R.Red 23 ve R.Black 5) eşit miktarda karışımıyla oluşturulan sentetik atık su ve gerçek tekstil atık suyundaki renk giderimi araştırılmıştır. Glukoz'un varlığında ve yokluğunda sürdürülen bu çalışmalarda farklı boya konsantrasyonları (0, 50, 100 ve 300 mg/L) test edilmiştir.10 günlük süre sonunda glukozun varlığında ve pH 4,5 iken 50-100 mg/L boya konsantrasyonlarında rengin %97'si; 300 mg/L boya konsantrasyonunda %87'si giderilmiştir [70].

Boyar madde Drimaren Blue K2RL'nin beyaz çürükçül fungus *Funalia trogii* ATCC 200800 tarafından renk giderimi incelenmiştir. Araştırmada *F.trogii* bitkisel kökenli bir materyal olan *Luffa cylindrica*'ya tutuklanmış ve %80'nin üzerinde renk giderimi sağlandığında ortamlara yeniden boyar madde eklenmiştir. Çalışma 150 rpm, 30°C, pH 5,0'da gerçekleştirilmiştir. Karbon ve azot kaynağı eklenmeyen *Luffa cylindrica* içeren ortamlarda fungusun renk giderimindeki etkinliği araştırılmış, bu amaçla ortamlara 5 farklı konsantrasyonda boyar madde eklenmiştir. Çalışma sonucunda kontrol grubunda ve boyar madde içeren ortamlarda lakkaz ve peroksidaz enzim aktivitesine rastlanmıştır. Ortama şeker ve azot eklenmemiş olmasına karşın renk gideriminin gerçekleştiği saptanmıştır. Yapılan mikroskobik ve makroskobik incelemelerde boyar maddenin fungus yüzeyine adsorbe olmadığı ancak lif üzerine adsorbe olduğu (7-11 mg/L) tespit edilmiştir. Tutuklanmış fungusun maksimum renk giderim kapasitesinin bulunabilmesi için ortamlara farklı konsantrasyonlar da (25-50-100-150-200 mg/L) boyar madde eklenmiştir. Çalışma sonucunda *Luffa cylindrica*'nın fungusların tutuklanmasında kullanılabilecek bir materyal olduğu, *F.trogii* kültürleri tarafında Drimaren Blue K2RL'nin renginin giderilebildiği, karbon ve azot kaynağı eklenmeyen ortamlarda renk gideriminin etkili şekilde gerçekleştiği bulunmuştur [71].

Yeşilada ve ark. (2003), tarafından yürütülen bu çalışmada başlangıç pH'sı, boya konsantrasyonları, pellet miktarı, sıcaklık ve çalkalama gibi çeşitli koşulların *Funalia trogii*'nin renk giderimi aktivitesi üzerine etkisi araştırılmıştır. Başlangıç pH'sı hariç bütün durumların *F.trogii*'nin renk giderim aktivitesi üzerine önemli olduğu saptanmıştır. *F.trogii* peletlerinin renk aktivitesinin uzunluğu tekrarlı-kesikli çalışmalarda ayrıca araştırılmıştır. 13-132 mg/L gibi düşük boya konsantrasyonlarında peletlerin renk giderim verimi 5 gün için yüksek ve kararlı kalmıştır. Boya konsantrasyonunun 264 mg/L olduğu durumlarda tekrarlı-kesikli çalışmalarının ilk 3. gününde yaklaşık %96 oranında yüksek renk giderim verimi elde edilmiştir. Fakat renk giderim verimi çalışmanın 5. gününün sonunda düşmüştür. Pelet miktarının değiştirilmesinin renk giderim yüzdesini arttırdığı gözlenmiştir. *F.trogii*'nin renk giderim aktivitesini uzatmak ve verimini arttırmak için test ortamına MnSO₄, NH₄Cl, glukoz ve peynir altı suyu ilave edilmiştir [72].

Beyaz çürükçül mantarla desteklenmiş döner disk sistemi kullanarak Nilsson ve ark. (2006), tekstil boyalarının renginin giderimini çalışmışlardır. Çalışmanın ilk kısmı Reaktive Blue 4 (anthraquinone boya) ve Reaktive Red 2 (azo boya) ile

hazırlanmış sentetik atık su ile yürütülürken, son kısmı ise Tanzania'daki bir tekstil endüstrisinden alınan gerçek tekstil atık suyu ile gerçekleştirilmiştir. *Trametes versicolor*'un karbon kaynağı olarak glukoz kullanıldığında Reaktif Blue 4 ve Reaktif Red 2 boya türlerinin renklerini giderdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca mantarın kayın ağacı odunlarından oluşan diskler üzerinde geliştirildiğinde Reaktif Blue 4'ün rengini %70 oranında giderdiği saptanmıştır. Glukoz eklenmeden de gerçekleştirilen bu çalışmada; 200 mg/L boya konsantrasyonunda ve 3 günlük bekleme süresi sonunda boya giderimi gözlemlenmiştir [73].

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

3.1. Materyal

3.1.1 Boyar maddeler

Yapılan bu tez çalışmasında ticari isimleri ve Color Index (C.I) numaraları verilen boyar maddeler kullanılmıştır. (Çizelge.3.1)

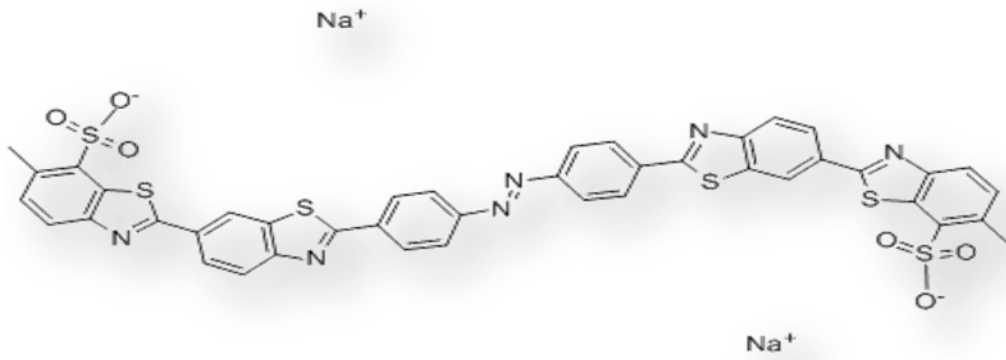
Kullandığımız bütün boyalar Seres Dış Ticaret. Ltd. ŞTİ.' den alınmıştır.

Çizelge.3.1 Çalışmada kullanılan boyar maddelerin ticari isimleri,C.I ve maksimum absorbands değerleri

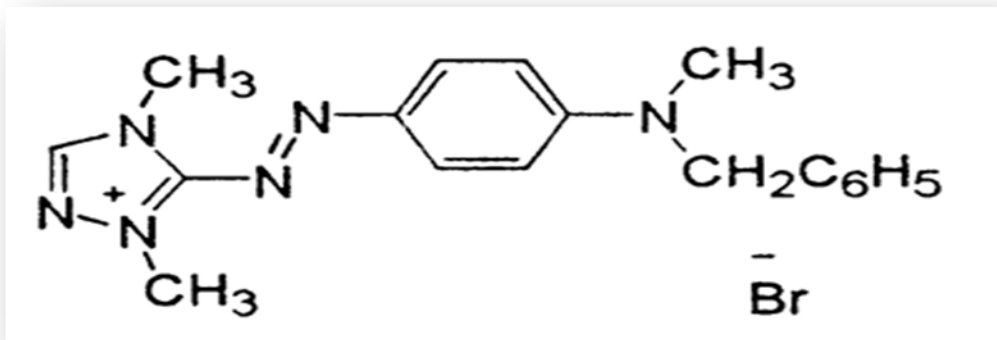
Ticari isim	Boyar madde	Color index	Max Absorbans Değeri (nm)
Solazol yellow SP_3R 150%	Direct Yellow 29	CI 19556	420
İnfacryel Red GRL 180%	Basic Red 46	C.I.110825	535
Remazol Black BTM 200%	Reactive Black 5	C.I.20505	610
Solazol Blue SPBRF H/C	Direct Blue 71	CI 34140	615
İnfacryel yellow 250%	Basic Yellow 13	C.I.48056	485
Reactive Bright yellow C_XD	Reactive yellow	C.I. 15	615

Tez kapsamında kullanılan boyaların açık kimyasal formülleri aşağıda sırasıyla verilmiştir.

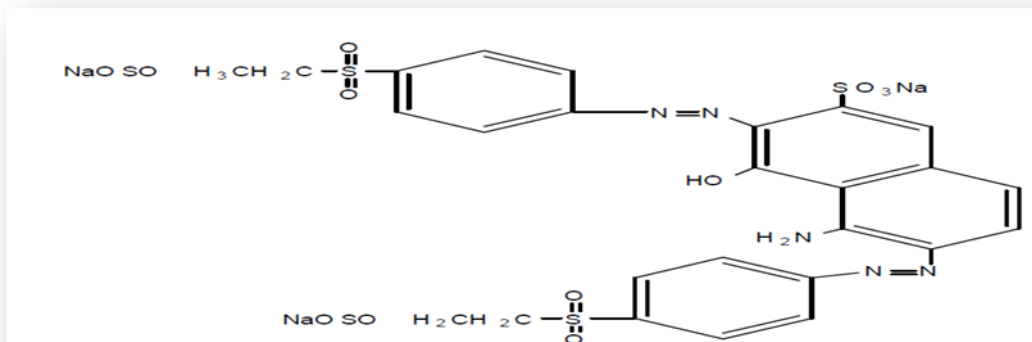
Şekil 3,1. Direct Yellow 29



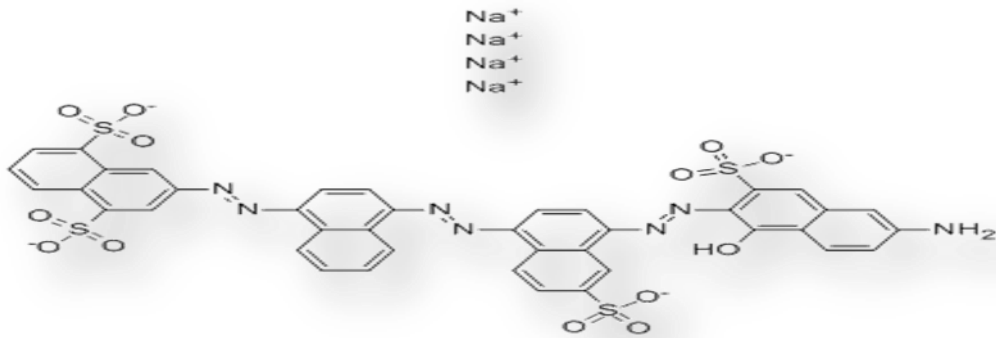
Şekil 3,2. Basic Red 46



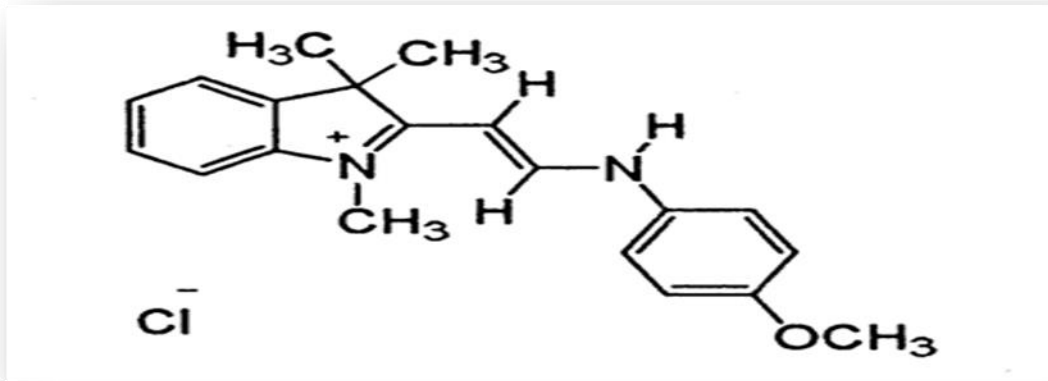
Şekil 3,3. Reactive Black 5



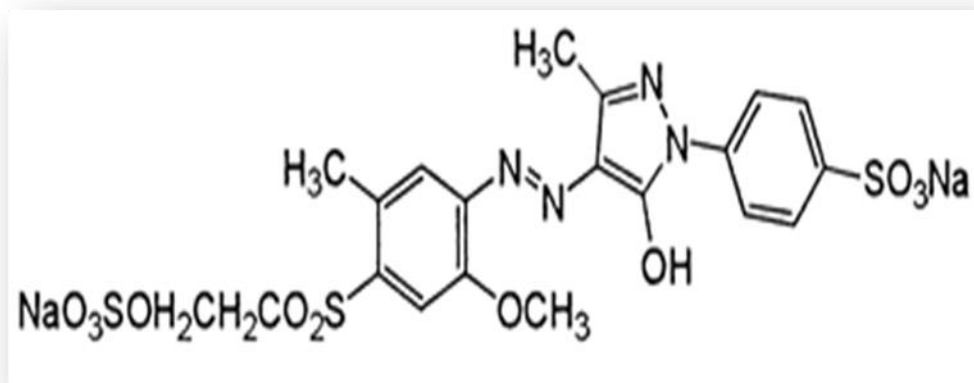
Şekil 3,4.Direct Blue 71



Şekil 3,5.Basic Yellow 13



Şekil 3,6.Reactive yellow 15



Çalışmada kullanılan stok boyar maddeler 0.05 g/l distile su olacak şekilde hazırlandı. Otoklavda (120°C'de 1 atm basınç) 15 dakika sterilize edildikten sonra boyalar besiyerlerine ilave edildi [74].

3.1.2 Çalışmada Kullanılan Mikroorganizmalar

Tez kapsamında kullanılan *Phanerochaete chrysosporium*, *Pleurotus sajor-caju*, *Gibberella fujikuroi* ve *Funalia trogii* Hacettepe üniversitesi Biyoloji Bölümü Biyoteknoloji Anabilim Dalı laboratuvarından temin edilmiştir.

3.1.3. Besiyeri ve İçerikleri

Dekolorizasyon işleminin gerçekleştirilmesi için modifiye edilmiş Vogel besiyeri kullanıldı. Besiyerinde kullanılan iz element çözeltisi (g/100ml) Sitrikasit.H₂O:2,5, ZnSO₄.2,5, Fe(NH₄)₂(SO₄)₂.6H₂O:0,5, CuSO₄.5H₂O:0,1 25, MnSO₄.H₂O: 0,025, H₃BO₃: 0,025, H₃P[(Mo₃O₁₀)]H₂O: 0,025 olacak şekilde hazırlandı. Vogel ana stok çözeltisi ise (g/100ml): Na-sitrat :15 KH₂PO₄:25, NH₄NNO₃:10, MgSO₄.7H₂O:1 CaCl₂.2H₂O :0,5 şeklinde hazırlandı. Modifiye Vogel minimal sıvı besiyerinin hazırlanması için Vogel Ana stok çözeltisine %1 oranında stok iz element çözeltisi ve %2 oranında glukoz eklendi. PH sı 4.7 ye ayarlandı ve daha sonra 250 ml hacimli erlenmeyer şişelerine 100 ml dağıtıldı ve daha sonra otoklavada (110 ° C de 1.5 atmosfer basınçta 25 dakika) steril edildi.[75]

Potato Dextrose Agar (Merck)

Patates extratı 4gr.
D (+) glukoz 20 gr.
Agar – agar15 gr.
Distile su1000 ml

Vogel Besi yeri

Ana Stok Çözeltisi (100 ml için):

Na ₃ .sitrata.5H ₂ O:.....	15 gr.
KH ₂ PO ₄ :.....	25 gr.
NH ₄ NO ₃ :	10 gr.
MgSO ₄ .7H ₂ O:	1 gr.
CaCl ₂ .2H ₂ O:	0,5 gr.

İz element stok çözeltisi (20 ml için) ;

C ₆ H ₈ O ₇ .H ₂ O:	0,5 gr
ZnSO ₄ .7H ₂ O:	0,5 gr
Fe(NH ₄) ₂ (SO ₄) ₂ .6H ₂ O:	0,1 gr
CuSO ₄ .H ₂ O:	0,025 gr
MnSO ₄ .H ₂ O:	0,005 gr
H ₃ BO ₃ :	0,005 gr
H ₃ P(MO ₃ O ₆).H ₂ O: ...	0,005 gr

3.2 YÖNTEMLER

3.2.1. Boyar Madde Absorpsiyon Spektrumu Çıkarması

Boyar madde içeren besiyerinin absorbansı her bir boyar madde için, o boyar maddenin maksimum absorbans verdiği dalga boyunda ölçülmüştür. Bunun için her bir boyar madde solüsyonunun UV visible spektrofotometre de (Shimatdzo UV_1700 Spectrophotometer) spektrum ölçümü yapılmıştır. Maksimum absorbans belirlenmesi için 300 - 700 nm arası seçilmiş ve bu değerler arasında boyar madde solüsyonunun verdiği tüm absorbans değerleri taranarak ölçülmüştür. Bu değer her bir boyar madde için tespit edilmiş ve daha sonraki dekolizasyon miktarının belirlenmesi için absorbans ölçümlerinin tümü her bir boyar madde için o dalga boyunda ölçülmüştür.

3.2.2. Mikroorganizmaların Üretimi

Tez kapsamında kullanılan fungusların aktivasyonu için Potato Dextrose Agar (PDA) kullanılmıştır. Dekolorizasyon deneylerinde kullanılacak olan fungal biyokütlenin üretimi için kullanılan Vogel minimal sıvı besiyeri (Horowitz 1970) içeriğinde bazı değişiklikler yapılarak kullanıldı. Karbon kaynağı olarak Vogel ortamında yer alan sukroz yerine Michel ve arkadaşları tarafından önerilen şekilde glukoz kullanıldı (Michel 1991). Modifiye-Vogel besiyeri şu şekilde hazırlandı: ana-stok çözeltilisine (g/100 ml olarak; Na-sitrat: 15, KH₂PO₄: 25, MgSO₄·7 H₂O: 1.0, CaCl₂·2 H₂O: 0.5) iz-element çözeltilisinden (g/100 ml olarak Sitrik asit: 2.5, ZnSO₄·7 H₂O:2.5, Fe (NH₄)₂ (SO₄)₂·6 H₂O: 0.5, CuSO₄·5 H₂O: 0.125, MnSO₄·1 H₂O: 0.025, H₃BO₃: 0.025, H₃P(Mo₃O₁₀). H₂O: 0.025) %1 oranında eklenerek elde edilen karışıma daha sonra %2 oranında glukoz eklenip pH'sı 4,7'e ayarlandı. Yukarıda belirtilmiş şekilde hazırlanmış olan modifiye Vogel sıvı-besiyerleri 250 ml'lik Erlenmayer şişelerinde 100 ml hacimde dağıtılıp daha sonra 1.5 atmosfer basınç altında 110 °C de 25 dakika süreyle otoklavda sterilize edilerek dekolorizasyon çalışmalarında kullanıldı.

Önceden yatık Potato Dextrose Agarlı besiyerinde üretilen fungusların stok kültürlerinden, Vogel sıvı besiyeri ortamına ekim yapılmıştır. Yatık Potato Dextrose Agar stok kültürlerinde 10ml steril distile su içerisinde hazırlanmış olan miselyum süspansiyonu, steril koşullarda 100 ml besiyeri içeren 250 ml'lik Erlenmayer şişelerine ekilmiştir. Kültürler 30 °C inkübasyon sıcaklığında 150 r.p.m. çalkalama hızında, 5 gün süreyle inkübe edilmiştir.

3.2.3. Kültürlerde Üremenin Ölçülmesi

Kültürlerde üreme miktarı hücre kitlesindeki kuru ağırlığı ölçerek hesaplandı. Bu işlem filtrasyon yöntemiyle gerçekleştirildi.

3.2.4. Dekolorizasyon Çalışmaları

Dekolorizasyon çalışmaları çalkalamalı olarak yapılmıştır. Çalkalamalı inkübasyon için 250 ml'lik Erlenmayerlere 2 gr. Glukoz, 98 ml. distile su, 2 ml Vogel sıvı besiyeri, 3 ml inokulum ve daha önceden steril edilmiş boyar madde

solüsyonlarından steril şartlarda, 0.05gr/l olacak oranda ilave edilmiştir. Çalkalamalı etüvde (İKA. KS 400 İ CONTROL) 30 °C sıcaklıkta ve 150 rpm' de pH 4.7' ta 5gün inkübasyona bırakılmıştır. Çalkalamalı inkübasyon boyar maddelerin ışığın etkisiyle parçalanabileceği düşünülerek karanlık ortamda yapılmıştır. Boya dekolorizasyonu için optimum koşulların belirlenmesinde her çalışma üç paralelli olarak yürütülmüştür.

3.2.5. Dekolorizasyon Yeteneğine Sahip En Uygun Mikroorganizmanın Belirlenmesi

Beyaz çürükçül mantarlar, *Phanerochaete chrysosporium*, *Pleurotus sajor-caju*, *Funalia trogii* yanı sıra *Gibberella fujikuroi*, modifiye edilmiş Vogel Minimal Sıvı Besiyeri ortamında üretildi. Zamana karşı fungusların bölüm 3.1.1 adı geçen boyaların giderim yeteneği tek tek tarandı. Yapılan ön çalışmalar ile dekolorizasyon yetenekleri test edilen fungusların, kullanılan tekstil boyalarını dekolorizasyon yüzdeleri belirlendi.

3.3. Dekolorizasyon İçin Uygun Koşulların Belirlenmesi

3.3.1. Çalkalamalı İnkübasyonda Çalkalama Hızının Dekolorizasyona Etkisinin Araştırılması

Çalkalama hızının boya gideriminde(Solazol Blue SPBRF H/C)etkinliğini incelemek amacıyla *F.trogii*, hazırlanan Vogel besiyerlerine ekildi. Besiyerleri 30°C' de, 5 gün süreyle 5 farklı hızda (r.p.m 0, 50, 100,150, 200) inkübasyona bırakıldı ve inkübasyon sonunda optimum çalkalama hızı belirlendi.

3.3.2. Boya Giderimi İçin Uygun Sıcaklığın Araştırılması

Yapılan çalışmalarda uygun inkübasyon sıcaklığını belirlemek amacıyla Vogel besiyerlerine *F. trogii* ekildi. Bunun için kültürler 4 farklı parametre'de(25, 30, 35, 40 °C) inkübatörlerde 150 rpm hızında çalkalamalı olarak 5 gün üremeye terk edildi. İnkübasyon sonrası inkübasyon sıcaklığın, boya giderimi üzerine etkisi ve miktarı belirlendi.

3.3.3. Uygun PH Değerinin Araştırılması

Funalia trogii, boya gideriminde PH değerinin etkinliğini incelemek amacıyla, 0,1N HCl ve 0,1N NaOH ile pH 2 ile 8 arasında farklı olarak hazırlanan Vogel besiyerlerine ekildi. Ortamlar 30 °C'de, 150 rpm çalkalamalı hızına ayarlanmış inkübatörde 5 gün üretildiler. İnkübasyon sonrası zamana bağlı olarak uygun PH değerinin dekolorize edilme oranları belirlendi.

3.3.4.Üreme Ortamına İlave Edilen Azot Kaynaklarının Boya Giderimi Üzerine Etkisinin Araştırılması

Mikroorganizmanın dekolorizasyon işlemleri için uygun azot kaynağı ve miktarını belirlemek amacıyla farklı azot kaynakları kullanıldı. Bunun için temel besiyerinde azot kaynağı olarak kullanılan NH_4NO_3 yanı sıra NaNO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, KNO_3 , pepton ve üre içeren besiyerleri hazırlandı. Hazırlanan besiyerinin PH 'sı 5 ayarlandı ve ekim işlemleri yapıldıktan sonra çalkalama hızı 150 rpm, sıcaklık 30 °C 'e ayarlanan çalkalamalı etüvde 5 gün süreyle inkübasyona kaldırıldı. Çalışma sonucu uygun azot kaynağı belirlendi.

3.3.5.Üreme Ortamında Amonyum Nitrat Miktarının, Dekolorizasyon Üzerine Etkisinin Araştırılması

Boya giderimi açısından en uygun azot kaynağının araştırılması sonucu NH_4NO_3 'ün uygun azot kaynağı olduğu belirlenmiştir. *Funalia trogii*'nin boya giderimindeki etkinliğini artırmak ve uygun konsantrasyonu belirlemek amacıyla farklı konsantrasyonlarda NH_4NO_3 içeren (0, 0,1, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1 g/L)besiyeri hazırlanmıştır. Hazırlanan besiyeri PH 'sı 5, çalkalama hızı 150 rpm, sıcaklık 30°C' de 5 gün inkübasyona bırakıldı. İnkübasyon sonrası üreme ortamında dekolorizasyon miktarı belirlendi.

3.3.6: Üreme Ortamına İlave Edilen Karbon Kaynaklarının Boya Giderimi Üzerine Etkisinin Araştırılması

Boya giderimi açısından en uygun karbon kaynağı ve miktarının belirlemek amacıyla Vogel sıvı besiyerinde kullanılan Glukoz'un yanı sıra 6 farklı karbon kaynağı içeren besiyeri hazırlanmıştır. Farklı karbon kaynakları ile (Ksiloz,Sakkaroz,Pektin,Fruktoz,Maltoz,Rafinoz) hazırlanan ortamların PH 'sı 5'e ayarlanmış ve azot kaynağı (NH₄NO₃)daha önce optimize edilen miktarlarda kullanılmıştır. Kullanılan farklı karbon kaynaklarının miktarı modifiye edilmiş Vogel minimal sıvı besiyerinde kullanılan miktarla(10 g/l) aynıdır. Hazırlanan besiyerlerine *F. trogii* ekimi yapıldı. Kültürler daha sonra 30 °C'de, 150 rpm'de 5 gün süreyle inkübasyona kaldırıldı. İnkübasyon sonunda uygun karbon kaynağı belirlendi.

3.3.7. Üreme Ortamında Glukoz Miktarının, Dekolorizasyon Üzerine Etkisinin Araştırılması

Boya giderimi açısından en uygun karbon kaynağının araştırılması sonucu Glukoz'un uygun olduğu belirlenmiştir. *Funalia trogii*'nin boya gideriminde etkinliğini artırmak ve uygun konsantrasyonu belirlemek amacıyla farklı konsantrasyonlarda Glukoz (10, 15, 20, 25, 30 35 g/L) içeren besiyeri hazırlanmıştır. Hazırlanan besiyeri PH 'sı 5 çalkalama hızı 150 rpm, sıcaklık 30 °C' de 5 gün sureyle inkübe edildi. İnkübasyon sonrası üreme ortamında dekolorizasyon miktarı belirlendi.

3.3.8. Başlangıç Koşulları İle Optimize Edilmiş Koşulların Boya Giderimi Açısından Karşılaştırılması

Boya giderimi açısından optimize edilmiş besiyeri hazırlandı. Ancak, temel alınan Vogel minimal sıvı besiyerinden farklı olarak, karbon ve azot kaynakları optimize koşullara göre eklendi. Üreme ortamı PH' sı 5 sıcaklık 30° C ' de 150 rpm 'de ayarlanmış ve 5 gün boyunca inkübasyona terk edilmiştir. İnkübasyon sonunda iki farkı kültür ortamında Lakkaz ativitesi ve boya giderim yüzdesi ölçülmüştür.

3.4. Lakkaz Üretimi

Lakkaz (E.C. 1.10.3.2.), katalitik merkezinde yapısal ve fonksiyonel olarak 3 bakır merkezi içeren enzim grubudur. Lakkaz tarafından oksitlenebilen substratlar şu şekildedir: metokis- veya amino-monofenoller ve aromatik daiminler, ABTS [2,2'-azino-bis-(3-etilbenzothiazoline-6-sulfonik asit)], 1-naftol, hidroksiindoller. Bunların yanı sıra normalde tek başına substrat olarak görev yapmayan bazı bileşikler de ABTS varlığında okside olabilmektedirler [74].

Çalışmada kullanılan enzim üretimi için, boya giderimi ve lakkaz aktivitesi açısından yüksek aktivite gösteren *Funalia trogii* kullanılmıştır. Bu amaçla PDA yatık kültürlerinde bulunmuş olan miseller 1 ml steril distile su içinde süspansiyon edilmiştir. Hazırlanan misel süspansiyonu steril koşullarda 100 ml modifiye edilmiş Vogel minimal sıvı besiyeri içeren 250 ml'lik erlenlere ekilmiştir. Ancak temel modifiye Vogel minimal sıvı besiyerinden farklı olarak, bu ortamın önceki çalışmalarda belirlenen miktarda uygun karbon ve azot kaynağı eklenmiştir. Ekim işlemi sonucu *Funalia trogii* içeren üreme ortamı koşulları 30 °C 'de, 150 r.p.m' de olmak suretiyle 5 günlük inkübasyona kaldırılmıştır. Bu sürenin sonunda kültürler süzülerek biyokütle sıvı fazdan ayrılmıştır. Elde edilen süzüntü Kurutma kâğıdından tekrar süzölmüştür ve çalışma süresince ham enzim kaynağı olarak kullanılmıştır.

3.5. Lakkaz Aktivitesinin Ölçümü

Lakkaz aktivitesi ölçümünde Taşpınar ve Kolankaya'nın (1998) belirttiği yöntem izlenmiştir. Lakkaz aktivitesi ölçümü için tepkime tüplerinde toplam hacim 5 ml olacak şekilde substrat olarak 4,9 ml ve 1 mM Guaiakol içeren 50 mM Sodyum-Asetat tamponu (pH 4,5) ve enzim kaynağı olarak 0,1 ml kültür süpernatantı kullanılmıştır. 37 °C'de 15 dakika inkübasyondan sonra 465 nm dalga boyunda spektrofotometrede (UV-1700.SHIMADZU) absorbans ölçülmüştür. Çalışmada, 37 °C, 1 dakika, 465 nm dalga boyunda absorbansı 0,1 birim artıran enzim aktivitesi 1 Unit aktivite olarak tanımlanmıştır [78].

3.6. Elde Edilen Ham Lakkaz İle Boya Giderimi

Lakkaz aktivitesine sahip kültür sıvısının renk giderim açısından etkinliğinin ve optimize edilmiş koşullarda dekolorizasyon oranının belirlenmesi bölüm 3,4' de anlatıldığı gibi hazırlanmıştır. Önceki dekolorizasyon çalışmalarında kullanılan *Solazol Blue SPBRF H/C* 0.05g/l olarak hazırlanmıştır. Öncelikle bu boyar madde için diğer deneylerde yapıldığı gibi bir dalga boyu taraması yapılmış (300-800 nm arası)ve en yüksek absorbands değeri 615nm olarak bulunmuştur. Dekolorizasyon çalışmaları boyunca bu değer sabit tutularak tüm ölçümler 615 nm yapılmıştır.

4.SONUÇ VE TARTIŞMA

Dünyada yapılan son çalışmalar endüstriyel atık suların alıcı ortamdaki olumsuz etkilerinin giderilmesinde klasik yöntemlerin bir takım dezavantajlarının giderilmesi yönünde olup çok çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler üzerinde yoğunlaşmaktadır. Boyar maddelerin moleküler özellikleri ve çevresel açıdan taşıdıkları önem nedeni ile arıtılabilirliklerinin araştırılması ve arıtma seçeneklerinin ortaya konulması büyük önem taşımaktadır.

Yüksek hacimli ve bileşimi büyük değişimler gösteren tekstil atık suları çevre kirlenmesine neden olan boyar maddeler ve toksik bileşikler içermektedir. Boyar maddelerin çevre şartlarına dayanıklı olması ve tekstil atık sularında karışık olarak bulunması nedeniyle geleneksel arıtım yöntemleriyle arıtılmaları pek kolay değildir. Bu nedenle son zamanlarda bu atık suların arıtılmasında maliyeti düşük ve uygulanabilirliği yüksek biyolojik giderim prosesleri tercih edilmektedir. Biyolojik giderim proseslerinde yapısal olarak farklı kirleticileri yıkabilme özelliklerinden dolayı çoğunlukla beyaz çürükçül mantarlar kullanılmaktadır [78].

Literatürde biyolojik boya giderimi ile ilgili çalışmalar incelendiğinde; en yaygın olarak kullanılan saf mikroorganizma kültürleri beyaz çürükçül mantarlardır. Beyaz çürükçül fungusların yanı sıra bakteri, maya ve küflerin birçok çalışmada biyolojik boya gideriminde kullanıldıkları belirlenmiştir. Beyaz çürükçül mantarlar tarafından boyar madde içeren atık sularda gerçekleştirilen renk giderimi, ilk olarak *Phanerochaete chrysosporium* türünde, ligninolitik aktiviteyi ölçen metodu geliştiren Glenn ve Gold (1983) tarafından rapor edilmiştir. *Phanerochaete chrysosporium* üzerinde en çok çalışılan mantar türü olmasına rağmen, *Trametes versicolor*, *Bjerkandera adusta* ve *Pleurotus* türleri üzerinde de çalışılmıştır [59],[60],[80],[81] .

Çalışmamız kapsamında; *Phanerochaete chrysosporium*, *Pleurotus sajor-caju*, *Gibberella fuji kuroi* ve *Funalia trogii* ile çeşitli boyaların giderimi araştırıldı. Adı geçen funguslar arasında *Funalia trogii*' nin en yüksek boya giderim (Solazol Blue SPBRF H/C)potansiyeline sahip olduğu saptanmıştır.

4.1.Maksimum Dekolorizasyon Gerçekleştiren Fungus Suşunun seçimi

Beyaz çürükçül mantarlar, *Phanerochaete chrysosporium*, *Pleurotus sajor-caju*, *Funalia trogii* ve bunlar dışında *Gibberella fujikuroi* modifiye edilmiş Vogel Minimal Sıvı Besiyeri ortamında üretildi. Zamana karşın fungusların çizelge 4.1’de adı geçen boyaların giderim yeteneği tek tek tarandı. Yapılan ön çalışmalar ile dekolozasyon yetenekleri test edilen fungusların, kullanılan tekstil boyalarını dekolozasyon yüzdeleri belirlenmiştir.

$$\text{Dekolorizasyon(\%)} = \frac{\text{başlangıç absorbans} - \text{son absorbans}}{\text{başlangıç absorbans}} \times 100$$

Bu çalışmadan elde edilen verilere göre, en kısa sürede en yüksek dekolozasyon yüzdesi sağlayan fungus seçilmiştir. Test edilen funguslara göre en kısa sürede dekolozasyon yapan *Funalia trogii* mantarının boya giderimindeki aktivitesini artırmak amacıyla, pH, inokulum konsantrasyonu, çalkalama hızı, karbon kaynağı, azot kaynağı ve sıcaklık gibi parametreleri değiştirilerek daha hızlı ve yüksek oranda dekolozasyon gerçekleştirilip gerçekleştirilemeyeceği araştırılmıştır.

Çizelge.4.1. Çalışmada kullanılan fungusların dekolozasyon yüzdesi

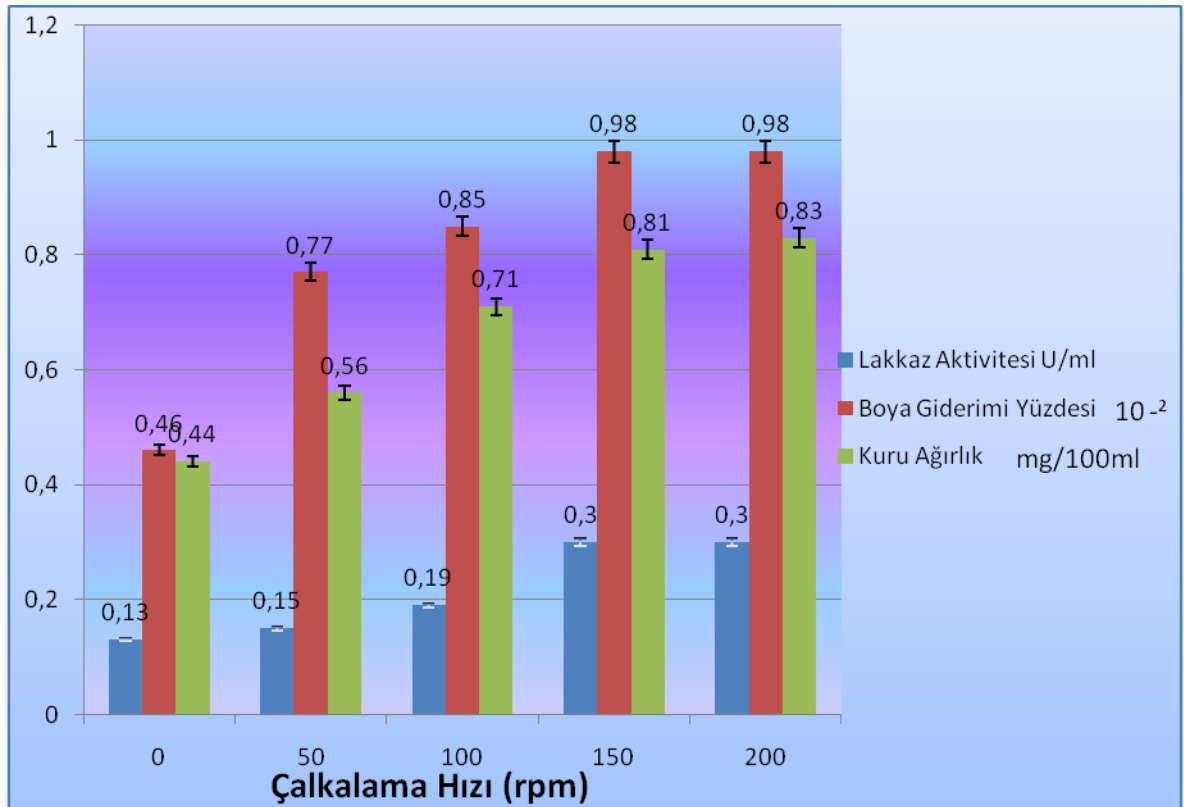
Funguslar	Boyalar	1.gün	2. gün	3.gün	4. gün	5.gün
<i>Funalia trogii</i>	Basic Yellow 13	7	11.62	18.05	18.23	18.87
	Reactive Yellow 15	40.68	59.42	79	86	89.59
	Reactive Black 5	11	13.46	20.32	49.83	50
	Direct Blue 71	87.21	90	92.31	93.33	93.70
	Basic Red 46	39.83	45.01	48.53	48.99	50.16
	Direct Yellow 29	0.07	0.98	2.18	2.18	2.18

<i>Phanerochaete chrysosporium</i>	Basic Yellow 13	10.56	13	16.05	18.78	18.88
	Reactive Yellow 15	19.31	32.11	41.96	69	78.57
	Reactive Black 5	6	15.90	28	52	60
	Direct Blue 71	1.13	6	11	32.41	50.29
	Basic Red 46	0.19	3.93	10.12	13.43	23.33
	Direct Yellow 29	0	0	0	3.12	3.12
<i>Pleurotus sajor caju</i>	Basic Yellow 13	0	0	1	4	7.10
	Reactive Yellow 15	14.71	37.43	48	68.23	89
	Reactive Black 5	12	36	54	62	70
	Direct Blue 71	25	33.61	40.21	41.88	41.88
	Basic Red 46	8.13	13.03	20.12	31.01	32.53
	Direct Yellow 29	3	8.01	11.18	14.71	15.88
<i>Gibberella fujikuroi</i>	Basic Yellow 13	8.31	11	19	29.27	31.28
	Reactive Yellow 15	18.05	20	20	22	22.75
	Reactive Black 5	7	8.07	11	11	18.53
	Direct Blue 71	9	12	13.04	19.12	21.11
	Basic Red 46	4.18	16	28.47	33.02	42.30
	Direct Yellow 29	6	8	8.04	12.31	15.88

4.2. Dekolorizasyon için Optimum Koşulların Belirlenmesi

4.2.1 *Funalia trogii* Kültüründe Çalkalama Hızının Boya Giderimine Etkisi

Funalia trogii kültüründe çalkalama hızının boya giderimine(Solazol Blue SPBRF H/C) etkisini tespit etmek amacıyla farklı çalkalama hızlarında inkübasyona bırakılan kültür ortamlarında dekolorizasyon miktarı ölçüldüğünde, maksimum boya yıkımı için yeterli çalkalama hızının 150 r.p.m (%99,2) olduğu belirlendi.(Şekil 4.1). Yüzde yıkımla beraber üremenin(880 mg/100ml) ve lakkaz aktivitesinin maksimumuna (2,58 U/ml) ulaştığı saptandı. Çalkalama hızı ile kuru ağırlık artışı ve lakkaz aktivitesi ile dekolorizasyon arasında doğru orantılı bir korelasyon bulunduğu görüldü. Benzer sonuçlar *Phanerochaete chrysosporium*, *Trametes versicolor* ve *Bjerkandera adusta* ile yapılan dekolorizasyon çalışmalarında (Heinfling ve ark.1997)tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışmada 3 azo boya grubunda çalkalamalı inkübasyon ortamında % 95 oranında boya giderimi belirlenmiştir [59][82].



Şekil 4.1. Çalkalama Hızının Boya(Solazol Blue SPBRF H/C) Gideriminde Etkisi.

Üretimler Bölüm 3.3.1.'te anlatıldığı şekilde gerçekleştirildi. Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır

İnkübasyon koşullarının renk giderimi, mikroorganizma üretimi ve lakkaz enzimi sentezi üzerine etkisinin belirlenmesi üzere yapılan bu çalışmada renk gideriminin yüksek çalkalama hızlarında fazla olduğu görüldü. Elde edilen sonuçlarımız Swamy ve Ramsay 1999 tarafından tespit edilen sonuçlarla paralellik göstermektedir. Lakkaz aktivitesi statik koşullarda düşük değerlerdeyken çalkalama hızının artışına bağlı olarak artış göstererek 150 rpm'de boyalı maksimum değere ulaştı [80],[83].

Wesenberg vd. çalkama hızı arttığında kültür ortamında oksijen transferinin daha iyi olduğunu ve buna bağlı olarak hem renk giderimi veriminin hem de lakkaz aktivitesinin arttığını rapor etmiştir [84].

Wilkolazka vd.(2001) tarafından yapılan diğer bir çalışmada çalkalamalı kültürde elde edilen renk gideriminin veriminin kültürlerden daha yüksek olduğu vurgulanmaktadır [86].

Çalışmamızı destekleyecek diğer çalışma ise Park ve ark. (2006), tarafından yapılan çalışmadır. Park ve ark. *Funalia trogii*'nin çalkalamalı sıvı kültürleri ile 8 adet tekstil boyasının renginin 3 gün içinde giderildiğini belirtmişlerdir [86]. Moreira ve ark. (2000), beyaz çürükçül fungusların Poli R-478, Orange II ve RB38 boyaalarının renginin 14 günlük üretim sonucunda %90 üzerinde giderildiği yönünde çalışmamızı destekler sonuçlar belirtmişlerdir [88]. Çalışmamızın sonuçlarına uygunluk gösteren diğer çalışma ise Yeşilada ve ark.(2002)tarafından yapılmış olan çalışmadır. Bu çalışmada *F.trogii* ile Astrozon Red FB boyasının en yüksek dekolorizasyon değeri 100_150 rpm de rapor edilmiştir.[88] Maximo ve Costa-ferreia (2003) *Irpex lacteus* ile yaptıkları dekolorizasyon çalışmaları 120 rpmde ve Amaral ve ark.(2003)ise çalışmalarını 160 rpmde *Trametes versicolor* ile gerçekleştirmişlerdir [89].

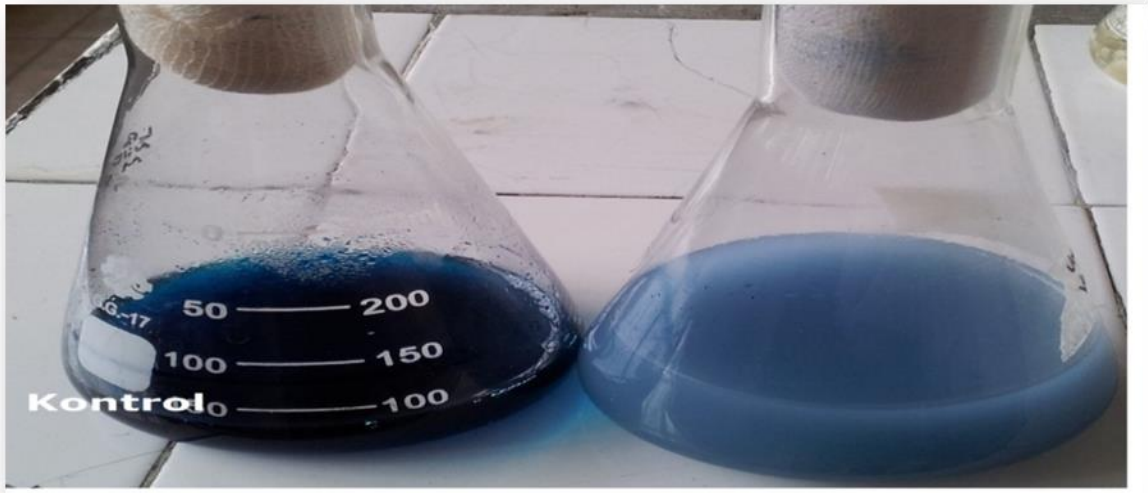
Yeşilada ve arkadaşları (2003) *F. trogii* fungusuyla yaptıkları diğer dekolorizasyon çalışmasında ise Astrazone Black FDL, Astrazone Blue FGRL ve Astrazone Red FBL tekstil boyaalarıyla en yüksek dekolorizasyonun 150 rpmde olduğunu rapor etmişlerdir. Bu fungusun düşük çalkalama hızında (100 rpm) yavaş fakat 150 rpmde yüksek dekolorizasyon gösterdiğini vurgulamıştır [88]. Çalışmamızı destekleyecek benzer çalışma ise Sam (1999)Orange II tekstil boyası ile *Coriolus versicolor* ve *F. trogii* funguslarının renk giderimi üzerine yapılan çalışmadır. Sam

(1999). optimizasyon çalışmasında çalkalama hızını 50-200 rpm değerleri arasında denemiş ve 150 rpm de en yüksek dekolorizasyon değerine ulaşmıştır [89]. Bu çalışmalar çalkalama hızı arttıkça hücreler ile besiyeri arasında daha fazla kütle ve oksijen transferi olduğu için, dekolorizasyon daha hızlı olduğunu göstermektedir. Aynı şekilde mikroorganizma ile boya moleküllerinin temas etme olanağı daha hızlı ve daha fazla olmaktadır [90].

Çalkalamalı ve Statik Uygulamalar Sonucunda Elde Edilen Renk Giderimi Görüntüleri :



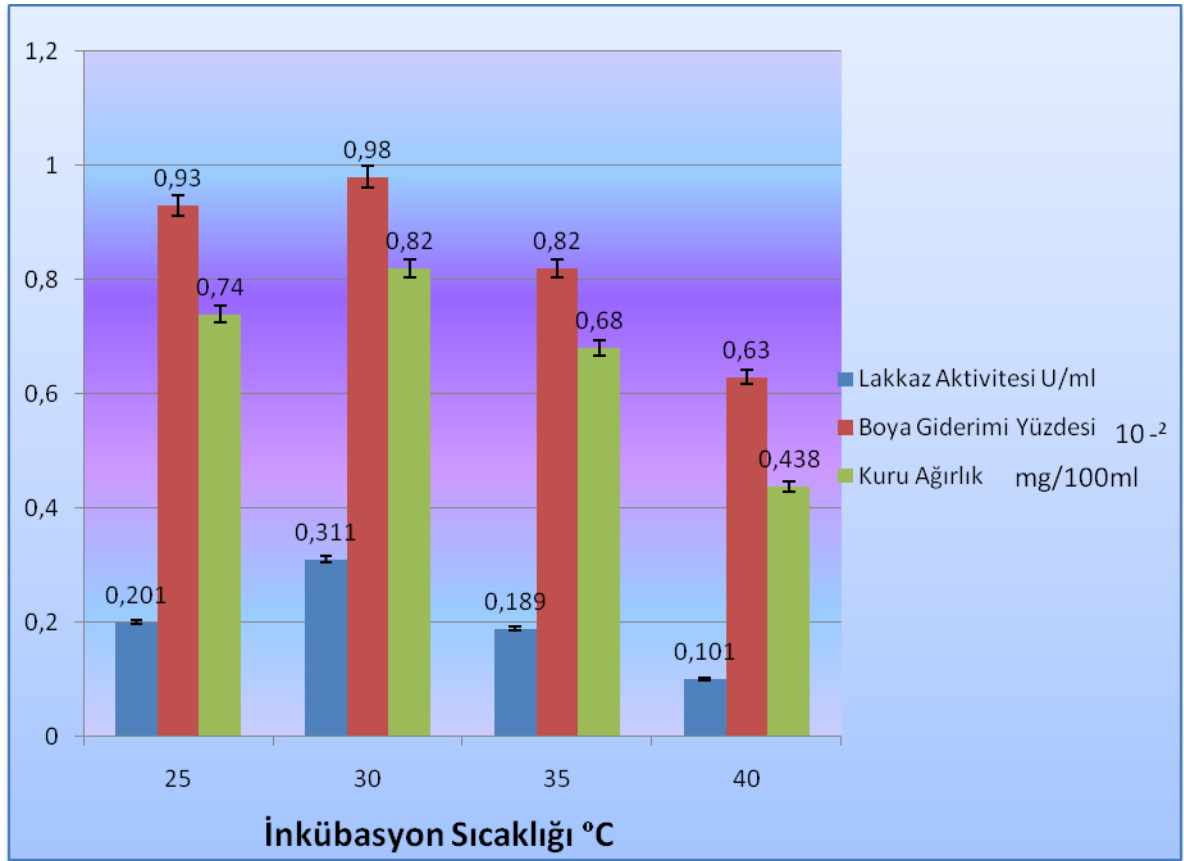
Şekil 4.2. 0.05gr/l Direct Blue 71(Solazol Blue SPBRF H/C) tekstil boyası kullanılarak yürütülen çalkalamalı çalışmalara ait sonuçlar.



Şekil 4.3. 0.05gr/l Direct Blue 71(Solazol Blue SPBRF H/C) Boyası Kullanılarak Yürütülen Statik Çalışmalara Ait Sonuçlar.

4.3. *Funalia troglia* Kültüründe İnkübasyon sıcaklığının Boya Giderimine Etkisi

Solazol Blue SPBRF H/C gideriminin gerçekleştiği uygun inkübasyon sıcaklığını tespit etmek amacıyla yapılan çalışmamızda maksimum oranda boya giderimi(98,91%) için optimum ortam sıcaklığının 30 °C olduğu gözlemlendi.(Şekil 4.4) Bölüm 3.3.2 'de anlatıldığı gibi uygun inkübasyon sıcaklığı belirlenmek üzere deneyler 4 farklı sıcaklıkta yapıldı. Yüzde boya giderimi ile beraber Lakkaz aktivitesi ve üremenin 30°C maksimum değere ulaştığı tespit edildi. İnkübasyon sıcaklığı için kuru ağırlık artışı ve lakkaz aktivitesi ile dekolorizasyon arasında doğru orantılı bir korelasyon bulunduğu görüldü.(şekil 4.4).



Şekil 4.4. İnkübasyon Sıcaklığının Boya(Solazol Blue SPBRF H/C) Giderimine Etkisi. Üretimler bölüm 3.3.2.'te anlatıldığı şekilde gerçekleştirildi. Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır.

Farklı inkübasyon sıcaklıklarının dekolorizasyona etkisi belirlemek üzere bölüm 3.3.2 de anlatıldığı gibi deneyler 4 farklı sıcaklıkta yapıldı. Yüzde boya giderimi ile beraber Lakkaz aktivitesi ve üremenin 30°C maksimum değere ulaştığı tespit edildi. Toh ve ark.(2003) inkübasyon sıcaklığını, dekolorizasyon üzerine etkisine bakmak amacıyla *T.versicolor* ile Romazol Blue PR'yi 9 gün sonunda 30 °C ve 35 °C 'de %99 dekolorize etmiştir [91].

Assadi ve arkadaşları (2001) *P. chrysosporium* ile tekstil atık sularının dekolorizasyon çalışmasında 30 °C 35 °C sıcaklıklarda dekolorizasyonun daha iyi olduğu sonucunu rapor etmişlerdir [92].

Sam (1999), *C. versicolor* ve *F. trogii* funguslarıyla Orange II tekstil boyasının dekolorizasyonunda 20 - 35 °C sıcaklık aralığını denemiş ve en uygun sıcaklığı 30 °C olarak bulmuşlardır [90].

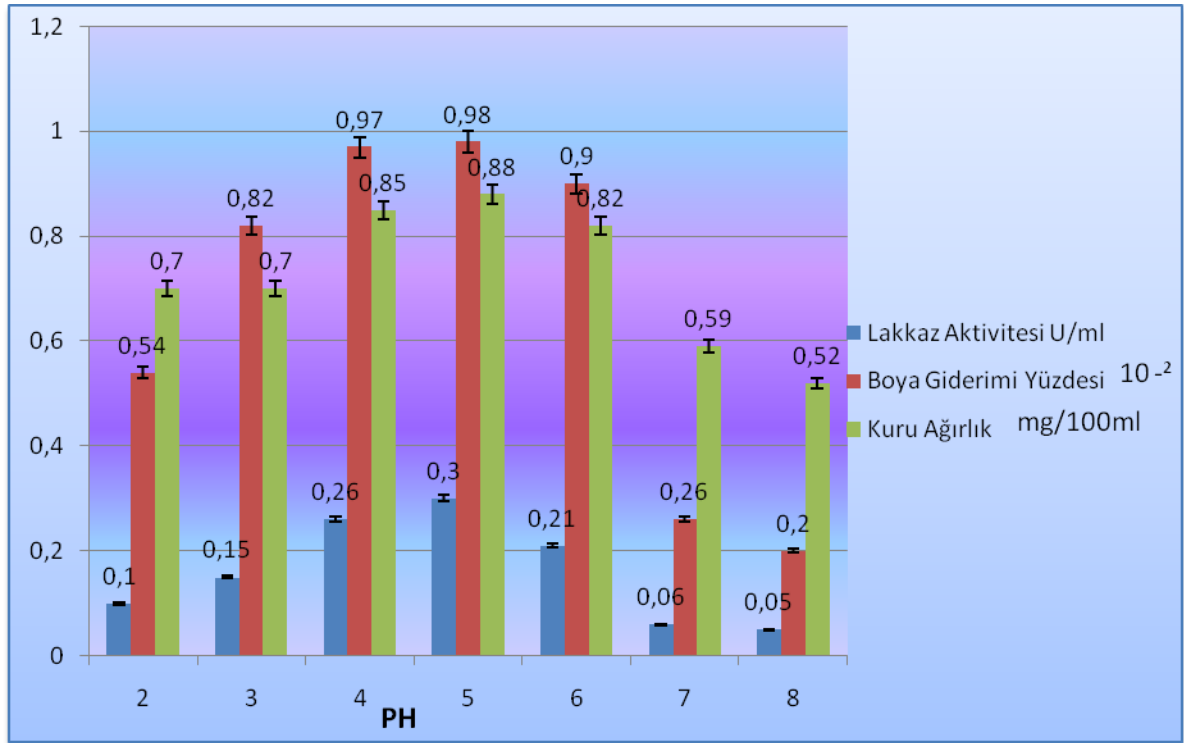
Başka bir çalışmada ise Yeşilada ve ark.(2001)farklı sıcaklıklar denemesine rağmen optimum dekolorizasyon sıcaklığını *F.trogii* 'nin gelişmesi için 30 °C olarak rapor etmiştir [88].

Chen ve ark.(2003) 20-35 °C arasında yaptıkları deneylerde en düşük renk gideriminin 35 °C 'de olduğunu ve neden olarak bu sıcaklıkta dekolorizasyona sebep olan enzimin aktivitesinin düşmesini göstermişlerdir [93].

4.4.Funalia trogii Kültüründe PH değerinin Boya Giderimine Etkisi

PH değerlerinin boya giderimi (Solazol Blue SPBRF H/C) üzerine etkisini belirlemek amacıyla farklı PH değerine sahip (Bölüm 3.3.3) kültür ortamlarında gerçekleşen deneyler sonucu maksimum boya gideriminin PH:5 'de olduğu görüldü. Yüzde(98.91%) yıkımla beraber üremenin PH:5 'de maksimum değere ulaştığı tespit edildi. Kültür ortamının PH'sı için kuru ağırlık artışı ve lakkaz aktivitesi ile dekolorizasyon arasında doğru orantılı bir korelasyon bulunduğu görüldü.(şekil 4.5).

Dekolorizasyon için uygun pH değerinin saptanması için pH değerleri bölüm 3.3.3.'de anlatıldığı şekilde (PH:2.3.4.5.6.7.8.) hazırlanan besiyerlerinde, *F.trogii* inkübasyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucu 7 farklı PH değeri denenerek boya giderimi için optimum PH değeri tespit edilmiştir.(şekil 4.5).



Şekil 4.5. *Funalia trogii* Kültüründe PH Değerinin Boya(Solazol Blue SPBRF H/C) Giderimine Etkisi. Üretimler bölüm 3.3.3.'de anlatıldığı şekilde gerçekleştirildi. Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır.

Benito ve arkadaşları (1997) dekolorizasyon için optimum pH'ın 5 olduğunu tespit etmişlerdir. *T. versicolor* pH 3,5 ve 7'ye aralığında yapılan bu çalışmada PH arttıkça fungus hemen hemen hiç aktivite göstermemiş ve sadece %10 oranında dekolorizasyon yapabilmıştır [94].

Rodriguez Couto ve ark (2004) *T. hirsuta*'dan elde ettiği 0,3 U/ml aktiveye sahip lakkaz ile Luganil boyasının gideriminde pH 4 te, 2 saat sonunda % 16,2 'lık bir giderim olduğu bildirilmiştir. Enzimatik dekolorizasyonda boyanın yapısına göre uygun pH değeri değişebilmektedir [95].

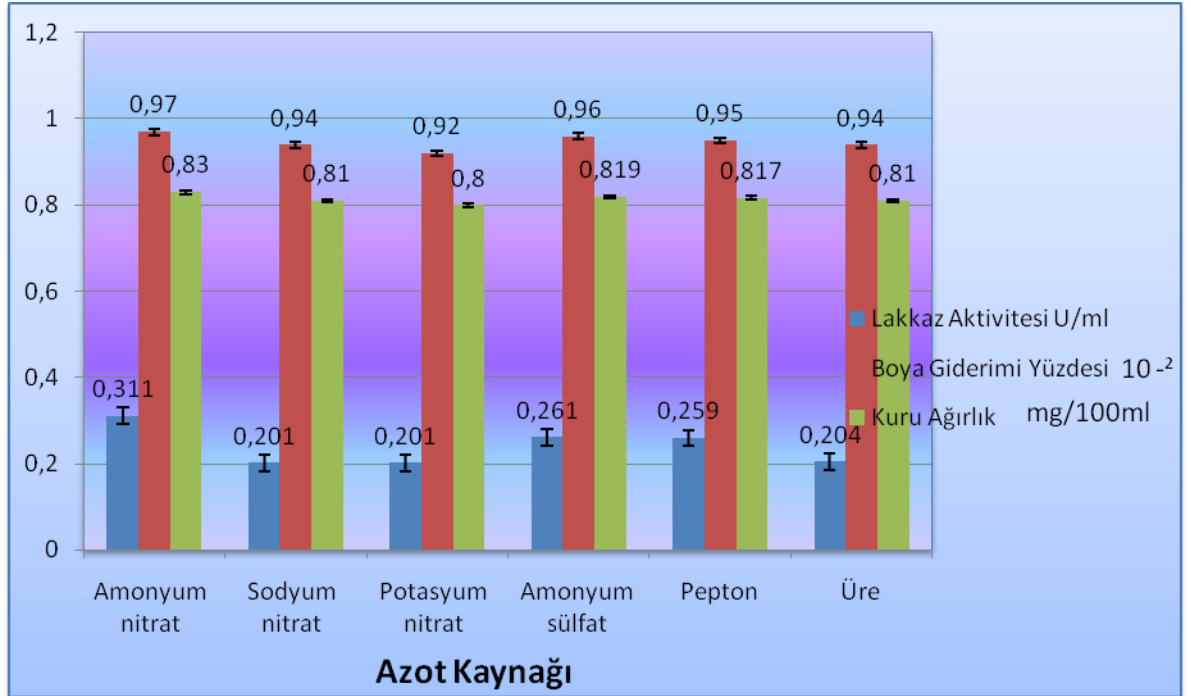
Santos ve ark.(2006)*Pleurotus-pulmonarius* ile yaptıkları çalışmada en yüksek dekolorizasyon yüzdesini(85%) PH 4.5 'de elde ettiklerini belirtmişlerdir. Benzer diğer çalışmada ise Fu ve Viraraghavan (2001)en iyi dekolorizasyonun PH 4-5 aralığında olduğunu rapor etmişlerdir [96].

Yeşilada ve ark. (2002) ise başlangıç pH' sının dekolorizasyon oranını etkilemediğini tespit etmişlerdir. *F. trogii* 6-11 arasındaki tüm pH değerlerinde Astrozon Red FBL'yi dekolorize etmiştir. PH ile ilgili tüm bu çalışmalar,

dekolorizasyon açısından pH' in önemli olduğunu göstermektedir. Maksimum dekolorizasyonun genellikle mikroorganizmanın optimum gelişim gösterdiği veya dekolorizasyonda rol oynayan enzimin optimum aktivite gösterdiği pH değerinde gerçekleştiği görülmektedir [88].

4.5. *Funalia trogii* Kültüründe Farklı Azot kaynağının Boya Giderimine Etkisi

Boya gideriminin (Solazol Blue SPBRF H/C) gerçekleştiği uygun azot kaynağını tespit etmek amacıyla yapılan tez çalışmamızda maksimum oranda boya giderimi (98,19%) için en uygun azot kaynağının amonyum nitrat olduğu gözlemlendi. (Şekil 4.6). Bölüm 3.3.4 'de anlatıldığı gibi uygun azot kaynağının belirlenmesi amacıyla deneyler 6 farklı azot kaynağı (NH_4NO_3 , NaNO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, KNO_3 , pepton ve üre) içeren besiyerinde denendi. Yüzde boya giderimi ile beraber Lakkaz aktivitesi ve üremenin NH_4NO_3 içeren besiyerinde maksimum değere ulaştığı tespit edildi. NH_4NO_3 içeren üreme ortamı için kuru ağırlık artışı ve lakkaz aktivitesi ile dekolorizasyon arasında doğru orantılı bir korelasyon bulunduğu görüldü. (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 *Funalia trogii* Kültüründe Farklı Azot Kaynaklarının Boya(Solazol Blue SPBRF H/C) Giderim ve Lakkaz Aktivitesine Etkisi. Üretimler bölüm 3.3.4.'de anlatıldığı şekilde gerçekleştirildi. Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır.

4.5. *Funalia trogii* Kültüründe NH₄NO₃ Miktarının Boya Giderimine Etkisi

Solazol Blue SPBRF H/C giderimi açısından en uygun azot kaynağının araştırılması sonucu NH₄NO₃ 'ın uygun azot kaynağı olduğu belirlenmiştir. *Funalia trogii*'nin boya giderimindeki aktivitesini artırmak ve uygun konsantrasyonu belirlemek amacıyla farklı konsantrasyonlarda (Bölüm3.3,5) NH₄NO₃ içeren (0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1 g/L)üreme ortamı hazırlanmıştır. Yüzde boya giderimi ile beraber Lakkaz aktivitesi ve üremenin 0,2 g/L NH₄NO₃içeren besiyerinde maksimum değere ulaştığı tespit edilmiştir.

No'ra Hatvani ve arkadaşları (2002) boya giderimi üzerinde besin kompozisyonu ve katı ortamda *Lentinus edodes* tarafından hücre dışı enzim üretimi etkisini belirlemek amacıyla farklı azot kaynağı içeren katı üreme ortamı denemişlerdir. 6 mM NH₄CL içeren üreme ortamında zon çapını 52 mm ve 1 mM Pepton içeren üreme ortamında 14 gün sonunda 50 mm dekolorizasyon tespit etmişlerdir [98].

Qingxiang Yang ve ark.(2005). *Debaryomyces polymorphus* ile yaptıkları çalışmada en yüksek dekolorizasyon yüzdesini 1 g/l amonyum sülfat içeren üremede elde ettiklerini belirtmişlerdir. Modifiye Vogel sıvı üreme ortamında üretilen *Trametes hirsuta* 'tan elde edilen lakkaz enzim ile maksimum boya giderimi 41 % ulaştığı gözlenmiştir [98].

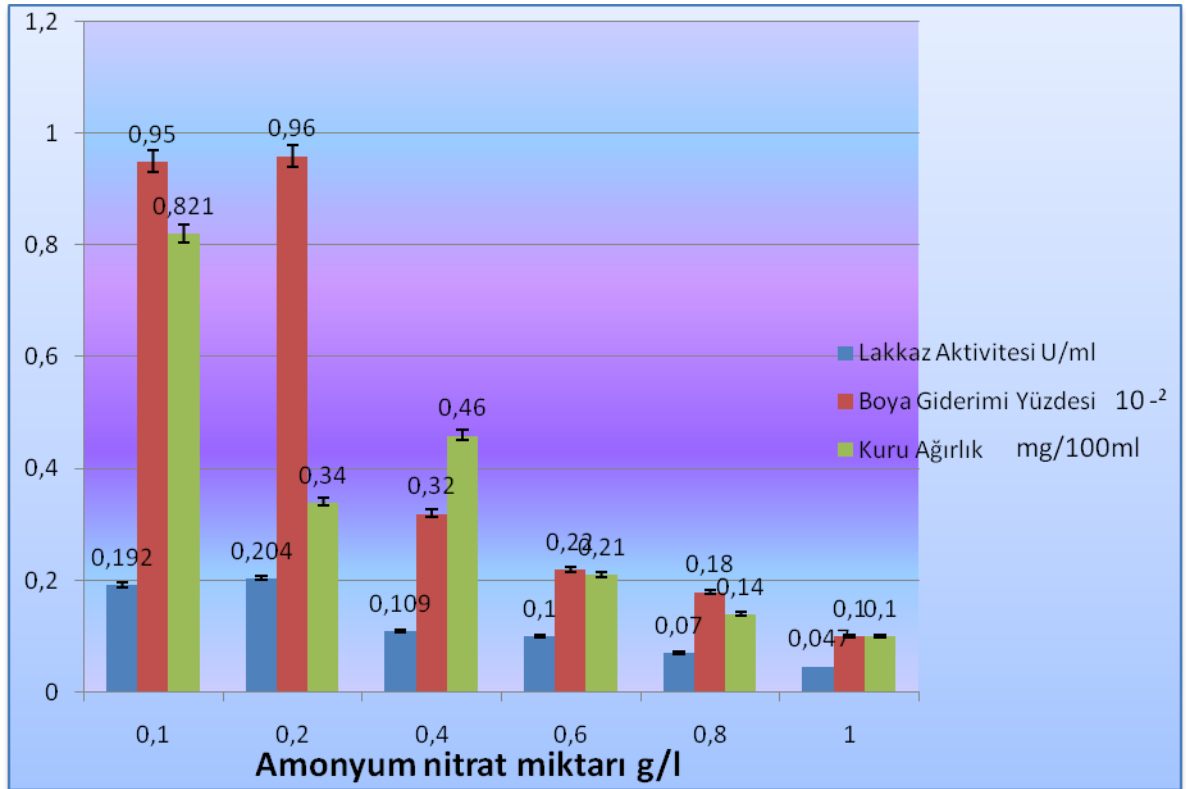
Beyaz çürükçül funguslar 'la atık sulardan boyar maddelerin giderimi üzerinde yapılan bir diğer çalışma ise *Trametes hirsuta* ve *Pleurotus Florida* Sathiya moorthi ve ark. (2007)tarafından yapılmıştır. Buğday kepeği % 4.5, yeast extract 1.5%, glukoz% 1, NH₄Cl % 0.25, % 0.05, tiamin diklorür, KH₂PO₄,% 0.2, MgSO₄.7H₂O % 0.05,% 0.01 CaCl₂, KCl,% 0.05 içeren üreme ortamından elde edilen ham lakkaz 'la maksimum dekolorizasyonun 10. günün sonunda %98 ulaştığını belirtmişlerdir.

Yarrowia lipolytica ile Reactive Black 5 boyasının giderimi üzerinde yapılan bir diğer çalışmada ise farklı azot kaynağı kullanılmıştır. Deneyler amonyum sülfat, amonyum nitrat, sodyum nitrat ve pepton gibi farklı azot kaynağı içeren üreme ortamlarında yapılmıştır. Çalışma sonucu amonyum sülfat içeren üreme ortamında boya giderimi aktivitesi %97 ve amonyum nitrat içeren üreme ortamında %93 olarak rapor edilmiştir. Beyaz çürükçül funguslar lignin peroksidaz, manganez peroksidaz ve lakkaz gibi hücre dışı enzimler üretme yeteneğine sahiptir [99].

Ayrıca kültür ortamı ve içeriği mikroorganizmanın sekonder metabolit üretim fazına geçişini etkileyen önemli faktörlerden birisidir. Üreme ortamında azot kaynağı ve miktarı lignolitik enzimlerin sentezinde önemli rol oynamaktadır. Beyaz çürükçül

funguslarda bu enzim gruplarının üremesi azot kaynağının tükenmesi ile başlar [100]. Ligninolitik enzimlerin sentezi için azot kaynağı olarak pepton, maya özütü, sodyumnitrat, amonyumnitrat ve üre sık kullanılan kaynaklar olarak bildirilmiştir Enzimlerin sekonder olduğu bilinmektedir.(Park at al 2008). Khelifi ve arkadaşları, 2009, *Aspergillus alliaceus* 'la yaptıkları çalışmada kullanıldığında düşük nitrojen konsantrasyonun, Congo Red renginin giderimini arttırmasına neden olduğunu belirtmişlerdir. *T. versicolor* fungusu ile yapılan bir diğer çalışmada düşük azot konsantrasyonunun ligninolitik enzimlerin sentezini arttırdığı bildirilmiştir [101].

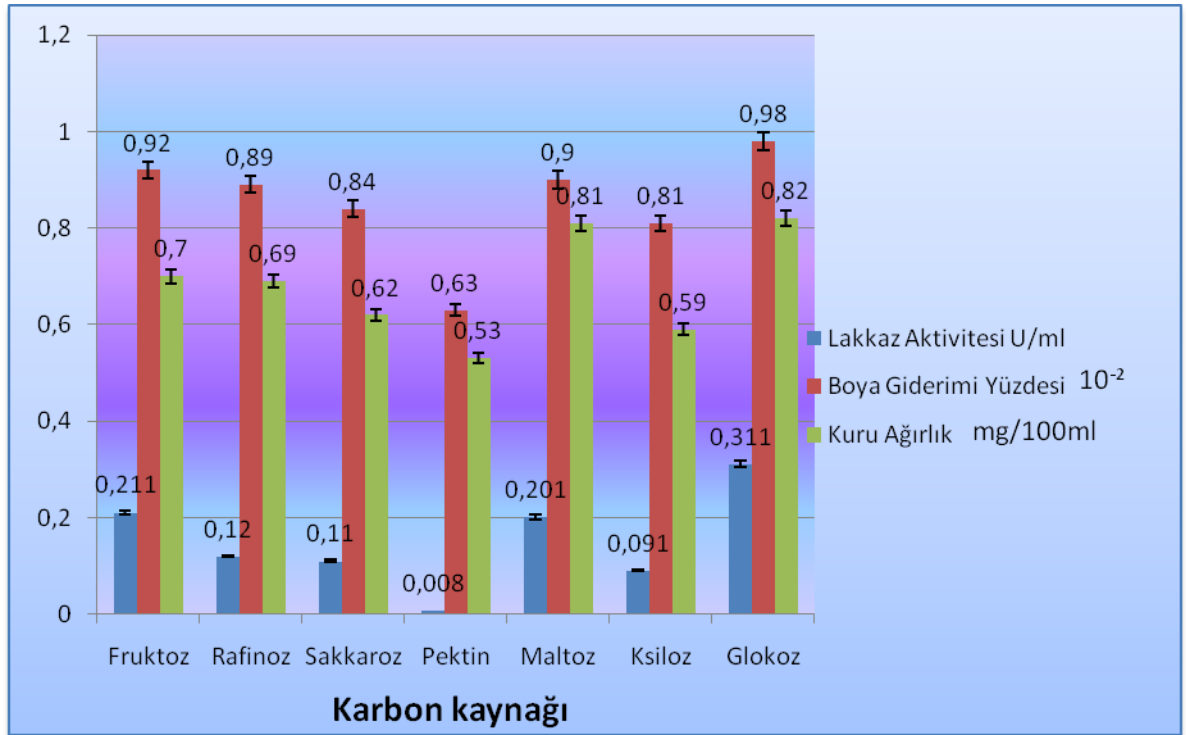
Beyaz çürükçül fungusları üremek için azot kaynakları geniş bir yelpazede kullanılabilirler. Ancak mikroorganizmanın optimum üreme, dekolorizasyonda rol oynayan enzimin optimum aktivite göstermesi azot kaynağıyla ilişkilidir. Mikroorganizma hücre içinde azot kaynağını glutamat ve glutamin amino asit dönüştürmek zorundadır. Bu iki amino asitler, hücredeki diğer azot içeren bileşikler için azot vericileri olarak hizmet vermektedir. Glutamat ve glutamin her ikisi de doğrudan amonyak kullanılarak sentezlenebilir [102].



Şekil 4.7. *Funalia trogii* Kültüründe Uygun Azot Miktarının Boya(Solazol Blue SPBRF H/C) Giderimine Etkisi. Üretimler bölüm 3.3.5.'de anlatıldığı şekilde gerçekleştirildi. Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır

4.6. *Funalia trogii* Kültüründe Farklı Karbon kaynağının Boya Giderimine Etkisi

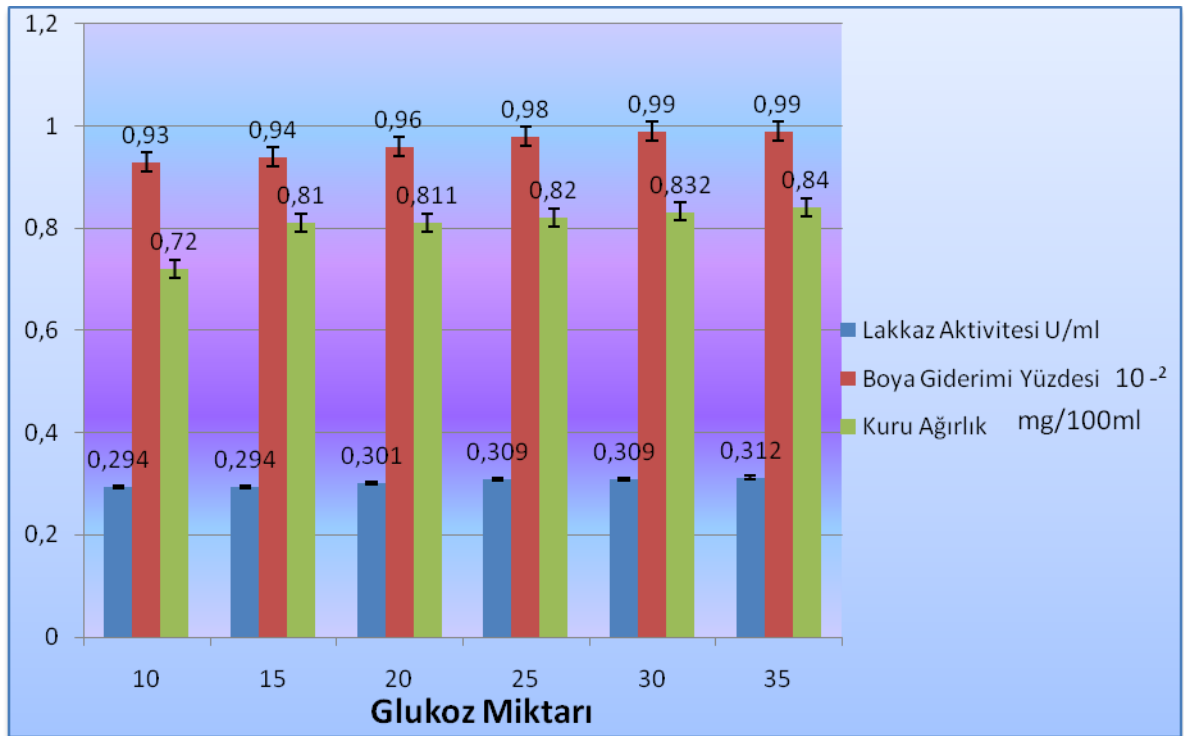
Boya gideriminin(Solazol Blue SPBRF H/C) gerçekleştiği uygun karbon kaynağını tespit etmek amacıyla yapılan tez çalışmamızda maksimum oranda boya giderimi için en uygun karbon kaynağının Glukoz olduğu gözlemlendi. (şekil 4.8). Bölüm 3.3.6 'de anlatıldığı gibi uygun karbon kaynağının belirlenmesi amacıyla deneyler 7 farklı karbon kaynağı içeren besiyeri hazırlanmıştır. Farklı karbon kaynakları (Ksiloz, Sakkaroz, Pektin, Fruktoz, Maltoz, Rafinoz) içeren besiyerinde denendi. Yüzde boya giderimi ile beraber Lakkaz aktivitesi ve üremenin glukoz içeren besiyerinde maksimum değere ulaştığı tespit edildi. Glukoz içeren üreme ortamında kuru ağırlık artışı ve lakkaz aktivitesi ile dekolorizasyon arasında doğru orantılı bir korelasyon bulunduğu görüldü. (şekil 4.8).



Şekil 4.8. *Funalia trogii* Kültüründe Uygun Karbon Kaynağının Boya(Solazol Blue SPBRF H/C) Giderimine Etkisi. Üretimler bölüm 3.3.6.'de anlatıldığı şekilde gerçekleştirildi. Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır.

4.7. *Funalia trogii* Kültüründe Glukoz Miktarının Boya Giderimine Etkisi

Solazol Blue SPBRF H/C giderimi açısından uygun karbon kaynağının glukoz olduğu saptanmıştır. *Funalia trogii*'nin boya giderimindeki etkisini artırmak ve uygun konsantrasyonu belirlemek amacıyla farklı konsantrasyonlarda (Bölüm 3.3.7). Glukoz (10, 15, 20, 25, 30, 35 g/L) içeren besiyeri hazırlanmıştır. Yüzde boya giderimi ile beraber lakkaz aktivitesi ve üremenin 30 g/L içeren besiyerinde maksimum değere ulaştığı tespit edildi.



Şekil 4.9. *Funalia trogii* Kültüründe Uygun Karbon Miktarının Boya(Solazol Blue SPBRF H/C) Giderimine Etkisi. Üretimler Bölüm 3.3.7.'de anlatıldığı şekilde gerçekleştirildi. Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır

Boya giderimi açısından uygun karbon kaynağının glukoz olduğu saptanmıştır. Ksiloz, Sakkaroz, Pektin, Fruktoz, Maltoz, Rafinoz içeren ortamlarda ise üreme dolayısıyla enzim aktivitesi ve boya giderimi gözlenmiştir. Fruktoz içeren üreme ortamında boya giderimi miktarı diğer karbon kaynağı içeren ortamlarla kıyaslandığında yüksek görünse de en yüksek boya giderimi, üreme ve enzim

aktivitesi glukoz içeren üreme ortamında izlendi. Glukoz çoğu mantar için en kolay kullanılabilir karbon kaynağıdır [103].

Aspergillus alliaceus ile Indigo ve Congo red üzerinde dekolorizasyon çalışmasında glukoz uygun karbon kaynağı olarak kullanılmıştır.[104]

Yapılan diğer benzer çalışmada ise *Debaryomyces polymorphus* ile C.I. Reactive Black 5 giderim uygulamasında glukoz içeren üreme ortamında %98 başarı rapor edilmiştir [98].

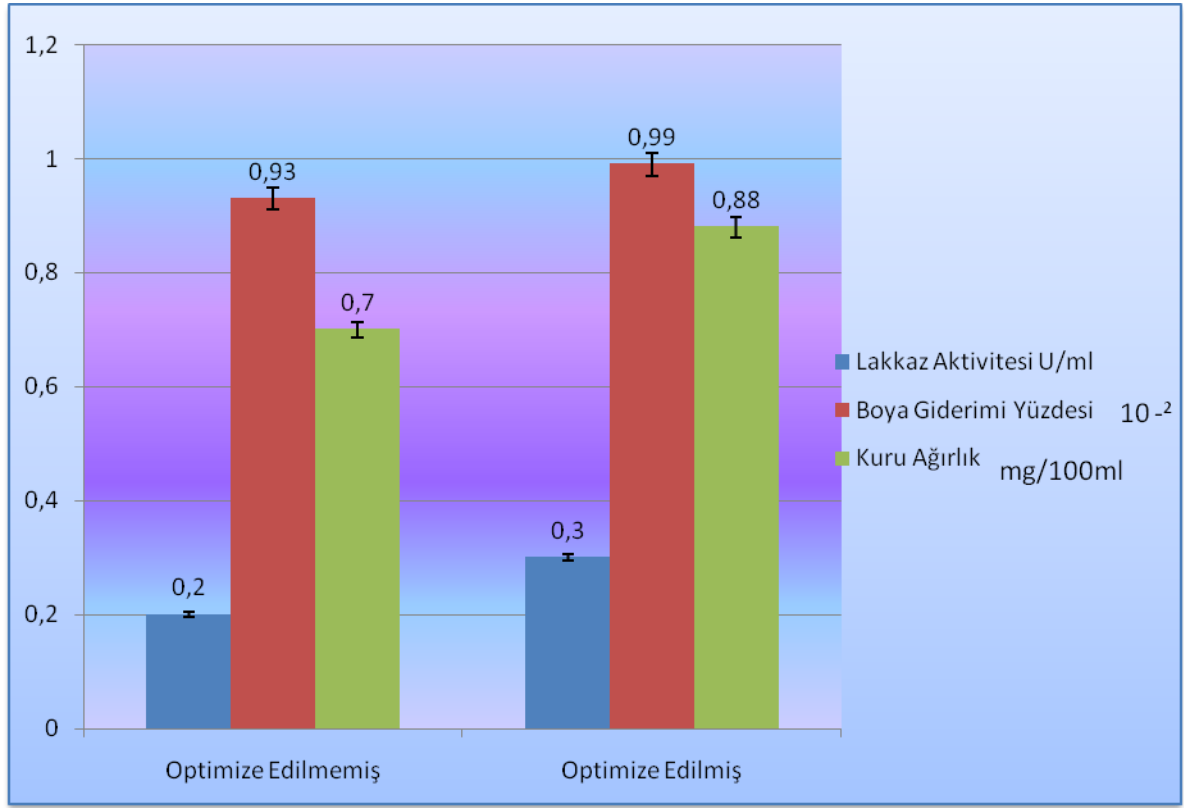
Literatür taramasında bazı araştırmacılar tarafından glukozun dekolorizasyonu artırdığına neden olduğunu belirtilmiştir. *Phanerochaete chrysosporium* 'un glukoz varlığında dekolorizasyon yaptığı tespit edilmiştir [105].

Kirby ve ark. Stons ve ark. 2003 yaptıkları deneylerde dekolorizasyonun ortama glukoz ilavesinden sonra gerçekleştiğini rapor etmişlerdir. *Pleurotus pulmonarius* ile yapılan bir diğer çalışmada ise dekolorizasyonun ancak glukoz eklendiğinde gerçekleştiği vurgulanmıştır. Shin ve ark.(2002)değişen glukoz konsantrasyonlarda *T.versicolor*' un glukozsuz ortama göre daha hızlı ya da daha yüksek dekolorizasyon gerçekleştirdiğini saptamışlardır [106].

Funguslar ile yapılan birçok boya giderim çalışmasında glukoz uygun karbon kaynağı olarak kullanılmıştır Bununla birlikte, pahalı bir karbon kaynağı olduğu için glukoz genellikle atık su arıtımında kullanılmaz. Bu nedenle, nişasta, melas gibi çeşitli diğer ucuz karbon kaynakları ve fruktoz renk giderimi çalışmalarında uygulanmıştır [103].

4.8.Başlangıç Üretim Koşulları ile Optimize Edilmiş Koşulların Karşılaştırılması

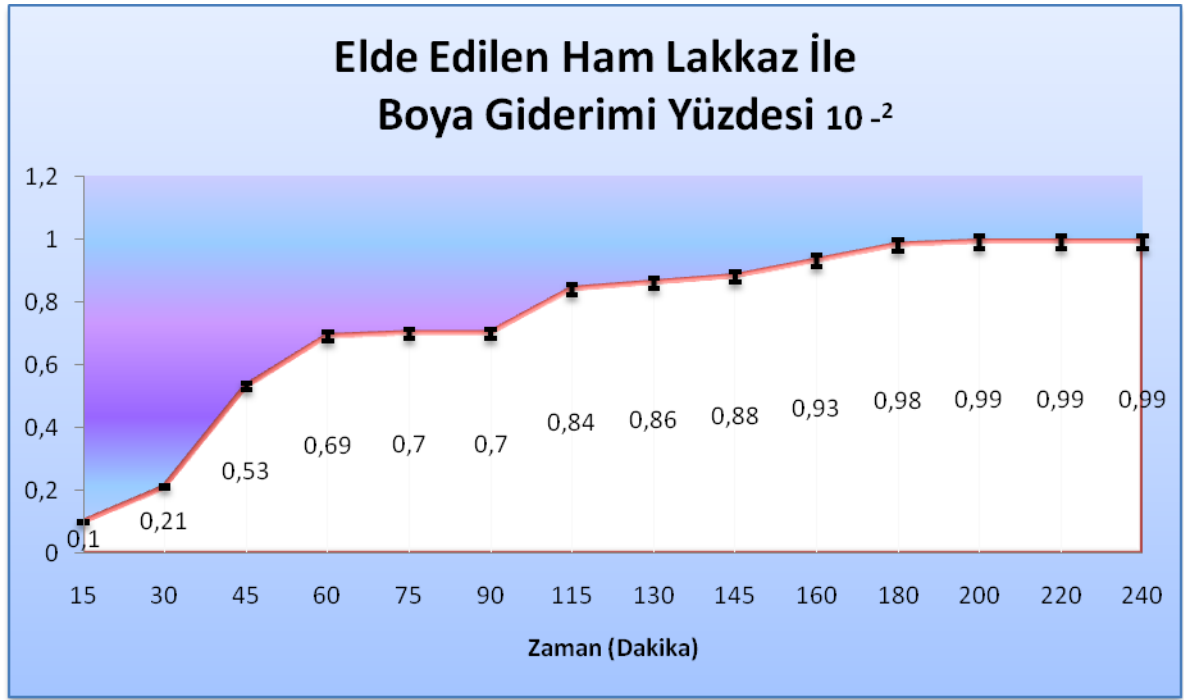
Bölüm 3.1.3'e göre hazırlanan Vogel besiyeri daha sonra üretim koşullarının optimizasyonu amacıyla içerik yönünden modifiye edilmiştir (Bkz 3.1.3).Üreme koşulları optimize edilmemiş Vogel besiyeri ile modifiye koşullarda hazırlanan besiyerinde üreme ve boya giderimi karşılaştırılmıştır. Bu durumda boya giderimi yüzdesi ve enzim aktivitesinin arttığı saptanmıştır.(şekil 4,10).



Şekil 4.10. Başlangıç Üretim ile Optimize edilmiş koşullarında Enzim aktivitesi ve Boya(Solazol Blue SPBRF H/C) giderimi açısından karşılaştırılması. Üretimler Bölüm 3.3.1.'de anlatıldığı şekilde gerçekleştirildi. Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır.

4.9.Ham Lakkaz ile dekolorizasyon

Boya giderimi açısından lakkaz aktivitesine sahip kültür sıvısının renk giderim açısından etkinliği ve optimize edilmiş koşullarda üretilen mikroorganizmamızın dekolorizasyon miktarı kıyaslanmıştır. Yapmış olduğumuz bu çalışmamızda ham lakkaz süzüntüsü, optimize edilmiş koşullarda üretilen *F.trogii* 'ye göre daha hızlı boya giderimi göstermiştir (şekil4.11).



Şekil 4.11. Elde Edilen Ham Lakkaz İle Boya(Solazol Blue SPBRF H/C) Giderimi Deneyler bölüm 3,6 da anlatıldığı üzere yapılmıştır. Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır

Lakkaz fenoloksidaz grubu endüstriyel kullanım alanı çok fazla olan enzimlerdir. Lakkaz delignifikasyon, boya giderimi, biyolojik iyileştirme ajanı, etanol üretimi, biyosensör, biyoyakıt ve ağartıcı olarak birçok endüstriyel süreçlerde kullanımı giderek artan bir enzimdir. Biyoteknolojik ve çevresel uygulamalarda lakkazlardan yararlanmak ve moleküler, enzimin kinetik özelliklerini daha iyi anlayabilmek için ham ya da saflaştırılmış lakkazın büyük miktarlarına ihtiyaç duyulmaktadır [111].

Trametes villosa 'dan elde edilen lakkaz ile azo boya gideriminde oldukça başarıya ulaşıldığı izlenmiştir [112],[113].

Aksine *Trametes hirsuta* 'dan elde edilen lakkaz ile yapılmış olan boya giderimi çalışmasında optimize koşullar da üretilen mikroorganizmaya göre daha düşük boya giderim yüzdesi belirtilmiştir.[113] Birçok sentetik boya Methyl red N=N, Congo Red N=N, Naphtol Blue Black N=N, Remazol Brilliant Blue RPAQ, Bromophenol blueTPM, Copper (II), Poly R-478PAQ Orange IIN =N, Reactive Blue 38PC, Poly R-478PAQ, Remazol Turquoise BluePC *Lentinus tigrinu*, *Mycoacia nothofagi* *Phanerochaete chrysosporium* gibi mikroorganizmalardan elde edilen lakkaz gibi enzimler ile giderilmiştir [115],[116],[117],[118].

Tekstil atık sularının arıtımı son yıllarda büyük önem kazanmıştır. Ancak kimyasal ve fiziksel yöntemlerle arıtımın yeterince ekonomik olmaması sebebiyle biyolojik arıtım öne çıkmaya başlamıştır. Bu bağlamda, çalışmamızda kullanılan *Funalia trogii* beyaz çürükçül fungusu, ciddi oranda boya (*Solazol Blue SPBRF H/C*) giderimi gerçekleştirmesi nedeniyle arıtım konusunda önemli bir mikroorganizma olabilmektedir. Düşük sıcaklıklarda yüksek aktivite gösterebilmesi, yüksek sıcaklıklara gerek duymaması endüstriyel açıdan kullanılması için bir avantajdır. Üretimi için optimum koşullar sağlandıktan sonra 3 saat gibi kısa bir sürede dekolorizasyon gerçekleştirebilmesi, zamandan tasarruf etmek için önemli bir noktadır. Ancak çalışmamızı daha da ileri noktalara taşıyabilmek için dekolorizasyon sonucu açığa çıkan ürünler belirlenmeli ve de alıcı ortamlara verildikten sonra toksik bir etki oluşturup oluşturmayacakları araştırılmalıdır. Ayrıca enzim immobilizasyonu yapılarak, endüstriyel açıdan efektif olarak tekrar kullanılabilir ürünler oluşturulabilir ve de maliyet daha da düşürülebilir. Çalışma bulgularımız bütün bu ileri araştırmalar için temel olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Wong, P.K., Yuen P.Y., Decolorization and Biodegradation of Methyl Red by *Klebsiella pneumoniae* RS-13, *Water Research* 30: 1736-1744, **1996**.
- [2] Fu, Y., Viraraghavan, T., Fungal Decolorization of Dye Wastewaters: a Review, *Bioresource Technology*, 79: 251-262, **2001**.
- [3] Rodriguez, E., Pickard, M.A., Duhalt, R.V., Industrial Dye Decolorization by Laccases from Ligninolytic Fungi", *Current Microbiology*, 38: 27-32, **1999**.
- [4] Banat, I.M., Nigam, P., Singh, D., Marchant, R. Microbial Decolorization of Textile-Dye-Containing Effluents: A Review, *Bioresource Technology*, 58:217-227, **1996**.
- [5] Papić, S., Koprivanac, N., Metes, A., Optimizing Polymer Induced Flocculation Process to Remove the Active Dyes from Wastewater, *Environmental Technology*, 21: 97–105, **2000**.
- [6] Doğan, E., Yeşilada, E., Ozata, L., Yoloğlu, S., Genotoxicity Testing of Four Textile Dyes in Two Crosses of *Drosophila* Using Wing Somatic Mutation and Recombination Test , *Drug and Chemical Toxicology*, **2006**.
- [7] http://ansiklopedi.turkcebilgi.com/Boyar_maddeler_2009 (Haziran, **2014**).
- [8] Başer, İ., İnanıcı, Y., Boyar madde Kimyası. *Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Tekstil Eğitimi Bölümü yayını*, 216 s., İstanbul, **1990**.
- [9] Bozdoğan A., Atık Sulardaki Tekstil Boyar maddeleri Renginin Devrettirilen Koagülant (CaCO₃-MgCO₃) ile Giderilmesi, *Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 110s, İstanbul, **1984**.
- [10] Young Y., Yu J., Ligninase-catalysed Decolorization of Synthetic Dyes, *Water Research*, 31(5): 1187-1193, **1997**.
- [11] Kurbanova, R., Mirzaoğlu, R., Ahmedova, G., Şeker, R., Özcan, E., Boya ve Tekstil Kimyası ve Teknolojisi, *Selçuk Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Yayınları*, 263, Konya, **1998**.
- [12] Zollinger, H., *Color Chemistry*, Wiley VCH, **1991**.
- [13] Zollinger H., *Color Chemistry- Synthesis, Properties and Applications of Organic Dyes and Pigments*, New York: VCH , **1987**.
- [14] Sumathi , S., Manju, B. S., Uptake of Reactive Textile Dyes Aspergillus Foetidus, *Enzyme and Microbial Technology*, 27: 347-355 , **2000**.
- [15] Gezen, M.C. Tekstil boyar maddelerinin incelenmesi, *Kimya Mühendisleri Odası Kimya Mühendisliği Dergisi*, 169; 32-33 **2007**.

- [16] Aspland, J.R., Disperse Dyes and Their Application to Polyester, *American Association of Textile Chemists and Colorists*, 24 (2), 19-23, **1992**.
- [17] Nunn, D.M., *The Dyeing of Synthetic-Polymer And Acetate Fibers*, University of Bradford, Dyers Company Publications Trust, England 358. **1979**.
- [18] Erdik, E., Obalı, M., Yüksekışık, N., Öktemer, A., Pekel, T., İhsanoğlu, E., *Denel Organik Kimya*, 4.Baskı, Ankara Üniversitesi Basımevi, 835 s., Ankara, **2001**.
- [19] Anjaneyulu Y., Chary N.S., Raj D.S.S., Decolorization of industrial effluents available methods and emerging technologies- a review, *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 4 245-273. **2005**.
- [20] Robinson T., McMullan G., Marchant R., Nigam P., Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative, *Bioresource Technology* 77 2101-2111, **2001**.
- [21] Yusuf Y., Tekstil Atık Sularından Boyar Maddelerin Elektro Adsorbsiyonla Giderimi. *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, **1998**.
- [22] Margesin R., Schinner F., Bioremediation (Natural attenuation and biostimulation) of diesel-oil-contaminated soil in an Alpine Glacier Skiing Area, *Applied and Environmental Microbiology*, 67:7 3127-3133. **2001**.
- [23] Stolz A., Basic and applied aspects in the microbial degradation of azo dyes, *Appl Microbiology and Biotechnology*, 56, **2001**.
- [24] Socha, K., Treatment of Textile Effluents, *Textile Month*, 12, 52-56. **1991**.
- [25] Kocaer, O.F., Alkan, U., Boyar madde içeren tekstil atıksularının arıtım alternatifleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7(1). **2002**.
- [26] Vlyssides A.G., Papaioannou D., Loizidou M., Karlis P.K., Zorpas A.A., Testing an electrochemical method for treatment of textile dye wastewater. *Waste Management*, 20(7): 569-574, **2000**.
- [27] Naumczyk, J. Szyprkiewicz, L., Zilio-Grandi, F. Electrochemical Treatment of Textile Wastewaters, *Water Science and Technology*, 40(4-5), 425-433 **1996**.
- [28] Strickland, A.F., Perkins, W.S., Decolorization of Continuous Dyeing Wastewater by Ozonation, *Textile Chemist and Colorist*, 27(5) 11-15, **1995**.
- [29] Lin, S.h., Liu, Y. Continuous Treatment of Textile Water by Ozonation and Coagulation. *Journal of Environmental Engineering. ASCE*, 120: 437-446, **1994**.

- [30] Koyuncu, İ., Topacık, D., Zeytinyağı endüstrisi atık sularının arıtılmasında b membran teknolojisi uygulamalarının değerlendirilmesi, *1. Zeytinyağı Üretiminde Çevre Sorunları ve Çözümleri Uluslararası Çalıştayı Bildiriler Kitabı*, 179-181, Balıkesir, **2002**.
- [31] Banat İ., Nigam P., and Marchant R., , Microbial Decolorization of Textile-Dye-Containing Effluents: *A Review*, *Bioresource Technology* 58, 217-227, **1996**.
- [32] Burkinshaw, M.S., Willmott N.J., The dyeing of tencel: Part 1: reactive dyes, ***Dyes and Pigments*, Volume 26, Issue 2**, Pages 129–138, **1994**.
- [33] Kaptan, İ.K., Kargı,F., Atık Sulardan Tekstil Boyar Maddelerinin Adsorpsiyonlu Biyolojik Arıtım İle Giderimi. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences* , 24: 161-169, **2000**.
- [34] Oneill, C., Lopez, A., Esteves, S., Hawkes, F.R., Hawkes, D.L., Wilcox, S. Azo dye degraded in an anaerobic aerobic treatment system operating on simulated textile effluent. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 53, 249- 254, **2000**.
- [35] Gavrilescu M., Chisti Y., Biotechnology –a sustainable alternative for chemical industry, *Biotechnology Advances*, 23 471-479. **2005**.
- [37] Stolz A, Basic and applied aspects in the microbial degradation of azo dyes. *Applied and Environmental Microbiology*, 56, 69-80, **2001**.
- [38] Zissi, W., Hybertus, G., Pavlou, S., Biodegradation of Pamino azo. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 19, 49-55. **1997**.
- [39] Zimmermann, T., Kulla, H., Leisinger, T., Purification and properties of orange ii-azoreductase from *Pseudomonas* Kf46. *Experientia*, 38, 1380. **1982**.
- [40] Ball, A.S., Betts, W.B., Mccarthy, A.J., Degradation of lignin-related compounds by actinomycetes. *Applied and Environmental Microbiology* 55, 1642-1644. **1989**.
- [41] Pasti, M.B., Crawford, D.L., Relationships between the abilities of *Streptomyces* to decolorize three anthron-type dyes and to degrade lignocellulose. *Canadian Journal of Microbiology*, 37, 902-907. **1991**.
- [42] Baughmann, G.L., Weber, E.J., Transformation of dyes and related compounds in anoxic sediment: kinetics and products. *Environmental Science and Technology* 28, 267-276. **1994**.
- [43] Keck, A., Klein, J., Kudlich, M., Stolz, A., Knackmuss, H.J., Mattes, R., Reduction of azo dyes by redox mediators originating in the naphthalenesulfonic acid degradation pathway of *Sphingomonas* sp. strain BN6. *Applied Environmental Microbiology*, 63, 3684-3690, **1997**.

- [44] Anjali, P., Poonam, S., Leela, Bacterial decolorization and degradation of azo dyes. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 59, 73-84, **2006**.
- [45] Yoo, E.S., Libra, J., Adrian, L., Mechanism of decolorization of azo dyes in an anaerobic mixed culture. *Journal of Environment Engineering*, 127, 844-849, **2001**.
- [46] Khehra, M.S., Saini, H.S., Sharma, D.K., Chadha, B.S., Chimni, S.S., Decolorization of various azo dyes by bacterial consortia. *Dyes and Pigments*, 67, 55-61, **2005**.
- [47] Lin S.H., Chen, M.L. Treatment of textile wastewater by electrochemical methods for reuse. *Water Research*, 31, 868–876, **1997**.
- [48] Glenn, J.K., Gold, M.H., Decolorization of several polymeric dyes by the lignin degrading basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium*. *Applied and Environmental Microbiology*, 45, 1741-1747, **1983**.
- [49] Leonowicz, N.S. Cho, J. Luterek, A. Wilkolazka, M.W. Wasilewska, A. Matuszewska, M. Hofrichter, D. Wesenberg and J. Rogalski, Fungal laccase: properties and activity on lignin, *Journal of Basic Microbiology*, 41:3-4 185-227, **2001**.
- [50] Gabriel, J., Kofronova, O., Rychnovsky, P., Krenzelok, M., Accumulation and Effect of Cadmium in The Wood-Rotting Basidiomycete *Daedalea quercina*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 57: 383-390, **1996**.
- [51] Nyanhongo, G.S., Gomes, J., Gübitz, G.M., Zvauya, R., Read J., Steiner, W., Decolorization of Textile Dyes by Laccase From a Newly Isolated Strain of *Trametes modesta*, *Water Research* 36: 1449-1465. **2002**.
- [52] Kuhad, R.C., Singh, A., Eriksson, K., Microorganisms and Enzymes Involved in The Degradation of Plant Fiber Cell Wall. *Biotechnology in The Pulp and Paper Industry. Advances in Biochemical Engineering Biotechnology*. Berlin: Springer Verlag, **1997**.
- [53] Jaouani, A., Tabka, M.G., Pennickx, M.J., Lignin Modifying Enzymes of *Corioloopsis polyzona* and Their Role in Olive Oil Mill Wastewater Decolourisation. *Chemosphere*, 9: 1421-1430, **2006**.
- [54] Duran, N., Esposito, E., Potential Applications of Oxidative Enzymes and Phenoloxidase-Like Compounds in Wastewater and Soil Treatment: A Review. *Applied Catalysis B: Environmental*, 28: 83-99, **2000**.

- [55] Nyanhongo G.S., Couto S.R., Guebitz G.M., Coupling of 2,4,6-trinitrotoluene (TNT) metabolites onto humic monomers by a new laccase from *Trametes modesta*, *Chemosphere*, 359-370. 64, **2006**.
- [56] Ramalho, A., Cardoso M.H., Cavaco-Paulo A., Ramalho M.T. Characterization of azo reduction activity in a novel Ascomycete yeast strain, *Applied and Environmental Microbiology*, 70, 2279-2288, **2004**.
- [57] Golz-Berner, K., Walzel, B., Zastrow, L., Doucet, O., Cosmetic and Dermatological Preparation Containing Copper- Binding Proteins for Skin Lightening. *Int Pat Appl. WO,017931*, **2004**.
- [58] Haghghi, B., Gorton, L., Ruzgas, T., Jonsson, L.J., Characterization of graphite electrodes modified with laccase from *Trametes versicolor* and their use for bioelectrochemical monitoring of phenolic compounds in flow injection analysis, *Analytica Chimica Acta*, vol. 487, pp. 3-14, **2003**.
- [59] Heinfling, A., Bergbauer, M., Szewzyk, U., Biodegradation of Azo and Phthalocyanine Dyes by *Trametes versicolor* and *Bjerkandera adusta*, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 48: 261-266, **1997**.
- [60] Swamy, J., Ramsay, J.A., The evaluation of white rot fungi in the decolorization of textile dyes. *Enzyme and Microbial Technology*, 24: 130-137, **1999**.
- [61] Crips C., Bumpus J. A., Aust S. D., Biodegradation of Azo and Heterocyclic Dyes by *P. chrysosporium*, *Applied and Environmental Microbiology* 56: 1114-1118, **1990**.
- [62] Bumpus J. A., Microbial Degradation of Azo Dyes Biotransformation: Microbial degradation of health risk compounds, *Elsevier Science* 54:157-176, **1995**.
- [63] Doralice S. L., Regina T. R., Decolorization of Textile indigo Dye by Ligninolytic Fungi. *Journal of Biotechnology* vol:89 141-145, **2001**.
- [64] Paszczynski, A., Pasti-Grigsby, M.B., Goszczynsky, S., Crawford, D. L., Crawford, R. L., Mineralization of Sulfonated Azo Dyes and Sulfanilic Acid by *P. chrysosporium* and *Streptomyces chromofuscus*, *Applied and Environmental Microbiology*, 58: 3598-3604, **1992**.
- [65] Minussi R. C., Moraes S. G., Pastore G. M., Duran N., Biodecolorization Screening of Synthetic Dyes by Four White Rot Fungi in a Solid Medium: Possible Rol of Siderophores *Letters in Applied Microbiology* Jul;33(1):21-5, **2001**.
- [66] Yeşilada Ö, Decolorization of Crystal Violet by Fungi and Commercial Horseradish Peroxidase , *Turkish Journal of Biology* , 20: 129-138, **1996**.

- [67] Mou D.G., Lim K. K., Shen, H. P., Microbial Agents for Decolorization of Dye Wastewater, *Biotechnology Advances.*, 9:613-622 **1991**.
- [68] Young Y., Yu J., Ligninase-catalysed Decolorization of Synthetic Dyes, *Water Research*, 31(5): 1187-1193 from *Journal of Environmental Biology* , **1997**.
- [69] Murugesan K., Dhamija A., Nam I.H., Decolourization of reactive black 5 by laccase: Optimization by response surface methodology. *Dyes Pigments* 75: 176-184, **2007**.
- [70] Amaral, P.F.F., Fernandes, D.L.A., Tavares, A.P.M., Xavier, A.B.M.R., Cammarota, M.C., Coutinho, J.P.A., Coelho, M.A.Z., Decolorization of Dyes From Textile Wastewater by *Trametes versicolor*. *Environmental Technology*, 25: 1313-1320, **2004**.
- [71] Mazmancı, M.A., Ayten, N., Ay, T., Ünyayar, A. Erkurt, E.A., *Luffa cylindrica*' ya Tutuklanmış Beyaz Çürükçül Fungus *Funalia trogii* ATCC 200800 İle Drimaren Blue K2RL Boyar Maddesinin Renk Giderimi. 5. *Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, İstanbul, **2006**.
- [72] Yeşilada, Ö., Asma, D., Cing, S., Decolorization of Textile Dyes by Fungal Pellets. *Process Biochemistry*, 38: 933-938, **2003**.
- [73] Nilsson, I., Möller, A., Mattiasson, B., Rubindamayugi, M.S.T. Welander, U., Decolorization of Synthetic and Real Textile Wastewater by The Use of White – Rot Fungi. *Enzyme and Microbial Technology*, 38: 94-100, **2006**.
- [74] Tuncer, M., Lakkaz, Kısım 1: Yapısı, Katalitik Özellikleri ve Dağılımları, *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22, 19-63. **2010**.
- [75] Aracagök, Y.D. , Cihangir N. Decolorization of Reactive Black 5 by *Yarrowia lipolytica* NBRC 1658 *American Journal of Microbiological Research*, 2013, Vol. 1, No. 2, 16-20, **2013**.
- [76] Horowitz, N.M., Horn G., Tyrosinase (*Neurospora crassa*), *methods in Enzymology*, 17 a , 615-620, **1970**.
- [77] Taşpınar, A., Kolankaya, N., Optimization of enzymatic chlorine removal from Kraft pulp, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 61, 15-21, **1998**.
- [78] Cing, S., Tekstil Boyalarının Renginin Giderilminde Mikroorganizma Kullanımı. *Yüksek Lisans Tezi*, İnönü Üniversitesi, Malatya, **2001**.
- [79] Swamy, J., Ramsay, J., Effects of glucose and NH₄⁺ concentrations on sequential dye decoloration by *Trametes versicolor*, *Enzyme and Microbial Technology*, 25 278-284, **1999**.

- [80] Tünay, O., Kabdaşlı, I., Eremektar, G., Orhon, D., Color Removal from Textile Wastewaters, *Water Science and Technology*, 34(11), 9-16, **1996**.
- [81] Pelegrini, R., Zamora, P.P., Andrade, A.R., Reyes, J., Duran, N., Electrochemically assisted photocatalytic degradation of reactive dyes, *Applied Catalysis B: Environmental*, 22, 83-90, **1999**.
- [82] Alyüz, B., Veli, V. Low-cost adsorbents used in heavy metal contaminated waste water treatment, *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 94-105, **2005**.
- [83] Rogalski, J., Lundell, T., Hatakka A., Production of Laccase Lignin Peroxidase by Various Strains of *Trametes versicolor* Depending on Culture Condition. *Acta Microbiologica Polonica*, 40: 221-234, **1991**.
- [84] Leonowicz, A., Cho N.S., Luterek J., Wilkolazka A., Wasilewska M.W., Matuszewska A., Hofrichter M., Wesenberg D., Rogalski J., Fungal laccase: properties and activity on lignin, *Journal of Basic Microbiology*, 41:3-4 185-227, **2001**.
- [85] Wilkolazka, A.J., Rdest, Malarczyk, J.K. E., Wardas, W., Leonowicz, A., Fungi and their ability to decolourize azo and anthraquinonic dyes, *Enzyme and Microbial Technology*, 30 566-572, **2002**.
- [86] Park, C., Lee, M., Lee, B., Kim, S.-W., Chase, H.A., Lee, J., Kim, S., Biodegradation and Biosorption for Decolorization of Synthetic Dyes by *Funalia trogii*, *Biochemical Engineering Journal*, 17: 1-7, **2006**.
- [87] Moreira, M.T., Mielgo, I., Feijo, G., Lema, J.M., Evaluation of Different Fungal Strains in The Decolourisation of Synthetic Dyes, *Biotechnology Letters*, 22: 1499-1503, **2000**.
- [88] Yeşilada, O., Cing S., Asma, D., Decolourisation of textile dye Astrazon Red FBL by *Funalia trogii* pellets, *Bioresource Technology*, 81 155-157, **2002**.
- [89] Maximo, C., Amorim M.T.P., Ferria M.C., Biotransformation of industrial Reactive azo dyes by *Geotrichium sp.* CCMI 1019, *Enzyme and Microbial Technology*, 32 145-151, **2003**.
- [90] Sam M., , Beyaz Çürükçül Fungusların Boyar Maddelerin Rengin Gideriminde Kullanımının Araştırılması Yüksek lisans tezi **1999**.
- [91] Toh, Y., Jia, J., Yen, L., Obbard, J.P., Ting, Y., Decolorization of azo dyes by white-rot fungi (WRF) isolated in Singapore, *Enzyme and Microbial Technology* 33, 569–575, **2003**.
- [92] Assadi, M.M., Rostami, K., Shahvali, M., Azin, M., Decolorization of textile wastewater by *Phanerochaete chrysosporium*, *Desalination* ,141 331-336, **2001**.

- [93] Chen K.C., Wua, J.Y, Liou, D.J., Hwang, S.C.J., Decolorization of the textile dyes by newly isolated bacterial strains, *Journal of Biotechnology*, 101, **2003**.
- [94] Benito, G.G., Miranda, P.F., De Los Santos, D.R. Decolorization of wastewater from an alcoholic fermentation process with *Trametes versicolor*. *Bioresource Technology* 61, pp. 33–37, **1997**.
- [95] Couto S.R., Sanroman M.A., Hofer D., Gübitz G.M., Stainless steel sponge: a novel carrier for the immobilisation of the white-rot fungus *Trametes hirsuta* for decolourization of textile dyes, *Bioresource Technology* 95, **2004**.
- [96] Fu,Y., Viraraghavan, T., Fungal Decolorization of Dye Wastewaters: a review, *Bioresource Technology*., 79: 251-262, **2001**.
- [97] Hatvani, N., Mécs, I., Effect of the nutrient composition on dye decolorisation and extracellular enzyme production by *Lentinus edodes* on solid medium. *Enzyme and Microbiology Technology* 30: 381-386, **2002**.
- [98] Yang, Q., Yediler, A., Yang, M., Decolorization of an azo dye, reactive black 5 and MnP production by yeast isolate: *Debaryomyces polymorphus*. *Biochemical Engineering Journal* 24: 249-253, **2005**.
- [99] Sathiya, M., Periyar, S., Sasikalaveni, A. Murugesan K., Kalaichelvan, P.T., Decolorization of textile dyes and their effluents using white rot fungi *African Journal of Biotechnology*, **2007**.
- [100] Keyser, P., Kirk, T. K., Zeikus, J.G., Ligninolytic enzyme system of *Phanaerochaete chrysosporium*: Synthesized in the absence of lignin in response to nitrogen starvation, *Journal of Bacteriology* 135(3): 790-797, **1978**.
- [101] Leatham, G. F., Kirk, T.K., Regulation of ligninolytic activity by nutrient nitrogen in white-rot basidiomycetes. *FEMS Microbiology Letters* 16: 65-67, **1983**.
- [102] Eelko, G.S., Natal, A.W., Riel, V., The role of ammonia metabolism in nitrogen catabolite repression in *Saccharomyces cerevisiae*, *FEMS Microbiology Reviews* 24: 67-83, **2000**.
- [103] Lucas, M.S., Amaral, C., Sampaio, A., Biodegradation of the diazo dye reactive black 5 by a wild isolate of *Candida oleophila*, *Enzyme and Microbiology Technology* 39: 51-55, **2006**.
- [104] Khelifi, E., Ayed, L., Bouallagui, H., Effect of nitrogen and carbon sources on indigo and congo red decolourization by *Aspergillus alliaceus* strain 121c., *Journal of Hazardous Materials* 163: 1056-1062, **2009**.

- [105] Knapp, J.S., Zhang F., Tapley, K.N., Decolourisation of Orange II by a woodrotting fungus, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 69 289-296, **1997**.
- [106] Shin, M., Nguyen, T., Ramsay, J., *Evaluation of support materials for the surface immobilization and decoloration of amaranth by *Trametes versicolor**, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 60 218-223, **2002**.
- [107] Couto, S.R., Herrera, J.L.T., Research review paper Industrial and biotechnological applications of laccases: A review, *Biotechnology Advances*. 24 500–513, **2006**.
- [108] Eggert, C., Temp, U., Eriksson, K.E., The ligninolytic system of the white rot fungus *Pycnoporus cinnabarinus*. Purification and characterization of the laccase. *Applied and Environmental Microbiology*;62:1151–8, **1996**.
- [109] Abadulla, E., Tzanov, T., Costa, S., Robra, K.H., Cavaco, P.A. Guebitz, G.M., Decolorization and detoxification of textile dyes with a laccase from *Trametes hirsuta*, *Applied and Environmental Microbiology*, 66 3357-3362, **2000**.
- [110] Pınar, K., *Bazı Siyanobakterilerin Organik Kirletici Giderim Etkinliklerinin Arttırılması, Doktora Tezi*, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı: 59 s.,Ankara, **2009**.
- [111] Gianfreda, L., Xu, F., Bollag, J-M. Laccases: a useful group of oxidoreductive enzymes. *Bioremediation Journal* ;3:1– 26, **1999**.
- [112] Seyis, I., Subaşıoğlu. T., Comparison of Live and Dead Biomass of Fungi on Decolorization of Methyl Orange, *African Journal of Biotechnology* Vol. 7 (13), pp. 2212-2216, 4 July, **2008**.
- [113] Zillea, A., Górnackab, B., Rehorekb, A., Cavaco-Paulo, A. Enzymatic degradation of azo dyes under long time oxidative conditions *Applied Catalysis B: Environmental* 42:131-144 , **2003**.
- [114] Abadulla, E., Tzanov, T., Costa, S., Robra, K.H., Cavaco-Paulo, A.,Guebitz, Georg, M., Decolorization and detoxification of textile dyes with a laccase from *Trametes hirsuta*. *Applied and Environmental Microbiology* 66(8): 3357-3362, **2000**.
- [115] Novotny, C., Rawal B., Bhatt, M., Patel, M., Sasek, V., Molitoris, H.P., Capacity of *Irpex lacteus* and *Pleurotus ostreatus* for decolorization of chemically different dyes. *Journal of Biotechnology* 89: 113-122, **2001**.
- [116] Moreira M.T., Mielgo, I., Feijoo, G., Lema, J.M., Evaluation of different fungal strains in the decolourisation of synthetic dyes. *Biotechnol Letters*; 22:1499 503, **2000**.

[117] Conneely, A., Smyth, W.F., McMullan, G., Metabolism of the phthalocyanine textile dye remazol turquoise blue by *Phanerochaete chrysosporium*. *FEMS Microbiol Letters*;179:333– 7, **1999**.

[118] Wesenberg, D., Kyriakides,I., Agathos, S.N., White-rot fungi and their enzymes for the treatment of industrial dye effluents, *Biotechnology Advances* 22 161–187, **2003**.

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı: Solat REZAEI

Doğum Yeri: IRAN

Doğum Tarihi: 23/07/1981

Medeni Hali: Bekar

E-posta: ozgecanerdem@hotmail.com

Adresi: Aydınlık Evler. 2/3 Keçiören/Ankara

Eğitim

Lise: Dr. Chamran (1995-1999)

Lisans: Iran Azad Üniversitesi(2007-2009)

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

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce: FCE(A)

İş Deneyimi:

08.2007-12.2010 - Sina Laboratuvar – Laboratuvar Sorumlusu

Deneyim Alanları:

Mikrobiyoloji

Tezden Üretilmiş Proje ve Bütçesi:

(-)

Tezden Üretilmiş Yayınlar:

(-)

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

FEMS 2013-5th Congress of European Microbiologists (Leipzig, Germany)

Biodegradation for Decolorization of Textile Dyes by *Funalia trogii*