



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyoteknoloji Anabilim Dalı

**TEKSTİL ATIK SULARININ ARITIMINDA ALG, LİKEN
VE ORGANİK ATIKLARIN BİYOSORBENT OLARAK
KULLANIM OLANAKLARININ KARŞILAŞTIRILMASI**

Gizem BAYAZIT

Yüksek Lisans

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Ülküye Dudu GÜL

BİLECİK, 2018

Ref.No.: 10205151



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyoteknoloji Anabilim Dalı

**TEKSTİL ATIK SULARININ ARITIMINDA ALG, LİKEN
VE ORGANİK ATIKLARIN BİYOSORBENT OLARAK
KULLANIM OLANAKLARININ KARŞILAŞTIRILMASI**

Gizem BAYAZIT

Yüksek Lisans

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Ülküye Dudu GÜL

BİLECİK, 2018



BİLECİK SEYH EDEBALI UNIVERSITY

Graduate School of Science

Department of Biotechnology

**COMPARISON THE USAGE POSSIBILITIES OF ALGAE,
LICHEN AND ORGANIC WASTES AS BIOSORBENT**

Gizem BAYAZIT

Master's Thesis

Thesis Advisor

Assoc. Dr. Ülküye Dudu GÜL

BİLECİK, 2018



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS

JÜRİ ONAY FORMU

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 09/07/2018 tarih ve 37 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 24/07/2018 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Gizem BAYAZIT'ın "*Tekstil Atık Sularının Arıtımında Alg, Liken Ve Organik Atıkların Biyosorbent Olarak Kullanım Olanaklarının Karşılaştırılması*" başlıklı tez çalışması Biyoteknoloji Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Ülküye Dudu GÜL

ÜYE: Prof. Dr. Nurgül ÖZBAY

ÜYE: Prof. Dr. Semra İLHAN

ÜYE: Prof. Dr. Cansu FİLİK İŞÇEN

ÜYE: Doç Dr. Cihan DARCAN

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun tarih ve sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimin her aşamasında bana destek olan, tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Sayın Doç. Dr. Ülküye Dudu GÜL'e,

Deneyisel kısımla ilgili yardımlarını esirgemeyen Sayın hocalarım Doç. Dr. Dilek ÜNAL'a, Dr. Öğr. Üye. Hülya SİLAH'a, Doç. Dr. Burcu Ertit TAŞTAN'a, Doç. Dr. Cihan DARCAN'a, Öğr. Gör. Turgut KAYA'ya ve eşim Arş. Gör. Yıldırım BAYAZIT'a,

Ayrıca hayatımın her döneminde olduğu gibi yüksek lisans süresince de bana destek olan aileme teşekkür ederim.



ÖZET

Su, toprak ve havadaki boya gibi kirleticilerin artan sirkülasyonu ve bu kirleticilerin insan besin zincirindeki yeri önemli bir çevre sorunu olarak görülmektedir. Son yıllarda su kirliliği kontrolü büyük önem kazanmıştır. Su kaynaklarına boşaltılan boyalar da organik yük olarak bu kirliliğin bir kısmını oluşturmaktadır. Kimyasal çöktürme, iyon değişimi, ozonlama, koagülasyon-flokülasyon, adsorpsiyon gibi yöntemler boya gibi kirleticilerin giderimi için geliştirilmiştir. Ancak bu metotların yüksek reaktif ihtivasi, pahalı olmaları ve toksik çamur gibi çeşitli dezavantajları vardır. Biyosorpsiyon çevre dostu, ekonomik ve etkili alternatif bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır. Bu çalışmanın amacı iki farklı tekstil boyasının biyosorpsiyonla gideriminde ucuz biyosorbentlerin kullanım olanaklarını araştırmaktır. Çalışmada, 4 farklı organik atık (muz, çekirdek, portakal ve patates kabukları), 3 farklı liken türü (*Cladonia convoluta*, *Pseudevernia furfuracea* ve *Evernia prunastri*) ve 2 farklı alg türü (*Phormidium animale* ve *Scenedesmus sp.*) biyosorbent olarak kullanılmıştır. Bu biyosorbentler kullanılarak sulu çözeltilerden tekstil endüstrisinde yaygın kullanılan Acid Red P-2BX (ARP-2BX) ve Remazol Black B (RBB) boyaalarının biyosorpsiyonu araştırılmıştır. Biyosorpsiyon işlemi üzerine temas süresi, pH, boya derişimi, biyosorbent miktarı ve sıcaklık etkisi incelenmiştir. Organik atıklardan en iyi giderimi yapan muz kabuğu olarak tespit edilmiş olup, ARP-2BX biyosorpsiyonu için en uygun şartlar pH 2 ve 25°C olarak belirlenmiştir ve biyosorpsiyon verimi ise % 73,58 şeklinde hesaplanmıştır. Likenlerde ise en iyi giderimi yapan *P. furfuracea*'nin boya biyosorpsiyonu için en uygun şartlarının pH 2 ve 45°C olduğu ve Remazol Black biyosorpsiyon gideriminin % 99,05 olduğu saptanmıştır. Alglerde en yüksek verimde giderim yapan ise *P. animale*'dir ve maksimum biyosorpsiyonu için en uygun şartlar pH 2 ve 45°C olup, ARP-2BX biyosorpsiyon oranı % 99,70 olarak belirlenmiştir. Ayrıca boya biyosorbent arası etkileşimleri belirlemek için FT-IR ve Elemental Analizler gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Sonuç olarak, maliyeti düşük, çevre dostu ve verimi yüksek bir arıtım yöntemi olan biyosorpsiyon ile tekstil boyası gibi kirleticilerin ucuz biyosorbentlerle giderimlerinin yüksek verimde olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Biyosorpsiyon; Tekstil Boyası; Biyosorbentler; Boya

ABSTRACT

The increased circulation of dye pollutants in water, soil and air, and the location of these pollutants in the human food chain are seen as an important environmental problem. Water pollution control has gained great importance in recent years. Dyes given to water sources also form part of this pollution as organic load. Removal of contaminants such as dye has been developed for liquid wastes such as chemical precipitation, ion exchange, ozonation, coagulation-flocculation, adsorption. However, these methods have several disadvantages, such as the elimination of unforeseeable contaminants, high cost, and toxic sludge. Biosorption has emerged as an environmentally friendly, economical and effective method with low cost and capacity to remove pollutants such as dye. The purpose of this study is to investigate the possibilities of using cheap biosorbents for the removal of two different textile dyes by biosorption. In the study, 4 different organic waste species (bananas, seed, orange and potato shells), 3 different lichen species (*Cladonia convoluta*, *Pseudevernia furfuracea* and *Evernia prunastri*) and 2 different algae species (*Phormidium animale* and *Scenedesmus sp.*) was used as biosorbent. Using these biosorbents, the biosorption of the aqueous solution of Acid Red P-2BX and Remazol Black was investigated, which are used generally in textile industry. The duration of contact on biosorption, pH, dye concentration, biosorbent, amount and temperature effect were investigated. It was identified as the banana shell of the best removal from organic wastes and the en uygun conditions for ARP-2BX biosorption were determined as pH 2 and 45°C, and biosorption efficiency was calculated as 73.48%. En uygun conditions for dye biosorption of *P. furfuracea*, the best removal for lichens, were found to be pH 2 and 45°C, and RBB biosorption removal was 99.05%. The highest efficiency in the algae is *P. animale*, and the en uygun conditions for maximum biosorption are pH 2 and 45°C, and the ARP-2BX biosorption ratio is 99.70%. In addition, FT-IR and Elemental analyzes were carried out to determine interactions between dye and biosorbents. As a result, it has been found that the removal of pollutants such as textile dyes with cheap biosorbents is highly efficient with biosorption, which is a low cost, environmentally friendly and highly efficient treatment method.

Keywords: Biosorption; Textile Dye; Biosorbents; Dye

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

JÜRİ ONAY SAYFASI

TEŞEKKÜR

ÖZET.....I

ABSTRACT.....II

İÇİNDEKİLER.....III

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....V

ÇİZELGELER DİZİNİ.....VI

ŞEKİLLER DİZİNİ.....VIII

1. GİRİŞ.....1

2. GENEL BİLGİ.....3

2.1. Biyosorpsiyonu Etkileyen Faktörler.....3

2.1.1. Karıştırma hızı.....3

2.1.2. pH.....3

2.1.3. Sıcaklık.....4

2.1.4. Biyosorbent miktarı.....5

2.1.5. Başlangıç kirletici derişimi.....5

2.1.6. Temas süresi.....6

2.2. Biyosorpsiyon Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları.....8

2.3. Biyosorpsiyon İzotermi.....8

2.3.1. Langmuir izotermi.....9

2.3.2. Freundlich izotermi.....9

2.3.3. Biyosorpsiyon kinetikleri.....10

2.4. Literatür Özeti.....11

2.4.1. Boya biyosorpsiyonu.....11

2.5. Farklı Biyosorbentlerin Boya Gideriminde Kullanımı.....13

2.5.1. Organik atıklar.....13

2.5.2. Likenler.....15

2.5.2.1. Fotobiyontlar.....16

2.5.2.2. Mikobiyontlar.....17

2.5.2.3. Likenlerin hava ve su kirliliği bakımından önemleri.....18

2.5.2.4. Pratik uygulamalar.....19

2.5.2.5. Tez çalışmasında kullanılan likenler, özellikleri ve biyosorpsiyon

çalışmaları.....20

2.5.2.5.1. *Cladonia convoluta*.....202.5.2.5.2. *Evernia prunastri*.....222.5.2.5.3. *Pseudevernia furfuracea*.....22

2.5.3. Algler.....23

2.5.3.1. Alglerin toplanması ve ortamları.....24

2.5.3.2. Kültür yöntemleri.....25

2.5.3.3. Tez çalışmasında kullanılan algler.....25

2.5.3.3.1. *Phormidium animale*.....262.5.3.3.2. *Scenedesmus sp.*.....26

3. MATERİYAL VE METOT.....	27
3.1. Materyal.....	27
3.1.1. Deneylerde kullanılan boyaların özellikleri.....	27
3.1.2. Deneylerde kullanılan kimyasal maddeler.....	28
3.1.3. Biyosorbentler.....	29
3.1.4. Boya çözeltilerinin hazırlanması.....	29
3.1.5. Asit ve baz solüsyonlarının hazırlanması.....	29
3.1.6. Deneylerde kullanılan aletler.....	30
3.1.6.1. Spektrofotometre.....	30
3.1.6.2. Karıştırıcı.....	30
3.1.6.3. pH Metre.....	30
3.1.6.4. Santrifüj.....	30
3.1.6.5. Analitik terazi.....	30
3.1.6.6. Elek.....	30
3.1.6.7. Öğütücü.....	30
3.1.6.8. Etüv.....	30
3.1.6.9. Kül fırını.....	31
3.1.6.10. Cam malzemeler.....	31
3.2. Metot.....	31
3.2.1. Biyosorbentlerin hazırlanması.....	31
3.2.2. Boya analizi	34
3.2.2.1. Temas süresi.....	36
3.2.2.2. pH.....	36
3.2.2.3. Boya derişimi.....	37
3.2.2.4. Biyosorbent miktarı.....	37
3.2.2.5. Sıcaklık.....	37
3.2.3. Biyosorpsiyon İzoterm ve Kinetik Modelleri Hesaplamaları.....	37
4. BULGULAR.....	40
4.1. Biyosorbentlerin Boya Giderimine pH Etkisi.....	40
4.2. Biyosorbentlerin Boya Giderimine Boya Derişimi Etkisi.....	54
4.3. Biyosorbentlerin Boya Giderimine Biyosorbent Miktarı Etkisi.....	59
4.4. Biyosorbentlerin Boya Giderimine Sıcaklık ve Temas Süresi Etkisi.....	61
4.5. İzoterm İncelemeleri.....	67
4.6. Kinetik İncelemeler.....	69
4.7. Elemental Analiz.....	71
4.8. FT-IR İncelemeleri.....	71
5. TARTIŞMA.....	73
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	77
KAYNAKLAR.....	80
ÖZGEÇMİŞ.....	87

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

B	: Biyosorpsiyon Verimi (%)
Ce	: Biyosorpsiyon Sonrası Çözeltide Kalan Boya Derişimi (mg/L)
Co	: Başlangıç Boya Derişimi (mg/L)
KF	: Freundlich Adsorpsiyon Sabiti
K _L	: Langmuir Adsorpsiyon sabiti
k ₁	: Yalancı Birinci Dereceden Hız Sabiti (dak ⁻¹)
k ₂	: Yalancı İkinci Dereceden Hız Sabiti (g/mg.dak)
n	: Karakteristik Freundlich İzoterm Sabiti
q _e	: Birim Biyokütle Üzerinde Tutulan Birim Madde Ağırlığı (mg/g)
q _m	: Adsorbentin Maksimum Adsorplama Kapasitesi (sabit)
q _t	: t Zamanında Adsorbentin Gramı Başına Adsorplanan Madde Miktarı (mg/g)
t	: t Zamanında Adsorplanan Miktar (dak)

Kisaltmalar

MK	:Muz Kabuğu
AÇK	:Ayçiçeği Çekirdeği Kabuğu
PaK	:Patates Kabuğu
PK	:Portakal Kabuğu
Cc	: <i>Cladonia convoluta</i>
Ep	: <i>Evernia prunastri</i>
Pf	: <i>Pseudevernia furfuracea</i>
Pa	: <i>Phormidium animale</i>
Ss	: <i>Scenedesmus sp.</i>
RBB	:Remazol Black
ARP-2BX	:Acid Red P-2BX

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Farklı boyaların biyosorpsiyonunda kullanılan biyosorbentler ve en uygun pH değerleri.....	4
Çizelge 2.2. Farklı boyaların biyosorpsiyonunda kullanılan biyosorbentler ve en uygun sıcaklık değerleri.....	5
Çizelge 2.3. Literatür çalışmalarına göre farklı boyaların biyosorpsiyonunda işletim koşulları ve kapasitelerinin karşılaştırması.....	7
Çizelge 2.4. Biyosorpsiyon yönteminin avantajları ve dezavantajları.....	8
Çizelge 2.5. Atıksulardan boya gideriminde biyosorbent olarak kullanılan organik atıklar.....	14
Çizelge 3.1. ARP-2BX'in fiziksel özellikleri.....	27
Çizelge 3.2. RBB'nin fiziksel özellikleri.....	28
Çizelge 3.3. BG11 besiyeri bileşenleri.....	29
Çizelge 3.4. Çalışmada kullanılan biyosorbent çeşitleri.....	34
Çizelge 4.1. Kurutulmuş biyosorbentlerin ARP-2BX'in biyosorpsiyonunda pH etkisi değerleri.....	41
Çizelge 4.2. Kül biyosorbentlerin ARP-2BX'in biyosorpsiyonunda pH etkisi değerleri	43
Çizelge 4.3. Kurutulmuş biyosorbentlerin RBB'nin biyosorpsiyonunda pH etkisi değerleri.	45
Çizelge 4.4. Kül biyosorbentlerin RBB'nin biyosorpsiyonunda pH etkisi değerleri.....	47
Çizelge 4.5 Kurutulmuş biyosorbentlerin ARP-2BX'in biyosorpsiyonunda boya derişimi etkisi değerleri.....	55
Çizelge 4.6. Kül biyosorbentlerin ARP-2BX'in biyosorpsiyonunda boya derişimi etkisi değerleri.....	55
Çizelge 4.7. Kurutulmuş biyosorbentlerin RBB'nin biyosorpsiyonunda boya derişimi etkisi değerleri.....	56
Çizelge 4.8. Kül biyosorbentlerin RBB'nin biyosorpsiyonunda boya derişimi etkisi değerleri.....	56
Çizelge 4.9. Kurutulmuş biyosorbentlerin ARP-2BX'in biyosorpsiyonunda biyosorbent miktarı etkisi değerleri.....	59

Çizelge 4.10. Kurutulmuş biyosorbentlerin RBB'nin biyosorpsiyonunda biyosorbent miktarı etkisi değerleri.....	60
Çizelge 4.11. Kurutulmuş biyosorbentlerin ARP-2BX'in biyosorpsiyonunda sıcaklık etkisi değerleri.....	62
Çizelge 4.12. Kurutulmuş biyosorbentlerin RBB'nin biyosorpsiyonunda sıcaklık etkisi değerleri.....	62
Çizelge 4.13. Kurutulmuş biyosorbentlerin ARP-2BX'in biyosorpsiyonunda temas süresi etkisi değerleri.....	63
Çizelge 4.14. Kurutulmuş biyosorbentlerin RBB'nin biyosorpsiyonunda temas süresi etkisi değerleri.....	64
Çizelge 4.15 Kurutulmuş <i>Phormidium animale</i> üzerine ARP-2BX'in biyosorpsiyon kinetiğinin parametreleri.....	70
Çizelge 4.16. Elemental analiz verileri.....	71
Çizelge 6.1. Farklı biyosorbentlerin boya biyosorpsiyonunda maksimum verimlerinin en uygun şartları.....	77
Çizelge 6.2 Farklı biyosorbentlerin izoterm parametreleri.....	78
Çizelge 6.3. Farklı biyosorbentlerin biyosorpsiyon kinetiğinin parametreleri.....	78

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Muz, ayçiçeği çekirdeği, patates ve portakal kabuğu.....	15
Şekil 2.2. <i>Cladonia convoluta</i>	21
Şekil 2.3. <i>Evernia prunastri</i>	22
Şekil 2.4. <i>Pseudevernia furfuracea</i>	23
Şekil 2.5. <i>Phormidium animale</i>	26
Şekil 2.6. <i>Scenedesmus sp</i>	26
Şekil 3.1. ARP-2BX'in molekül formülü.....	27
Şekil 3.2. RBB'nin molekül formülü.....	28
Şekil 3.3. Kültüre alınan mikroalgler.....	32
Şekil 3.4. Büyük hacimde üretilen mikroalgler a. Başlangıç kültürler, b. Logaritmik gelişme fazının sonundaki kültürler.....	32
Şekil 3.5. Mikroorganizmalar.....	33
Şekil 3.6. ARP-2BX Kalibrasyon Eğrisi.....	34
Şekil 3.7. RBB Kalibrasyon Eğrisi.....	35
Şekil 3.8. ARP-2BX Boya Analizi.....	35
Şekil 3.9. RBB Boya Analizi.....	36
Şekil 4.1. Kurutulmuş organik atıklar ile ARP-2BX'in biyosorpsiyonunda pH etkisi...	48
Şekil 4.2. Kül organik atıklar ile ARP-2BX'in biyosorpsiyonunda pH etkisi.....	49
Şekil 4.3. Kurutulmuş organik atıklar ile RBB'nin biyosorpsiyonunda pH etkisi.....	49
Şekil 4.4. Kül organik atıklar ile RBB'nin biyosorpsiyonunda pH etkisi.....	50
Şekil 4.5. Kurutulmuş likenler ile ARP-2BX'in biyosorpsiyonunda pH etkisi.....	50
Şekil 4.6. Kül likenler ile ARP-2BX'in biyosorpsiyonunda pH etkisi.....	51
Şekil 4.7. Kurutulmuş likenler ile RBB'nin biyosorpsiyonunda pH etkisi.....	51
Şekil 4.8. Kül likenler ile RBB'nin biyosorpsiyonunda pH etkisi.....	52

Şekil 4.9. Kurutulmuş algler ile ARP-2BX'nin biyosorpsiyonunda pH etkisi.....	53
Şekil 4.10. Kül algler ile ARP-2BX'nin biyosorpsiyonunda pH etkisi.....	53
Şekil 4.11. Kurutulmuş algler ile RBB'nin biyosorpsiyonunda pH etkisi.....	54
Şekil 4.12. Kül algler ile RBB'nin biyosorpsiyonunda pH etkisi.....	54
Şekil 4.13. Kurutulmuş biyosorbentler ile ARP-2BX'in biyosorpsiyonunda boya derişimi etkisi.....	57
Şekil 4.14. Kül biyosorbentler ile ARP-2BX'in biyosorpsiyonunda boya derişimi etkisi.....	57
Şekil 4.15. Kurutulmuş biyosorbentler ile RBB'nin biyosorpsiyonunda boya derişimi etkisi.....	58
Şekil 4.16. Kül biyosorbentler ile RBB'nin biyosorpsiyonunda boya derişimi etkisi...	58
Şekil 4.17. Kurutulmuş biyosorbentler ile ARP-2BX'in biyosorpsiyonunda biyosorbent miktarı etkisi.....	60
Şekil 4.18. Kurutulmuş biyosorbentler ile RBB'nin biyosorpsiyonunda biyosorbent miktarı etkisi.....	61
Şekil 4.19. Kurutulmuş biyosorbentler ile ARP-2BX'in biyosorpsiyonunda temas süresi etkisi.....	65
Şekil 4.20. Kurutulmuş biyosorbentler ile RBB'nin biyosorpsiyonunda temas süresi etkisi.....	65
Şekil 4.21. Kurutulmuş biyosorbentler ile ARP-2BX'nin biyosorpsiyonunda sıcaklık etkisi.....	66
Şekil 4.22. Kurutulmuş biyosorbentler ile RBB'nin biyosorpsiyonunda sıcaklık etkisi.	67
Şekil 4.23 ARP-2BX'in Kurutulmuş <i>Phormidium animale</i> üzerine biyosorpsiyonunun Langmuir izotermini.....	68
Şekil 4.24 ARP-2BX'in Kurutulmuş <i>Phormidium animale</i> üzerine biyosorpsiyonunun Freundlich izotermini.....	68
Şekil 4.25 Kurutulmuş <i>Phormidium animale</i> üzerine ARP-2BX'in biyosorpsiyonunun yalancı birinci dereceden kinetik grafiğı.....	69
Şekil 4.26 Kurutulmuş <i>Phormidium animale</i> üzerine ARP-2BX'in biyosorpsiyonunun yalancı ikinci dereceden kinetik grafiğı.....	70
Şekil 4.27. Biyosorbentlerin FT-IR analiz değerleri grafiğı.....	72

1. GİRİŞ

Çevre kirliliği ilk defa kentsel yaşamın başlaması sonucu ortaya çıkmış ve endüstriyel gelişme ile birlikte artmıştır. Özellikle yirminci yüzyılın ikinci yarısında, nüfus artışıındaki hızlanmaya bağlı olarak artan çevre kirliliği, yaşam kaynaklarının daha fazla kirlenmesine ve ekosistemin bozulmasına neden olmuştur (San, 2007).

Ekosistemin bir bölümünü oluşturan su ortamı, kullanılmış sular ve diğer atıklar için alıcı ve uzaklaştırıcı bölge olarak kullanıldığında, ekosistem içinde hava ve toprağa oranla en yoğun kirlenmeye uğrayan kısım halini almıştır. Kentlerde (evsel atıksular) ve endüstride kullanıldıktan sonra atılan sular için atıksu terimi kullanılmaktadır (San, 2007). Atıksuların fiziksel kirlilik göstergeleri renk, koku, sıcaklık yükselmesi, asıltı maddeler ve köpüklenmedir. Atıksuların kimyasal kirlilik göstergeleri ise çözünmüş organik maddeler, toksik maddeler ve fosforlu madde varlığı şeklindedir (San, 2007). Atıksular içindeki boyalar, önemli kimyasal kirleticiler olarak bilinmektedir.

Maden endüstrileri, enerji ve yakıt üretiminde, gübre ve pestisit, metalurji, demir ve çelik, deri işleme, fotoğraf gibi sanayi kollarında boya içeren atıklar doğrudan ya da dolaylı olarak doğaya verilmektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde bu durum ciddi çevresel kirlenmeye ve canlı hayatını tehdit etmeye başlamıştır. Sentetik boyalar ise birçok alanda geniş ölçüde günümüz teknolojisi ile üretilip kullanılmaktadır. Boya kullanılan alanlara tekstil endüstrisinin birçok kolu, deri tabaklama endüstrisi, kâğıt sanayi, gıda teknolojileri ve kozmetik alanları örnek olarak verilebilir (Li-yan Fu, vd., 2002).

Boyalar suda yaşayan canlılar için oldukça zehirli kirleticilerdir. Biyobirikime eğilimli oldukları için bu kirleticiler oldukça tehlikelidir ve bu bileşikler herhangi bir zamanda canlılarda birikebilmelerinin yanı sıra onların canlı bünyesine alınmaları ve depolanması metabolize edilmelerinden veya atılmalarından daha hızlı gerçekleşmektedir. Ayrıca canlılarda sinir sistemi bozukluklarına, organ hasarlarına ve kanser gibi ciddi hastalıklara sebep olmaktadır. Atıksularda çok çeşitli türde ve istenmeyen miktarlarda bulunan boyalar renk kirliliğine neden olan, sudaki yaşamın fotosentetik aktivitesini etkileyen ve biyolojik bozunması çok zor olan kimyasallardır. Atıksulardaki bazı boyaların yapılarında ağır metal iyonlarını içermelerinden ve

atıksuya bu ağır metal iyonlarını da salmalarından dolayı canlı yaşamı üzerindeki toksik etkileri daha da fazla olmaktadır (San, 2007).

Boya içeren atıksuların arıtımında kullanılan klasik yöntemler (kimyasal çöktürme, iyon değişimi, ozonlama, koagülasyon-flokülasyon, adsorpsiyon vb.) yatırım ve işletme maliyetlerinin yüksekliği, arıtma sonrasında yeni kirleticilerin oluşması gibi nedenlerden dolayı pratik ve ekonomik olmaktan uzaktır (Vieira ve Volesky, 2000). Atıksu arıtımında yaygın kullanılan aerobik ve anaerobik biyolojik arıtım yöntemlerinin bu tür kirleticileri içeren atıksuların arıtımında kullanımı ise, boyaların biyolojik oksidasyona dirençli olarak üretilmeleri ve bu kirleticilerin aşırı miktarlarının biyolojik arıtımda etken mikroorganizmaların üremesini engellemesi gibi nedenlerle kısıtlı olmaktadır (Liu, vd., 2004). Biyosorpsiyon için biyosorbentler hem doğal yollardan hem de atıklarda elde edilebilmektedir. Ayrıca proses sonunda fazladan atık oluşmamaktadır (Vieira ve Volesky, 2000). Son yıllarda boya gibi kirleticileri içeren atıksularda bazı mikroorganizmaların, boya iyonlarını hücre yapısına biyosorpsiyonla alarak boya kirliliğinin gideriminde kullanılmasıyla ilgili çalışmalar önem kazanmaya başlamıştır (Liu, vd., 2004).

Genel tanım olarak biyosorpsiyon; bir çözeltiliden boya gibi kirleticilerin biyokütle ile uzaklaştırılmasıdır (Gül, 2013). Bu çalışmada tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılan Acid Red P-2BX (ARP-2BX) ve Remazol Black B (RBB) isimli boyaların ucuz ve farklı biyosorbentler kullanılarak biyosorpsiyonla giderimi araştırılmıştır. Bu tez çalışmasında organik atıklar olan muz, çekirdek, patates ve portakal kabukları, Bilecik ilinden toplanan 3 liken türü ve 2 farklı alg türü biyosorbent olarak kullanılmıştır ve bu biyosorbentlerin giderim kapasiteleri karşılaştırılmıştır.

2. GENEL BİLGİ

Biyosorpsiyon, sulu ortamlardan boya gibi kirleticilerin biyokütle tarafından tutulmasıdır. Biyosorpsiyon yöntemi düşük maliyeti ve boya gibi kirleticileri bağlama kapasitesiyle çevre dostu, ekonomik ve etkili bir yöntemdir.

2.1. Biyosorpsiyonu Etkileyen Faktörler

Biyosorpsiyon mekanizmasını birçok faktör etkilemektedir. Biyosorpsiyon sürecinin gerçekleşebilmesi için bazı en uygun koşulların oluşması gerekmektedir (Gorobets, vd., 2004). Biyosorpsiyon yöntemlerinde verimi etkileyen en önemli faktörler karıştırma hızı, başlangıç kirletici derişimi, pH, sıcaklık, biyosorbent miktarı ve temas süresidir (Stanley ve Ogden, 2003).

2.1.1. Karıştırma hızı

Biyosorpsiyona etki eden faktörlerden birisi yöntemin gerçekleştiği ortamdaki karıştırma hızıdır. Biyosorpsiyon hızı, sistemin karıştırma hızına bağlı olarak ya film difüzyonu ya da por difüzyonu ile kontrol edilir. Eğer karıştırma işlemi yapılırsa tanecik etrafındaki sıvı film kalınlığı fazla olacak ve film difüzyonu, hızı sınırlandıran etmen olacaktır. Yeterli bir karışım sağlanırsa film difüzyon hızı, hızı sınırlandıran etmen olan por difüzyona doğru artar. Genelde por difüzyonu, yüksek derecede karıştırılan kesikli sistemlerde hızı sınırlandıran faktördür. Literatür araştırmasına göre, karıştırma hızı 0 ile 200 rpm aralığında arttırıldığında biyosorpsiyon kapasitesi artmakta iken 200 rpm'in üstüne çıkarıldığında biyosorpsiyon kapasitesi azalmaktadır, bunun sebebi yüksek hızın hücre yüzeyine tutunmuş boyayı yüzeyden ayırmakta etkili olmasıdır (Yetiş, vd., 1998).

2.1.2. pH

Ortaman pH'ı birçok nedenden ötürü, biyosorpsiyonu etkileyen önemli bir parametredir. Organik asitler düşük pH değerlerinde daha fazla adsorbe olurken organik bazlar yüksek pH'da daha iyi adsorplanır (Çoban, 2011). Literatürde yapılan çalışmalarda kirletici türlerine ve kullanılan biyosorbentlerin çeşidine göre uygun pH değeri farklılık göstermektedir (Weber, 1972). Farklı boyaların farklı biyosorbentlerle biyosorpsiyonunda en uygun pH değerleri Çizelge 2.1.'de verilmiştir

Çizelge 2.1. Farklı boyaların biyosorpsiyonunda kullanılan biyosorbentler ve en uygun pH değerleri.

Boya	Biyosorbent	PH	Kaynak
Remazol Yellow (RR)	<i>S. cerevisiae</i> (Maya)	2	(Erdem, vd., 2016)
Reactive Red 239	<i>S. cerevisiae</i> (Maya)	2	(Bağcı, 2012)
Remazol Brilliant Blue R	Zeytin Posası (Prina)	3	(Dağdelen, 2012)
Reactive Blue 4	<i>R. oryzae</i> (Mantar)	3	(Bagchi ve Ray, 2015)
Direct Red 28	Yumurta Kabuğu (Organik Atık)	6	(Saha, vd., 2011)
Direct Red 81	Bambu Talaşı (Organik Atık)	7	(Khan, vd., 2012)
Malachite Green	<i>Cosmarium sp.</i> (Alg)	9	(Daneshvar, vd., 2005)
Solvent Red 24	<i>P. perlata</i> (Liken)	8	(Kulkarni, vd., 2014)

Çizelge 2.1.'de görüldüğü üzere, farklı boyaların farklı biyosorbentler ile giderimde türlere bağlı olarak en uygun pH'ları farklılık göstermektedir.

2.1.3. Sıcaklık

Sıcaklık, biyosorpsiyonu etkileyen bir diğer faktördür ve biyosorpsiyonun gerçekleştiği reaksiyonlarda önemli bir parametredir. Kullanılan biyosorbent çeşidine göre bazı durumlarda sıcaklıkla biyosorpsiyon da artmakta iken bazı durumlarda tam tersidir yani biyosorpsiyonunun ilk anlarında biyokütleyle bağlanan iyonlar artan sıcaklık nedeniyle tekrar biyokütleden salınma eğilimindedirler (Horsfall ve Spiff, 2005). Deng, vd., (2007) benzer sıcaklık aralıklarında gerçekleştirdiği çalışmada sıcaklık artışı ile biyosorpsiyonun arttığını ve gerçekleşen reaksiyonun endotermik olduğunu belirtmişlerdir (Deng, vd., 2007). Farklı boyaların farklı biyosorbentlerle biyosorpsiyonunda en uygun sıcaklık değerleri Çizelge 2.2.'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Farklı boyaların biyosorpsiyonunda kullanılan biyosorbentler ve en uygun sıcaklık değerleri.

Boya	Biyosorbent	Sıcaklık (°C)	Kaynak
Solvent Red 24	<i>Permelia perlata</i> (Liken)	50	(Kulkarni, vd., 2014)
Remazol Brillant Blue R	<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Alg)	30	(Ergene, vd., 2009)
Methylene Blue	Nohut Samanı (Organik Atık)	50	(Kılıç, vd., 2014)
Reactive Red 198	<i>Trametes versicolor</i> (Mantar)	35	(Güngörmedi, vd., 2009)
Remazol Black B	<i>Rhizopus arrhizus</i> (Mantar)	25	(Arslan, 2013)

Çizelge 2.2.'de görüldüğü üzere, biyosorbent çeşidine göre boya biyosorpsiyonu için en uygun sıcaklık değerleri değişiklik göstermektedir.

2.1.4. Biyosorbent miktarı

Biyosorpsiyon yöntemlerine etki eden önemli faktörlerden biride biyosorbent miktarıdır. Genel bir kural olarak sabit bir başlangıç boya derişiminde biyosorpsiyon yöntemlerinin gerçekleştiği çözelti ortamındaki biyosorbent miktarının artması ile biyosorpsiyon verimi artmaktadır. Gül ve Dönmez (2010), yapmış oluğu çalışmada *A. versicolor* kültürünün Remazol Blue boyasının biyosorpsiyonuna biyosorbent etkisini incelemek için 1, 2 ve 5 gr biyosorbent kullanmış ve biyosorbent miktarı arttıkça giderim oranının da arttığını belirlemiştir (Gül ve Dönmez, 2010).

2.1.5. Başlangıç kirletici derişimi

Başlangıç kirletici derişimi, kirletici ile biyosorbent yüzeyi arasındaki kütle transferinde önemli bir parametredir. Başlangıç kirletici derişiminin artmasıyla biyosorbent üzerindeki aktif adsorpsiyon bölgeleri doygunluğa ulaşmakta ve dolayısıyla düşük kirletici derişimlerinde daha yüksek giderime ulaşmaktadır (Erdem, vd., 2016).

2.1.6. Temas Süresi

Biyosorpsiyon çalışmalarında temas süresi önemli bir parametredir. Yapılan çalışmalarda yaygın olarak daha uzun temas sürelerinde ilk dakikalara oranla daha yüksek verimler elde edilmiştir. İmecik, vd., (2014) Metilen Mavisi'nin gideriminde sulu ortamdan *Platanus orientalis* biyokütlesi kullanarak yaptıkları çalışmada 1. dakika ile 80. dakika arasında giderim yüzdesinin hızlı bir şekilde arttığını göstermişlerdir (İmecik, vd., 2014).

Çizelge 2.3.'e göre literatür araştırmaları sonrasında yapılan çalışmalarda biyosorpsiyon sistemini etkileyen faktörleri boya kirleticileri için şöyle sıralayabiliriz:

- Başlangıç derişimi arttıkça biyosorpsiyon kapasitesinin arttığı,
- Asidik pH'da olmak üzere kullanılan biyosorbent ve kirleticiye göre pH aralığının spesifik olduğu,
- Sıcaklığın kullanılan biyosorbentlere göre değişiklik gösterdiği, görülmektedir.
- Yapılan çalışmaların en uygun koşullarını tespit etmek için, biyosorpsiyonu etkileyen faktörleri geniş aralıklarda çalışmalı ve uygun şartlar belirlenmelidir.

Çizelge 2.3. Literatür çalışmalarına göre farklı boyaların biyosorpsiyonunda işletim koşulları ve kapasitelerinin karşılaştırması (Kılıç, vd., 2014; Güngörmedi, vd., 2009; Arslan, 2013, Kulkarni, vd., 2014; Daneshvar, vd., 2005)

Boya	Biyosorbent	Biyosorpsiyon Kapasitesi	pH	Sıcaklık (°C)	Derişim (mg/L)	Biyokütle (g/L)
Methylene Blue	Fındık Kabuğu	76,9	2,5-4,2	20	50-1000	10
Methylene Blue	Hurma Çekirdeği	43,5	6,3	70	70-700	10
Methylene Blue	Nohut Samanı	108,7	7	50	100-400	1
Reactive Red 198	<i>T. versicolor</i> (Mantar)	91,37	2	35	75	0,4
Remazol Black B	<i>R. arrhizus</i> (Mantar)	90,6	2	25	100	1,3
Solvent Red 24	<i>P. perlata</i> (Liken)	99	8	50	250	0,5
Malachite Green	<i>Cosmarium sp.</i> (Alg)	92,4	9	45	10	4,5

2.2. Biyosorpsiyon Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları

Kimyasal çöktürme, iyon değişimi, ozonlama, koagülasyon-flokülasyon, adsorpsiyon gibi arıtma yöntemlerine göre biyosorpsiyon yönteminin kendi içerisinde avantaj ve dezavantajları Çizelge 2.4.'de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Biyosorpsiyon yönteminin avantajları ve dezavantajları. (Matheickal ve Yu, 1997; Macaskie ve Dan, 1989; San, 2007; Vieiria, 2000; Volesky, 2003).

Biyosorpsiyon Yönteminin Avantajları
Ölü biyokütle genellikle atık veya doğal bir kaynaktan kolay ve ucuza elde edilebilir.
Biyokütle cansız olduğundan üreme parametreleri elimine edilebilir.
Boya giderimi hızlıdır ve verimlidir, biyosorbent materyal genellikle bir iyon tutucu gibi davranmaktadır.
Canlı hücreler gibi toksisiteden etkilenmezler.
Biyosorpsiyon işlemi sonunda atık oluşumu gözlemlenmez.
Çevre dostu ve ekonomik bir yöntemdir.
Sistem matematiksel olarak tanımlanabilir.
Biyosorpsiyon Yönteminin Dezavantajları
Hücre yüzeyi çok hızlı bir şekilde boyaya doymun hale gelmektedir. Temas süresi geçirildiğinde, yüzeyde boyayı tutan yerler dolduğunda desorpsiyon gerçekleşebilir.
Biyosorpsiyon pH, sıcaklık gibi etkilere duyarlıdır.
Organik türleri, metabolik olarak parçalama potansiyeline sahip değildir.

2.3. Biyosorpsiyon İzotermi

Biyosorpsiyon çalışmalarında izotermi, değişik hücreler ve şartlar için kullanılabilmektedir. İzotermi biyosorpsiyonun mekanizması hakkında bilgi göstermezler. Biyosorpsiyon izotermi geniş bir uygulama alanı olarak mantar, maya, yosun ve bakteri ile yapılan biyosorpsiyon deney sonuçlarına da uygulanmıştır (İleri, vd., 1993). Boya gibi kirleticilerin biyosorpsiyonunda kullanılan biyokütle ve diğer ortam şartlarına göre uygun olan izotermi değişiklik göstermektedir. Langmuir ve Freundlich izoterm modelleri biyosorpsiyon çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.3.1. Langmuir izotermi

Langmuir biyosorpsiyon modeli tek tabakalı adsorpsiyonu tarif etmektedir. Adsorpsiyon enerjisinin sabit olduğunu ve biyokütle üzerinde tutulan maddenin moleküllerinin yer değiştirmedini kabul eder. Biyokütleyi tek tabaka olarak düşünüp, bunun doygunluğa ermesiyle maksimum biyosorpsiyonun olacağını kabul eder (Langmuir, 1918).

Langmuir izoterm eşitliği Eşitlik (2.1)'de gösterilmiştir;

$$q_e = \frac{q_m \cdot K_L \cdot C_e}{1 + K_L \cdot C_e} \quad (2.1)$$

q_m = Adsorbentin maksimum adsorplama kapasitesi (sabit)

K_L = Langmuir adsorpsiyon sabiti

Bu denklem gerekli düzeltmeler yapıp doğrusallaştırılırsa Eşitlik (2.2) elde edilmektedir;

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m \cdot K_L} + \frac{1}{q_m} C_e \quad (2.2)$$

Eşitlik (2.2)'ye göre C_e 'ye karşı $\frac{C_e}{q_e}$ grafiğe geçirilirse doğrunun eğiminden q_m , kayma değerinden ise K_L sabiti hesaplanır (Smith, 1981).

2.3.2. Freundlich İzotermi

Freundlich izoterm modeli Eşitlik (2.3)'te verilmiştir;

$$q_e = K_f \cdot C_e^{1/n} \quad (2.3)$$

Burada,

K_f = Freundlich sabiti

n = sabittir ($n > 1$)

Eğer bu denklemin logaritması alınıp doğrusallaştırılırsa Eşitlik (2.4) elde edilir;

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (2.4)$$

Eşitlik (2.4)'e göre, $\ln q_e$ 'ye karşı $\ln C_e$ grafiğe geçirilirse doğrunun eğiminden n, kayma değerinden K_f sabiti hesaplanır (Smith, 1981).

2.3.3. Biyosorpsiyon kinetikleri

Kinetik model hesaplamaları biyosorpsiyon mekanizmaları ve kütle transferi veya kimyasal tepkime prosesleri gibi olası hız kontrol edici basamaklar hakkında bilgi vermektedir. Non-lineer ve Lineer yalancı birinci dereceden model eşitlikleri Eşitlik (2.5) ve (2.6)'da verilmiştir.

Nonlinear Yalancı birinci dereceden model eşitliği:

$$q_t = q_e(1 - e^{-klt}) \quad (2.5)$$

Lineer Yalancı birinci dereceden model eşitliği:

$$\log(q_e - q_t) = -\frac{k_1}{2,303t} + \log q_e \quad (2.6)$$

Non-lineer ve Lineer yalancı ikinci dereceden model eşitlikleri Eşitlik (2.7) ve (2.8)'de verilmiştir.

Non- linear Yalancı ikinci dereceden model eşitliği:

$$q_t = \frac{k_2 q_e^2 t}{1 + k_2 q_e t} \quad (2.7)$$

Lineer Yalancı ikinci dereceden model eşitliği:

$$q_t = \frac{1}{k_2 q_e^2 t} + \frac{1}{q_e} t \quad (2.8)$$

Bu eşitliklerde;

q_t : t zamanında adsorbentin gramı başına adsorplanan madde miktarı (mg/g)

t: t zamanında adsorplanan miktar (dak)

k_1 : yalancı birinci dereceden hız sabiti (dak^{-1})

k_2 : yalancı ikinci dereceden hız sabiti (g/mgdak)

2.4. Literatür Özeti

Arıtma teknolojilerinin bazı dezavantajlarından dolayı araştırmalar daha ekonomik, etkili ve emniyetli teknolojilerin geliştirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Son yıllarda mikroorganizmaların boya adsorplama yeteneklerinden yararlanılarak boya kirliliğinin gideriminde kullanılmasıyla klasik arıtım tekniklerinin dezavantajları en aza indirilmeye çalışılmıştır (Çubukçu, 1998). Biyosorpsiyon; bakteri, yengeç kabukları, mantar ve alg gibi biyomateriyaller kullanılarak boya içeren düşük derişim ve yüksek hacimli atık suların iyileştirilmesi için uygun maliyetli biyoteknolojik bir yöntem olarak bilinmektedir. Başka bir deyişle biyolojik materyallerin sulu çözeltilerdeki atık maddelerin hücre yüzeyi veya içinde akümüle edilmesine biyosorpsiyon denilmektedir.

2.4.1. Boya biyosorpsiyonu

Kılıç, vd., 2014 yılında yaptıkları çalışmada tarımsal bir atık olan nohut samanını, sulu çözeltilerden boya gideriminde biyosorbent olarak değerlendirmişlerdir. Çözelti pH'ı, biyosorbent miktarı, başlangıç boya derişimi, temas süresi ve çözelti sıcaklığının biyosorpsiyon işlemine olan etkilerini incelemişlerdir. Ayrıca, metilen

mavisi biyosorpsiyonuna ait denge izoterm, termodinamik ve kinetik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Biyosorpsiyon denge verilerinin Freundlich izotermi ile uyumlu olduğu belirlenmiş, biyosorpsiyonu en iyi ifade edebilen kinetik modelin ise ikinci dereceden model olduğunu saptamışlardır. Hesaplanan termodinamik parametreler, biyosorpsiyonun 20-50 °C aralığında kendiliğinden gerçekleşen endotermik bir işlem olduğunu göstermiştir. Metilen mavisi biyosorpsiyonu için nohut samanının maksimum tek tabaka biyosorpsiyon kapasitesi 108,7 mg/g olarak belirlemişlerdir. Sonuç olarak, nohut samanının sulu çözeltilerden metilen mavisi gideriminde çevreye dost, düşük maliyetli ve etkili bir biyosorbent olarak kullanılabileceğini belirlemişlerdir (Kılıç, vd., 2014).

Elmacı, vd., 2005 yılında yaptıkları çalışmada 3 alg türü ile (*Chara sp.*, *Cladophora sp.* ve *Chlorella sp.*), sentetik olarak hazırlanan bir hidroliz boyanın Remazol Turkish Blue-G ve Zn(II), Cd(II), Co(II) ağır metallerinin biyosorpsiyonunu araştırmışlardır. Kesikli olarak yürütülen denemelerde, değişik boya (40-100 mg/L) ve ağır metal derişimi (20-60 mg/L) ve değişen pH aralığında (2-8) alg türlerinin biyosorpsiyon karakteristiklerini araştırmışlardır. En iyi giderimin sağlandığı en uygun pH, *Cladophora sp.* ile yapılan çalışmada Cd(II), Zn(II) ve Co(II) için sırasıyla; 6, 5 ve 5; *Chara sp.* ile yapılan çalışmada 6, 5 ve 6; *Chlorella sp.* ile yürütülen çalışmada 5, 6 ve 5 olarak belirlemişlerdir. Ağır metal çalışmasında en iyi giderim *Cladophora sp.* ile elde etmişlerdir. Boya gideriminde üç alg türü için en uygun pH 2 olarak bulunmuştur. Boya ile yapılan çalışmada en iyi giderim verimini ise *Chlorella sp.* ile elde etmişlerdir. Sonuç olarak seçilen 3 alg türünün hem renk hem de ağır metal gideriminde etkili olduğunu tespit etmişlerdir (Elmacı, vd., 2005).

Khan, vd., 2012 yılında yapmış oldukları çalışmada, Direct Red 81 (DR81) boyasının adsorpsiyonunu, başlangıç boya derişimi, adsorbent miktarı, pH, sıcaklık ve temas süresine göre bir seri sistemde bambu talaşı kullanarak araştırmışlardır. Langmuir izoterm denkleminde elde edilen maksimum adsorpsiyon kapasitesi (q_m) 6.43 mg/g (% 89) ve 303 K sıcaklığındadır. Freundlich modelinin Langmuir modeline kıyasla daha uygun olduğu belirtilmiştir. Adsorpsiyon dinamiğinin, ikinci dereceden kinetik denkleme uyduğu ve adsorpsiyon işlemi hem sıvı film hem de partikül içi difüzyonlar tarafından kontrol edildiğini belirtmişlerdir. Başlangıç deriminin artmasıyla adsorpsiyon

kapasitesinin düştüğünü, adsorban miktarının artması ile arttığını, 303 K sıcaklığında ve pH 7'de bambu talaşının maksimum giderim yaptığını tespit etmişlerdir (Khan, vd., 2012).

Bağcı (2012) yapmış olduğu çalışmada, ölü *Saccharomyces cerevisiae* mayası ile Reactive Red 239 biyosorpsiyonunu ortam koşullarına bağlı olarak incelemiştir. Reactive Red 239 için, belirlenen en uygun ortam koşulları pH 2, 200 ppm başlangıç Reactive Red 239 çözeltisi derişimi ve 2 g/L biyokütle derişimi olduğunu, en uygun sıcaklığın 400°C olduğunu fakat ticari nedenlerden ötürü 250°C olarak seçtiğini belirtmiştir. Bu koşullarda, biyokütlenin giderim etkinliğini % 62,8 ve biyosorpsiyon kapasitesini 64,8 mg/g olarak bulmuştur. Biyokütlenin etanol, metanol ve ısı ile işlem görmesi, Reactive Red 239 biyosorpsiyon kapasitesini arttırdığını; ısı ile işlem görmesi, biyosorpsiyon kapasitesini azalttığını tespit etmiştir. Reactive Red 239'un *Saccharomyces cerevisiae* ile biyosorpsiyonu Langmuir modeli, biyosorpsiyon kinetiği ise birinci derecemsi hız modeli ile açıklanmıştır (Bağcı, 2012).

2.5. Farklı Biyosorbentlerin Boya Gideriminde Kullanımı

Biyosorpsiyon dışındaki arıtım yöntemlerinin maliyet açısından yüksek olması, araştırmacıları biyosorpsiyon ile ilgili çalışmalara yönlendirmiştir. Bu nedenle ucuz ve farklı biyosorbent kullanımına yönelik çalışmalar artmıştır.

2.5.1. Organik atıklar

Organik atık; bitkisel veya hayvansal kaynaklı olmak üzere kökeninde canlılık bulunan atık maddelerin tümüdür (Özdemir ve Al, 2012). Günümüzde, tüketim bakımından gittikçe olumsuz bir tablo çizilmektedir. Sürekli atık üreten dünyamızda, ekolojik bozukluk ve bilinçsiz bertaraf yöntemleri çevre korunmasında istenilen verimin sağlanamamasına sebep olmaktadır. Bundan dolayı son yıllarda atık bertarafı yine atıklarla yapılmaya çalışılmaktadır. Böylece özellikle su ve katı atık kirliliğinin ortak bir şekilde ortadan kaldırılması kolaylaştırılmaktadır. Atık malzemelerin çevre kirliliğini önleme çalışmaları, özellikle su arıtımında önemli bir proses olan adsorpsiyon, biyosorpsiyon gibi yöntemler kendilerine uygulama alanı bulmaya başlamıştır. Atıksuların arıtılmasında kullanılan yöntemlerin arasında biyosorpsiyon, uygulamadaki kolaylıkları ve yüksek giderim verimleri ile daha çok tercih edilmektedir. Bu nedenle

kullanılan biyosorbentin türü, biyosorpsiyon maliyeti üzerinde en belirleyici faktörlerden birisidir. Atığın atıkla giderilmesi esasına dayalı arıtma sistemlerinde özellikle tarımsal kökenli atıkların kullanımı maliyetleri ciddi ölçüde azaltmakta ve işletmeler tarafından tercih edilirliliği az olan biyosorpsiyon prosesine olan ilgiyi arttırmaktadır. Böylece farklı atık malzemelerin de biyosorbent olarak kullanılmasına olanak tanınabilmektedir. Çizelge 2.5’de boya gideriminde kullanılan çeşitli atık malzemeler ve adsorpsiyon kapasiteleri verilmiştir (Özdemir ve Al, 2012).

Çizelge 2.5. Atıksulardan boya gideriminde biyosorbent olarak kullanılan organik atıklar. (Özdemir ve Al, 2012).

Biyosorbent Türü	Boya	Biyosorpsiyon Kapasitesi (mg/g)
İşlenmiş pamuk	Acid Blue 25	589
Muz Kabuğu	Direct Red 28	12,8
Portakal Kabuğu	Direct Red 23	10,72
Anadonta Kabuğu	Reactive Green 12	0,436
Ayçiçeği Sapı	Direct Red 28	37,78
Soya Küspesi	Direct Red 80	178,57
Metal Hidroksit Çamuru	Reactive Red 120	48,31
Badem Kabuğu	Direct Red 80	22,422
Toz Aktif Çamur	Direct Yellow 12	98
Biogaz Atık Çamuru	Direct Red 12B	3,46
Krom İçeren Deri Sanayi Atığı	Reactive Red X6BN Sandos	48
Pirinç Kabuğu	Direct Red 28	171
Hurma Yağı Kültü	Disperse Blue	49,5

Çizelge 2.5.’de de görüldüğü gibi çeşitli renklerdeki ve kimyasal özelliklerdeki boyalar işlenmiş pamuk, soya küspesi, portakal kabuğu gibi organik yani tarımsal nitelikli atıklarla arıtıldığı gibi biyogaz atık çamuru, toz aktif çamur vb. atıklarla da giderilmektedir (Özdemir ve Al, 2012).

Bu tez çalışmasında da organik atık olarak; muz kabuğu (MK), ayçiçeği çekirdeği kabuğu (AÇK), patates kabuğu (PaK) ve portakal kabuğu (PK) kullanılmıştır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Muz, ayçiçeği çekirdeği, patates ve portakal kabuğu.

2.5.2. Likenler

Likenler genellikle bir mantar partneri olan mikobiyont ve çoğunlukla yeşil alg veya siyanobakteri olan fotobiyont adlı bir veya daha fazla fotosentetik ortaktan oluşan simbiyotik organizmalardır (Nash, 2008). Liken tallusu tabakalar halinde ototrof algler ile fungus (mantar) hiflerinden oluşur. Burada alg, yeşil alg veya mavi-yeşil alg ya da her ikisi de olabilir. Algler likenin mantarına organik besin maddesiyle oksijen sağlar; mantar ise likene solunumla CO_2 , su ve mineral sağlar (Hale, 1967). Çoğu likenlerin ikili doğası yaygın olarak bilinmesine rağmen, bazı likenlerin üç (üçlü likenler) veya daha fazla ortak içerdiği bilinir. Genel olarak, üç aile içeren simbiyotik bir birlik olmasına rağmen, likenler ayrı talli olarak bulunur ve birçok çalışmada birey olarak ele alınır. Ama genetik ve evrimsel açıdan, likenler kesinlikle birey olarak kabul edilemez ve bu gerçek, gelişimsel ve üreme çalışmaları gibi birçok araştırma alanı için büyük etkilere sahiptir (Nash, 2008).

Likenler çoğunlukla ışığı fazla olan yerlerde gelişirler, bu yoğun ışık ototrof likenin fotosentez sistemine zarar vermemesi için mantarlar sarı, turuncu ve kırmızı bileşikler üretirler. Likenlerin tallusu mantar hifleri ve alglerden meydana gelmiş morfolojik ve fizyolojik bir birliktir. Bitkiler âleminde bu birlik, ortak yaşamın en iyi örneklerinden biridir. Böylece alg ve mantar ayrı ayrı kendilerine uygun gelmeyecek ortamlarda birlikte yaşarlar. İlkel tiplerde, mantarların miselyumu alg tarafından salınan musilaj içinde bulunur. Musilaj mantara elverişli bir ortam temin eder. İpliği likenlerde mantar hifleri alg ipliğinin etrafını sarar. Böylelikle bütün bu tiplerde likenin şekli alg

tarafından verilir. Hem algin hem de mantarın bütün liken tallusunun enine homojen olarak dağılmış oldukları bu tür ilkel yapıları likenlere homeomerik denir (Hale, 1967). Daha gelişmiş tiplerde şekil mantar tarafından tayin edilir. Bunlarda her iki organizma ayrı ayrı bölgelerde bulunduğu heteromerik adını alır (Hale, 1967).

Likenize edilmiş talusun morfolojisi, fotobiyont ve mikobiyontla doğrudan teması tarafından kuvvetle etkilenir. Doğada, aynı mikobiyontun, moleküler tekniklerle tespit edildiği gibi, sırasıyla bir siyanobakteryum ve yeşil bir alg ile birbirine bağlı iki talli oluşturabildiği en azından birkaç durum vardır. Bu farklı morfotiplere, fotomiyodem adı verilir ve bunların ortaya çıkışı fotobiyont tarafından ontogenetik kontrol anlamına gelir. Kültürde, parçalanmamış mikobiyotikler nispeten amorf kalmaya devam etmekle birlikte, ilk kez fotobiyontla etkileştiklerinde bu gelişmeyi başlatırlar. Ardından, mikobiyont fotobiyontları tamamen sarabilir ve özellikle yeşil alglerde, haustoria denilen yapılarla fotobiyont yüzeyine nüfuz edebilir. Kökleri bazen ölü fotobiyont hücreleriyle ilişkili olduğu için ve paraziter mantar sıklıkla kök oluşturduğundan, likenizasyonu kontrollü parazitizmin bir örneği olarak yorumlanmaktadır. Deneysel kanıtlar sınırlı olmakla birlikte, bu köklerin fotobiyonttan mikobiyontta karbonhidrat transferini kolaylaştırdığı varsayılmaktadır (Nash, 2008).

2.5.2.1. Fotobiyontlar

Yaklaşık 40 tür alg ve siyanobakteriler likenlerde fotobiyont olarak bildirilmiştir. Üç tür, *Trebouxia*, *Trentepohlia* ve *Nostoc*, en sık görülen fotobiyontlardır. *Trebouxia* ve *Trentepohlia* türleri ökaryotik ve yeşil algdir. *Nostoc* türü siyanobakteri denilen oksijenli fotosentetik bakteridir. Ökaryotik fotobiyontlara ayrıca fikobiyontlar, siyanobakteri fotobiyontlara da siyanobiyontlar denilmektedir. Ökaryotik fotobiyontların büyük çoğunluğu birçok sitolojik özellikleri ve pigmentasyonunu (klorofil a ve b) paylaşan yeşil algelere aittir (Nash, 2008).

Siyanobakteriler prokaryotiktir ve kloroplastları, mitokondrileri ve çekirdekleri yoktur. Siyanobakterilerde, tilakoidler sitoplazmada serbesttirler ve çoğu zaman çevreyi sınırlandırır. Histonlarla ilişkili olmayan dairesel DNA, sitoplazmada bazen "nükleplazma" olarak adlandırılan tilakoidlerden arınmış bölgelerde yoğunlaşır (Nash, 2008).

Ototrofik fotobiyontdan heterotrofik mikobiyot'a metabolit aktarımı, içerdği fotobiyont türüne bağlıdır. Yeşil alg fotobiyont likenlerinde karbonhidratlar alkol şekeri, siyanobakteri likenlerinde ise glukozdur. CO₂ alımının aktivasyon modu, fotobiyontun prokaryotik veya ökaryotik olup olmadığına bağlı olarak değişen bir başka temel özelliğidir. Birçok likende, pozitif net fotosentez tek başına su buharı alımından sonra mümkündür. Buna karşılık, siyanobakteriyel likenlerde ölçülebilir bir gaz alışverişi meydana gelmez, çünkü fotosentezi etkinleştirmek için gerekli su içeriği seviyesi daha yüksektir ve bu düzeyleri elde etmek için sıvı suya ihtiyaç duyulmaktadır (Nash, 2008).

2.5.2.2. Mikobiyontlar

Liken oluşturan mantarlar (aynı zamanda liken mikobiyontlar olarak da adlandırılırlar), bitki patojenleri veya mikorizal mantarları gibi, bir polifiletetik, taksonomik olarak heterojen beslenme uzmanları grubudur.

Mantarlar, heterotrofik organizmalar olarak, sabit karbon elde etmek için çeşitli beslenme stratejileri geliştirmiştir. Likenizasyon, diğer bir deyişle, bir popülasyondan sabit karbonun alınması, alg ve / veya siyanobakteriyel hücrelerin yaşaması için yaygın bir beslenme şeklidir (Nash, 2008).

Liken oluşturan mantarların yüksek bir yüzdesi, ekolojik olarak zorunludur, ancak fizyolojik olarak fakültatif biyotroflardır (canlı bir ev sahibinden besin maddeleri alan organizmalar). Başka bir deyişle aposimbiotik (serbest yaşayan) olarak yetiştirilebilirler, ancak doğada neredeyse sadece simbiyotik fenotipler bulunur (Nash, 2008).

Moleküler filogenler likenize olmuş ve açılmamış mantarların taksonomik ilişkilerini açıklar. Son yılların en büyüleyici mikolojik keşifleri likenizasyonun geçici olabileceği bulgusudur. Likenleşmiş ve likenleşmemiş *Ascomycetes*'ten bir dizi Bayes filogenetik ağaç örnekleme metodolojisi ile moleküler verilerin geniş kapsamlı kümelerini kapsamlı bir şekilde analiz etmeye dayalı olarak, Litton ve ark., (2001), (1) likenlerin önceden varsayıldığı gibi evrimleştiğini, (2) likenizasyon kazanımlarının, *Ascomycete* gelişimi sırasında önceden tahmin edilenden belirgin şekilde daha az sık olduğu ve (3) liken simbiyozu birkaç kez kaybolduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, *Eurotiomycetidae* gibi likenleşmemiş *Ascomycetes*'in sayısız taksonu liken oluşturan

atalardan türemiştir. Bu grup, ilgi çekici ikincil metabolizmalarından dolayı biyoteknolojide kullanılan çok sayıda türün *Penicillium sp.* ve *Aspergillus sp.* gibi ekonomik açıdan önemli taksonları kapsar; bu özellik, atalarının çoğuyla paylaşılmıştır (Nash, 2008).

Likenize olmuş ve olmamış mantarlar arasındaki herhangi bir temel farklılığın kanıtı yoktur. Hücre duvarı yapısı ve likenleşmiş *Ascomycetes* kompozisyonu, tüm *Ascomycota*'da görülen varyasyon aralığında görülür. Liken oluşturan *Ascomycetes* ve *Basidiomycetes*, likenize edilmemiş mantar taksonu olarak aynı türde hidrofobik hücre duvar yüzeyi bileşiklerini (hidrofobinleri) üretir ve salgılar (Nash, 2008).

2.5.2.3. Likenlerin hava ve su kirliliği bakımından önemleri

Likenler; hava kirliliğine hassas, dayanıklı ve kirliliğin bulunduğu yerde yaşayabilen özelliğe sahip türlerden oluşan ve bu özellikleri ile hava kirliliğinin belirlenmesinde kullanılan biyoindikatör canlılardır. Likenler kirleticileri bünyelerinde depolarlar. Gelişmiş bir kök sistemleri olmadığı için su ve mineral madde alışverişini tüm yüzeyleriyle yaparlar. Hava kirliliğine hassas türler yok olurken, dayanıklı türler kirleticileri depolamaya devam ederler (Nash, 2008).

Hava kirliliğine hassasiyet bakımından likenler 3 gruba ayrılırlar:

-Kirleticilerin etkisi ile ortamdan yok olan cinsler; *Usnea*, *Ramalina* cinslerine ait türler ve *Pseudevernia furfuracea*.

-Hava kirliliğine rağmen doğal ortamlarındaki gelişmelerini sürdürebilen dayanıklı türler; *Hypogymnia physodes*, *Xanthoria parietina*, *Physcia adscendens*, *Buellia punctata*, *Lepraria incana*. Bu türler hava kirliliğine dayanıklı olmalarına rağmen kirlilik çok arttığında ortamdan kalkmaktadırlar.

-Liken türlerinin büyük bir kısmı ortamdan kalktıktan sonra bile gelişimini sürdürebilen türler; *Lecanora conizeaoides* bu grubun en tipik örneğidir. Ayrıca *Lepraria incana*, *L. jackii*, *Mycoblastus fucatus*, *Ropalospora viridis*, *Scoliciosporum chlorococcum* liken türleri de bu gruba örnek gösterilebilir (Tufan ve Sümbül, 2010).

Hava kirliliğine hassas likenlerin kirliliğe gösterdiği tepki, likenlerin biyolojileri ile ilgilidir. Likenler yüzyıllarca yaşadıklarından, hava kirleticilerine çok maruz kalmaktadır. Vaskular bitkiler gibi dökülme sonucu yenilenebilen yapılara sahip olmadıklarından, bu yolla elde edilebilecek hava kirleticilerine karşı korunma da sağlanamamaktadır. Ayrıca stoma ve kütikula gibi yapılarının bulunmaması nedeniyle havadan gelen sıvı ve gazlar tallusun tüm yüzeyi tarafından emilmekte ve kolayca alglere ulaşmaktadır. Tallusta bulunan su miktarının hızlı değişim göstermesi sebebiyle poikilohidrik organizmalar olan likenler, kurak dönemlerde sıvı içeriğini azaltarak canlı kalmayı sağlarlarken, aynı zamanda, kirletici madde derişiminin artması nedeniyle, toksik seviyeyle karşı karşıya kalmaktadırlar. Bu maddelerin alımı liken bünyesindeki alg hücrelerinin ölümüne yol açabileceği gibi, oluşan yeni ortam nedeniyle, ortaklardan birinin diğeri ile ortaklıktan vazgeçmesi sonucunu da ortaya koyabilmektedir (Nash, 2008).

Ekosistemin bir bölümünü oluşturan su ortamı, kullanılmış sular ve diğeri atıklar için alıcı ve uzaklaştırıcı bölge olarak kullanıldığında, ekosistem içinde hava ve toprağa oranla en yoğun kirlenmeye uğrayan kısım halini almıştır. Son yıllarda su kirliliği kontrolü büyük önem kazanmıştır. Su kaynaklarına verilen boyalar da organik yük olarak bu kirliliğin bir kısmını oluşturmaktadır. Kimyasal çöktürme, iyon değişimi, ozonlama, koagülasyon-flokülasyon, adsorpsiyon gibi sıvı atıklar için boya gibi kirleticilerin uzaklaştırılması işlemleri geliştirilmiştir. Ancak bu metotların ön görülemeyen kirleticilerin giderimi, yüksek reaktif ihtivasi, pahalı olmaları ve toksik çamur gibi çeşitli dezavantajları vardır. Bu yüzden, çevre dostu, ekonomik ve etkili yöntemler geliştirilmiştir. Biyosorpsiyon, düşük maliyeti ve yüksek boya bağlama kapasitesiyle çevre dostu, ekonomik ve etkili bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır. Boya gibi kirleticilerin sulu ortamdan uzaklaştırılmasında çeşitli biyosorbentlerin kullanımına dayanan biyosorpsiyon yöntemi günümüzde önemli biyoteknolojik araştırma konuları arasında yer almaktadır. Alg, bakteri, mantar, liken ve mayalar potansiyel biosorbentlerdir (Hamutoğlu, vd., 2012).

2.5.2.4. Pratik uygulamalar

Likenlerin oluşturduğu ikincil ürünlerin birçoğu tatsızdır ve ayrıştırıcılara karşı savunma amaçlı bileşikler olarak görülebilir. Sonuç olarak, bu ikincil ürünlerin

farmasötik endüstrisi tarafından sıklıkla antibakteriyel ve antiviral bileşikler olarak kullanılmaktadır. Buna ek olarak, likenler doğal boyaların kaynağı olarak ve parfüm yapımında uzun süredir kullanılmaktadır. Her iki durumda da ikincil ürünler bu uygulamalar için kimyasal temel sağlar (Nash, 2008).

Likenlerin bazıları, bazı hayvanlar için besin kaynağıdır. Bazı çöl bölgelerinde bir çeşit liken tallusu öğütülerek ekmek yapımında kullanılır (Hale, 1967).

Likenler boya endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. Likenlerden çeşitli renk boya elde edilir. Ayrıca, pH tayininde kullanılan kâğıt ta likenlerden elde edilen boya ile hazırlanır (Hale, 1967).

2.5.2.5. Tez çalışmasında kullanılan likenler, özellikleri ve biyosorpsiyon çalışmaları

Literatürde likenler ile yapılan boya biyosorpsiyonu çalışması olarak sadece; Kulkarni, vd., (2014) yapmış olduğu liken *Permelia perlata* ile Solvent Red 24 adlı boyanın biyolojik parçalanmasını ve detoksifikasyonunu gözlemleme çalışması bulunmaktadır. Bu çalışmada, liken *Permelia perlata*'nın, Solvent Red 24 (SR24) boyası için renk giderimi ve biyolojik bozunması potansiyeli gösterdiği test edilmiştir. Renk giderme için en uygun pH ve sıcaklık, sırasıyla 8 ve 50 ° C olarak bulunmuştur. SR24'ün biyolojik olarak parçalanması sırasında *P. perlata*'daki lakkaz aktivitesinde indüksiyon katılımlarını gösterdiği belirtilmiştir. HPTLC, FTIR ve GC HRMS analizi SR24'ün naftalin-1-ylazen, naftalen, 1- (2-metilfenil) -2-fenildiazen ve difenildiazen gibi metabolitlere biyolojik olarak parçalanmasını doğrulamıştır. Fitotoksisite ve genotoksisite analizi, biyolojik bozunum sonrası SR24'ün toksisitesindeki azalmayı ortaya çıkardığı belirtilmiştir (Kulkarni, vd., 2014).

2.5.2.5.1. *Cladonia convoluta*

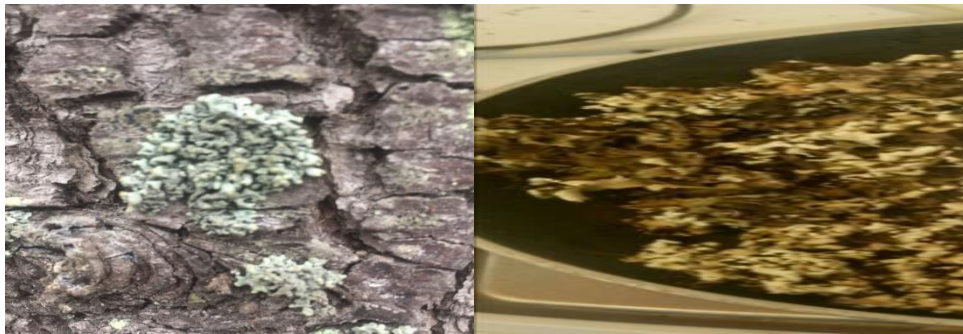
Cladonia, *Cladoniaceae* ailesindeki yosun benzeri bir liken cinsidir.

Ren geyiği gibi hayvanlar için birincil besin kaynağıdır. Antibiyotik kremi oluşturmak için bazı türlerden antibiyotik bileşikler çıkarılır. Açık yeşil tür *Cladonia stellaris* çiçek süslemelerinde kullanılır.

Toprak üzerinde gelişen *Cladonia convoluta*, *C. fimbriata*, *C. floerkeana*, *C. rangiformis* ve *Peltigera canina* türleri daha çok orman altlarındaki açık alanlarda gelişmektedir. Bu türler ışığı severler (Sezer, 2016).

Cladonia convoluta ve *Cladonia rangiformis*, geniş bir yelpazede bulunan en yaygın liken türleridir. Bu türlerin bireyleri nispeten yüksek miktarda ağır metal biriktirirler ve kentsel çevreden gelen likenlerden daha az klorofil içerirler. Bu nedenle, liken klorofil içeriğinin talus metal içeriğine bağlı olduğu kabul edilmiştir. Bununla birlikte, çoğu yerde, bu likenler çeşitli kombinasyon ve derişimlerde potansiyel olarak zehirli metallere (çoğunlukla Cu, Zn ve Pb) maruz kalmaktadırlar (Chettri, vd., 1998).

Klorofil bozunması, ağır metaller fotobiont hücrelerine girdiğinde ortaya çıkabilir. Elektron mikroskobu kullanılarak *Cladonia rangiformis* ve *Cladonia convoluta* ile yapılan daha önceki çalışmalar, Pb'nin çoğunlukla yüzey tabakasında ve hücre duvarı üzerine bağlandığını gösterirken, beslenen Cu ve Zn izleri fotobiont hücrelerinde hücre içine birikmiştir (Chettri ve Sawidis, 1997). Klorofil, fotobiont hücrelerinde bulunur ve elektron mikroskopisi ve K-efflux verilerine dayanarak Cu, liken hücrelerine en kolay şekilde girebilir. Bu nedenle, Cu'nun, topraktaki Cu, Zn ve Pb'nin bulunduğu maden sahalarında yetişen likenlerin klorofil içeriğinin azalmasından sorumlu olduğu öne sürülmüştür. Bu nedenle, bu çalışmada, Cu, Zn ve Pb'nin bireysel olarak ve kombinasyon halinde liken *Cladonia rangiformis* ve *Cladonia convoluta*'nın talus metal içeriği üzerindeki etkisi ve daha sonra klorofil içeriği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Dahası, *Cladonia convoluta*'nın klorofil içeriğinin Cu'ya karşı daha duyarlı olduğu hipotezi de test edilmiştir, çünkü Cu tarafından indüklenen K-efflux, *Cladonia rangiformis*'de indüklenen K-efflux'tan daha fazla olduğu görülmüştür. (Chettri ve Sawidis, 1997; Chettri, vd., 1998).



Şekil 2.2. *Cladonia convoluta*.

2.5.2.5.2. *Evernia prunastri* (Oakmoss)

Evernia prunastri, ayrıca meşe ağacı olarak da bilinir, diğer adı *Oakmoss*'tur. Kuzey Yarımküre boyunca, Fransa, Portekiz, İspanya, Kuzey Amerika ve Orta Avrupa'nın bir bölümünü içeren dağlık ılıman ormanlarda bulunur. *Oakmoss* öncelikle meşe ağacının gövde ve dallarında yetişir; ayrıca yaygın olarak diğer yaprak döken ağaçların ve saman ve çam gibi kozalaklı ağaçların kabuğunda da bulunur. Tallisi, kısa (3-4 cm uzunluğunda) ve kabarıktır ve büyük kümeleri oluşturmak için kabuğun üzerinde birlikte büyür. *Oakmoss* tallusu düz ve kayış gibidir. Geyik boynuzları biçiminde son derece dallanmış durumdadırlar. Meşe yetiştiriciliğinde, kururken yeşilden yeşilimsi beyaza, ıslak olduğu zaman koyu zeytin yeşili ve sarı yeşil arasında değişir. Tallinin dokusu kuru olduğunda sert, ıslak olduğunda lastik gibidir. Modern parfümlerde yaygın olarak kullanılır.

Oakmoss, Güney-Orta Avrupa ülkelerinde ticari olarak hasat edilir ve genellikle Fransa'nın Grasse bölgesine ihraç edilir. Burada, kokulu bileşikleri meşe yünü özleri ile elde edilir. Bu hammaddeler sıklıkla parfüm tutkalları olarak kullanılır ve birçok kokunun temel notalarını oluşturur. Likenin kokusu odunsu, keskin ve hafif tatlı olarak tanımlanabilir. Çamlarda büyüyen *Oakmoss*, belli parfüm kompozisyonlarında değer verilen belirgin bir terebentin kokusu taşır (iNaturalist).



Şekil 2.3. *Evernia prunastri*.

2.5.2.5.3. *Pseudevernia furfuracea*

Yaygın olarak yosun bilinen *Pseudevernia furfuracea*, köknarların ve çamların kabuğunda yetişen likenize bir mantar türüdür. Liken hava kirliliğine oldukça duyarlıdır, varlığı genellikle büyüyen yerde iyi hava koşullarının olduğunu gösterir. Bu

tür, parfümde, mumlandırmada ve tıpta kullanımı da dâhil olmak üzere sayısız insan kullanımına sahiptir. Fransa'da parfüm endüstrisi için her yıl ağaç yosunu büyük miktarda işlenmektedir.

Pseudevernia furfuracea yeşil yosun cinsi *Trebouxia*'dan gelen fotobiyonlarla ilişkilidir. Eşeysiz olarak ürerler. Bu türün su özütlerinin, kolloidal bizmut alt sitrat gibi bizmut bileşiklerinden kaynaklanan genotoksisiteye karşı güçlü koruyucu bir etkisi olduğu bilinmektedir (iNaturalist).



Şekil 2.4. *Pseudevernia furfuracea*.

2.5.3. Algler

Algler tatlı sularda, denizlerde ve karasal ortamlarda bulunmaktadırlar. Plankton ya da epifit hallerinde, kaplıca sıcaklığı 70-80 °C olan sularda yaşayabilenleri, bitki dokularının intersellüler boşluklarında kısmen parazit yaşayanları, simbiyoz olanları, -190° C de bile yaşayabilenleri bulunmaktadır (Yurdakulol ve Cansaran, 2004).

Algler, Tallus adı verilen vücut yapılarına sahip, klorofil içeren, çiçeksiz ve sporlu canlılardır. Algler, hareketli, hareketsiz, bir hücreli ya da koloni, dallanmış ya da dallanmamış, ipliksi, yapraksı, şeritsi, tüpsü, makroskopik ya da mikroskopik olabilirler. Sulu ortamda yaşayan tek hücreli organizmalardır. Fotosentez yada fagosite yaparak beslenirler. Vücut yapıları gerçek kök, gövde ve yaprak olarak farklılaşmamış olan, iletim demetleri bulunmayan ve klorofil-a içeren sucul bitkilerdir (Ural, 2017).

Tatlı su algleri deniz türlerine göre daha küçük ve narindirler. Algler genellikle istenilen büyüme dönemi gözleninceye kadar kültüre edilirler. Ayrıca bazı büyük türler

herbaryum kartlarına tespit edilip saklanır veya kurutulur. Saf alg kolonilerinin toplama dönemi, genellikle baharın ilk iki ayı en iyi dönemidir. Karışık populasyonlar ise yaz aylarında kendilerini göstermektedirler (Yurdakulol, vd., 2005).

Algler hem morfolojileri hem de yapısal özellikleri bakımından farklılık gösteren canlılardır. Algler içinde prokaryotik (ilkel hücre tipi) ve ökaryotik (gelişmiş hücre tipi) hücresel yapıya sahip farklı iki grup yer almaktadır. Hücresel organizasyon olarak prokaryotik özellik gösterenler Mavi-Yeşil algler ya da Siyanobakteriler olarak adlandırılmaktadır. Siyanobakteriler prokaryotik hücre yapılarının yanısıra gram negatif boyanma özelliği gösterirler. Diğer taraftan Fotosistem 2'ye sahip oldukları için ökaryotlarla benzerlik gösterirler. Yeşil ve kırmızı algler ise ökaryotik hücre yapısına sahiptir.

Mavi-yeşil algler (Siyanobakteriler) koloniler veya tek hücreler halinde bulunmaktadır. İpliksi üyeleri de vardır. Hücre çeperleri selüloz, murain'den (peptidoglikan) oluşur, dış tarafı musilaj ile kaplıdır. Plazmaları dışta renkli kromoplazma, içte renksiz sentroplazmaya ayrılır. Nukleus ve kromotoforları yoktur ama neredeyse hepsinde pigmentler olması sebebi ile bu hücreler asimilasyon yapabilmekte ve otorof olarak yaşamaktadır. Plankton olanlarda gaz vakuolleri bulunur ve su yüzeyinde durabilirler. Eşeyssel üreme yoktur, vejetatif olarak üremektedirler. Tek hücreliler bölünme ile, ipliksi olanlar ise sporlarla ya da tüm ipliğin birkaç hücreli parçalara ayrılmasıyla olur. Yedek besin maddesi olan volutin proteinlere bağlıdır ve glikoprotein adı verilen glikojen ile sentroplazma içinde bulunur (Yurdakulol ve Cansaran, 2004).

2.5.3.1. Alglerin toplanması ve ortamları

Küçük sucul numuneler doğrudan büyük veya küçük şişelerde, numuneyi örtecek kadar gölet suyu eklenerek toplanır. Şişeler bekletilmeden uygun kimyasallarla tespit ve izole edilir. Büyük örnekler veya alg kolonisi taşıyan objeler plastik torbalara veya ıslak bir kâğıda sarılıp laboratuvara taşınabilir. Gölet, göl ve akarsulara gömülü cisimler algler için uygun bir ortam oluştururlar. Kayalar, odun parçaları, çubuklar ve diğer atıkların üzerlerinde yetişebilirler. Eğer yeşil veya kahverengi renge sahip iseler

üzerlerinde alg bulunur. Bu gibi parçalar tırnak makası veya çakı gibi aletlerle ufalanarak küçük şişelere konulabilir.

Akarsu ve göllere yakın birçok yer veya nemli ormanlar içerisindeki benzeri alanlar alg kolonileri için iyi bir gelişme ortamı oluşturlar. Yeşilimsi topraklar sivri ve yassı bir cisim ile şişe kapağına alınabilir. Sonra kapağı şişeye takıp alt üst edilerek laboratuvara götürülebilir (Yurdakulol, vd., 2005).

2.5.3.2. Kültür yöntemleri

Laboratuvara getirilen numuneler temiz kültür kaplarına alındıktan sonra saf su ilave edilir. Su diğer organizmaların kolaylıkla dağılması için kaynatılabilir. Musluk suyundaki klorür (Cl) algler üzerine zehir etkisi yaptığı için kullanılması uygun değildir.

Numuneler çok fazla sıkışık olmamalı ve yüzey alanı ile su miktarı oranı havalanma için uygun olmalıdır. Direk güneş ışığına maruz kalmadan suni ışıklandırma ile algal büyüme hızlandırılabilir. Kültür numuneleri uzun dönem kalacaksa ek besin ilavesi yapılmalıdır (Yurdakulol, vd., 2005).

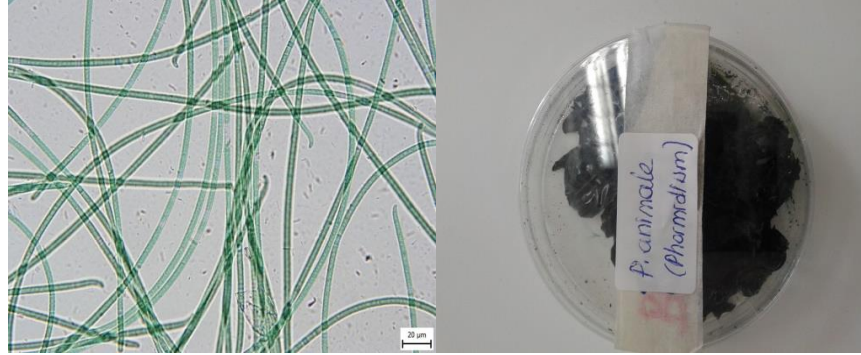
2.5.3.3. Tez çalışmasında kullanılan algler

Daneshvar ve ark. 2005 yılında tekstil boyası olan Malahit Green'in mikroalg *Cosmarium sp.* tarafından biyolojik olarak parçalanmasını araştırmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda, 7. saat de emilimin doyma noktasına ulaştığı, farklı alg derişimlerinden $4,5 \times 10^6$ hücre/ml biyokütle ile 5-45°C sıcaklık aralıklarında sıcaklığın yükselmesi ve pH 9'da verimin en yüksek olduğunu (%92,4) gözlemlemişlerdir (Daneshvar, vd., 2005).

Ergene, vd., (2009) yapmış oldukları denge ve kinetik modelleme çalışması yaparak Remazol Brilliant Blue R boyasının *Scenedesmus quadricauda* üzerine adsorbe ederek giderimini araştırmışlardır. pH 2'de ve 30°C sıcaklıkta *Scenedesmus quadricauda*'nın en yüksek verimde boya alma kapasitesinin olduğunu belirlemişlerdir (Ergene, vd., 2009).

2.5.3.3.1. *Phormidium animale*

Phormidium animale prokaryotiktir ve siyanobakteri olarak adlandırılan tehlikesiz bir organizmadır. Endemik olarak çoğunlukla deniz aşırı bölgelerde görülmektedirler (Government, 2017).



Şekil 2.5. *Phormidium animale*.

2.5.3.3.2. *Scenedesmus* sp.

Scenedesmus sp. ökaryotik yeşil algler grubunda yer alır, biyodizel üretiminde ve algal yağ üretiminde potansiyel bir kaynaktır. Koloniler yan yana yerleştirilmiş, doğrusal veya zikzaklı düzenlenmiş gibi 4 (veya 2, 8, 16) hücreden oluşmaktadır. Eliptik, iğ veya hilal şeklindeki hücre gövdesi bulunmaktadır. Birçok türün terminal hücreleri dikenli projeksiyonlarla; hücre duvarı genellikle pürüzsüz, ancak bazı türlerde granüle, girintili veya çıkıntılı görülmektedir (Protist).



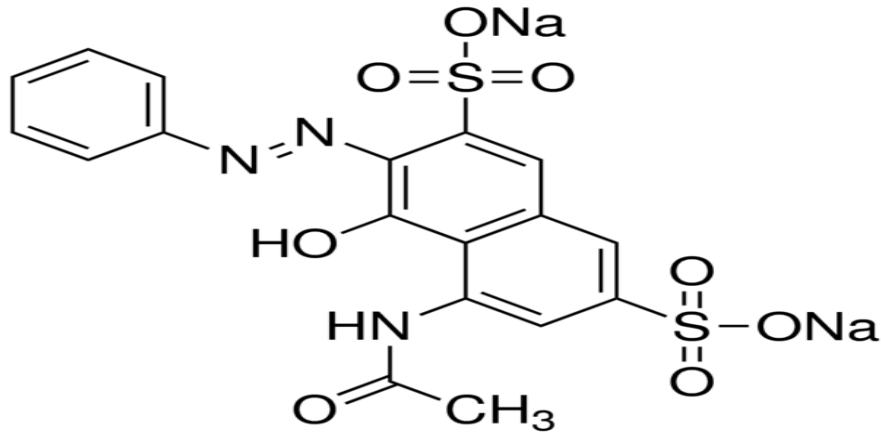
Şekil 2.6. *Scenedesmus* sp.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.2. Deneylerde kullanılan boyaların özellikleri

ARP-2BX (Acid Red P-2BX) ve RBB (Remazol Black) boyaları Bilecik ilinde bulunan Sibel Tekstil firmasından temin edilmiştir. ARP-2BX'in molekül yapısı Şekil 3.1'de bazı fiziksel özellikleri ise Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

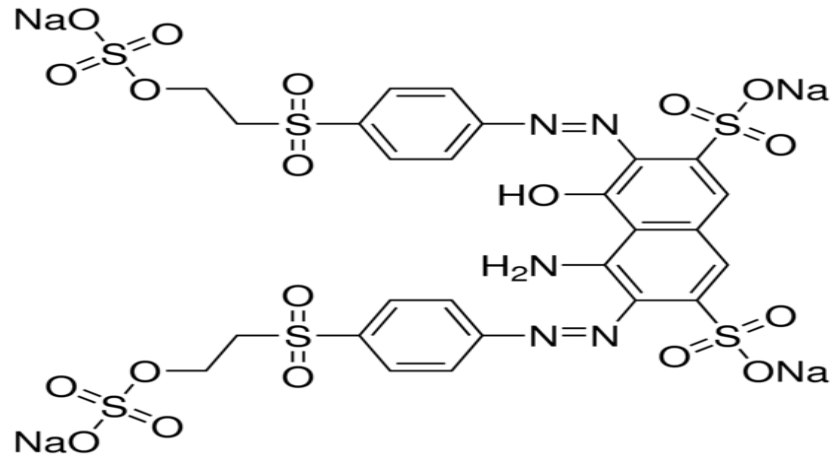


Şekil 3.1. ARP-2BX'in molekül formülü.

Çizelge 3.1. ARP-2BX'in fiziksel özellikleri. (Aldrich, 1975).

Renk	Kırmızı-Mor
Yapısı	Toz
Kızılötesi Spektrum	Yapıya Uymaktadır
Dalgaboyu	529-5
Sınıfı	Asidik 35 nm
Sudaki Çözünürlük	İyi
Renk İndeks Numarası	210633
Molekül Ağırlığı	509,42
Molekül Formülü	$C_{18}H_{13}N_3Na_2O_8S_2$

RBB'nin molekül yapısı Şekil 3.2'de bazı fiziksel özellikleri ise Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. RBB'nin molekül formülü.

Çizelge 3.2. RBB'nin fiziksel özellikleri. (Aldrich, 1975).

Renk	Siyah-Lacivert
Yapısı	Toz
Kızılötesi Spektrum	Yapıya Uymaktadır
Dalgaboyu	593-600 nm
Sınıfı	Azo boya
Sudaki Çözünürlük	İyi
Renk İndeks Numarası	306452
Molekül Ağırlığı	991,82
Molekül Formülü	$C_{26}H_{21}N_5Na_4O_{19}S_6$

3.1.3. Deneylerde kullanılan kimyasal maddeler

Deneylerde sodyum hidroksit (NaOH), hidroklorik asit (HCl) ve Sibel Tekstil fabrikasından alınan ARP-2BX ve RBB isimli ticari boyalar kullanılmıştır.

Deneylerde kullanılan alglerin geliştirilmesi için BG11 besiyeri kullanılmıştır. Bu besiyeri genel olarak siyonabakterilerin geliştirilmesi için kullanılan bir ortamdır, ayrıca ChloropHyta grubu üyelerinin geliştirilmesinde de sıkça kullanılmaktadır (Taştan, B.E., vd., 2012; Ankara Üniversitesi, 2015). BG11 besiyeri bileşenleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. BG11 besiyeri bileşenleri. (Rippka, 1988)

NaNO ₃	1,5 g/L
K ₂ HPO ₄	0,040 g/L
MgSO ₄ .7H ₂ O	0,075 g/L
CaCl ₂ .2H ₂ O	0,030 g/L
Na ₂ CO ₃	0,020 g/L
Sitrik asit	6 g/L
Demir amonyum sitrat	6 g/L
Na ₂ EDTA	1 g/L
H ₃ BO ₃	2,86 g/L
MnCl ₂ .4H ₂ O	1,81 g/L
ZnSO ₄ .7H ₂ O	0,222 g/L
Na ₂ MoO ₄ .5H ₂ O	0,390 g/L
CuSO ₄ .5H ₂ O	0,079 g/L
Co(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	0,049 g/L

3.1.4. Biyosorbentler

Deneylerde organik atıklar (muz, çekirdek, portakal ve patates kabuğu), likenler ve algler kullanılarak hazırlanan biyosorbentler kullanıldı.

3.1.5. Boya çözeltilerinin hazırlanması

Stok boya çözeltisi 20 g/L'lik şeklinde hazırlandı. Daha sonra istenen derişimlerdeki boya çözeltileri, stok çözeltiden alınarak seyreltme yapıp, deneylerde kullanıldı.

3.1.6. Asit ve baz solüsyonlarının hazırlanması

Çözelti pH'larını ayarlamak için 1 M NaOH (Sigma-Aldrich) ve 1 M HCl (Sigma-Aldrich) çözeltileri kullanıldı. pH etkisi deneylerinde, pH 2, 4, 6, 8 ve 10 denenmiş olup, her biyosorbent için belirlenen en uygun pH değerleri sonraki deneylerde kullanılmıştır.

3.1.7. Deneylerde kullanılan aletler

3.1.7.1. Spektrofotometre (Labomed Inc. 22, UV-Visiblespektrofotometre)

Çözeltilerdeki boya miktarının analizine boyanın maksimum dalga boyundaki absorpsiyonunu okumak için kullanıldı.

3.1.7.2. Karıştırıcı (H11960, Termal)

Belirli bir sıcaklık ve karıştırma hızında biyosorpsiyon deneylerinin gerçekleştirilmesi için kullanıldı.

3.1.7.3. pH metre (H12211 pH/ORP Meter, Hanna Ins.)

Boya çözeltilerinin pH'ının ayarlanmasında kullanıldı. pH etkisi deneylerinde, pH 2, 4, 6, 8 ve 10 denenmiş olup, her biyosorbent için belirlenen en uygun pH değerleri sonraki deneylerde kullanılmıştır.

3.1.7.4. Santrifüj (1-14 Model, D-37520, Sigma)

Numunelerdeki biyosorbentin çöktürülerek uzaklaştırılmasında kullanıldı.

3.1.7.5. Analitik terazi (TW423L, Shimadzu)

Deneylerde kullanılan kimyasal ve biyosorbentlerin hassas bir şekilde tartılmasında kullanıldı.

3.1.7.6. Elek (0.5 mm, Utest)

Biyosorbentlerin istenilen tanecik boyutunda elde edilmesi için kullanıldı.

3.1.7.7. Öğütücü (Fore Test Cihazları)

Biyosorbentlerin toz haline gelmesi için kullanıldı.

3.1.7.8. Etüv (EN 932-5, Liya)

İşlem görmemiş biyosorbentlerin kurutulması için kullanıldı.

3.1.7.9. Kül fırını (MT1207-B2-V42, Magma Therm)

İşlem görmemiş biyosorbentlerin yüksek sıcaklıkta kül haline dönüşmesi için kullanıldı.

3.1.7.10. Cam malzemeler

Deneylerde çeşitli ebatlarda Erlenmayerler, beherler, mezürler, pipetler ve santrifüj tüpleri kullanıldı.

3.2. Metot

3.2.1. Biyosorbentlerin hazırlanması

Deneylerde kullanılan organik atıklar (muz, ayçiçeği çekirdeği, portakal ve patates kabukları) ve Bilecik İl'inden toplanan likenler yıkama işleminden sonra kurutuldu.

Çalışmada kullanılan mikroalglerden *Scenedesmus sp.* Eskişehir, Türkiye'den (Taştan ve Tekinay, 2016), *Phormidium animale* ise Çanakkale, Türkiye bölgesinden izole edilmiş ve tanımlanmıştır (yayınlanmamış çalışma). *Scenedesmus sp.* ökaryotik yeşil algler grubundandır. *Phormidium animale* ise prokaryotik mavi-yeşil alglerdendir. Mikroorganizmalar Gazi Üniversitesi Polatlı Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü Araştırma Laboratuvarı'nda 250 mL'lik erlenler içinde 100 mL BG 11 besi yerleri (Rippka, 1998) bulunan kültür ortamlarında $25^{\circ} \pm 2^{\circ}$ de $48 \mu\text{mol/m}^2\text{s}$ (2400 lx) ışık altında inkübe edilmişlerdir (Şekil 3.3.). Besiyerlerinin pH'ı konsantre (1M) ve seyreltik (0.01M) sülfürik asit/sodyum hidroksit solüsyonları ile ayarlanmıştır.



Şekil 3.3. Kültüre alınan mikroalgler.

Ardından büyük hacimde üretim çalışmalarına geçilmiştir. Çalışmalar BG11 besi ortamında ve 5 litrelik plastik ışık alan seyreltik sodyum hipoklorit ve/veya etanol ile steril edilmiş bidonlarda gerçekleştirilmiştir. Bidonlara akvaryum motorları ile sürekli hava uygulanmıştır. Motorların çalışma kapasitesi 8W olup 2-4 çıkışlıdır (Şekil 3.4. a ve b).



Şekil 3.4. Büyük hacimde üretilen mikroalgler a. Başlangıç kültürler, b. Logaritmik gelişme fazının sonundaki kültürler.

Logaritmik gelişme fazının tamamlanmasının ardından santrifüjle besiyerlerinden ayrılan mikroorganizmalar 70° C'de 1 gece boyunca darası alınmış

alüminyum kaplarda kurutulmuş ve ardından homojen hale getirilerek Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi'ndeki laboratuvarlarda biyosorpsiyon deneylerinde kullanılmıştır (Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. Mikroorganizmalar.

Çalışmada 2 farklı şekilde hazırlanan biyosorbentler kullanılmıştır. Birinci grup yıkama ile temizlendikten sonra 100 °C'de etüvde kurutuldu. İkinci grup biyosorbentler ise 500°C'de 30 dakika süre boyunca kül fırınında bekletildi. Her iki grupta öğütücüden geçirilerek toz haline getirildi. Toz taneciklerinin hepsinin eşit büyüklükte olması için 0,5 mm'lik elekten geçirilerek deneyler için hazır hale getirildi.

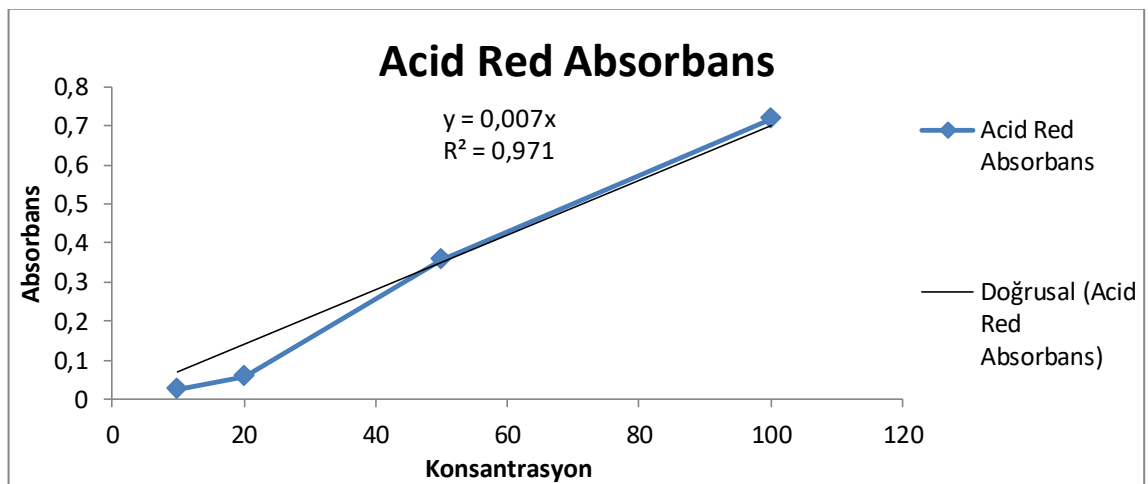
Çalışmalarda kullanılan biyosorbent çeşitleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Çalışmada kullanılan biyosorbent çeşitleri.

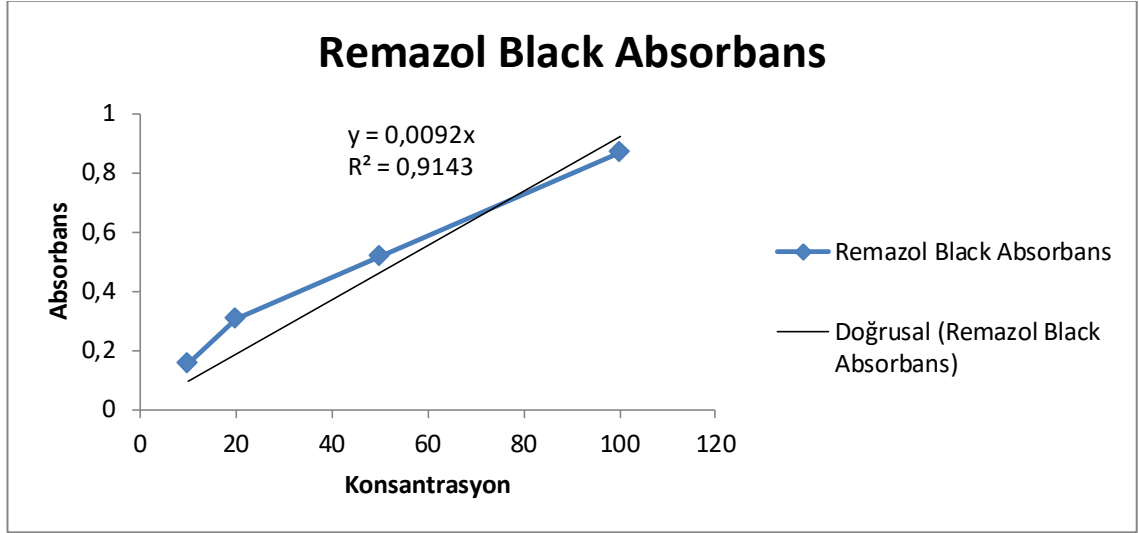
1. Organik Atıklar 1.1. Muz Kabuğu (MK) 1.2. Ayçiçeği Çekirdeği Kabuğu (AÇK) 1.3. Patates Kabuğu (PaK) 1.4. Portakal Kabuğu (PK)
2. Likenler 2.1. <i>Cladonia convoluta</i> (Cc) 2.2. <i>Evernia prunastri</i> (Ep) 2.3. <i>Pseudevernia furfuracea</i> (Pf)
3. Algler 3.1. <i>Phormidium animale</i> (Pa) 3.2. <i>Scenedesmus sp.</i> (Ss)

3.2.2. Boya analizi

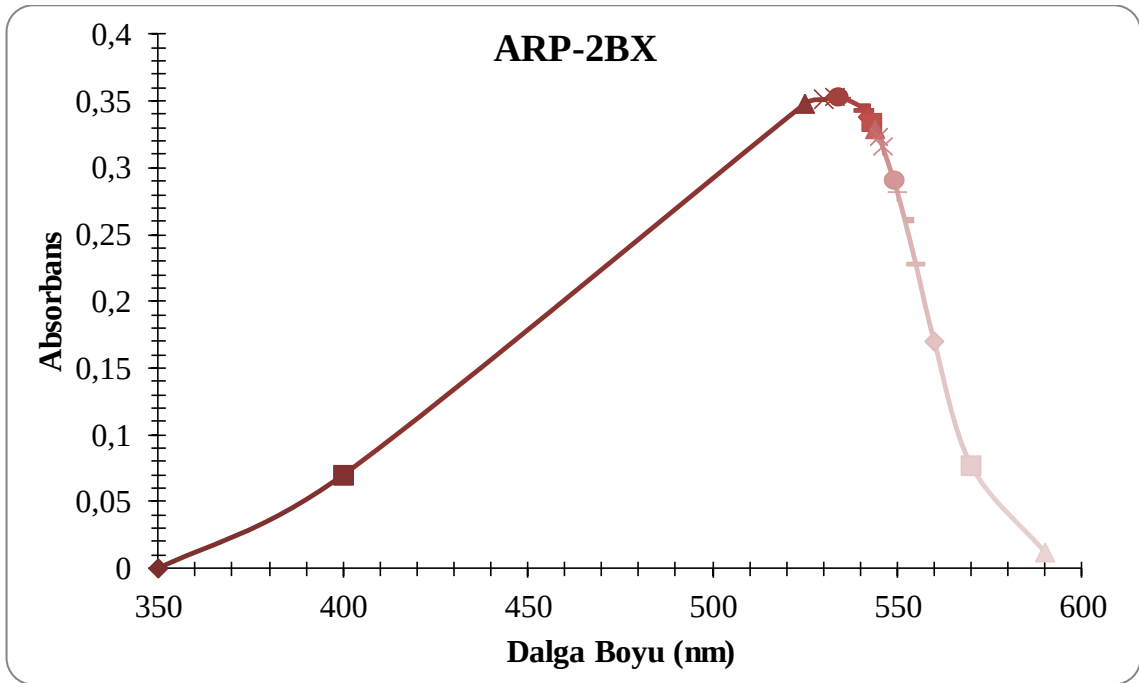
Spektrofotometrede boyalar için, en yüksek değerin ölçüldüğü dalga boyları bulunarak kalibrasyon eğrisi çizildi (Şekil 3.6. ve Şekil 3.7.) ve en yüksek dalga boyu (λ_{max}), ARP-2BX için 535 nm ve RBB için 600 nm olarak belirlenmiştir (Şekil 3.8 ve Şekil 3.9).



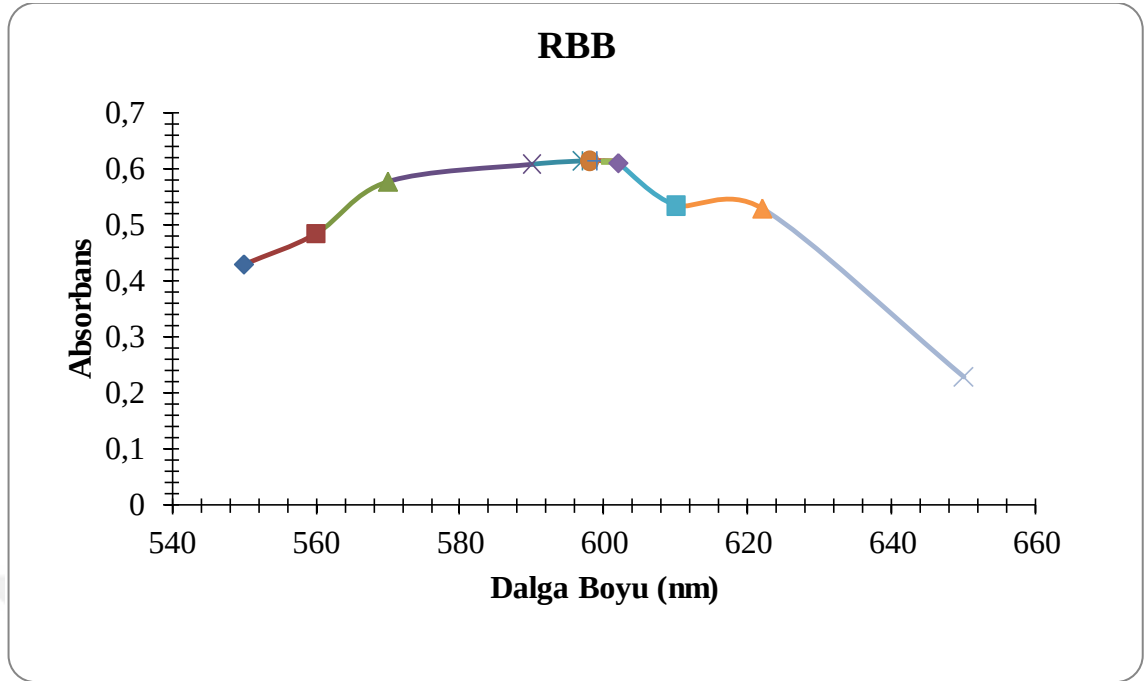
Şekil 3.6. ARP-2BX kalibrasyon eğrisi.



Şekil 3.7. RBB kalibrasyon eğrisi.



Şekil 3.8. ARP-2BX boya analizi.



Şekil 3.9. RBB boya analizi.

Deneyler sıcaklık, zaman ve hız kontrollü karıştırıcı ile gerçekleştirildi. Daha sonra belirlenen zaman aralıklarında 2 ‘şer mililitrelik numuneler alındı ve 10.000 rpm’de 2 dakika santrifüjlendi. Bu numunelerin maksimum absorbansları spektrofotometre cihazında belirlenen dalga boylarında ölçüldü. Biyosorpsiyon deneyleri 5 çeşit parametre göz önüne alınarak yapıldı.

3.2.2.1. Temas süresi

Temas süresinin belirlenmesi için 0, ½, 1, 2, 4, 6, 8, 10 ve 24. saatlerde numune alındı.

3.2.2.2. pH

Biyosorpsiyon üzerine pH’nın etkisinin belirlenmesi için, her bir biyosorbent için 25°C’de, 1 g/L biyosorbent miktarı kullanılarak ve pH 2, 4, 6, 8 ve 10 gibi farklı pH’lar da denendi ve 24 saatlik temas süresi sonunda en uygun pH belirlendi.

3.2.2.3. Boya derişimi

Biyosorpsiyon üzerine boya derişimin etkisini incelemek için deneyler değişik derişimlerde boya çözeltileri kullanılarak 25°C’de, her biyosorbent için belirlenen en uygun pH değerinde, 24 saatlik temas süresi sonunda yapıldı. Boya derişimi deneylerinde 1 g/L biyosorbent miktarı kullanıldı.

3.2.2.4. Biyosorbent miktarı

Biyosorpsiyon üzerine biyosorbent miktarının etkisini incelemek için deneyler 100 mg/L boya çözeltileri kullanılarak 25 °C’de, uygun pH’larda ve 0,1, 0,2 ve 0,4 gr biyosorbent kullanılarak, 24 saatlik temas süresi sonunda yapıldı.

3.2.2.5. Sıcaklık

Biyosorpsiyon üzerine sıcaklığın etkisini incelemek için deneyler 25 °C, 35 °C ve 45 °C’de diğer parametrelerdeki verimin en yüksek olduğu koşullarda yapıldı. Sıcaklık deneylerinde, belirlenen en uygun biyosorbent miktarları kullanıldı.

Yapılan deneyler sonunda, en uygun değerler belirlendi.

3.2.3. Biyosorpsiyon izoterm ve kinetik modelleri hesaplamaları

Bu tez çalışmasında, yaygın kullanılan Freundlich ve Langmuir izoterm modelleri kullanılmıştır. Biyosorpsiyon izoterm modelleri biyosorbent ve biyosorbat arasındaki olası etkileşimler ve teorik maksimum biyosorpsiyon kapasitesi hakkında bilgi vermektedir. Freundlich izotermi (Freundlich, 1926; Weber, 1972; Treybal, 1981) temel olarak heterojen yüzey enerjilerine sahip biyosorbentler üzerindeki biyosorpsiyonu tanımlar. Tez çalışmasında kullanılan Freundlich modeline ait Non-linear ve Linear izoterm eşitlikleri Eşitlik (3.1) ve (3.2)’de verilmiştir (Anastopoulos ve Kyzas, 2015).

$$\text{Non-linear Freundlich: } q_e = K_f \cdot C_e^{1/n} \quad (3.1)$$

$$\text{Linear Freundlich: } \ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte;

q_e = Birim biyokütle üzerinde tutulan birim madde ağırlığı (mg/g)

C_e = Biyosorplama olayı sonunda biyosorplanan maddenin denge halindeki derişimi (mg/L)

K_F = Freundlich biyosorpsiyon katsayısı

n = Karakteristik Freundlich izoterm sabiti

Langmuir izoterm modeli biyosorbat yüzeyindeki tüm bağlayıcı birimlerin eşit afiniteye sahip olduğunu ve bunun bir sonucu olarak da moleküllerin tek tabaka halinde adsorplandığını kabul eder. Langmuir İzotermindeki Langmuir biyosorpsiyon modeli tek tabakalı biyosorpsiyonu vurgulamaktadır. Sabit bir biyosorpsiyon enerjisinde biyokütle üzerine tutunan biyosorbat moleküllerinin yer değiştirmedini varsayar. Biyokütleyi tek tabaka olarak düşünerek, bu tabakanın doygunluğa ermesiyle maksimum biyosorpsiyonun gerçekleşeceğini kabul eder (Langmuir, 1918; Weber, 1972; Treybal, 1981). Hesaplamalarda kullanılan Non-lineer ve Lineer Langmuir izoterm eşitlikleri Eşitlik (3.3) ve (3.4)'de verilmiştir.

$$\text{Non-lineer Langmuir:} \quad q_e = \frac{q_m \cdot K_L \cdot C_e}{1 + K_L \cdot C_e} \quad (3.3)$$

$$\text{Lineer Langmuir 1:} \quad \frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m \cdot K_L} + \frac{1}{q_m} C_e \quad (3.4)$$

Bu eşitlikte;

q_e = Denge de adsorbentin birim kütlesi başına adsorplanan madde miktarı (mg/g)

q_m = Adsorpsiyon kapasitesi (mg/g)

C_e = Biyosorplama olayı sonunda biyosorplanan maddenin denge halindeki derişimi (mg/L)

K_L = Enerji ile ilgili Langmuir biyosorpsiyon sabiti

Literatürde dört tip Lineer Langmuir ifadesi bulunmaktadır (Subramanyam ve Das, 2014; Anastopoulos ve Kyzas, 2015). Yapılan bu tez çalışmasında ise en yaygın kullanıma sahip olan Lineer Langmuir 1 eşitliği kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Kinetik modeller ise kesikli biyosorpsiyon proseslerinde en uygun koşulların tahmin edilmesine olanak sağlamaktadır. Kinetik model hesaplamaları biyosorpsiyon mekanizmaları ve kütle transferi veya kimyasal tepkime prosesleri gibi olası hız kontrol edici basamaklar hakkında bilgi vermektedir. Bu tez çalışmasında yaygın kullanılan yalancı birinci dereceden ve yalancı ikinci dereceden kinetik modellemeler kullanılmıştır. Non-linear ve Lineer yalancı birinci dereceden model eşitlikleri Eşitlik (3.5) ve (3.6)'da verilmiştir.

Nonlinear Yalancı birinci dereceden model eşitliği:

$$q_t = q_e(1 - e^{-k_1 t}) \quad (3.5)$$

Lineer Yalancı birinci dereceden model eşitliği:

$$\log(q_e - q_t) = -\frac{k_1}{2,303t} + \log q_e \quad (3.6)$$

Non-linear ve Lineer yalancı ikinci dereceden model eşitlikleri Eşitlik (3.7) ve (3.8)'de verilmiştir.

Non- linear Yalancı ikinci dereceden model eşitliği:

$$q_t = \frac{k_2 q_e^2 t}{1 + k_2 q_e t} \quad (3.7)$$

Lineer Yalancı ikinci dereceden model eşitliği:

$$q_t = \frac{1}{k_2 q_e^2 t} + \frac{1}{q_e} t \quad (3.8)$$

Bu eşitliklerde;

q_t : t zamanında adsorbentin gramı başına adsorplanan madde miktarı (mg/g)

t: t zamanında adsorplanan miktar (dak)

k_1 : yalancı birinci dereceden hız sabiti (dak^{-1})

k_2 : yalancı ikinci dereceden hız sabiti (g/mgdak)

4. BULGULAR

Bu çalışmada, sulu çözeltiden ARP-2BX ve RBB'nin biyosorpsiyon tekniği ile uzaklaştırılması için muz (MK), ayçiçeği çekirdeği (AÇK), patates (PaK) ve portakal (PK) kabukları, *Cladonia convoluta* (Cc) , *Evernia prunastri* (Ep), *Pseudevernia furfuracea* (Pf) , *Phormidium animale* (Pa) ve *Scenedesmus sp.* (Ss) biyosorbent olarak kullanıldı. Biyosorpsiyon üzerine temas süresi, pH, boya derişimi, biyosorbent miktarı ve sıcaklığın etkileri deneysel olarak incelendi.

4.1. Biyosorbentlerin Boya Giderimine pH Etkisi

Biyosorbentlerin ARP-2BX ve RBB biyosorpsiyonuna pH etkisi farklı pH (2, 4, 6, 8, 10) değerlerinde test edilmiştir. Yapılan denemelerin sonuçları Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.1'de görüldüğü üzere, tüm kurutulmuş biyosorbent türlerinin ARP-2BX boyası giderim oranları karşılaştırıldığında, *Scenedesmus sp.*'den elde edilmiş biyosorbent hariç en iyi boya giderimi pH 2'de gözlenmiştir. *Scenedesmus sp.* ise farklı olarak en iyi giderimi pH 8'de gerçekleştirmiştir. Ancak pH 2'den 8'e doğru artan pH değerlerinde elde edilen boya biyosorpsiyonu oranı çok ciddi bir değişiklik göstermemiştir.

Çizelge 4.1. Kurutulmuş biyosorbentlerin ARP-2BX'in biyosorpsiyonunda pH etkisi değerleri. C_0 : 89,49 mg/L

Biyosorbent	pH	C_e (mg/L)	q_t (mg/g)	% B
MK	2	41,43	36,71	46,98
MK	4	66,71	19,29	22,43
MK	6	64,57	18,14	21,93
MK	8	70,43	12,43	15,00
MK	10	72,00	15,00	17,24
AÇK	2	75,14	18,86	20,06
AÇK	4	88,14	7,86	8,18
AÇK	6	93,86	2,14	2,23
AÇK	8	94,71	0,43	0,45
AÇK	10	96,14	0,57	0,60
PK	2	78,43	19,86	20,20
PK	4	101,14	2,29	2,21
PK	6	102,43	1,43	1,38
PK	8	101,86	1,43	1,38
PK	10	102,71	1,00	0,96
PaK	2	49,86	14,14	22,10
PaK	4	67,00	1,14	1,68
PaK	6	67,14	0,86	1,26
PaK	8	64,86	3,57	5,22
PaK	10	66,43	2,00	2,92
<i>C. convoluta</i>	2	45,86	42,29	47,97
<i>C. convoluta</i>	4	57,71	31,00	34,94
<i>C. convoluta</i>	6	59,86	28,86	32,53
<i>C. convoluta</i>	8	57,86	29,86	34,04
<i>C. convoluta</i>	10	58,43	29,00	33,17
<i>E. prunastri</i>	2	46,57	41,71	47,25
<i>E. prunastri</i>	4	58,14	30,57	34,46
<i>E. prunastri</i>	6	58,43	29,43	33,50
<i>E. prunastri</i>	8	58,00	29,29	33,55
<i>E. prunastri</i>	10	63,57	25,00	28,23
<i>P. furfuracea</i>	2	25,00	62,71	71,50
<i>P. furfuracea</i>	4	58,57	30,14	33,98
<i>P. furfuracea</i>	6	65,86	23,86	26,59
<i>P. furfuracea</i>	8	62,86	25,57	28,92
<i>P. furfuracea</i>	10	62,29	28,00	31,01
<i>Scenedesmus</i> sp.	2	93,57	9,14	8,90
<i>Scenedesmus</i> sp.	4	91,86	10,71	10,44
<i>Scenedesmus</i> sp.	6	91,43	11,14	10,86
<i>Scenedesmus</i> sp.	8	91,57	13,57	12,91
<i>Scenedesmus</i> sp.	10	121,00	12,00	9,02
<i>P. animale</i>	2	9,43	82,28	89,72
<i>P. animale</i>	4	52,86	35,28	40,03
<i>P. animale</i>	6	89,57	0,72	0,80
<i>P. animale</i>	8	97,00	2,86	2,86
<i>P. animale</i>	10	91,63	0,06	0,07

Çizelge 4.2. incelendiğinde, çalışmada kullanılan tüm kül biyosorbentlerin yüksek verimle ARP-2BX'in biyosorpsiyonu gerçekleştiremediği saptanmıştır. Kül biyosorbentler içinde en iyi giderimi *C. convoluta*'nın gerçekleştirdiği ve bu biyosorbentin boya biyosorpsiyonu için en iyi pH değerinin 2 olduğu belirlenmiştir.



Çizelge 4.2. Kül biyosorbentlerin ARP-2BX'in biyosorpsiyonunda pH etkisi değerleri.
C₀: 89,49 mg/L

Biyosorbent	pH	C _e (mg/L)	q _t (mg/g)	% B
MK	2	70,29	27,57	28,18
MK	4	71,43	11,14	13,49
MK	6	73,29	14,86	16,86
MK	8	72,57	7,71	9,61
MK	10	72,00	12,00	14,29
AÇK	2	92,71	2,00	2,11
AÇK	4	56,29	38,57	40,66
AÇK	6	95,00	0,29	0,30
AÇK	8	95,29	1,29	1,33
AÇK	10	97,29	0,14	0,15
PK	2	93,57	7,86	7,75
PK	4	90,14	13,00	12,60
PK	6	84,57	18,43	17,89
PK	8	95,86	4,57	4,55
PK	10	95,43	5,43	5,38
PaK	2	60,29	6,29	9,44
PaK	4	64,00	4,86	7,05
PaK	6	62,00	4,86	7,26
PaK	8	64,29	4,43	6,44
PaK	10	63,71	3,29	4,90
<i>C. convoluta</i>	2	46,29	40,43	46,62
<i>C. convoluta</i>	4	48,86	40,14	45,10
<i>C. convoluta</i>	6	47,43	40,86	46,28
<i>C. convoluta</i>	8	49,00	36,14	42,45
<i>C. convoluta</i>	10	50,71	13,00	20,40
<i>E. prunastri</i>	2	48,29	39,86	45,22
<i>E. prunastri</i>	4	48,00	39,57	45,19
<i>E. prunastri</i>	6	48,29	39,71	45,13
<i>E. prunastri</i>	8	48,14	36,71	43,27
<i>E. prunastri</i>	10	46,00	14,29	23,70
<i>P. furfuracea</i>	2	47,86	39,14	44,99
<i>P. furfuracea</i>	4	48,00	38,57	44,55
<i>P. furfuracea</i>	6	48,00	39,57	45,19
<i>P. furfuracea</i>	8	47,86	36,43	43,22
<i>P. furfuracea</i>	10	43,57	18,29	29,56
<i>Scenedesmus</i> sp.	2	91,57	10,86	10,60
<i>Scenedesmus</i> sp.	4	92,86	9,00	8,84
<i>Scenedesmus</i> sp.	6	93,00	9,14	8,95
<i>Scenedesmus</i> sp.	8	90,00	15,57	14,75
<i>Scenedesmus</i> sp.	10	88,57	11,86	11,81
<i>P. animale</i>	2	77,43	20,28	20,76
<i>P. animale</i>	4	80,43	16,14	16,71
<i>P. animale</i>	6	92,00	0,57	0,62
<i>P. animale</i>	8	94,14	1,29	1,35
<i>P. animale</i>	10	94,00	1,14	1,20

Çizelge 4.3'e göre, RBB boyası için en iyi biyosorpsiyonu gerçekleştiren biyosorbentin *P. animale*'nin kurutulması ile elde edilen biyosorbent olup, bu biyosorbentin RBB biyosorpsiyonu için en uygun pH değeri 2 olarak belirlenmiştir.



Çizelge 4.3. Kurutulmuş biyosorbentlerin RBB'nin biyosorpsiyonunda pH etkisi değerleri. C_0 : 85,62 mg/L

Biyosorbent	pH	C_e (mg/L)	q_t (mg/g)	% B
MK	2	78,59	1,74	2,17
MK	4	78,48	2,28	2,83
MK	6	73,80	7,07	8,74
MK	8	51,74	28,48	35,50
MK	10	55,11	24,78	31,02
AÇK	2	57,39	20,65	26,46
AÇK	4	71,30	6,96	8,89
AÇK	6	71,74	7,50	9,47
AÇK	8	71,30	6,96	8,89
AÇK	10	70,87	8,91	11,17
PK	2	50,98	23,04	31,13
PK	4	72,17	5,43	7,00
PK	6	71,74	7,93	9,96
PK	8	71,85	5,65	7,29
PK	10	73,59	4,46	5,71
PaK	2	66,52	14,24	17,63
PaK	4	84,35	0,33	0,39
PaK	6	82,72	0,43	0,52
PaK	8	84,13	0,22	0,26
PaK	10	84,35	0,33	0,39
<i>C. convoluta</i>	2	54,35	27,83	33,86
<i>C. convoluta</i>	4	56,85	25,98	31,36
<i>C. convoluta</i>	6	57,61	25,43	30,63
<i>C. convoluta</i>	8	57,28	25,54	30,84
<i>C. convoluta</i>	10	57,28	25,65	30,93
<i>E. prunastri</i>	2	53,80	28,37	34,52
<i>E. prunastri</i>	4	55,98	26,85	32,41
<i>E. prunastri</i>	6	56,74	25,65	31,13
<i>E. prunastri</i>	8	57,17	25,87	31,15
<i>E. prunastri</i>	10	57,39	25,54	30,80
<i>P. furfuracea</i>	2	50,87	40,87	44,55
<i>P. furfuracea</i>	4	56,20	26,52	32,06
<i>P. furfuracea</i>	6	57,39	25,22	30,53
<i>P. furfuracea</i>	8	57,72	25,22	30,41
<i>P. furfuracea</i>	10	57,50	25,87	31,03
<i>Scenedesmus</i> sp.	2	97,61	1,09	1,11
<i>Scenedesmus</i> sp.	4	99,57	0,43	0,43
<i>Scenedesmus</i> sp.	6	100,22	0,43	0,43
<i>Scenedesmus</i> sp.	8	99,89	0,65	0,65
<i>Scenedesmus</i> sp.	10	97,07	2,60	2,61
<i>P. animale</i>	2	2,72	89,67	97,06
<i>P. animale</i>	4	99,02	0,33	0,33
<i>P. animale</i>	6	99,13	0,87	0,87
<i>P. animale</i>	8	100,33	0,11	0,11
<i>P. animale</i>	10	97,07	2,83	2,83

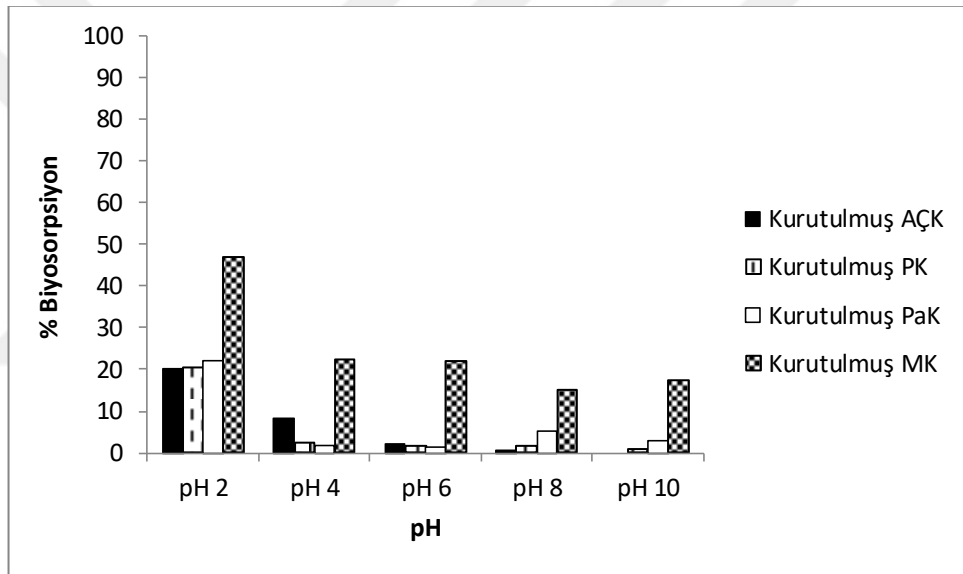
Çizelge 4.4'de görüldüğü üzere, RBB boyası içinde ARP-2BX boyasındakine benzer şekilde kül biyosorbentler kurutulmuş biyosorbentlere göre daha az boya giderimi gerçekleştirmiştir. En iyi RBB biyosorpsiyon verimi kül muz kabuğundan elde edilen biyosorbent kullanıldığında elde edilmiştir.



Çizelge 4.4. Kül biyosorbentlerin RBB'nin biyosorpsiyonunda pH etkisi değerleri.
 C_0 : 85,62 mg/L

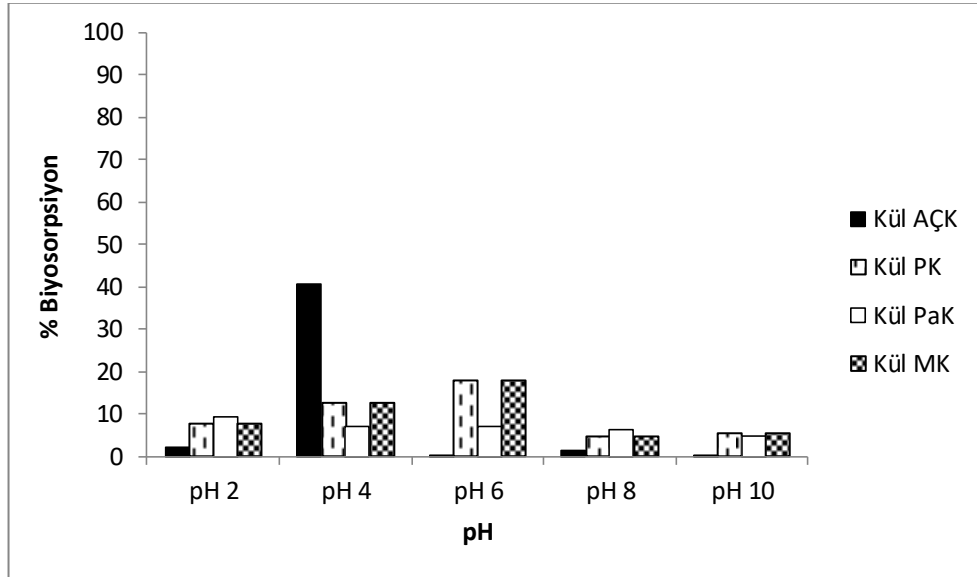
Biyosorbent	pH	C_e (mg/L)	q_t (mg/g)	% B
MK	2	38,91	40,98	51,29
MK	4	77,39	2,72	3,39
MK	6	62,39	18,80	23,16
MK	8	61,09	20,11	24,77
MK	10	65,43	15,65	19,30
AÇK	2	69,89	9,89	12,40
AÇK	4	71,85	8,04	10,07
AÇK	6	73,26	7,07	8,80
AÇK	8	71,74	7,72	9,71
AÇK	10	71,85	9,24	11,39
PK	2	71,74	5,00	6,52
PK	4	72,72	5,11	6,56
PK	6	72,50	5,87	7,49
PK	8	73,04	5,22	6,67
PK	10	72,83	5,33	6,82
PaK	2	83,04	0,87	1,04
PaK	4	83,59	1,09	1,28
PaK	6	71,74	3,04	4,07
PaK	8	82,93	0,54	0,65
PaK	10	80,98	0,87	1,06
<i>C. convoluta</i>	2	79,13	3,80	4,59
<i>C. convoluta</i>	4	79,67	2,17	2,66
<i>C. convoluta</i>	6	79,24	3,15	3,83
<i>C. convoluta</i>	8	79,35	3,48	4,20
<i>C. convoluta</i>	10	79,89	2,39	2,91
<i>E. prunastri</i>	2	79,02	2,72	3,32
<i>E. prunastri</i>	4	78,70	2,93	3,60
<i>E. prunastri</i>	6	80,33	1,96	2,38
<i>E. prunastri</i>	8	77,39	4,46	5,44
<i>E. prunastri</i>	10	79,13	23,48	22,88
<i>P. furfuracea</i>	2	80,76	1,09	1,33
<i>P. furfuracea</i>	4	81,09	0,98	1,19
<i>P. furfuracea</i>	6	79,89	1,74	2,13
<i>P. furfuracea</i>	8	80,43	1,52	1,86
<i>P. furfuracea</i>	10	80,54	1,85	2,24
<i>Scenedesmus</i> sp.	2	98,59	1,74	1,74
<i>Scenedesmus</i> sp.	4	97,39	2,28	2,29
<i>Scenedesmus</i> sp.	6	97,93	2,07	2,07
<i>Scenedesmus</i> sp.	8	97,83	2,39	2,39
<i>Scenedesmus</i> sp.	10	98,59	1,52	1,52
<i>P. animale</i>	2	103,48	0,54	0,52
<i>P. animale</i>	4	103,26	0,43	0,42
<i>P. animale</i>	6	99,13	4,24	4,10
<i>P. animale</i>	8	91,30	9,89	9,77
<i>P. animale</i>	10	91,85	4,67	4,84

Organik atıklarda; ARP-2BX boyası ile kurutulmuş muz kabuğunda artan pH değerlerinde biyosorpsiyon giderim yüzdesinin azaldığı, RBB boyası ile arttığı ve kül muz kabuğunda her iki boya türü içinde değişken değerler gösterdiği tespit edilmiştir. Kül ve kurutulmuş MK biyosorbentleri için, maksimum ARP-2BX boya biyosorpsiyon verimleri, pH 2’de sırasıyla %28,18 ve %46,98 olarak tespit edilirken (Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2), RBB boya biyosorpsiyon verimleri kurutulmuş biyosorbentte pH 8’de % 35,50 ve kül biyosorbentte pH 2’de %51,29 bulunmuştur (Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4). Daha sonraki deney serilerinde, ARP-2BX için iki tip biyosorbente de pH 2 seçilirken (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2), RBB için kurutulmuş biyosorbent de pH 8, kül biyosorbent de ise pH 2 seçilmiştir (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4).



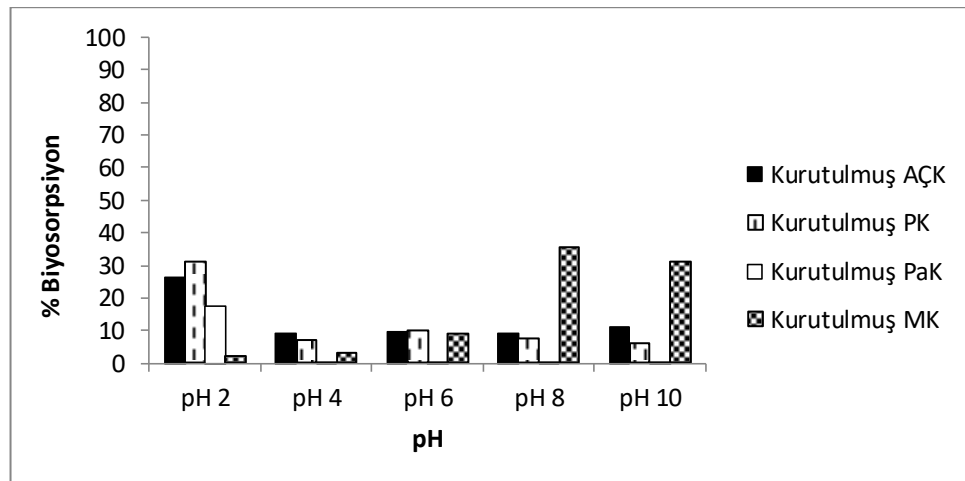
Şekil 4.1. Kurutulmuş organik atıklar ile ARP-2BX’in biyosorpsiyonunda pH etkisi.

Ayçiçeği çekirdeği kabuğunda, her iki boyada da artan pH değerlerinde biyosorpsiyon giderim yüzdesinin genel olarak azaldığı tespit edilmiştir. Kül ve kurutulmuş AÇK biyosorbentleri için, maksimum ARP-2BX boya biyosorpsiyon verimleri, sırasıyla pH 4’de %40,66 ve pH 2’de %20,06 olarak tespit edilirken (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2), RBB boya biyosorpsiyon verimleri kurutulmuş ve kül biyosorbentte sırasıyla pH 2’de % 26,46 ve % 12,40 bulunmuştur (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4).



Şekil 4.2. Kül organik atıklar ile ARP-2BX'in biyosorpsiyonunda pH etkisi.

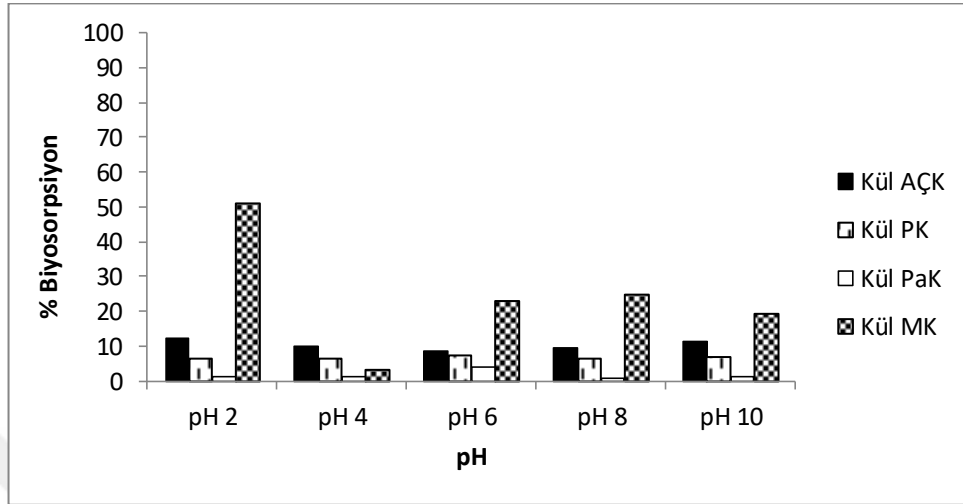
Portakal kabuğunda, her iki boyada da artan pH değerlerinde biyosorpsiyon giderim yüzdesinin genel olarak azaldığı tespit edilmiştir. Kül ve kurutulmuş PK biyosorbentleri için, maksimum ARP-2BX boya biyosorpsiyon verimleri, sırasıyla pH 6'da %17,89 ve pH 2'de %20,20 olarak tespit edilirken (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2), RBB boya biyosorpsiyon verimleri kurutulmuş ve kül biyosorbentte sırasıyla pH 2'de % 31,13 ve pH 6'da % 7,49 bulunmuştur (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4).



Şekil 4.3. Kurutulmuş organik atıklar ile RBB'nin biyosorpsiyonunda pH etkisi.

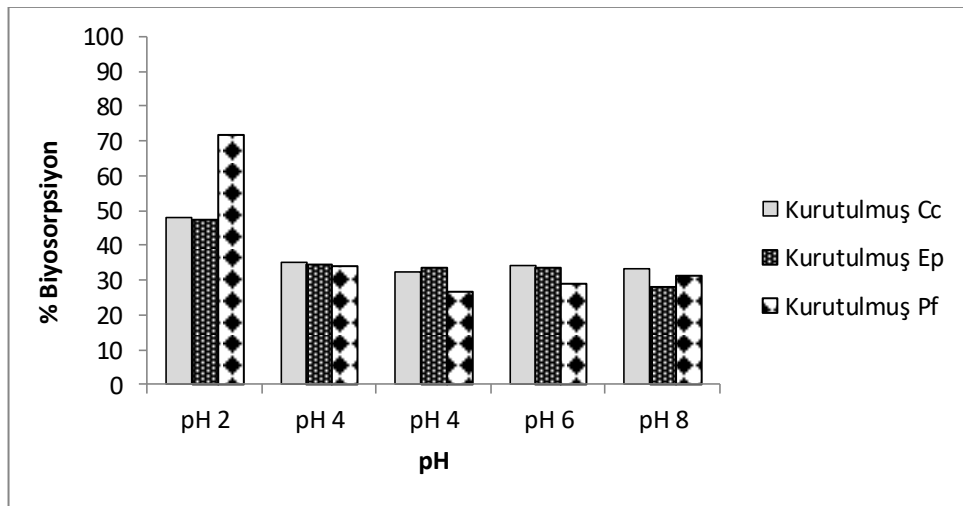
Patates kabuğunda, her iki boyada da artan pH değerlerinde biyosorpsiyon giderim yüzdesinin genel olarak azaldığı tespit edilmiştir. Kül ve kurutulmuş PaK biyosorbentleri için, maksimum ARP-2BX boya biyosorpsiyon verimleri, sırasıyla pH

2’de %9,44 ve %22,10 olarak tespit edilirken (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2), RBB boya biyosorpsiyon verimleri kurutulmuş ve kül biyosorbentte sırasıyla pH 2’de % 17,63 ve pH 6’da % 4,07 olarak bulunmuştur (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4).

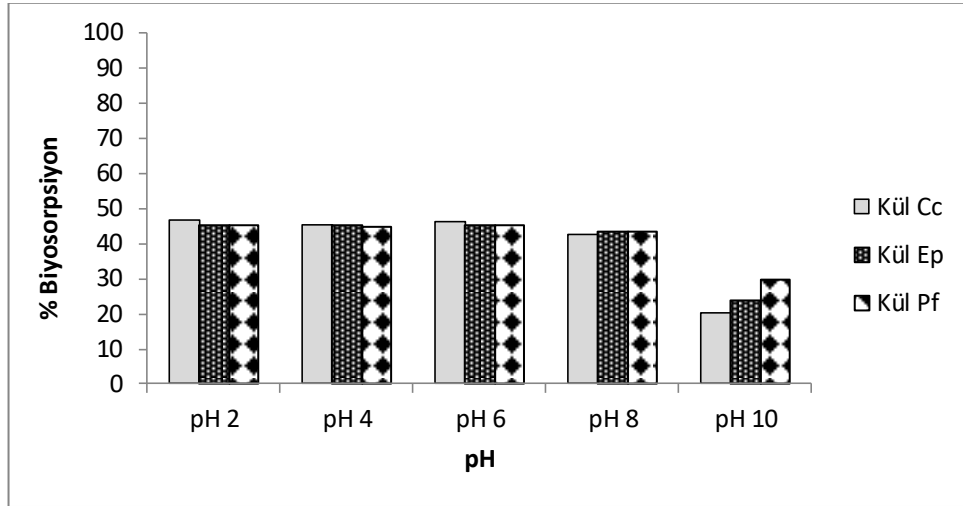


Şekil 4.4. Kül organik atıklar ile RBB’nin biyosorpsiyonunda pH etkisi.

Likenlerde; hem kurutulmuş, hem kül *C.convoluta*’nın ARP-2BX ve RBB biyosorpsiyonuna pH etkisi deneyleri sonuçlarında, artan pH değerlerinde biyosorpsiyon giderim yüzdesinin azaldığı ve en uygun pH 2 olarak tespit edilmiştir. Hem kurutulmuş hem de kül *Cladonia convoluta* biyosorbentleri için, ARP-2BX boya biyosorpsiyonu için en uygun pH 2 olarak seçilmiş olup, deneylerde elde edilen verimler sırasıyla %47,97 ve %46,62 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.5 ve Şekil 4.6).

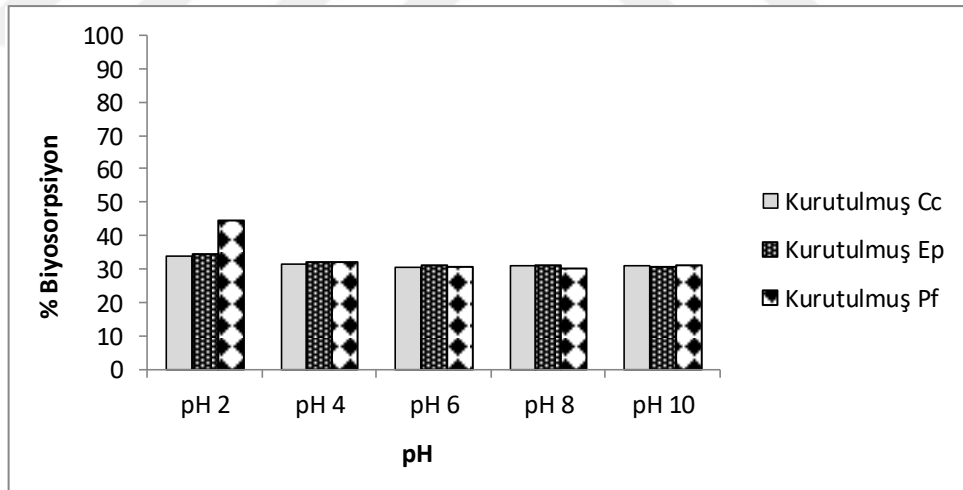


Şekil 4.5. Kurutulmuş likenler ile ARP-2BX’in biyosorpsiyonunda pH etkisi.

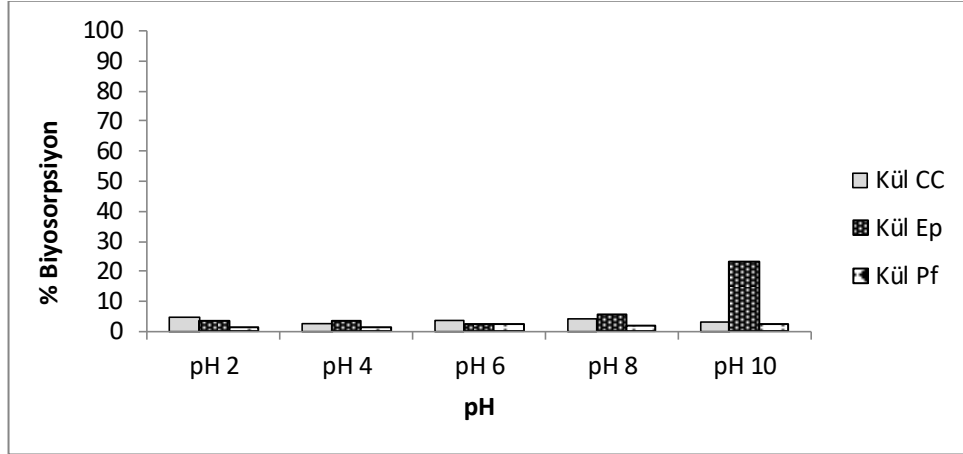


Şekil 4.6. Kül likenler ile ARP-2BX'in biyosorpsiyonuna pH etkisi.

RBB boya biyosorpsiyon sonuçları diğer boya ile aynı olup en uygun pH 2 de sırasıyla %33,86 ve %4,59 şeklinde elde edilmiştir (Şekil 4.7 ve Şekil 4.8). *E. prunastri*'de, ARP-2BX boyasında artan pH değerlerinde biyosorpsiyon giderim yüzdesinin azaldığı, RBB boyasında kurutulmuş biyosorbentte artan pH ile verimin azaldığı ve kül biyosorbentte ise arttığı tespit edilmiştir.



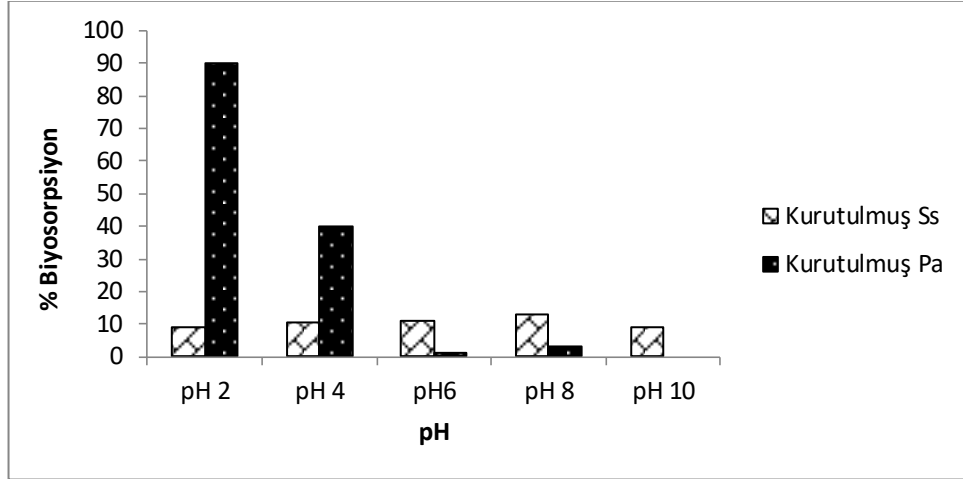
Şekil 4.7. Kurutulmuş likenler ile RBB'nin biyosorpsiyonunda pH etkisi.



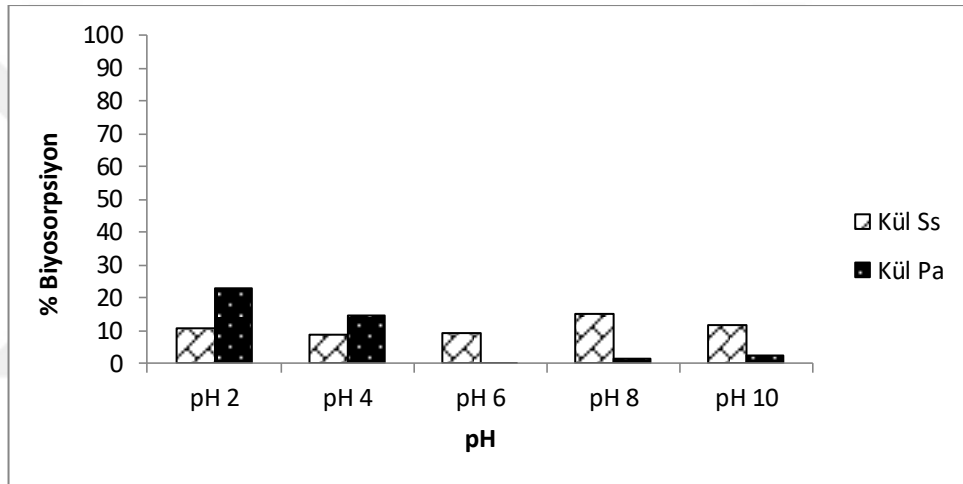
Şekil 4.8. Kül likenler ile RBB'nin biyosorpsiyonunda pH etkisi.

Hem kurutulmuş hem de kül *E. prunastri*. biyosorbentleri ARP-2BX boya biyosorpsiyonunun maksimum verim gösterdiği pH 2 seçilmiş olup sonuçlar sırasıyla %47,25 ve %45,22 tespit edilmiştir (Şekil 4.5 ve Şekil 4.6). RBB boya biyosorpsiyonunda kurutulmuş biyosorbent için pH 2'de %34,52 iken kül biyosorbentte pH 10'da % 22,88 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.7 ve Şekil 4.8). *P. furfuracea*'de, artan pH değerlerinde biyosorpsiyon giderim yüzdesinin azaldığı tespit edilmiştir. Hem kurutulmuş hem de kül *P. furfuracea* biyosorbentlerinde ARP-2BX boya biyosorpsiyonu için maksimum verim gösterdiği pH 2 seçilmiş olup giderim sonuçları sırasıyla %71,50 ve %44,99 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.5 ve Şekil 4.6). RBB boya biyosorpsiyonunda kurutulmuş biyosorbent için pH 2'de %44,55 iken kül biyosorbentte pH 10'da % 2,24 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.7 ve Şekil 4.8).

Ökaryotik bir alg olan *Scenedesmus sp.*'nin biyosorpsiyon verimlerinin çok yüksek olmadığı tespit edilmiştir. Buna göre, en yüksek giderim ARP-2BX'te kül *Scenedesmus sp.* ile pH 8'de %14,75 iken (Şekil 4.9 ve Şekil 4.10), RBB'de kurutulmuş *Scenedesmus sp.* ile pH 10'da %2,61'dir (Şekil 4.11 ve Şekil 4.12).

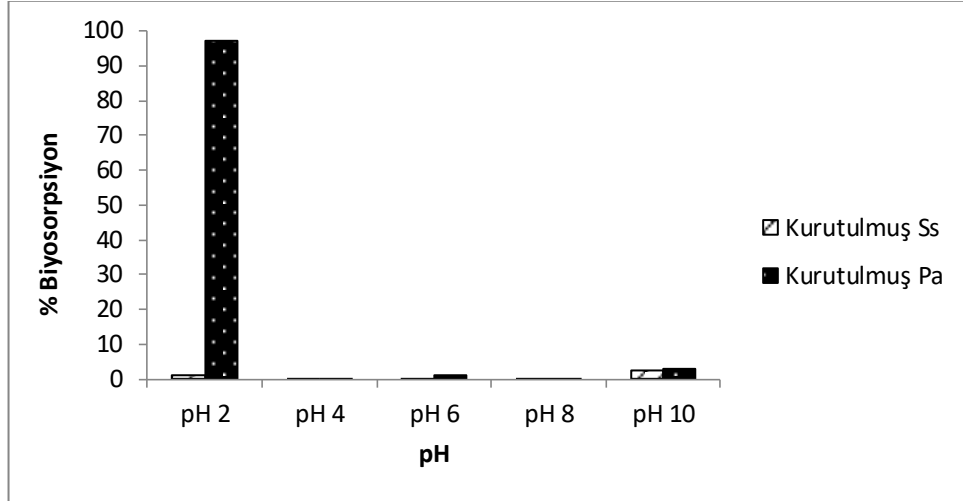


Şekil 4.9. Kurutulmuş algler ile ARP-2BX'nin biyosorpsiyonunda pH etkisi.

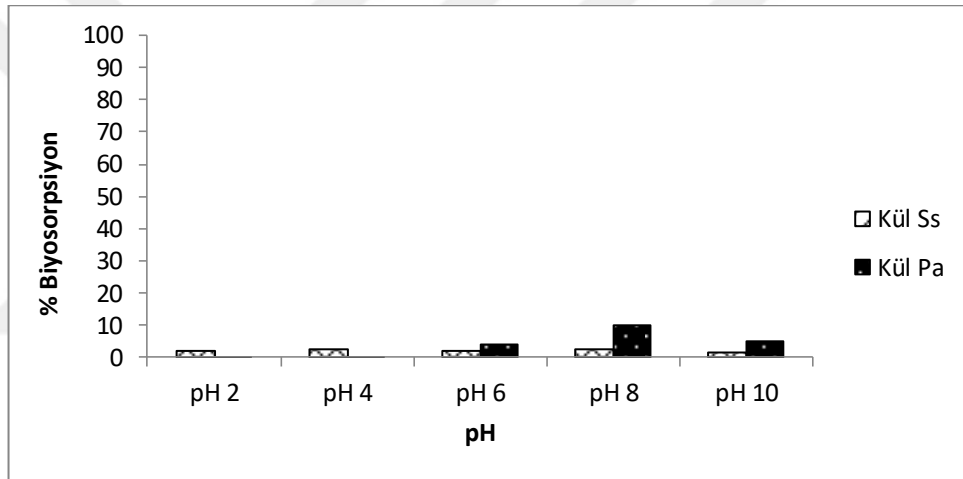


Şekil 4.10. Kül algler ile ARP-2BX'nin biyosorpsiyonunda pH etkisi.

RBB boya biyosorpsiyonunda, kurutulmuş biyosorbent, kül olanından 10 kat daha fazla boya giderimi göstermiştir. Kurutulmuş biyosorbent için en uygun pH 2 olarak bulunmuştur ve biyosorpsiyon hızlarında, pH 2'den 10'a %97,06'dan %2,83'e kadar keskin düşüşler gözlemlenmiştir. Daha sonraki deney serilerinde, ARP-2BX için iki tip biyosorbente de pH 2 seçilirken, RBB için kurutulmuş biyosorbent de pH 2, kül biyosorbent de ise pH 8 seçilmiştir.



Şekil 4.11. Kurutulmuş algler ile RBB'nin biyosorpsiyonunda pH etkisi.



Şekil 4.12. Kül algler ile RBB'nin biyosorpsiyonunda pH etkisi.

4.2. Biyosorbentlerin Boya Giderimine Boya Derişimi Etkisi

Biyosorbentlerin ARP-2BX ve RBB biyosorpsiyonuna boya derişimi etkisi farklı başlangıç boya derişim değerlerinde test edilmiştir. Yapılan denemelerin sonuçları Çizelge 4.5, Çizelge 4.6, Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.5 incelendiğinde, tüm kurutulmuş biyosorbentlerin artan ARP-2BX boyası derişimleri ile boya biyosorpsiyon oranının azaldığı belirlenmiştir. Organik atık olarak muz kabuğu, liken olarak *C. convoluta* ve siyanobakter olarak *P. animale* kurutularak elde edilen biyosorbentlerin ARP-2BX boyası biyosorpsiyonu oranları karşılaştırıldığında en başarılı olanın mavi-yeşil alg (siyanobakteri) olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.5. Kurutulmuş biyosorbentlerin ARP-2BX'in biyosorpsiyonunda boya derişimi etkisi değerleri.

Biyosorbent	C _o (mg/L)	C _e (mg/L)	q _t (mg/g)	% B
MK	59,52	22,86	36,14	61,26
MK	85,05	41,43	36,71	46,98
MK	139,78	110,57	27,29	19,79
MK	147,73	127,71	19,86	13,46
<i>C.convoluta</i>	59,52	39,43	15,29	63,71
<i>C.convoluta</i>	85,05	14,86	73,29	47,97
<i>C.convoluta</i>	139,78	136,71	2,86	26,29
<i>C.convoluta</i>	147,73	147,57	0,00	19,86
<i>P. animale</i>	59,52	0,86	56,28	98,50
<i>P. animale</i>	85,05	9,43	82,28	89,72
<i>P. animale</i>	139,78	47,00	92,57	66,33
<i>P. animale</i>	147,73	103,14	44,15	29,97

Çizelge 4.6'da görüldüğü üzere, tüm kül biyosorbentlerde artan boya derişimleri boya giderim oranını olumsuz etkilemiştir.

Çizelge 4.6. Kül biyosorbentlerin ARP-2BX'in biyosorpsiyonunda boya derişimi etkisi değerleri.

Biyosorbent	C _o (mg/L)	C _e (mg/L)	q _t (mg/g)	% B
MK	59,52	47,00	19,57	29,40
MK	85,05	70,29	27,57	28,18
MK	139,78	117,71	22,14	15,83
MK	147,73	127,71	20,14	13,62
<i>C.convoluta</i>	59,52	34,71	28,71	45,27
<i>C.convoluta</i>	85,05	46,29	40,43	46,62
<i>C.convoluta</i>	139,78	119,43	19,86	14,26
<i>C.convoluta</i>	147,73	127,71	19,57	13,29
<i>P. animale</i>	59,52	43,14	13,15	23,36
<i>P. animale</i>	85,05	77,43	20,28	20,76
<i>P. animale</i>	139,78	121,43	21,14	14,83
<i>P. animale</i>	147,73	140,57	7,00	4,74

Çizelge 4.7'ye göre, tüm kurutulmuş biyosorbentlerin RBB biyosorpsiyonu boya derişimi artışından olumsuz etkilenmiştir.

Çizelge 4.7. Kurutulmuş biyosorbentlerin RBB'nin biyosorpsiyonunda boya derişimi etkisi değerleri.

Biyosorbent	Tip	C ₀ (mg/L)	C _e (mg/L)	q _t (mg/g)	% B
MK	Kurutulmuş	61,99	41,09	22,28	35,16
MK	Kurutulmuş	97,61	51,74	28,48	35,50
MK	Kurutulmuş	105,71	79,67	27,17	25,43
MK	Kurutulmuş	110,42	83,80	25,54	23,36
<i>P. furfuracea</i>	Kurutulmuş	61,99	13,59	43,59	76,24
<i>P. furfuracea</i>	Kurutulmuş	97,61	50,87	40,87	44,55
<i>P. furfuracea</i>	Kurutulmuş	105,71	76,85	28,48	27,04
<i>P. furfuracea</i>	Kurutulmuş	110,42	78,37	27,83	26,20
<i>P. animale</i>	Kurutulmuş	61,99	0,98	64,78	98,51
<i>P. animale</i>	Kurutulmuş	97,61	2,72	89,67	97,06
<i>P. animale</i>	Kurutulmuş	105,71	62,28	40,54	39,43
<i>P. animale</i>	Kurutulmuş	110,42	78,04	36,09	31,62

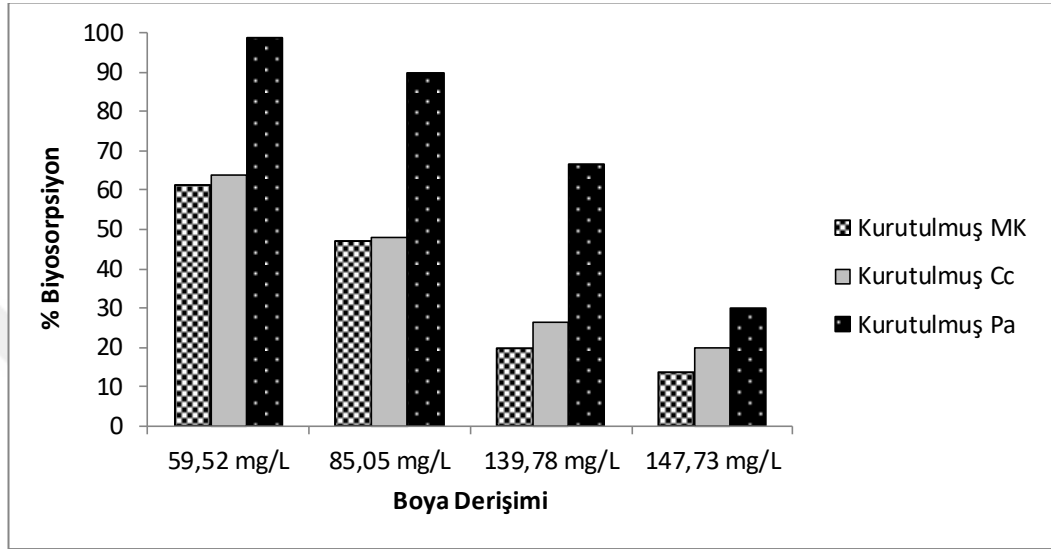
Çizelge 4.8'e göre, kül muz kabuğu hariç diğer tüm kül biyosorbentlerin boya giderimi artan boya derişimi ile azalmıştır.

Çizelge 4.8. Kül biyosorbentlerin RBB'nin biyosorpsiyonunda boya derişimi etkisi değerleri.

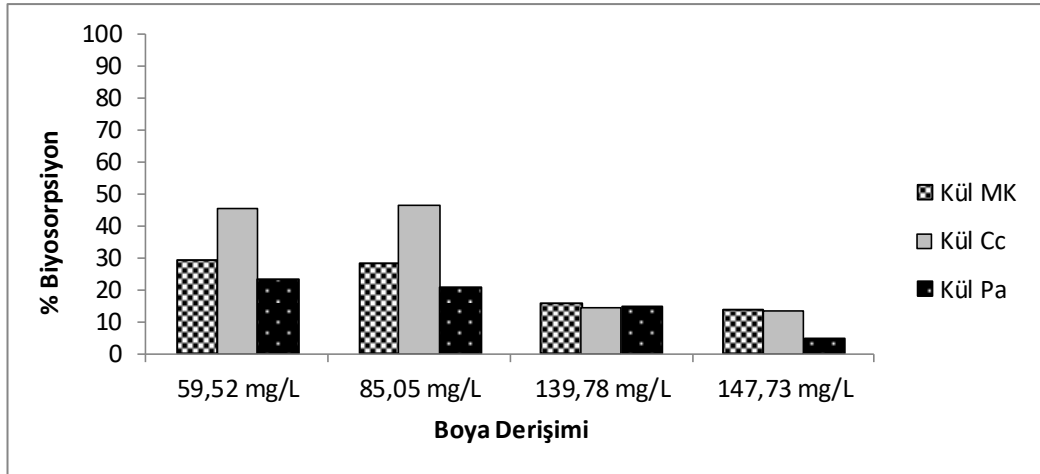
Biyosorbent	C ₀ (mg/L)	C _e (mg/L)	q _t (mg/g)	% B
MK	61,99	40,87	19,57	32,37
MK	97,61	38,91	40,98	51,29
MK	105,71	79,24	27,17	25,54
MK	110,42	81,30	29,13	26,38
<i>E. purunastri</i>	61,99	36,20	23,70	39,56
<i>E. purunastri</i>	97,61	68,59	34,02	33,16
<i>E. purunastri</i>	105,71	77,72	27,83	26,36
<i>E. purunastri</i>	110,42	78,59	27,72	26,07
<i>P. animale</i>	61,99	54,67	10,65	16,31
<i>P. animale</i>	97,61	91,30	9,89	9,77
<i>P. animale</i>	105,71	102,28	5,00	4,66
<i>P. animale</i>	110,42	112,39	3,59	3,09

C. convoluta'nın ARP-2BX biyosorpsiyonuna boya derişimi etkisi sonuçlarında artan boya derişim değerlerinde biyosorpsiyon giderim yüzdesinin keskin bir şekilde

azaldığı tespit edilmiştir. Kurutulmuş ve kül *C. convoluta*'nın ARP-2BX boya biyosorpsiyonunda farklı başlangıç boya derişimlerinde vermiş oldukları maksimum verimler sırasıyla % 63,71 ve % 46,62 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.13 ve Şekil 4.14).



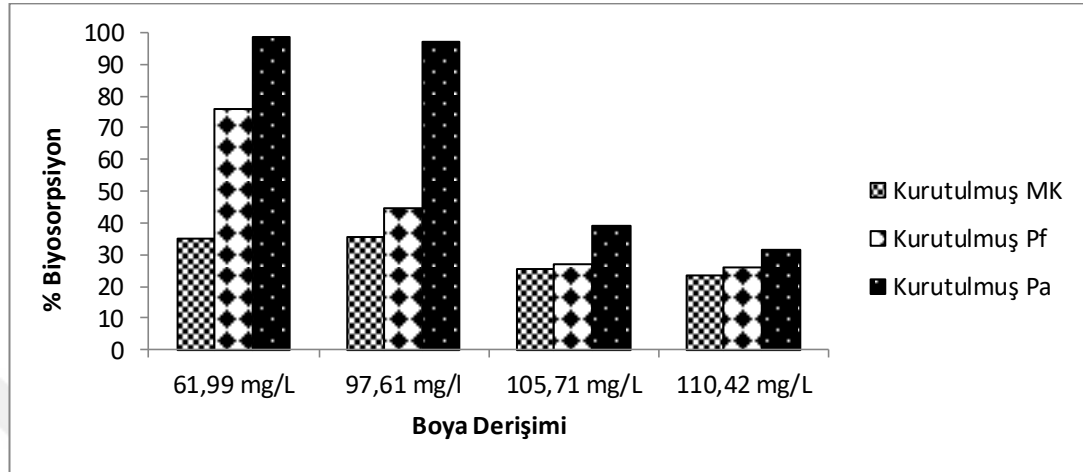
Şekil 4.13. Kurutulmuş biyosorbentler ile ARP-2BX'in biyosorpsiyonunda boya derişimi etkisi.



Şekil 4.14. Kül biyosorbentler ile ARP-2BX'in biyosorpsiyonunda boya derişimi etkisi.

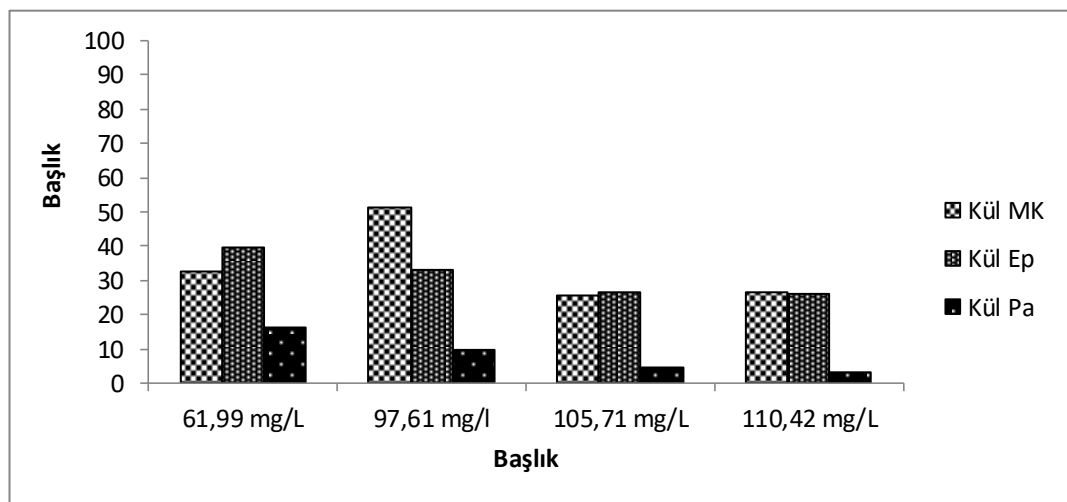
Kül ve kurutulmuş MK biyosorbentleri, maksimum ARP-2BX boya biyosorpsiyon verimlerini en düşük başlangıç boya derişimlerinde vermiş olup,

sırasıyla %29,40 ve %61,26 olarak tespit edilirken (Şekil 4.13 ve Şekil 4.14), RBB boya biyosorpsiyon verimleri kurutulmuş ve kül biyosorbentte sırasıyla %35,50 ve %51,29 bulunmuştur (Şekil 4.15 ve Şekil 4.16).



Şekil 4.15. Kurutulmuş biyosorbentler ile RBB'nin biyosorpsiyonunda boya derişimi etkisi.

Kurutulmuş *P. furfuracea* ve kül *E. purunastri*'nin RBB biyosorpsiyonuna boya derişimi etkisi sonuçlarında, artan boya derişim değerlerinde biyosorpsiyon giderim yüzdesinin keskin bir şekilde azaldığı tespit edilmiştir. Kurutulmuş *P. furfuracea* ve kül *E. purunastri*'nin RBB boya biyosorpsiyonunda farklı başlangıç boya derişimlerinde vermiş oldukları maksimum verimler sırasıyla % 76,24 ve % 39,56 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.15 ve Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Kül biyosorbentler ile RBB'nin biyosorpsiyonunda boya derişimi etkisi.

4.3. Biyosorbentlerin Boya Giderimine Biyosorbent Miktarı Etkisi

Biyosorbentlerin ARP-2BX ve RBB biyosorpsiyonuna biyosorbent miktarı etkisi farklı biyosorbent miktarlarında (1g/L, 2g/L ve 4g/L) test edilmiştir. Yapılan denemelerin sonuçları Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.9 incelendiğinde, tüm kurutulmuş biyosorbenler için artan biyosorbent miktarı biyosorpsiyon verimini arttırmıştır.

Çizelge 4.9. Kurutulmuş biyosorbentlerin ARP-2BX'in biyosorpsiyonunda biyosorbent miktarı etkisi değerleri. C_0 : 98,84 mg/L

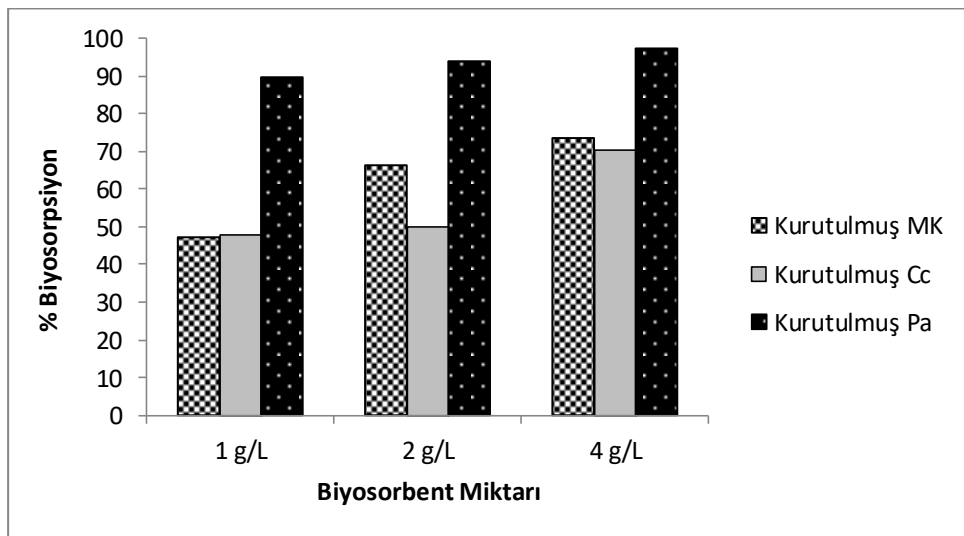
Biyosorbent	Biyosorbent Miktarı (g/L)	C_e (mg/L)	q_t (mg/g)	% B
MK	1	41,43	36,71	46,98
MK	2	33,43	32,71	66,18
MK	4	26,00	18,11	73,58
<i>C. convoluta</i>	1	45,86	42,29	47,97
<i>C. convoluta</i>	2	55,86	28,07	50,13
<i>C. convoluta</i>	4	32,00	19,04	70,41
<i>P. animale</i>	1	9,43	82,28	89,72
<i>P. animale</i>	2	6,57	49,93	93,83
<i>P. animale</i>	4	2,86	26,21	97,35

Çizelge 4.10'da görüldüğü üzere, sadece kurutulmuş muz kabuğunda artan biyosorbent miktarı RBB biyosorpsiyonunu olumsuz etkilemiştir. Diğer biyosorbentlerde ise artan biyosorbent miktarı ile birlikte boya giderimi de artmıştır.

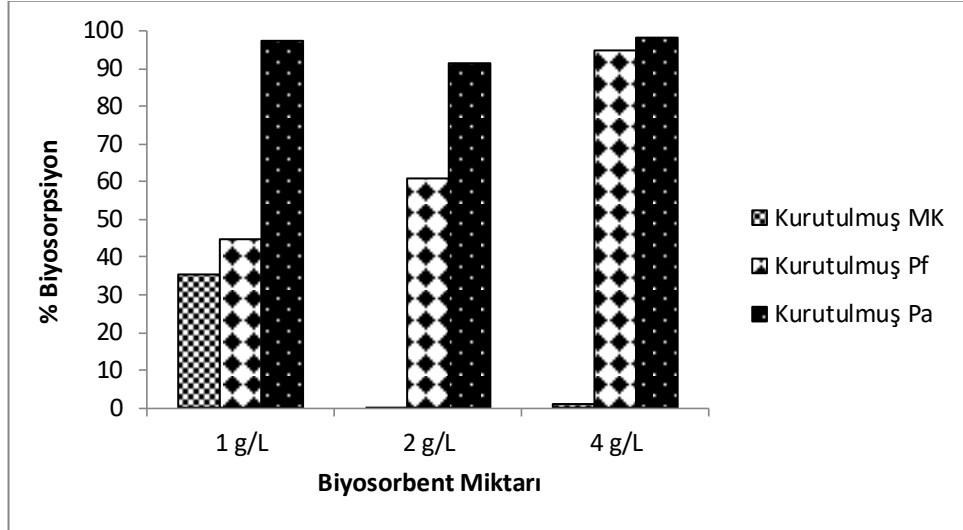
Çizelge 4.10. Kurutulmuş biyosorbentlerin RBB'nin biyosorpsiyonunda biyosorbent miktarı etkisi değerleri. C_0 : 92,31 mg/L

Biyosorbent	Biyosorbent Miktarı (g/L)	C_e (mg/L)	q_t (mg/g)	% B
MK	1	51,74	28,48	35,50
MK	2	95,33	0,27	0,57
MK	4	95,22	0,19	0,79
<i>P. furfuracea</i>	1	50,87	40,87	44,55
<i>P. furfuracea</i>	2	36,09	27,93	60,76
<i>P. furfuracea</i>	4	4,78	21,79	94,80
<i>P. animale</i>	1	2,72	89,67	97,06
<i>P. animale</i>	2	8,15	43,59	91,45
<i>P. animale</i>	4	1,63	23,42	98,29

Kurutulmuş MK'nın ARP-2BX ve RBB biyosorpsiyonuna biyosorbent miktarı etkisi sonuçları Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10'da verilmiş olup, kurutulmuş MK artan biyosorbent miktarı değerlerinde, ARP-2BX'in biyosorpsiyon giderim yüzdesinin arttığı tespit edilmiştir. Kurutulmuş MK biyosorbentleri, maksimum ARP-2BX boya biyosorpsiyon verimini en yüksek biyosorbent miktarında (4g/L) ve RBB boya biyosorpsiyon verimi ise en düşük biyosorbent miktarında (1g/L) vermiş olup, sırasıyla %73,58 ve %35,50 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.17 ve Şekil 4.18)



Şekil 4.17. Kurutulmuş biyosorbentler ile ARP-2BX'in biyosorpsiyonunda biyosorbent miktarı etkisi.



Şekil 4.18. Kurutulmuş biyosorbentler ile RBB'nin biyosorpsiyonunda biyosorbent miktarı etkisi.

Kurutulmuş *C. convoluta*'nın ARP-2BX biyosorpsiyonuna biyosorbent miktarı etkisi sonuçları Çizelge 4.3'de verilmiş olup, artan biyosorbent miktarı değerlerinde kurutulmuş biyosorbentte biyosorpsiyon giderim yüzdesinin keskin bir şekilde arttığı görülmüştür ve maksimum verimi 4 g/L'de % 70,41 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.17 ve Şekil 4.18). Kurutulmuş *P. furufracea*'nin RBB biyosorpsiyonuna biyosorbent miktarı etkisi sonuçları Çizelge 4.4'de verilmiş olup, artan biyosorbent miktarı değerlerinde biyosorpsiyon giderim yüzdesinin keskin bir şekilde arttığı ve maksimum verimi 4 g/L'de % 94,80 tespit edilmiştir (Şekil 4.17 ve Şekil 4.18).

4.4. Biyosorbentlerin Boya Giderimine Sıcaklık ve Temas Süresi Etkisi

Biyosorbentlerin ARP-2BX ve RBB biyosorpsiyonuna sıcaklık ve temas süresi etkisi farklı sıcaklıklarda (25°C, 35°C ve 45°C) ve farklı zaman aralıklarında (30, 60, 120, 240, 360, 480, 600 ve 1440 dak) test edilmiştir. Yapılan denemelerin sonuçları Çizelge 4.11, Çizelge 4.12, Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14'de verilmiştir.

Çizelge 4.11'de görüldüğü üzere, artan ortam sıcaklığı kurutulmuş MK ve *P. animale* tarafından boya giderimini olumlu etkilerken, kurutulmuş *C. convoluta*'da artan sıcaklıkla birlikte ARP-2BX boya giderimi azalmıştır.

Çizelge 4.11. Kurutulmuş biyosorbentlerin ARP-2BX'in biyosorpsiyonunda sıcaklık etkisi değerleri. C_0 : 98,70 mg/L

Biyosorbent	Sıcaklık (°C)	C_e (mg/L)	q_t (mg/g)	% B
MK	25	26,00	18,11	73,58
MK	35	29,14	16,54	69,42
MK	45	25,00	17,32	73,48
<i>C. convoluta</i>	25	32,00	19,04	70,41
<i>C. convoluta</i>	35	48,71	11,79	49,18
<i>C. convoluta</i>	45	50,71	11,00	46,46
<i>P. animale</i>	25	2,86	26,21	97,35
<i>P. animale</i>	35	3,43	23,61	96,50
<i>P. animale</i>	45	0,29	23,93	99,70

Çizelge 4.12'e göre, tüm kurutulmuş biyosorbentlerde artan sıcaklıkla birlikte RBB boyası giderimi de artmıştır.

Çizelge 4.12. Kurutulmuş biyosorbentlerin RBB'nin biyosorpsiyonunda sıcaklık etkisi değerleri. C_0 : 93,48 mg/L

Biyosorbent	Sıcaklık (°C)	C_e (mg/L)	q_t (mg/g)	% B
MK	25	51,74	28,48	35,50
MK	35	56,85	9,54	40,16
MK	45	54,78	9,86	41,87
<i>P. furfuracea</i>	25	4,78	21,79	94,80
<i>P. furfuracea</i>	35	3,37	22,12	96,33
<i>P. furfuracea</i>	45	0,87	22,66	99,05
<i>P. Animale</i>	25	2,72	89,67	97,06
<i>P. Animale</i>	35	0,65	22,91	99,29
<i>P. Animale</i>	45	0,33	23,21	99,65

Çizelge 4.13 incelendiğinde, tüm kurutulmuş biyosorbentler için temas süresi arttıkça ARP-2BX giderimi de artmıştır.

Çizelge 4.13. Kurutulmuş biyosorbentlerin ARP-2BX'in biyosorpsiyonunda temas süresi etkisi değerleri. C_0 : 98,70 mg/L

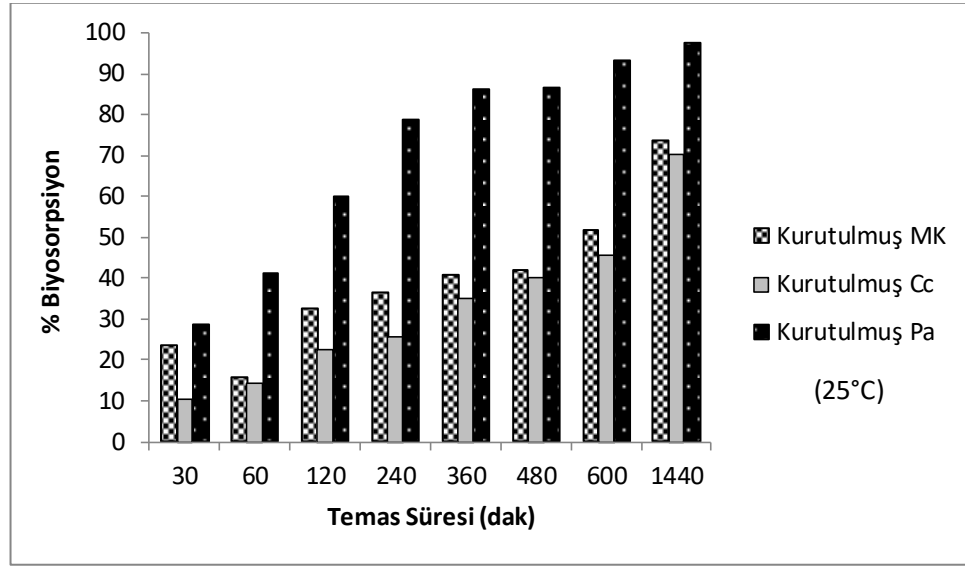
Biyosorbent	Sıcaklık (°C)	Temas Süresi (dak)	C_e (mg/L)	q_t (mg/g)	% B
MK	45	30	81,29	3,25	13,79
MK	45	60	72,43	5,46	23,18
MK	45	120	61,71	8,14	34,55
MK	45	240	65,43	7,21	30,61
MK	45	360	53,29	10,25	43,48
MK	45	480	52,86	10,36	43,94
MK	45	600	55,29	9,75	41,36
MK	45	1440	25,00	17,32	73,48
<i>C. convoluta</i>	45	30	76,29	4,61	19,46
<i>C. convoluta</i>	45	60	80,86	3,46	14,63
<i>C. convoluta</i>	45	120	72,43	5,57	23,53
<i>C. convoluta</i>	45	240	65,00	7,43	31,37
<i>C. convoluta</i>	45	360	62,86	7,96	33,63
<i>C. convoluta</i>	45	480	61,57	8,29	34,99
<i>C. convoluta</i>	45	600	59,43	8,82	37,25
<i>C. convoluta</i>	45	1440	50,71	11,00	46,46
<i>P. animale</i>	45	30	62,43	8,39	34,97
<i>P. animale</i>	45	60	37,57	14,61	60,86
<i>P. animale</i>	45	120	29,29	16,68	69,49
<i>P. animale</i>	45	240	24,86	17,79	74,11
<i>P. animale</i>	45	360	15,43	20,14	83,93
<i>P. animale</i>	45	480	10,57	21,36	88,99
<i>P. animale</i>	45	600	7,29	22,18	92,41
<i>P. animale</i>	45	1440	0,29	23,93	99,70

Çizelge 4.14'de görüldüğü üzere, tüm kurutulmuş biyosorbentler artan temas süresi ile birlikte RBB boya giderim verimi artmıştır.

Çizelge 4.14. Kurutulmuş biyosorbentlerin RBB'nin biyosorpsiyonunda temas süresi etkisi değerleri. C_0 : 93,48 mg/L

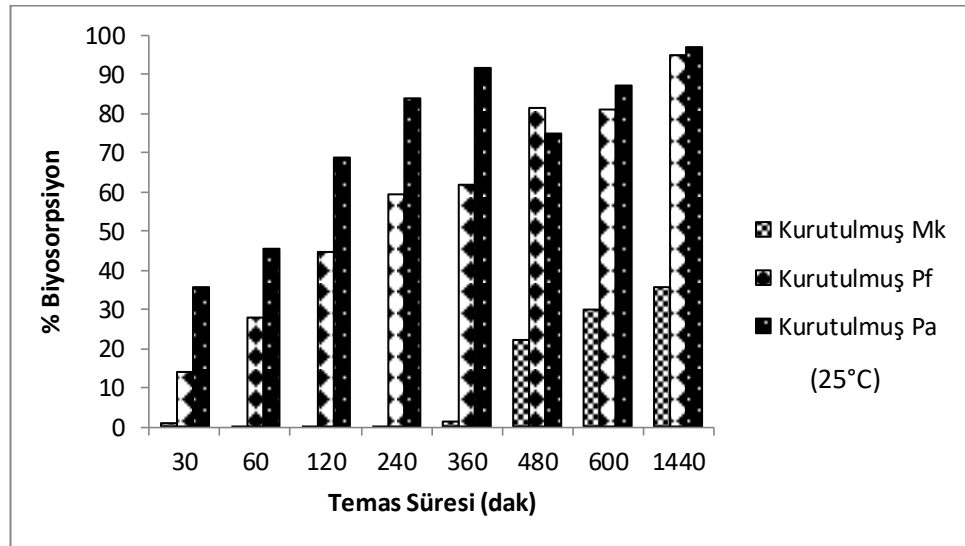
Biyosorbent	Sıcaklık (°C)	Temas Süresi (dak)	C_e (mg/L)	q_t (mg/g)	% B
MK	45	30	91,41	0,71	3,00
MK	45	60	89,78	1,11	4,73
MK	45	120	86,85	1,85	7,84
MK	45	240	81,30	3,23	13,73
MK	45	360	75,76	4,62	19,61
MK	45	480	68,70	6,39	27,10
MK	45	600	65,00	7,31	31,03
MK	45	1440	54,78	9,86	41,87
<i>P. furfuracea</i>	45	30	49,24	10,57	46,20
<i>P. furfuracea</i>	45	60	30,54	15,24	66,63
<i>P. furfuracea</i>	45	120	22,17	17,34	75,77
<i>P. furfuracea</i>	45	240	4,13	21,85	95,49
<i>P. furfuracea</i>	45	360	8,48	20,76	90,74
<i>P. furfuracea</i>	45	480	4,89	21,66	94,66
<i>P. furfuracea</i>	45	600	4,13	21,85	95,49
<i>P. furfuracea</i>	45	1440	0,87	22,66	99,05
<i>P. Animale</i>	45	30	71,20	5,49	23,57
<i>P. Animale</i>	45	60	57,28	8,97	38,51
<i>P. Animale</i>	45	120	45,11	12,01	51,58
<i>P. Animale</i>	45	240	36,52	14,16	60,79
<i>P. Animale</i>	45	360	32,28	15,22	65,34
<i>P. Animale</i>	45	480	24,35	17,20	73,86
<i>P. Animale</i>	45	600	18,70	18,61	79,93
<i>P. Animale</i>	45	1440	0,33	23,21	99,65

Kurutulmuş MK'nın ARP-2BX ve RBB biyosorpsiyonuna sıcaklık ve temas süresi etkisi sonucu, artan sıcaklık ve zamanla biyosorpsiyon giderim yüzdesinin değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 4.19 ve Şekil 4.20).



Şekil 4.19. Kurutulmuş biyosorbentler ile ARP-2BX'in biyosorpsiyonunda temas süresi etkisi.

Hem kurutulmuş, hem kül *P. animale*'nin ARP-2BX ve RBB biyosorpsiyonuna sıcaklık ve temas süresi etkisi farklı sıcaklıklarda (25°C, 35°C ve 45°C) ve farklı zaman aralıklarında (30, 60, 120, 240, 360, 480, 600 ve 1440 dak) test edilmiştir. Yapılan denemelerin sonuçlarında, artan sıcaklık ve zamanla biyosorpsiyon giderim yüzdesinin arttığı tespit edilmiştir (Şekil 4.19 ve Şekil 4.20). Buna göre, en yüksek giderim ARP-2BX için 45°C'de kurutulmuş *P. animale* ile %99.70 iken, RBB için 45°C'de kurutulmuş *P. animale* ile %99.65'dir.

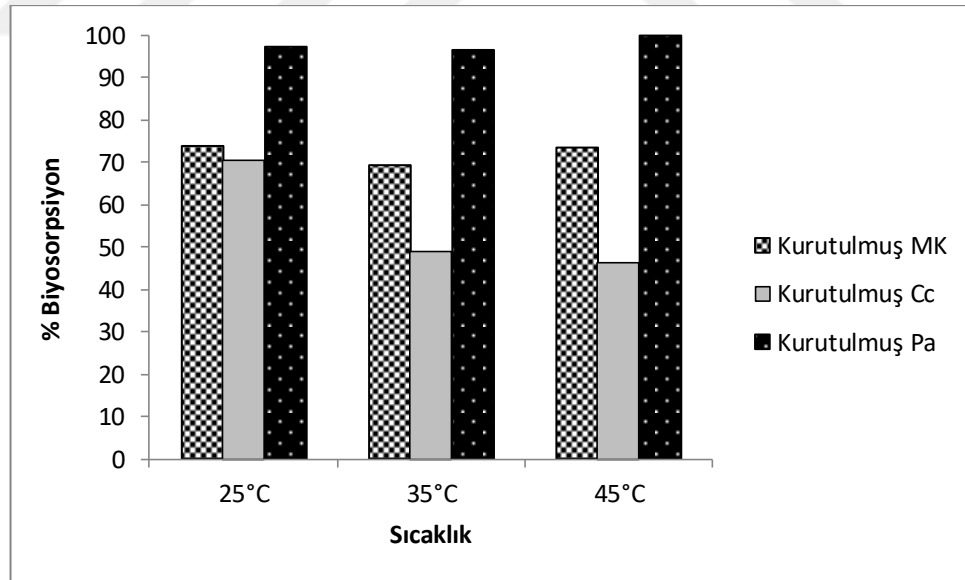


Şekil 4.20. Kurutulmuş biyosorbentler ile RBB'nin biyosorpsiyonunda temas süresi etkisi.

ARP-2BX boyasında artan sıcaklıkla verimin azaldığı, RBB boyasında ise arttığı görülmüştür. Kurutulmuş MK biyosorbenti için, maksimum ARP-2BX boya biyosorpsiyon verimleri sırasıyla, 25°C’de %73,58, 35°C’de 69,42 ve 45°C’de 73,48 bulunmuş (Şekil 4.21), RBB boya biyosorpsiyonunda ise, 25°C’de %35,33, 35°C’de %40,16 ve 45°C’de %41,87 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.22).

Kurutulmuş *C. convoluta*’nın ARP-2BX biyosorpsiyonuna sıcaklık ve temas süresi etkisi sonuçlarında, artan sıcaklık ile biyosorpsiyon giderim yüzdesinin azaldığı, artan zaman ile giderimin arttığı tespit edilmiştir (Şekil 4.19). Kurutulmuş *C. convoluta* biyorbentleri için, sıcaklık artışı boya giderim verimlerini azaltırken artan temas süresi verimleri arttırmıştır. Sıcaklık 25°C’den 45°C’ye çıktıkça biyosorpsiyon oranı kurutulmuş biyosorbent için % 70,41’den %46,46’ya azalmıştır (Şekil 4.21).

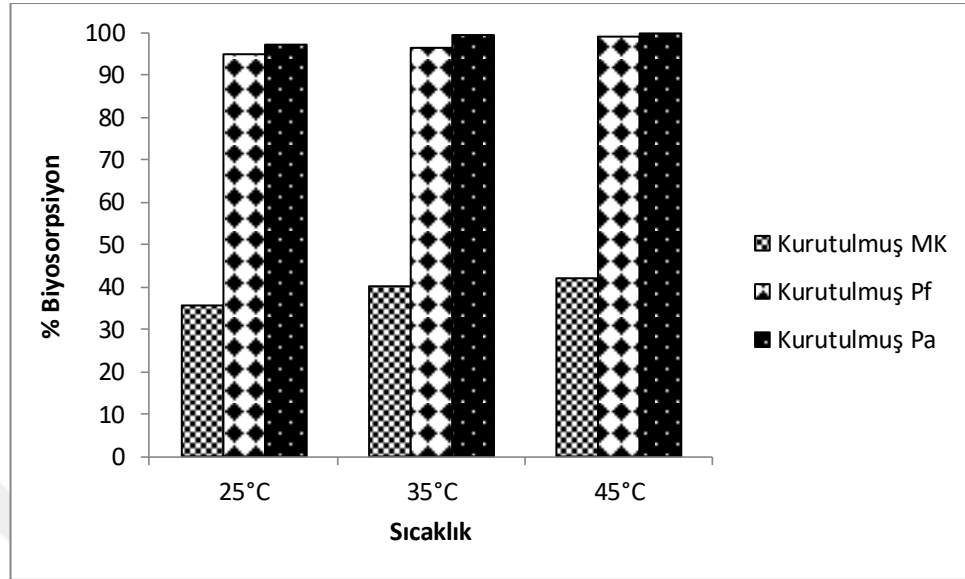
Kurutulmuş *P. furufacea*’nin RBB biyosorpsiyonuna sıcaklık ve temas süresi etkisi sonuçları Şekil 4.20’de verilmiş olup, artan sıcaklık ile biyosorpsiyon giderim yüzdesinin arttığı tespit edilmiştir. Sıcaklık 25°C’den 45°C’ye çıktıkça biyosorpsiyon oranı kurutulmuş biyosorbent için % 94,80’den %99,05’e yükselmiştir (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. Kurutulmuş biyosorbentler ile ARP-2BX’nin biyosorpsiyonunda sıcaklık etkisi.

Kurutulmuş *P. animale* biyorbentleri, her iki boya için de temas süresi ve sıcaklık arttıkça boya giderim verimlerini arttırmıştır. Sıcaklık 25°C’den 45°C’ye çıktıkça biyosorpsiyon oranı ARP-2BX için % 97,35’ten %99,70’e yükselmiştir (Şekil

4.21). RBB için sıcaklık 25°C'den 45°C'ye yükseldikçe biyosorpsiyon verimi %98,29'dan %99,65'e çıkmıştır (Şekil 4.22).



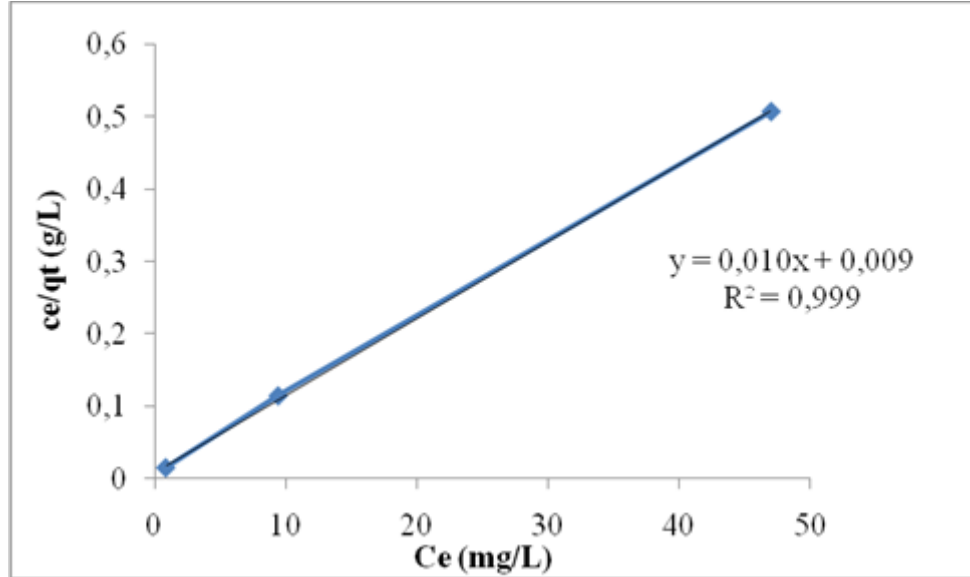
Şekil 4.22. Kurutulmuş biyosorbentler ile RBB'nin biyosorpsiyonunda sıcaklık etkisi.

Tüm biyosorbent türleri incelendiğinde Kurutulmuş *P. animale* biyosorbentleri, her iki boya için en yüksek boya biyosorpsiyon giderimi gerçekleştirmiş olup, biyosorpsiyon oranı RBB için %99,65 iken, ARP-2BX için %99,70 olarak tespit belirlenmiştir.

4.5. İzoterm İncelemeleri

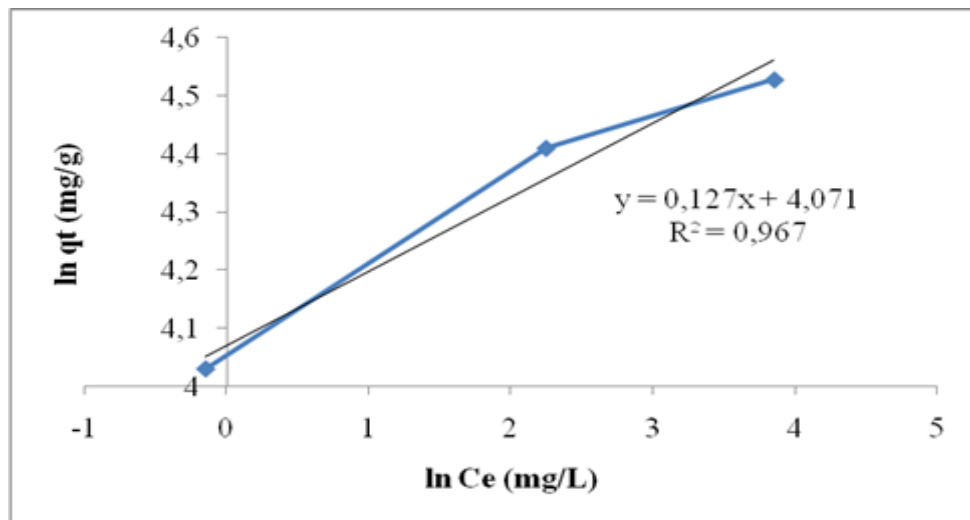
Tez çalışması sonuçlarına göre en başarılı biyosorbent kurutulmuş *Phormidium animale* olarak belirlenmiş olup, en iyi giderim yaptığı boya ARP-2BX'dir. Bu nedenle kurutulmuş *Phormidium animale* biyosorbenti ve ARP-2BX boyası biyosorpsiyonu izoterm hesaplamaları için seçilmiştir. Kurutulmuş *Phormidium animale* biyosorbenti üzerine ARP-2BX boyasının biyosorpsiyon izotermi yaygın olarak kullanılan Langmuir ve Freundlich izoterm modellerine göre incelenmiştir.

Kurutulmuş *Phormidium animale* üzerine ARP-2BX'in biyosorpsiyon izoterm incelemeleri farklı başlangıç derişimlerde (59,52, 85,05 ve 139,78 mg/L) 25°C'de ve pH 2'de incelendi. Elde edilen izotermeler sırasıyla Şekil 4.23 ve 4.24'de gösterildi.



Şekil 4.23. ARP-2BX'in kurutulmuş *Phormidium animale* üzerine biyosorpsiyonunun Langmuir izotermi.

Şekil 4.23'de görüldüğü üzere ARP-2BX'in Kurutulmuş *Phormidium animale* üzerine biyosorpsiyonunun Langmuir izotermi için 0,999'lık bir korelasyon değeri elde edildi. Bu yüksek korelasyon değerinden dolayı Langmuir izotermine uyum olduğu söylenebilir. Langmuir izotermine uyum biyosorbent yüzeyinin homojen olduğuna ve yüzeyin tek tabaka ile kaplandığına işaret etmektedir. Langmuir sabitlerinden biyosorpsiyon kapasitesini ifade eden q_m değeri, q_m :100 mg/g ve biyosorpsiyon enerjisine işaret eden K_L değeri ise, K_L =1,11 L/mg olarak bulunmuştur.



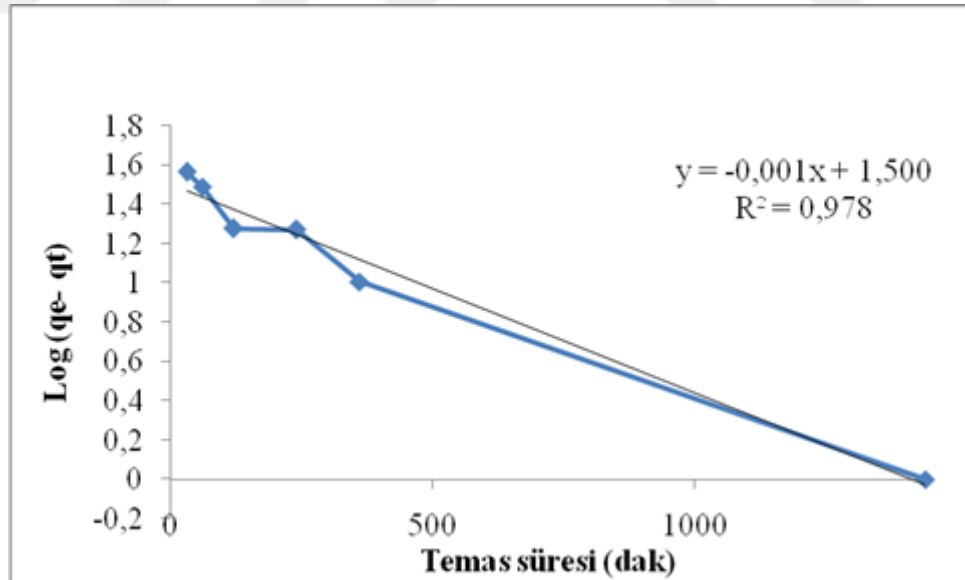
Şekil 4.24. ARP-2BX'in kurutulmuş *Phormidium animale* üzerine biyosorpsiyonunun Freundlich izotermi.

ARP-2BX'in Kurutulmuş *Phormidium animale* üzerine biyosorpsiyonunda Freundlich izotermi için 0,967'lik bir korelasyon değeri elde edildi. Bu korelasyon değeri adsorpsiyonun Freundlich izotermine uyduğuna işaret eder. Freundlich sabitlerinden biyosorpsiyon kapasitesini ifade eden K_f değeri, K_f : 58,62 mg/g ve biyosorpsiyon şiddetini ifade eden n değeri ise, n : 7,8740 g/L olarak bulunmuştur.

4.6. Kinetik İncelemeler

Tez çalışması sonuçlarına göre en başarılı biyosorbent kurutulmuş *Phormidium animale* olarak belirlenmiş olup, en iyi giderim yaptığı boya ARP-2BX'dir. Bu nedenle kurutulmuş *Phormidium animale* biyosorbenti üzerine ARP-2BX'in biyosorpsiyonu için kinetik hesaplamalar yapılmıştır. Kurutulmuş *Phormidium animale* üzerine ARP-2BX'in biyosorpsiyonunun kinetiği yalancı birinci dereceden (Pseudo-first-order) ve Yalancı ikinci dereceden (Pseudo-second-order) modellerine göre incelendi.

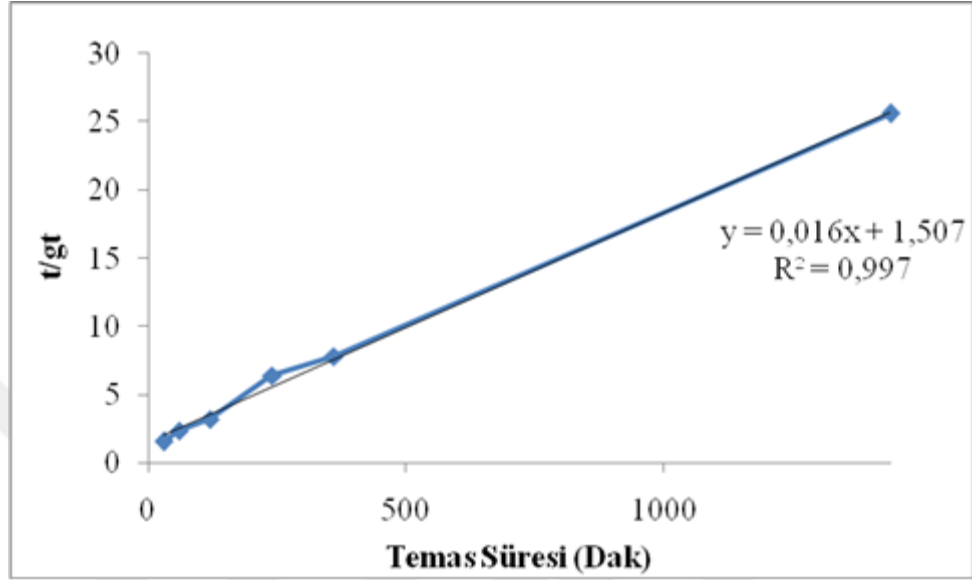
Kurutulmuş *Phormidium animale* üzerine ARP-2BX'in biyosorpsiyon kinetiği farklı derişimlerde 25 °C'de ve pH 2'de incelendi. Elde edilen kinetik grafikler sırasıyla aşağıda Şekil 4.25 ve 4.26'da ve kinetik parametreler ise Çizelge 4.5'de gösterilmiştir.



Şekil 4.25. Kurutulmuş *Phormidium animale* üzerine ARP-2BX'in biyosorpsiyonunun yalancı birinci dereceden kinetik grafiği.

Şekil 4.25 'de verilen grafik incelendiğinde kurutulmuş *Phormidium animale* ile hazırlanmış biyosorbent üzerine ARP-2BX boyasının biyosorpsiyonuna ait yalancı birinci dereceden kinetiğine ait korelasyon değeri, $R^2 = 0,978$ olarak belirlenmiştir. Bu

yüksek korelasyon değerlerine rağmen denklemden elde edilen teorik q_t değeri ile deneysel olarak bulunan q_t değeri birbirleriyle uyum sağlamamaktadır. Bu nedenle ARP-2BX'in kurutulmuş *Phormidium animale* üzerine biyosorpsiyonu yalancı birinci dereceden kinetiğe uymamaktadır.



Şekil 4.26. Kurutulmuş *Phormidium animale* üzerine ARP-2BX'in biyosorpsiyonunun yalancı ikinci dereceden kinetik grafiği.

Şekil 4.26'da görüldüğü üzere için korelasyon değerlerinin kurutulmuş *Phormidium animale* ile hazırlanmış biyosorbent üzerine ARP-2BX boyasının biyosorpsiyonuna ait yalancı ikinci dereceden kinetiğine ait korelasyon değeri, $R^2=0,997$ olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.15'e göre deneysel q_t ile teorik q_t değerleri ise birbirine yakın olarak bulunmuştur ve bu nedenle ARP-2BX 'in kurutulmuş *Phormidium animale* üzerine biyosorpsiyonu yalancı ikinci dereceden kinetik modele uymaktadır. Biyosorpsiyonun yalancı ikinci dereceden kinetik modele uyması, kurutulmuş *Phormidium animale* ile boyar madde ARP-2BX arasında kimyasal bir aktivasyon olacağına işaret eder.

Çizelge 4.15 Kurutulmuş *Phormidium animale* üzerine ARP-2BX'in biyosorpsiyon kinetiğinin parametreleri.

	Yalancı birinci derece modeli				Yalancı ikinci derece modeli			
	q_t	q_t (deneysel)	k_1	R^2	q_t	q_t (deneysel)	k_2	R^2
<i>P. animale</i>	1.482	56.28	0.002303	0.978	62.5	56.28	1.6987	0.997

4.7. Elemental Analiz

Elemental analiz, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yapılmıştır. Termal ve kimyasal işlemlerden elde edilen sonuçları karşılaştırmak için elemental analiz önemli bir parametredir (Özbay, vd., 2017). Yapılan elemental analiz verileri aşağıda Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Elemental analiz verileri.

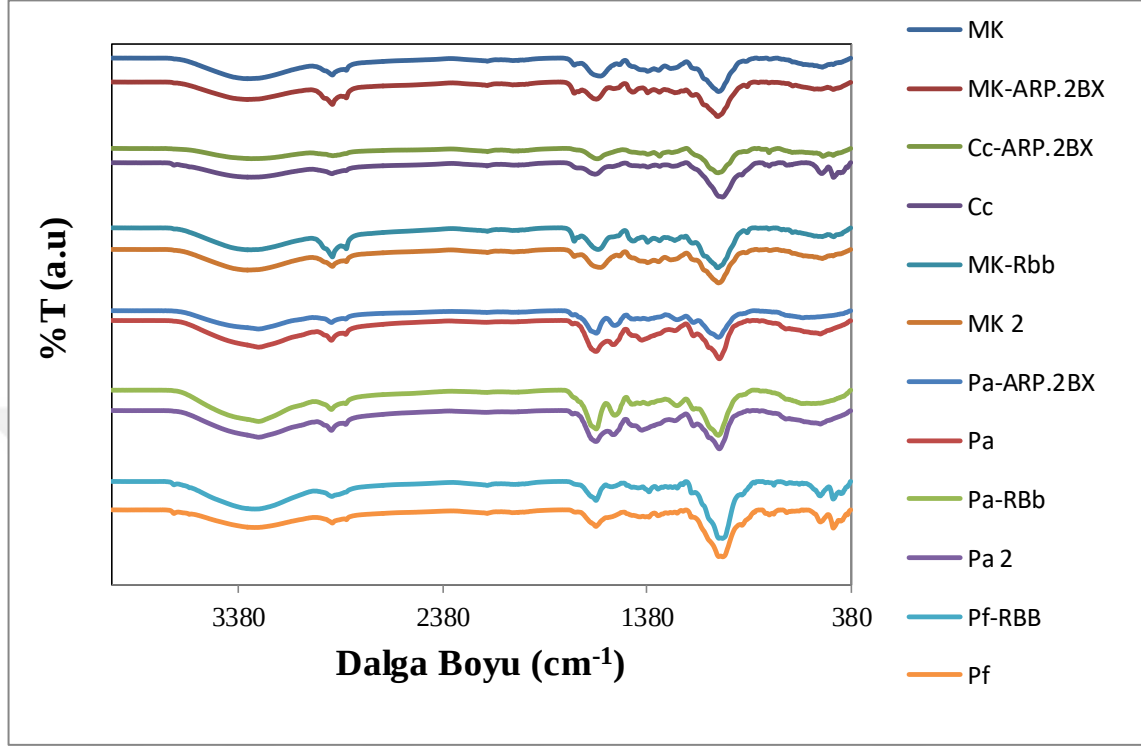
%	Acid Red P-2BX	Remazol Black	<i>Phormidium animale</i>	<i>Phormidium animale</i> ve Acid Red P-2BX	<i>Phormidium animale</i> ve Remazol Black
C	46,44	22,08	7,23	50,40	29,33
H	6,97	2,48	1,86	7,17	3,27
N	6,30	5,39	0,07	5,75	5,52
O	40,29	70,05	90,84	36,68	61,88

Çizelge 4.16'ya göre, *Phormidium animale*'nin Acid Red P-2BX boyasının biyosorpsiyonunda Karbon, Hidrojen ve Azot miktarlarında artış görülürken Oksijen miktarında çok fazla azalma görüldü. *Phormidium animale*'nin Remazol Black boyasının biyosorpsiyonunda ise aynı şekilde Karbon, Hidrojen ve Azot miktarlarında artış, Oksijen miktarında Acid Red P-2BX boyasına göre daha az bir azalma görüldü.

4.8. FT-IR İncelemeleri

Biyosorpsiyon deneyleri sonunda seçilen biyosorbentlerin boya giderim öncesi ve sonrası FT-IR spektrumları (Şekil 4.27) incelendiğinde, 3400 cm⁻¹ civarında görülen yayvan pik OH gerilim titreşimleri ile hidroksil gruplarının varlığını, 2921 cm⁻¹ civarında görülen pikler ise alifatik hidrojenlerin (C-H) varlığını, 1734 cm⁻¹'de görülen pik ise karbonil grubunun (C=O) varlığını göstermektedir. 1540- 1448 cm⁻¹ arasında görülen pikler de aromatik C=C gerilme titreşimlerinden meydana gelmekte olup, 1370 cm⁻¹ 'deki pik C-H alifatik metil gruplarının varlığını ve 1230 cm⁻¹ 'deki pik ise C-O

titreşimlerini göstermektedir. 900- 700 cm^{-1} aralığında görülen C-H eğilme titreşimleri aromatik yapının varlığını göstermektedir (Özbay ve Yargıç, 2015).



Şekil 4.27. Biyosorbentlerin FT-IR analiz değerleri grafiği.

5. TARTIŞMA

Tez çalışmasında farklı organik atıkların tekstil boyası giderim potansiyelini belirlemek amacıyla; muz, ay çekirdeği, patates ve portakal kabukları biyosorbent olarak kullanılmıştır. Her iki boya içinde en iyi giderim verimi muz kabuğu ile yapılan deneylerin sonucunda elde edilmiştir. Muz kabuğunun en yüksek biyosorpsiyon kapasitesi ise 36,71 mg/g olarak belirlenmiştir. Literatürde farklı tarımsal atıklara ait atıkların ucuz adsorban olarak kullanıma yönelik çalışmalar bildirilmiştir (Sharma, vd., 2012). Srivastava ve Rupainwar (2011) yaptıkları çalışmada mango kabuğunu adsorban olarak kullanmış ve malchite green isimli boyanın adsorpsiyon kapasitesini 0,53 mg/g olarak rapor etmişlerdir. Abassi ve Razzaghi (2009) ise üzüm kabuğunun Reactive blue 19 isimli boyanın gideriminde adsorban olarak kullanımını denemişler ve giderim kapasitesini 12,53 mg/g olarak belirlemişlerdir. Bu çalışmada muz kabuğu ile elde edilen giderim verimi literatürdeki örneklerine göre daha yüksektir.

Tez çalışmasında likenlerin boya gideriminde biyosorbent olarak kullanım olanaklarının araştırılması amacıyla 3 farklı liken türü kullanılmıştır. Kurtulmuş ve kül biyosorbentler sırasıyla 100°C ve 500°C'de hazırlanmıştır. Bütün liken türlerinde kurutulmuş biyosorbentler kül biyosorbentlere göre daha etkin boya giderimi gerçekleştirmiştir. Literatürde 500°C gibi yüksek sıcaklıklarda hem biyosorbentin kararlılığını sağladığı hem de yüzey alanını arttırdığı belirtilmiştir (Zhao, vd., 2017). Fakat bu tez çalışmasının sonuçlarına göre 100 °C'de kurutulan biyosorbent 500 °C'de kül haline getirilmişse göre daha başarılı giderim gerçekleştirmiştir. Diğer taraftan, Zang vd. (2015) yaptıkları çalışmanın sonuçlarında artan sıcaklığın hücre yüzeyinde bulunan bazı polimerlerin bozunmasına neden olduğu ve hatta yüzeydeki hidroksil gruplarının dehidrasyona uğramasına neden olduğu belirtilmiştir. Son zamanlarda, Zhao, vd. (2017) piroliz sıcaklığının yüzeydeki karboksilik gruplar gibi asidik fonksiyonel grupların sayısını azalttığını rapor etmiştir. Kurutulmuş biosorbentdeki organik yapı kül haline geldiği zaman kaybolmuştur. Bu tez çalışmasının sonuçları liken yüzeyinde boya biyosorpsiyonunda görev alan fonksiyonel grupların termal bozunmaya maruz kaldığını desteklemektedir. Bunun sonucu olarak da daha yüksek sıcaklıkta hazırlanan biyosorbentin boya biyosorpsiyonu oranı daha düşüktür. Diğer taraftan 500 °C'ye kadar ısıtma 100 °C'ye kadar ısıtmaya göre daha fazla enerji harcadığı için kurutulmuş biyosorbentin tercih edilmesi enerji tasarrufu da sağlamaktadır. Likenlerle yapılan pH

etkisi deneyleri sonucunda en uygun pH'ın pH 2 gibi düşük pH değeri olduğu tespit edilmiştir. Başlangıç boya derişimi etkisi deneyleri sonucunda artan boya derişiminin verimi olumsuz etkilediği saptanmıştır. Kulkarni, vd., (2014) yaptıkları çalışmada bir liken türü olan *P. perlata*'nın boya biyosorpsiyon veriminin artan boya derişimi ile azaldığını göstermiştir. Son zamanlarda Bilal, vd., (2018) bir alg türü ile yaptıkları çalışmada boya derişimindeki artışın boya biyosorpsiyonunu olumsuz etkilediğini belirtmiştir. Buna ek olarak, De Castro, vd., (2017) bir mantar türünün de boya gideriminin artan boya derişimi ile azaldığını göstermiştir. Likenler algler ile mantarların simbiyotik beraberlikleri sonucu oluşmaktadır ve likenlerin de algler ve mantarların gösterdiği özellikleri taşıması beklenmektedir. Bu tez çalışmasında likenlerle yapılan deneylerin sonuçları da liken türlerinin boya biyosorpsiyonunda hem alg hem de mantar türlerine benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Diğer taraftan likenlerin alg ve mantarların simbiyotik birlikteliği sonucu oluşmasından dolayı toksik kirleticilere karşı toleranslarının daha yüksek olması nedeniyle biyolojik arıtmada daha avantajlı olabilecekleri düşünülmüştür. Bu tez çalışması sonuçlarına göre en iyi boya giderimi gerçekleştiren liken türü *P. furfuracea* olarak belirlenmiştir.

Bu tez çalışmasında algal biosorbentlerin boya giderim verimlerini kıyaslamak amacıyla farklı hücre yapısına sahip iki tür kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan *P. animale* prokaryotik mavi-yeşil alg (siyanobakteri) iken, *Scenedesmus sp.* ise ökaryotik yeşil agler içinde yer almaktadır. Her iki biyoküttelede hem kurutulmuş hem de kül biyosorbent olarak hazırlanmış ve kullanılmıştır. *Scenedesmus sp.* örnekleri en iyi giderimi pH 8'de gerçekleştirmiştir. Ancak pH 2 ile pH 8'de elde edilen değerler arasında çok yüksek bir fark bulunmamaktadır ve boya giderim oranları düşük değerlerde gerçekleşmiştir. Diğer taraftan her iki boya içinde *P. animale*'nin en iyi giderimi pH 2'de gerçekleştirdiği görülmüştür. Bu iki biyosorbent arasındaki boya biyosorpsiyonu farkının bu hücrelerin yüzey özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Ökaryotik özellikteki *Scenedesmus sp.* yeşil algler grubunda yer almaktadır ve yeşil alglerin hücre duvar yapıları türler arasında çeşitlilik göstermesine karşın özellikle selüloz, pektin ve çeşitli glikoproteinler içermektedir (Domozych, vd., 2012). *P. animale* ise bir siyanobakteri olup, siyanobakteri hücrelerinin sitoplazma ve dış zarları arasında peptidoglikan, dış kısımlarında musilaj veya kabuk adını alan polisakkarit bulunmaktadır (Shapiro ve Dworkin, 1997). Gram negatif özellik gösteren

P. animale'nin yüzeyinin boya biyosorpsiyonuna *Scenedesmus sp.*'nin yüzeyine göre daha uygun olduğu bu çalışmanın sonuçları ile desteklenmiştir.

Biyosorbent türü bakımından karşılaştırma yapıldığı zaman pH deneylerinde kurutulmuş ve kül *P. animale*'den elde edilen biyosorbentlerin %97.06 ve %9.77 RBB giderimi yaptığı tespit edilmiştir. Kurutulmuş biyosorbentin (*P. animale*) 10 kat daha başarılı bir biyosorpsiyon verimi gösterdiği saptanmıştır. Kurtulmuş biyosorbentin sahip olduğu ve biyosorpsiyon prosesinde görev alan fonksiyonel grupların kül biyosorbent hazırlanırken kullanılan yüksek sıcaklıkta zarar görmesi nedeni ile boya biyosorpsiyon veriminin düştüğü kanaatine varılmıştır. Kül biyosorbentin içerdiği inorganik maddelerin ise boya biyosorpsiyonunda çok fazla rol almadığı için biyosorpsiyon veriminin düşük olduğu düşünülmüştür. Literatürde çeşitli mineral maddelerin boya gibi maddeleri adsorplayıcı olarak kullanılabileceği gösterilmiştir (Alkan, vd., 2005; Günhan, 2001). Ancak bu çalışmanın bulgularında mikrobiyal biyokütleden elde edilen külde bulunan minerallerin adsorplayıcı özelliklerinin düşük olduğu görülmüştür.

Kurutulmuş biyosorbentin (*P. animale*) RBB boyası biyosorpsiyonu için en uygun pH 2 olarak belirlenmiştir. pH değeri 2 den 10'a doğru arttığında ise biyosorpsiyon veriminin ciddi bir şekilde düştüğü görülmüştür. Benzer şekilde, başka bir siyanobakteri olan *Nostoc linckia* HA 46 ile reaktif boya biyosorpsiyonu deneylerinde pH 2'den 6'ya doğru yükseldikçe verimde keskin bir düşüş olduğu literatürde belirtilmiştir (Mona, vd., 2011). Asidik solüsyonlarda reaktif boyaların azo kromofor grupları negatif yükle yüklü iken algin yüzeyi ise pozitif yüklenmektedir, bu nedenle boya molekülleri ile algal biyosorbent yüzeyi arasında elektrostatik etkileşimler oluşmaktadır (Özer, vd., 2005). Bu tez çalışmasında pH etkisi deneyleri sonucunda *P. animale* kurutulmuş olarak elde edilen biyosorbent yüzeyi de asidik koşullarda pozitif yüklendiği için en iyi giderimin gerçekleştiği koşullar asidik koşullar olarak belirlenmiştir. Boya derişimi etkisi deneyleri pH 2'de farklı boya derişimlerinde yürütülmüş olup, artan boya derişimlerinde boya giderim veriminin düştüğü tespit edilmiştir. Aravindhana, vd., (2007) yaptıkları çalışmada başlangıç boya derişimlerinin, sulu ve katı fazlar arasındaki boya moleküllerinin kütle transfer direnciyle başa çıkmada önemli bir güç sağladığını rapor etmiştir. Literatürde Marungueng ve Pavasant (2007) tarafından bir alg türü olan *Caulerpa scalpelliformis*'den elde edilen biyosorbenti kullanarak Basic Yellow isimli reaktif boyanın biyosorpsiyonunun artan boya derişimi

ile birlikte azaldığı belirtilmiştir. Benzer şekilde, Mona, vd., (2011) *Nostoc linckia* HA 46'nın Reaktive Red 198 isimli boya gideriminin atran başlangıç boya derişiminden olumsuz etkilendiğini göstermiştir. Biyosobent miktarının etkisi deneylerinde ise farklı biyosorbent dozları (1, 2 ve 4 g/L) denenmiş olup, artan biyosorbent miktarı ile birlikte biyosorpsiyon veriminin arttığı belirlenmiştir. Kousha, vd., (2012) yaptıkları denemelerde artan adsorban miktarının adsorpsiyon oranını arttırdığını göstermiştir. Son zamanlarda yapılan başka bir çalışmada algal biyokütle miktarının artışının boya biyosorpsiyon oranlarının artışına neden olduğu rapor edilmiştir (Omar, vd., 2018). Sıcaklık etkisi deneyleri sonucunda tüm denenen sıcaklıklarda biyosorpsiyon oranının %95'in üzerinde olduğu tespit edilmiş olup, kurutulmuş *P. animale* biyosorbetine RBB biyosorpsiyonunda sıcaklığın belirgin bir etkisi olmadığı görülmüştür. En yüksek giderim veriminin ise 45°C'de olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde, Mona, vd., (2011) yaptıkları çalışmada artan sıcaklığın algal yüzeydeki biyosorpsiyon için aktif olan kısımları olumlu yönde etkilediğini göstermiştir.

pH etkisi deneyleri sonucunda, *Scenedesmus sp.* ve *P. animale* ile boya biyosorpsiyonu için en iyi giderim sırasıyla pH 8 ve 2 olarak görülmüştür. Ancak *Scenedesmus sp.* için pH 2 ve 8'deki giderim oranları arasında çok yüksek bir farklılık olmadığı görülmüştür. Diğer taraftan kurutulmuş ve kül *Scenedesmus sp.* biyosorbentleri karşılaştırıldığında kül formdaki daha iyi giderim yaptığı tespit edilmiştir. *Scenedesmus sp.* ökaryotik yeşil algler grubuna dâhil olup, liteartürde alglerin adsorpsiyon özelliklerinin hücrenin dış yüzeyinde bulunan hücre duvarındaki proteinlerle ilgili olduğu bildirilmiştir (Chen, vd., 2014). *P. animale* ile yapılan denemeler sonucunda 500 °C gibi yüksek sıcaklıkta bekletilerek hazırlanan kül biyosorbentin adsorpsiyon yeteneğinin daha düşük sıcaklıkta hazırlanan kurutulmuş biyosorbentle karşılaştırıldığında kurutulmuş olanın çok daha yüksek verimle giderim yaptığı belirlenmiştir. Prokaryotik hücre yapısına sahip *P. animale*'nin ökaryotik hücre yapısına sahip *Scenedesmus sp.* ile boya giderim verimi karşılaştırıldığında ise *P. animale*'nin her iki boyayı da yüksek oranda giderdiği tespit edilmiştir.

Her iki tekstil boyasıninda biyosorpsiyonla gideriminde alg, liken ve organik atıklardan elde edilen biyosorbentler karşılaştırıldığında en başarılı biyosorbentin bir mavi-yeşil (siyanobakteri) türü olan *P. animale* olduğu belirlenmiş olup, giderim verimin %100'e çok yakın olduğu tespit edilmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; organik atıklar (Muz, ayçiçeği çekirdeği, portakal, patates kabuğu) farklı liken türleri (*Cladonia convoluta*, *Evernia prunastri*, *Pseudevernia furfuracea*) ve farklı alg türleri (*Phormidium animale*, *Scenedesmus sp.*) biyosorbent olarak kullanılarak, tekstil boyası olan Acid Red P-2BX (ARP-2BX) ve Remazol Black (RBB) boyalarının biyosorpsiyon yöntemi ile giderimleri araştırılmıştır.

Organik atıklarda en iyi giderimi muz kabuğu yapmıştır. Kurutulmuş muz kabuğunun ARP-2BX boyası için biyosorpsiyonunun en uygun koşullarda maksimum verimin %73,58 olduğu tespit edildi. Diğer organik atıkların boya giderim yüzdelerinin çok düşük olduğu, özellikle kül biyosorbentlerin daha az giderim yaptığı saptanmıştır.

Likenlerde ise en iyi giderimle kurutulmuş *Cladonia convoluta*'nın ARP-2BX boyası için biyosorpsiyonunun en uygun koşullarda maksimum verimin %70,41, kurutulmuş *Pseudevernia furfuracea*'nın RBB boyası biyosorpsiyon veriminin ise %99,05 olduğu tespit edildi.

Alglerde en iyi giderimi *Phormidium animale*'nin her iki boya için de biyosorpsiyon yüzdesinin en fazla olduğu gözlenmiştir. Kurutulmuş biyosorbent küle göre daha yüksek verim ile giderim yapmıştır. En uygun koşullarda ARP-2BX boyası ile biyosorpsiyon yüzdesi %99,70, RBB boyası ile % 99,65 gibi çok yüksek değerlerde sonuçlar elde edilmiştir.

Deney sonuçlarına göre üç farklı biyosorbent çeşitlerinden en iyi giderim yapan biyosorbentlerin en uygun şartları Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Farklı biyosorbentlerin boya biyosorpsiyonunda maksimum verimlerinin en uygun şartları.

Biyosorbent	Tipi	Boya	pH	Boya Kons. (mg/L)	B.Miktarı (g/L)	Sıcaklık (°C)	Temas Süresi (dak.)	% B
MK	Kurutulmuş	ARP-2BX	2	98,84	4	25	1440	73,58
<i>P.furfuracea</i>	Kurutulmuş	RBB	2	93,48	4	45	1440	99,05
<i>P. animale</i>	Kurutulmuş	ARP-2BX	2	98,70	4	45	1440	99,70

İzoterm incelemeleri sonuçlarına göre üç farklı biyosorbent çeşitlerinden en iyi giderim yapan biyosorbentlerin izoterm parametreleri Çizelge 6.2’de verilmiştir. Çizelgede de görüldüğü üzere, tüm biyosorbentler için en yüksek korelasyon değerleri Langmuir izoterm hesaplamalarında elde edilmiş olup, boya biyosorpsiyonu için en uygun izotermin Langmuir olduğu düşünülmüştür.

Çizelge 6.2. Farklı biyosorbentlerin izoterm parametreleri.

	Langmuir İzotermi			Freundlich İzotermi		
	$q_{\max}$ (mg/g)	K_L (l/mg)	R^2	K_F	$1/n$	R^2
<i>P. animale</i> ARP-2BX	100	1.11	0.999	58.62	0.127	0.967
<i>P. animale</i> RBB	41.667	2.4	0.999	22.08724	0.128	0.936
<i>P. furfuracea</i> RBB	26.3	9.7	0.96	94.5	0.2	0.680

Kinetik incelemelere göre üç farklı biyosorbent çeşitleri arasında en iyi giderim yapan biyosorbentlerin biyosorpsiyon kinetik parametreleri Çizelge 6.3’de verilmiştir. Çizelgede de görüldüğü üzere, her üç biyosorbent içinde en yüksek değerler yalancı ikinci derece kinetik modelinde elde edilmiş olup, seçilen biyosorbentlerin yalancı ikinci derece kinetik modelle uyumlu bulunmuştur.

Çizelge 6.3. Farklı biyosorbentlerin biyosorpsiyon kinetiğinin parametreleri.

	Yalancı birinci derece modeli				Yalancı ikinci derece modeli			
	q_t	q_t (deneysel)	k_1	R^2	q_t	q_t (deneysel)	k_2	R^2
<i>P. animale</i> ARP-2BX	1.482	56.28	2.30×10^{-3}	0.978	62.5	56.28	1.6987	0.997
<i>P. animale</i> RBB	13.67	23.21	4.606×10^{-3}	0.973	25	23.21	2.48×10^{-4}	0.986
<i>P. furfuracea</i> RBB	13.5	22.7	11.5×10^{-3}	0.97	25.6	22.7	8.6×10^{-4}	0.990

Yapılan alışmalar sonucunda, hem elde edilmesi kolay ve ucuz olan organik atıkların, likenlerin ve alglerin boya gideriminde kullanılabileceği, hem de giderim sonucunda fazladan bir atık oluşmadığı biyosorpsiyon yönteminin laboratuvar ölçekli deneyleri pozitif bir şekilde sonuçlanmış olup, endüstriyel ölçekli alanlarda da kullanılabileceği önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- Abassi, M. and Asl, N.R., “Removal of hazardous reactive blue 19 dye from aqueous solution by agricultural waste”, **J. Iran. Chem. Res.**, 2: 221-230 (2009).
- Aksu, Z. and Tezer, S., “Biosorption of Reactive Dyes on the Green Alga *Chlorella Vulgaris*”, **Process Biochem.**, 40: 1347-1361 (2005).
- Aldrich, Sigma, www.sigmaaldrich.com (Erişim Tarihi: 11.11.2017).
- Alkan, M., Demirbaş, Ö., Çelikçapa, S. and Doğan, M., “Removal of reactive blue 221 and acid blue 62 anionic dyes from aqueous solutions by sepiolite”, **Dyes and Pigments**, 65: 251-259 (2005).
- Anastopoulos, I. and Kyzas, G., “Progress in Batch Biosorption of Heavy Metals onto Algae”, **Journal of Molecular Liquids**, 209: 77-86 (2015).
- Ankara Üniversitesi, “Mikroalglerden Biyolojik Gübre Geliştirilmesi”, **Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Sonuç Raporu**, 12B4347007 (2015).
- Aravindhan, R., Rao, J.R. and Nair, B.U., “Removal of Basic Yellow Dye From Aqueous Solution by Sorption on Green Alga *Caulerpa Scalpelliformis*”, **J.Hazard. Mater.**, 142: 68-76 (2007).
- Arslan, G., “Yüzey modifiyeli *Rhizopus arrhizus* ve şeker pancarı küspesinin katyonik boyarmadde biyosorpsiyonunda kullanılabilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı**, Ankara (2013).
- Bagchi, M. and Ray, L., “Adsorption behavior of Reactive Blue 4, a tri-azine dye on dry cells of *Rhizopus oryzae* in a batch system”, **Chemical Speciation and Bioavailability**, 112-120 (2015).
- Bağcı, G., “Atık Sulardan Reactive Red 239’un Biyosorpsiyonunun Kinetik Ve Termodinamiği”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara (2012).
- Benefield, L.D., Jukins, J.F. and Weand, B.L., “Proess Chemistry for Water and Wastewater Treatment”, **New Jersey: Prentice Hall** (1982).
- Bilal, M., Rasheed, T., Sosa-Hernandez, J.E., Raza, A., Nabeel, F. and Iqbal, M.N., “Biosorption: An Interplay Between Marine Alga and Potentially Toxic Elements-A Review”, **Mar. Drugs**, 16:65 (2018).
- Chen, W., Wu, Z. and Chang, J., “Isothermal and non-isothermal torrefaction characteristics and kinetics of microalga *Scenedesmus obliquus* CNW-N”, **Bioresource Technology**, 155:245-251 (2014).
- Chettri, M.K., Cook, C.M., Varaka, E., Sawidis, T. and Lanaras, T., “The effect of Cu, Zn and Pb on the chlorophyll content of the lichens *Cladonia Convoluta* and *Cladonia rangiformis*”, **Elsevier**, 1-10 (1998).

KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Chettri, M.K. and Sawidis, T., “Impact of Heavy Metals on Water Loss from Lichen Thalli”, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 37 (2): 103-11 (1997).
- Çabuk, A., Akar, T., Kutluk, Z. ve Şaşmaz, S., “*Saccharomyces cerevisiae* Hücreleri ile Ağır Metal Giderimi ve Metal Toleransı”, *Orlab On-Line Mikrobiyoloji Dergisi*, 5(3): 1-7 (2007).
- Çoban, Ç., “*Saccharomyces cerevisiae* Mayasıyla Reactive Blue 222 Biyosorpsiyonunun Kinetik ve Termodinamiği”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği**, Ankara (2011).
- Çubukçu, H.E., “Krom(VI), Bakır(II), Demir(II), İyonlarının Tek ve Çok Bileşenli Metal Sistemlerinde *R. arrhizus*'la Biyosorpsiyonunun Sürekli Karıştırmalı Kaplarda İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara (1998).
- Dağdelen, S., “Remazol Brilliant Blue R Boyasının Sulu Çözeltiden Uzaklaştırılması İçin Zeytin Posasının (Pirina) Adsorbent Olarak Kullanımının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü**, Kilis (2012).
- Daneshvar, N., Ayazloo, M., Khataee, A.R. and Pourhassan, M., “Biodegradation of the Textile Dye Malachite Green by Microalgae *Cosmarium sp.*”, **International Center For Science and High Technology and Environmental Sciences**, (2005).
- De Castro, K.C., Cossolin, A.S., Dos Reis, H.C.O. and De Morais, E.B., “Biosorption of anionic textile dyes from aqueous solution by yeast slurry from brewery”, **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 60: 1- 13 (2017).
- Deng, L., Su, Y., Su, H., Wang, X. and Zhu, X., “Sorption and desorption of lead(II) from wastewater by Green Algae *Cladophora fascicularis*”, **Journal of Hazardous Materials**, 143:220-225 (2007).
- Domozych, D.S, Ciancia, M., Fangel, J.U., Mikkelsen, M.D., Ulvskov, P., Willats, W.G.T., “The cell walls of green algae: a journey through evolution and diversity”, **Front. Plant Sci.**, 3: 1-7 (2012).
- Ekmekyapar, F., Arslan, A., Bayhan, Y.K. Ve Çakıcı, A., “Biosorption of copper (II) by non living lichen biomass of *Cladonia rangiformis* hoffm.”, **Journal of Hazardous and Materials**, 137: 293-298 (2006).
- Elmacı, A., Yonar, T., Özengin, N. Ve Türkoğlu, H., “Zn(II), Cd(II), Co(II) ve Remazol Turkish Blue-G Boyar Maddesinin Sulu Çözeltilerinde Kurutulmuş *Chara sp.*, *Cladophora sp.*, ve *Chlorella sp.* Türleri ile Biyosorpsiyonun Araştırılması”, **Uludağ Üniversitesi Çevre Dergisi**, 24-31 (2005).

KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Erdem, F., Tosun, A. and Ergun, M., “*Saccharomyces cerevisiae* ile Remazol Sarı (RR) boyasının kesikli sistemde biyosorpsiyonu”, **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 31(4): 971-978 (2016).
- Ergene, A., Ada, K., Tan, S. Ve Katırcıoğlu, H., “Removal of Remazol Brilliant Blue R dye from aqueous solutions by adsorption onto immobilized *Scenedesmus quadricauda*: Equilibrium and kinetic modeling studies”, **Desalination**, 1308-1314 (2009).
- Freundlich, H., "Colloid and Capillary Chemistry", **Methuen**, London, (1926).
- Fu, L., Wen, X., Xu, L. and Qian, Y., “Removal of copper-pHthalocyanine dye from wastewater biosorption by acclimated sludge under anaerobic or aerobic conditions”, **Process Biochemistry**, 1151-1156 (2002).
- Gorobets, S., Gorobets, O. and Ukrainetz, A., “Intensification of the process of sorption of copper ions by yeast of *Saccharomyces cerevisiae* 1968 by means of a permanent magnetic field”, **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, 272-276 (2004).
- Government, Q., Queensland Government. Wetlandinfo: <https://wetlandinfo.ehp.qld.gov.au/wetlands/ecology/components/species/?Phormidium-animale>, (Erişim Tarihi: 10.18.2017)
- Gül, Ü.D. and Silah, H., “Comparison of color removal from reactive dye contaminated water by systems containing fungal biosorbent, active carbon and their mixture”, **Water Science & Technology**, 70 (7): 1168–1174 (2014).
- Gül, Ü.D., “Atıksuların Biyolojik Arıtımında Sürfaktanların Etkisinin Belirlenmesi” Doktora Tezi, **Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı**, Ankara (2010).
- Gül, Ü.D., “Treatment of dyeing wastewater including reactive dyes (Reactive Red RB, Reactive Black B, Remazol Blue) and Methylene Blue by fungal biomass”, **Water SA Vol.39** (2013)
- Güngörmedi, G., Şaşmaz, S., Aytar, P., Gedikli, S., Ünal, A., Çabuk, A. ve Kolankaya, N., “*Tramete versicolor* biyokütlesi ile reaktif red 198 boyarmaddesinin biyosorpsiyonu”, **Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 247-264 (2009).
- Günhan, G., “Bazı boyarmaddelerin sepiyolit üzerindeki adsorpsiyonunun incelenmesi”, **Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmir (2001).
- Hale, M.E.,” The Biology of Lichens”, **Edward Arnold**, London (1967).
- Hamutoğlu, R., Dinçsoy, A.B., Cansaran-Duman, D. Ve Aras, S., “Biyosorpsiyon, adsorpsiyon ve fitoremediyasyon yöntemleri ve uygulamaları”, **Türk Hijyen ve Deneyisel Biyoloji Dergisi**, 69 (4): 235-253 (2012).

KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Horsfall, M.J. and Spiff, A., "Effects of temperature on the sorption of Pb and Cd from aqueous solution by *Caladium bicolor* biomass", **Electronic Journal of Biotechnology**, 8: 143-150 (2005).
- İleri, R., Sümer, B. Ve Şengörür, B., "Biyosorpsiyon Kinetiği ve İzotermlerinin Araştırılması", **Çevre Dergisi Sakarya Üniversitesi**, 7: 39-45 (1993).
- İmecik, Z., Dığrak, M. ve Halipçi, H.N., "Metilen Mavisi'nin Sulu ortamdan *Platanus Orientalis* L. Biyoması Kullanılarak Giderimi", **Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi**, 4(2): 64-69 (2014).
- iNaturalist, <https://www.inaturalist.org/taxa/123175-Evernia-prunastri>, (Erişim Tarihi: 09.10.2017).
- Khan, T., Dahiya, S. and Ali, İ., "Removal of Direct Red 81 Dye from Aqueous Solution by Native and Citric Acid Modified Bamboo Sawdust - Kinetic Study and Equilibrium Isotherm Analyses", **Gazi University Journal of Science**, 59-87 (2012).
- Kılıç, M., Çepelioğullar, Ö., Özsin, G., Uzun, B.B. ve Pütün, A.E., "Nohut samanı tarla atığının sulu çözeltilerden metilen mavisi gideriminde düşük maliyetli biyosorbent olarak değerlendirilmesi", **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 29 (4): 717-726 (2014).
- Kulkarni, A.N., Kadam, A.A., Kachole, M.S. and Govindwar, S.P., "Lichen *Permelia perlata*: A novel system for biodegradation and detoxification of disperse dye Solvent Red 24", **Elsevier**, 461-468 (2014).
- Kuyucak, N. And Volesky, B., "Accumulation of cobalt by marine algae", **Biotechnology and Bioengineering**, 7 (33): 809-814 (1989).
- Langmuir, L., "The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum", **Journal of American Chemical Society**, 40:1361-1403 (1918).
- Liu, H., Chen, B., Lan, Y. and Cheng, Y., "Biosorption of Zn(II) and Cu(II) by the indigenous *Thiobacillus thiooxidans*", **Chemical Engineering Journal**, 97: 195-201 (2004).
- Macaskie, L.E. and Dean, A., "Microbial metabolism desolubilization and deposition of heavy metals: Metal uptake by immobilized cells and applications to the detoxification of liquid wastes", **Biological Waste Treatment**, 159-201 (1989).
- Marungrueng, K. and Pavasant, P., "Removal of Basic Dye (Astrazon Blue FGRL) Using Macroalga *Caulerpa Lentillifera*", **J. Environ. Manag.**, 78: 268-274 (2006).
- Matheickal, J.T. and Yu, Q., "Biosorption of lead (II) from aqueous solutions by *PHellinus badius*", **Minerals Engineering**, 10: 947-957 (1997).

KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Mona, S., Kaushik, A. and Kaushik, C.P., “Biosorption of Reactive Dye by Waste Biomass of *Nostoc Linkia*”, ***Ecological Engineering***, 37: 1589-1594 (2011).
- Nakiboğlu, T. ve Sevindir, H.C., “Deri Endüstrisi Atıksularının Kromun Çeşitli Alglerle Biyosorpsiyonu”, ***Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi***, 2(10): 284-291 (2006).
- Nash, T.H., “Lichen Biology”, ***Cambridge University Press***, USA (2008).
- Neetu Sharma, D.P., Tiwari, S.K., “Singh.Decolourisation of Synthetic Dyes by Agricultural Waste- A Review”, ***International Journal of Scientific & Engineering Research***, Volume 3, Issue 2, February (2012).
- Omar, H., El-Gendy, A. and Al-Ahmary, K., “Bioremoval of Toxic Dye by Using Different Marine Macroalgae”, ***Turkish Journal of Botany***, 42: 15-27 (2018).
- Özbay, N. and Yargıç, A.S., “Factorial experimental design for Remazol Yellow dye sorption using apple pulp/apple pulp carbon–titanium dioxide co-sorbent”, ***Journal of Cleaner Production***, 100: 333-343 (2015).
- Özbay, N., Yargıç, A.S. ve Şahin, R.Z., “Tailoring Cu/Al₂O₃ catalysts for the catalytic pyrolysis of tomato waste”, ***Journal of Energy Institute***, 1-10 (2017).
- Özdemir, U. ve Al, G., “Çevre Korunmasında Atığın Atıkla Giderilmesi Prensipleri”, ***Tarih Kültür ve Sanat Araştırmaları Dergisi***, 1(4):373-379 (2012).
- Özer, A., Akkaya, G. and Turabik, M., “Biosorption of Acid Red 274 on *Enteromorpha Prolifera* in a Batch System”, ***J. Hazard. Mater.***, 126: 119-127 (2005).
- Özvardarlı, A., “Çevre Biyoteknolojisi Uygulamalarında Biyosorpsiyonun Yeri”, Yüksek Lisans Tezi, ***Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Edirne (2006).
- Protist Information Server, <http://protist.i.hosei.ac.jp>. *Chlorophyceae: Chlorococcales: Scenedesmeceae*, (Erişim Tarihi: 18.10.2017).
- Rippka, R., “Isolation and Purification of Cyanobacteria”, ***Methods of Enzymology, Elsevier***, 3-27 (1998).
- Rippka, R., “Recognition and identification of cyanobacteria”, ***Methods of Enzymology, Elsevier***, 167: 28–67 (1988).
- Saha, P., Chowdhury, S., Mondal, M. and Sinha, K., “Biosorption of Direct Red 28 (Congo Red) from Aqueous Solutions by Eggshells:Batch and Column Studies”, ***Separation Science and Technology***, 112-123 (2011).
- San, N.O., “Ağır Metal ve Boyar Madde İçeren Atıksuların *Rhodotorula sp.* ile Arıtımı”, Yüksek Lisans Tezi, ***Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Temel Biyoteknoloji Anabilim Dalı***, Ankara (2007).

KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Sarı, A., Tüzen, M., Uluözlü, Ö.D. and Soylak, M., “Biosorption of Pb(II) and Ni(II) from aqueous solution by lichen (*Cladonia Furcata*) biomass”, **Journal of Biochemical Engineering**, 37: 151-158 (2007).
- Sezer, O., “Türkiye Liken Biyotasına Katkıları”, **Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi**, 70-81 (2016).
- Shapiro, A. and Dworkin, M., “Bacteria as Multicellular Microorganisms”, **Oxford University**, 11-125, New York (1997).
- Smith, J., “Chemical Engineering Kinetics”, **US: McGraw Hill Int.**, (1981).
- Srivastava, R. and Rupainwar, D.C., “A comparative evaluation for adsorption of dye on neem bark and mango bark powder”, **Indian Journal of Chemical Technology**, 18: 67-75 (2011).
- Stanley, C.L. and Ogden, L.K., “Biosorption of Copper(II) From Chemical Mechanical Planarization Wastewater”, **Journal of Environmental Management**, 69: 289-297 (2003).
- Subramanyam, B. And Das, A., “Linearised and non-linearised isotherm models optimization analysis by error functions and statistical means”, **Journal of Environmental Health Science and Engineering**, 12:92 (2014).
- Şentürk, İ.G., ve Büyükgüngör, H., “*Aspergillus niger* ile sucul ortamdan fenol bileşiklerinin biyosorpsiyonu”, **İTÜ Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi**, 19(1-2): 3-14 (2009).
- Taştan, B.E. and Tekinay, T., “A novel coal additive from microalgae produced from thermal power plant flue gas”, **Journal of Cleaner Production**, 1086-1094 (2016).
- Taştan, B.E., Duygu, E. ve Dönmez, G., “Boron bioremoval by a newly isolated *Chlorella* sp. and its stimulation by growth stimulators”, **Water Res**, 46: 167–175 (2012).
- Treybal, R.E., "Mass-Transfer Operations", **McGraw-Hill Inc.**, Singapore, (1981).
- Tufan-Çetin, Ö. ve Sümbül, H., “Hava Kirliliğinin Belirlenmesinde Likenlerin Kullanımı”, **Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 1(2): 73-85 (2010).
- Uluözlü, Ö.D., Sarı, A., Tüzen, M. And Soylak, M., “Biosorption of Pb(II) and Cr(III) from aqueous solution by lichen (*Parmelia tiliceae*) biomass”, **Bioresource Technology**, 99: 2972-2980 (2008).
- Ural, Ö., Thermomed manufacturing engineering design. Thermomed manufacturing engineering design: <http://www.thermomed.com.tr/blog/alg-ve-alg-siniflari-hakkinda>. (Erişim Tarihi: 10.18.2017)

KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Veglio, F. and Beolcini, F., “Removal of metals by biosorption”, *Hydrometallurgy*, 301-316 (1997).
- Vieira, R. and Volesky, B., “Biosorption: a solution to pollution?”, *International Microbiology*, 3: 17-24 (2000).
- Volesky, B., “Sorption and Biosorption”, *Canada: Bv Sorbex Inc.*, (2003).
- Weber, W.J., "Adsorption, in PHysico-chemical Processes for Water Quality Control", *W. J. Weber, W.J. (ed)*, Wiley, New York, 199-259 (1972).
- Weber, W.J., “PHysicochemical Processes for Water Quality Control”, *Wiley Interscience*, (1972).
- Yetis, U., Ozcengiz, G., Dilek, F.B., Ergen, N., Erbay, A. and Dolek, A., “Heavy Metal Biosorption by *Polyporous versicolor* and *Phanerochaete chrysosporium*”, *Water Quality International’98*, Vancouver (1998).
- Yetiş, Ü.D., “Ağır Metallerin *P. chrysosporium* ve *C. versicolor* ile Biyosorpsiyonu- Atık Çamurun Biyosorbent Olarak Kullanılması”, *Tübitak YDABÇAG-203* (1998).
- Yu, L.J., Shukla, S.S., Dorris, K.L., Shukla, A. and Margrave, J.L., “Adsorption of chromium from aqueous solutions by maple sawdust”, *Journal of Hazardous and Materials*, 100: 53-63 (2003).
- Yurdakulol, E., Baysal, M. Ve Mutlu, H., “Algler”, Bitki Materyali Toplama ve Saklama Teknikleri, *Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü*, Ankara, 12-21 (2005).
- Yurdakulol, E., ve Cansaran, D., “Likeler”, Tohumuz Bitkiler-I Laboratuvar Klavuzu, *Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü*, Ankara, 52-54 (2004).
- Zhang, J., Liu, J. and Liu, R., “Effects of pyrolysis temperature and heating time on biochar obtained from the pyrolysis of straw and lignosulfonate”, *Bioresour Technol*, 176: 288–291 (2015).
- Zhao, S.X., Ta, N. and Wang, X.D., “Effect of Temperature on the Structural and PHysicochemical Properties of Biochar with Apple Tree Branches as Feedstock”, *Material. Energies*, 10, 1293; 1- 15doi:10.3390/en10091293 (2017).

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Gizem BAYAZIT
Doğum Yeri ve Tarihi : Eskişehir – 06.02.1988

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Anadolu Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

İş Deneyimi

Stajlar : Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü - Esçev Mühendislik
Çalıştığı Kurumlar : Musa Bolat Plastik Geri Dönüşümü - Ekolojik Enerji A.Ş

İletişim

Adres : Ömerağa Mah. Yardım Sok. Gülşen Apt. No:8/2
Tepebaşı ESKİŞEHİR
E-Posta Adresi : gizemkirimli88@gmail.com

Akademik Çalışmalar

- Farklı Kirleticilerin Biyosorpsiyonla Giderimi. Ü.D. GÜL, G. BAYAZIT, Ulusal Moleküler Biyoloji ve Biyoteknoloji Kongresi, 2016, Konya Poster Bildirisi
- Tekstil Atıksularındaki Boyaların Biyosorpsiyonla Giderimi. G. BAYAZIT, Ü. D. GÜL. ICOCEE. Uluslararası Kongre. 2017. Nevşehir. Sözlü Sunum. Özet Metin
- Removal of Red P-2BX by Low-Cost Adsorbant. Ü. D. GÜL, G. BAYAZIT. ICOCEE. Uluslararası Kongre. 2017. Nevşehir. Özet Metin
- Removal Of Acid Red P-2 BX By Low-Cost Biosorbent: *Cladonia Convoluta*. Ü.D. GÜL, G. BAYAZIT, D. ÜNAL, ICOCEE. Uluslararası Kongre. 2018. İzmir. Özet Metin

Makaleler

- Biosorption of Acid Red P-2 BX by Lichens as Low-Cost Biosorbents (Değerlendirme altında)
- Determination the textile dye biosorption properties of *Phormidium animale* (Değerlendirme altında)
- Comparison the textile dye biosorption properties of a prokaryotic and a eukaryotic microalga (Değerlendirme altında)
- Textile dye biosorption properties of lichen *Pseudevernia furfuracea* (Değerlendirme altında)

Yabancı Dil Bilgisi : Yökdil / 68.75