

***Spirulina platensis* İle Çeşitli Boyaların Renk
Giderimlerinin Araştırılması**

**Investigation of Decolorization of Various Dyes by
*Spirulina platensis***

NAVİD YAKHDANSAZ

PROF. DR. NİLÜFER AKSÖZ
Tez Danışmanı

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

2015

ETİK

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

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

beyan ederim.

01/07/2015

NAVİD YAKHDANSAZ

Hayatımızı değiştiren Mikroorganizmalara ...

ÖZET

***Spirulina platensis* İle Çeşitli Boyaların Renk Giderimlerinin Araştırılması**

NAVİD YAKHDANSAZ

Yüksek Lisans, Biyoloji Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. NİLÜFER AKSÖZ

TEMMUZ 2015, 62 sayfa

Yapılan bu çalışmada *Spirulina platensis*'in boyar madde giderimi amacıyla kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışma Zarrouk besiyerinde gerçekleştirilmiş ve önce boyar madde olarak, azo-boyalar olan Reactive Yellow, Reactive Red, Reactive Black 5 ve Basic Red 46 kullanılmış, *Spirulina platensis* 'in renk giderim oranı 240 saatlik inkübasyon sonucunda bu 4 boya için sırasıyla %44.4, %26.21, %50.1, %96.48 olarak saptanmıştır. Bu nedenle çalışmalara Basic Red 46 ile devam edilmiştir.

Bu çalışmada renk giderimi için inkübasyon süresi, besiyeri pH değeri, inokulan miktarı, boya konsantrasyonu, statik ve çalkalamalı inkübasyonun etkisi gibi optimum fizyolojik koşullar incelendi. Tüm deneyler 240 saat inkübasyon süresince yapıldı. Optimum pH 9 olarak belirlenirken, 40°C de 96. saatte boya gideriminin %96.7 olarak gerçekleştirildi saptandı. Basic Red 46 boyasının gideriminde statik inkübasyonun uygun olduğu, boya konsantrasyonu artışının renk giderim etkinliğini azalttığı, başlangıç boya konsantrasyonunun 50 ppm olması halinde renk

gideriminin 240. saate %97.2 olduğu, 75, 100, 125 ve 150 ppm oranlarında ise aynı süre sonunda sırasıyla %93.05, %34.1, %32.4 ve %3 olarak saptandığı belirlendi. Çalışmamızın son aşamasında ise Basic Red 46 boyasının giderimi için canlı ve ölü biyokütle kullanılarak renk giderimi araştırıldı ve canlı *Spirulina platensis* 'in az da olsa daha etkili olduğu saptandı. Optimize koşullarda elde edilen sonuçlar başlangıç koşulları ile kıyaslandığında dekolorizasyon süresinin kısaldığı gözlemlendi.

Anahtar Kelimeler:

Basic Red 46, Boya giderimi, Mikroalg, *Spirulina platensis*

ABSTRACT

Investigation of Decolorization of Various Dyes by *Spirulina platensis*

NAVİD YAKHDANSAZ

Master of Science, Department of Biology

Supervisor: Prof. Dr. Nilüfer AKSÖZ

JULY 2015, 62 pages

The objective of this study was to investigate the decolorization capacity of *Spirulina platensis*. The study was performed in Zarrouk media and as dye material azo-dyes such as Reactive Yellow, Reactive Red, Reactive Black 5 and Basic Red 46 were used. After 240 hour of incubation, the decolorization rates were %44.4, %26.21, %50.1 and %96.48 respectively. Due to these results, the study was continued with Basic Red 46. Optimum physiological conditions for decolorization, such as incubation period, media pH, inoculum amount, dye concentration, static or rotational incubation, were investigated. All experiments were carried out for 240 hours. While the optimal pH value for color remover was detected as 9.0, in the 96th hour of incubation and at 40°C the decolorization rate was 96.7%. For Basic Red 46 color remover, static incubation was more effective when compared to rotational conditions. In this study, it was also determined that, increasing dye concentration caused a decrease in decolorization. When initial dye concentration was 50 ppm, 97.2% decolorization in 240th hour was observed and

at the same duration with 75, 100, 125 ve 150 ppm dye concentration, decolorization effectiveness was recorded as %93.05, %34.1, %32.4 ve %3 respectively.

At the last step of the study, for the decolorizaion of Basic Red 46 dye, the ability of live and dead biomass was investigated and it was determined that, although not very significant, live *Spirulina platensis* had a more effective color remover capacity. As a final result, it was detected that decolorization of Basic Red 46, with *Spirulina platensis*, increased when the incubation was performed under optimal conditions.

Keywords:

Basic Red 46, Dye decolorization, Microalgae, *Spirulina platensis*

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin ve tez çalışmam süresince bilgi, ilgi ve yardımını benden esirgemeyen değerli hocam, Prof. Dr. Nilüfer AKSÖZ' e saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca hep arkamda olan ve bana hayatı öğreten babam Assadollah YAKHDANSAZ ve annem Nazanin HAJİBADALİ'e teşekkürü bir borç bilirim.

Her an yanımda hissettiğim, bir gün bile eksik etmediği destek ve sevgisiyle bana hep cesaret veren eşim Ghazal POURMAND'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tez yazım aşamasında uzak diyarlardan ilgi ve destekleriyle bana moral veren ve beni motive eden kardeşim Nazila YAKHDANSAZ'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince yardımlarını benden esirgemeyen Solat REZALİE, Khalil KARBALAI, Arş. Gör. Y. Doruk ARACAGÖK ve Arş. Gör. Gözde KOŐARSOY'a,

Yüksek lisans döneminde hep beraber çalıştığımız, birbirimize her koşulda destek olduğumuz Özgecan ERDEM 'e Muhammed Hasan AKYIL, Kübra ERKAN, Biyoteknoloji anabilim dalı hocaları ve öğrencilerine, teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
1.GİRİŞ	1
2.GENELBİLGİLER.....	3
2.1.Boyar Maddelerin Sınıflandırılması.....	3
2.1.1.Boyar Maddelerin Uygulama Alanlarına Göre Sınıflandırması	3
2.1.1.1.Reaktif Boyar Maddeler	3
2.1.1.2.Asit Boyar Maddeler	4
2.1.1.3.Premetelize Boyar Maddeler	4
2.1.1.4.Direkt Boyar Maddeler	4
2.1.1.5.Azoik (NAPHTHOL) Boyar Maddeler	5
2.1.1.6.Dispers Boyar Maddeler	5
2.1.1.7.Vat Boyar Maddeler	5
2.1.1.8.Bazik Boyar Maddeler	5

2.1.2.Boyar Maddelerin Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırması	5
2.1.2.1.Nitro ve Nitrozo Boyar Maddeler	5
2.1.2.2.Azo Boyar Maddeler	6
2.1.2.3.Polimetin Boyar Maddeler	6
2.1.2.4.Arilmetan Boyar Maddeleri	6
2.1.2.5.Karbonil Boyar Maddeler	7
2.2.Mikroalglerin Tanımı	7
2.2.1.Mikroalglerin Sınıflandırılması	7
2.2.2.Mikroalglerin Üretimi	8
2.2.2.1.Mikroalglerin Doğal Ortamda Üremesi	8
2.2.2.2.Kültür Parametreleri	9
2.3. Boyar Madde Giderim Yöntemleri	10
2.3.1. Fiziksel Yöntemler	11
2.3.2. Kimyasal Yöntemler	12
2.3.3. Biyolojik Yöntemler	13
2.4. Mikroalglerin Atıksu Arıtımında Kullanılması	14
2.5. Tez Kapsamında Kullanılan <i>Spirulina platensis</i> 'in Bazı Ticari Özellikleri	14
2.6. Tutuklama	15
2.6.1. Tutuklama Yöntemleri	15
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER	19
3.1. MATERYAL	19

3.1.1. Mikroorganizma	19
3.1.2. Boyar madde	19
3.1.3. Besiyeri ve İçerikleri	20
3.2 YÖNTEMLER	21
3.2.1. Mikroorganizmaların Üretimi	21
3.2.2. Stok Kültürler	22
3.2.3. Boyar Maddelerin Maksimum Absorbans Değerlerinin Belirlenmesi	22
3.2.4. Boya Gideriminin Belirlenmesi	22
3.2.5. Dekolorizasyon İşleminin Yapılması İçin Uygun Boyanın Belirlenmesi	23
3.3. Dekolorizasyon İçin Uygun Kültürel Koşulların Belirlenmesi	23
3.3.1. Boya Giderimi İçin Uygun başlangıç pH Değerinin Araştırılması	23
3.3.2. Boya Giderimi İçin Uygun İnkübasyon Sıcaklığının Araştırılması	23
3.3.3. Boya Giderimi İçin Uygun İnkübasyon Süresinin Belirlenmesi	24
3.3.4. Boya Gideriminde İnokulan Miktarının Araştırılması	24
3.3.5. Farklı Başlangıç Boya Konsantrasyonlarının Etkisinin Belirlenmesi	24
3.3.6. Boya Gideriminde Statik ve Çalkalamalı İnkübasyon Koşullarının Etkisinin Belirlenmesi	25
3.4. Canlılığı Giderilen Kültürün Boya Gideriminde Kullanılması	25
3.5. Agar Jeline Tutuklanan <i>Spirulina platensis</i> sp.'nin Boyar Madde Gideriminde Etkisi	25
4. SONUÇ VE TARTIŞMA	27
4.1. <i>S.platensis</i> Suşu İle Boya Giderimine Uygun Boyanın Seçimi	26

4.2. Dekolorizasyon İçin Optimum Koşulların Belirlenmesi	27
4.2.1. Farklı pH Değerlerinin Boya Gideriminin Üzerine Etkisi	27
4.2.2. Boya Giderimi İçin Uygun İnkübasyon Sıcaklığın Araştırılması	31
4.2.3. Boya Giderimi İçin Uygun İnkübasyon Süresinin Belirlenmesi	35
4.2.4. Boya Gideriminde İnokulan Miktarının Etkisinin Araştırılması	36
4.2.5. Başlangıç Boya Konsantrasyonlarının Renk Giderimine Etkisinin Belirlenmesi	41
4.2.6. Boya Gideriminde Statik ve Çalkalamalı İnkübasyon Koşullarının Etkisinin Belirlenmesi	45
4.3. Canlılığı Giderilen Kültürün Boya Renk Gideriminde Kullanılması	46
4.4. Agar Jeline Tutuklanan <i>Spirulina platensis</i> sp.'nin Boyar Madde Gideriminde Etkisi	49
4.5. Optimal İnkübasyon Koşullarında <i>S.platensis</i> 'in Boyar Madde Giderimi	50
KAYNAKLAR.....	54
ÖZGEÇMİŞ	61

SİMGELER VE KISALTMALAR

g	:	Gram
L	:	Litre
mg	:	Miligram
ml	:	Mililitre
M	:	Molar
rpm	:	Dakikadaki Devir Sayısı (Revolution Per Minute)
mg/l	:	Miligram/litre
μ l	:	Mikrolitre
nm	:	Nanometre
lux.	:	Lüks (ışık şiddeti birimi)
max	:	Maksimum
ppm	:	Miligram/litre boyar madde

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Azo boyar maddelerin genel yapısı	6
Şekil 2.2. Arilmetin boyar maddelerin genel formülü.....	7
Şekil 2.3. Yüzeye tutunmanın şeması.....	16
Şekil 2.4. Kovalent bağlanmanın şeması	17
Şekil 3.4. Mikrokapsüllemenin şeması.....	17
Şekil 3.5. İnert bir desteğe tutuklamanın şeması	18
Şekil 3.6. <i>S.platensis</i> 'in mikroskopik görüntüsü	21
Şekil 4.1. pH 7.0 değerine ayarlanan ve 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen <i>S.platensis</i> 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri.....	28
Şekil 4.2. pH 8.0 değerine ayarlanan ve 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen <i>S.platensis</i> 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri.....	28
Şekil 4.3. pH 9.0 değerine ayarlanan ve 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen <i>S.platensis</i> 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri.....	29
Şekil 4.4. pH 10.0 değerine ayarlanan ve 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen <i>S.platensis</i> 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri.....	30
Şekil 4.5. pH 8.0-10.0 değerlerine ayarlanan ve 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen <i>S.platensis</i> 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri	30

Şekil 4.6. 25°C de inkübe edilen 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen <i>S.platensis</i> 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri	32
Şekil 4.7. 30°C de inkübe edilen 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen <i>S.platensis</i> 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri	33
Şekil 4.8. 35°C de inkübe edilen 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen <i>S.platensis</i> 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri	33
Şekil 4.9. 40°C de inkübe edilen 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen <i>S.platensis</i> 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri.....	34
Şekil 4.10. 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen <i>S.platensis</i> 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri.....	36
Şekil 4.11. 10 ml inokülasyon yapılan 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen <i>S.platensis</i> 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri.....	37
Şekil 4.12. 20 ml inokülasyon yapılan 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen <i>S.platensis</i> 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri.....	38
Şekil 4.13. 30 ml inokülasyon yapılan 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen <i>S.platensis</i> 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri.....	38
Şekil 4.14. 40 ml inokülasyon yapılan 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen <i>S.platensis</i> 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri.....	39
Şekil 4.15. 10, 20, 30 ve 40 ml inokülasyon yapılan 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen <i>S.platensis</i> 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri.....	40
Şekil 4.16. 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen <i>S.platensis</i> 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri.....	41
Şekil 4.17. 75 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen <i>S.platensis</i> 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri.....	42
Şekil 4.18. 100 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen <i>S.platensis</i> 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri.....	42
Şekil 4.19. 125 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen <i>S.platensis</i> 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri.....	43

- Şekil 4.20.** 150 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen *S.platensis*'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri.....43
- Şekil 4.21.** 50,75,100,125 ve 150 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen *S. platensis* 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri.....44
- Şekil 4.22.** statik ve çalkalamalı inkübatörde Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen *S.platensis* 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri.....46
- Şekil 4.23.** Ölü ve canlı biyokütlelerinin Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen *S.platensis* 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri..... 47
- Şekil 4.24.** Basic red 46 içeren, *S.platensis*'in agar jeline tutuklanan ve kontrol kültürlerinin zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri50
- Şekil 4.25.** Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride *S.platensis*' in optimum koşullar altında zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri.....52

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Farklı alg gruplarının sınıflandırma şeması	8
Çizelge.3.1. Kullanılan boyar maddelerin ticari isimleri, Renk indeks numaraları ve maksimum absorban değerleri	19
Çizelge.3.2. <i>Spirulina</i> kültürlerinde kullanılan <i>Spirulina</i> ortamının içeriğindeki.....	20
Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan boyar maddelerin dekolorizasyon yüzdeleri.....	27

1.GİRİŞ

Su hayattır sözcüğü halen geçerliliğini korumakla birlikte günümüzde suyun hızla kirletiliyor olması hayatımızı da tehdit altına sokmaktadır. Kirletilmiş sularda toksik, organik ve inorganik olarak çözülmüş katı maddeler, asitler ve boyar maddeler gibi birçok kirletici yer almaktadır ve bunların arasında boyar maddeler en istenmeyen kirletici olarak kabul edilmektedir [1].

Boyar maddeler aromatik moleküler yapıdadır. Sentetik kökenleri boyaların, daha dayanıklı olmalarını ve böylece de biyolojik olarak parçalanmalara direnç göstermeleri sonucunu doğurmaktadır [2]. Boyalarla kirletilmiş sularda suyun ışık geçirgenliği düşmekte ve dolayısıyla da bu tip sularda fotosentezin olumsuz etkilenmesi yanında çözülmüş oksijen miktarının azalması da söz konusu olmaktadır. Bunlara ek olarak, boyar maddelerle kirletilmiş sularda bu boyaların içerdikleri metal, klorür ve benzeri bileşikler de fotosentetik aktiviteyi ve sucul yaşamı etkilemektedir [3].

Hızlı sanayileşme ve kentleşmeye paralel olarak, boyalar da dahil olmak üzere çok sayıda kimyasal üretilmekte ve üretilen bu kimyasallar günlük yaşamda kullanılmaktadır [4]. Boyar maddeler tekstil sanayinde sıklıkla kullanılmaktadır ve bu sanayinin renkli atık suyu, su kirliliğinin en belirgin göstergelerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Boyar madde ile kontamine olan atıksu çok az miktarlarda dahi su ortamında eklendiğinde önemli sonuçlara neden olabilir. Bu durum sadece renk nedeniyle ortaya çıkmaz, boyaların içerdiği toksik maddeler de ilave etki yaratır. Atıksularda, boyar maddelerin dışında parçalanabilir organik madde, besin, pH' yı değiştiren madde, tuz, kükürt ve toksik maddeler gibi diğer kirleticiler de yer alabilmektedir [5].

Tekstil sanayi atıksularında yer alan atıklar diğer tüm endüstriler arasında çevreyi en çok kirletenler olarak kabul edilir. Tekstil sanayi atıksularının, çevre ve sağlık üzerine olan etkileri uzun zamandır bilimsel incelemelere konu olmuştur. Çevredeki boyaların bertaraf edilmemesi, ışığın suya nüfuzunu sınırlayarak hidrofitlerin fotosentez aktivitesinin ciddi anlamda etkilemesi sonucunu

doğurmasının yanında, yıkılmaları gerçekleştirildiğinde de bu kere bazı yıkım ürünlerinin sucul organizmalar için toksik etki yaratması ile de ilave bir olumsuzluğa yol açmaktadır. Bu durum aynı zamanda ekosistemin bütünlüğü, toprak verimliliği ve bitki büyümesini de etkilemektedir [6]. Tüm bu istenmeyen durumlar, mevcut ekolojik dengeyi iyice tehdit eder bir durum yaratmakta ve bu nedenle de insanoğlu ve tüm canlılar için yaşanabilir bir ortam oluşturmak temel hedef olarak ortaya çıkmaktadır.

Atık suların boyar maddelerin giderimi fiziksel ve kimyasal gibi farklı yöntemler ile gerçekleştirilebilir. 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].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının günümüzde birçok uygulama yöntemi bulunmaktadır, bunların içersinde en önemlilerinden birisi de mikroalglerin geniş çaplı üretimi ile elde edilen biyomastır. Günümüzde üretilen en popüler algler, *Chlorella*, *Spirulina*, *Dunaliella*, *Hematococcus* ve *Porphyridium*' dur. Bunlardan *Spirulina* ve *Chlorella* endüstriyel olarak en çok üretime sahiplerdir [7].

Yapılan tezin amacı literatürde çok az rastlanan *Spirulina platensis* biyomasın kullanılarak tekstil boyaların renk giderimini araştırmaktır. Bu amaçla Zarrouk besiyeri kullanılarak biyomas elde edilmiş ve boyar madde renk giderimine bakılmıştır.

2. GENEL BİLGİ

2.1. Boyar Maddelerin Sınıflandırılması

Boyar maddelerin sınıflandırılması çeşitli şekillerde yapılabilmektedir, bu sınıflandırmalarda uygulama alanı, çözünürlük ve kimyasal yapılar gibi özelliklere dikkat çekilmektedir.

Boyar maddelerin uygulama alanına göre sınıflandırması

1. Reaktif boyar maddeler
2. Asit boyar maddeler
3. Premetile boyar maddeler
4. Direkt boyar maddeler
5. Azoik (Naftol) boyar maddeler
6. Dispers boyar maddeler
7. Vat boyar maddeler
8. Kükürt boyar maddeler
9. Bazik boyar maddeler [8].

Boyar maddelerin kimyasal yapılarına göre sınıflandırması

1. Nitro ve nitrozo boyar maddeler
2. Azo boyar maddeler
3. Polimetin boyar maddeler
4. Arilmetan boyar maddeler
5. Karbonil boyar maddeler [9].

2.1.1. Boyar Maddelerin Uygulama Alanlarına Göre Sınıflandırması

2.1.1.1. Reaktif Boyar Maddeler

Suda çözünebilirlikleri yüksek olan Reaktif boyar maddeler küçük ve basit molekül yapılarına sahip ve en son nesil boyalardandır. Selüloz esaslı liflerin boyanması amacıyla geliştirilmiş olan bu boyalar günümüzde pamuk (PROCION), ipek ve yün (PROCILAN) gibi çeşitli elyafların boyamasında kullanılmaktadır. Bu boyalar renk oluşturmak için liflerin molekülleri ile reaksiyona girerek etkili olurlar. Reaktif boyar maddeler ışık ve yıkamalarda iyi dayanıklılık gösterir [8,9].

2.1.1.2. Asit Boyar Maddeler

Bazik boyar maddelerin asidifiye edilmesi ile elde edilen Asit Boyar maddeler protein liflerinde kullanılmak amacıyla geliştirilmiş olmakla birlikte, naylon ve akrililerde de kullanılabilir. Asit boyar maddeler uygun ışık dayanıklılığı gösterirler ancak yıkamada dayanıklılıkları zayıftır. Bundan ayrı olarak, suda çözünürlükleri de yüksektir. Asit boyar maddeler sülfürik asit gurupları yanısıra genellikle suda çözünürlük sağlayan sülfonik veya karboksilik asit tuzu guruplarını da içerir [8].

2.1.1.3. Premetelize Boyar Maddeler

Asit boyar maddelerine bir ya da iki krom molekülü eklenmesi ile elde edilmiş boyar maddedir, çoğunlukla kendi iplerini boyamakta olan dokumacılar tarafından kullanılan bir sentetik boyar madde türüdür [8].

2.1.1.4. Direkt Boyar Maddeler

Direkt boyar maddeler selüloz liflerini boya banyosunda açık renk almaları için mordan (renk sabitleştirici) bulunmadan boyamak için kullanılırlar. Bunlar genellikle tek sabitleştirici olarak tuzu kullanan boyar maddelerdendir, açık tonlar verirler ve iyi yıkama dayanıklılığı göstermezler. Direkt boyar maddeler diğer kimyasalların yardımı olmadan kumaş moleküllerine bağlanabilen boyalardandır. Bu tip boyalar pamuk, kağıt, deri, yün, ipek ve naylonlarda kullanılmaktalar [8].

2.1.1.5. Azoik (NAPHTHOL) Boyar Maddeler

Farklı renkleri olan Azoik boyar maddeler her ne kadar selüloz lifleri için tasarlanmışlarsa da, protein lifleri üzerinde de başarılı bir şekilde kullanılmaktadırlar. Bu boyalar Asya ve Avustralyanın her yerinde yaygın bir şekilde kumaş boyaması ve kumaş veya kağıt üzerinde ilginç doku efektleri vermek için kullanılmaktadırlar [8].

2.1.1.6. Dispers Boyar Maddeler

Önceleri asetat lifleri için geliştirilen bu boyar maddeler, şimdilerde sentetik lifler için kullanılan önemli boyar maddelerdir. Dispersiyon boyar maddeler Toz boyar maddeler ve Sıvı boyar maddeler olarak iki formda bulunurlar [8,9].

2.1.1.7. Vat Boyar Maddeler

Bu tür boyar maddeler selüloz lifleri için kullanılan ve çok hızlı etkileyen boyar maddelerdir. Çözünür bir bileşik olarak kumaşa uygulanırlar. Ağırlıklı olarak pamukta kullanılmaktadırlar [8].

2.1.1.8. Bazik Boyar Maddeler

Renkleri açıktır ancak ışık ve yıkamalara zayıf dayanıklılık göstermektedirler. Pamuk, yün ve ipek boyamalarında sıkça kullanılmaktadırlar [8].

2.1.2. Boyar Maddelerin Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırması

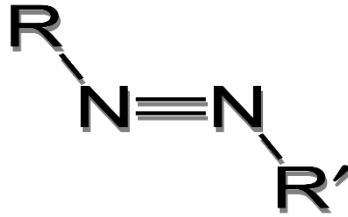
2.1.2.1. Nitro ve Nitrozo Boyar Maddeler

Nitröz asit ile fenollerin reaksiyonu sonucunda sentezlenmiş boyalardır [9]. Yapılarında iki değerlikli demir bulunduran yeşil pigmentli boyar maddelerdir, ışık ve ısı etkisine karşı dirençli olup yaygın olarak duvar kağıdı ve kalem üretiminde ayrıca kauçuk boyaması için kullanılırlar [10].

2.1.2.2. Azo Boyar Maddeler

Azo boyar maddeler gıdalar, kozmetik, halı, giysi, deri ve tekstil gibi tüketim mallarında kullanılan sentetik boyaların çok etkili büyük sınıflarındandır [11].

Azo boyar maddeler tüm organik renklendiricilerin % 60-80 inin temsil ederler ve kimyasal yapılarında bir ya da birkaç nitrojen-nitrojen çift bağı (-N=N -) içerirler [12]. (Şekil 2.1).



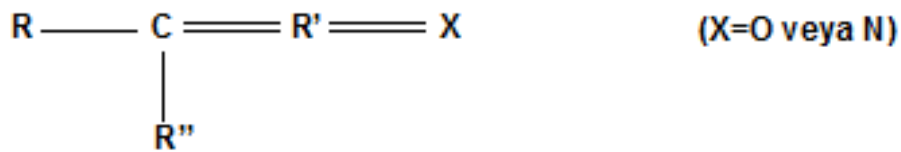
Şekil 2.1. Azo boyar maddelerin genel yapısı

2.1.2.3. Polimetin Boyar Maddeler

Kromofor zincirinin bir ucunda bir elektron verici ve diğer ucunda da bir elektron alıcısı bulundurarak bir ya da daha fazla -CH= (metin) grubu içeren bu boyaların çoğunda, vericiler ve alıcılar nitrojen atomlarıdır. Işık duyarıcısı olarak elektrofotografik film işleminde sıkça kullanılırlar [9].

2.1.2.4. Arilmetan Boyar Maddeleri

Büyük bir guruba sahip olan bu boyar maddelerin genel formülü aşağıdaki gibidir (Şekil 2.2):



Şekil 2.2. Arilmetan boyar maddelerin genel formülü

Burda **R** ve **R'** benzen veya naftalin halkalarıdır, **R''** ise bir yada kaç amino grubu olabilmektedir [9].

2.1.2.5. Karbonil Boyar Maddeler

Karbonil grubu; aldehidler ($R-CHO$) ve ketonlardan ($R-CO-R'$) meydana gelmektedir. 1991'de Zollinger tarafından tanımlanan karbonil boya ailesi iki karbonil grubu, bir elektron vericisi ve bir elektron alıcısı arasına yerleştirilmiş olan bileşikleridir [9].

2.2. Mikroalglerin Tanımı

2.2.1. Mikroalglerin Sınıflandırılması

Alglerin taksonomisi her gün yeni genetik ve yapısal kanıtların takip edilmesiyle sürekli ve hızlı bir gelişme göstermektedir. Alglerle bitkiler arasında aynı depolama bileşikler üretilmesi, saldırgan ve parazitlere karşı aynı savunma mekanizmasına sahip olmak gibi çeşitli benzerlikler söz konusudur. Ancak bitkiler alglere göre yüksek bir farklılaşma (kökler, yapraklar, saplar vs.) gösterir. Alg türlerinin, geleneksel sınıflandırmasında tutarsızlıklar söz konusu olmaktadır ve bu sınıflandırma bilgi birikimi ile değişebilmektedir. Sınıflandırma için bir pilot proje, Van Den Hok ve arkadaşlarının (1995) çalışmasına dayanarak kabul edilmiş ve Bold, Wynne (1978), Margulis ve arkadaşları (1990), Graham ve Wilcox (2000) gibi çeşitli bilim insanlarının sınıflandırılması ile karşılaştırılmıştır. Bulunan prokaryotik üyeler *Cyanophyta* ve *Prochlorophyta* olmak üzere iki bölüm halinde gruplandırılmıştır. Ökaryotik üyeler ise *Galucophyta*, *Rhodophyta*, *Heterokontophyta*, *Haptophyta*, *Cryptophyta*, *Dinophyta*, *Euglenophyta*, *Chlorarachniophyta* ve *Chlorophyta* olmak üzere dokuz bölümden oluşmaktadır [13]. (çizelge 2.1)

Çizelge 2.1. Farklı alg gruplarının sınıflandırma şeması

Âlem (kingdom)	Bölüm (division)	Sınıf (class)
Prokaryota eubacteria	<i>Cyanophyta</i> <i>Prochlorophyta</i>	<i>Cyanophyceae</i> <i>Prochlorophyceae</i>
Eukaryota	<i>Glaucophyta</i> <i>Rhodophyta</i> <i>Heterokontophyta</i> <i>Haptophyta</i> <i>Cryptophyta</i> <i>Dinophyta</i> <i>Euglenophyta</i> <i>Chlorarachniophyta</i> <i>Chlorophyta</i>	<i>Glaucophyceae</i> <i>Bangiophyceae</i> <i>Florideophyceae</i> <i>Chrysophyceae</i> <i>Xanthophyceae</i> <i>Eustigmatophyceae</i> <i>Bacillariophyceae</i> <i>Raphidophyceae</i> <i>Dictyochophyceae</i> <i>Phaeophyceae</i> <i>Haptophyceae</i> <i>Cryptophyceae</i> <i>Dinophyceae</i> <i>Euglenophyceae</i> <i>Chlorarachniophyceae</i> <i>Prasinophyceae</i> <i>Chlorophyceae</i> <i>Ulvophyceae</i> <i>Cladophorophyceae</i> <i>Bryopsidophyceae</i> <i>Zygnematophyceae</i> <i>Trentepohliophyceae</i> <i>Klebsormidiophyceae</i> <i>Charophyceae</i> <i>Dasycladophyceae</i>

Bunların arasında *Spirulina* cinsi, *Cyanophyceae* sınıfında bulunmaktadır.

2.2.2. Mikroalglerin Üretimi

2.2.2.1. Mikroalglerin Doğal Ortamda Üremesi

Algler dünyanın her yerinde ve hemen hemen her yaşam koşulunda üreyebilmektedirler. Hayvanlardan (salyangoz, yengeç ve kaplumbağlar), bitkilerde

(ağaç gövdeleri, dallar ve yapraklar, su bitkileri), nehirlerden tuz gölleri ve gölcükler gibi çok çeşitli doğal alanlarda bulunabilmektedirler. Ayrıca yaşamak için baraj ve rezervuarlar gibi yapay ortamlar da algler tarafından kullanılabilir [14]. Kültür, alglerin ürediği yapay ortam olarak tanımlanmaktadır. Kültür ortamı altında algler ışık ve sıcaklık gibi koşullar altında tutularak mümkün olduğu kadar doğal ortamına benzer koşullarda üretilmelidir [13].

2.2.2.2. Kültür Parametreleri

Bir kültürün 3 farklı bileşeni vardır; uygun bir besiyeri, besiyeri içinde üreyen alg hücreleri, kültür ve atmosfer arasındaki karbondioksit geçişini sağlamak için hava. Tamamen bir ototrofik alg üremesi için, ışık, CO₂, su, besin ve iz elementlere ihtiyaç vardır. Fotosentez vasıtasıyla alg gerekli olan tüm biyokimyasal bileşiklerini sentezleyebilmektedir. Sadece istisna bazı algler tamamen ototrofik olmasına rağmen bazı biyokimyasal bileşikleri (bazı vitaminler) sentezleyememektedirler. Bu alglerin üretilmesi için ihtiyaç duydukları bu bileşiklerin ortamda mevcut olması gerekmektedir [14]. Alglerin üremesiyle ilgili en önemli parametreler besin miktarı ve kalitesi, ışık, pH, tuzluluk ve sıcaklıktır [13].

- **Sıcaklık**

Kültürlerin inkübasyon sıcaklığı, organizmaların doğal ortamındaki sıcaklığa mümkün olduğu kadar yakın olmalıdır. Kültürü yapılabilen mikroalg türlerinin tolere edebildikleri sıcaklık dereceleri 16-27°C arasında olmakla birlikte, bu değerler kültürün bileşimi, tür ve ırka göre değişiklik gösterebilir. Bu nedenle alglerin üretilmesinde çoğunlukla 18-20°C arasında ortalama bir değer kullanılmaktadır.

Sıcaklık kontrollü inkübatörlerde genellikle sabit sıcaklıklar kullanılır, ancak farklı sıcaklıklara transferler yapılacaksa sıcaklık değişimlerine adaptasyon için değişim haftada 2°C lik değerler halinde gerçekleştirilmelidir. Alg kültürlerinde üretim sıcaklığının 16°C altına inmesi halinde üreme yavaşlar, oysa 35°C nin üstü bazı türler için ölümcüldür [13].

- **Işık**

Işık, bitkilerde olduğu gibi alglerde de fotosentez reaksiyonunun sürdürücüsüdür, fotosentez için ışık yoğunluğu önemli bir rol oynar ama şartlar büyük ölçüde besiyeri miktarı ve alglerin yoğunluğu ile değişir. Besiyeri miktarının fazla olması ve yüksek hücre konsantrasyonlarında, ışığın kültüre nüfuz etmesi için, şiddetinin artırılması gerekli olmaktadır [14]. En sık kullanılan ışık şiddeti 100 ile 200 $\mu\text{E sec}^{-1} \text{m}^{-2}$ arasında olmaktadır ki, bu değerler yaklaşık %5-10 tam gün ışığına (2000 $\mu\text{E sec}^{-1} \text{m}^{-2}$) karşılık gelir. Ayrıca aşırı ısınmayı engellemek için doğal ve yapay ışıklar bir arada kullanılmamalıdır [13].

- **pH**

Genellikle alg türleri için optimum pH aralığı 7 ve 9 arasındadır. Doğru pH' yı sağlamamak gibi bir hata kültürün tamamen çökmesine, pek çok hücrel bozulmalarla, neden olabilir [13].

- **Tuzluluk**

Deniz algleri tuzluluk değişikliklerine son derece toleranslıdır. Çoğu türler, kendi doğal yaşam alanlarının biraz daha düşük bir tuzluluk değerleri gösteren kültürlerde iyi üreme gösterirler. Alg üretimi için optimum tuzluluk değerinin 20-24 gl^{-1} arasında olduğu tespit edilmiştir [13].

- **Çalkalamalı kültürasyon**

Çalkalamak özellikle açık kültürlerde alglerin çökmesi ve tabakalaşmasını önlemek, tüm hücrelerinin ışık ve besin almasını sağlamak ve besiyerinin hava alması için önemlidir [13].

2.3. Boyar Madde Giderim Yöntemleri

Boyar maddelerin giderimi için birçok yöntem vardır. Bunlar kimyasal, fiziksel ya da biyolojik olarak olabilir. Hiçbir moleküler degradasyon meydana gelmeden boyar maddeler fiziksel şekilde aktif karbon üzerine adsorpsiyon ile çıkarılabilir. Boyar madde degradasyonunda, kromofor (molekülün renk sorumlusu olan kısım)

kimyasal reaksiyonlar aracılığıyla modifiye edilir. Biyolojik giderim, hücre zarının sorpsiyon üzerinden veya biyokatalizörlerin biyokimyasal degradasyonu ile oluşmaktadır [15].

2.3.1. Fiziksel Yöntemler

- **Adsorpsiyon**

Adsorpsiyon bir diğeri ile temas halinde olan, iki karışmayan fazın ara yüzeyinde çözünen boya moleküllerinin aktarılmasıdır. Boya endüstrisi atık sularından aktive edilmiş karbon kullanılarak adsorpsiyon işlemi yolu ile renk giderimi pratik ve ekonomik bir yaklaşım olarak gerçekleştirilmektedir [18].

- **İyon Değişimi**

Anyon ve katyonların boya endüstrisi atığından giderimi iyon değiştirme yöntemi ile iyon değişim reçinelerinden geçirerek gerçekleştirilebilir. Burada bazı istenmeyen katyonlar ya da anyonlar reçinenin sodyum veya hidrojen iyonları ile değiştirilir. Greluk & Hubicki (2010) tarafından, reaktif boyar maddelerin giderimi için alternatif bir yöntem olarak adsorpsiyon / iyon değişimini önerilmiştir [19].

Reaktif boyar maddelerin gideriminde ticari anyon değişim reçinelerinin uygulanması Karcher ve arkadaşları tarafından incelenmiştir (2001,2002). Aynı araştırmacılar, çok iyi adsorpsiyon kapasitesi olan (200-1200 umol / g) anyon değiştiricilerin etkili bir yenileme özelliğine sahip olduğunu rapor etmişlerdir. Boyar maddelerin diğer sınıflarının giderilmesi için, akrilik matris içerikli iyon değiştirici reçine uygulanabilirliği de Bayramoğlu ve arkadaşları (2009), Dulman ve arkadaşları (2009), Wawrzkievicz ve Hubicki (2009) ve Barsanescu ve arkadaşları (2009), tarafından bildirilmektedir [18].

- **Membran Filtrasyonu**

Membran filtrasyonu yöntemiyle boyanın sürekli olarak arıtılması, konsantre edilmesi ve en önemlisi atıksudan ayrılması mümkün olmaktadır. Bu yöntemin diğer yöntemlere göre en önemli üstünlüğü sistemin sıcaklığa, beklenmedik bir kimyasal çevreye ve mikrobiyal aktiviteye karşı dirençli olmasıdır. Ters osmoz membranların 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 olmakla beraber yüksek ozmotik basınç farklılığı ters osmoz uygulamalarını sınırlandırmaktadır [18].

2.3.2. Kimyasal Yöntemler

Kimyasal oksidasyon, elektro-kimyasal degradasyon ve ozonlama gibi kimyasal yöntemler boyar madde gideriminde etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Ultraviyole ışığı ile kombine edilen ozonlama ve hidrojen peroksit ile ev atık sularından sentetik boya arıtmı ile ilgili olarak literatürde çok çeşitli araştırmalar yer almaktadır [18,20,21]. Oksidasyon teknikleriyle yolu ile atıkları beyazlatmak için çeşitli oksitleyici maddeler verimli bir şekilde kullanılmıştır. Örneğin, boya banyosunda sodyum hipoklorit etkili biçimde renk giderir ancak, bu yöntem düşük maliyetli olmakla birlikte emilebilir toksik organik halojenürler oluşturulmasına yol açar [20].

- **Oksidasyon**

Philippe ve arkadaşları (1998); Slokar ve Le Marechal (1998) tarafından, çözücü ekstraksiyonu, aktif karbon adsorpsiyonu ve kimyasal arıtım işlemleri gibi geleneksel su arıtma teknolojileri yanı sıra oksidasyon teknikleri ile de arıtımın gerçekleştirilebileceği ileri sürülmüştür. Bu konuya bir örnek olarak ozon (O₃) ile gerçekleştirilen oksidasyon verilebilir. Ancak bu tip oksidasyon genellikle tehlikeli yan ürünler ve büyük miktarda katı atık üretir ve bu durumda yüksek maliyetli bertaraf ya da rejenerasyon yöntemlerinin de uygulamaya sokulması gerekir. Bu nedenle oksidasyon sonucunda CO₂ ve H₂O gibi zararsız ürünlerin oluşturulmasına dikkat edilmelidir. El-Dein ve arkadaşları (2003), oksidasyon yöntemlerini önermekte ve bu yöntemin tekstil atık suların arıtılması için umut verici alternatif bir yöntem olduğunu savunmaktadırlar [18,21].

- **Elektrokimyasal Yöntem İle Renk Giderimi**

Elektrokimyasal reaksiyonu gerçekleştirmek için gerek kimyasal ve gerekse de sıcaklık gereksinimi, elektro-kimyasal olmayan arıtmalara göre daha azdır, buna

ek olarak, istenmeyen yan ürünlerin üretimini de engellenmektedir. Asılı veya kolloidal katı maddelerin atık sudaki yüksek konsantrasyonda bulunması elektrokimyasal reaksiyonu yavaşlatır, bu nedenle, bu tip maddelerin elektrokimyasal oksidasyondan önce giderilmeleri gerekir.

Birçok çalışmada ticari olarak kullanılan boyaların, hem biyolojik ve hem de fiziko-kimyasal yöntemlere karşı dirençli olduğu bildirilmiştir, bu nedenle kullanılan alternatif yöntemler olan adsorpsiyon, oksidasyon ve ozonlama gibi umut verici yöntemlere eğilim artmaktadır. Oysa bu son yöntemler ekonomik açıdan problem yaratmaktadır [22-25].

2.3.3. Biyolojik Yöntemler

Biyoakümülyasyon ve biyosorpsiyon boyar madde içeriği gösteren endüstriyel atık suların biyolojik yöntemlerle arıtılmaları için kullanılan iki ana teknolojidir. Her iki yöntem, boyar madde içeren sanayi atıklarının gideriminde geleneksel yöntemlerin yerine tercih edilebilecek bir potansiyele sahiptir [26]. Biyolojik yöntemler, kirliliğin olduğu yerde uygulanabilir ve genellikle çevre açısından uygun ve zararsızdırlar, ikincil bir kirliliğe neden olmazlar ve uygun maliyete sahiptirler ki bu iki özellik boya sanayi atıklarının arıtımı için biyolojik teknolojilerin avantajları olarak karşımıza çıkmaktadır [27]. Biyolojik yöntemle boyar madde gideriminin bazı dezavantajları da vardır: Örneğin; bazı boyar maddelerde degradasyon verimliliği çok düşüktür ya da yıkıma tam bir direnç söz konusudur. Bu durum pratikte bir işlem sıkıntısı yaratır.

Vijayaraghavan ve Yun (2008) renk maddelerinin giderimi ile yaptıkları çalışmalar sonucunda biyoakümülyasyon ve biyosorpsiyon arasındaki farkı belirlemişler ve biyoakümülyasyonu canlı hücreler tarafından zehirli maddelerin alınımı olarak tanımlarlarken, biyosorpsiyonu ölü ya da aktif olmayan bir biyolojik malzeme yolu ile toksik maddenin alımı olarak tariflendirmişlerdir. Biyosorpsiyon işleminin biyoakümülyasyona göre önemli bir avantajı vardır. Canlı organizma kullanımı toksik atıklarda uygulanacak devamlı giderim için tavsiye edilmez. Bu nedenle arıtmalarda, çevre koşulları ve toksik madde konsantrasyonlarına karşı esnek olan ölü biyokütle kullanımı daha avantajlı görülmektedir. Bazı araştırmacılar, fiziksel ve kimyasal yöntemlerin yüksek maliyetli, düşük verimlilikte ve çeşitli boyaların

giderilmesinde kullanılamaz olduğundan bahsederek, enzim bazlı yöntemlerin kullanılmasının iyi bir alternatif olduğunu ileri sürmüşlerdir [28,29].

2.4. Mikroalglerin Atıksu Arıtımında Kullanılması

Atıksular iki çeşittir: Şehir atıksuları ve endüstriyel atıksular. Endüstriyel atıksular genellikle içki, ilaç, tekstil ve yağ fabrikaları tarafından üretilmektedir. Bu tip atık su arıtımında çeşitli biyolojik yöntemlere ilave olarak mikroalgler de devamlı karıştırılan açık havuzlarda olmak üzere, başarılı bir şekilde kullanılmıştır [31].

Çeşitli endüstriyel atıkların arıtımında alglerin, bakterilerin ve fungusların canlı ve ölü biyokütlelerinin kullanıldığı ve başarılı sonuçlara ulaşıldığı çalışmalar mevcuttur [29,32,33,34]. *Phanerochaete chrysosporium*' un ölü biyoması ile tekstil boyar madde giderimi araştırılan bir çalışmada tam bir boya giderimi için 60 dakika inkübasyon süresi gerektiği ve 150-200 rpm'in en iyi çalkalama hızı olduğu tespit edilmiştir [35]. Diğer bir çalışmada ise termofil *Phormidium sp.* ile Remazol Blue ve Reactive Black B giderimine bakılmış ve boyaların düşük konsantrasyonlarında verimliliğin daha çok olduğu gösterilmiştir [36]. Başka bir araştırmada *Cosmarium sp.* ile Malaşit yeşili boyasının giderimi çalışılmış ve en iyi başlangıç pH değeri 9 olarak bulunmuştur. En iyi başlangıç biyomasının $4,5 \times 10^6$ hücre/ml olduğu ve 5-45 °C ler arasında renk giderim hızının arttığı bildirilmiştir [37]. Malaşit yeşili giderimi ile ilgili bir diğer çalışmada *Pithophora sp.* kullanılmıştır. Biyomasın artması ile boya gideriminin doğru orantılı artışı ve başlangıç pH 6' nın en iyi pH olduğu tespit edilmiştir [38]. Birçok araştırmacı tarafından mikroalglerin ve diğer mikroorganizmaların ağır metal gideriminde de kullanıldığı bildirilmiştir [39,40].

2.5. Tez Kapsamında Kullanılan *Spirulina platensis*'in Bazı Ticari Özellikleri

Arthrospira (Spirulina) sp. filamentli ototrofik Cyanobacterlerdendir, Mavi-yeşil algler olarak da bilinirler ve isimlerini sarmal veya spiral filamentlerine borçludurlar. Bu mikroorganizma, sodyum bikarbonat, tuz ve alkale şartlarda birçok yerde özellikle sığ sularda doğal olarak gelişir [41].

Spirulina ve *Chlorella* gibi bazı mikroalgler GRAS (Genellikle Güvenli Olarak Tanımlanan) sertifikalıdır ve sağlık riski sunmadan gıda olarak kullanılabilirler. 23 Haziran 1981 yılından bu yana, *Spirulina* FDA (Food and Drug Administration) tarafından onaylanmıştır. *Spirulina* kanser, hiperkolesterolemi ve ateroskleroz gibi hastalıkların tedavisi için besin ve tedavi edici özelliklerine sahip olduğundan bu mikroalglerin üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmıştır [42].

Beslenme ile ilgili çalışmalar bu mikroorganizmaların şimdiye kadar bulunan en yüksek protein içeriğini, yüksek besin değerini, iyi sindirilebilirliği ve FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nation) tarafından önerilen oranlarda tüm temel amino asitleri (metionin hariç) içerdiğini göstermektedir [43].

Spirulina üretimi diğer fotoototroflara göre daha avantajlıdır. Örneğin büyük ve spiral şeklinde oldukları için kültür ortamından daha kolay hasat edilmektedirler [44].

S.platensis' in üremesini ışık yoğunluğu etkilemektedir. Üreme sırasında üretilen belirli enzimler ile alınan ışık enerjisi arasında ilişki vardır. [45]. *Spirulina* sp. ototrofik olduğu için ışık şiddeti, oluşturdukları metabolitlerin değişimine neden olabilmektedir [46].

2.6. Tutuklama

Katalizör özelliği olan mikroorganizmaların ve enzimlerin bu özelliklerini geliştirme ve endüstride kullanabilme olanaklarının artırılması amacıyla inorganik ya da organik taşıyıcılarda çeşitli yöntemlerle hapsedilmesi ve bağlanması işlemine tutuklama (immobilizasyon) denir [47].

2.6.1. Tutuklama Yöntemleri

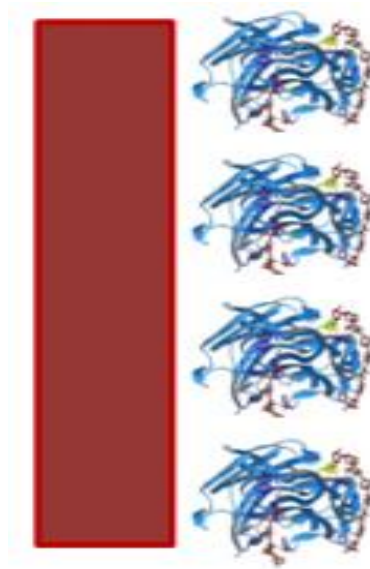
Tutuklama yöntemleri 5 grupta incelenir [48].

- a) Yüzeğe Tutunma
- b) Kovalent Bağlama
- c) Mikrokapsülleme

- d) Çapraz Bağlanma
- e) İnert bir Desteğe Tutuklama

a) Yüzeye Tutunma

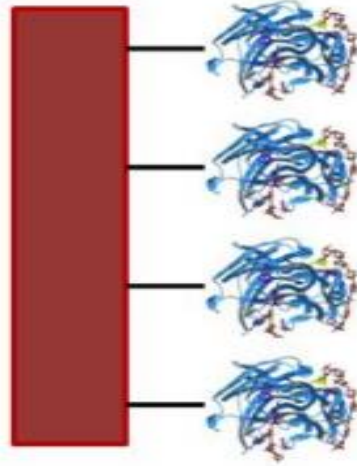
Basit, ucuz ve kolay bir yöntemdir ve adsorpsiyonu için kullanılan malzemeler sentetik veya biyolojik kökenli organik maddelerdir. Yüzeye tutunmayı etkileyen faktörler; tutucu özellikleri, mikroorganizmanın özellikleri ve çevre özellikleridir [48,49]. (Şekil 2.3)



Şekil 2.3. Yüzeye tutunmanın şeması

b)Kovalent Bağlanma

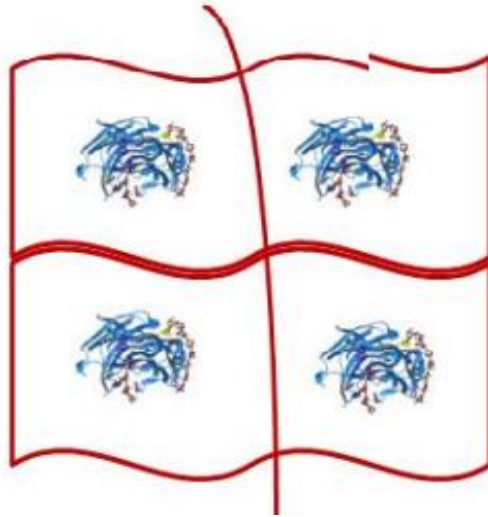
Kovalent bağlama tutuklama için geleneksel bir yöntemdir. Hücreler ile destek maddeleri arasında tersinmez kovalent bağ oluşur. Daha çok enzimlerin tutuklanmasında kullanılan bir yöntemdir ve kovalent bağ aracılığıyla enzim ve malzeme doğrudan bağlanır [48,49]. (şekil 2.4)



Şekil 2.4. Kovalent bağlanmanın şeması

c) Mikrokapsülleme

Bu yöntemde hücreler, substratlar ve ürünlerin geçmesine izin veren bir geçirgen membranlı mikrokapsül içine tutuklanır. Sistemin temeli zarın seçiciliğine dayanır. Bu yöntem ancak küçük molekül ağırlıklı ürün eldeğinde kullanılabilir [48]. (şekil 2.5)



Şekil 2.5. Mikrokapsüllemenin şeması

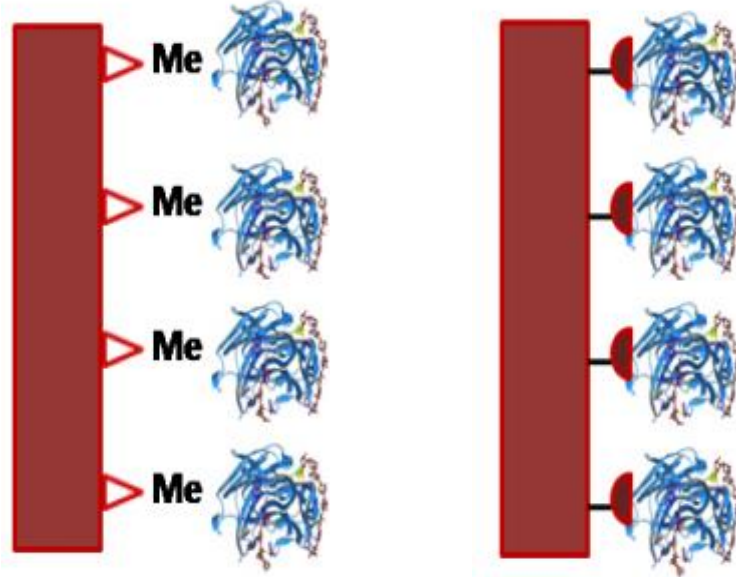
d)Çapraz Bağlanma

Bağlanma tepkimesi tersinmezdir. Fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki tür çapraz

bağlanma vardır. Kimyasal çapraz bağlanmada hücreler birbirlerine aldehit ve amin gibi çok fonksiyonlu maddeler ile bağlanırlar. Fiziksel çapraz bağlanma ise çöktürme ve küçük boyutlarda tabakalaşma yolu ile yapılır.

d) İnert bir Desteğe Tutuklama

En çok kullanılan tutuklama yöntemlerinden birisidir. Hücreler poliakrilamid, metal hidroksitler, agar, kollajen, aljinat veya karregen gibi maddeler ile oluşturulmuş bir jel içine çeşitli yöntemlerle hapsedilirler. Jel oluşumu iyonik yük değişimi, çöktürme, kovalent veya çapraz bağlama yolu ile gerçekleştirilir [48,49]. (şekil 2.6)



Şekil 2.6. İnert bir desteğe tutuklamanın şeması

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

3.1. MATERYAL

3.1.1. Mikroorganizma

Mikroorganizma kaynağı olarak Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında temin edilen *Spirulina platensis* kullanılmıştır.

3.1.2. Boyar madde

Tez çalışmalarında saf ve toz halinde olan Remazol Black BTM, İnfacryel Red GRL, Reactive Bright yellow ve Reactive Red boyaları Seres Dış Ticaret. Ltd. ŞTİ.' den temin edilmiştir. Boyalar 50 ppm konsantrasyonlarında hazırlanarak otoklavlandıktan sonra besiyerine ilave edilmiştir (Çizelge 3.1).

Çizelge.3.1. Kullanılan boyar maddelerin ticari isimleri, Renk indeks numaraları ve maksimum absorbans değerleri [Seres Dış Ticaret. Ltd. ŞTİ.]

Ticari isim	Boyar madde	Color index
Remazol Black BTM 200%	Reactive Black 5	C.I. 20505
İnfacryel Red GRL 180%	Basic Red 46	C.I. 110825
Reactive Bright yellow C_XD	Reactive yellow	C.I. 15
Reactive Red C_XDR	Reactive Red	C.I. 18221

3.1.3. Besiyeri ve İçerikleri

Spirulina platensis kültürünün çoğaltılmasında besiyeri olarak Zarrouk kültür ortamı kullanıldı (www.cyanosite.com).

Çizelge.3.2. *Spirulina* kültürlerinde kullanılan *Spirulina* ortamının içeriğindeki (www.cyanosite.com).

Ortam Solüsyon	Madde	Miktar
KISIM I	NaHCO ₃ (Sodyum bikarbonat)	16.80 g
	Na ₂ CO ₃ (Sodyum karbonat)	8.06 g
	K ₂ HPO ₄ (Potasyum bifosfat)	1.00 g
	Distile su	500.00 ml
KISIM II	NaNO ₃ (Sodyum nitrat)	5.00 g
	K ₂ SO ₄ (Potasyum sülfat)	2.00 g
	NaCl (Sodyum klorür)	2.00 g
	MgSO ₄ .7H ₂ O (Magnezyum sülfat. 7H ₂ O)	0.40 g
	CaCl ₂ (Kalsiyum klorür)	0.02 g
	FeSO ₄ .7H ₂ O (Demir sülfat. 7H ₂ O)	0.02 g
	Na ₂ EDTA (Sodyum – EDTA)	0.16 g
	Mikro Element Solüsyonu	10.00 ml
	Vitamin Solüsyonu	5.00 ml
	Distile su	500.00 ml
Mikro element Solüsyonu	ZnSO ₄ .7H ₂ O (Çinko sülfat. 7H ₂ O)	0.001 g
	MnSO ₄ .7H ₂ O (Mangan sülfat. 7H ₂ O)	0.002 g
	Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O (Sodyum molibdat. 2H ₂ O)	0.01 g
	Co(NO ₃) ₂ .6H ₂ O (Kobalt nitrat. 6H ₂ O)	0.001 g
	CuSO ₄ .5H ₂ O (Bakır sülfat. 5H ₂ O)	0.00005 g
	FeSO ₄ .7H ₂ O (Demir sülfat. 7H ₂ O)	0.7 g
	Na ₂ EDTA (Sodyum EDTA)	0.8 g
	Distile su	1.00 L

3.2 YÖNTEMLER

3.2.1. Mikroorganizmaların Üretimi

Çalışmada *Spirulina platensis* (Şekil.3.1) üretim ortamı olarak yukarıda Çizelge 3.2 de gösterilen maddelerden hazırlanan Zarrouk besiyeri kullanılmıştır. Bu besiyeri kısım I ve 10 ml mikro element solüsyonu eklenen 500 ml kısım II nin 1:1 olacak şekilde karıştırılması ile hazırlanmaktadır. Her iki karışım (kısım I ve 10ml mikro element solüsyonu eklenen 500 ml kısım II) ayrı ayrı 1.5 atmosfer basınç altında 110 °C de 25 dakika süreyle otoklavlanarak sterilize edilerek saklanır ve kullanılacağı zaman 75 ml lik ortamlar oluşturacak şekilde yukarıda belirtilen oranlarda karıştırılır (www.cyanosite.com). Bu şekilde hazırlanan besiyerinin pH değeri 9.7-10.0 arasında olmaktadır. Besiyerlerine steril şartlar altında daha önce stok olarak hazırlanan ortamlardan 25 ml *Spirulina platensis* ekilir. İnkübasyon sırasında ışık şiddeti 30 W'lık floresans lambalarla, 2000 lux olarak sağlanmaktadır. İnkübasyon en az 72 saat boyunca 25°C de gerçekleştirilmektedir.



Şekil.3.1. *S.platensis*' in mikroskopik görüntüsü

3.2.2. Stok Kùltürler

Stok olarak kullanılacak kùltür her zaman aynı şekilde hazırlanmış ve deney ortamlarına aynı oranlarda ekim yapılmıştır. Stok kùltür Zarrouk besiyerinde 10 gün üretilen *Spirulina platensis* ile hazırlanmıştır. Bu amaçla Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında temin edilen *Spirulina platensis* laboratuvarımızda sıvı Zarrouk besiyerine ekilmiş ve 10 gün üretilmiştir. Üretimin ardından lamda sayım yapılmış ve 1 ml' de yer alan mikroorganizma sayısı saptanmıştır (310000). Aynı ortamdaki 3 kere ardı ardına yapılan ekimler sonucunda ana stok elde edilmiş ve 10 günde bir olacak şekilde yukarıdaki yöntemle tekrar hazırlanan stoklar deneylerde aşı olarak kullanılmıştır. Her çalışma düzeneğinde aynı stoktan aynı miktar ekim yapılmasına dikkat edilerek çalışmalar yürütülmüştür.

3.2.3. Boyar Maddelerin Maksimum Absorbans Değerlerinin Belirlenmesi

Çalışmada kullanılacak boyar maddelerin renk giderim oranlarının saptanabilmesinde kullanılacak maksimum absorbans değerlerinin saptanması için boyar maddeler Zarrouk besiyerine 50 ppm oranlarında olacak şekilde eklenmiş ve bu şekilde hazırlanan ortamlar UV visible spektrofotometrede (Shimatdzo UV-1700 Spectrophotometer) 250-700 nm aralığında verdikleri absorbans değerleri taranmıştır.

3.2.4. Boya Gideriminin Belirlenmesi

Çalışmalarda boyar madde gideriminin saptanması için üretim öncesi ve sonrası absorbans değerleri ölçülmüştür. Bu amaçla üretim sonrasında kùltürler 4000 rpm'de 15 dakika santrifüj (Eppendorf 5810 R Centrifuge) edilir ve elde edilen süpernatantın boyaya uygun dalga boyuna ayarlanan spektrofotometrede verdiği optik dansite değeri aşağıdaki formülde yerine konularak % boya giderimi saptanır.

$$\% \text{ Boya giderimi} = \frac{\text{Başlangıç absorbans değeri} - \text{Son absorbans değeri}}{\text{Başlangıç absorbans değeri}} \times 100$$

3.2.5. Dekolorizasyon İşleminin Yapılması İçin Uygun Boyanın Belirlenmesi

Her ne kadar çalışmaların başlangıcında 4 farklı tekstil boyar maddesi kullanılmışsa da çalışmalara *Spirulina platensis* kültürlerinin en yüksek giderim sağladığı boya ile devam edilmiştir. Bu amaçla *Spirulina platensis* suşu ile Reactive Black 5, Basic Red 46, Reactive Yellow ve Reactive Red boyalarının renk giderimlerine bakıldı ve yapılan ön çalışmalar ile kullanılan tekstil boyalarının giderim yüzdesi belirlendi. Bu çalışmadan elde edilen verilere göre, en kısa sürede en yüksek giderimi gerçekleştiren boya çalışmaların devamı için seçilmiştir. Çalışmaların devamında kullanılan boyanın giderimi üzerine etkili olabilecek başlangıç pH değeri, inkübasyon sıcaklığı, inokulan miktarı, çalkalamalı ve statistik inkübasyonun etkisi, boyar madde konsantrasyonu ve inkübasyon süresi gibi bazı kültürel parametreler araştırıldı.

3.3. Dekolorizasyon İçin Uygun Kültürel Koşulların Belirlenmesi

3.3.1. Boya Giderimi İçin Uygun Başlangıç pH Değerinin Araştırılması

Spirulina platensis tarafından gerçekleştirilecek boya gideriminde farklı başlangıç pH değerlerinin etkisini araştırmak amacıyla, besiyerlerinin pH' ları HCl ve NaOH (1M) ile 7-10 arasında olacak şekilde ayarlandı. Her çalışma üç paralel olarak gerçekleştirildi. Ardından besiyerlerine boya eklendi ve yine aynı şekilde 75 ml' lik ortama 25 ml *S.platensis* ekimi yapıldıktan sonra 2000 lux ışık şiddeti altında ve 25°C de statik şekilde inkübe edildi. 10 gün inkübasyon sonrası kültürlerden örnek alınıp ve 4000 rpm' de 15 dakika santrifüje edildi ve spektrofotometrik ölçümler sonrasında boya giderimi için uygun pH değeri belirlendi.

3.3.2. Boya Giderimi İçin Uygun İnkübasyon Sıcaklığının Araştırılması

Uygun inkübasyon sıcaklığının belirlenmesi için *Spirulina platensis* suşu boyalı besiyerine ekildi ve 9.7 pH' da, 2000 lux ışık şiddetinde 4 farklı sıcaklık derecesinde (25, 30, 35, 40°C) üçer paralel olarak statik inkübasyonda üremeye bırakıldı. İnkübasyon sonrası santrifüje edilen ortamlardan alınan örneklerde

spektrofotometrik ölçümler yapıldı ve boya giderimi için uygun inkübasyon sıcaklığı belirlendi.

3.3.3. Boya Giderimi İçin Uygun Inkübasyon Süresinin Belirlenmesi

Boya giderimine inkübasyon süresinin etkisini belirlemek için boya içeren 75 ml Zarrouk besiyerine 25 ml *S.platensis* inoküle edildi. Daha sonra 25°C sıcaklık derecesinde, 2000 lux ışık şiddetinde 9.7 pH' da (Zarrouk besiyeri pH'sı) statik şekilde inkübe edildi. 240 saat inkübasyon sırasında her 24 saat aralığında üretim ortamlarından örnek alındı ve spektrofotometrik ölçümler sonrasında boya giderimi için uygun inkübasyon süresi belirlendi.

3.3.4. Boya Gideriminde İnokulan Miktarının Araştırılması

Zarrouk besiyerine eklenen boyanın giderilmesi için uygun inokulan miktarının araştırılması için stoklardan üremenin 10. gününde 10, 20, 30 ve 40 ml örnek alındı ve besiyerlerine ekildi. Ekim yapılan ortamlar statik şekilde, 25°C de 2000 lux ışık şiddetinde inkübasyona bırakıldı. 240 saat inkübasyon sırasında her 24 saat aralığında üretim ortamlarından örnek alındı ve spektrofotometrik ölçümler sonrasında boya giderimi için uygun inokulan miktarı belirlendi.

3.3.5. Farklı Başlangıç Boya Konsantrasyonlarının Etkisinin Belirlenmesi

Spirulina platensis ile boyar madde giderilmesi için uygun olan boya konsantrasyonunun saptanmasına yönelik bu çalışmada stoklardan üremenin 10. gününde 25 ml örnek alındı ve 50, 75, 100, 125, 150 ppm' lik boya solüsyonu eklenmiş besiyerlerine ekim gerçekleştirildi. Ekim yapılan ortamlar statik şekilde, 25°C de 2000 lux. ışık şiddetinde inkübasyona bırakıldı. 240 saat inkübasyon sırasında her 24 saat aralığında üretim ortamlarından örnek alındı ve spektrofotometrik ölçümler sonrasında boya giderimi için uygun boya konsantrasyonu belirlendi.

3.3.6. Boya Gideriminde Statik ve çalkalamalı İnkübasyon Koşullarının Etkisinin Belirlenmesi

Tez çalışmamızda statik ve çalkalamalı inkübasyon etkisini belirlemek amacıyla stoklardan alınan 25'er ml *S.platensis* Zarrouk besiyerlerine iki paralel olacak şekilde ekildi ve yukarıdaki deneyler sonucunda elde edilen verilere uygun olarak, ancak statik veya 150 rpm çalkalama hızında 25°C de ve 2000 lux ışık şiddeti altında inkübe edildi. 240 saat inkübasyon sırasında her 24 saat aralığında üretim ortamlarından örnek alındı ve spektrofotometrik ölçümler sonrasında boya giderimi için uygun inkübasyon koşulu belirlendi.

3.4. Canlılığı Giderilen Kültürün Boya Gideriminde Kullanılması

Canlı kültürle yapılan çalışmalara ek olarak ölü *S.platensis*'in renk gideriminde kullanılabilirliğinin araştırılması için inkübasyon periyodunun 10. gününde olan stok bu kez, 1.5 atmosfer basınç altında 110 °C de 25 dakika otoklavlandı ve sonrasında ısı ile öldürölmüş kültürden 25 ml alınarak biyosorpsiyon çalışması için 75 ml' lik Zarrouk besiyerine eklendi. Ortamlar statik şekilde, 25°C de 2000 lux ışık şiddetinde inkübasyona bırakıldı. 240 saat inkübasyon sırasında her 24 saat aralığında örnek alındı ve spektrofotometrik ölçümler sonrasında boya giderimi için ölü kültürün kullanılabilirliği belirlendi.

3.5. Agar Jeline Tutuklanan *Spirulina platensis* sp.'nin Boyar Madde Gideriminde Etkisi

Tez çalışmamızda agara tutuklanan *S.platensis*' in renk gideriminde etkisini araştırmak amacı ile öncelikle agar jeli hazırlandı. Daha sonra Zarrouk sıvı besiyerinde üretilen *Spirulina platensis* kültüründen 25 ml örnek alındı ve 45°C deki agar jeli ile karıştırıldı. Agar donmaya bırakıldı. Ardından bistüri ile 3'er mm³ boyutlarında kesilen agarların hepsi 50 ppm boyar madde içeren pH' sı 9.0 olan 100ml Zarrouk sıvı besiyerlerine eklendi. Ortamlar 25°C'de, 2000 lux. ışık şiddeti altında, statik koşullarda inkübasyona bırakıldı. Kontrol olarak stok *Spirulina platensis* kültüründen 25 ml ekim yapılan 50 ppm boyar madde içeren pH' sı 9.0

olan Zarrouk sıvı besiyeri kullanıldı ve bu kontrol aynı şartlarda inkübasyona bırakıldı. 240 saat inkübasyon sırasında her 24 saat aralığında üretim ortamlarından örnek alındı ve spektrofotometrik ölçümler sonrasında giderim yüzdeleri belirlendi.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Boya kullanan sanayilerin azo boyar madde atıklarının çevreye yayılması atık su arıtımında büyük bir sorun arz etmektedir, çünkü bazı azo boyar maddeler veya bunların metabolitlerinin mutajenik veya kanserojenik etkileri olabilir. Normalde boyar maddelerin hepsi toksik olmasa da çevre kirleticisi olarak tanımlanmaktadır [50].

Geçtiğimiz on yıl içinde, biyolojik renk giderimi, azo boyaları mineralize veya degrede edilmesi için bir yöntem olarak araştırılmıştır. Dekolorizasyon için fiziksel ve kimyasal yöntemlerin pahalı olmaları ve bazı olumsuz özellikleri onların sınırlı kullanımına neden olmuştur [51].

Son yıllarda yapılan çalışmalar; bazı mikroorganizma türlerinin, atıksularda bulunan birçok boya türünü giderebilme yeteneğine sahip olduklarını vurgulamaktadır [50,52]. Bu konuda yapılan çalışmalar bakterilerin, fungusların ve alglerin hem canlı hem de ölü biyokütlelerinin ağır metal, boyar madde ve diğer endüstri atıklarını gidermede kullanılabildiğini ve başarılı sonuçlar elde edildiğini göstermektedir [32,34,53-59]. Çalışmamız kapsamında; *Spirulina platensis* ile boyar madde giderimi araştırılmıştır. Ancak *S.platensis* ile boyar madde giderimi konusunda yayınlanmış yeterli çalışma bulunmadığından çalışmamız kapsamında elde edilen sonuçlar hem kendi içinde değerlendirilmiş hem de diğer mikroalgler ile yapılan çalışmalarla karşılaştırılarak tartışılmıştır.

4.1. *S.platensis* Suşu İle Boya Giderimine Uygun Boyanın Seçimi

Bu çalışmada öncelikle Reactive Black 5, Basic Red 46, Reactive Yellow ve Reactive Red boyar maddelerinin sıvı ortamda oluşturduğu renkliliğin *Spirulina platensis* tarafından giderimi araştırılmıştır. Bu amaçla önce 3.2.5 de anlatıldığı şekilde, yukarıda söz konusu edilen boya maddelerinin maksimum absorpsiyon spektrumları taranmış ve her bir boyar maddenin *Spirulina platensis* tarafından renk giderimi araştırılırken kendine uygun spektrumda çalışılmıştır. Zarrouk sıvı besi yerinde üretilen 10 günlük *S.platensis* kültüründen alınan 25 ml örnek, 50 ppm boyar madde içeren besiyerine eklenmiş, 25°C'de, 2000 lux. ışık şiddeti

altında statik koşullarda sürdürülen 10 günlük inkübasyon sonunda maksimum dekolorizasyon yüzdeleri saptanmıştır. Bu çalışma sonucunda en iyi renk gideriminin Basic Red 46 boyası içeren ortamlarda elde edilmesi sonucunda daha sonraki çalışmalar bu boyar madde ile sürdürülmüştür (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan boyar maddelerin dekolorizasyon yüzdeleri

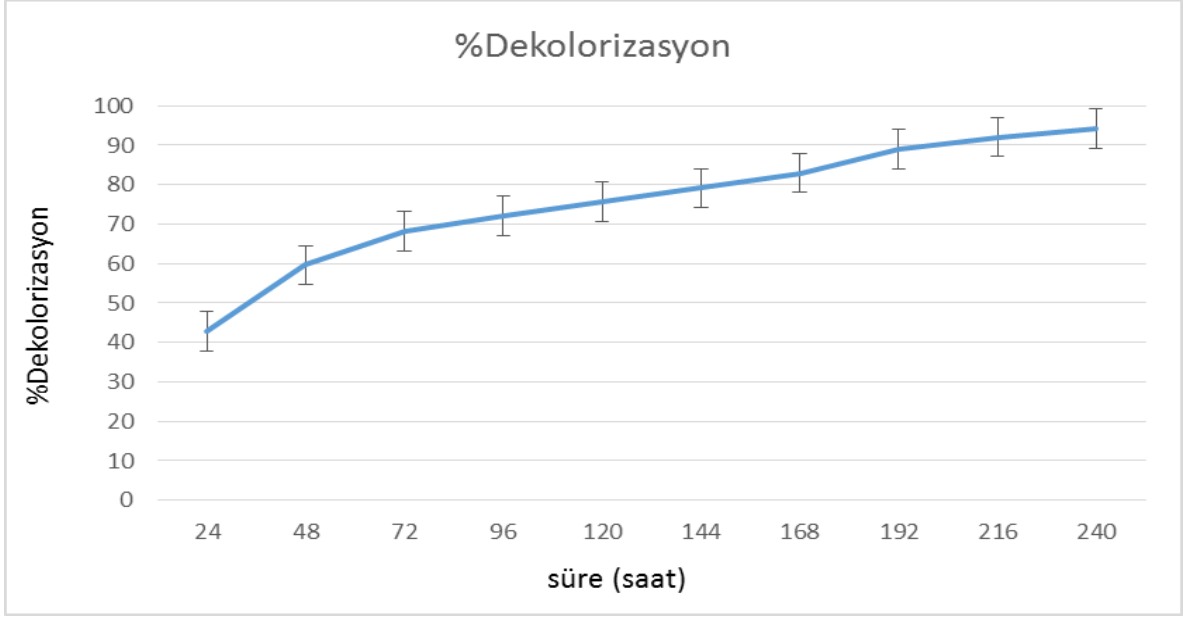
Boyar madde	Max Absorbans Değeri (nm)	Giderim (%)
Reactive yellow	615	%44.4
Reactive Red	525	%26.21
Reactive Black 5	525	%50.1
Basic Red 46	545	%96.48

4.2. Dekolorizasyon İçin Optimum Koşulların Belirlenmesi

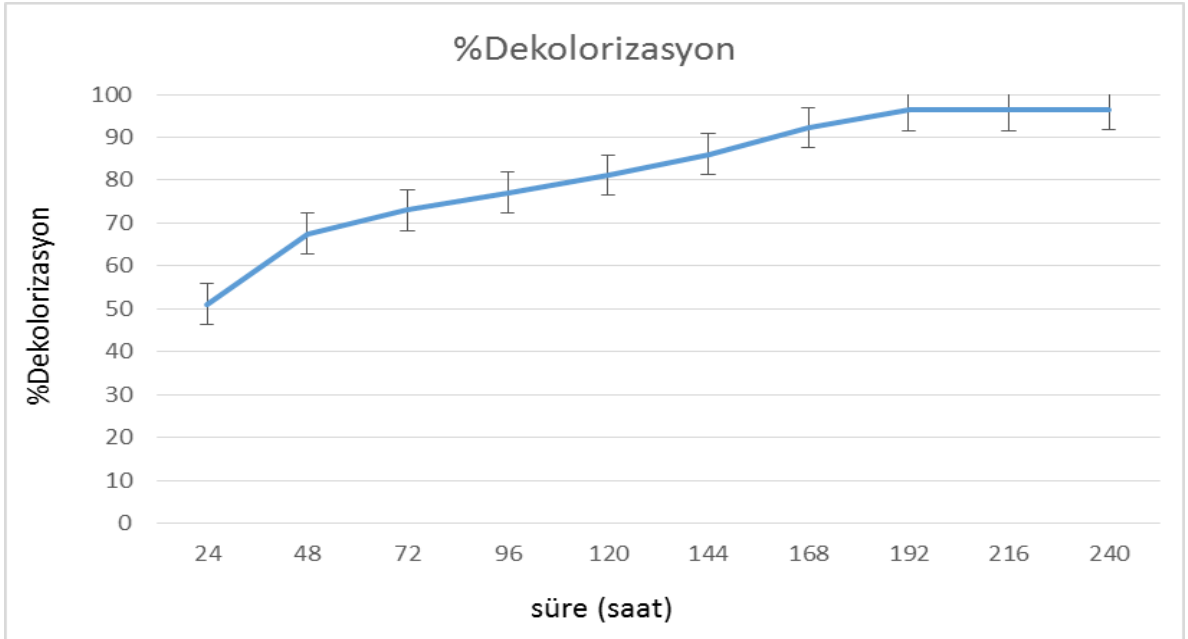
4.2.1. Farklı pH Değerlerinin Boya Gideriminin Üzerine Etkisi

Farklı pH değerlerinin *S.platensis* 'in boya giderimi üzerinde etkisini araştırmak amacıyla Zarrouk besiyerinin pH'sı 1M NaOH ve HCl ile 7-10 arasına ayarlanmıştır. Ardından Zarrouk sıvı besiyerinde üretilen 10 günlük *S.platensis* kültüründen alınan 25 ml örnek, 50 ppm boyar madde içeren besiyerine eklenmiş, 25°C'de, 2000 lux. ışık şiddeti altında statik koşullarda 240 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sırasında her 24 saatte bir, sıvı kültürlerden alınan örnekler 4.000 rpm'de 15 dakika santrifüj edilmiş ve süpernatantların absorbans değerleri ölçülerek boya giderim değerleri belirlenmiştir.

Şekil 4.1 de görüldüğü gibi pH değeri 7.0'ye ayarlanan besiyerinde ilk 24 saat içinde %42.9 oranında bir renk giderim değerine ulaşılmış ve 240. saatte boyar maddenin %94.2 oranında giderildiği görülmüştür. pH değeri 8.0'e ayarlanan besiyerinde ise ilk 24 saat içinde renk giderimi %51.1 olarak hesaplanmış ve 240. saatte boyar maddenin %96.5 oranında giderildiği görülmüştür (Şekil 4.2).

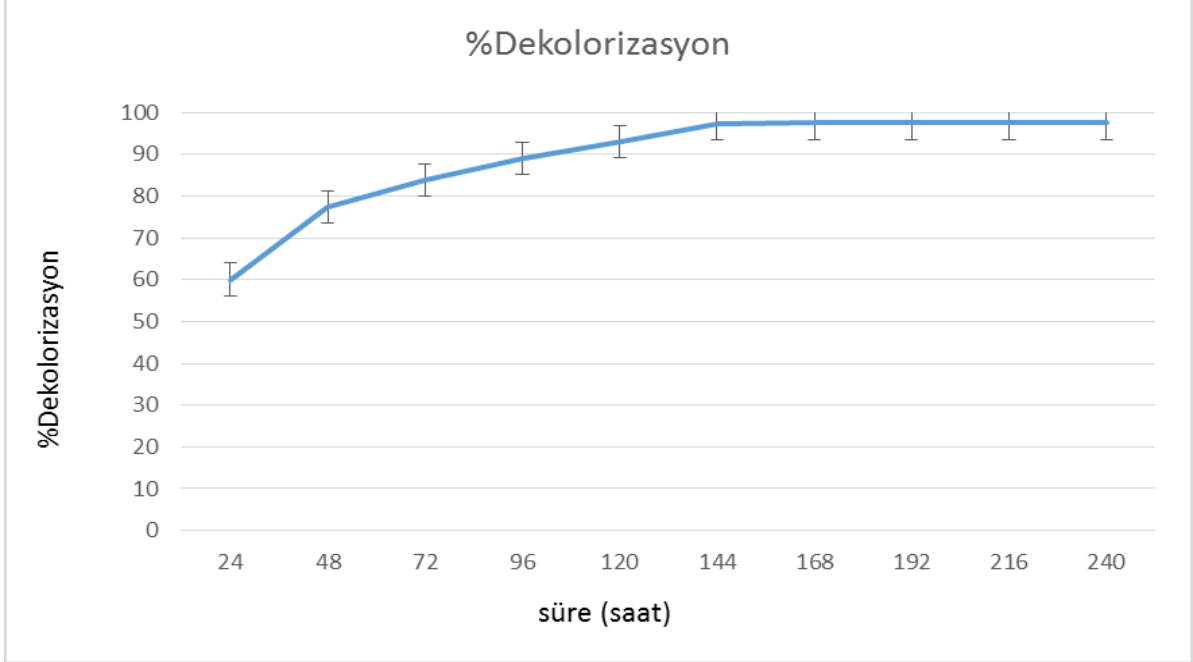


Şekil 4.1. pH 7.0 değerine ayarlanan ve 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen *S.platensis* 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri (Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir).



Şekil 4.2. pH 8.0 değerine ayarlanan ve 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen *S.platensis* 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri (Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir).

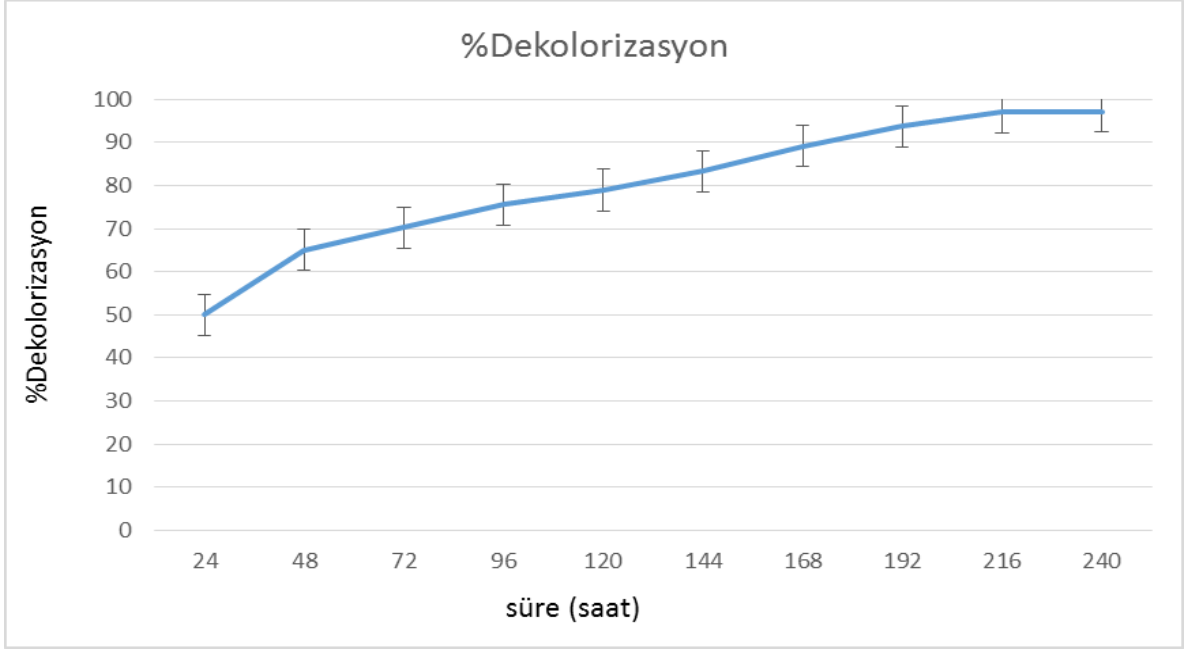
pH değeri 9.0 olarak ayarlanan besiyerinde ilk 24 saat içinde renk oluşumunun % 60.2'sinin giderildiği hesaplanırken, bu besiyerinde üretimin 240. saatinde boyar maddenin %97.5 oranında azaldığı saptanmıştır (Şekil 4.3).



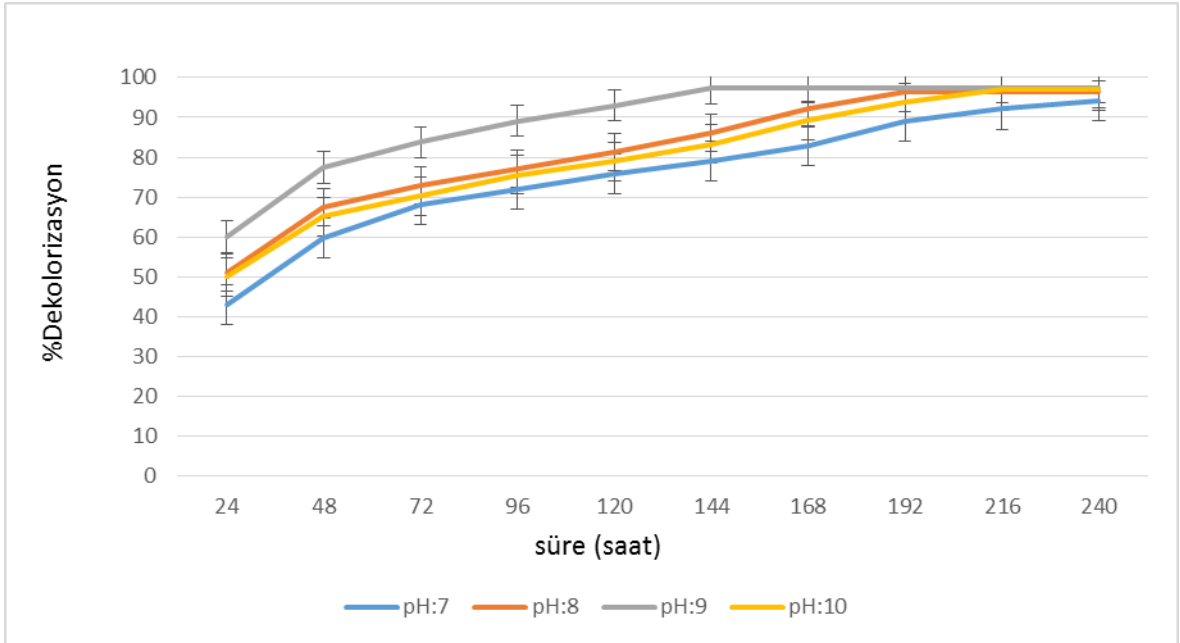
Şekil 4.3. pH 9.0 değerine ayarlanan ve 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyerinde üretilen *S.platensis* 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri (Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir).

S.platensis ile Basic Red 46 boyasının renk giderimi pH değeri 10.0'a ayarlanan besiyerinde ilk 24 saat içinde %50.01 olmuş ve 240. saatte boyar madde renk giderim yüzdesi 97.15 değerine ulaşmıştır (Şekil 4.4).

Farklı pH değerlerinde hazırlanan ve 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyerinde üretilen *S.platensis* 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri birbirleri ile karşılaştırıldığında en uygun başlangıç pH değeri 9.0 olmaktadır. Zira bu pH değerinde her 24 saatlik örneklerdeki renk giderimi diğer pH değerlerine göre daha yüksek olduğu gibi sonuçta en yüksek giderim yine bu besiyerinde gerçekleşmektedir (Şekil 4.5).



Şekil 4.4. pH 10.0 değerine ayarlanan ve 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen *S.platensis* 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri (Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir).



Şekil 4.5. pH 8.0-10.0 değerlerine ayarlanan ve 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen *S.platensis* 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri (Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir).

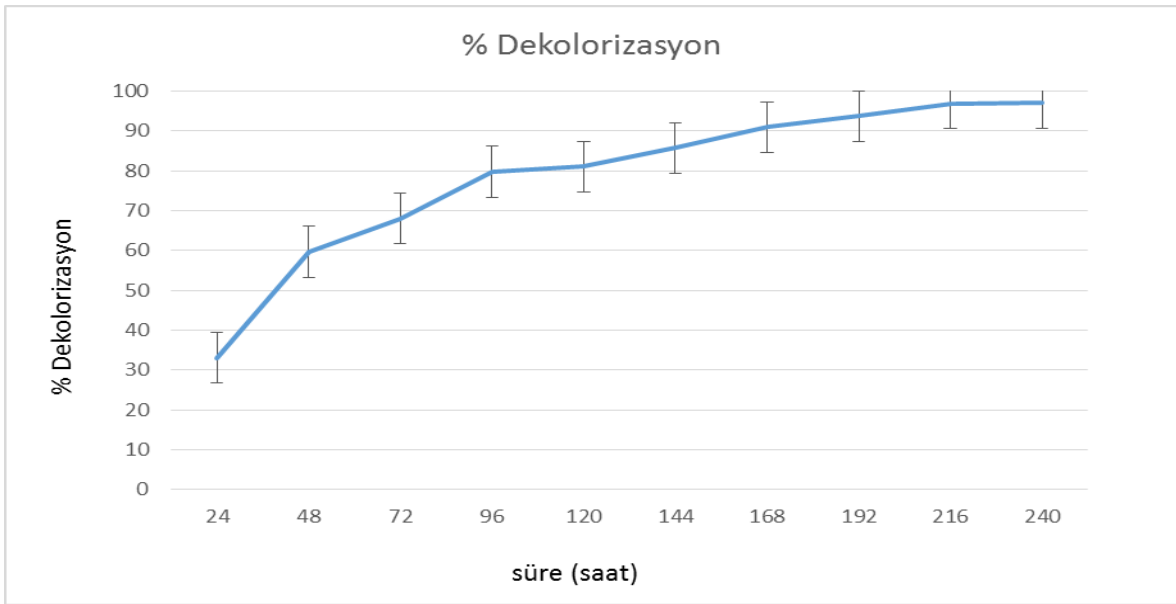
Benzer çalışmalarla verilerimizi karşılaştırdığımızda boyar madde renk giderimi için uygun başlangıç pH değerleri için farklı sonuçlara varıldığı gösterilmektedir. Örneğin; *Cosmarium sp.* ile malaşit yeşili renk gideriminde kesikli sistemde kurulan deney düzeneğinde başlangıç pH'sının 9.0 olarak ayarlandığında renk gideriminin en yüksek orana ulaştığı gösterilirken [37], bir tatlı su algi olan *Pithophora sp.*'nin malaşit yeşili için yapılan giderim çalışmalarında ise pH 6.0'nın en uygun başlangıç pH değeri olarak seçildiğini görmekteyiz [38]. Çalışmamız verilerine benzer olarak tuz gölünden izole edilen *Dunaliella sp.*'nin de pH 9'da en iyi boya giderimini gerçekleştirdiği rapor edilmiştir [7]. Bundan ayrı olarak mikroorganizmal kaynaklı dekolorizasyon çalışmalarında renk gideriminin düşük ve yüksek pH değerlerinde azaldığı ve nötral pH değerlerinin azo boyalar için daha iyi sonuç verdiği bildirilmektedir [60,61]. Hem çalışmamızda kullandığımız *S.platensis* 'in hem de kültüve edilebilen bir çok mikroalgin üretilmesi için uygun pH değerlerinin 7 ile 9 arasında olduğu ve genellikle optimum pH değerinin 8.2-8.7 olarak saptandığı bildirilmektedir [62]. Dolayısıyla da bir mikroorganizmanın iyi üreyebildiği pH aralığında bazı biyokimyasal faaliyetlerinin de artan biyomasa bağlı olarak daha yüksek değerlerde gerçekleşmesi beklenen bir sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durum üreme artışı ile izah edilebileceği gibi renk giderimine etkili enzimlerin optimal aktivitelerini alkalen şartlarda gösteriyor olabilmeleri ile de açıklanabilir. *Bacillus sp* tarafından sentezlenen Azo reduktaz enziminin optimal pH değerinin 8-9 arasında bulunduğu bildirilmektedir [63]. Omar, 2008 yılında *Scenedesmus bijugatus* ile yaptığı azo boyar madde giderimindeki enzimatik çalışmalarını alg üretim ortamının pH değerinde yürütmüştür [64]. Ancak bizim çalışmamızda boya giderimine etkili enzimlerle ilgili bir araştırma yapılmadığından optimal pH değeri ile renk giderimi arasındaki tartışmamız bir varsayımdan öteye gidememektedir.

4.2.2. Boya Giderimi İçin Uygun İnkübasyon Sıcaklığın Araştırılması

Basic Red 46 boyasının gideriminin gerçekleştiği uygun inkübasyon sıcaklığını tespit etmek amacıyla Zarrouk sıvı besiyerinde üretilen 10 günlük *S.platensis* kültüründen alınan 25 ml örnek, 50 ppm boyar madde içeren besiyerine eklenmiş, 25, 30, 35 ve 40°C ye ayarlanmış olan inkübatörlerde, 2000 lux. ışık şiddeti altında statik koşullarda 240 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sırasında her 24 saatte bir, sıvı kültürlerden alınan örnekler 4.000 rpm'de 15 dakika santrifüj edilmiş

ve süpernatantların absorbands değerleri ölçülerek boya giderim değerleri belirlenmiştir.

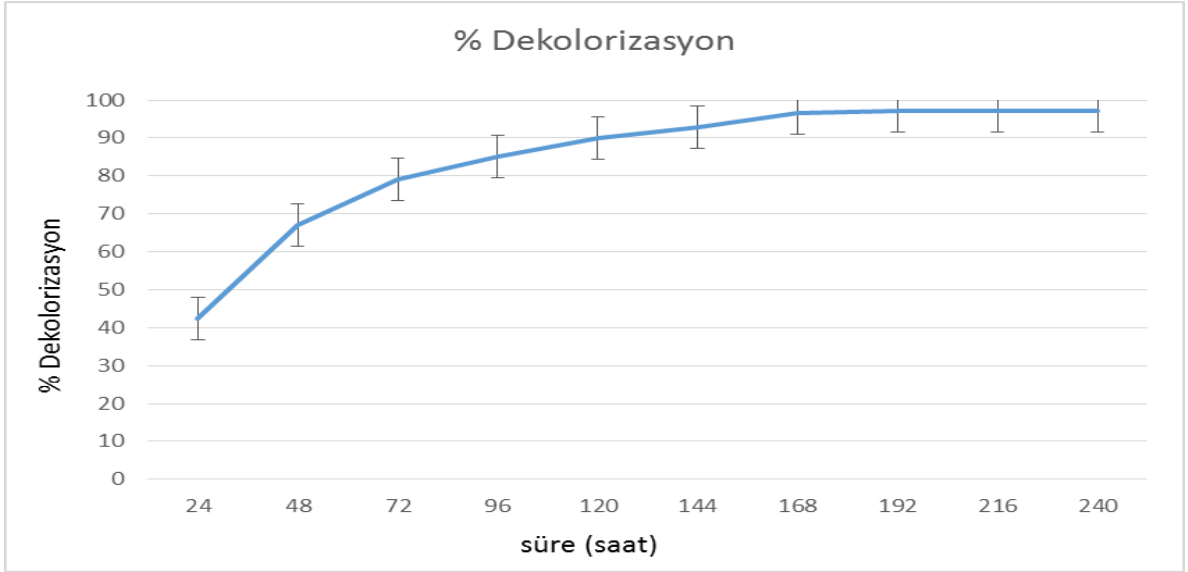
Farklı inkübasyon sıcaklık değerlerinin boya giderimine etkisi ile ilgili bu çalışmada Şekil 4.6 da görüldüğü gibi 25°C de inkübe edilen besiyerinde ilk 24 saat içinde %33.1 oranında bir renk giderim değerine ulaşılmıştır. Üretimin 96. saatinde %80'e varan oranda bir giderim olduğu saptanmış ve 240. saatte boyar maddenin %97.1 oranında giderildiği görülmüştür.



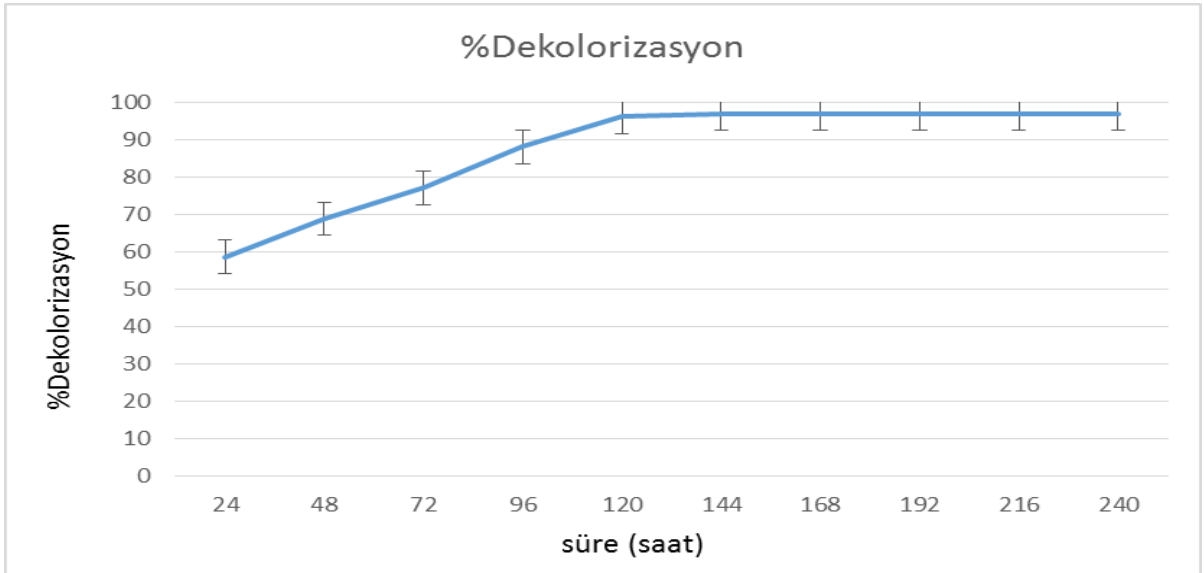
Şekil 4.6. 25°C de inkübe edilen 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyerinde üretilen *S.platensis* 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri (Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir).

İnkübasyon sıcaklığı 30°C olduğunda ise ilk 24 saat içinde renk giderimi %42.5 olarak hesaplanmış ve 240. saatte boyar maddenin %97 oranında giderildiği görülmüştür (Şekil 4.7). İnkübasyon sıcaklığı 35°C olduğunda ilk 24 saat içinde renk oluşumunun % 58,7'sinin giderildiği hesaplanırken, bu besiyerinde %79 civarında bir giderim değeri üretimin 72. saatinde gözlemlenmiştir. İnkübasyonun 240. saatinde ise boyar maddenin %97.25 oranında azaldığı saptanmıştır (Şekil 4.8). *S.platensis* ile Basic Red 46 boyasının renk giderimi 40°C inkübasyon sıcaklığında ilk 24 saat içinde %73.2 olarak gerçekleşmiş, üretimin 48. saatinde

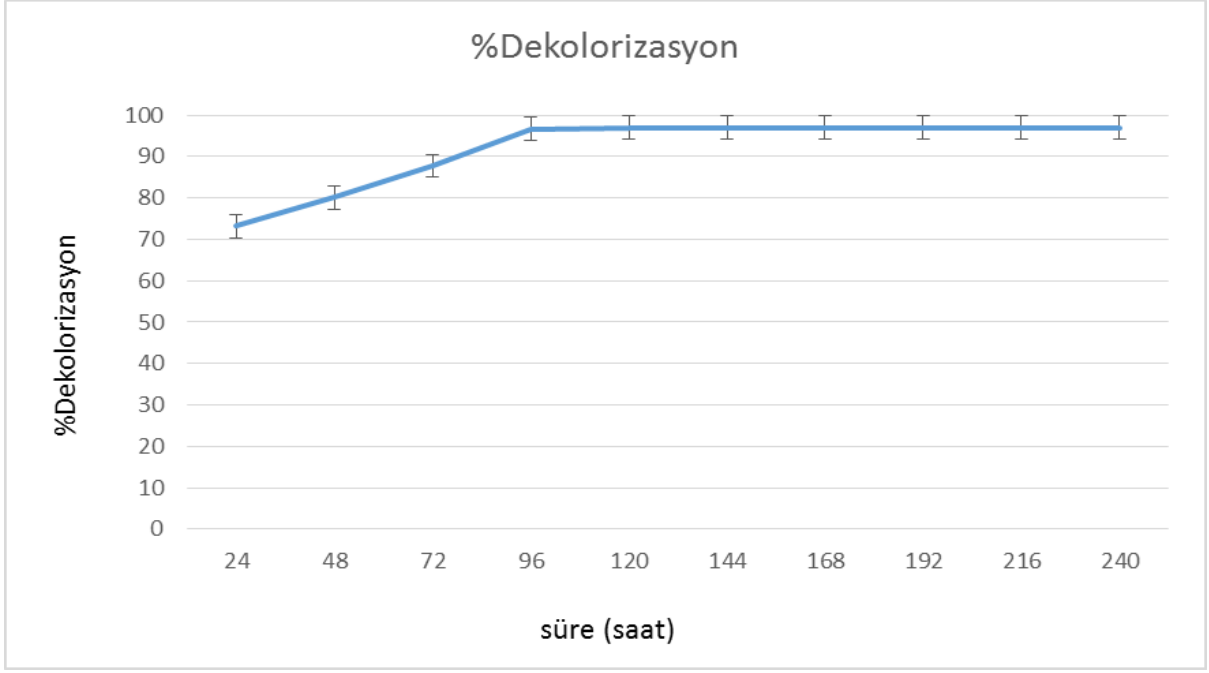
giderim değeri %80'i aşmış ve 240. saatte boyar madde renk giderim yüzdesi 97.20 değerine ulaşmıştır (Şekil 4.9).



Şekil 4.7. 30°C de inkübe edilen 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen *S.platensis* 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri (Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir).



Şekil 4.8. 35°C de inkübe edilen 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen *S.platensis* 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri (Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir).



Şekil 4.9. 40°C de inkübe edilen 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen *S.platensis* 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri (Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir).

Boyar madde renk giderimi için uygun inkübasyon sıcaklığının araştırıldığı diğer çalışmalara bakıldığında benzer bulgulara ulaşılmaktadır. Örneğin *Cosmarium sp.* ile yapılan renk gideriminde 5- 45 °C'de çalışılmış ve sıcaklık artışıyla boya giderim hızının doğru orantılı olarak arttığı belirlenmiştir [37]. *Chlorella vulgaris* ile yapılan bir çalışmada ise renk gideriminde optimal inkübasyon sıcaklıklarının boyar madde tipi ile değişebildiği gösterilmiştir. Bu çalışmada kurutulmuş *Chlorella vulgaris* 'in Remazol Siyah, Remazol Kırmızı ve Remazol Altın Yeşil için biyosorbsiyonu araştırılmıştır. Deney sonucunda en iyi giderimin Remazol Siyahı için 35°C, Remazol Kırmızısı ve Remazol Altın Yeşili için ise 25°C'de olduğu bildirilmiştir [33].

Haematococcus sp., *Chlorella sp.*, *Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus obliquus*, *S. officinalis*, *S. quadricauda* ve *Arthospira maxima*'nın boya giderim kapasiteleri ile ilgili yapılan bir çalışmada ise inkübasyon 16-20 °C'ler arasında sürdürülmüş ancak bu çalışmada renk giderim ölçümleri ise 5 günlük aralıklarda gerçekleştirilmiştir [65].

Farklı sıcaklık değerlerinde inkübe edilen ve 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyerinde üretilen *S.platensis*'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri birbirleri ile karşılaştırıldığında görüldüğü gibi en uygun inkübasyon sıcaklığı bu şartlar altında 40°C olmaktadır. Zira bu sıcaklık değerinde ilk 24 saatlik örneklerdeki renk giderimi hemen % 73.2 ye ulaşırken üretimin 96. saatinde renk giderimi %97 lik bir değere ulaşmakta ve daha sonraki saatlerde sabit kalmaktadır. (Şekil 4.9). Ancak biyoteknolojik süreçlerde hedeflenen kazanımın en ekonomik şekilde eldesi önemli bir kriter olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu açıdan bakıldığında çalışmamızda elde edilen bu sıcaklık değerinde çalışılması maliyet artışına yol açacaktır ve bu nedenle de ortam sıcaklığının 25°C olması halinde elde edilecek boya gideriminin üretimin 96. saatinde %80'e varan oranda gerçekleşmesi dolayısıyla fayda- zarar karşılaştırılması ile üretim süresi uzunluğu ile ısıtma için kullanılacak enerji gideri arasında bir seçim yapılması doğru olacaktır. Dolayısıyla da her ne kadar çalışma verisi olarak inkübasyon sıcaklığının 40 °C olması önerilmeliyse de 25 °C de çalışmak tarafımızdan bir seçenek olarak kabul görülmüştür.

4.2.3. Boya Giderimi İçin Uygun Inkübasyon Süresinin Belirlenmesi

Çalışmada kullanılan mikroorganizma olan *Spirulina platensis* 'in boya giderimi için uygun inkübasyon süresini saptayabilmek için Zarrouk sıvı besiyerinde üretilen 10 günlük *S.platensis* kültüründen alınan 25 ml örnek, 50 ppm boyar madde içeren için Zarrouk sıvı besiyerine eklenmiş, 25°C'de, 2000 lux. ışık şiddeti altında statik koşullarda 240 saat inkübasyona bırakılmıştır. Inkübasyon sırasında her 24 saatte bir, sıvı kültürlerden alınan örnekler 4.000 rpm'de 15 dakika santrifüj edilmiş ve süpernatantların absorbans değerleri ölçülerek boya giderim değerleri belirlenmiştir.

Farklı inkübasyon sürelerinin boya giderimine etkisi araştırıldığında Şekil 4.10 da görüldüğü gibi ilk 24 saat içinde %30 oranında bir renk giderim değerine ulaşılmıştır. Üretimin 120. saatinde %78'e varan oranda bir giderim olduğu saptanmış ve 240. saatte boyar maddenin %97 oranında giderildiği görülmüştür.



Şekil 4.10. 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen *S.platensis* 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri (Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir).

Boya gideriminin biyolojik süreçlerle gerçekleştirildiği çalışmalara bakıldığında genellikle fungal ve bakteriyel kaynaklarla çalışıldığı görülmektedir. Mikroalglerle yapılan bir çalışmada üretim süreleri 15 gün (360 saat) sürdürülmüş farklı türlerde boya farklılıklarına ve konsantrasyonlarına bağlı olarak 5. günden (120.saat) başlayan ve 15. güne kadar önce artan sonra azalan bir hızla gerçekleşen renk giderimleri saptanmıştır [65]. Ancak bu çalışmada boyar madde olarak Congo red, ölçüm aralığı olarak da her 5. gün baz alındığından sonuçların bizim bulgularımızla uyumluluğu tartışılmamaktadır. *S.platensis* ile gerçekleştirdiğimiz bu çalışmada 50 ppm Basic Red 46 için ilk 24. saatte dahi 1/3 oranında olmak üzere önemli bir renk giderim değeri söz konusu olmaktadır.

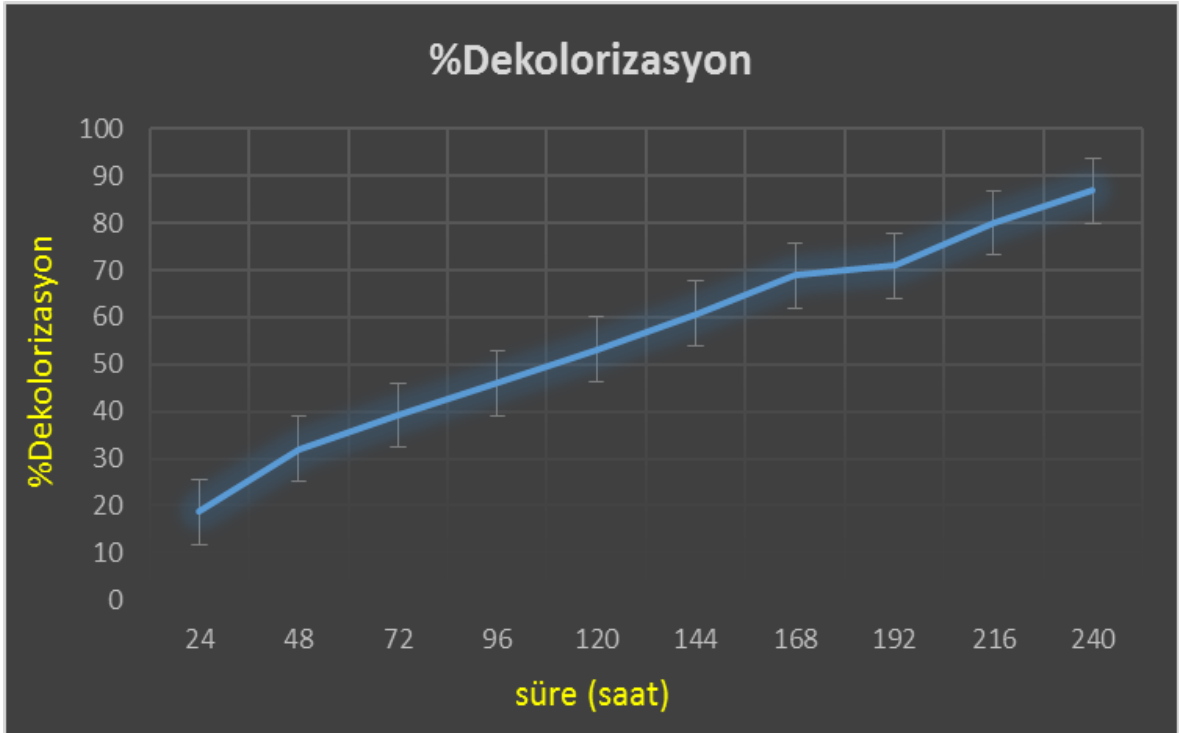
4.2.4. Boya Gideriminde İnokulan Miktarının Etkisinin Araştırılması

Başlangıç mikroorganizma konsantrasyonunun boya giderimine etkisinin belirlenmesi amacı ile Zarrouk sıvı besiyerinde üretilen 10 günlük *S.platensis* kültüründen alınan 10, 20, 30 ve 40 ml örnekler, 50 ppm boyar madde içeren

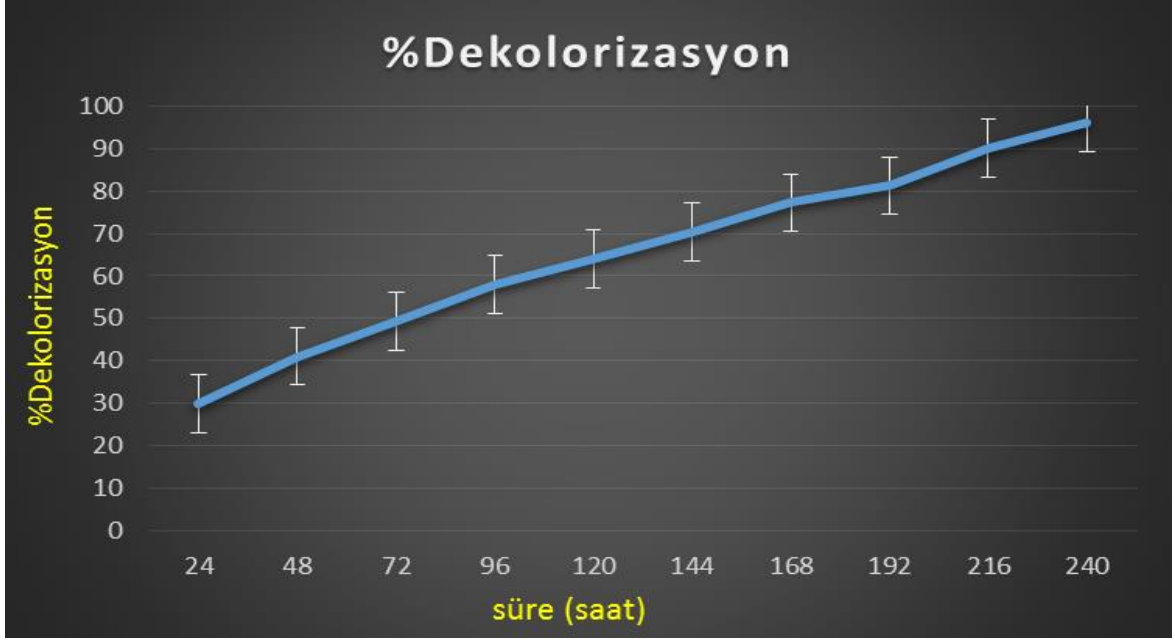
Zarrouk sıvı besiyerine eklenmiş, 25°C'de, 2000 lux. ışık şiddeti altında statik koşullarda 240 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sırasında her 24 saatte bir örnek alınmış ve bu alınan örnekler 4.000 rpm'de 15 dakika santrifüj edildikten sonra süpernatantların absorbands değerleri ölçülerek boya giderim değerleri belirlenmiştir.

Bu deneyler sonucunda Şekil 4.11 de görüldüğü gibi 10 ml başlangıç mikroorganizma konsantrasyonunda ilk 24 saat içinde %18.7 oranında bir renk giderim değerine ulaşılmış ve 240. saatte boyar maddenin %86,93 oranında giderildiği görülmüştür. İnokülan miktarı 20 ml olduğunda ise ilk 24 saat içinde renk giderim oranı %29.9 olarak hesaplanmakta ve boyar maddenin 240. saatte %96.09 oranında giderildiği görülmüştür (Şekil 4.12).

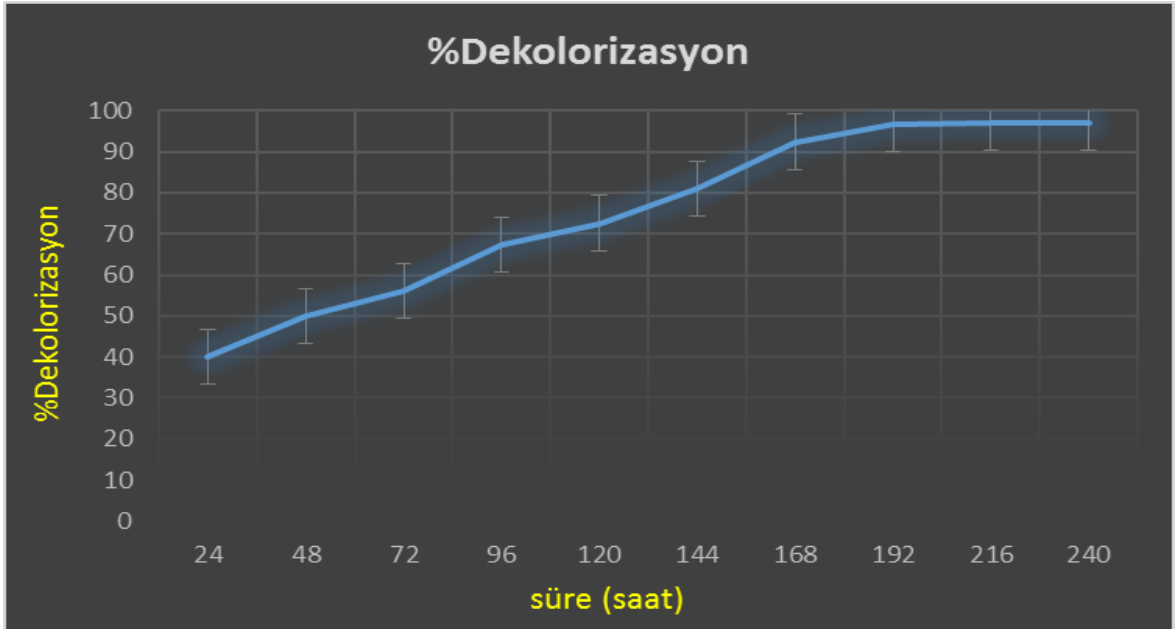
30 ml inokülan miktarı kullanılan besiyerinde ilk 24 saatte renk giderim oranının %40.1 olduğu ve 240. saatinde boyar maddenin %97.2 oranında azaldığı saptanmıştır (Şekil 4.13).



Şekil 4.11. 10 ml inokülasyon yapılan 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen *S.platensis* 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri (Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir).



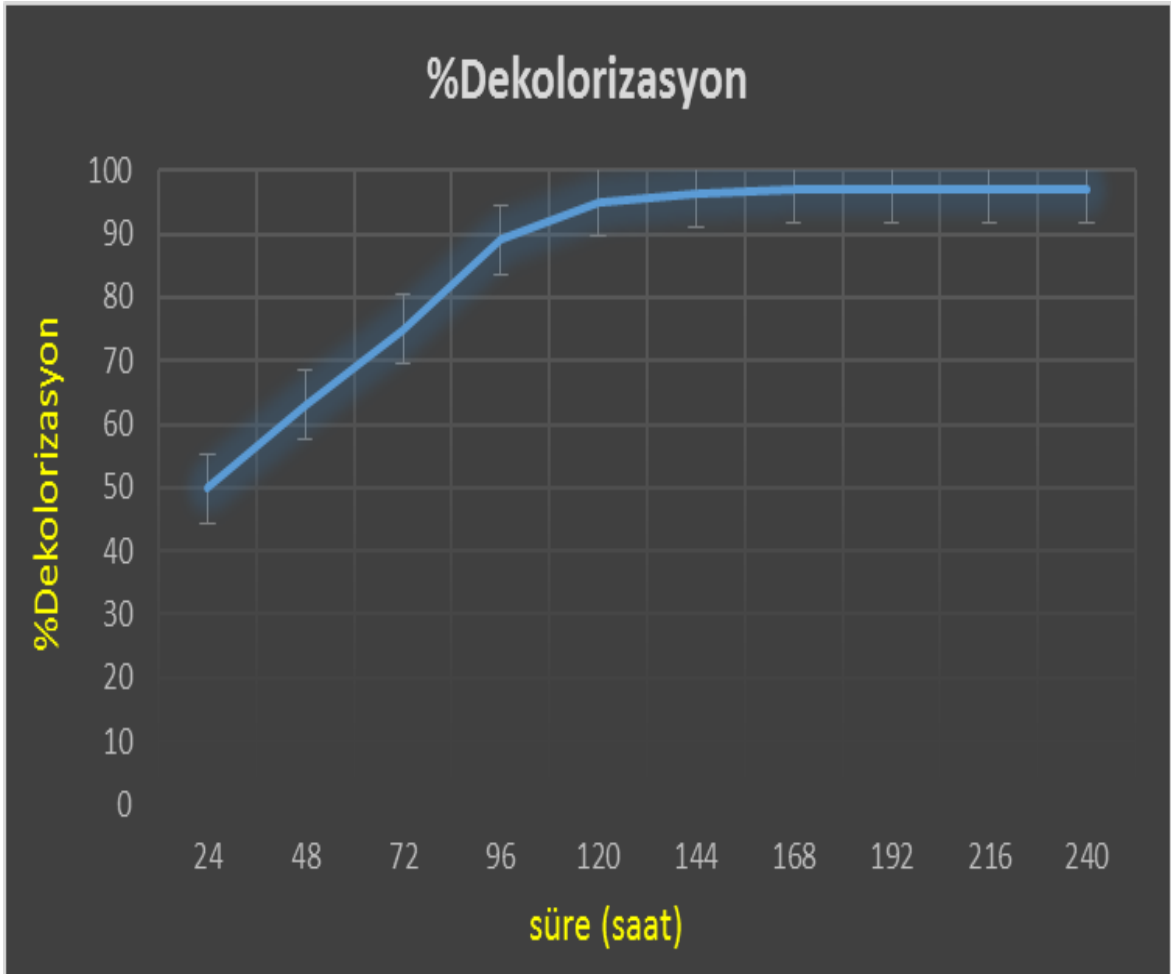
Şekil 4.12. 20 ml inokülasyon yapılan 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen *S.platensis* 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri (Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir).



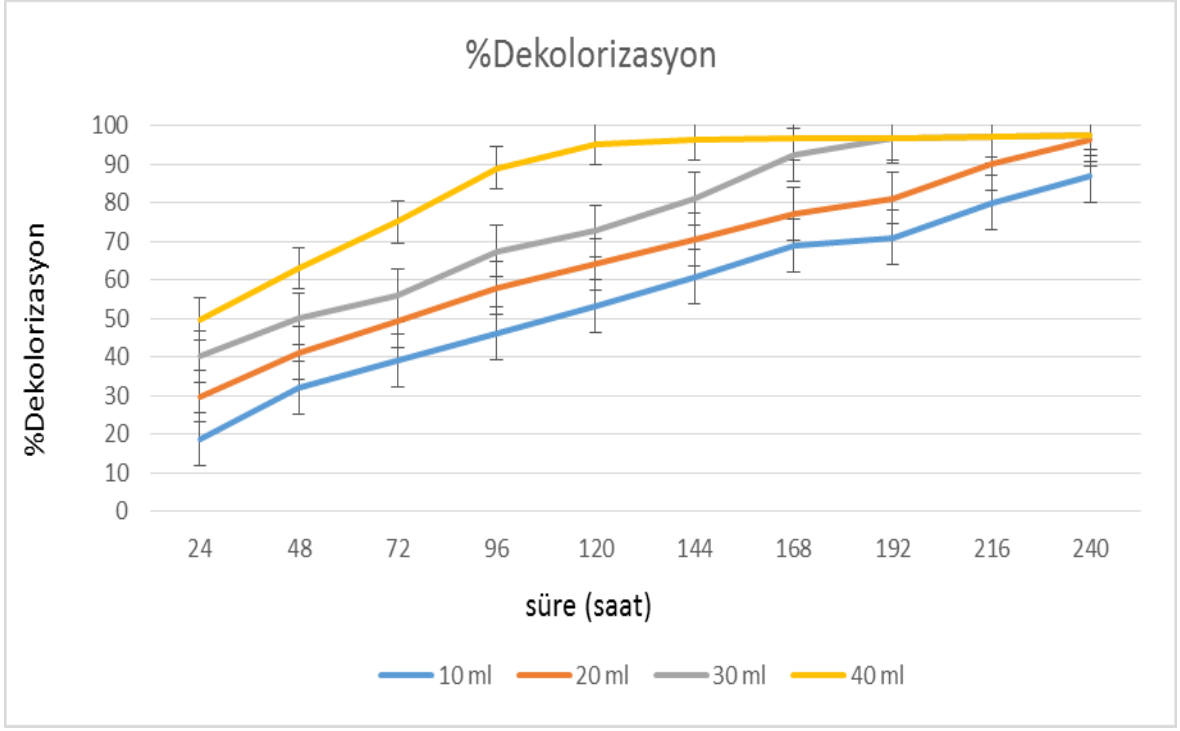
Şekil 4.13. 30 ml inokülasyon yapılan 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen *S.platensis* 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri (Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir).

40 ml başlangıç boyar madde konsantrasyonu kullanıldığında ise ilk 24 saat içinde renk oluşumunun %49.8'inin giderebildiği ve 240. saatte boyar madde renk giderim oranının %97.2 değerine ulaştığı saptanmaktadır (Şekil 4.14).

50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen *S.platensis* 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri farklı inokulan miktarları kullanarak birbirleri ile karşılaştırıldığında, 40 ml oranında inokülasyon yapılan ortamlardan alınan her 24 saatlik örneklerdeki renk gideriminin daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4.15.)



Şekil 4.14. 40 ml inokülasyon yapılan 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen *S.platensis* 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri (Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir).



Şekil 4.15. 10, 20, 30 ve 40 ml inokülasyon yapılan 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen *S.platensis* 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri (Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir).

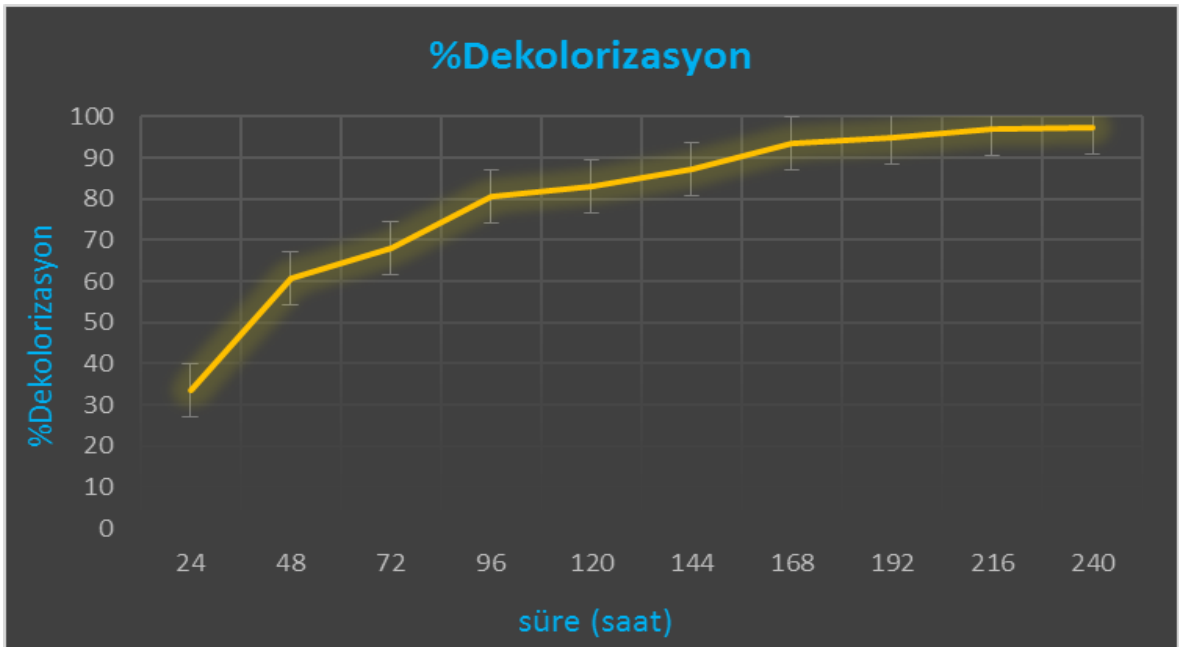
İnokulan miktarının biyodegradasyona etkisi ile ilgili yapılan çalışmalar genellikle fungus veya bakteriler ile gerçekleştirilmektedir. Örneğin Karbofuran yıkımını gerçekleştiren bir izolatla yapılan bir çalışmada hücre yoğunluğuna bağlı olarak yıkımın arttığı söz konusu edilmektedir [66]. Çalışma amacımıza en yakın olarak ele alabileceğimiz bir araştırmada *Chlorella vulgaris*'in kullanıldığını görmekteyiz. Bu çalışmada biyoakümülyasyon yolu ile Remazol Siyahı gideriminde kurutulmuş *Chlorella vulgaris*'in 800 mg / l 'ye kadar olan konsantrasyonlarının denediğini ve maksimum giderim için uygun organizma konsantrasyonunun 419.5 mg/l olarak gerçekleştiği bildirilmiştir [33]. Bir diğer çalışmada ölü fungal biyomasın (*Phanerochaete chrysosporium* ve *Funalia trogii*) tekstil boya giderimi verimliliğine bakılmış ve artan biyomas ağırlığının 1g>0,5g>0,2g>0,1g boya giderimini doğru orantılı olarak arttırdığı bulunmuştur [35].

Algler, diğer mikroorganizmalar gibi biyoakümülyasyon yolu ile de renk giderimi gerçekleştirebilirler. Bu açıdan bakıldığında ortamda yer alan boyar maddelerin

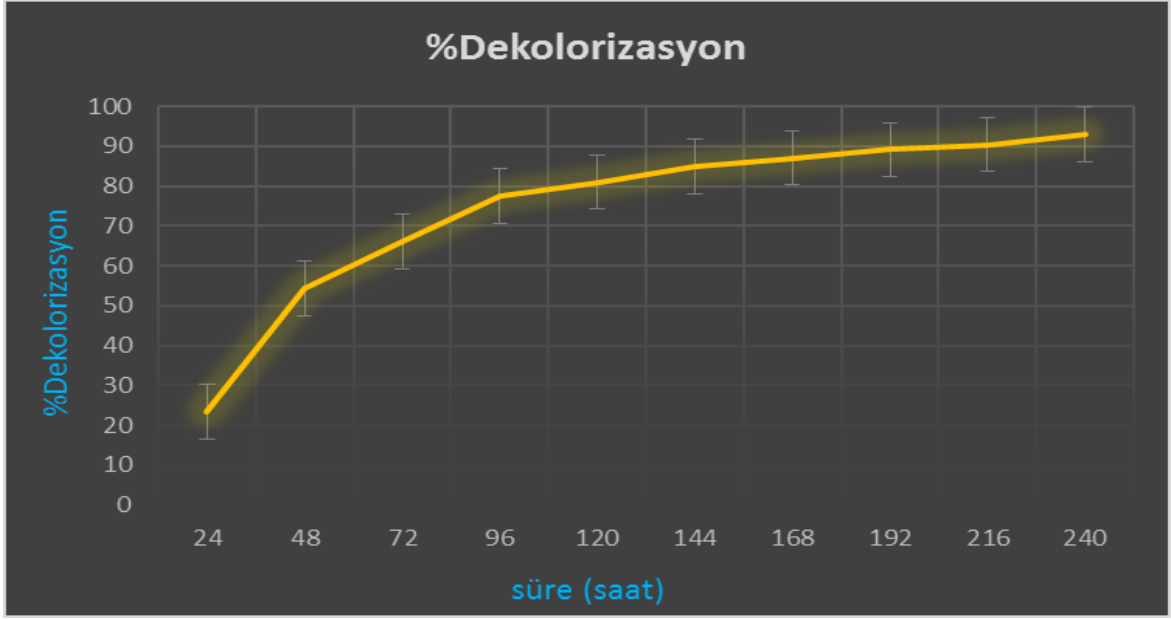
inokulan miktarının artışına bağlı olarak hem enzimatik hem de biyoabsorbsiyon mekanizmaları yolu ile artan oranda giderilmiş olmaları beklenmelidir. Ancak, Azo boyaların aerobik yollarla dekolorizasyon mekanizmalarını açıklayabilmek için azo bağlarının enzimatik transformasyonları hakkında daha çok bilgiye gereksinim vardır [67].

4.2.5. Başlangıç Boya Konsantrasyonlarının Renk Giderimine Etkisinin Belirlenmesi

50 ppm boya konsantrasyonu ile devam edilen çalışmalara ilave olarak diğer tüm fizyolojik koşullar sabit tutulmak şartıyla, besi ortamına sırasıyla, 75 ppm, 100 ppm, 125 ppm ve 150 ppm boya eklenerek boya konsantrasyonunun dekolorizasyon üzerinde etkisi araştırılmıştır. İnkübasyon sonrası, sıvı kültürlerden alınan örnekler; 4.000 rpm'de 15 dakika santrifüj edilmiş ve süpernatantların boya giderim değerleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 50 ve 75 ppm boya konsantrasyonlarında, ilk 24 saatte sırasıyla %33.4 ve %23.4 ve 240. saatte ise %97.2 ve %93.05 oranda boyar madde giderimine ulaşılmıştır (Şekil 4.16 ve 4.17).

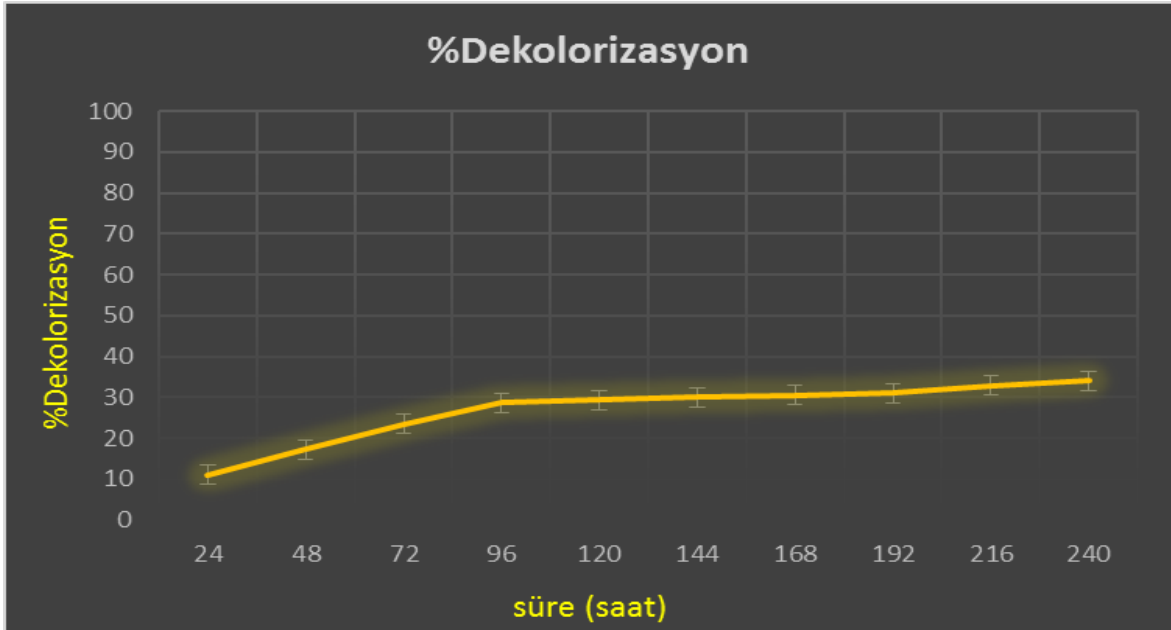


Şekil 4.16. 50 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen *S.platensis* 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri (Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir).

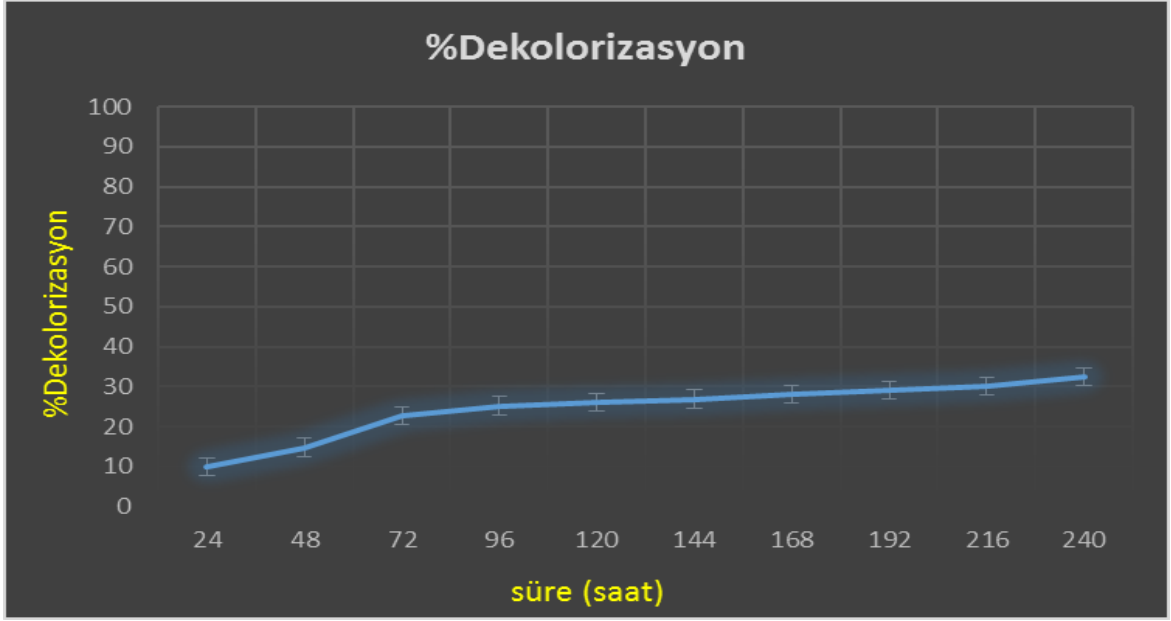


Şekil 4.17. 75 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen *S.platensis*'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri (Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir).

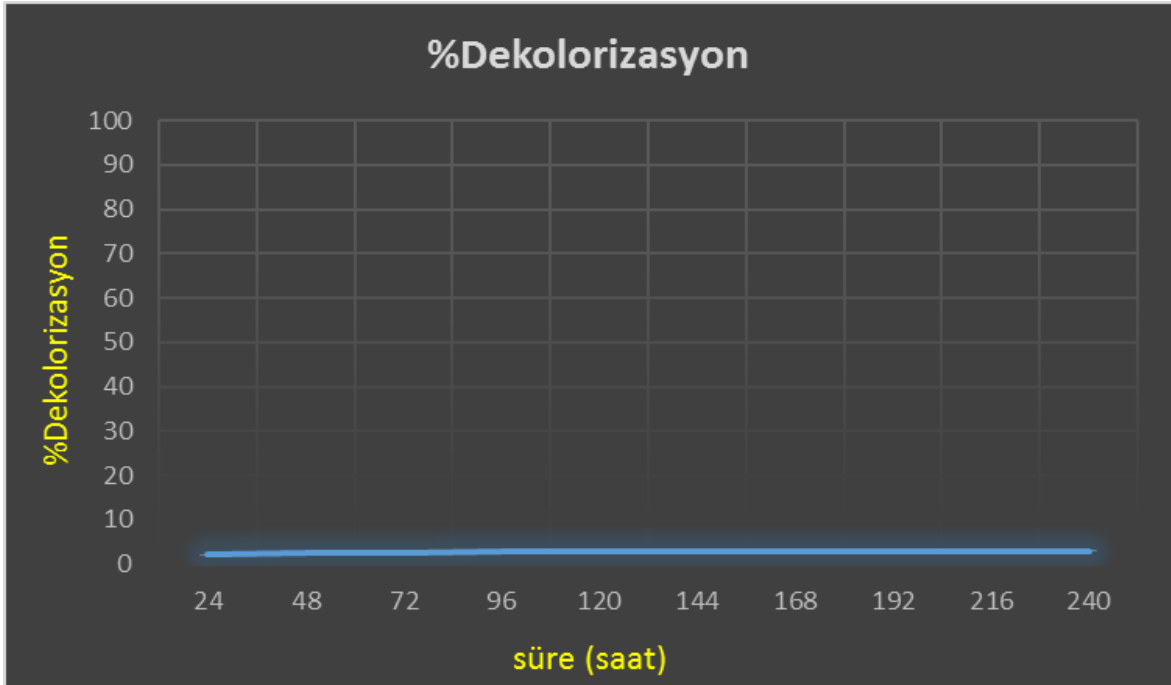
Şekil 4.18, 4.19 ve 4.20' de görüldüğü gibi 100, 125 ve 150 ppm' lik boya konsantrasyon sonuçlarına baktığımızda ilk 24 saat için sırayla %11.1, %9.9 ve %2.1 ve 240. saat için %34.1, %32.4 ve %3 giderim oranlarına erişilmektedir.



Şekil 4.18. 100 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen *S.platensis*'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri (Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir).



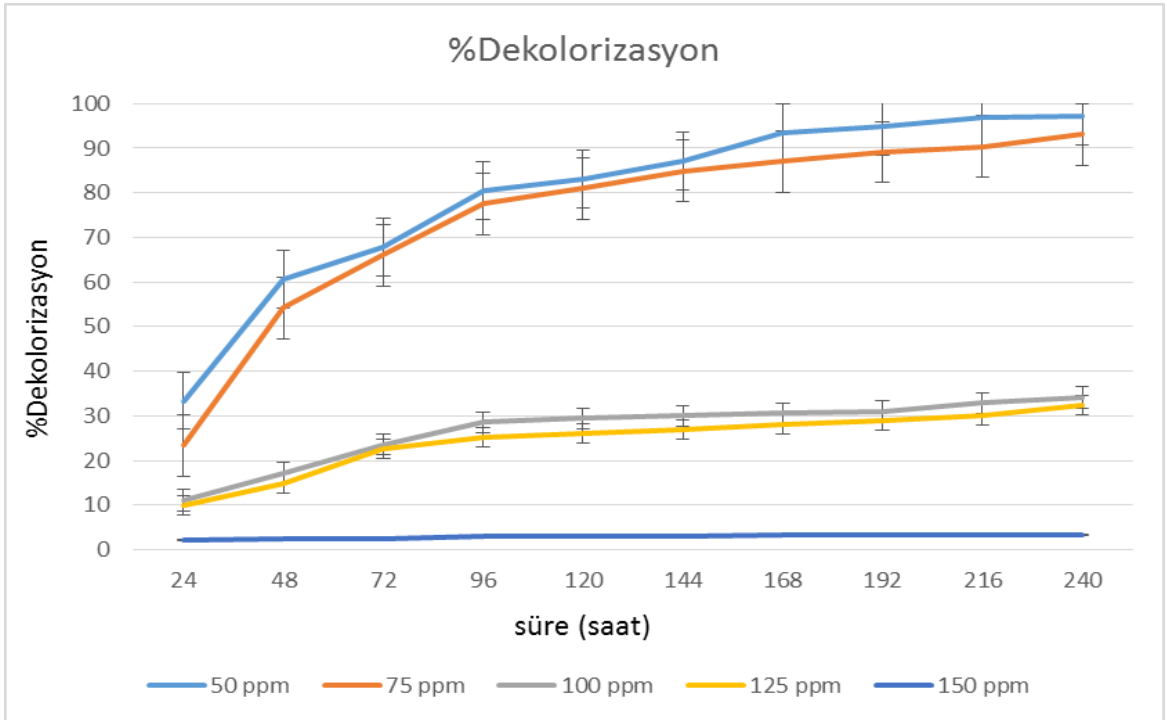
Şekil 4.19. 125 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen *S.platensis* 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri (Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir).



Şekil 4.20. 150 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen *S.platensis*'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri (Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir).

Farklı boya konsantrasyonlarında Zarrouk besiyeride üretilen *S. platensis*'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri birbirleri ile karşılaştırıldığında en uygun başlangıç boya konsantrasyonu 50 ppm olduğu ve boya konsantrasyonunun artışıyla birlikte boyar madde giderim yüzdesinin azaldığı saptanmaktadır (Şekil 4.21).

Gerek biyolojik ve gerekse fiziksel yöntemler olsun, yapılan renk giderim çalışmalarında boyar maddeye bağlı olmaksızın ortak olarak ortaya çıkan bulgu, boya konsantrasyonunun artışı ile dekolorizasyonun birbirleri ile ters orantılı olduğudur. Red CI-5B, Basic Red 46 ve Basic Blue 3 gibi bazı boyar maddelerin renk giderimleri için fiziksel yöntemlerin uygulandığı süreçlerde benzer sonuçlara rastlanmış ve boyar madde konsantrasyonunun artışının yöntem etkinliğini azalttığı saptanmıştır [68,69]. Bundan ayrı olarak farklı mikroorganizmaların dekolorizasyon etkinliğine boya konsantrasyonunun negatif etkisi çeşitli araştırmacılar tarafından saptanmıştır [70,71].

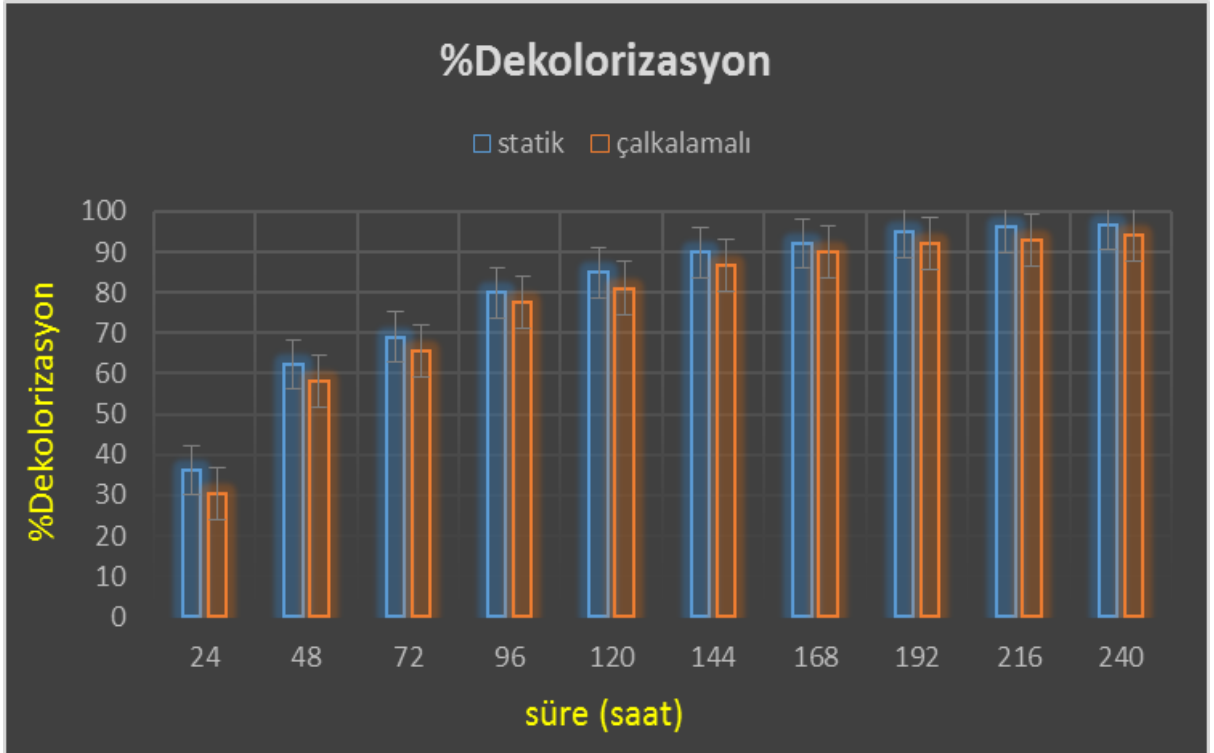


Şekil 4.21. 50,75,100,125 ve 150 ppm Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride üretilen *S. platensis* 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri (Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir).

4.2.6. Boya Gideriminde Statik ve çalkalamalı İnkübasyon Koşullarının Etkisinin Belirlenmesi

Çalkalamalı veya Statik inkübasyon koşullarının boya giderimine etkisinin belirlenmesi amacı ile Zarrouk sıvı besiyerinde üretilen 10 günlük *S.platensis* kültüründen alınan örnekler, 50 ppm boyar madde içeren Zarrouk sıvı besiyerlerine eklenmiş, 25°C'de, 2000 lux. ışık şiddeti altında 150 rpm döngüsel çalkalama hızına sahip inkübatörde veya statik koşullarda 240 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sırasında her 24 saatte bir örnek alınmış ve bu alınan örnekler 4.000 rpm'de 15 dakika santrifüj edildikten sonra süpernatantların absorbans değerleri ölçülerek boya giderim değerleri belirlenmiştir.

Statik ve çalkalamalı inkübasyon sonuçlarını karşılaştırdığımızda, ilk 24 saatte statik koşullarda elde edilen % boya giderimi oranı 36.1 iken, çalkalamalı koşullarda bu oranın düştüğü (% 30.2) saptanmıştır (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Statik veya çalkalamalı inkübasyonun Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyerinde üretilen *S.platensis* 'in zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyona etkisi (Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir).

Elde edilen sonuçları diğer benzer çalışmalarla karşılaştırdığımızda statik ve çalkalamalı inkübasyonun renk giderimine etkisi için genelde statik koşulların uygun olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Aksu ve arkadaşları 2007 yılında *T.versicolor* ile Remazol Black B boyar maddesi renk giderimi ile ilgili bir çalışma yapmışlar ve 100 rpm çalkalama hızında 4 günlük inkübasyon sonrasında dekolorizasyonun % 88 oranında gerçekleştiğini bildirmişlerdir [66]. *Bacillus cereus* ile yapılan benzer çalışmada çalkalamalı inkübasyon sonrasında bakteri üremesinin arttığı ancak boya gideriminin statik koşullara kıyasla daha az gerçekleştiği gözlenmiştir [72]. Mikroorganizmalar tarafından azo boyaların renk gideriminin azo-reduktaz enzimi yolu ile gerçekleştirdiğini belirten araştırmacılar bu enzimin azo bağlarını indirgediğini, ve aynı zamanda bu enzim tarafından oluşturulan biyodegradasyonun oksijen varlığında düştüğünü belirlemişlerdir, zira oksijen varlığında azo-reduktaz enziminin elektron alması engellenmiş ve azo bağları indirgenmemiş olacaktır [73]. *E. coli* ile de yapılan farklı bir çalışmada Reactive Red 22 içeren besiyerinde çalkalamalı koşullarda boya gideriminin gerçekleşmediğini ancak, 10 saatlik statik inkübasyon sonucu renk oluşumunun tamamen yok edildiğini bildirilmişlerdir [50].

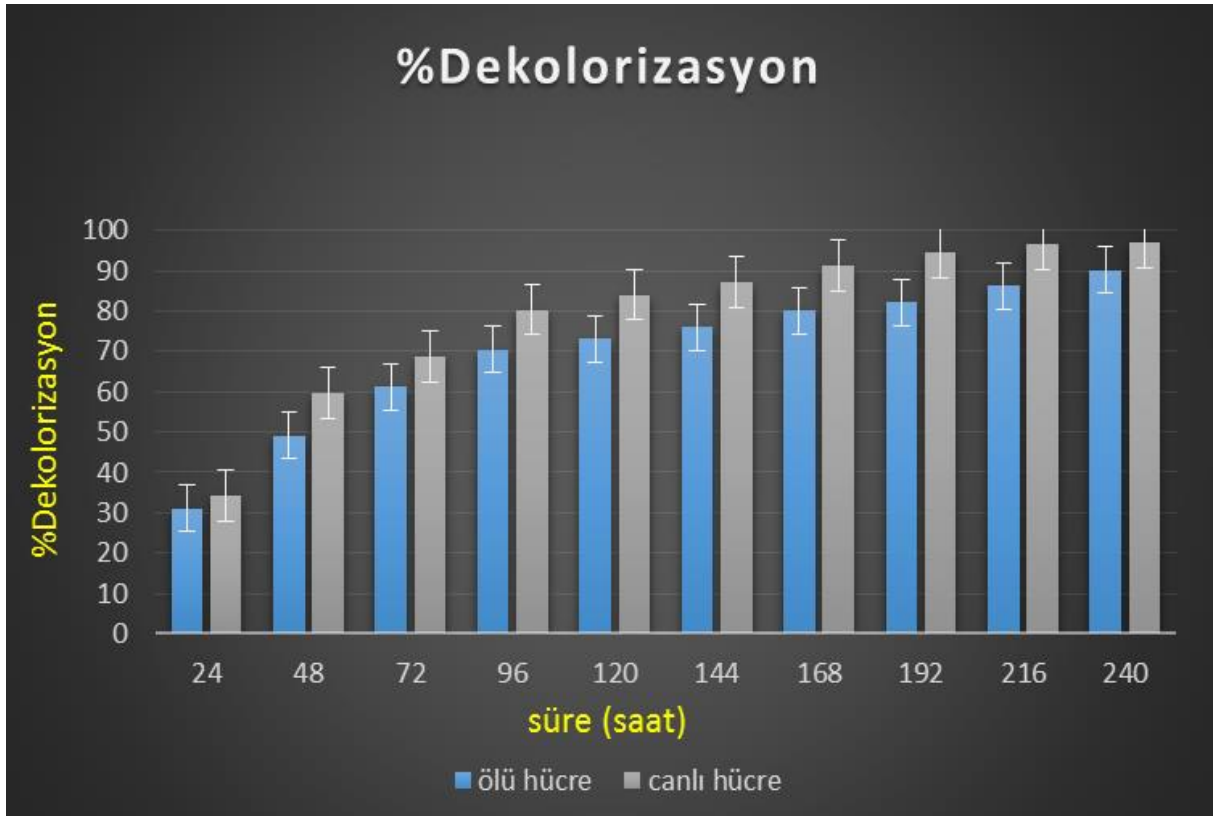
4.3. Canlılığı Giderilen Kültürün Boya Renk Gideriminde Kullanılması

Çalışmamızda canlı ve ölü biyokütlenin boya giderimine etkisinin belirlenmesi amacı ile, boya giderim besiyerleri iki paralel grup olacak şekilde hazırlandı. Birinci grup örneklerde; 25 ml canlı biyokütle, diğer grup örneklerde ise; 25 ml ölü biyokütle eklendi. İnkübasyon sonrası sıvı kültürlerden alınan örnekler; 4.000 rpm'de 15 dakika santrifüj edildi ve supernatantların boya giderim değerleri belirlendi.

Ölü ve canlı biyokütle ile gerçekleştirilen boya giderimi verilerini karşılaştırdığımızda, ilk 24 saat içinde ölü biyokütle ile gerçekleşen giderim oranı %31.1 olarak saptanırken, canlı biyokütle ile boyar madde giderim oranı %34.15 olarak bulunmuştur. 240. saat sonunda elde edilen verilere baktığımızda ise ölü biyokütle ile gerçekleşen boyar madde giderim oranı %90.17, canlı biyokütle ile elde edilen giderim oranı ise %97 olarak saptanmıştır (Şekil 4.23). Bu veriler bize

S.platensis 'in renk giderimini hem biyoabsorbsiyon hem de enzimatik yolla gerçekleştirdiği bilgisini vermektedir. *Spirogyra sp.* ile yapılan bir çalışma sonrasında da araştırmacılar canlı biyokütle ile renk gideriminin hem biyosorbsiyon hem de metabolik yollarla gerçekleştiğini öne sürmektedirler [74].

Tekstil boyar maddelerinin renk gideriminde biyolojik süreçlerin biyosorbsiyon, biyoakümülyasyon ve biyodegradasyon aşamalarıyla gerçekleştirilebildiğini belirten araştırmacılar her üç sürecin de alger tarafından gerçekleştirildiğini , biyosorbsiyonun, hem ölü organizmaların toksik maddelerden etkilenmeden bu işlemi gerçekleştirmeleri, hem besin maddelerine gereksinim duymamaları hem de rejenera edilerek çok kere kullanılmalarının mümkün olması nedeniyle en avantajlı bir yöntem olduğunu belirtmektedirler [75].



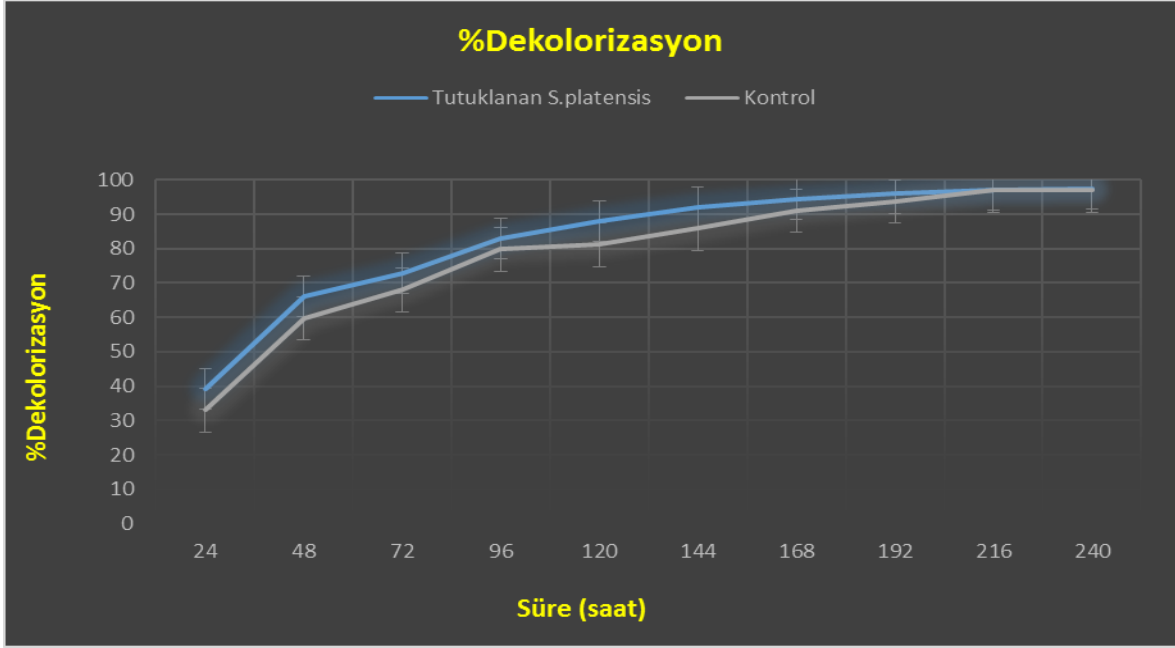
Şekil 4.23. Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride ölü ve canlı *S.platensis* biyokütellerinin zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri (Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir).

Alglerin biyosorbsiyon yolu ile renk giderimini başardıklarına bir diğer örnek olarak *Chlorella vulgaris* ile yapılan çalışmayı verebiliriz. Ancak bu araştırmada canlı kitle ile çalışılmadığından kendi araştırmamız ile bir karşılaştırma yapmak imkanı bulunmamaktadır [33]. *Aspergillus sp*, *Trichoderma sp* ve *Fusarium sp* gibi funguslarla yapılan çalışmalarda aynı boyanın giderimi için canlı ve ölü organizmalar kullanılmış ve canlı organizmaların kullanılması halinde giderim oranının daha yüksek olduğu belirtilmiştir [76]. Yapılan bir diğer çalışmada, *Pleurotus ostreatus* ile deri endüstrisinde kullanılan birçok boyanın giderimi için yapılan denemeler sonunda canlı misellerle % 97 renk giderimi elde edilirken ölü misellerle % 15 gibi düşük derecelerde renk giderimi gerçekleştiği bildirilmiştir [77].

4.4. Agar Jeline Tutuklanan *Spirulina platensis* sp.'nin Boyar Madde Gideriminde Etkisi

Tez çalışmalarımızın devamında boyar madde giderimi için *S.platensis*'in üretimi gerçekleştirilmiş ve agar jeline tutuklandıktan sonra boyar madde giderimine bakılmıştır. Bu bağlamda Zarrouk sıvı besiyerinde üretilen 10 günlük *S.platensis* kültüründen 25 ml örnek alınmış ve hazırlanan agar jeli ile karıştırılmıştır. Daha sonra 50 ppm boyar madde içeren pH' sı 9.0 olan Zarrouk sıvı besiyerlerine eklenmiş, 25°C'de, 2000 lux. ışık şiddeti altında, statik koşullarda inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sırasında her 24 saatte bir örnek alınmış ve absorbans değerleri ölçülerek boya giderim değerleri belirlenmiştir.

Şekil 4.24' de görüldüğü gibi yukarıda bahsedilen koşullar altında yapılan deneyin sonucunda ilk 24 saatte boyar madde giderimi %39.2 oranında gerçekleşirken, deneyin 240. saatinde renk giderimi %97.3 değerinde ulaşmıştır. Elde edilen değerleri kontrol ile karşılaştırdığımızda tutuklanan *S.platensis* ile giderim yüzdesinin düşük oranda da olsa arttığı saptanmıştır.



Şekil 4.24. Basic red 46 içeren, *S.platensis*'in agar jeline tutuklanan ve kontrol kültürlerinin zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri (Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir).

Scenedesmus quadricauda ile yapılan bir çalışmada tutuklanan organizmanın boya giderimini başardığı ancak bu giderimin inkübasyon sıcaklığı ve boya konsantrasyonu ile etkilendiği bildirilmektedir [78]. Bir başka çalışmada Huang Guolan ve arkadaşları kalsiyum aljinat jeline tutuklanmış ve tutuklanmamış olan algler ile Direct Brown NM boyar maddesinin giderimine bakmışlar ve tutuklanan alglerin, giderimi daha iyi gerçekleştirdiklerini belirlemişlerdir [79]. Yapılan diğer bir çalışmada sodyum aljinat jeline tutuklanan *F.trogii*' ile Acid Black 52 boyasının giderimine bakılmış ve jele tutuklanan *F.trogii*' nin tutuklanmamış olanlara göre daha çok giderim gerçekleştirdiği belirlenmiştir [80]. Bu bilgiler bize tutuklanan alglerin boya giderimi açısından başarılı olduğunu göstermektedir.

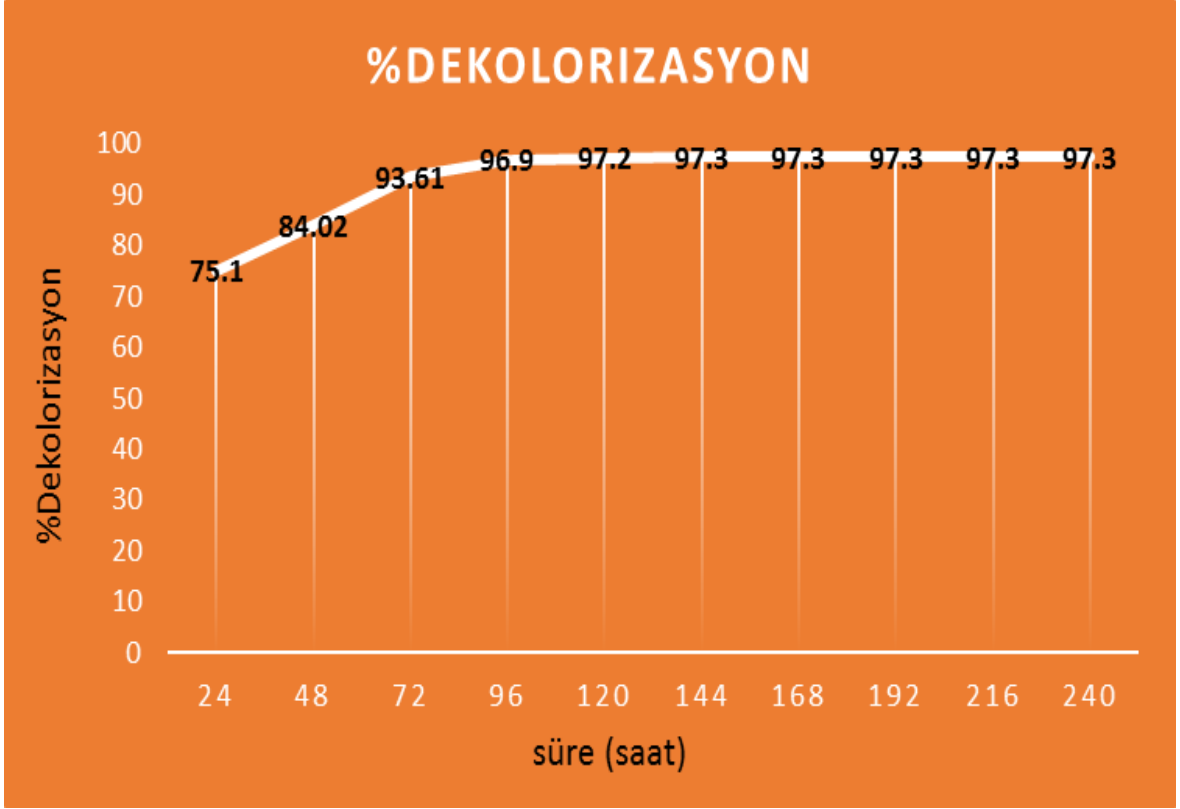
4.5. Optimal İnkübasyon Koşullarında *S.platensis*'in Boyar Madde Giderimi

Tez çalışmalarımızın devamında boyar madde giderimi için saptanan optimum kültürasyon koşullarında *S.platensis*'in üretimi gerçekleştirilmiş ve boyar madde giderimine bakılmıştır. Bu bağlamda Zarrouk sıvı besiyerinde üretilen 10 günlük *S.platensis* kültüründen 40 ml örnek alınmış, 50 ppm boyar madde içeren pH' sı

9.0 olan Zarrouk sıvı besiyerlerine eklenmiş, 40°C'de, 2000 lux. ışık şiddeti altında, statik koşullarda inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sırasında her 24 saatte bir örnek alınmış ve bu örnekler 4.000 rpm'de 15 dakika santrifüj edildikten sonra süpernatantların absorbans değerleri ölçülerek boya giderim değerleri belirlenmiştir.

Şekil 4.24' de görüldüğü gibi optimum koşullar altında yapılan deneyin sonucunda ilk 24 saatte boyar madde giderimi %75.1 oranında gerçekleşirken, deneyin 96. saatinde renk giderimi %96.9 değerinde ulaşmıştır. Optimize değerleri araştırmak üzere gerçekleştirilen tüm deneyler karşılaştırıldığında üretimin ilk 24 saatinde böyle yüksek bir renk giderim oranı elde edilmediği gibi 96. saat için elde edilen giderim değeri de diğer deneylerden yüksek olarak karşımıza çıkmaktadır. Renk giderimi için uygun inkübasyon sıcaklığının araştırıldığı çalışmamızda üretimin 96. saatinde *S.platensis* ile Basic Red 46 boyasının renk giderimi 40°C inkübasyon sıcaklığında ilk 24 saat içinde %73.2 olarak gerçekleşmiş, üretimin 96. saatinde giderim değeri %96'yı aşmış ve 240. saatte boyar madde renk giderim yüzdesi 97.20 değerine ulaşmıştır (Şekil 4.9). Bu veriler, optimize edilen şartlarda elde edilen verilere çok yakındır. Dolayısıyla renk gideriminde en etkili parametrenin inkübasyon sıcaklığı olduğu ileri sürülebilir.

Basic Red 46 boyasının oluşturduğu renkliliği gidermede etkili kültürel parametreleri araştırdığımız çalışmalarla elde edilen değerlerde hazırlanan ortamda *S.platensis*'in oluşturduğu etkinlik sonucunda ulaşılan değerler, tek tek yapılan deneylerde karşımıza çıkan verilerle karşılaştırıldığında, optimize koşulların renk giderim süresini öne çektiği sonucuna ulaşılmaktadır. 25°C lik inkübasyon sıcaklığında inkübasyonun 96. saatinde % 80 oranında bir renk giderimi saptandığı belirlenmiş ve 240. saatte boyar maddenin %97.1 oranında giderildiği görülmüştür (Şekil 4.6). Dolayısıyla, statik koşulların renk giderimine pozitif etkisi nedeniyle herhangi bir enerji giderine gereksinim duyulmadan düşük sıcaklıklarda dahi çok yüksek bir renk gideriminin sağlanıyor olması çalışmamızda kullanılan *S.platensis* 'in Basic Red 46 boyasının oluşturduğu renkliliği gidermede etkili bir organizma olarak kullanılabilir olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.25. Basic Red 46 içeren Zarrouk besiyeride *S.platensis*' in optimum koşullar altında zamana karşı oluşturduğu dekolorizasyon yüzdeleri (Sonuçlar üç çalışmanın ortalamasıdır. Standart sapmalar grafik üzerinde gösterilmektedir).

Boyar maddelerin varlığı, atıklara yoğun bir renk vererek çevre sorunlarına yol açmaktadır. Kimyasal koagülasyon/flokülasyon, ozonlama, oksidasyon, filtrasyon, iyon değiştirme, ışınlama, presipitasyon, adsorbsiyon ve elektrokimyasal uygulamalar gibi fiziksel ve kimyasal yöntemler çok pahalı, operasyonel sorunlar yaratan, zararlı yan ürün oluşumuna yol açan ve kimi kere de yoğun enerji ihtiyacı gibi olumsuzluklar gösterdiklerinden genellikle uygulanabilirlikleri sorgulanan yöntemlerdir. Bu nedenle de biyolojik yöntemler, fiziksel ve kimyasal yöntemlere göre daha öne çıkmaya başlamışlardır [81-85]. Çalışmamızda, bu güne değin genellikle kullanılan fungal ve bakteriyel ajanlara bir alternatif olmak üzere *Spirulina platensis* suşunun, bir azo-boyar madde olan Basic Red 46'nın oluşturduğu rengin giderimine etkisi araştırılmıştır.

Çalışmalarımızın bulgularına bakıldığında *Spirulina platensis*'in kısa sürede ciddi oranda boya giderimi gerçekleştirmenin yanı sıra, statik inkübasyon koşullarında verimli olduğu saptandı. Tez çalışmalarında elde edilen bulguların ışığı altında; kullanılan mikroorganizma boya giderimi denemelerinde, Basic Red 46 azo-

boyasını yüksek oranda gidermiştir. *Spirulina platensis* optimum sıcaklıkta (40°C) inkübasyonun 96. saatinde %96 oranında renk giderimi gerçekleştirmesinin yanı sıra oda sıcaklığında dahi aynı süre sonucunda %80 oranında yüksek bir giderim göstermektedir. Bu nedenle çok yüksek sıcaklıklara gerek duyulmaması nedeni ile *Spirulina platensis* 'in endüstriyel açıdan kullanılabilir olduğu söz konusu edilebilir. Ancak *S.platensis*'in çeşitli boya ları giderme yetenekleriyle ilgili mekanizmaların aydınlatılması ve dekolorizasyon sonucu açığa çıkan ürünlerin, alıcı ortamlara verildikten sonra toksik bir etki oluşturup oluşturmayacaklarının öğrenilebilmesi için daha ileri araştırmalara ihtiyaç vardır. Çalışma bulgularımızın bu araştırmalar için temel olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Gupta V.K., Mittal A. and Gajbe V. "Adsorption and desorption studies of a water soluble dye, Quinolone Yellow, using waste materials" *Journal of Colloid and Interface Science* 284: 89–98, **2005**.
- [2] Aksu Z. "Application of biosorption for the removal of organic pollutants: a review" *Process Biochemistry* 40: 997–1026, **2005**.
- [3] Gupta V.K., Suhas I.A. and Mohan D. "Equilibrium uptake and sorption dynamics for the removal of a basic dye (basic red) using lowcost adsorbents" *Journal of Colloid and Interface Science* 265: 257–264, **2003**.
- [4] Sathiya moorthi, P., Periyar selvam, S., Sasikalaveni, A. Murugesan, K., and Kalaichelvan, P. T. "Decolorization of textile dyes and their effluents using white rot fungi" *African Journal of Biotechnology* Vol. 6 (4), pp. 424-429, **2007**.
- [5] Haroun, M.; Idris, A. Treatment of textile wastewater with an anaerobic fluidized bed reactor. *Desalination*, v. 237, n. 1-3, p. 357-366, **2009**.
- [6] Khadijah.O LKK, Mohd Faiz F, Abdullah. Isolation, screening and development of local bacterial consortia with azo dyes decolourising capability. *Malaysian Journal of Microbiology*, 5:25-32, **2009**.
- [7] Kaçka A. *Dunaliella* Türlerinin Boya Giderim Ve Biyomas Üretim Kapasitelerinin Belirlenmesi, Doktora tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2010**.
- [8] <http://textilelearner.blogspot.com.tr/2011/12/dye-classification-of-dye-according-to.html> (**Aralık 2011**).
- [9] Kiernan, JA., *Classification & Naming of Dyes, stains and fluorochromes*, Sep-Nov; 76(5-6):261-78, **2001**.
- [10] <http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Nitroso+Dyes> (**2010**).
- [11] <http://www.food-info.net/uk/colour/azo.htm> (**Ağustos 2014**).
- [12] <http://www.tfl.com/web/files/eubanazodyes.pdf> (**Temmuz 2002**).
- [13] Barsanti, L. and Gualtieri, P. *Algae: Anatomy, Biochemistry and Biotechnology*. CRC Press, Taylor & Francis Group, **2006**.
- [14] Andersen, A.R. *Algal Culturing Techniques*. Elsevier Academic Press, **2005**.

- [15] Talarposhti AM, Donnelly T, Anderson GK. Colour removal from a simulated dye wastewater using a two-phase anaerobic packed bed reactor. *Water Res* 35(2): 425-432, **2001**.
- [16] Reife A, Freeman H. *Environmental chemistry of dyes and pigments*, ch. Carbon adsorption of dyes and selected intermediates. JohnWiley & Sons Inc: New York, ISBN 978-0471589273, pp. 3–29, **1996**.
- [17] 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. *Bioresour Technol* 77(3): 247–255, **2001**.
- [18] Jagadeesan Vijayaraghavan, S. J. Sardhar Basha and Josephraj Jegan, “A Review On Efficacious Methods To Decolorize Reactive Azo Dye” *Journal of Urban and Environmental Engineering*, v.7, n.1, p.30-47, **2012**.
- [19] Greluk, M., Hubicki, Z. Kinetics, isotherm and thermodynamic studies of Reactive Black 5 removal by acid acrylic resins. *Chem. Engin. J.* 162(3), 919–926, **2010**.
- [20] Osugi M E, K. Rajeshwar, E.R.A. Ferraz, D.P. de Oliveira, Â.R. Araújo, M.V.B. Zanoni Comparison of oxidation efficiency of dispersed dyes by chemical and photoelectrocatalytic chlorination and removal of mutagenic activity. *Electrochim. Acta* 54, 2086–2093, **2009**.
- [21] Mohey El-Dein, A., Libra, J. A., Wiesmann, U. Kinetics of decolorization and mineralization of the azo dye Reactive Black 5 by hydrogen peroxide and UV Light. *Water Sci. Technol.* 44(5), 295–301, **2001**.
- [22] Ceron, R.M., Davila, M.M., Elizalde, G.M.P. Degradation of the textile dyes Basic yellow 28 and Reactive black 5 using diamond and metal alloys electrodes, *Chemosphere* 55(1), 1–10, **2004**.
- [23] Delee, W., O'Neill, C., Hawkes, F.R., Pinheiro, H.M. Anaerobic treatment of textile effluents: A review. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 73(3), 323–335, **1998**.
- [24] Morais L.C., Freitas O.M., Gonc_alves E.P., Vasconcelos L.T., Gonzalez Beca C.G Reactive dyes removal from wastewaters by adsorption on Eucalyptus bark: variables that define the process. *Water Res.* 33(9), 979– 988, **1999**.
- [25] Gutierrez, M.C., Pepio, M., Crespi, M., Mayor, N. Control factors in the electrochemical oxidation of reactive dyes. *Color Technol.* 117(3), 356–361, **2001**.
- [26] Volesky, B., Holan, Z.R. Biosorption of heavy metals. *Biotechnol. Prog.* 11(2), 235–250, **1995**.
- [27] Prasad, M.N.V. and H. Freitas Metal hyperaccumulation in plants – Biodiversity prospecting for phytoremediation technology. *Electronic J. Biotechnol.* 6(3), 275–321, **2003**.

- [28] Stolz, A. Basic and applied aspects in the microbial degradation of azo dyes. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 56, 69–80, **2001**.
- [29] Vijayaraghavan, K., Yun, Y.–S. Biosorption of C.I. Reactive Black 5 from aqueous solution using acid–treated biomass of brown seaweed *Laminaria* sp. *Dyes and Pigm.* 76(7), 726–732, **2008**.
- [30] O'Neill, C., Lopez, A., Esteves, S., Hawkes, F.R., Hawkes, D.L., and Wilcox, S. Azo dye degradation in an anaerobic aerobic treatment system operating on simulated textile effluent. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 53, 249–254, **2000**.
- [31] Richmond, A. *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology*. Blackwell Science Ltd, **2004**.
- [32] Ibrahim, M.B., Nigam, P., Singh, D. and Marchant, R. Decolorization of textile dye containing effluents: A Review. *Bioresource Technology* 58: 217–227, **1996**.
- [33] Zümriye Aksu, Sevilay Tezer : Biosorption of reactive dyes on the green alga *Chlorella vulgaris* *Process Biochemistry* Volume 40, Issues 3–4, Pages 1347–1361, March **2005**.
- [34] Aksu, Z., Dönmez, G. A comparative study on the biosorption characteristics of some yeasts for Remazol Blue reactive dye. *Chemosphere*, 50(8), 1075–1083. **2003**.
- [35] Asma, D., Kahraman, S., Cing, S. and Yesilada, O. Adsorptive removal of textile dyes from aqueous solutions by dead fungal biomass. *J. Basic Microbiol.* 46: 1, 3–9, **2006**.
- [36] Sadettin and Dönmez . Simultaneous bioaccumulation of reactive dye and chromium(VI) by using thermophil *Phormidium* sp., **2006, 2007**.
- [37] Daneshvar, N., Ayazloo, M., Khataee, A.R. and Pourhassan, M. Biological decolorization of dye solution containing Malachite Green by microalgae *Cosmarium* sp. *Bioresource Technology* 98: 1176–1182, **2007**.
- [38] Kumar, V.K., Ramamurthi, V. and Sivanesan, S. Biosorption of malachite green, a cationic dye onto *Pithophora* sp., a fresh water algae. *Dyes and Pigments* 69: 102–107, **2006**.
- [39] Marungrueng, K. and Pavasant, P. High performance biosorbent (*Caulerpa lentillifera*) for basic dye removal. *Bioresource Technology* 98: 1567–1572, **2007**.
- [40] Foster, S., Thomson, D. and Maher, W. Uptake and metabolism of arsenate by anoxic cultures of the microalgae *Dunaliella tertiolecta* and *Phaeodactylum tricornutum*. *Marine Chemistry* 108: 172–183, **2008**.

- [41] Vonshak, A.; Tomaselli, L. *Arthrospira (Spirulina): systematics and ecophysiology*. In: WHITTON, B. A.; POTTS, M. (Eds.). *Ecology of Cyanobacteria*. Kluwer Academic Publishing, p. 505-523, **2000**.
- [42] Colla, L. M.; Furlong, E.; Costa, J. A. V. Antioxidant properties of *Spirulina (Arthrospira) platensis* cultivated under different temperatures and nitrogen regimes. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 50, n. 1, p. 161-167, <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-89132007000100020>, **2007**.
- [43] Avila-leon, I. A. et al. Estudo do cultivo de *Spirulina platensis* por processo contínuo com uréia como fonte de nitrogênio. 2010. 99 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica)- Universidade de São Paulo, São Paulo, **2010**.
- [44] Reinehr, C. O. Estudo do cultivo semicontínuo de microalga *Spirulina platensis* utilizando água da lagoa Mangueira. 2001. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Alimentos)- Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, **2001**.
- [45] Pelizer, L. H. et al. Influence of inoculum age and concentration in *Spirulina platensis* cultivation. *Journal of Food Engineering*, v. 56, p. 371-375, **2002**.
- [46] Bezerra, R. P. Influência do Tempo de alimentação e da intensidade luminosa no cultivo de *Spirulina platensis* sob alimentação de cloreto de amônio. 2006. 153 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica)-Universidade de São Paulo, São Paulo, **2006**.
- [47] Tischer, W. & Kasche, V. *Trends Biotechnol.* 17, 326, **1999**.
- [48] Nisha S. Arun Karthick S. and Gobi N., "A Review on Methods, Application and Properties of Immobilized Enzyme", ISSN 2278-6783, 1(3), 148-155, **2012**.
- [49] Bakır M. Kalsiyum alginatta immobilize edilen termofil *Phormidium* sp. ile boya giderimi, 14-15, **2006**.
- [50] Jo-Shu, Chang., Kinetic Characteristics of Bacterial Azo Dye Decolorization by *Pseudomonas luteola*, Feng Chia University, Taichung, Taiwan, Republic of China, **1989**.
- [51] Chung K. -T. and Stevens Jr. S. E. Degradation of azo dyes by environmental microorganisms and helminths. *Environ. Toxicol. Chem.* 12, 2121–2132, **1993**.
- [52] Marco S, Lucas., Decolorization of the Dzo dye Reactive Black 5 by Fenton and Photo-Fenton Oxidation, *Alto Douro, Apartado 1013, la Real, Portugal*, **2000**.
- [53] Chen, K.C., Wu, J.Y., Huang, C.C., Yu-Min Liang, Y.M. and Hwang, J.Sz-C. Decolorization of azo dye using PVA-immobilized Microorganisms. *Journal of Biotechnology* 101: 241-252, **2003**.
- [54] Forgacs, E., Cserhati, T. and Oros, G. Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review. *Environment International* 30: 953– 971, **2004**.

- [55] Munoz R. And Guieysse B. Algal–bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: A review. *Water research* 40: 2799 – 2815, **2006**.
- [56] Knapp, J. S. and Newby, P. S. The decolorisation of a chemical industry effluent by white rot fungi. *Wat. Res.* 33: 575-577, **1999**.
- [57] Saçan, M.T. and Balcioglu, I.A. Bioaccumulation of Aluminium in *Dunaliella tertiolecta* in Natural Seawater: Aluminium–Metal (Cu, Pb, Se) Interactions and Influence of pH. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 66:214–221, **2001**.
- [58] Selvam, K., Swaminathan, K. and Chae, K.S. Decolourization of azo dyes and a dye industry effluent by a white rot fungus *Thelephora* sp. *Bioresource Technology* 88: 115–119, **2003**.
- [59] Toh, Y.C., Yen, J.J.L., Obbard, J.P. and Ting, Y.P. Decolourisation of azo dyes by white-rot fungi (WRF) isolated in Singapore. *Enzyme and Microbial Technology* 33: 569–575, **2003**.
- [60] Sugumar Shobana , Berla Thangam E: Biodegradation and Decolorization of Reactive Orange 16 by *Nocardiosis alba* Soil Isolate , *J Bioremed Biodeg*, 3:6, **2012**.
- [61] Chang JS, Kuo TS Kinetics of bacterial decolorization of azodye with *Escherichia coli* NO3. *Bioresour Technol* 75: 107-111, **2000**.
- [62] www.fao.org/docrep/003/w3732e/w3732e06.htm, **1996**.
- [63] Jürgen Maier, Andreas Kandelbauer, Angelika Erlacher, Artur Cavaco-Paulo, and Georg M. Gübitz A New Alkali-Thermostable Azoreductase from *Bacillus* sp. Strain SF: *Appl Environ Microbiol.*; 70(2): 837–844, **2004** Feb.
- [64] Hanan Hafez Omar , Algal Decolorization and Degradation of Monoazo and Diazo Dyes. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11: 1310-1316, **2008**.
- [65] Mahalakshmi, S.,Lakshmi,D. And Menaga,U. Biodegradation of Different Concentration of dye (Congo red dye) by using Green and Blue Green Algae, *Int. J. Environ. Res.*, 9(2):735-744, Spring **2015**.
- [66] Duquenne, P.; Parekh, N.R.; Catroux, G.; Fournier J.-C. Effect of inoculant density, formulation, dispersion and soil nutrient amendment on the removal of carbofuran residues from contaminated soil, *Soil Biology & Biochemistry*, Volume 28, Number 12, , pp. 1805-1811, December **1996**.
- [67] Shah, K.: Biodegradation of azo dye compounds, *International Research Journal of Biochemistry and Biotechnology* Vol. 1(2), pp. 005-013, **2014**.
- [68] Hajira Khan, Nasir Ahmad, Abdullah Yasar, Rukhsana Shahid: Advanced Oxidative Decolorization of Red CI-5B:Effects of Dye Concentration, Process Optimization and Reaction Kinetics. *Polish J. of Environ. Stud.* Vol. 19, No. 1, 83-92, **2010**.

- [69] N. Daneshvara, A. Oladegaragozeb, N. Djafarzadeha,: Decolorization of basic dye solutions by electrocoagulation: An investigation of the effect of operational parameters *Journal of Hazardous Materials* Volume 129, Issues 1–3, Pages 116–122, 28 February **2006**.
- [70] K.V. Radha, I. Regupathi, A. Arunagiri, T. Murugesan: Decolorization studies of synthetic dyes using *Phanerochaete chrysosporium* and their kinetics, *Process Biochemistry* 40, 3337–3345, **2005**.
- [71] H. D. Bhimani, D. V. Bhensdadia, C. M. Rawal, V. V. Kothari, R. K. Kothari, C. R. Kothari and G. C. Bhimani, Influence of some chemical parameters on decolorization of textile dyes by bacterial strains isolated from waste water treatment plant. *African Journal of Microbiology Research*, Vol. 8(11), pp. 1213-1220, 12 March, **2014**.
- [72] Rajesh Kannan Velu (Editor) *Microbiological Research In Agroecosystem Management*, Springer Science & Business Media, pp 88-91, **2013**.
- [73] Rajat Pratap Singh, Pradeep Kumar Singh, and Ram Lakhan Singh, Bacterial Decolorization of Textile Azo Dye Acid Orange by *Staphylococcus hominis* RMLRT03, *Toxicol Int*; 21(2): 160–166, May-Aug **2014**.
- [74] S. Venkata Mohan, Y. Vijay Bhaskar, J. Karthikeyan Biological decolorization of simulated azo dye in aqueous phase by algae *Spirogyra* species, *Int. J. Environ. Poll.*, 21 (3) pp. 211–222, **2003**.
- [75] R.H.S.F. Vieira, B. Volesky: Biosorption: a solution to pollution? *Int. Microbial.*, 3, pp. 17–24, **2000**.
- [76] Seyis, I., Subaşıoğlu., 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**.
- [77] Leandro, P., Adsorption and Decolorization of Dyes Using Solid Residues From *Pleurotus ostreatus* Mushroom Production, *Jurnal of Biotechnology and Bioprocess Engineering*, Volume 15, Issue 6, pp 1102-1109, December **2010**.
- [78] Mathias Ahii Chia & Ojone Anne Odoh & Zakari Ladan.: The Indigo Blue Dye Decolorization Potential of Immobilized *Scenedesmus quadricauda*, *Water Air Soil Pollut* 225:1920, **2014**.
- [79] Huang Guolan, Sun Hongwen & Cong Li Li Study on the physiology and degradation of dye with immobilized algae, Volume 28, Issue 4, pages 347-363, **2000**.
- [80] Chulhwan Park, Byunghwan Lee, Eun-Jung Han, Jinwon Lee, Sangyong Kim, Decolorization of acid black 52 by fungal immobilization, *Enzyme and Microbial Technology* 39, 371–374, **2006**.

- [81] G.S. Gupta, G. Prasada, V.N. Singh Removal of chrome dye by mixed adsorbent fly ash and coal Water Res., 24, pp. 45–50, **1990**.
- [82] I.A. Balcioğlu, I. Arslan: Treatability of textile industry wastewater by photocatalytic oxidation method Turkey, Gebze institute of technology environmental pollution symposium II, 193–199, **1997**.
- [83] S. Asad, A.A. Amoozegar, A.A. Pourbabae, M.N. Sarbolouki, S.M.M. Dastgheib Decolorization of textile azo dyes by newly isolated halophilic and halotolerant bacteria Bioresour. Technol., 98, pp. 2082–2088, **2007**.
- [84] A. Pandey, P. Singh, L. Ivengar Bacterial decolorization and degradation of azo dyes Int. Biodeterior. Biodegrad., 59, pp. 73–84, **2007**.
- [85] A. Stolz: Basic and applied aspects in the microbial degradation of azo dyes Appl. Microbiol. Biotechnol., 56, pp. 69–80, **2001**.

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı: Navid YAKHDANSAZ

Doğum Yeri: IRAN

Doğum Tarihi: 11/09/1989

Medeni Hali: Evli

E-posta: Navid.yakhdansaz@gmail.com

Adresi: Tunalı hilmi, Yalım sokak, No:7A/4. ÇANKAYA/Ankara

Eğitim

Lise: Atomic energy (2002-2006)

Lisans: Iran Rab-i Raşidi Üniversitesi, Biyoteknoloji Bölümü (2008-2012)

Yüksek Lisans: Hacettepe Üniversitesi-Biyoloji Bölümü-Biyoteknoloji Anabilim Dalı(2012-2015)

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce: Toefl (105)

İş Deneyimi:

(-)

Deneyim Alanları:

Biyoteknoloji, Mikrobiyoloji

Tezden Üretilmiş Proje ve Bütçesi:

(-)

Tezden Üretilmiş Yayınlar:

(-)

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

(-)