

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TERMOFİLİK MİKROALG VE SİYANOBAKTERİLERLE REMAZOL
BRİLLİANT BLUE R GİDERİMİ**

Kübra ERDEM

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2017**

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Kübra ERDEM tarafından hazırlanan “**TERMOFİLİK MİKROALG VE SİYANOBAKTERİLERLE REMAZOL BRİLLİANT BLUE R**” adlı tez çalışması 07.06.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Nur KOÇBERBER KILIÇ



Jüri Üyeleri:

Başkan: Prof. Dr. Yavuz BEYATLI

Gazi Üniversitesi, Biyoloji Anabilim Dalı



Üye : Prof. Dr. Gönül DÖNMEZ

Ankara Üniversitesi, Biyoloji Anabilim Dalı



Üye : Doç. Dr. Nur KOÇBERBER KILIÇ

Ankara Üniversitesi, Biyoloji Anabilim Dalı



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Atila YETİŞEMİYEN
Enstitü Müdürü

ETİK

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

07.06.2017



Kübra ERDEM

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TERMOFİLİK MİKROALG VE SİYANOBAKTERİLERLE REMAZOL BRİLLİANT BLUE R GİDERİMİ

Kübra ERDEM

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Nur KOÇBERBER KILIÇ

Bu çalışmada Ayaş, Haymana ve Kızılcahamam kaplıcalarından alınan su örneklerinden izole edilen 4 farklı mikroalg ve siyanobakteri türünün (KA, KE, HA ve S9E) Remazol Brilliant Blue R (RBBR) giderimi araştırılmıştır. Mikroalg ve siyanobakterilerin RBBR biyogiderim kapasitesini belirlemek amacıyla farklı pH'larda (6, 7, 8 ve 9), artan boya (90.9 mg/L, 136.4 mg/L ve 181.8 mg/L) ve biyokütle (%10 (v/v), %20 (v/v), %30 (v/v) ve % 40 (v/v)) konsantrasyonlarında, BG11 besiyerlerinde denemeler yapılmıştır. Çalışmada, S9E suşu ile boya biyosorpsiyon denemeleri de yapılmıştır. RBBR biyosorpsiyon çalışmaları farklı pH (4, 5, 6, 7, 8 ve 9), artan RBBR (102.3 mg/L, 136.4 mg/L ve 199.1 mg/L) ve biyokütle konsantrasyonlarında (%5 (v/v), %10 (v/v), %20 (v/v), %30 (v/v) ve %40 (v/v)) gerçekleştirilmiştir. Biyogiderim çalışmaları sonucunda mikroalg ve siyanobakterilerin en yüksek giderimi pH 7'de yaptığı belirlenmiştir. Başlangıç RBBR konsantrasyonunun 181.8 mg/L olduğu ortamlarda KA, KE, HA ve S9E suşları için giderim verimleri sırasıyla %67.8, %74.8, %60.3 ve %54.5 olmuştur. Biyokütle konsantrasyonunun artışı ile RBBR gideriminin de arttığı görülmüştür. Biyosorpsiyon çalışmalarından elde edilen verilere göre S9E suşu, en yüksek giderimi %76.9 verimle pH 9'da gerçekleştirmiştir. En yüksek RBBR biyosorpsiyonu biyokütle konsantrasyonu %20 (v/v) olduğunda %78.7 olarak bulunmuştur. Tez çalışması, termofil mikroalg ve siyanobakteri suşlarının RBBR içeren atıksularda etkin bir şekilde biyolojik arıtım süreçlerinde kullanılabileceğini göstermiştir.

Haziran 2017, 50 sayfa

Anahtar Kelimeler: Mikroalg, Siyanobakteri, Atıksu, RBBR, Biyogiderim, Biyosorpsiyon

ABSTRACT

Master Thesis

BIOREMOVAL OF REMAZOL BRILLIANT BLUE R BY THERMOPHILIC MICROALGAE AND CYANOBACTERIA

Kübra ERDEM

Ankara University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Biology

Supervisor: Assoc. Dr. Nur KOÇBERBER KILIÇ

In this study, removal of Remazol Brilliant Blue R (RBBR) was investigated by four different species of microalgae and cyanobacteria (KA, KE, HA and S9E) isolated from water samples taken from Ayaş, Haymana and Kızılcahamam thermal springs. In order to determine the RBBR bioremoval capacity of microalgae and cyanobacteria, experiments were carried out in BG11 medium at different pH (6, 7, 8 and 9), increasing dye (90.9 mg/L, 136.4 mg/L and 181.8 mg/L) and biomass (10% (v/v), 20% (v/v), 30% (v/v) and 40% (v/v)) concentrations. In the study, dye biosorption experiments were also performed with S9E strain. RBBR biosorption experiments were performed at different pH (4, 5, 6, 7, 8 and 9), increasing RBBR (102.3 mg/L, 136.4 mg/L and 199.1 mg/L) and biomass concentrations (5% (v/v), 10% (v/v), 20% (v/v), 30% (v/v) and 40% (v/v)). Bioremoval studies have shown that microalgae and cyanobacteria have the highest removal at pH 7. In media with 181.8 mg/L initial RBBR concentration, removal efficiencies of KA, KE, HA and S9E strains were 67.8%, 74.8%, 60.3% and 54.5%, respectively. With an increase in biomass concentration RBBR removal also increased. According to the data obtained from biosorption experiments, S9E strain did the highest removal as 76.9% at pH 9. The highest RBBR biosorption was found as 78.7% when the biomass concentration was 20% (v/v). The thesis study has shown that thermophilic microalgae and cyanobacterium strains could be used effectively in biological treatment processes in wastewaters containing RBBR.

June 2017, 50 pages

Key Words: Microalgae, Cyanobacteria, Wastewater, RBBR, Bioremoval, Biosorption

TEŞEKKÜR

Tez çalışmasının gerçekleştirilmesinde ve araştırmalarımın her aşamasında beni destekleyen ve yönlendiren danışmanım sayın hocam Doç. Dr. Nur KOÇBERBER KILIÇ'a (Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı), çalışmalarımda beni yönlendiren ve araştırmalarımın her aşamasında bilgi ve önerilerine başvurduğum sayın hocam Prof. Dr. Gönül DÖNMEZ'e (Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı) ve değerli hocam Doç. Dr. Sevgi ERTUĞRUL KARATAY'a (Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı) desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Biyoteknoloji Araştırma Laboratuvarı'ndaki değerli lisansüstü öğrenci arkadaşlarıma ve özellikle Elif SAFRAN'a desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi beni destekleyen annem Asiye ERDEM, babam Hasan ERDEM, ağabeyim Zeki ERDEM, Ercan ERDEM ve ablam Göksu ERDEM'e sonsuz şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

Kübra ERDEM

Ankara, Haziran 2017

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	2
2.1 Atıksular	2
2.2 Tekstil Atıksuları.....	3
2.3 Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Boyarmaddeler	4
2.3.1 Remazol Brilliant Blue R.....	6
2.4 Tekstil Atıksularının Arıtım Yöntemleri	6
2.5 Mikroalg ve Siyanobakterilerle Yapılan Boya Giderimi Çalışmaları.....	8
3. MATERYAL VE YÖNTEM	16
3.1 Materyal	16
3.1.1 Mikroalg ve Siyanobakteri gelişme koşulları.....	16
3.1.2 Remazol Brilliant Blue R Stok solüsyonunun hazırlanışı	17
3.2 Yöntem	17
3.2.1 Saf Mikroalg ve Siyanobakteri eldesi.....	17
3.2.2 Mikroalg ve Siyanobakteri kültür seçimi	18
3.2.3 Biyogiderim çalışmaları.....	18
3.2.3.1 Başlangıç pH değerinin biyogiderime etkisi.....	18
3.2.3.2 Başlangıç boya konsantrasyonunun biyogiderime etkisi.....	19
3.2.3.3 Başlangıç biyokütle konsantrasyonunun biyogiderime etkisi.....	19
3.2.4 Biyosorpsiyon çalışmaları.....	19
3.2.4.1 Başlangıç pH değerinin biyosorpsiyona etkisi.....	20
3.2.4.2 Başlangıç boya konsantrasyonunun biyosorpsiyona etkisi.....	20

3.2.4.3 Başlangıç biyokütle konsantrasyonunun biyosorpsiyona etkisi.....	20
3.2.5 Analiz yöntemleri	20
3.2.5.1 Optik yoğunluğun belirlenmesi.....	20
3.2.5.2 Kuru ağırlığın belirlenmesi.....	21
3.2.5.3 Remazol Brilliant Blue R analizi.....	21
3.2.5.4 RBBR standartının hazırlanması.....	21
3.2.6 Sonuçların değerlendirilmesi ve kullanılan kısaltmalar.....	22
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	23
4.1 Saf Kültürler, RBBR Giderim Kapasiteleri ve Tanımları.....	23
4.2 Biyogiderim Çalışmaları.....	25
4.2.1 Başlangıç pH değerinin biyogiderime etkisi	25
4.2.2 Başlangıç boya konsantrasyonunun biyogiderime etkisi.....	27
4.2.3 Başlangıç biyokütle konsantrasyonunun biyogiderime etkisi.....	32
4.3 Biyosorpsiyon Çalışmaları.....	37
4.3.1 Başlangıç pH değerinin biyosorpsiyona etkisi.....	37
4.3.2 Başlangıç boya konsantrasyonunun biyosorpsiyona etkisi	38
4.3.3 Başlangıç biyokütle konsantrasyonunun biyogiderime etkisi.....	40
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	42
KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ.....	50

SİMGELER DİZİNİ

C_0	Başlangıç boya miktarı (mg/L)
C_{gid}	Mikroorganizmaların ortamdan uzaklaştırdığı boya miktarı (mg/L)
% biyogiderim	Biyogiderim verimi
qm	Mikrobiyel kütlenin gramı başına biriktirilen boya mikta (mg/g)
X	Mikroorganizmaların kuru ağırlığı (g/L)
μl	Mikrolitre
μm	Mikrometre
nm	Nanometre
rpm	Dakikada devir
lx	Lüks
OD	Optik yoğunluk
gr	Gram
mg	Miligram
$^{\circ}C$	Santigrad derece
~	Yaklaşık
NaOH	Sodyum hidroksit
HCl	Hidroklorik asit
NaNO ₃	Sodyum nitrat
H ₃ BO ₃	Borik asit
MnCl ₂	Manganez II klorit
ZnSO ₄	Çinko sülfat
Na ₂ MOO ₄	Sodyum molibdat
CuSO ₄	Bakır sülfat
CO(NO ₃) ₂	Kobalt II nitrat
K ₂ HPO ₄	Potasyum hidrojen fosfat
MgSO ₄	Magnezyum sülfat
CaCl ₂	Kalsiyum klorür
Na ₂ CO ₃	Sodyum karbonat
Na ₂ EDTA	Sodyum edta

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Remazol Brilliant Blue R kimyasal yapısı	17
Şekil 3.2 RBBR (Remazol Brilliant Blue R) standardı.....	22
Şekil 4.1 a. KA, b. KE, c. HA ve d. S9E suşlarının ışık mikroskopunda çekilmiş resimleri	24
Şekil 4.2 Başlangıç pH değerinin KA suşunun boya giderimi üzerine etkisi	25
Şekil 4.3 Başlangıç pH değerinin KE suşunun boya giderimi üzerine etkisi.....	26
Şekil 4.4 Başlangıç pH değerinin HA suşunun boya giderimi üzerine etkisi	26
Şekil 4.5 Başlangıç pH değerinin S9E suşunun boya giderimi üzerine etkisi	27
Şekil 4.6 Başlangıç RBBR konsantrasyonunun KA suşunu boya giderimi üzerine etkisi	28
Şekil 4.7 Başlangıç RBBR konsantrasyonunun KE suşunun boya giderimi üzerine etkisi	29
Şekil 4.8 Başlangıç RBBR konsantrasyonunun HA suşunun boya giderimi üzerine etkisi	30
Şekil 4.9 Başlangıç RBBR konsantrasyonunun S9E suşunun boya giderimi üzerine etkisi	31
Şekil 4.10 Artan biyokütle konsantrasyonunun KA suşunun RBBR giderimine etkisi	32
Şekil 4.11 Artan biyokütle konsantrasyonunun KE suşunun RBBR giderimine etkisi	34
Şekil 4.12 Artan biyokütle konsantrasyonunun HA suşunun RBBR giderimine etkisi	35
Şekil 4.13 Artan biyokütle konsantrasyonunun S9E suşunun RBBR giderimine etkisi	36
Şekil 4.14 Farklı pH değerlerinin biyosorpsiyona etkisi.....	38
Şekil 4.15 Farklı boya konsantrasyonlarının biyosorpsiyona etkisi.....	39
Şekil 4.16 Farklı biyokütle konsantrasyonlarının biyosorpsiyona etkisi	40

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Endüstriyel atıklardan mevcut boya giderim yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları	7
Çizelge 2.2 Bazı siyanobakterilerin geliştiği pH aralıkları	10
Çizelge 3.1 BG11 besiyerinin bileşimi	16
Çizelge 3.2 Remazol Brilliant Blue R kimyasal özellikleri	17
Çizelge 4.1 Elde edilen saf kültürlerin RBBR biyogiderimleri	23
Çizelge 4.2 Elde edilen saf kültürlerin morfolojik özellikleri.....	24
Çizelge 4.3 Artan boya konsantrasyonlarında S9E'nin maksimum spesifik RBBR giderimleri	32

1. GİRİŞ

Endüstriyel, zirai, kentsel ve diğer kullanımlar sonucunda kirlenerek yapısı bozulan ve hijyenini kaybederek atılan bütün sular atıksu olarak tanımlanmaktadır.

Günümüzde endüstriyel üretim için kullanılan su miktarı, artan talebi karşılamak için giderek artmaktadır. Bu üretim sonucunda oluşan kirli atıksular, arıtım işlemlerinin pahalı ve uzun sürmesinden dolayı doğal su kaynaklarına arıtılmadan verilmektedir. Bu durum günümüzde temiz su kaynaklarına olan ulaşımı azaltmaktadır.

Tekstil endüstrisi atıksularının içerisinde bulunan boyarmaddeler ekosisteme verildiğinde akuatik sistemdeki canlılara zarar vermekle birlikte su ortamında ışığın alt tabakalara inmesini engelleyerek fotosentetik aktiviteyi de olumsuz yönde etkiler.

Bununla birlikte bu tip atıksuların arıtımına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Bunlar arasında biyolojik arıtım yöntemleri, kimyasal ve fiziksel arıtım yöntemlerine göre daha az konsantrasyonlu çamur üretmesi, uygulama yöntemlerinin daha kolay olması, maliyetinin daha düşük olması, daha az kimyasal kullanımı veya zararlı yan ürünlerin oluşmaması gibi özelliklerinden dolayı tekstil endüstrisi atıksularının arıtımı için daha avantajlı olarak görülmektedir.

Son yıllarda atıksu arıtımında alternatif olarak alg kullanımı büyük ilgi görmektedir. Alglerin tüketime uygun olmayan sularda gelişebilmesi, hızlı çoğalabilmesi ve birçok canlı için uygun olmayan koşullarda yaşayabilmeleri atıksu arıtımındaki önemini arttırmaktadır.

Tez çalışmasında, tekstil atıksularında sıklıkla rastlanan Remazol Brilliant Blue R'nin sıcak su kaynaklarından izole edilmiş siyanobakteri ve mikroalg suşları ile giderim çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen izolatların tekstil endüstrisi atıksularının arıtımında kullanım potansiyeli tez çalışmasıyla ortaya konulmuştur.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Atıksular

Atıksular; kentsel, endüstriyel, zirai ve diğer kullanımlar sonucunda kirlenmiş, özelliklerinin tamamını veya bir kısmını kaybederek değişen sular ile maden ocakları, cevher hazırlama tesislerinden kaynaklanan sular, yapılaşmış bölgelerin cadde, otopark ve benzeri alanlarından yağışların yüzey veya yüzey altındaki su akışına karışması sonucunda gelen sulardır. Su üzerinde kötü koşullara sebep olan, suyun kalitesini azaltarak (renk değişimi, koku oluşumu, ışık geçirgenliğini azaltma gibi) kullanımını olumsuz yönde etkileyen herşey kirlenme olarak tanımlanmaktadır (Arceivala 1998).

İnsanların üretim ve tüketim faaliyetleriyle doğaya verilen ve su kirliliğine sebep olan unsurlar çok çeşitlidir. Bu unsurlar evsel, kentsel, zirai ve endüstriyeldir.

Evsel atıksular: yerleşim bölgelerinde kimyasal, deterjan ve diğer temizleyicilerin kullanımı sonucunda oluşur.

Kentsel atıksular: yerleşim bölgeleri, eğitim kurumları, hastane ve kesimevi gibi kurum ve kuruluşların atıklarının sucul ortama karışması, kanalizasyon sularının arıtılmadan alıcı ortama verilmesi, çöp alanlarının yüzey ve yer altı sularına sızması sonucu oluşur.

Tarımsal atıksular: anorganik ve organik tarım ilaçları (DDT gibi pestisitler), suni gübreleme ile yer altına suların sızmasıyla tarımsal alandaki suyun kirlenmesiyle oluşur.

Endüstriyel atıksular: birçok endüstriyel işletmenin üretimi sonucu açığa çıkan ve atık sistemiyle doğaya verilen kimyasallar ve petrol kaynaklı sızıntılar endüstriyel kaynaklı suyun kirlenmesiyle oluşur (Shelknanloymilan vd. 2012).

2.2 Tekstil Atıksuları

Dünyada endüstriyel gelişmeyle birlikte çevreye verilen atıksu miktarı giderek artmaktadır. Tekstil, kağıt, kozmetik, kauçuk, gıda, deri gibi endüstrilerin üretim faaliyeti sonucu oluşan boyalı atıksularını su kaynaklarına boşaltması çevre kirliliğine sebep olmaktadır (Dutta 1994).

Atıksulardaki organik kirleticiler genelde algal toksinler, pestisitler, kalıcı organik kirleticiler (POPs), poliklorlu bifeniller (PCBs), dioksinler ve furanlar gibi; endokrin bozucular (EDs), polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAHs), fitalat esterler (PAEs) ve hümik asitleri içerir. Bu organik kirleticilerin çoğu toksik etkilere sahiptir ve zararlıdır (Shen vd. 2003).

Tekstil endüstrisinden kaynaklanan ve ekosisteme verilen renkli atıksular akuatik sistemdeki canlılara zarar vermekle birlikte su ortamında ışığın alt tabakalara inmesini engelleyerek fotosentetik aktiviteyi de olumsuz yönde etkiler. Fotosentetik aktivitenin ve çözünmüş oksijen seviyesinin azalmasıyla da kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) artış gösterir (Aksu ve Tezer 2005, Amin vd. 2008). Akuatik sisteme zarar veren bu renkli atıksular besin zincirine karışarak canlılarda beyinde, böbreklerde, akciğerlerde, solunum ve sinir sisteminde ciddi hasarlara neden olurlar. Ayrıca karbon monoksit, karbon dioksit, azot oksitler ve hidrojen klorür gibi zararlı ürünlere ayrışarak da sudaki fotosentez etkinliğini azaltır (Aksu 2005, Crini 2006).

Sentetik boyalar doğal boyalara göre renk çeşitliliği, deterjan ve sıcaklığa karşı yüksek kararlılık göstermesi, maliyetinin ucuz ve sentezinin kolay olması nedeniyle tekstil ve boya endüstrisinde daha yaygın kullanılmaya başlanmıştır (Nawar ve Doma 1989, Couto 2009).

2.3 Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Boyarmaddeler

Dünyadaki nüfus artışıyla birlikte sanayi ürünlerine olan talep artmaktadır. Çeşitli endüstrilerde ürünleri renklendirmek için kullanılan boyalar atıksuların oluşumuna neden olmaktadır. Tekstil endüstrisi, kullanılan sentetik boyaların % 30'luk bir kısmından sorumludur ve ürünlerin % 50'sinden fazlası reaktif boyalarla boyanmaktadır. Boyama esnasında ise yaklaşık % 10-60 oranında reaktif boyanın kaybedildiği ve büyük miktarda renkli atıksu üretildiği tahmin edilmektedir (Allegre vd. 2006, Hessel vd. 2007).

Tekstil endüstrisinde kullanılan boyalar genellikle sentetik ve kompleks aromatik moleküler yapıya sahip olduklarından biyolojik olarak parçalanmaya karşı daha dayanıklıdırlar. Alıcı ortama deşarj edilen bu boyalar anyonik-direkt, asidik ve reaktif boyalar; katyonik-bazik boyalar ve noniyonik-dispers boyalar olarak sınıflandırılmaktadır.

Anyonik ve non-iyonik boyalardaki kromoforlar çoğunlukla azo gruplar veya antrokinon türleridir. Azo bağlarının indirgeyici bölünmesi atıksularda toksik aminlerin oluşmasına neden olmaktadır. Antrokinon temelli boyalar ise birleşik aromatik yapıları nedeniyle bozunmaya karşı daha dirençlidirler. Bu yapı, atıksu içerisinde renklerini daha uzun süre muhafaza etmelerine neden olmaktadır.

Reaktif boyarmaddeler vinil sülfan, klorotriazin, trikloropirimidin, diflorokloropirimidin gibi reaktif grupların farklı tipleriyle kombine edilmiş azo bazlı kromoforlardır. Parlak renkli ve suya dayanıklı olmaları, basit uygulama teknikleri sayesinde düşük enerji tüketimi sağladıklarından tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılırlar (Aksu 2005).

Azo reaktif boyarmaddeler, kullanılan tekstil boyarmaddelerinin % 60-70'ini oluşturan ve yapılarında bulunan bir veya daha fazla $-N=N-$ (azo) bağı ile tanımlanmaktadır (Saratale vd. 2010). Azo boyalarının tekstil liflerini düşük seviyelerde sabitlemesinden ötürü, boyama işlemi sırasında başlangıç boya miktarının yaklaşık % 50'sini ilk boyama

sürecinde kaybetmektedir. Boyanın diğer kısmı ise boyama işleminden sonra harcanmış hidrolize formda kalmaktadır. Bu harcanmış boya artık kumaşa bağlanma eğilimi göstermediğinden boyama işleminde tekrar kullanılmamaktadır (Watanapokasin vd. 2008). Azo boyalarının yapısal özellikleri doğal koşullar altında bozunmasını zorlaştırmaktadır.

Boya giderimi için fiziko-kimyasal yöntemlerin kullanımı etkilidir fakat boya giderimini verimli bir şekilde yapamamakta ve çoğunlukla ekstra katı atıklara yol açmaktadır. Başka bir alternatif olarak biyolojik yöntemler maliyet verimliliği nedeniyle tercih edilebilmektedir (Syed vd. 2009).

Asit boyarmaddeler sahip oldukları parlak geniş renk yelpazesinden dolayı deri endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle krom kaplanmış derilerde tercih edilmektedir. Nispeten küçük ve hidrofilik moleküllerdir. Anyonik olarak yüklü olduklarından katyonik yüzeyler için yüksek afiniteye sahiptir. Sülfonat grubunun varlığına bağlı olarak asitleştirme ile sabitlenmektedir ve genellikle sülfonat grupları ile lisinin protonlanmış amino grubu arasındaki elektrostatik reaksiyon vasıtasıyla veya oksokrom grupları vasıtasıyla hidrojen bağlanması yoluyla reaksiyona girerler. Serbest radikal mekanizmaları sayesinde ise yapısal değişikliklere daha az olanak sunarlar (Covington 2009).

Direkt boyarmaddeler 100 yıldan uzun süredir selülozu boyamak için kullanılmıştır. Uygulamanın kolay olması ve uygun maliyetle geniş ürün yelpazesi sağladığından popüler bir boyadır (Bae ve Freeman, 2002). Direkt boyalar ışıktaki solmaya karşı dirençlidir ve kolayca uygulanabilir. Sülfonat işlevselliğinin olması da boyanın çözünürlüğünü arttırmaktadır (Khanjani vd. 2011).

Bazı boyalar parlak renktedir ve yoğun bir yapıya sahip olduklarından çok düşük konsantrasyonlarda bile renkleri rahatlıkla görülebilir.

Dispers boyalar sulu ortamda iyonize olmayıp birikme eğilimi gösterirler (Aksu 2005).

Genel olarak atıksularda bulunan boyalar kimyasal yapılarından dolayı geleneksel arıtım yöntemleri ile ortamdan uzaklaştırılmada yetersiz kalmaktadır.

2.3.1 Remazol Brilliant Blue R

Remazol Brilliant Blue R (RBBR), Reactive Blue 19 olarak da bilenen, tekstil endüstrisinde selülozik liflerin boyanmasında kullanılan en önemli reaktif boyalardan birisidir ve antrakininon esaslı olan vinilsülfon boya sıklıkla polimerik boyaların üretilmesi için başlangıç materyali olarak kullanılır. Bununla birlikte, RBBR boyası, selüloz liflerine tutunmayan reaktif vinilsülfonun ve 2-hidroksietilsülfonun oluşurken arasındaki rekabetten dolayı selüloz üzerinde nispeten düşük bağlanma etkinliğine (% 75-80) sahiptir (Weber ve Stickney 1993, Siddique vd. 2011).

Yeterli arıtım yapılmadan deşarj edildiğinde yapısında bulunan birleşik aromatik halkadan dolayı çevrede uzun süre bozunmadan kalabilmektedir. Sıcaklığın 25 °C ve pH'nın 7 olduğu durumlarda RBBR boyası 46 yıla kadar yarılanma ömrüne sahip olmaktadır (Weber ve Stickney 1993).

Remazol Brilliant Blue R, bir antrasen türevidir, toksik ve dirençli organik kirleticilerin önemli bir sınıfını temsil eder. Bu yüzden RBBR içeren atıksular çevreye verilmeden önce arıtılmalıdır (Hadibarata vd. 2012).

2.4 Tekstil Atıksularının Arıtım Yöntemleri

Atıksulardan boyaların uzaklaştırılması, bu boyaların ısı, ışık ve oksitleyici ajanlara dayanıklı olmaları ve biyolojik olarak çözünmemelerinden dolayı zordur. Boya içeren atıksular genellikle fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemlerle uzaklaştırılmaktadır. Bunlara kimyasal koagülasyon /flokülasyon, ozonlama, oksidasyon, iyon değişimi, ışın yayma, çökeltme ve adsorpsiyon dahildir. Bu tekniklerin bazıları etkili olmasına rağmen sınırlıdır. Bunlar arasında aşırı miktarda kimyasal kullanımı veya aşırı konsantre çamur birikimi, pahalı tesislerin kullanımı veya yürütme maliyeti, yeterince renk gideriminin

olmaması gibi bertaraf sorunları vardır (Aksu 2005). Çizelge 2.1’de endüstriyel atıksularda bulunan boyaların giderim yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Endüstriyel atıklardan mevcut boya giderim yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları (Robinson vd. 2001)

Fiziksel/Kimyasal Yöntemler	Avantajları	Dezavantajları
Fenton Ajanları	Çözünen ve çözünmeyen boyaların renklerinin giderilmesi	Çamur üretimi
Ozonlama	Gaz halindeyken uygulanır: hacimde değişiklik olmaz	Kısa yarılanma ömrü (20 dakika)
Fotokimyasal Yöntem	Çamur üretimi yok	Yan ürünün oluşumu
NaOCI	Azo bağının kopmasını başlatır ve hızlandırır	Aromatik aminlerin serbest bırakılması
Cucurbituril	Çeşitli boyalar için iyi sorpsiyon kapasitesine sahiptir	Yüksek maliyet
Elektrokimyasal Yıkım	Parçalanmış bileşikler zararlı değildir	Yüksek elektrik maliyeti
Aktif Karbon	Çok çeşitli boyaların giderilmesi	Maliyet yüksek
Turba	Hücresel yapıdan dolayı iyi adsorbenttir	Adsorpsiyona özgü yüzey alanları aktifleştirilmiş karbondan daha düşüktür
Talaş	Asidik boyalar için iyi sorpsiyon kapasitesine sahiptir	Uzun bekleme süresi
Silika Jel	Bazik boya gideriminde etkilidir	Yan reaksiyonların olması ticari uygulamaları engeller
Membran Filtrasyon	Tüm boyaların giderimi	Konsantre çamur oluşumu
İyon Değişimi	Rejenerasyon: adsorbent kaybı yok	Tüm boyalara etki etmez
Işın Yayma	Laboratuvar ölçeğinde etkili oksidasyon	Çözünmüş O ₂ ihtiyacı
Elektrokinetik Koagülasyon	Ekonomik açıdan uygulanabilir	Aşırı çamur üretimi

Biyolojik yöntemler ise maliyet ve uygulanabilirlik yönünden atıksu arıtımında alternatif bir yoldur.

Biyolojik yöntemlerde kullanılan biyoremediasyon; çeşitli toksik bileşiklerin degradasyonu, şelatlanması veya transformasyonu işlemlerini yapabilen mikroorganizmalar tarafından kirlenmiş alanların doğal ve yararlı değerlerini geri kazanımı için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

Biyoremediasyon geleneksel metotlardan daha ucuz, çevre dostu ve kirleticileri daha zararsız veya daha az toksik forma dönüştürmektedir. Kontaminantın başka alana

taşınması mümkün olmadığında bulunduğu yerde (in-situ) veya başka bir alanda (ex-situ) arıtımını sağlar. İn-situ biyoremediasyon da biyositümülasyon, doğal atenüasyon ve biyoagümentasyon kullanılırken; ex-situ biyoremediasyon da ise biyolojik yığın, kompostlaştırma, landfarming ve reaktörlerde arıtım kullanılır (Dzionic vd. 2016).

Biyolojik arıtım yöntemlerinde tercih edilen yöntemlerden biri olan biyosorpsiyon alg, bakteri, mantar gibi canlı veya ölü biyolojik materyallerin kullanılmasıyla kirleticilerin sıvı ortamdan hücre yüzeyine tutturulması veya hücre içine pasif olarak alınmasıdır (Sternberg ve Dorn 2002, Keskinhan vd. 2004).

Aynı zamanda biyosorpsiyon hücre duvarında meydana gelen fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon, iyon değişimi, şelasyon gibi bir takım bağımsız metabolizma sürecini de ifade eder. Atıksudan kirleticilerin uzaklaştırılması için diğer geleneksel yöntemlerden farklı olarak, biyosorpsiyon işlemi düşük maliyeti, atıkların daha az toksik olması, yüksek verimlilik ve biyolojik çamur değerinin en aza indirgenmesi avantajlarını sunar. Aynı zamanda biyosorpsiyonda kullanılan ölü mikrobiyel hücrelerin toksik atıklardan etkilenmemesi, sürekli bir besin ihtiyacına gerek duymaması, yeniden üretilmesi ve kullanılabilir olması konusunda canlı hücrelerin kullanımından daha avantajlıdır. Ölü mikrobiyel hücrelerin kullanımı kolay ve bazı durumlarda büyüyen hücrelere kıyasla daha fazla kirletici giderimi de sağlamaktadır (Waranusantigul vd. 2003, Aksu 2005, Maurya vd. 2006).

2.5 Mikroalg ve Siyanobakterilerle Yapılan Boya Giderimi Çalışmaları

Algler genellikle deniz, göl gibi tatlısu kaynaklarının bol bulunduğu yerlerde tek hücreli, koloni olarak veya filamentler halinde yaşayabilen canlılardır. Genel olarak hücre yapılarına ve sayılarına, pigment bileşimlerine, depo maddelerine ve kamçılarına varlığına göre farklılıklar gösterirler (John vd. 2003).

Mikroalgler tek hücreli, mikroskobik (2-200 µm), fotosentetik organizmalardır. (Greenwell vd. 2010, Mutanda vd. 2011). Mikroalgler sadece sucul ekosistemlerde

değil, karasal olmak üzere tüm dünya ekosistemlerinde bulunur ve çeşitli çevresel koşullarda yaşayan çok çeşitli türlere sahiptir (Mata vd. 2010).

Azot ve karbonu sudan uzaklaştırarak su ortamındaki ötrifikasyonun azalmasına yardımcı olabilirler (Olguin 2003, Ruiz vd. 2011). Mikroalgler hızlı bir şekilde büyüyebilir, zor koşullar altında gelişimlerini devam ettirebilirler ve insan tüketimi için uygun olmayan suları kullanabilirler (Mata vd. 2010, 2011).

Son zamanlarda dünyadaki enerji krizi, fosil yakıt rezervlerinin tükenmesi, düşük sera gazlarıyla alternatif enerji taleplerini arttırmak ve mikroalglerden beslenme, kozmetik ve farmakolojik uygulamalarla biyoaktif bileşiklerin keşfedilmesiyle mikroalglerle artan bir ilgi duyulmaktadır (Huang vd. 2010, Tabernero vd. 2012, Song vd. 2013, Singh vd. 2014).

Siyanobakteriler okyanus, tatlısu sistemleri dışında termal sular ve ilişkili olduğu mikrobiyel yerlerde, fotosentez için üst sınır sıcaklıklarda (sıcaklığı 74 °C'ye kadar çıkan ortamlar gibi), çöl ortamlarında, kutup noktalarında, UV ve iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalan karasal ortamlarda ve hatta kaya içleri gibi çok zorlu çevre şartlarında yaşayabilen fotosentetik mikroorganizmalardır (Amarouche-Yala vd. 2014, Moreira vd. 2014).

Doğal koşullar altında siyanobakterilerin büyümelerini, fotosentetik yeteneklerini ve gelişimlerini etkileyen fiziksel ve kimyasal faktörlerin yanı sıra ışık, sıcaklık, pH, su iletkenliği gibi fiziksel faktörler ile inorganik besinler, organik maddeler ve biyolojik faktörlerde yer alır (Ikawa 2004).

Fiziksel faktörler arasında pH siyanobakterilerin dağılımını ve çeşitliliğini etkileyen çok önemli bir faktördür ve pH'da meydana gelen değişimler büyümelerini etkilemektedir. Optimum büyüme için nötr alkali pH değerlerini tercih ederler (Chen ve Durbin 1994, Kaushik 1994, Locke vd. 2000, Hansen 2002). Çizelge 2.2'de bazı siyanobakterilerin geliştikleri pH aralıkları gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 Bazı siyanobakterilerin geliştiği pH aralıkları (Chandra ve Rajashekhar 2016)

Siyanobakteriler	pH aralığı	En iyi geliştiği pH aralığı
<i>Oxynema acuminatum</i>	5.5-10	7.0-7.5
<i>Phormidium lucidum</i>	5.5-10	7.0-7.5
<i>Phormidium chlorinum</i>	5-9.5	6.5
<i>Scytonema bohnerei</i>	5-9.5	6.5
<i>Geitlerinema calcuttense</i>	5.5-9.5	7.5-8.0
<i>Microcystis aeruginosa</i>	6.0-10.5	9.0-9.5

El-Sheekh vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada kullanılan *Chlorella vulgaris*, *Lyngbya lagerlerimi*, *Nostoc linckia*, *Oscillatoria rubescens*, *Elkatothrix viridis* ve *Volvox aureus* farklı endüstriyel bölgelerden izole edilmiştir. Çalışmada Methyl Red, Orange II, G-Red (FN-3G), Basic Cationic ve Basic Fuchsin olmak üzere beş farklı boyaya kullanılmıştır. *E.viridis*, 3 günlük inkübasyondan sonra sırasıyla 10 ppm Basic Cationic'i % 91.6 ve % 90.7 oranında uzaklaştırmıştır. *C.vulgaris* ve *V.aureus* ise bu boyaya karşı benzer bir giderim göstermiştir (% ~86.5 ve % 82.1). *L.lagerlerimi*'de aynı boyayı 3 ve 7 günlük inkübasyon süresinden sonra sırasıyla % ~84.1 ve % 89.4 verimle ortamdan uzaklaştırmıştır. Tüm alg türlerinde (> %82) önemli miktarda Basic Fuchsin (5 ppm) giderimi gerçekleşmiştir. *C.vulgaris* 3 ve 7 günlük inkübasyon süresinin sonunda sırasıyla % ~78.3 ve % 91.2 giderim gerçekleştirmiştir. *O.rubescens* ve *E.viridis* 3 günlük inkübasyon sonunda en yüksek boya giderimini gerçekleştirmiştir (% 94.79 ve % 93.25). Orange II (20 ppm) *C.vulgaris* ile 3, 5 ve 7 günlük inkübasyon süresinin sonunda sırasıyla % 30.80, % 43.67 ve % 43.68 oranında ortamdan uzaklaştırılmıştır. *O.rubescens*, üçüncü günden yedinci güne boya giderimini % 12.8'den % 33.63'e yükseltmiştir. Methyl Red (20 ppm) boya gideriminde hem *O.rubescens* hem de *N.linckia* yüksek verimlilik göstermiştir. *O.rubescens* ile 3 ve 7 günlük inkübasyon süresinden sonra sırasıyla % 81.16 ve % 81.30 giderim gerçekleştirilmiştir. *N.linckia* ile 3 ve 7 günlük inkübasyon süresinden sonra sırasıyla % 75.40 ve % 81.97 giderim gerçekleştirilmiştir. *E.viridis* Methyl Red boyasını 3, 5 ve 7 günlük inkübasyondan sonra sırasıyla % 23.17, % 28.67 ve % 28.68 oranında ortamdan

uzaklaştırmıştır. *L.lagerlerimi* 3 günlük inkübasyon süresinden sonra Orange II ve Methyl Red gideriminde inaktiftir, 7 günlük inkübasyon süresinden sonra ise % 35.61 ve % 47.06 verim göstermiştir. *V.aureus*, Methyl Red giderimini % ~45.3'e kadar gerçekleştirmiştir. G-Red (20 ppm) gideriminde *C.vulgaris* ve *E.viridis* ile sırasıyla 3 günlük inkübasyon süresinin sonunda % 56.51 ve % 42.98, 7 günlük inkübasyon süresinin sonunda % 59.12 ve % 51.6 verim sağlanılmıştır.

Cardoso vd. (2012), Reactive Red 120 tekstil boyasının sulu ortamdan uzaklaştırılmasında ticari aktif karbon (AC) ve *Spirulina platensis* (SP) mikroalginin karşılaştırmasını yapmışlardır. Başlangıç pH miktarının (2-10) solüsyondaki boyayı (50.000-1200.0 mg/L⁻¹ boya solusyonunun 20.0 ml'si) uzaklaştırma oranına etkisinde SP ve AC absorbentleri (50 mg/L⁻¹) için en etkili pH değeri *Spirulina platensis* için 2 ve aktif karbon için 6 seçilmiştir. Farklı miktarlardaki boya gideriminde SP ve AC'nin verimliliğini test etmek için iki atıksu (A-B) hazırlanmıştır. SP absorbenti % 94.4 (A) ve % 99.0 (B), AC absorbenti için % 93.6 (A) ve % 97.7 (B) boya giderim verimi bulunmuştur.

Ergene vd. (2009) yaptığı çalışmada, Remazol Brilliant Blue R giderimi için *Scenedesmus quadricauda* kullanmıştır. İmmobilize aktif ve ısı ile inaktif *Scenedesmus quadricauda*'nın boya gideriminde pH etkisi, 150 mg/L⁻¹ başlangıç boya konsantrasyonu bulunan ortamda 2-8 pH aralığında çalışılmıştır. Boya giderimi aktif ve inaktif *Scenedesmus quadricauda* için pH 2'de sırasıyla 45.7 mg/g⁻¹ ve 47.9 mg/g⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Sıcaklığın biyosorpsiyona olan etkisini belirlemek için 20-45 °C aralığında ortamda 150 mg/L⁻¹ boya varken çalışılmıştır. İmmobilize aktif ve ısı ile inaktif *Scenedesmus quadricauda* 'nın biyosorpsiyon kapasitesi 30 °C'de sırasıyla 45.3 mg/g⁻¹ ve 47.9 mg/g⁻¹ bulunmuştur. Daha sonra sıcaklığın artmasıyla biyosorpsiyon kapasitesi azalmıştır. Aktif ve inaktif biyokütle kullanımında doyumluk seviyesine 6 saat içinde ulaşılmıştır. Başlangıç RBBR konsantrasyonunun (150 mg/L⁻¹) adsorpsiyon kapasitesi 30, 60 ve 300 dakikada aktif ve inaktif *Scenedesmus quadricauda* için sırasıyla 44.2, 44.9 ve 45.7 mg/g⁻¹- 47.6, 47.8 ve 48.3 mg/g⁻¹ olarak bulunmuştur.

Kousha vd. (2013) tarafından yapılan bu çalışmada, *Scenedesmus quadricauda* ve *Chlorella vulgaris* ile farklı pH değerlerinin (3, 4.5 ve 6), farklı biyokütle miktarlarının (2, 4 ve 6 mg), farklı biyosorpsiyon sürelerinin (10, 50 ve 90 dk) ve farklı boya konsantrasyonlarının (2, 6 ve 10 mg/L) malaşit yeşili biyosorpsiyonu üzerine etkileri test edilmiştir. Biyosorpsiyonun amacı başlangıç malaşit yeşili konsantrasyonu 6 mg/L ve biyokütle miktarı 4 mg için biyosorpsiyon süresinin tespit edilmesidir. Yapılan çalışmada en etkili boya giderimi pH 6.0'da, *S.quadricauda* için biyosorpsiyon süresi 69 dakika ve *C.vulgaris* için 90 dakika seçilmiştir. Boya giderimi oranları ise *S.quadricauda* için % 73.49 ve *C.vulgaris* için % 91.61 bulunmuştur.

Baldev vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada *Coelastrella* sp. NTEB001 ile Rhodamine B giderim çalışmaları yapılmıştır. Boya giderim çalışmaları, farklı konsantrasyonlardaki boyanın (100-500 mg/L⁻¹) farklı inkübasyon sürelerindeki giderimi test edilmiştir. Boya giderimi en yüksek oda sıcaklığında % 60 oranında 100 mg/L⁻¹ boya bulunan ortamda gerçekleşmiştir. Farklı biyokütle konsantrasyonunun (%5-20) giderim üzerine etkisi, % 10 olan biyokütle konsantrasyonunda % 70 oranında olduğu tespit edilmiştir. Diğer konsantrasyonlarda çok farklı bir oran bulunmadığından çalışmalara % 10 biyokütle ile devam edilmiştir. Artan sıcaklığın giderime olan etkisi test edildiğinde 20 °C'den 30 °C'ye çıkıldığında giderimde artma, 60 °C'ye çıkıldığında ise azalma tespit edilmiştir. Farklı pH değerlerinin etkisi test edildiğinde ise en yüksek verim pH 8'de % 80 oranında bulunmuştur.

Gupta vd. (2014) tarafından *Nostoc comminutum* ile yapılan biyosorpsiyon çalışmalarında Remazol Black 5 (RB) ve Remazol Brilliant Blue (RBB) olmak üzere iki boya kullanılmıştır. Her iki boya içinde optimum pH değeri 1 olarak belirlenmiştir. Ortamdaki başlangıç boya konsantrasyonu 120 mg/L iken biyokütle konsantrasyonu 0.01 g/L'den 0.05 g/L'ye arttırıldığında, boya adsorpsiyonu Remazol Black 5 için 55.62 mg/g'dan 200.4 mg/g'a; Remazol Brilliant Blue için 38.24 mg/g'dan 155.1 mg/g'a artmıştır. Biyokütle konsantrasyonu 0.05 g/L'den 0.08 g/L'ye arttırıldığında ise adsorpsiyon oranında azalma görülmüştür. Biyosorpsiyonun gerçekleştiği en ideal süre 50 dakika olarak belirlenmiştir. Çalışmada biyokütlenin adsorpsiyon kapasitesini arttırmak için HCl+Ethanol, HNO₃, NaOH ve HCHO+HCOOH kullanılmıştır. Bu

kimyasalların kullanımı ile maksimum adsorpsiyon miktarı Remazol Black 5 için sırasıyla 211.09, 109.17, 72.19 ve 85.19 mg/g iken Remazol Brilliant Blue için sırasıyla 153.46, 82.28, 64.86 ve 71.05 mg/g olmuştur. Kimyasal kullanımı olmadığında ise Remazol Black 5 için maksimum adsorpsiyon miktarı 202.20 mg/g, Remazol Brilliant Blue için 148.20 mg/g sonucuna varılmıştır.

Chia vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada immobilize *Scenedesmus quadricauda* ABU12 ile Indigo Blue giderimi test edilmiştir. Boya gideriminde başlangıç pH etkisini belirlemek için 25 mg/L⁻¹ Indigo Blue ve 0.1 g/L⁻¹ immobilize alg içeren kültür ortamının pH'ı 6.5, 7.5, 8.5 ve 9.5 olarak ayarlanmıştır. Dört günden fazla süre ile pH etkisine bakılmış ve en yüksek verim pH 7.5'te bulunmuştur. Deneyde biyokütle konsantrasyonlarının etkisi (0.1- 1.0 g/L⁻¹), 25 mg/L⁻¹ Indigo Blue içeren ortamda denenmiştir ve en fazla boya giderimi 24 saat sonunda % 69.84 (0.1 g/L⁻¹) ve %65.75 (1.0 g/L⁻¹) olmuştur. Dört güne kadar ise boya giderimi % 100'e tamamlanmıştır. Başlangıç boya konsantrasyonunun etkisini denemek için biyokütle 0.1 g/L⁻¹ ve boya konsantrasyonları 12, 25, 50 ve 75 mg/L⁻¹ seçilmiştir. Boya konsantrasyonu 75 ve 50 mg/L⁻¹ olduğunda yaklaşık % 60 boya giderimi olmuştur. Boya konsantrasyonunun artmasıyla giderim oranı azalmaktadır. Sıcaklık etkisini denemek için deney 25 mg/L⁻¹ boya bulunan ortamda 25 °C, 30 °C, 35 °C ve 40 °C'de yapılmıştır. Boya giderimi ilk 24 saat içinde en hızlı 40 °C'de olmuştur. İkinci günden itibaren en yüksek giderim 25 °C'de gerçekleşmiştir ve buna en yakın sonuç 30 °C'de görülmüştür. Sonuç olarak yüksek sıcaklık, pH ve boya konsantrasyonu *S.quadricauda* ABU12 ile boya giderimini azaltmıştır.

Hernandez-Zamora vd. (2015) yaptığı çalışmada Congo Red boyasının canlı *Chlorella vulgaris* LHE-Chl01 hücreleri ile ortamdan uzaklaştırılması test edilmiştir. Başlangıç boya miktarları 5, 10, 15, 20, 25 mg/L⁻¹ olduğu ortamda 96 saat süren deney sonunda kalan boya miktarı sırasıyla 0.84, 1.88, 3.73, 5.7 ve 10.4 mg/L⁻¹ olmuştur. En yüksek biyogiderim oranı en düşük boya konsantrasyonu olan 5 ve 10 mg/L⁻¹'de görülmüş ve 96 saat sonunda giderim % 83 ve % 81 olmuştur. Diğer boya konsantrasyonlarında (15, 20, 25 mg/L⁻¹) ise sırasıyla % 75, % 72 ve % 58 olmuştur. Farklı başlangıç boya konsantrasyonlarındaki (5, 10, 15, 20, 25 mg/L⁻¹) Congo Red giderimi, ortamdaki

inaktif *Chlorella vulgaris* miktarı 51 mg/L'den 146 mg/L'ye çıkartıldığında artmaktadır. Boya konsantrasyonu 5 mg/L⁻¹'den 25 mg/L⁻¹'ye çıkartıldığında ortamda 51 mg/L⁻¹ inaktif *Chlorella vulgaris* varken boya biyosorpsiyon oranı % 67'den % 32'ye düşmüştür. 73 mg/L⁻¹ için % 73'ten % 44'e, 108 mg/L⁻¹ için % 79'dan % 65'e, 146 mg/L⁻¹ için % 87'den % 74'e düşmüştür. Biyokütle konsantrasyonu 51 mg/L⁻¹, boya konsantrasyonu 5 ve 25 mg/L⁻¹ olduğunda adsorpsiyon kapasitelerinin sırasıyla 52.17 mg/g⁻¹ ve 144.67 mg/g⁻¹ olduğu bulunmuştur.

Pathak vd. (2015) tarafından *Chlorella pyrenoidosa* ile Methylene Blue giderimi çalışılmıştır. Çalışmada % 25, % 50, % 75 ve % 100 gibi çeşitli konsantrasyonlarda atıksu hazırlanmış, biyokütle üretkenliği en yüksek kontrol besiyerinde en düşük ise %100 atıksu içeren ortamda bulunmuştur. Büyüme % 75 atıksu içeren ortama kadar devam ettiği için deneylere bu oran seçilerek devam edilmiştir. Farklı yaş ve kuru biyokütlenin (10, 20, 40 ve 60 mg/L) farklı zaman aralıklarında (10-70 dakika) boya giderimi üzerine etkisi test edilmiştir. En fazla adsorpsiyon kırk beşinci dakikada ortamda 10 mg/L yaş ve kuru biyokütle varken görülmektedir. Kuru biyokütle, yaş biyokütle kullanımı ile kıyaslandığında daha etkili boya giderimine sahip olduğu görülmüştür.

Nautiyal vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada *Spirulina platensis* (AB), aktif karbon (AC), *Spirulina platensis*'ten elde edilen biyolojik kömür (BC) ve transesterifikasyondan sonra kalan algal biyokütle (DB) kullanılarak boya giderimi test edilmiştir. En yüksek adsorpsiyon AC ile daha sonra BC, DB ve AB ile sağlanmıştır. Her durumda boyanın % 75'inden fazlası 10 dakikadan az sürede adsorbe edilmiştir. Adsorbent olarak kullanılan 1 g/100 ml BC çözeltisi kullanılarak başlangıçtaki boya konsantrasyonunda 30 mg/L'den 200 mg/L'ye kadar bir değişimle boya giderimi yapılmıştır. Başlangıçtaki boya konsantrasyonunun 30 mg/L'den 90 mg/L'ye yükselmesiyle, 10 dakika sonunda sırasıyla % 79'dan % 86.90'a boya giderim yüzdesinde bir artış olduğu görülmektedir. Adsorbent miktarı 0.2'den 1 g/100 ml'ye çıkartıldığında, boya gideriminde AB kullanıldığında % 73.4'ten % 75'e, DB kullanıldığında % 74.4'ten % 76.6'ya, BC kullanıldığında % 82.2'den % 83.6'ya ve AC kullanıldığında % 84.4'ten % 86.6'ya doğru artış meydana gelmiştir. Farklı pH

değerlerinin boya giderimi üzerine etkisi test edildiğinde, pH 2'den 10'a doğru arttığında boya giderimi AB için % 79.6'dan % 70.1'e, DB için % 80.2'den % 74.3'e, BC için %84.5'ten %76.2'ye ve AC için % 90.4'ten % 78'e düştüğü bulunmuştur. Bu verilere göre en iyi boya giderimi pH 2 değerinde 90 mg/L boya bulunan ortamda 0.2 g/100 ml adsorbent miktarında olduğu sonucuna varılmıştır.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Mikroalg ve Siyanobakteri gelişme koşulları

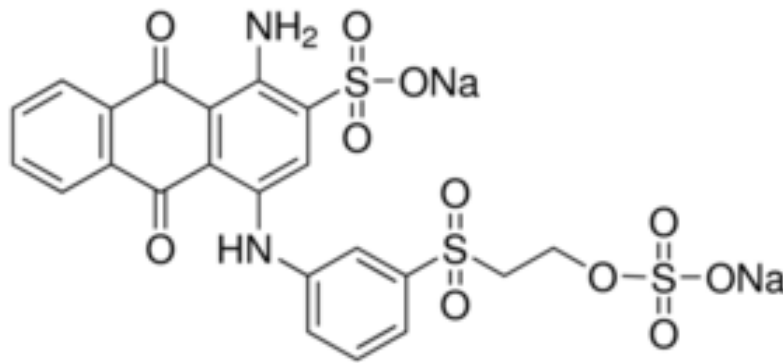
Çalışmada Ayaş, Haymana ve Kızılcahamam kaplıcalarından su örnekleri alınmıştır. Su örneklerinden izole edilen mikroalg ve siyanobakteriler denemelerde kullanılmıştır. Kullanılan mikroorganizmalar BG11 besiyerinde (Rippka vd. 1979) 14 gün boyunca geliştirilmiştir. Steril şartlar altında stok kültürden alınan algler, içerisinde 100 ml BG11 besiyeri bulunan 250 ml'lik steril erlenlere eklenerek 2400lx beyaz floresan ışık altında, laboratuvar şartlarında geliştirilmiştir. Saf kültürler yatık agarlı BG11 besiyerlerinde saklanarak periyodik olarak yenilenmektedir. BG11 besiyerinin içeriği çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 BG11 besiyerinin bileşimi

NaNO ₃	1.5 g
K ₂ HPO ₄	0.04 g
MgSO ₄ x 7H ₂ O	0.075 g
CaCl ₂ x 2H ₂ O	0.036 g
Sitrik asit	0.006 g
Ferrik amonyum sitrat	0.006 g
EDTA (disodium salt)	0.001 g
Na ₂ CO ₃	0.02 g
Agar	10.0 g
A5 solüsyonu	1.0 ml
Distile su	1.0 L
A5 solüsyonu içeriği	
H ₃ BO ₃	2.86 g
MnCl ₂ x 4H ₂ O	1.81 g
ZnSO ₄ x 7H ₂ O	0.222 g
Na ₂ MoO ₄ x 2H ₂ O	0.39 g
CuSO ₄ x 5H ₂ O	0.079 g
Co(NO ₃) ₂ x 6H ₂ O	49.4 mg

3.1.2 Remazol Brilliant Blue R Stok solüsyonunun hazırlanışı

Saf haldeki toz boyadan (Sigma, Germany) 0.2 g tartılarak toplam hacim 1 litreye tamamlanmıştır. Hazırlanan stok boya solüsyonu gerekli seyretmeler yapılarak kullanılmıştır. Şekil 3.1’de Remazol Brilliant Blue R kimyasal yapısı, çizelge 3.2’de Remazol Brilliant Blue R kimyasal özellikleri gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Remazol Brilliant Blue R kimyasal yapısı (<http://www.sigmaaldrich.com>, 2017)

Çizelge 3.2 Remazol Brilliant Blue R kimyasal özellikleri (<http://www.sigmaaldrich.com>, 2017).

Özellikler	
Kimyasal Formülü	$C_{22}H_{16}N_2Na_2O_{11}S_3$
Diğer İsimleri	Reactive Blue 19; Remazol brilliant blue R; C.I. Reactive Blue 19; Remalan Brilliant Blue R; Cavalite Brilliant Blue R
Molar Ağırlığı	$626.53 \text{ g/mol}^{-1}$

3.2 Yöntem

3.2.1 Saf Mikroalg ve Siyanobakteri eldesi

Deneylerde kullanılmak üzere Ayaş, Haymana ve Kızılcahamam’dan sıcak su örnekleri alınmıştır. Su örnekleri BG11 besiyeri bulunan erlenlere ekilmiştir. Besiyerinde gelişme

görüldükten sonra aktif karışık mikroalg ve siyanobakteri kültüründen katı besiyerlerine (BG11) ekimler yapılmıştır. İnkübasyon süresi sonunda morfolojik olarak farklı bulunan suşlar seçilerek tekrar katı besiyerlerine ekimler yapılmış ve saflaştırma işlemi tamamlanmıştır. Morfolojik olarak farklı görülen koloniler mikroskopta da incelenmiş ve 13 adet suş aksenik olarak izole edilmiştir. Bu suşlar KA, KD, KE, KF, KG, KL, HA, HB, HD, HE, HLB, N2F ve S9E olarak kodlandırılmıştır.

3.2.2 Mikroalg ve Siyanobakteri kültür seçimi

Boya içeren (10 mg/L) BG11 besiyerinde geliştirilen örneklerden en iyi giderim yapabilen suşların seçimi bu aşamada sağlanmıştır. Çoğaltılan bu örneklerin boya bulunan besiyerinde gelişimleri incelenmiştir. KA, KE, HA ve S9E suşları iyi gelişim gösterdikleri için çalışmalarda kullanılmak üzere seçilmiştir.

3.2.3 Biyogiderim çalışmaları

Elde edilen izolatların BG11 besiyerinde en yüksek boya biyogiderimi gerçekleştirdiği koşulların belirlenmesi için farklı pH, başlangıç boya konsantrasyonu, başlangıç mikroorganizma yoğunluğunun boya giderimine etkisi test edilmiştir. Biyogiderim çalışmaları, 250 ml'lik erlenlerdeki 100 ml'lik BG11 besiyerinde, 2400lx beyaz floresan ışık altında, 12 gün boyunca gerçekleştirilmiştir.

3.2.3.1 Başlangıç pH değerinin biyogiderime etkisi

RBBR gideriminin optimum olduğu pH değerini belirlemek için, pH değerleri 6, 7, 8 ve 9 olacak şekilde 1M NaOH ve 1M HCl çözeltileri ile ayarlanmış BG11 besiyerleri kullanılmıştır. RBBR konsantrasyonu 45.5 mg/L olacak şekilde hazırlanan besiyerlerine, aynı ortamlarda aktifleştirilmiş kültürden % 20 (v/v) ekim yapılmıştır. İnkübasyon süresinin sonunda (12 gün) boya gideriminin en yüksek olduğu pH her izolat için belirlenmiştir.

3.2.3.2 Başlangıç boya konsantrasyonunun biyogiderime etkisi

Remazol Brilliant Blue R boyasının artan konsantrasyonlarının biyogiderime olan etkisini belirlemek için başlangıç boya konsantrasyonları sırası ile 90.9 mg/L, 136.4 mg/L ve 181.8 mg/L olacak şekilde ayarlanmış, optimum pH değerinde (pH 7) hazırlanan, BG11 besiyerleri kullanılmıştır. Aynı ortamlarda aktifleştirilmiş kültürden % 20 (v/v) ekim yapılmıştır ve 12 günlük inkübasyon süresinin sonunda boya giderimi her izolat için belirlenmiştir.

3.2.3.3 Başlangıç biyokütle konsantrasyonunun biyogiderime etkisi

Başlangıç biyokütle konsantrasyonunun biyogiderime etkisini belirlemek amacıyla boya konsantrasyonu 181.8 mg/L olacak şekilde hazırlanan BG11 besiyerlerine % 10 (v/v), % 20 (v/v), % 30 (v/v) ve % 40 (v/v) olacak şekilde biyokütle eklenmiştir. Inkübasyon süresinin sonunda boya giderimi her izolat için belirlenmiştir.

3.2.4 Biyosorpsiyon çalışmaları

Çalışmada elde edilen saf kültürlerden S9E ile biyosorpsiyon denemeleri yapılmıştır. Bu amaçla farklı pH, başlangıç boya ve biyokütle konsantrasyonlarının biyosorpsiyona etkisi araştırılmıştır.

Çalışmada kullanılan biyokütle eldesi için mikroorganizma 250 ml'lik erlenlerdeki pH'ı 7 olan 100 ml BG11 de 2400lx beyaz floresan ışık altında, 14 gün boyunca geliştirilmiştir. Inkübasyon süresi sonunda kültürlerin 5000 rpm'de 10 dakika santrifüj edilmeleriyle elde edilen biyokütle, liyofilizatörde kurutulmuş ve biyosorpsiyon çalışmaları için kullanılmıştır.

Biyosorpsiyon deneyleri, başlangıç biyokütle konsantrasyonu 1 g/L kuru ağırlık olacak şekilde 100 ml'lik ortamlara eklenerek gerçekleştirilmiştir.

Deneysel süreçte erlenler, 30 °C’de 100 rpm karıştırma hızındaki çalkalayıcıda belirli aralıklarla örnek alınarak 24 saat inkübe edilmiştir (NB-205V, Korea). Örneklerin 5000 rpm’de 10 dakika santrifüj edilmeleriyle elde edilen süpernatant kullanılarak kalan boya miktarı spektrofotometrik olarak ölçülmüş ve biyosorpsiyon aktivitesine bakılmıştır.

3.2.4.1 Başlangıç pH değerinin biyosorpsiyona etkisi

Biyosorpsiyon çalışması pH’ı 4, 5, 6, 7, 8 ve 9 değerlerindeki, boya konsantrasyonu 102.3 mg/L olacak şekilde 150 ml’lik erlenlerde 50 ml’lik hazırlanan besiyerlerinde yapılmıştır.

3.2.4.2 Başlangıç boya konsantrasyonunun biyosorpsiyona etkisi

RBBR artan konsantrasyonlarının biyosorpsiyona olan etkisini belirlemek için başlangıç boya konsantrasyonları sırası ile 102.3 mg/L, 136.4 mg/L ve 199.1 mg/L olacak şekilde ayarlanmış, biyosorpsiyonun en iyi gerçekleştiği pH değerinde hazırlanan 50 ml’lik BG11 besiyerleri kullanılmıştır.

3.2.4.3 Başlangıç biyokütle konsantrasyonunun biyosorpsiyona etkisi

Başlangıç biyokütle konsantrasyonunun biyosorpsiyona olan etkisini belirlemek için başlangıç boya konsantrasyonu 102.3 mg/L ve başlangıç biyokütle konsantrasyonu sırası ile % 5 (v/v), % 10 (v/v), % 20 (v/v), % 30 (v/v) ve % 40 (v/v) olacak şekilde ayarlanmış, pH’ı 9 olan BG11 besiyerleri kullanılmıştır.

3.2.5 Analiz yöntemleri

3.2.5.1 Optik yoğunluğun belirlenmesi (OD)

İnkübasyon süresi boyunca erlenlerden belirli zaman aralıklarında alınan örnekler, 5000 rpm’de 10 dakika santrifüjlenmiştir (Hettich EBA12, Germany). Pellet distile su ile

tamamlanmış ve gerekli seyreltmeler yapılarak optik yoğunluk, 600 nm dalga boyunda spektrofotometrik (UV-120V, SHIMADZU, Japan) olarak belirlenmiştir.

3.2.5.2 Kuru ağırlığın belirlenmesi

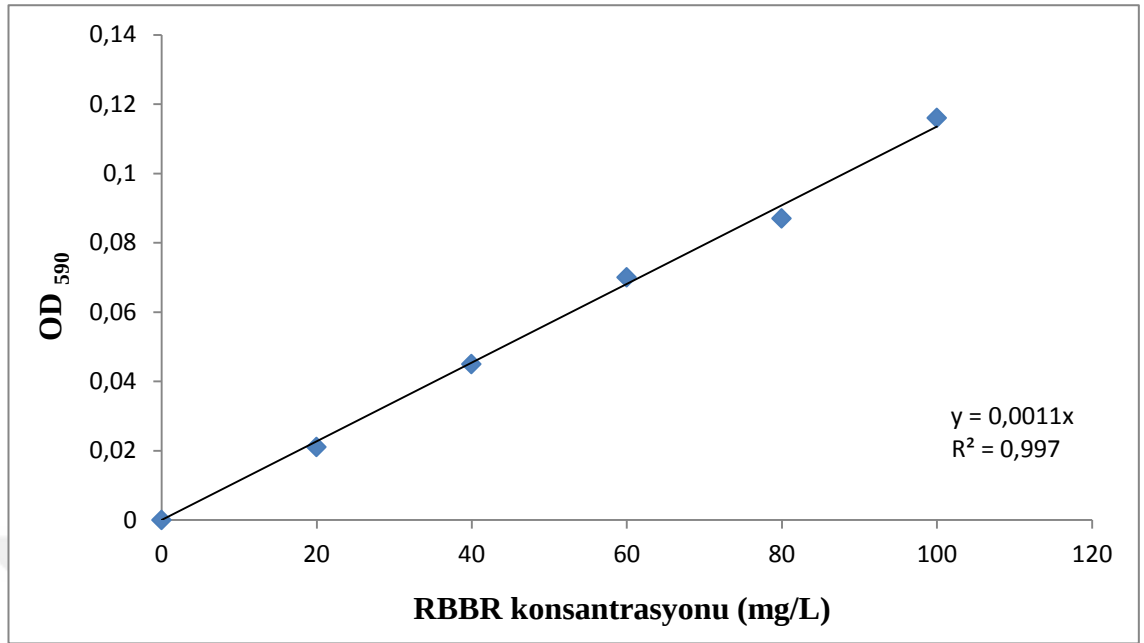
Optik yoğunluğu tespit edilmiş örnekler, boş ağırlığı alınmış alüminyum folyolara alınarak etüvde (FN 400, Nüve) 100 °C’de 12 saat kurutulmuş ve tartılmıştır.

3.2.5.3 Remazol Brilliant Blue R analizi

RBBR analizinde belli zamanlarda alınan örnekler, 5000 rpm’de 10 dakika santrifüjlendikten sonra süpernatantın 590 nm dalga boyunda spektrofotometrik (UV-120V, SHIMADZU, Japan) olarak ölçülmesi ile gerçekleştirilmiştir.

3.2.5.4 RBBR standartının hazırlanması

RBBR standartının hazırlanması amacı ile 20-100 mg/L aralığında RBBR konsantrasyonu içeren 25 ml’lik beş adet balon jojede BG11 besiyeri hazırlanmıştır. Standardı bulmak amacı ile hazırlanan bu ortamlar 590 nm’de spektrofotometrik olarak ölçülmüştür ve sonuçlardan yararlanılarak eğim belirlenmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 RBBR (Remazol Brilliant Blue R) standardı

3.2.6 Sonuçların değerlendirilmesi ve kullanılan kısaltmalar

C_0 = Başlangıç boya miktarı (mg/L).

C_{gid} = Mikroorganizmaların ortamdan uzaklaştırdığı boya miktarı (mg/L).

$$\% \text{ biyogiderim} = \left[\frac{(C_0 - C_f)}{C_0} \right] \times 100$$

q_m = Mikrobiyel kütlenin gramı başına biriktirilen boya miktarı (mg/g).

$$q_m = C_{gid} / X$$

X = Mikroorganizmaların kuru ağırlığı (g/L).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Tez çalışmasında, farklı kaplıca sularından elde edilen izolatlar kullanılarak RBBR biyogiderim kapasiteleri araştırılmıştır. İzolatların boya biyogideriminde ortam pH'sının, artan boya ve biyokütle konsantrasyonlarının etkisi belirlenmiştir. Daha sonra S9E izolatı ile biyosorpsiyon çalışmaları da yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda ortam pH'sının, artan boya ve biyokütle konsantrasyonlarının biyosorpsiyona olan etkisi araştırılmıştır.

4.1 Saf Kültürler, RBBR Giderim Kapasiteleri ve Tanımları

Deneylerde kullanılmak için izole edilen suşlar 250 ml'lik erlenlere içerisinde 10 mg/L boyar madde içeren 100 ml sıvı BG11 besiyerlerine % 10 (v/v) olacak şekilde ekilmiştir. İnkübasyon süresinin sonunda izolatların boya giderim sonuçları çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Elde edilen saf kültürlerin RBBR biyogiderimleri

Algal izolat	% Biyogiderim
KA	100
KD	45.5
KE	100
KF	-
KG	36.4
KL	36.4
HA	100
HB	-
HD	-
HE	36.4
HLB	-
N2F	45.5
S9E	100

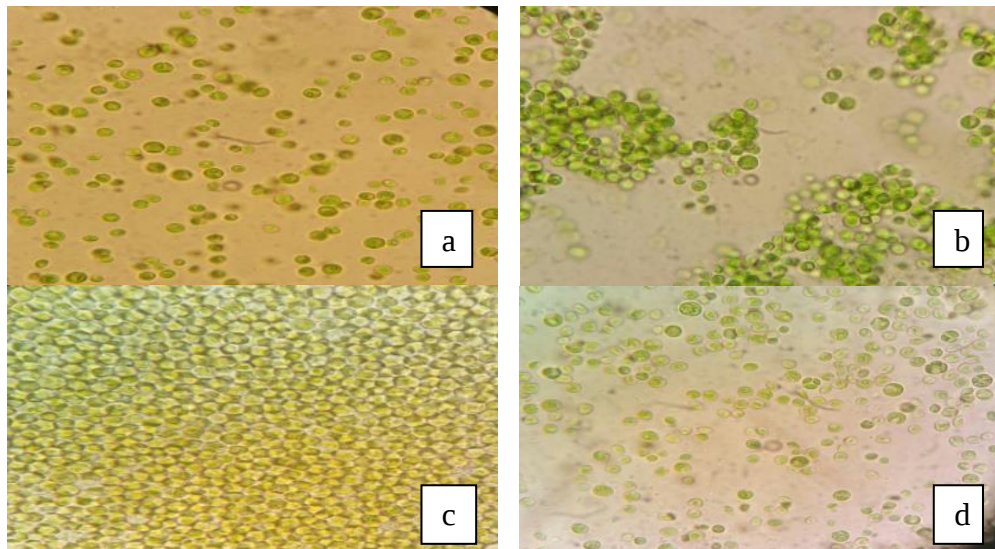
Saf kültürlerin RBBR biyogiderim verimleri incelendiğinde en yüksek giderimin KA, KE, HA ve S9E suşları ile % 100 oranında olduğu görülmüştür. Bu nedenle bundan

sonraki çalışmalara KA, KE, HA ve S9E izolatları ile devam edilmiştir. Tez çalışmasında 13 adet saf kültür elde edilmiştir. Bu kültürlerin bazı morfolojik özellikleri çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Elde edilen saf kültürlerin morfolojik özellikleri

İzolat	Şekil	Renk	Büyüklik (µm)	Kaynak
KA	Yuvarlak	Yeşil	5x5	Kızılcahamam
KD	Çubuk	Yeşil	5x4.5	Kızılcahamam
KE	Yuvarlak	Açık Yeşil	5x5	Kızılcahamam
KF	Yuvarlak	Yeşil	4x4	Kızılcahamam
KG	Çubuk	Yeşil	5x4.5	Kızılcahamam
KL	Çubuk	Açık Yeşil	4x4	Kızılcahamam
HA	Yuvarlak	Açık Yeşil	4.5x4.5	Haymana
HB	Çubuk	Açık Yeşil	3x3.5	Haymana
HD	Filament	Yeşil	1 (en)	Haymana
HE	Filament	Yeşil	1.5 (en)	Haymana
HLB	Filament	Yeşil	2 (en)	Haymana
N2F	Yuvarlak	Açık Yeşil	5x5	Kızılcahamam
S9E	Yuvarlak	Açık Yeşil	6x6	Ayaş

Bunlardan HA, Haymana kaplıca sularından, KA ve KE Kızılcahamam kaplıca sularından, S9E ise Ayaş kaplıca sularından izole edilmiştir. Şekil 4.1’de ise çalışmada kullanılan saf kültürlerin ışık mikroskopunda çekilmiş fotoğrafları verilmiştir.

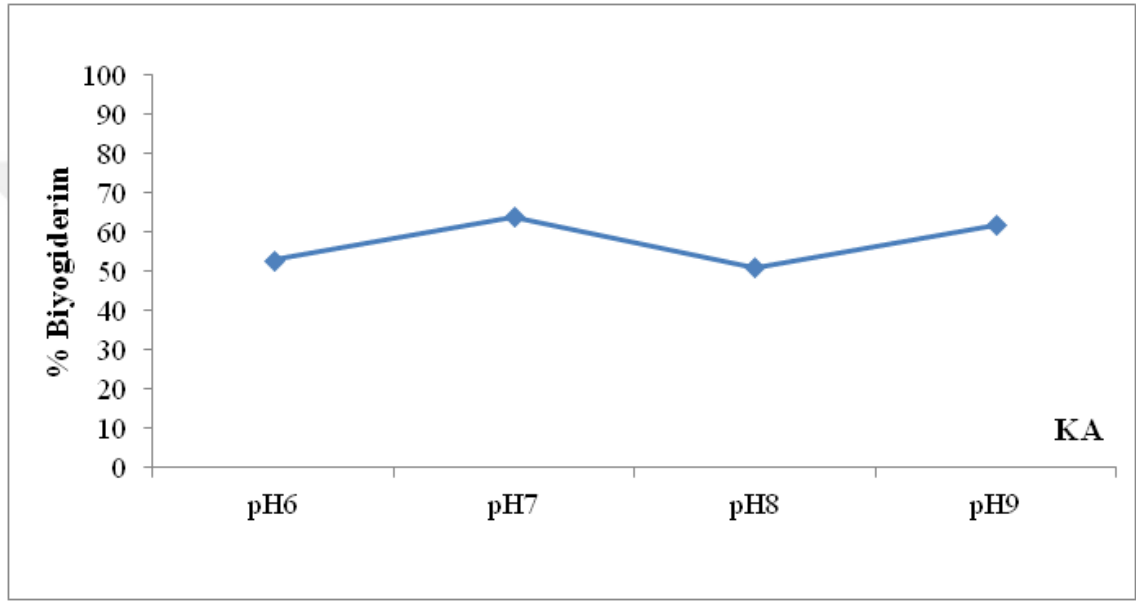


Şekil 4.1 a. KA, b. KE, c. HA ve d. S9E suşlarının ışık mikroskopunda çekilmiş resimleri

4.2 Biyogiderim Çalışmaları

4.2.1 Başlangıç pH değerinin biyogiderime etkisi

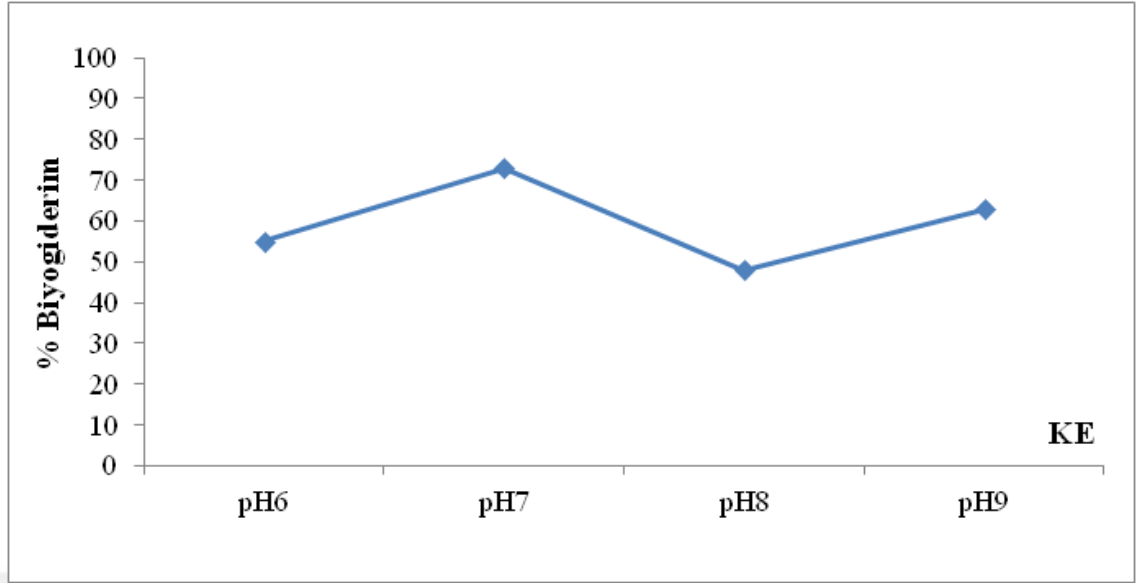
Başlangıç pH değerlerinin biyogiderime etkisi 45.5 mg/L boya içeren BG11 besiyerlerinde araştırılmıştır.



Şekil 4.2 Başlangıç pH değerinin KA suşunun boya giderimi üzerine etkisi

(Co: 45.5 mg/L, İnkübasyon süresi: 12 gün, T: 25±2 °C, Işık şiddeti: 2400lx, Biyokütle konsantrasyonu %20 (v/v))

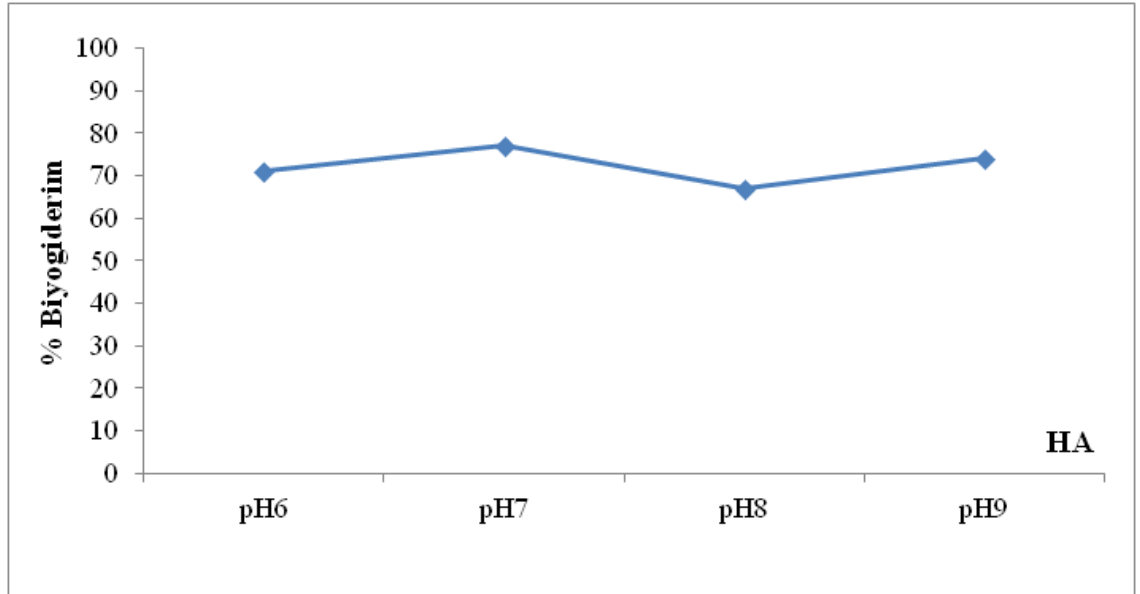
KA suşu pH 6'da % 53, pH 8'de % 51 boya giderimi gerçekleştirirken, pH derecesi 9 olan ortamdaki boyayı % 62; pH'ı 7 olan ortamda ise % 64 verimle uzaklaştırmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.3 Başlangıç pH değerinin KE suşunun boya giderimi üzerine etkisi

(Co: 45.5 mg/L, İnkübasyon süresi: 12 gün, T: 25±2 °C, Işık şiddeti: 2400lx, Biyokütle konsantrasyonu %20 (v/v))

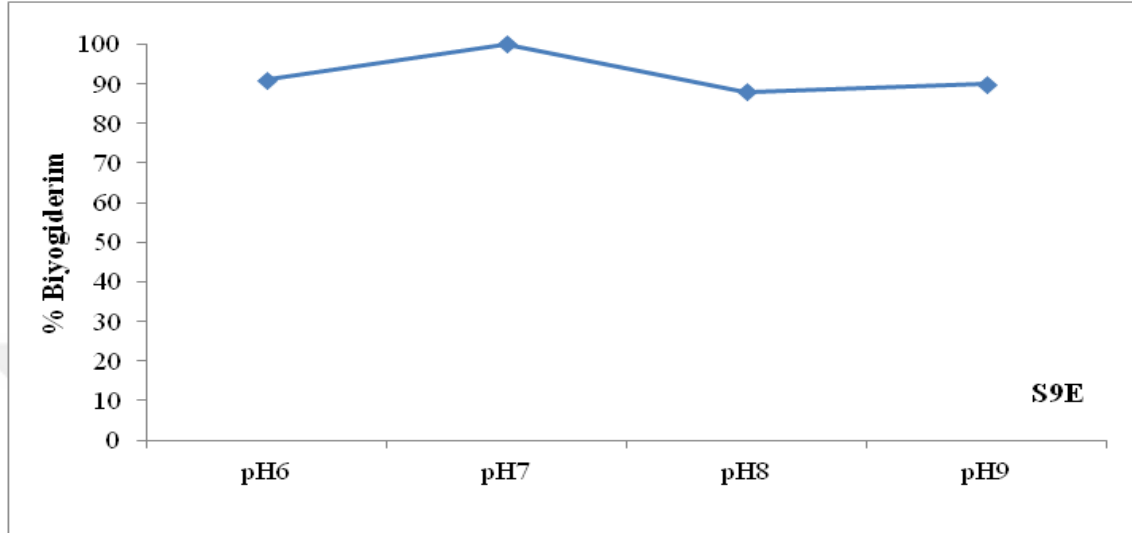
KE suşu ile yapılan denemelerde ortam pH'ı 6 olduğunda boya gideriminin % 55, pH 8 olduğunda %48, pH 9 olduğunda ise % 63 olduğu görülmüştür. BG11 besiyeri pH'ı 7 olduğunda aynı suş RBBR'yi % 73 oranında ortamdan uzaklaştırmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.4 Başlangıç pH değerinin HA suşunun boya giderimi üzerine etkisi

(Co: 45.5 mg/L, İnkübasyon süresi: 12 gün, T: 25±2 °C, Işık şiddeti: 2400lx, Biyokütle konsantrasyonu %20 (v/v))

HA suşu ortam pH'ı 6 olduğunda RBBR'yi % 71, pH 8 olduğunda % 67, BG11 besiyeri pH'ı 9 olduğunda ortamdaki kirleticiyi % 74, besiyeri pH'ı 7 olduğunda ise ortamdaki boyayı % 77 verimle uzaklaştırmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.5 Başlangıç pH değerinin S9E suşunun boya giderimi üzerine etkisi

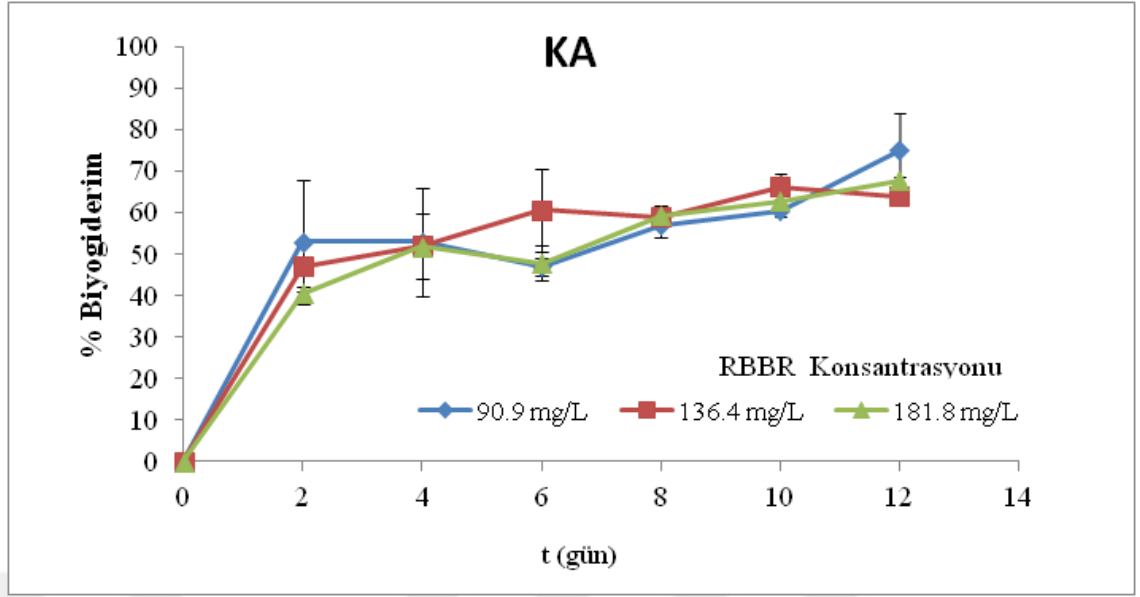
(Co: 45.5 mg/L, İnkübasyon süresi: 12 gün, T: 25±2 °C, Işık şiddeti: 2400 lx, Biyokütle konsantrasyonu %20 (v/v))

S9E suşu BG11 besiyeri pH'ı 6 olduğunda % 91, pH 8 olduğunda % 88 boya giderimi gerçekleştirirken, pH 9'da RBBR'yi % 90 verimle; ortam pH'ı 7 olduğunda ise boyayı % 100 uzaklaştırmıştır (Şekil 4.5).

Bu denemeler sonucunda 12 günlük inkübasyon süresi sonunda tüm alg izolatları için biyogiderimin yapıldığı optimum pH 7 olarak bulunmuştur. Bu nedenle daha sonraki çalışmalara pH'ı 7'ye ayarlanan BG11 besiyerleri ile devam edilmiştir.

4.2.2 Başlangıç boya konsantrasyonunun biyogiderime etkisi

Farklı başlangıç boya konsantrasyonlarının biyogiderime etkisini belirlemek için pH'ı 7'ye ayarlanan ve 90.9 mg/L, 136.4 mg/L ve 181.8 mg/L boya içeren BG11 besiyerlerinde deneyler yapılmıştır.

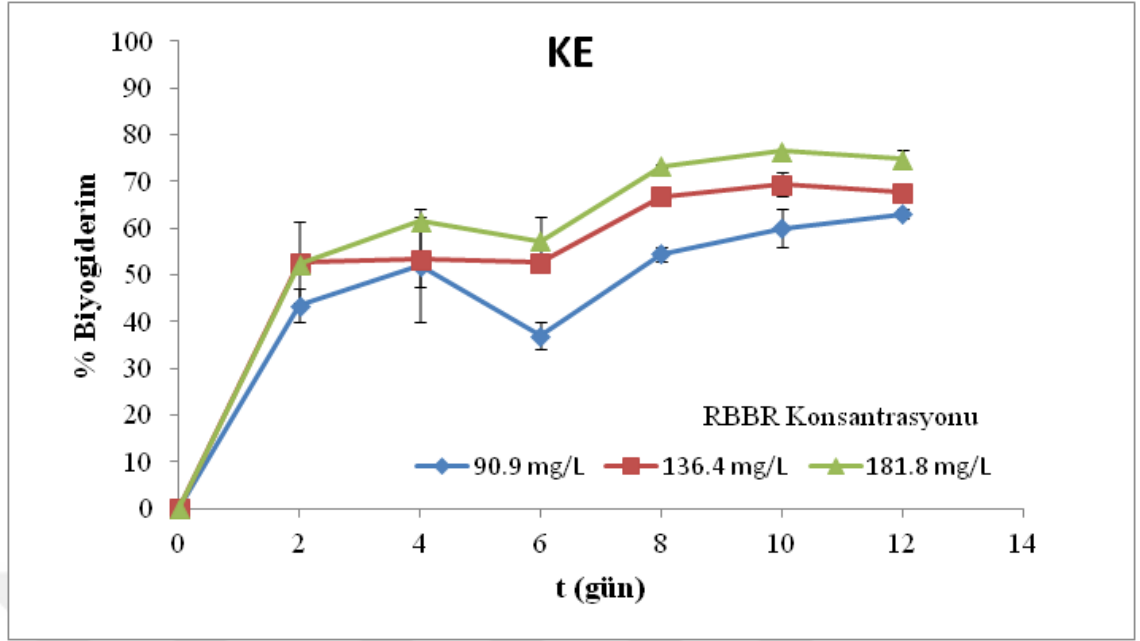


Şekil 4.6 Başlangıç RBBR konsantrasyonunun KA suşunun boya giderimi üzerine etkisi (pH: 7, İnkübasyon süresi: 12 gün, T: 25±2 °C, Işık şiddeti: 2400lx, Biyokütle konsantrasyonu %20 (v/v))

Şekil 4.6’da özetlenen verilere göre KA suşu ile yapılan denemelerde, ortamda bulunan 90.9 mg/L boya konsantrasyonu inkübasyon süresinin ikinci gününde % 53 oranında, sekizinci gününde % 57, son gününde ise en yüksek verimle (% 75) ortamdan uzaklaştırılmıştır.

Boya konsantrasyonu 136.4 mg/L’ye çıkarıldığında inkübasyon süresinin ikinci gününde % 47 oranında RBBR giderimi gerçekleşmiştir. İnkübasyon süresinin sekizinci gününde ortama uygulanan RBBR’nin % 59’u ortamdan uzaklaştırılmıştır. İnkübasyon süresinin sonunda ise % 64 verimle boya giderimi olmuştur.

BG11 besiyerindeki boya konsantrasyonu 181.8 mg/L olduğunda ise inkübasyon süresinin ilk iki gününde % 40.5 oranında RBBR ortamdan uzaklaştırılmıştır. İnkübasyon süresinin altıncı ve sekizinci günlerinde RBBR giderimi sırasıyla % 47.8 ve % 59.3 iken inkübasyon süresi sonunda giderim verimi % 67.8 olmuştur.

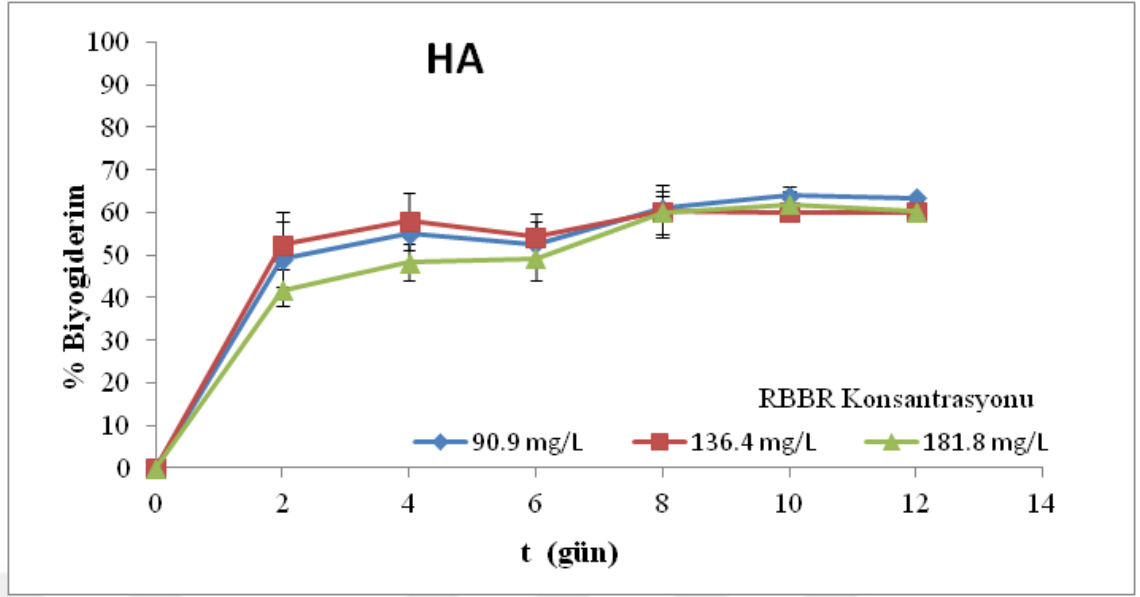


Şekil 4.7 Başlangıç RBBR konsantrasyonunun KE suşunun boya giderimi üzerine etkisi (pH: 7, İnkübasyon süresi: 12 gün, T: 25±2 °C, Işık şiddeti: 2400lx, Biyokütle konsantrasyonu %20 (v/v))

Şekil 4.7’de KE suşu ile yapılan denemelerin sonuçları verilmiştir. KE suşu 90.9 mg/L RBBR içeren ortamda inkübasyon süresinin ikinci gününde % 43.5 oranında, sekizinci gününde % 54.5, son gününde ise % 63 oranında boyayı uzaklaştırmıştır.

RBBR konsantrasyonu 136.4 mg/L’ye çıkarıldığında ise inkübasyon süresinin ikinci gününde % 52.7 oranında RBBR giderimi gerçekleşmiştir. KE suşu inkübasyon süresinin sekizinci gününde ortama uygulanan boyanın % 66.7’sini ortamdan uzaklaştırmıştır. İnkübasyon süresinin son gününde ise en yüksek verimle % 67.7 giderim sağlanmıştır.

BG11 besiyerindeki boya konsantrasyonu 181.8 mg/L olduğunda ise inkübasyon süresinin ilk iki gününde % 52.3 oranında, altıncı ve sekizinci günlerinde % 57.3 ve % 73.3 oranında, inkübasyon süresinin son gününde ise en yüksek verimle (% 74.8) ortamdan RBBR uzaklaştırılmıştır.

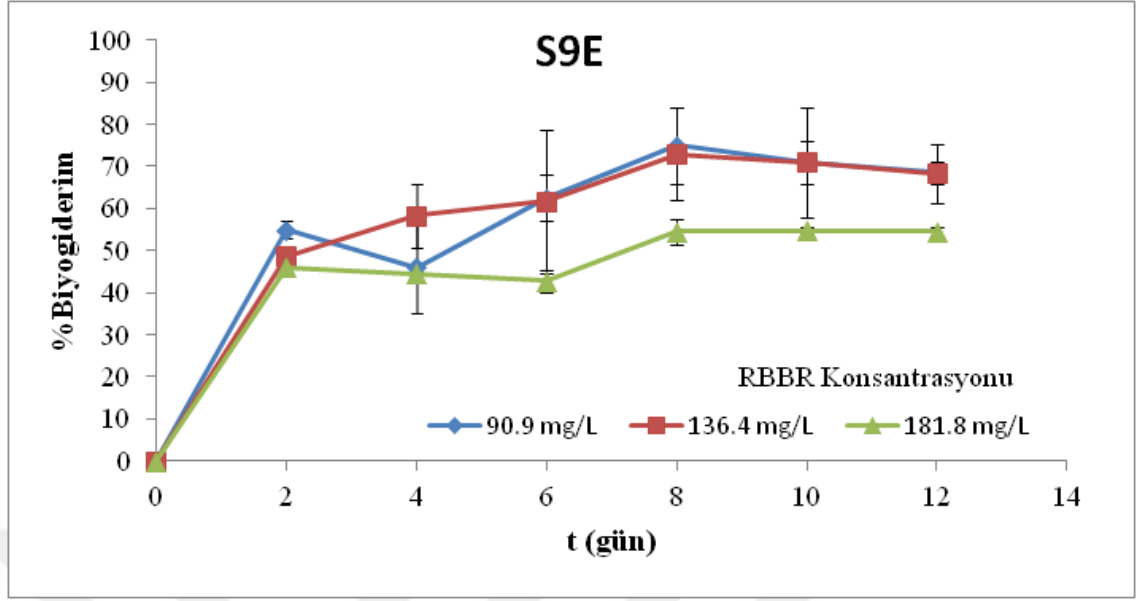


Şekil 4.8 Başlangıç RBBR konsantrasyonunun HA suşunun boya giderimi üzerine etkisi (pH: 7, İnkübasyon süresi: 12 gün, T: 25±2 °C, Işık şiddeti: 2400lx, Biyokütle konsantrasyonu %20 (v/v))

Şekil 4.8’de HA suşu ile yapılan denemelerde elde edilen sonuçlar gösterilmektedir. Mikroorganizma inkübasyon süresi boyunca ortamda bulunan 90.9 mg/L boya konsantrasyonunu deneyin ikinci gününde % 49, sekizinci gününde % 61 oranında uzaklaştırırken son gününde ise en yüksek verimle (% 63.5) ortamdan uzaklaştırmıştır.

Boya konsantrasyonu 136.4 mg/L’ye çıkartıldığında inkübasyon süresinin ikinci gününde % 52.3 oranında RBBR giderimi gerçekleşmiştir. İnkübasyon süresinin sekizinci gününde ortama uygulanan RBBR’nin % 60.3’ü uzaklaştırılırken inkübasyon süresinin son gününde % 60 giderim sağlanmıştır.

BG11 besiyerindeki boya konsantrasyonu 181.8 mg/L olduğunda ise inkübasyon süresinin ilk iki gününde % 41.8 oranında RBBR ortamdan uzaklaştırılmıştır. İnkübasyon süresinin altıncı ve sekizinci günlerinde RBBR giderimi sırasıyla % 49.3 ve % 60 iken inkübasyon süresinin sonunda boya giderimi % 60.3 olmuştur.



Şekil 4.9 Başlangıç RBBR konsantrasyonunun S9E suşunun boya giderimi üzerine etkisi
(pH: 7, İnkübasyon süresi: 12 gün, T: 25±2 °C, Işık şiddeti: 2400lx, Biyokütle konsantrasyonu %20 (v/v))

Şekil 4.9'da S9E suşu ile yapılan denemelerin sonucu verilmiştir. S9E suşu artan boya konsantrasyonlarında ortamda bulunan 90.9 mg/L boya konsantrasyonunu inkübasyon süresinin ikinci gününde % 55, sekizinci gününde % 75 oranında ve son gününde % 68.5 verimle ortamdaki boyayı uzaklaştırmıştır.

Ortamdaki boya konsantrasyonu 136.4 mg/L olduğunda inkübasyon süresinin ikinci gününde % 48.7 oranında RBBR giderimi gerçekleşmiştir. İnkübasyon süresinin sekizinci gününde ortama uygulanan boyanın % 73'ü ortamdaki boyayı uzaklaştırmıştır. İnkübasyon süresinin sonunda ise % 68.3 giderim sağlanmıştır.

BG11 besiyerindeki boya konsantrasyonu 181.8 mg/L olduğunda ise inkübasyon süresinin ilk iki gününde % 46 oranında RBBR ortamdaki boyayı uzaklaştırmıştır. İnkübasyon süresinin altıncı ve sekizinci günlerinde RBBR giderimi sırasıyla % 42.8 ve % 54.5 iken inkübasyon süresinin sonunda verim % 54.5 olmuştur.

Çizelge 4.3'te artan boya konsantrasyonlarında S9E suşunun 1 gram biyokütlesi başına giderilen RBBR miktarları gösterilmiştir. Boya konsantrasyonu 90.9 mg/L olduğu

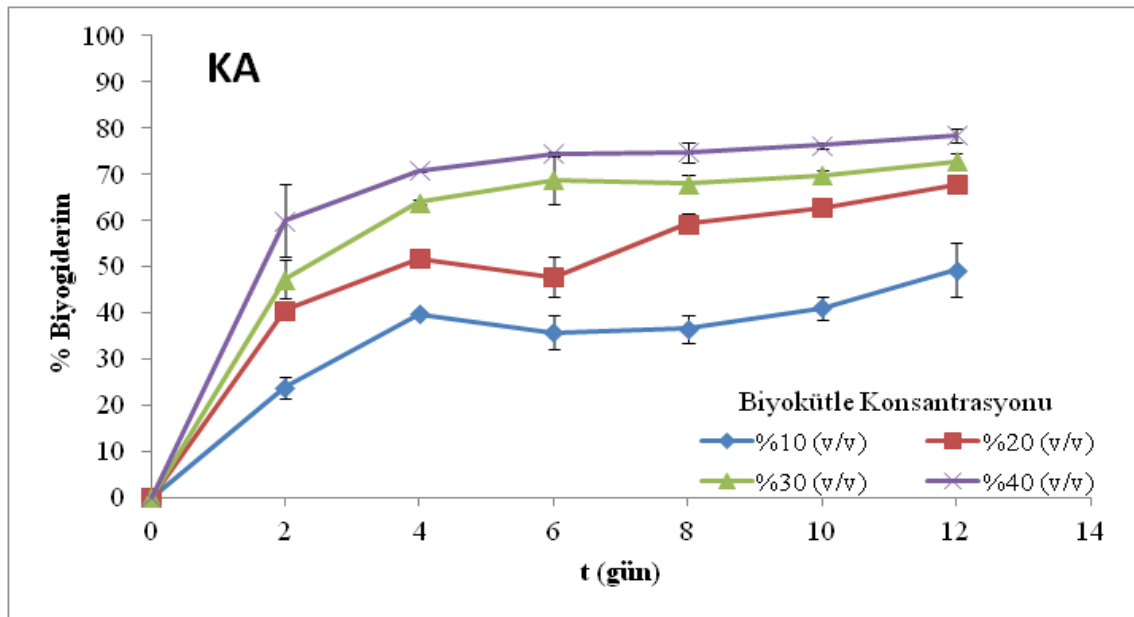
ortamda q_m 76.8 mg/g olarak bulunmuştur. Ortamdaki boya konsantrasyonu 136.4 mg/L olduğunda 1 gram biyokütle başına giderilen boya miktarı 115.9 mg/g olmuştur. RBBR konsantrasyonu 181.8 mg/L olduğunda q_m 173.4 mg/g bulunmuştur.

Çizelge 4.3 Artan boya konsantrasyonlarında S9E'nin maksimum spesifik RBBR giderimleri

C_o (mg/L)	C_{gid}	q_m (mg/g)
90.9	62.3±2.3	76.8±0.9
136.4	93.2±9.5	115.9±1.8
181.8	149.1±7.3	173.4±0.4

4.2.3 Başlangıç biyokütle konsantrasyonunun biyogiderime etkisi

Bu denemelerde başlangıç biyokütle konsantrasyonunun biyogiderime olan etkisini belirlemek için 181.8 mg/L boya konsantrasyonu içeren BG11 besiyeri hazırlanmıştır.



Şekil 4.10 Artan biyokütle konsantrasyonunun KA suşunun RBBR giderimine etkisi

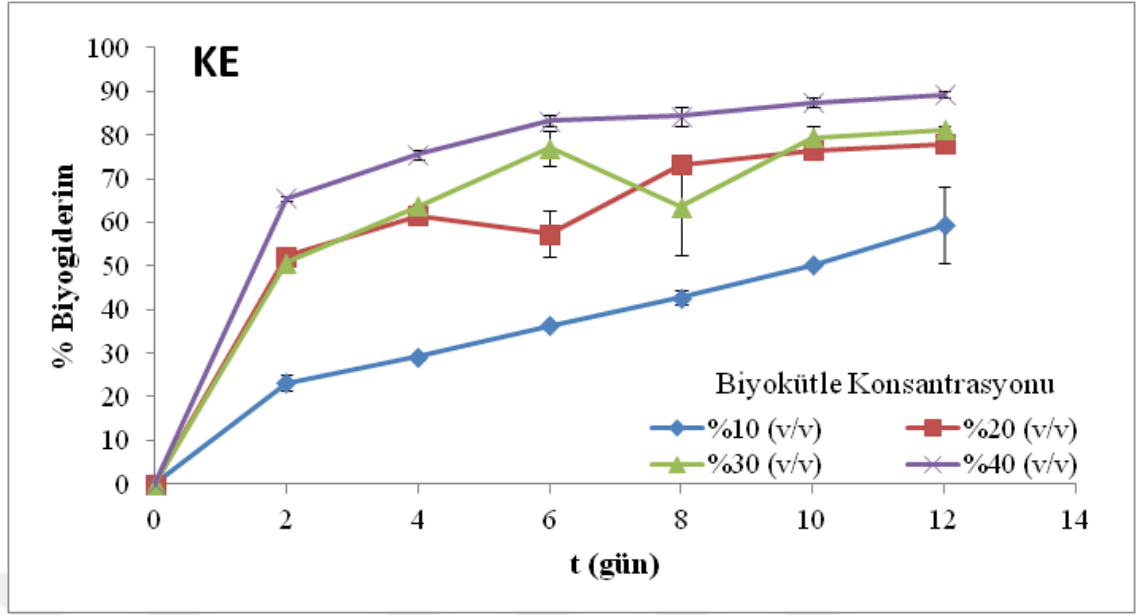
(C_o : 181.8 mg/L, pH: 7, İnkübasyon süresi: 12 gün, T: 25±2 °C, Işık şiddeti: 2400lx)

Artan biyokütle konsantrasyonlarının KA suşunun RBBR giderimine etkisi şekil 4.10'da özetlenmiştir. Boya konsantrasyonu 181.8 mg/L olacak şekilde hazırlanan BG11 besiyerinden 250 ml'lik erlenlerde 100 ml'lik besiyerinde % 10 (v/v) ekim yapılmıştır. Denemelerde, inkübasyon süresinin ikinci gününde % 23.8 verimle RBBR giderimi gözlenmiştir. İnkübasyon süresi sonunda ortama uygulanan boyanın % 49.3'ü uzaklaştırılmıştır.

Biyokütle konsantrasyonu % 20'ye (v/v) çıkartıldığında, boya giderimi inkübasyon süresinin ikinci gününde % 40.5 oranında, sekizinci gününde % 59.3 verimle gerçekleşmiştir. İnkübasyon süresinin sonunda boya giderimi % 67.8 olmuştur.

BG11 besiyerindeki biyokütle konsantrasyonu % 30 (v/v) olduğunda, inkübasyon süresinin ikinci gününde boya giderimi % 47.3 oranında, sekizinci gününde % 68 verimle gerçekleşmiştir. İnkübasyon süresinin son gününde ise boyanın % 72.8'i ortamdan uzaklaştırılmıştır.

Biyokütle konsantrasyonu en yüksek oranda (% 40 (v/v)) kullanıldığında ise inkübasyon süresinin ikinci gününde RBBR giderimi % 60 ve sekizinci gününde % 74.8 verimle gerçekleşmiştir. İnkübasyon süresinin dördüncü ve altıncı günlerinde RBBR giderimleri sırasıyla % 70.8 ve % 74.5 olmuştur. İnkübasyon süresinin son gününde % 78.5 giderim sağlanmıştır.



Şekil 4.11 Artan biyokütle konsantrasyonunun KE suşunun RBBR giderimine etkisi
(Co: 181.8 mg/L, pH: 7, İnkübasyon süresi: 12 gün, T: 25±2 °C, Işık şiddeti: 2400lx)

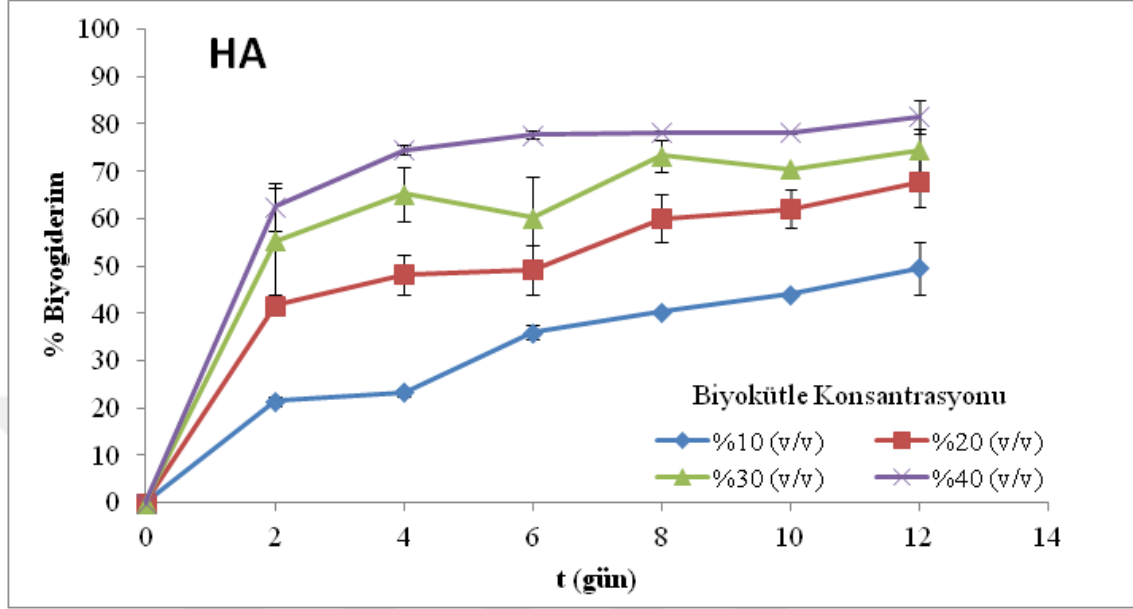
Artan biyokütle konsantrasyonlarının KE suşunun RBBR giderimine etkisi şekil 4.11’de özetlenmiştir. KE suşunun konsantrasyonu % 10 (v/v) olduğunda, inkübasyon süresinin ikinci gününde % 23.3 oranında RBBR giderimi gözlenmiştir. İnkübasyon süresinin sonunda ortama uygulanan boyanın % 59.3’ü ortamdan uzaklaştırılmıştır.

Biyokütle konsantrasyonu % 20 (v/v) olduğunda, boya giderimi inkübasyon süresinin ikinci gününde % 52.3, sekizinci gününde % 73.3 verimle gerçekleşmiştir. İnkübasyon süresinin son gününde ise verim % 78 olmuştur.

BG11 besiyerindeki biyokütle konsantrasyonu % 30’a (v/v) çıkartıldığında, inkübasyon süresinin ikinci gününde boya giderimi % 50.8, sekizinci gününde % 63.5 verimle gerçekleşmiştir. İnkübasyon süresinin son gününde % 81.3 verimle boya giderimi olmuştur.

Biyokütle konsantrasyonu en yüksek oranda (% 40 (v/v)) kullanıldığında ise RBBR inkübasyon süresinin ikinci gününde % 65.5 ve sekizinci gününde % 84.3 verimle ortamdan uzaklaştırılmıştır. İnkübasyon süresinin dördüncü ve altıncı günlerinde RBBR

giderimleri sırasıyla % 75.5 ve % 83.3 olmuştur. İnkübasyon süresinin son gününde ise % 89.3 giderim sağlanmıştır.



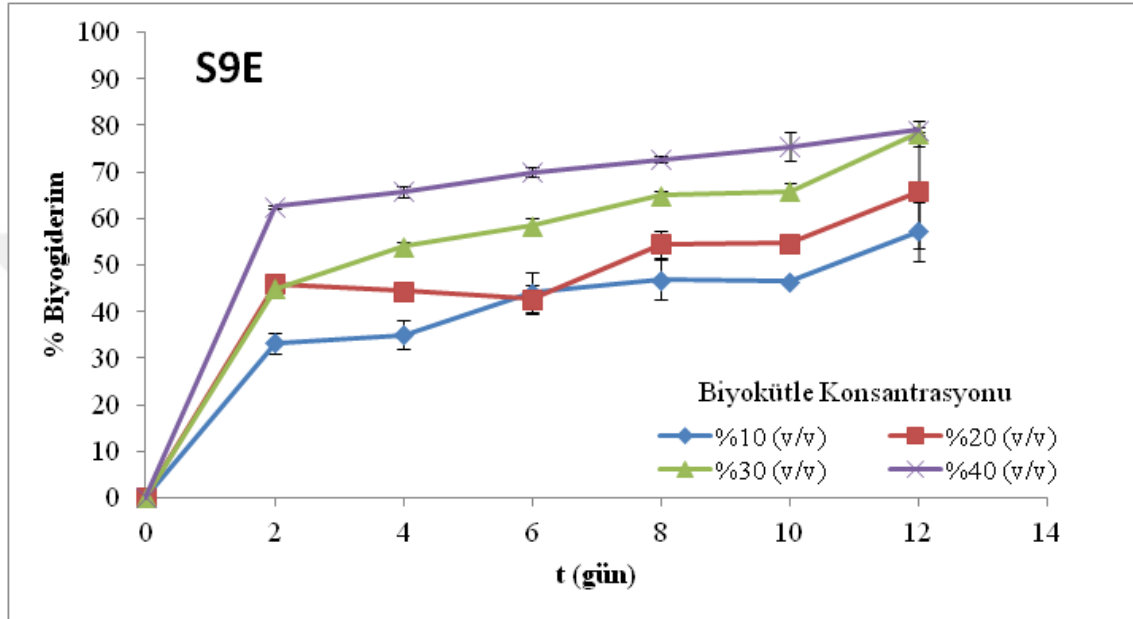
Şekil 4.12 Artan biyokütle konsantrasyonunun HA suşunun RBBR giderimine etkisi
(Co: 181.8 mg/L, pH: 7, İnkübasyon süresi: 12 gün, T: 25±2 °C, Işık şiddeti: 2400lx)

Artan biyokütle konsantrasyonlarının HA suşunun RBBR giderimine etkisi şekil 4.12’de özetlenmiştir. Biyokütle konsantrasyonunun % 10 (v/v) olduğu denemelerde, inkübasyon süresinin ikinci gününde % 21.5 verimle RBBR giderimi gözlenmiştir. İnkübasyon süresi sonunda ortama uygulanan boyanın % 49.5’i uzaklaştırılmıştır.

Biyokütle konsantrasyonu % 20’ye (v/v) çıkartıldığında, boya giderimi inkübasyon süresinin ikinci gününde % 41.8 oranında, sekizinci gününde % 60 verimle gerçekleşmiştir. İnkübasyon süresinin sonunda boya giderimi % 67.8 olmuştur.

BG11 besiyerindeki biyokütle konsantrasyonu % 30 (v/v) olduğunda inkübasyon süresinin ikinci gününde boya giderimi % 55.3 oranında, sekizinci gününde % 73.3 verimle gerçekleşmiştir. İnkübasyon süresinin son gününde ise boyanın % 74.5’i ortamdan uzaklaştırılmıştır.

Biyokütle konsantrasyonu en yüksek oranda (% 40 (v/v)) kullanıldığında ise inkübasyon süresinin ikinci gününde % 62.5 ve sekizinci gününde % 78.3 verimle ortamdan uzaklaştırılmıştır. Inkübasyon süresinin dördüncü ve altıncı günlerinde RBBR giderimleri sırasıyla % 74.5 ve % 77.8 olmuştur. Inkübasyon süresinin son gününde % 81.5 giderim sağlanmıştır.



Şekil 4.13 Artan biyokütle konsantrasyonunun S9E suşunun RBBR giderimine etkisi
(Co: 181.8 mg/L, pH: 7, Inkübasyon süresi: 12 gün, T: 25±2 °C, Işık şiddeti: 2400lx)

Artan biyokütle konsantrasyonlarının S9E suşunun RBBR giderimine etkisi şekil 4.13’de özetlenmiştir. S9E suşunun biyokütle konsantrasyonunun % 10 (v/v) olduğu denemelerde, inkübasyon süresinin ikinci gününde % 33.3 oranında RBBR giderimi gözlenmiştir. Inkübasyon süresinin sonunda ortama uygulanan boyanın % 57.3’ü ortamdan uzaklaştırılmıştır.

Biyokütle konsantrasyonu % 20 (v/v) olduğunda boya giderimi inkübasyon süresinin ikinci gününde % 46, sekizinci gününde % 54.5 verimle gerçekleşmiştir. Inkübasyon süresinin son gününde ise verim % 68.5 olmuştur.

BG11 besiyerindeki biyokütle konsantrasyonu % 30 (v/v) olduğunda inkübasyon süresinin ikinci gününde % 45, sekizinci gününde % 65 verimle RBBR giderimi gerçekleşmiştir. İnkübasyon süresinin son gününde ise % 78.3 verimle ortamdan uzaklaştırılmıştır.

Biyokütle konsantrasyonu en yüksek oranda (% 40 (v/v)) kullanıldığında ise inkübasyon süresinin ikinci gününde boyanın % 62.5'i ve sekizinci gününde % 72.8'i ortamdan uzaklaştırılmıştır. İnkübasyon süresinin dördüncü ve altıncı günlerinde RBBR giderimleri sırasıyla % 65.8 ve % 70 olmuştur. İnkübasyon süresinin son gününde % 79 giderim olmuştur.

Tez çalışmasının bu aşamasında yapılan tüm konsantrasyon denemelerinde artan biyokütle oranına paralel olarak boya biyogideriminin de arttığı gözlenmiştir.

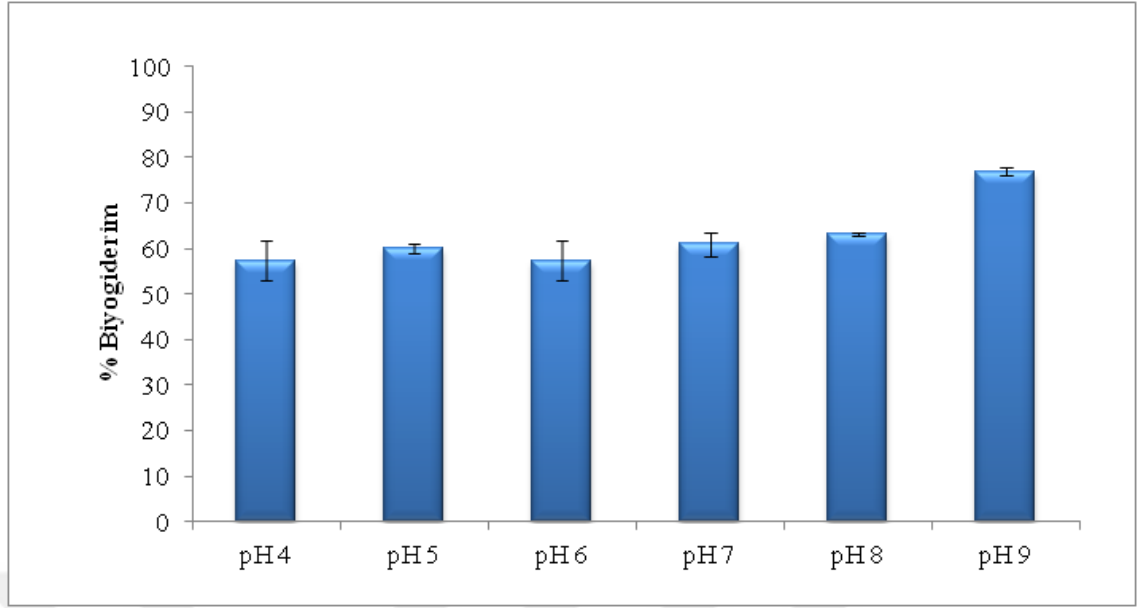
Yapılan biyogiderim çalışmalarında hazırlanan kontrol erlenlerinde (BG11+RBBR) ise bir değişiklik görülmemiştir.

4.3 Biyosorpsiyon Çalışmaları

4.3.1 Başlangıç pH değerinin biyosorpsiyona etkisi

Altı farklı pH değerinin (4, 5, 6, 7, 8 ve 9) biyosorpsiyona etkisi 102.3 mg/L boya içeren BG11 besiyerinde araştırılmıştır.

Bu denemelerde S9E suşu kullanılmıştır.



Şekil 4.14 Farklı pH değerlerinin biyosorpsiyona etkisi

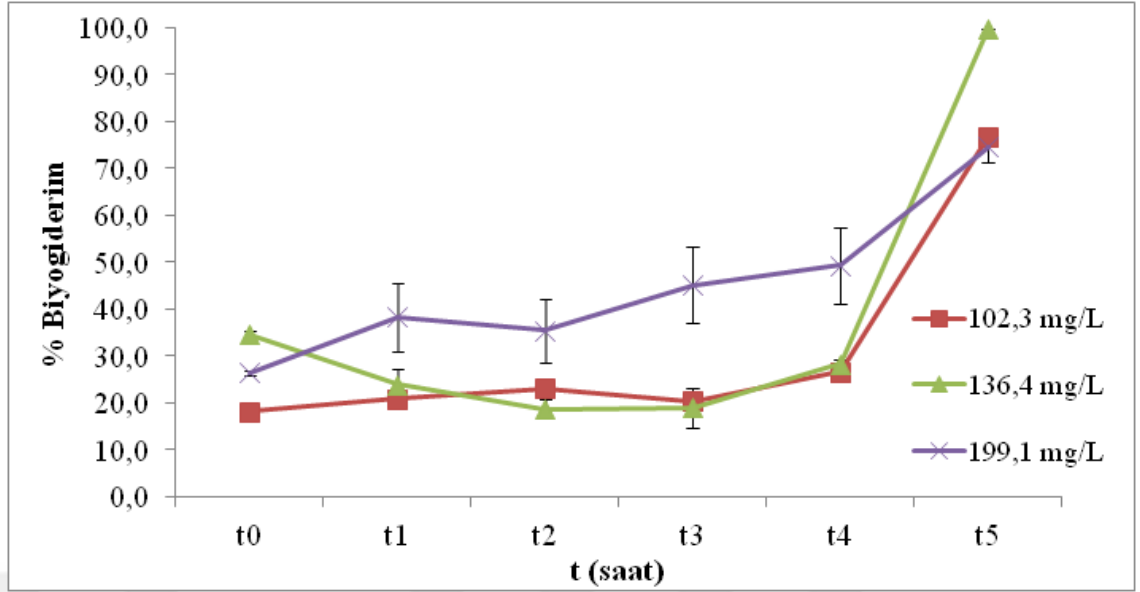
(Co: 102.3 mg/L, İnkübasyon süresi: 24 saat, T: 30 °C, Biyokütle konsantrasyonu %10 (v/v))

Şekil 4.14’de özetlenen verilere göre S9E suşu ortamının pH’ı 4 olduğunda % 57.3, pH 5 olduğunda % 60, pH 6 olduğunda % 57.3 oranında RBBR giderimi gerçekleştirmiştir. S9E suşu ortam pH’ı 7’ye çıkartıldığında % 60.9, pH 8 olduğunda % 63.1 verimle ortamdaki kirleticiyi uzaklaştırmıştır. Mikroorganizma BG11 besiyerinin pH’ı 9 olduğunda ise ortamdan RBBR’yi % 76.9 oranında uzaklaştırmıştır.

Farklı pH değerlerinde yapılan biyosorpsiyon deneylerine göre en yüksek boya giderimi pH 9’da % 76.9 olarak gerçekleşmiştir. Bu sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda daha sonraki çalışmalara pH’ı 9’a ayarlanan BG11 besiyeri ile devam edilmiştir.

4.3.2 Başlangıç boya konsantrasyonunun biyosorpsiyona etkisi

Farklı başlangıç boya konsantrasyonlarının biyosorpsiyona etkisini belirlemek için pH’ı 9’a ayarlanan ve 102.3 mg/L, 136.4 mg/L ve 199.1 mg/L boya içeren BG11 besiyerlerinde deneyler yapılmıştır.



Şekil 4.15 Farklı boya konsantrasyonlarının biyosorpsiyona etkisi

(pH: 9, İnkübasyon süresi: 24 saat, T: 30 °C, Biyokütle konsantrasyonu: %10 (v/v))

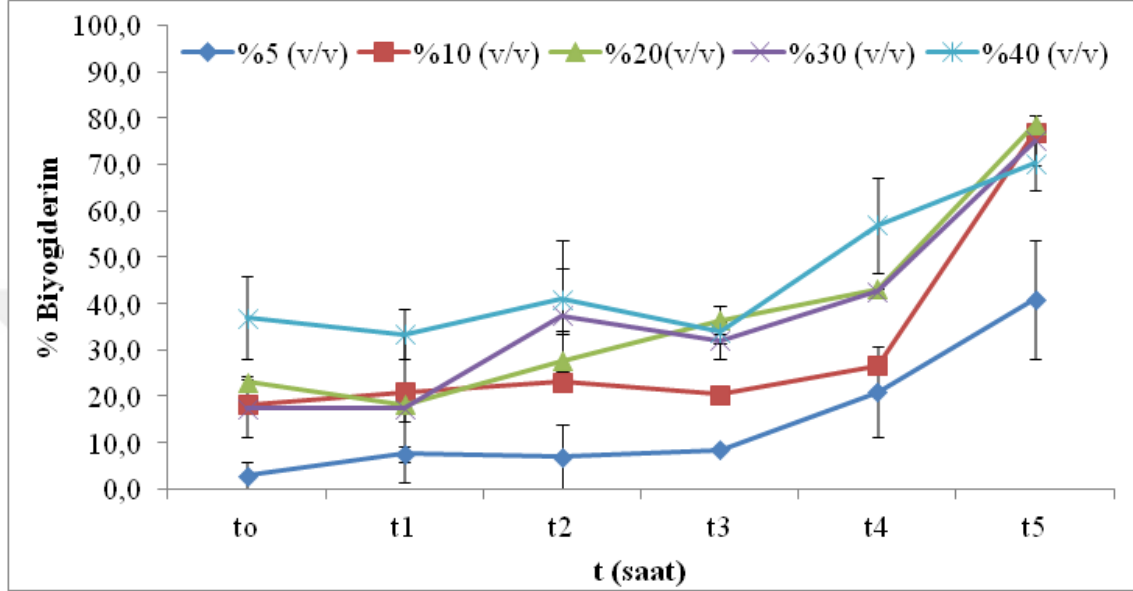
Artan boya konsantrasyonlarında, S9E suşunun RBBR giderimi 102.3-199.1 mg/L boya içeren besiyerlerinde araştırılmıştır. Şekil 4.15’de gösterilen verilere göre boya konsantrasyonu 102.3 mg/L olduğunda ortamdaki boya bir saat süren inkübasyon süresinin sonunda % 23.1, dört saatlik inkübasyon süresinden sonra ise % 26.7 oranında ortamdan uzaklaştırılmıştır. İnkübasyon süresinin sonuna gelindiğinde ise boya giderim verimi % 76.9 olmuştur.

BG11 besiyerindeki boya konsantrasyonu 136.4 mg/L olduğunda ortamdaki boya inkübasyon süresinin otuzuncu dakikasında % 24.0 iken dört saatlik inkübasyon süresinde ise % 28.3 oranında RBBR ortamdan uzaklaştırılmıştır. İnkübasyon süresinin sonuna gelindiğinde ise boya giderim verimi % 100 olmuştur.

Ortamdaki boya konsantrasyonu 199.1 mg/L’ye ayarlandığında ortamdaki boya bir saat süren inkübasyon süresinin sonunda % 35.4, dört saatlik inkübasyon süresinden sonra ise % 49.3 oranında ortamdan uzaklaştırılmıştır. İnkübasyon süresinin sonuna gelindiğinde ise boya giderim verimi % 74.7 olmuştur.

4.3.3 Başlangıç biyokütle konsantrasyonunun biyogiderime etkisi

Başlangıç biyokütle konsantrasyonunun biyosorpsiyona etkisini belirlemek için 102.3 mg/L boya içeren BG11 besiyeri hazırlanmıştır.



Şekil 4.16 Farklı biyokütle konsantrasyonlarının biyosorpsiyona etkisi

(Co: 102.3 mg/L, pH: 9, İnkübasyon süresi: 24 saat, T: 30 °C)

Artan biyokütle konsantrasyonlarının S9E suşunun RBBR biyosorpsiyonu üzerine etkisi şekil 4.16'da verilmiştir. Denemelerde boya konsantrasyonu 102.3 mg/L olacak şekilde hazırlanan BG11 besiyerinde biyokütle konsantrasyonu % 5 (v/v) olduğunda, ortamdaki boya bir saat süren inkübasyon süresinin sonunda % 6.9, dört saatlik inkübasyon süresinden sonra ise % 20.9 oranında ortamdan uzaklaştırılmıştır. İnkübasyon süresinin sonuna gelindiğinde ise boya giderim verimi % 40.9 olmuştur.

BG11 besiyerinde biyokütle konsantrasyonu % 10 (v/v) olduğunda, ortamdaki boya bir saat süren inkübasyon süresinin sonunda % 23.1, dört saatlik inkübasyon süresinden sonra ise % 26.7 oranında ortamdan uzaklaştırılmıştır. İnkübasyon süresinin sonuna gelindiğinde ise boya giderim verimi % 76.9 olmuştur.

Biyokütle konsantrasyonu % 20'ye (v/v) çıkartıldığında ortamdaki boya bir saat süren inkübasyon süresinin sonunda % 27.6, dört saatlik inkübasyon süresinden sonra ise % 43.1 oranında ortamdan uzaklaştırılmıştır. İnkübasyon süresinin sonuna gelindiğinde ise boya giderim verimi % 78.7 olmuştur.

BG11 besiyerinde biyokütle konsantrasyonu % 30 (v/v) olduğunda, ortamdaki boya bir saat süren inkübasyon süresinin sonunda % 37.4, dört saatlik inkübasyon süresinden sonra ise % 42.7 oranında ortamdan uzaklaştırılmıştır. İnkübasyon süresinin sonuna gelindiğinde ise boya giderim verimi % 75.1 olmuştur.

Biyokütle konsantrasyonu en yüksek oranda (% 40 (v/v)) kullanıldığında ise ortamdaki boya bir saat süren inkübasyon süresinin sonunda % 40.9, dört saatlik inkübasyon süresinden sonra ise % 56.9 oranında ortamdan uzaklaştırılmıştır. İnkübasyon süresinin sonuna gelindiğinde ise boya giderim verimi % 70.2 olmuştur.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan tez çalışmasında atıksulardan Remazol Brilliant Blue R giderimi için farklı kaplıca sularından elde edilen suşlarla biyogiderim ve biyosorpsiyon çalışmaları yapılmıştır. Çalışmalarda farklı pH, boya ve biyokütle konsantrasyonlarının boya giderimi üzerine etkisi test edilmiştir.

Çalışmada 13 tane mikroalg ve siyanobakteri suşu saf olarak izole edilmiştir (KA, KD, KE, KF, KG, KL, HA, HB, HD, HE, HLB, N2F, S9E). Bunlar içinde etkin giderim yapabilen KA, KE, HA ve S9E suşlarının en yüksek boya biyogiderimini pH 7’de yaptığı bulunmuştur. KA, KE, HA ve S9E suşlarının biyogiderim verimleri yaklaşık 50 mg/L RBBR içeren ortamda sırasıyla % 64, % 73, % 77 ve % 100 olarak bulunmuştur.

Daha önce farklı boyaların mikroalgal biyokütle ile giderim çalışmalarında, yapılan tez çalışmasına benzer olarak alkali pH’larda boya biyogideriminin yüksek olduğu gösterilmiştir. Baldev vd. (2013) yaptığı çalışmada, *Coelastrella* sp. NTEB001 ile Rhodamine B giderim çalışmalarında en yüksek verimi pH 8’de % 80 oranında bulmuştur. Chia vd. (2014) tarafından yapılan deneylerde, immobilize *Scenedesmus quadricauda* ABU12 ile Indigo Blue gideriminde pH etkisini belirlemek için 25 mg/L Indigo Blue ve 0.1 g/L immobilize alg içeren kültür ortamında dört günden fazla süre ile pH etkisine bakılmış ve en yüksek verim pH 7.5’te bulunmuştur. Kılıç vd. (2011) tarafından *Gonium* sp. ile yapılan çalışmada ise RBBR boyasının alkali ortamlarda maksimum gideriminin gerçekleştiği sonucunu bulmuşlardır.

Yapılan tez çalışmasında, artan boya konsantrasyonlarının biyogiderime olan etkisi araştırıldığında başlangıç boya konsantrasyonu arttığında boya giderim veriminin bir miktar düştüğü görülmüştür. Daha önce Karacakaya vd. (2009) *Phormidium* sp. ve *Synechocystis* sp. ile Reactive Red, Remazol Blue ve Reactive Black B boyalarının giderimi ile ilgili yaptığı çalışmada, kullanılan boyaların yaklaşık 25 ppm’den 75 ppm’e çıkarılmasıyla boya gideriminin düştüğünü göstermişlerdir. Bir başka çalışmada *Scenedesmus quadricauda* ABU12 ile Indigo Blue gideriminde başlangıç boya

konsantrasyonunun artmasıyla boya giderim oranının azaldığı görülmüştür (Chia vd. 2014).

Tez çalışmasında, artan biyokütle konsantrasyonlarının biyogiderime olan etkisi araştırıldığında biyokütle konsantrasyonlarındaki artışın RBBR giderimini olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Elde edilen verilere göre KA, KE, HA ve S9E suşları için biyokütle konsantrasyonu % 10 (v/v)'den % 40 (v/v)'e çıkartıldığında 181.8 mg/L boya konsantrasyonunda, boya giderimi sırasıyla % 49.3'ten % 78.5'e, % 59.3'ten % 89.3'e, % 49.5'ten % 81.5'e ve % 57.3'ten % 79'a yükseldiği bulunmuştur. Daha önce Baldev vd. (2013) *Coelastrella* sp. mikroalginin farklı biyokütle oranları ile Rhodamine B biyogiderimi üzerine yaptığı çalışmaya göre en yüksek biyogiderim 100 mg/L boya içeren ortamda 20 günlük inkübasyon süresi sonunda, biyokütle konsantrasyonu % 10 (v/v) olduğunda bulunmuştur. Aynı çalışmada biyokütle konsantrasyonu arttıkça biyogiderim veriminde herhangi bir değişiklik olmadığı gösterilmiştir. Daneshvar vd. (2007) yaptığı çalışmada da *Cosmarium* sp. biyokütlesinin arttırılmasıyla boya gideriminin arttığı belirtilmiştir. Boduroğlu vd. (2014) tarafından *Gonium* sp. ile yapılan çalışmada, 25 mg/L boya bulunan besiyerinde biyokütle konsantrasyonlarının artmasıyla ortamda bulunan kirleticinin gideriminin de arttığı görülmüştür.

Tez çalışmasında Remazol Brilliant Blue R biyosorpsiyonu, S9E suşu ile yapılmıştır. Bu izolatın boya biyosorpsiyonuna pH etkisi incelendiğinde 102.3 mg/L boya içeren ortamda en yüksek giderimin pH 9'da % 76.9 verimle yapıldığı görülmüştür. Maurya vd. (2006) yaptığı çalışmada, pH değerinin 3'ten 11'e arttığında ortamdaki Methylene Blue gideriminin arttığını ve bu durumun sorbentin yüzey yükündeki davranışından olabileceği şeklinde açıklamışlardır.

Yapılan tez çalışmasında farklı başlangıç kirletici konsantrasyonlarının biyosorpsiyona etkisini belirlemek için pH'ı 9'a ayarlanan ve artan boya konsantrasyonlarında (102.3-199.1 mg/L) denemeler yapılmıştır. En yüksek boya konsantrasyonunda inkübasyon süresi sonunda giderim % 74.7 olarak bulunmuştur. Hernandez-Zamora vd. (2015) yaptığı çalışmada, *Chlorella vulgaris*'in Congo Red biyosorpsiyonu boya konsantrasyonu 5 mg/L'den 25 mg/L'ye çıkartıldığında % 67'den % 32'ye düştüğünü

göstermişlerdir. Bu durumun yüksek boya konsantrasyonlarında adsorbent olmayan boya moleküllerinin miktarının artması, bağlanma alanlarının doygunluğunun artmasından kaynaklandığını ve böylece boyanın giderim yüzdesinin azalmasına, kalan boya miktarının ise artmasına neden olduğu şeklinde açıklanmıştır.

Yapılan tez çalışmasında başlangıç biyokütle konsantrasyonunun (% 5-% 40 (v/v)) biyosorpsiyona etkisini belirlemek için 102.3 mg/L boya içeren BG11 besiyeri kullanılmıştır. En yüksek RBBR biyosorpsiyonu (%78.7) başlangıç biyokütle konsantrasyonu % 20 (v/v)'de elde edilmiştir. Bununla birlikte biyokütle konsantrasyonundaki artışla biyosorpsiyon oranının fazla etkilenmediği bulunmuştur. Gupta vd. (2014) tarafından *Nostoc comminutum* ile yapılan biyosorpsiyon çalışmalarında Remazol Black 5 (RB) ve Remazol Brilliant Blue (RBB) olmak üzere iki boya kullanılmıştır. Aynı çalışmada, ortamdaki başlangıç boya konsantrasyonu 120 mg/L iken biyokütle konsantrasyonu 0.01 g/L'den 0.05 g/L'ye arttırıldığında, boya adsorpsiyonu Remazol Black 5 için 55.62 mg/g'dan 200.4 mg/g'a; Remazol Brilliant Blue için 38.24 mg/g'dan 155.1 mg/g'a yükselirken, biyokütle konsantrasyonu 0.05 g/L'den 0.08 g/L'ye arttırıldığında ise adsorpsiyon miktarında azalma olduğu görülmüştür. Kousha vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada *Scenedesmus quadricauda* ve *Chlorella vulgaris* ile farklı biyokütle miktarlarının (2, 4 ve 6 mg) malaşit yeşili biyosorpsiyonu üzerine etkisi araştırılmış ve malaşit yeşili konsantrasyonu 6 mg/L, biyokütle miktarı 4 mg, pH 6.0 olduğunda boya giderimi oranları ise *S. quadricauda* için % 73.49 ve *C. vulgaris* için % 91.61 bulunmuştur. Aynı çalışmada, bu durumu biyokütle üzerinde bulunan karboksil gruplarının boya alımından sorumlu en önemli fonksiyonel gruplar olduğu şeklinde açıklamışlardır.

Sonuç olarak, yapılan tez çalışmasında kullanılan suşların Remazol Brilliant Blue R biyogiderim ve biyosorpsiyon denemelerinde etkili olduğu bulunmuş ve bu doğrultuda KA, KE, HA ve S9E suşlarının atıksulardan RBBR gideriminde kullanım potansiyeline sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Anonymous, 2017, Web Sitesi: <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sigma/r8001?lang=en®ion=TR> , Eriřim Tarihi: 01.05.2017
- Aksu, Z. 2005. Application of biosorption for the removal of organic pollutant: a review, *Process Biochemistry* 40, 997-1026.
- Aksu, Z. and Tezer, S. 2005. Biosorption of reactive dyes on the green algae *Chlorella vulgaris*, *Process Biochem.* 40, 1347-1361.
- Allegre, C. Moulin, P. Maisseu, M. and Charbit, F. 2006. Treatment and reuse of reactive dyeing effluents, *J. Membr. Sci.* 269, 15-34.
- Amarouche, S. Benouadah, A. Bentabet, A.E.O. and Lopez-Garcia, P. 2014. Morphological and phylogenetic diversity of thermophilic cyanobacteria in Algerian hot spring, *Extremophiles*. 18: 1035-1047.
- Amin, H. Amer, A. El Fecky, A. and Ibrahim, I. 2008. Treatment of textile wastewater using H₂O₂/UV system. *Physicochem. Probl. Miner. Process.* 42, 17-28.
- Arceivala, S.J. 1998. Çevre Kirlilięi Kontrolünde Atıksu Arıtımı, Çeviri; Vahap Balman, TataMcGraw- Hill Pub. Com. India.
- Bae, J.S. Freeman, H.S. 2002. Synthesis and evaluation of non-genotoxic direct dyes. *Fibers and Polym.* 3, 140-146.
- Baldev, E. MubarakAli, D. Ilavarasi, A. Pandiaraj, D. Ishack, K.A.S.S. and Thajuddin, N. 2013. Degradation of synthetic dye, Rhodamine B to environmentally non-toxic products using microalgae. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 105, 207-214.
- Boduroğlu, G. Kılıç, N.K. and Dönmez, G. 2014. Bioremoval of Reactive Blue 220 by *Gonium sp.* biomass. *Environmental Technology* 35: 2410-2415.
- Cardoso, N.F. Lima, E.C. Royer, B. Bach, M.V. Dotto, G.L. Pinto, L.A.A. and Calvete, T. 2012. Comparison of *Spirulina platensis* microalgae and commercial activated carbon adsorbents for the removal of Reactive Red 120 dye from aqueous effluents. *Journal of Hazardous Materials* 241-242, 146-153.
- Chandra, S.K. and Rajashekhar, M. 2016. Effect of pH Freshwater Cyanobacteria Isolated from Different Habitats of Southern Karnataka. *International Journal of Life Sciences and Technology*, Volume 9, Issue 7, Page(s): 56-64.
- Chen C.Y. and Durbin E.G. 1994. Effect of pH on the growth and carbon uptake of marine phytoplankton. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 109:83-94.

- Chia, M.A. Odoh, O.A. and Ladan, Z. 2014. The Indigo Blue Dye Decolorization Potential of Immobilized *Scenedesmus quadricauda*. *Water Air Soil Pollut.* 225: 1920.
- Couto, S.R. 2009. Dye removal by immobilized fungi. *Biotechnol. Adv.* 27, 227-235.
- Covington, A.D. 2009. *Tanning Chemistry: The Science of Leather*, Royal Society of Chemistry, Cambridge.
- Crini, G. 2006. Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: A review. *Bioresour. Technol.* 97: 1061-1085.
- Daneshvar, N. Ayazloo, M. Khataee, A.R. and Pourhassan, M. 2007. Biological decolorization of dye solution containing Malachite Green by microalgae *Cosmarium* sp. *Bioresource Technology* 98, 1176–1182.
- Dutta, P.K. 1994. An overview of textile pollution and its remedy. *Indian J. Environ. Prot.* 14, 443-446.
- Dzionic, A. Wojcieszynska, D. and Guzik, U. 2016. Natural carriers in bioremediation: A review, *Electronic Journal of Biotechnology* 23, 28-36.
- El-Sheekh, M.M. Gharieb, M.M. and Abou-El-Souod, G.W. 2009. Biodegradation of dyes by some green algae and cyanobacteria. *International Biodeterioration & Biodegradation* 63, 699-704.
- Ergene, A. Ada, K. Tan, S. and Katircioğlu, H. 2009. Removal of Remazol Brilliant Blue R dye from aqueous solutions by adsorption onto immobilized *Scenedesmus quadricauda*: Equilibrium and kinetic modeling studies. *Desalination* 2249, 1308-1314.
- Greenwell, H.C. Laurens, L.M. Shields, R.J. Lovitt, R.W. and Flynn, K.J. 2010. Placing microalgae on the biofuels priority list: a review of the technological challenges. *J R Soc. Interface*, 7, 703-26.
- Gupta, V.K. Bhushan, R. Nayak, A. Singh, P. and Bhushan, B. 2014. Biosorption and Reuse Potential of a Blue Green Algae for the Removal of Hazardous Reactive Dyes from Aqueous Solutions. *Bioremediation Journal*, 18: 179-191.
- Hadibarata, T. Yusoff, A.R.M. and Kristanti, R.A. 2012. 'Decolorization and metabolism of anthraquinone-type dye by laccase of white-rot fungi *Polyporus* sp. S133,' *Water, Air, Soil Pollution*, Vol. 223, no. 2, pp. 933-941.
- Hansen P.J. 2002. Effect of high pH on the growth and growth and survival of marine phytoplankton: implications for species succession. *Aquat. Microb. Ecol.*, 28:279-288.
- Hernandes-Zamaro, M. Cristiani-Urbina, E. Martinez-Jeronimo, F. Perales-Vela, H.V. Ponce-Noyola, T. Montes-Horcasitas, M.C. and Canizares-Villanueva, R.O.

2015. Bioremoval of the azo dye Congo Red by the microalga *Chlorella vulgaris*. Environ. Sci. Pollut. Res. 22: 10811-10823.
- Hessel, C. Allegre, C. Maisseu, M. Charbit, F. and Moulin, P. 2007. Guidelines and legislation for dye house effluents, J. Environ. Manage. 83, 171-180.
- Huang, G. Chen, F. Wei, D. Zhang, X. and Chen, G. 2010. Biodiesel production by microalgae biotechnology. Appl. Energy, 87, 38-46.
- Ikawa, M. 2004. Algal polyunsaturated fatty acids and effects on plankton ecology and other organisms. UNH centre for Freshwater Biol. Res., 6:17-44.
- John, D.M. Whitton, B.A. and Brook, A.J. 2003. The Freshwater Algal Flora of the British Isles, An Identification Guide to Freshwater and Terrestrial Algae, Cambridge Univ. Press.
- Karacakaya, P. Kılıç, N.K. Duygu, E. and Dönmez, G. 2009. Stimulation of reactive dye removal by cyanobacteria in media containing tricortanol hormone. Journal of Hazardous Materials 172, 1635-1639.
- Kausha, M. Farhadian, O. Dorafshan, S. Soofiani, N.M. and Bhatnagar, A. 2013. Optimization of malachite green biosorption by green microalgae-*Scenedesmus quadricauda* and *Chlorella vulgaris*: Application of response surface methodology. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers 44, 291-294.
- Kaushik, B.D. 1994. Algalization of rice in salt-affected soils. Ann Agri. Res. 14:105-106.
- Keskinhan, O. Göksu, MZL. Başbüyük, M. and Forster, CF. 2004. Heavy metal adsorption properties of submerged aquatic plant (*Ceratophyllum demersum*). Bioresource Technology 92, 197-200.
- Khanjani, Y. Farizadeh, K. and Ahmadi, S. 2011. Improve of Direct Dye (Direct Orange 46) Sorption on Pretreated Cotton Fabric by Cationic Agent. Journal of Applied Chemical Research, 18, 7-14.
- Kılıç, N.K. Karatay, S.E. Duygu, E. and Dönmez, G. 2011. Potential of *Gonium* sp. in Synthetic Reactive Dye Removal, Possible Role of Laccases and Stimulation by Triacortanol Hormone. Water Air Soil Pollut 222: 297-303.
- Locke, A. and Sprules, W.G. 2000. Effect of acidic pH and phytoplankton on survival and condition of *Bosmina longirostris* and *Daphnia pulex*. Hydrobiologia, 437:187-196.
- Mata, T.M. Martins, A.A. and Caetano, N.S. 2010. Microalgae for biodiesel production and other applications. Renewable Sustainable Energy Rev. 14, 217-232.

- Mata, T.M. Martins, A.A. Sikdar, S. and Costa, C.A.V. 2011. Sustainability considerations of biodiesel based on supply chain analysis. *Clean Technol. Environ. Policy* 13, 655-671.
- Maurya, N.S. Mittal, A.K. Cornel, P. and Rother, E. 2006. Biosorption of dyes using dead macro fungi: Effect of dye structure, ionic strength and pH. *Bioresour. Technol.* 97: 512-521.
- Moreira, C. Ramos, V. Azevedo, J. and Vasconcelos, V. 2014. Methods to detect cyanobacteria and their toxins in the environment- mini review, *Appl. Microbial Biotechnol.* 98:8073-8082.
- Mutanda, T. Ramesh, D. Karthikeyan, S. Kumari, S. Anandraj, A. and Bux, F. 2011. Bioprospecting for hyper-lipid producing microalgal strains for sustainable biofuel production. *Bioresour. Technol.* 102, 57-70.
- Nautiyal, P. Subramanian, K.A. and Dastidar, M.G. 2016. Adsorptive removal of dye using biochar derived from residual algae after in-situ transesterification: Alternative use of waste of biodiesel industry. *Journal of Environmental Management* 182, 187-197.
- Nawar, S.S. and Doma, H.S. 1989. Removal of dyes from effluents using low cost agricultural by-products. *Sci. Total Environ.* 79, 271-279
- Olguin, E.J. 2003. Phycoremediation: key issues for cost-effective nutrient removal process. *Biotechnol. Adv.* 22, 1-19.
- Pathak, V.V. Kothari, R. Chopra, A.K and Singh, D.P. 2015. Experimental and kinetic studies for phycoremediation and dye removal by *Chlorella pyrenoidosa* from textile wastewater. *Journal of Environmental Management* 163, 270-277.
- Rippka, R. Deruelles, J. Waterbury, J.B. Herdman, M. and Stanier, R.Y. 1979. Generic assignments, strains histories and properties of pure cultures of cyanobacteria. *J. Gen. Microbiol.* 111:1-61
- Robinson, T. McMullan, G. Marchant, R. and Nigam, P. 2001. Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Biosource Technology* 77, 247-255.
- Ruiz, J. Alvarez, P. Arbib, Z. Garrido, C. Barragan, J. and Perales, J.A. 2011. Effect of nitrogen and phosphorus concentration on their removal kinetic in treated urban wastewater by *Chlorella vulgaris*. *Int. J. Phytorem.* 13, 884-896.
- Saratale, R.G. Saratale, G.D. Chang, J.S. and Govindwar, S.P. 2010. *Biodegrad.* 21: 999-1015.
- Shelknanloymilan, L. Atıcı, T. and Obal, O. 2012. Removal of Nitrogen and Phosphate by Using *Chlorella vulgaris* on Synthetic and Organic Materials Wastewater, *Biological Diversity and Conservation*, 5/2: 89-94.

- Shen, P.P. Shi, Q. Hua, Z.C. et al. 2003. 'Analysis of microcystins cyanobacteria blooms and surface water samples from Meiliag Bay, Taihu Lake, China,' *Environmental International*, Vol. 29, no. 5, pp. 641-647.
- Siddique, M. Farooq, R. and Shaheen, A. 2011. 'Removal of reactive blue 19 from wastewater by physicochemical and biological processes- a review,' *Journal of Chemical Society Pakistan*, Vol. 33, pp. 284-293.
- Singh, B. Guldhe, A. Rawat, I. and Bux, F. 2014. Towards a sustainable approach for development of biodiesel from plant and microalgae. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 29, 216-45.
- Song, M. Pei, H. Hu, W. and Ma, G. 2013. Evaluation of the potential of 10 microalgal strains for biodiesel production. *Bioresour. Technol.* 141, 245-51.
- Sternberg, P.K. and Dorn, W. 2002. Cadmium removal using *Cladophora* in batch, semi batch and flow reactors. *Bioresource Technology* 81, 249-255.
- Syed, M.A. Sim, H.K. Khalid, A. and Shukor, M.Y. 2009. *J. Environ. Biol.* 30(1): 89-92.
- Tabernero, A. Martin del Valle, E.M. and Galan, M.A. 2012. Evaluating the industrial potential of biodiesel from a microalgae heterotrophic culture: scale-up and economics. *Biochem. Eng. J.* 63, 104-15.
- Waranusantigul, P. Pokethitiyook, P. Kruatrachue, M. and Upatham, E.S. 2003. Kinetics of basic dye (methylene blue) biosorption by giant duckweed (*Spirodella polyrrhiza*). *Environ. Pollut.* 125: 385-392.
- Watanapokasin, R.Y. Boonyakamol, A. Sukserree, S. Krajarng, A. Sophonnithiprasert, T. Kanso, S. and Imai, T. 2008. *Biodegrad.* 20: 411-418.
- Weber, E.J. and Stickney, V.C. 1993. 'Hydrolysis kinetics of reactive blue 19-vinyl sulfone,' *Water Research*, Vol. 27, no. 1, pp. 63-67.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Kübra ERDEM
Doğum Yeri : Yenimahalle/ Ankara
Doğum Tarihi : 29/01/1992
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Kaya Beyazıtöğlu Lisesi (2010)
Lisans :Ankara Üniversitesi Fen-Mühendislik Fakültesi Biyoloji Bölümü (2014)
Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı (Eylül 2014-Haziran 2017)

Uluslararası Poster Sunumu

1. **Erdem, K.** Kılıç, N.K. and Dönmez, G. Usage of Thermophile Microalgae Biomass in Treating Reactive Blue 220 (RB220) Contaminated Wastewater, The 2nd IWA Regional Symposium on World's Water Resources: Past, Present and Future, Abstract Book, Page 113, March 22-24, 2017, İzmir (Turkey).
2. **Erdem, K.** Kılıç, N.K. and Dönmez, G. Production of Bioactive Compounds by Halophytic Microalgal Strains, The 2nd IWA Regional Symposium on World's Water Resources: Past, Present and Future, Abstract Book, Page 237, March 22-24, 2017, İzmir (Turkey).
3. **Dönmez, G.** Erdem, K. and Kılıç, N.K. Antimicrobial Activity of Bioactive Compounds by Halophytic Microalgae Against *Escherichia coli* ATCC 25922, HEEP Conference, Abstract Book, May 25-27, 2017, Budapest (Hungary).
4. **Erdem, K.** Safran, E. Kılıç, N.K. and Dönmez, G. Atıksulardan Remazol Brilliant Blue R Biyogideriminde Termofilik Mikroalg Kullanımı, Ankara Üniversitesi 5. Çevre Günleri Uluslararası Sempozyumu 'İnsanların Doğayla Kenetlenmesi-Kentte ve Doğal Alanda, Kutuplardan Ekvatora', Bildiri Özet Kitabı, Sayfa 68, Haziran 8-9, 2017, Ankara (Türkiye).