

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI**

**BOYAR MADDE İÇEREN SUCUL ORTAMLARIN BİYOLOJİK
İYİLEŞTİRİLMESİNDE *MORCHELLA ESCULENTA*
HÜCRELERİNİN KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BUĞRA DAYI

DENİZLİ, TEMMUZ - 2018

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI



BOYAR MADDE İÇEREN SUCUL ORTAMLARIN BİYOLOJİK
İYİLEŞTİRİLMESİNDE *MORCHELLA ESCULENTA*
HÜCRELERİNİN KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI.

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BUĞRA DAYI

DENİZLİ, TEMMUZ - 2018

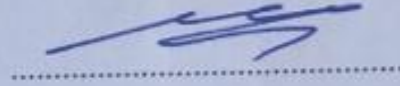
KABUL VE ONAY SAYFASI

BUĞRA DAYI tarafından hazırlanan "Boyarmadde içeren sucül ortamların biyolojik iyileştirilmesinde *Morchella esculenta* hücrelerinin kullanımının araştırılması" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 27.07.2018 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.


Jüri Üyeleri

İmza

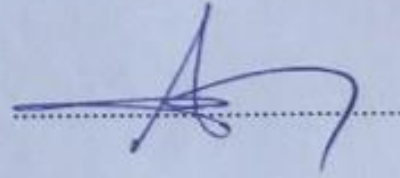
Danışman
Doç. Dr. Hatice ARDAĞ AKDOĞAN



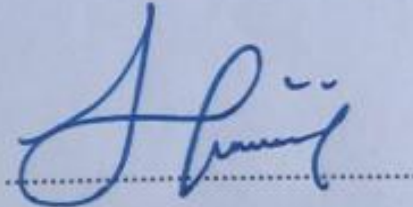
Üye
Doç. Dr. Alper AKKAYA
Ege Üniversitesi



Üye
Dr. Öğr. Ü. Ahmet KAYA
Pamukkale Üniversitesi



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 26/09/2018 tarih ve ..41/17... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Uğur Yücel

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Bu tez alışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje
Koordinatrlğ 2017 FEBE 025 nolu proje ile desteklenmiştir.**

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

BUĞRA DAYI



ÖZET

BOYAR MADDE İÇEREN SUCUL ORTAMLARIN BİYOLOJİK İYİLEŞTİRİLMESİNDE *MORCHELLA ESCULENTA* HÜCRELERİNİN KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI.

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BUĞRA DAYI

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI:DOÇ. DR.HATİCE ARDAĞ AKDOĞAN)

DENİZLİ, TEMMUZ - 2018

Bu çalışmada; 3 farklı tekstil boyarmaddesinin biyolojik giderimi araştırılmıştır. Biyolojik giderim için beyaz çürükçül fungus; *Morchella esculenta* kullanılmış olup, önce organizmanın serbest formu ile ayrı ayrı ve karışım halindeki boyarmaddelerin biyolojik giderimleri incelenip daha sonra, bu organizmanın farklı taşıyıcılar üzerine immobilizasyonu sağlanıp, biyolojik iyileştirme oranları belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada aynı organizma ile membran biyoreaktör sistemi oluşturularak endüstriyel tekstil atık sularının biyoyiyileştirilmesine yönelik yeni bir sistem önerilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda 10 mg/L konsantrasyonunda boyarmadde içeren ortamda *M.esculenta* tarafından; Remazol Navy RGB %99,53, Cibacron Brilliant Red 3B-A %97,13 ve Reactive Yellow 160 %93,11 oranında giderilmiştir. Serbest hücrelerle yapılan çalışmalarda en iyi giderime uğrayan boyarmadde Remazol Navy RGB boyarmaddesi olmuştur. İmmobilize hücrelerle yapılan çalışmalarda 10 mg/L konsantrasyonunda Cibacron Brilliant Red 3B-A (% 99,19), Remazol Navy RGB (% 99,01) ve Reactive Yellow 160 (% 95,68) boyarmaddelerinin en iyi giderimi, polistirene immobilize *M.esculenta* tarafından gerçekleşmiştir.

Membran içerisine *M.esculenta* immobilize edilerek elde edilen EgBM ile yapılan çalışmalarda 2 mg/L konsantrasyonunda Cibacron Brilliant Red 3B-A % 99,26, Remazol Navy RGB %94,85 ve Reactive Yellow 160 % 95,91 oranında giderilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: EgBM, *Morchella esculenta*, Polistiren, İmmobilizasyon

ABSTRACT

MORCHELLA ESCULENTA CONTAINING CELLS TO INVESTIGATE THE USE OF DYES IN BIOLOGICAL IMPROVING OF THE AQUATIC ENVIRONMENT

MSC THESIS

BUGRA DAYI

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
CHEMISTRY

(SUPERVISOR:ASSOC. PROF. DR. HATICE ARDAG AKDOGAN)

DENİZLİ, JULY 2018

In this study; Biodegradation of 3 different textile dyes was investigated. White rot fungus for biological removal; *Morchella esculenta* was used. First, the biodegradation of the stain materials was investigated separately with the free form of the organism and then the immobilization of this organism on different carriers was carried out and the biological healing rates were determined. In addition, a new system for biodegrading industrial textile wastewater has been proposed in this study by establishing a membrane bioreactor system with the same organism. As a result of the studies, 10 mg / L concentration was determined by *M. esculenta* in dyestuff containing medium; Remazol Navy RGB 99.53%, Cibacron Brilliant Red 3B-A 97.13%, and Reactive Yellow 160 % 93.11. The best decolorization is in Remazol Navy RGB dye. In studies with immobilized cells, 10 mg / L concentration of Cibacron Brilliant Red 3B-A (99,19%), Remazol Navy RGB (99,01%) and Reactive Yellow 160 (95,68%) were the best remedies for polystyrene immobilized *M. esculenta*. In the study with EgBM obtained by immobilizing *M. esculenta* into the membrane, Cibacron Brilliant Red 3B-A 99,26%, Remazol Navy RGB 94,85% and Reactive Yellow 160 95,91% were removed at a concentration of 2 mg / L.

KEYWORDS: EgBM, *Morchella esculenta*, Polystyrene, Immobilization

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	xi
SEMBOL LİSTESİ	xiii
ÖNSÖZ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. TEORİK BİLGİ	3
2.1 Beyaz Çürükçül Funguslar	3
2.1.1 <i>Morchella Esculenta</i>	4
2.2 Fungal Enzimler	5
2.2.1 Ligninolitik Enzimler.....	5
2.2.1.1 Fungal Lakkaz (EC 1.10.3.2)	6
2.2.1.2 Fungal Mangan Peroksidaz (MnP, EC 1.11.1.13))	7
2.2.1.3 Fungal Lignin Peroksidaz (LiP, EC 1.11.1.14).....	8
2.3 İmmobilizasyon	10
2.3.1 Katı taşıyıcı yüzeylerde immobilizasyon.....	12
2.3.2 Gözenekli Matris İçerisine İmmobilizasyon.....	13
2.3.3 Hücre Flokülasyonu (Kümeleşme)	13
2.3.4 Bariyer Arkasında Mekanik Muhafaza.....	14
2.4 İmmobilizasyon Materyalleri	14
2.4.1 Doğal polimerler	15
2.4.1.1 Aljinat.....	15
2.4.1.2 Kitosan ve kitin	15
2.4.1.3 Kolajen	15
2.4.1.4 Jelatin	16
2.4.1.5 Selüloz.....	16
2.4.2 Sentetik Polimerler	16
2.4.3 İnorganik Malzemeler	17
2.4.3.1 Zeolitler	17
2.4.3.2 Seramik	17
2.4.3.3 Silika	18
2.4.3.4 Cam	18
2.4.3.5 Aktif Karbon	18
2.4.3.6 Membranlar	18
2.5 Biyolojik Membranlar	19
2.5.1 Polimer İçerikli Membranlar (PIM).....	19
2.6 Membran Prosesleri.....	22
2.7 Tekstil Atık Suları	25
2.8 Boyarmadde Giderimi İçin Mevcut Yöntemler.....	26
3. YÖNTEM	28
3.1 Materyaller	28
3.1.1 Cihazlar	28
3.1.2 Kullanılan Kimyasallar ve Bazı Çözeltilerin Hazırlanışı	29

3.1.3	Kullanılan Boyarmaddeler	29
3.1.4	Enzim Üretim Ortamının Hazırlanması	30
3.2	Hücre Süspansiyonunun Hazırlanması.....	31
3.3	Serbest Hücreler ile Boyarmaddelerin Yıkımı	31
3.4	Hücre İmmobilizasyonu ve Boyarmaddelerin Yıkımı	31
3.5	Polimer İçerikli Biyomembran İmmobilizasyonu (Ekogreen Biyomembran Hazırlama):	32
3.6	Enzim aktivite tayinleri	33
3.6.1	Lakkaz Enzim Aktivitesi	33
3.6.2	Mangan peroksidaz enzim aktivitesi.....	33
3.7	FT-IR Analizleri ve Spektrum Taraması.....	34
3.8	SEM Analizi	34
4.	BULGULAR	35
4.1	Boyarmaddelerin Dalga Boylarının Belirlenmesi:	35
4.2	Boyarmadde Giderimi	36
4.2.1	Serbest Hücrelerle Boyarmadde Giderimi.....	36
4.2.1.1	Serbest Hücrelerle Cibacron Brilliant Red 3B-A Boyarmaddesinin Giderimi	37
4.2.1.2	Serbest Hücrelerle Remazol Navy RGB Boyarmaddesinin Giderimi	38
4.2.1.3	Serbest Hücrelerle Reactive Yellow 160 Boyarmaddesinin Giderimi.	40
4.2.1.4	Serbest Hücrelerle Karışım Halindeki Boyarmaddelerin Giderimi	42
4.2.2	İmmobilize Hücrelerle Boyarmadde Giderimi	44
4.2.2.1	İmmobilize Hücrelerle Cibacron Brilliant Red 3B-A Boyarmaddesinin Giderimi	46
4.2.2.1.1	Selüloz Destek Materyaline İmmobilize <i>M.esculenta</i> İle Giderim	46
4.2.2.1.2	Kaolin Destek Materyaline İmmobilize <i>M.esculenta</i> İle Giderim	48
4.2.2.1.3	Jelatin Destek Materyaline İmmobilize <i>M.esculenta</i> İle Giderim	50
4.2.2.1.4	Polistiren Destek Materyaline İmmobilize <i>M.esculenta</i> İle Giderim	52
4.2.2.2	İmmobilize Hücrelerle Remazol Navy RGB Boyarmaddesinin Giderimi	54
4.2.2.2.1	Selüloz Destek Materyaline İmmobilize <i>M.esculenta</i> İle Giderim	54
4.2.2.2.2	Kaolin Destek Materyaline İmmobilize <i>M.esculenta</i> İle Giderim	56
4.2.2.2.3	Jelatin Destek Materyaline İmmobilize <i>M.esculenta</i> İle Giderim	58
4.2.2.2.4	Polistiren Destek Materyaline İmmobilize <i>M.esculenta</i> İle Giderim	60
4.2.2.3	İmmobilize Hücrelerle Reactive Yellow 160 Boyarmaddesinin Giderimi	62
4.2.2.3.1	Selüloz Destek Materyaline İmmobilize <i>M.esculenta</i> İle Giderim	62

4.2.2.3.2	Kaolin Destek Materyaline İmmobilize <i>M.esculenta</i> İle Giderim	64
4.2.2.3.3	Jelatin Destek Materyaline İmmobilize <i>M.esculenta</i> İle Giderim	66
4.2.2.3.4	Polistiren Destek Materyaline İmmobilize <i>M.esculenta</i> İle Giderim	68
4.2.2.4	İmmobilize Hücrelerle Karışım Halindeki Boyarmaddelerin Giderimi	70
4.2.2.4.1	Selüloz Destek Materyaline İmmobilize <i>M.esculenta</i> İle Giderim	70
4.2.2.4.2	Kaolin Destek Materyaline İmmobilize <i>M.esculenta</i> İle Giderim	72
4.2.2.4.3	Jelatin Destek Materyaline İmmobilize <i>M.esculenta</i> İle Giderim	74
4.2.2.4.4	Polistiren Destek Materyaline İmmobilize <i>M.esculenta</i> İle Giderim	76
4.3	Aktivite Değişimleri	79
4.3.1	Serbest Hücrelerle Gerçekleştirilen Boyarmadde Giderimi Sırasındaki Aktivite Değişimleri	79
4.3.2	İmmobilize Hücrelerle Gerçekleştirilen Boyarmadde Giderimi Sırasındaki Aktivite Değişimleri	81
4.4	FT-IR Analizleri	89
4.5	Ecogreen Biyomembran (EgBM) Reaktör Sisteminde Boyarmadde Giderimi.....	94
4.5.1	EgBM ile Cibacron Brilliant Red 3B-A Boyarmaddesinin Giderimi.....	94
4.5.2	EgBM ile Remazol Navy RGB boyarmaddesinin Giderimi.....	97
4.5.3	EgBM ile Reactive Yellow 160 boyarmaddesinin Giderimi.....	98
5.	SONUÇ ve TARTIŞMA.....	100
6.	KAYNAKLAR.....	105
7.	ÖZGEÇMİŞ.....	120

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 <i>Morchella esculenta</i>	5
Şekil 2.2 Lakkaz enzimi.....	6
Şekil 2.3 Mangan peroksidaz enzimi.....	8
Şekil 2.4 Lignin peroksidaz enzimi.....	9
Şekil 2.5 Temel hücre immobilizasyon yöntemleri.....	12
Şekil 2.6 Selüloz triasetat ve polivinil klorür yapıları.....	21
Şekil 2.7 PIM’lerde sık kullanılan plastikleştiriciler.....	22
Şekil 3.1 Boyarmaddelerin kimyasal yapıları.....	30
Şekil 3.2 EgBM deneylerinde kullanılan düzenek.....	32
Şekil 4.1 Boyarmaddelerin spektrum taramaları a: Cibacron Brilliant Red 3B-A, b: Remazol Navy RGB, c: Reactive Yellow 160, d: Karışım halinde.....	35
Şekil 4.2 Serbest forumdaki <i>M.esculenta</i> ile Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesinin giderimi.....	37
Şekil 4.3 Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesine ait giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği.....	38
Şekil 4.4 Serbest formdaki <i>M.esculenta</i> ile Remazol Navy RGB boyarmaddesinin giderimi.....	38
Şekil 4.5 Remazol Navy RGB boyarmaddesine ait giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği.....	39
Şekil 4.6 Serbest forumdaki <i>M.esculenta</i> ile Reactive Yellow 160 boyarmaddesinin giderimi.....	40
Şekil 4.7 Reactive Yellow 160 boyarmaddesine ait giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği.....	41
Şekil 4.8 Serbest forumdaki <i>M.esculenta</i> ile boyarmadde karışımının giderimi; a: 519 nm dalga boyunda, b: 625 nm dalga boyunda c: 421 nm dalga boyunda.....	42
Şekil 4.9 Boyarmadde karışımına ait giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği.....	43
Şekil 4.10 İmmobilizasyon öncesi ve sonrası SEM görüntüleri; a: Selüloz destek materyaline ait SEM görüntüleri b: Selüloz destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ’ya ait SEM görüntüleri.....	45
Şekil 4.11 İmmobilizasyon öncesi ve sonrası SEM görüntüleri; a: Jelatin destek materyaline ait SEM görüntüleri b: Jelatin destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ’ya ait SEM görüntüleri.....	45
Şekil 4.12 İmmobilizasyon öncesi ve sonrası SEM görüntüleri; a: Polistiren destek materyaline ait SEM görüntüleri b: Polistiren destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ’ya ait SEM görüntüleri.....	45
Şekil 4.13 Selüloz destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ile Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesinin giderimi.....	46
Şekil 4.14 Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesine ait selüloza immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği.....	47
Şekil 4.15 Kaolin destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ile Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesinin giderimi.....	48

Şekil 4.16 Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesine ait kaoline immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği	49
Şekil 4.17 Jelatin destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ile Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesinin giderimi	50
Şekil 4.18 Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesine ait jelatine immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği	51
Şekil 4.19 Polistiren destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ile Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesinin giderimi	52
Şekil 4.20 Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesine ait polistirene immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği	53
Şekil 4.21 Selüloz destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ile Remazol Navy RGB boyarmaddesinin giderimi	54
Şekil 4.22 Remazol Navy RGB boyarmaddesine ait selüloza immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği .	55
Şekil 4.23 Kaolin destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ile Remazol Navy RGB boyarmaddesinin giderimi	56
Şekil 4.24 Remazol Navy RGB boyarmaddesine ait kaoline immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği .	57
Şekil 4.25 Jelatin destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ile Remazol Navy RGB boyarmaddesinin giderimi	58
Şekil 4.26 Remazol Navy RGB boyarmaddesine ait jelatine immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği .	59
Şekil 4.27 Polistiren destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ile Remazol Navy RGB boyarmaddesinin giderimi	60
Şekil 4.28 Remazol Navy RGB boyarmaddesine ait polistirene immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği .	61
Şekil 4.29 Selüloz destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ile Reactive Yellow 160 boyarmaddesinin giderimi	62
Şekil 4.30 Reactive Yellow 160 boyarmaddesine ait selüloza immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği .	63
Şekil 4.31 Kaolin destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ile Reactive Yellow 160 boyarmaddesinin giderimi	64
Şekil 4.32 Reactive Yellow 160 boyarmaddesine ait kaoline immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği .	65
Şekil 4.33 Jelatin destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ile Reactive Yellow 160 boyarmaddesinin giderimi	66
Şekil 4.34 Reactive Yellow 160 boyarmaddesine ait jelatine immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği .	67
Şekil 4.35 Polistiren destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ile Reactive Yellow 160 boyarmaddesinin giderimi	68
Şekil 4.36 Reactive Yellow 160 boyarmaddesine ait polistirene immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği .	69
Şekil 4.37 Selüloza immobilize <i>M.esculenta</i> ile boyarmadde karışımının giderimi; a: 519 nm dalga boyunda, b: 625 nm dalga boyunda c: 421 nm dalga boyunda	70
Şekil 4.38 Boyarmadde karışımına ait selüloza immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği	71

Şekil 4.39 Kaoline immobilize <i>M.esculenta</i> ile boyarmadde karışımının giderimi; a: 519 nm dalga boyunda, b: 625 nm dalga boyunda c: 421 nm dalga boyunda	72
Şekil 4.40 Boyarmadde karışımına ait kaoline immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği.....	73
Şekil 4.41 Jelatine immobilize <i>M.esculenta</i> ile boyarmadde karışımının giderimi; a: 519 nm dalga boyunda, b: 625 nm dalga boyunda c: 421 nm dalga boyunda	74
Şekil 4.42 Boyarmadde karışımına ait jelatine immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği.....	75
Şekil 4.43 Polistirene immobilize <i>M.esculenta</i> ile boyarmadde karışımının giderimi; a: 519 nm dalga boyunda, b: 625 nm dalga boyunda c: 421 nm dalga boyunda	76
Şekil 4.44 Boyarmadde karışımına ait polistirene immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği.....	77
Şekil 4.45 Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesinin serbest formdaki <i>M.esculenta</i> ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi	79
Şekil 4.46 Remazol Navy RGB boyarmaddesinin serbest formdaki <i>M.esculenta</i> ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi	79
Şekil 4.47 Reactive Yellow 160 boyarmaddesinin serbest formdaki <i>M.esculenta</i> ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi	80
Şekil 4.48 Boyarmadde karışımının serbest formdaki <i>M.esculenta</i> ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi.....	80
Şekil 4.49 Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesine ait selüloza immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi	81
Şekil 4.50 Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesine ait kaoline immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi	81
Şekil 4.51 Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesine ait jelatine immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi	82
Şekil 4.52 Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesine ait polistirene immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi	82
Şekil 4.53 Remazol Navy RGB boyarmaddesine ait selüloza immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi	83
Şekil 4.54 Remazol Navy RGB boyarmaddesine ait kaoline immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi	83

Şekil 4.55 Remazol Navy RGB boyarmaddesine ait jelatine immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi	84
Şekil 4.56 Remazol Navy RGB boyarmaddesine ait polistirene immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi	84
Şekil 4.57 Reactive Yellow 160 boyarmaddesine ait selüloza immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi	85
Şekil 4.58 Reactive Yellow 160 boyarmaddesine ait kaoline immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi	85
Şekil 4.59 Reactive Yellow 160 boyarmaddesine ait jelatine immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi	86
Şekil 4.60 Reactive Yellow 160 boyarmaddesine ait polistirene immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi	86
Şekil 4.61 Boyarmadde karışımına ait selüloza immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi	87
Şekil 4.62 Boyarmadde karışımına ait kaolin immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi	87
Şekil 4.63 Boyarmadde karışımına ait jelatine immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi	88
Şekil 4.64 Boyarmadde karışımına ait polistiren immobilize <i>M.esculenta</i> ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi	88
Şekil 4.65 Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesi'ne ait FT-IR spektrumları; A: Saf boyarmmadeye ait spektrum B: Serbest hücrelerle boyarmadde giderimi sonrası C: Polistirene immobilize hücrelerle boyarmadde giderimi sonrası	90
Şekil 4.66 Remazol Navy RGB boyarmaddesi FT-IR spektrumları; A: Saf boyarmmadeye ait spektrum B: Serbest hücrelerle boyarmadde giderimi sonrası C: Polistirene immobilize hücrelerle boyarmadde giderimi sonrası	91
Şekil 4.67 Reactive Yellow 160 boyarmaddesi FT-IR spektrumları; A: Saf boyarmmadeye ait spektrum B: Serbest hücrelerle boyarmadde giderimi sonrası C: Polistirene immobilize hücrelerle boyarmadde giderimi sonrası	92
Şekil 4.68 Boyarmadde karışımına ait FT-IR spektrumları; A: Boyarmadde karışımına ait spektrum, B: Serbest hücrelerle boyarmadde giderimi sonrası, C: Polistirene immobilize hücrelerle boyarmadde giderimi sonrası	93
Şekil 4.69 İmmobilizasyon öncesi ve sonrası SEM görüntüleri; a: Hücre immobilize edilmemiş membran b: Hücre immobilize edilmiş membran (EgBM)	94

Şekil 4.70 Membrandaki pellet miktarına bağlı donör fazın giderim ve lakkaz aktivitesi değerleri.....	95
Şekil 4.71 EgBM ile Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesi giderimi sırasında lakkaz aktivitesi değişimi.....	97
Şekil 4.72 EgBM ile Remazol Navy RGB boyarmaddesi giderimi sırasında lakkaz aktivitesi değişimi.....	98
Şekil 4.73 EgBM ile Reactive Yellow 160 boyarmaddesi giderimi sırasında lakkaz aktivitesi değişimi.....	99

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 Boyarmadde giderme yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları ..	27
Tablo 3.1 Deneyle sırasında kullanılan cihazlar ve kullanım amaçları	28
Tablo 3.2 Deneyle sırasında kullanılan bazı çözeltiler ve hazırlanışı.....	29
Tablo 3.3 Boyarmaddelere ait özellikler	29
Tablo 3.4 Enzim üretim ortamı	30
Tablo 3.5 Lakkaz aktivitesi tayini için kullanılan kimyasallar	33
Tablo 3.6 MnP aktivitesi tayini için kullanılan kimyasallar	33
Tablo 4.1 Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesine ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri.....	37
Tablo 4.2 Remazol Navy RGB boyarmaddesine ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri.....	39
Tablo 4.3 Reactive Yellow 160 boyarmaddesine ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri.....	40
Tablo 4.4 Boyarmadde karışımına ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri	43
Tablo 4.5 Boyarmaddelerin 10 mg/L konsantrasyonunda ait % giderim değerleri.....	44
Tablo 4.6 Destek materyallerinin % Adsorpsiyon değerleri.....	46
Tablo 4.7 Selüloz destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ile Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesine ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri.....	47
Tablo 4.8 Kaolin destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ile Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesine ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri.....	48
Tablo 4.9 Jelatin destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ile Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesine ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri.....	50
Tablo 4.10 Jelatin destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ile Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesine ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri.....	52
Tablo 4.11 Selüloz destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ile Remazol Navy RGB boyarmaddesine ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri	54
Tablo 4.12 Kaolin destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ile Remazol Navy RGB boyarmaddesine ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri	56
Tablo 4.13 Jelatin destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ile Remazol Navy RGB boyarmaddesine ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri	58
Tablo 4.14 Polistiren destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ile Remazol Navy RGB boyarmaddesine ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri.....	60
Tablo 4.15 Selüloz destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ile Reactive Yellow 160 boyarmaddesine ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri	62

Tablo 4.16 Kaolin destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ile Reactive Yellow 160 boyarmaddesine ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri	64
Tablo 4.17 Jeatin destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ile Reactive Yellow 160 boyarmaddesine ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri	66
Tablo 4.18 Polistiren destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ile Reactive Yellow 160 boyarmaddesine ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri.....	68
Tablo 4.19 Selüloz destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ile boyarmadde karımının % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri	71
Tablo 4.20 Kaolin destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ile boyarmadde karımının % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri	73
Tablo 4.21 Jelatin destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ile boyarmadde karımının % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri	75
Tablo 4.22 Polistiren destek materyaline immobilize <i>M.esculenta</i> ile boyarmadde karımının % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri	77
Tablo 4.23 Boyarmaddelerin 10 mg/L konsantrasyonunda immobilize hücrelerle % giderim değerleri.....	78
Tablo 4.24 Farklı pellet miktarlarında % Giderim, % Biyosorpsiyon, % Biyodegradasyon ve lakkaz aktivite değerleri	95
Tablo 4.25 Farklı ortamlar içeren akseptör faz enzim aktivitesi değerleri	96
Tablo 4.26 Farklı ortamlar içeren akseptör faz % Giderim, % Biyosorpsiyon, % Biyodegradasyon değerleri	96
Tablo 4.27 EgBM ile farklı konsantrasyonlarda Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesi % Giderim, % Biyosorpsiyon, % Biyodegradasyon değerleri.....	96
Tablo 4.28 EgBM ile farklı konsantrasyonlarda Remazol Navy RGB boyarmaddesi % Giderim, % Biyosorpsiyon, % Biyodegradasyon değerleri.....	97
Tablo 4.29 EgBM ile farklı konsantrasyonlarda Reactive Yellow 160 boyarmaddesi % Giderim, % Biyosorpsiyon, % Biyodegradasyon değerleri.....	99

SEMBOL LİSTESİ

MnP	:Mangan Peroksidaz
Lac	:Lakkaz
<i>M.esculenta</i>	: <i>Morchella esculenta</i>
EgBM	:Ecogreen Biyomembran
Abs	:Absorbans
ABTS	: 2,2'-azinobis-(3)-etilbenzotiazolin-6-sülfat
PIM	: Polimer İçerikli Membran

ÖNSÖZ

Yüksek lisans ve üniversite hayatım boyunca bana tavsiyelerde bulunan ellinden gelen desteği vermekten kaçınmayan danışman hocam Doç. Dr. Hatice ARDAĞ AKDOĞAN'a göstermiş olduğu anlayış için teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez çalışmalarım boyunca destekleri benden esirgemeyen, çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan Dr. Öğr. Ü. Ahmet KAYA hocama, Dr. Canan ONAÇ, Aidai Duishemambet Kyzy ve laboratuvarımızdaki tüm çalışma arkadaşlarıma, ayrıca her zaman yanımda olan kardeşlerim Yasin ABDÜLOĞLU, Ogün GÜMÜŞAY ve Simge DURUR'a teşekkür ediyorum.

Her zaman benden inancını, maddi manevi desteğini esirgemeyen, bugünlere gelmemdeki en büyük fedakârlığı gösteren sevgili anneme, babama ve abime şükranlarımı ve sevgilerimi sunuyorum.

1. GİRİŞ

Tekstil endüstrisi, çeşitli işleme aşamalarında, su ve karmaşık kimyasalların en fazla kullanıldığı endüstri alanlarından biridir. Bu endüstri alanında, kullanılmayan materyallerin yanı sıra renklilik oranı yüksek olan, bulanık ve toksik kimyasalları içeren sular, atık su olarak deşarj edilir. Bu atık suların göller, nehirler vb. su kütlelerine doğrudan boşaltılması suyu kirletir, flora ve faunayı etkiler. Tekstil endüstrisinden gelen atıklar, yüksek moleküler ağırlıklı içerikleri nedeniyle, çok düşük biyobozunabilirlik gösteren farklı boyarmadde tipleri içerir (Pala ve Tokat 2002; Kim ve diğ. 2004; Gao ve diğ. 2007). Bu sebeple tekstil atık su arıtımında ciddi zorluklarla karşılaşılır. Çünkü alıcı çevre, çoklu ve çok ölçekli hasara neden olan organik boyarmaddeler, fosfatlar, nitratlar vs. içerir (Zaharia ve diğ. 2009). Bu boyarmaddelerin, adsorpsiyon ve çöktürme yöntemleri, kimyasal bozunma veya fotodegradasyon gibi fiziksel veya kimyasal yöntemlerle giderilmesi, finansal ve metodolojik dezavantajlara sahiptir. Ayrıca bu süreç zaman alıcı ve çoğunlukla etkisizdirler. Günümüzde bu yöntemlerin dezavantajlarından dolayı bu boyarmaddelerin giderimini gerçekleştiren ve biyolojik olarak bozabilen mikroorganizmalar ön plana çıkmaya başlamıştır (Ledakowicz ve diğ. 2001; Kalyani ve diğ. 2009).

Atık su giderimine biyoteknolojik açıdan bakıldığında, biyoteknoloji; organizmaların ve bunun yanında biyolojik sistemlerin bu alanda pratik ve ticari olarak kullanılmasını hedefler. Biyoteknolojik teknikler, fermentasyonu, enzim teknolojisini, hücre, doku ve kültür tekniklerini içerir. Bu süreçler, atıkların mikroorganizmalara besin olarak kullanımını ve çevreye zararsız olan bileşiklere dönüştürülmesini içerir (O'Neil ve diğ. 2000). Beyaz çürükçül fungusların, polisiklik aromatik hidrokarbonlar, sentetik boyarmaddeler ve diğer öncelikli kirleticiler dahil olmak üzere çok çeşitli kirletici maddelerin ayrışmasında dikkate değer bir potansiyele sahip oldukları gösterilmiştir. Beyaz çürükçül funguslar, çeşitli boyarmaddelerin parçalanmasında rol alan hücre dışı oksidatif enzimleri (lakkaz, lignin peroksidaz (LiP), mangan peroksidaz (MnP)) sağlamadaki etkileri ile iyi bilinmektedir (Kang ve diğ. 2014; Eichlerova ve diğ. 2002).

Endüstriyel boyutta düşünöldüğünde, immobilize fungus hücrelerinin serbest fungus hücrelerine göre çeşitli avantajlar sunduğu bilinmektedir (Rodríguez-Couto, 2009). Böylece, hareketsiz kılınmış kültürler, serbest kültürlerden daha fazla pH veya toksik kimyasal konsantrasyonlara maruz kalma gibi çevresel pertürbasyonlara karşı daha dirençlidir. Ek olarak, endüstriyel uygulamalarda, hareketsiz hale getirilmiş funguslar, sıvı ortamdaki hücrelerin kolay ayrılması, kesme hasarından korunma ve proteaz aktivitesinde azalma gibi serbest olanlara göre ek avantajlar sağlayabilir. Dahası, hücre immobilizasyonu belirgin sıvı besiyer viskozitesini düşürür ve reolojik özellikleri oksijen ve kütle transferi için daha elverişli hale getirir (Thongchul ve Yang, 2003).

Bu çalışmada; 3 farklı tekstil boyarmaddesinin biyolojik giderimi araştırıldı. Biyolojik giderim için beyaz çürükçül fungus; *Morchella esculenta* kullanılmış olup, önce organizmanın serbest formu ile ayrı ayrı ve karışım halindeki boyar maddelerin biyolojik giderimleri incelenip daha sonra, bu organizmanın farklı taşıyıcılar üzerine immobilizasyonu sağlanıp, biyolojik iyileştirme oranları belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada aynı organizma ile membran biyoreaktör sistemi oluşturularak endüstriyel tekstil atık sularının biyoyiyileştirilmesine yönelik yeni bir sistem önerilmiştir. Çalışma sırasında immobilizasyon işlemlerinin gerçekleşip gerçekleşmediğini gözlemlemek için taramalı elektron mikroskopu (SEM) görüntüsü alınmış ve biyolojik giderimi takip etmek için spektrum taraması ve FT-IR analizleri yapılmıştır.

2. TEORİK BİLGİ

2.1 Beyaz Çürükçül Funguslar

Beyaz çürükçül funguslar, boyarmadde giderimi için en çok tercih edilen mikroorganizmalar arasında yer almaktadır. Bunlar tarafından boyarmadde giderimi ilk olarak Glenn ve Gold (1983) tarafından bildirilmiştir (Glenn ve diğ. 1983). Bu mikroorganizmalar grubu, karmaşık polimerik odunsu bitki materyali, lignini mineralleştirebilme yeteneklerinin bir sonucu olarak küresel karbon döngüsünün merkezidir. Beyaz çürükçül fungus miselyumları, hücre dışı enzimler üreterek yüksek molekül yapıli substratları degrades edip, tek hücreli organizmalara karşı üstün bir avantaja sahiptir. Daha yüksek hücre-yüzey oranı nedeniyle funguslar, çevre ile daha büyük bir fiziksel ve enzimatik temas sahiptir (Rescigno ve diğ. 2007). Fungal enzimler, toksik maddelerin yüksek konsantrasyonlarını elimine etmede avantajlıdır. Doğal substratlarına ek olarak, beyaz çürükçül fungusları, substrat, spesifik olma eğilimi gösteren biyodegradatif bakterilerden ayıran en önemli özellik, çeşitli kalıcı organik kirleticileri daha iyi mineralize etme yeteneğine sahip olmalarıdır (Barr and Aust, 1994; Arora ve Sharma, 2010). Bu fungusların, organik bileşikleri ayrıştırma kabiliyeti, lignin peroksidaz (LiP), manganez peroksidaz (MnP) ve lakkaz gibi ekstraselüler ligninolitik enzimlerinin nispeten spesifik olmayan doğasından kaynaklanmaktadır. Beyaz çürükçül funguslar ve bunların ligninolitik enzimlerinin, çok sayıda fenolik yapıdaki aromatik aminler dahil olmak üzere çok çeşitli ksenobiyotik bileşikleri bunun yanı sıra klorofenoller, sekonder alifatik polialkoller, polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar), herbisitler ve pestisitler dahil olmak üzere bu zararlı bileşikleri transforme/bozabilme yetenekleri rapor edilmiştir (Ahn ve diğ. 2002; Vongsangnak ve Nielsen 2013). Bu yeteneklerine yönelik, ekstraselüler enzimler ile transformasyondan oluşur ve lignin indirgeyici enzimleri içeren bir mekanizmaya sahiptir. Beyaz çürükçül fungusların bu kabiliyeti, birçok kirleticinin lignine yapısal benzerliklere sahip olması ve ligninolitik enzimlerin özgül olmaması, yani kirletici molekülleri de dönüşüme uğratabilme gerçeğinde yatmaktadır. Ayrıca, bazı bileşiklerin transformasyonu, enzimlerin substratlara karşı ilgisi, mediyatörlerin kullanılmasıyla arttırılabilir (Pollegioni ve diğ. 2015). Son yıllarda, beyaz çürükçül fungusların ve enzimlerinin ksenobiyotik kirleticileri biyolojik olarak bozma yeteneği,

endüstriyel/çevresel mikrobiyoloji alanında önemli bir araştırma merakına neden olmuştur. Bunun akabinde, boyarmaddelerin renk giderimi, çeşitli beyaz çürükçül fungusların biyodegradasyon yeteneklerini hızlı bir şekilde değerlendirmek için de kullanılmıştır (Singh ve Singh 2014).

2.1.1 *Morchella Esculenta*

1753 yılında Carl Linnaeus bu mantarı (fungus) bilimsel olarak tanımlamış ve ona *Phallus esculentus* adını vermiştir. Christiaan Hendrik Persoon 1801 yılında şu anki bilimsel isim olan *Morchella esculenta* (*M.esculenta*), olarak adlandırmıştır. Bunlar genellikle mart ile haziran ayları arasında büyürler ve hasat edilirler. Böcekler ve diğer küçük canlılar tarafından nadiren zarara uğrarlar. *M.esculenta* genellikle ormanlık alanlarda bulunur. *M. esculenta* tipik olarak sert ağaç ve kozalaklı ağaçlar üzerinde gelişir (Bisakowski ve diğ. 2000; Tsai ve diğ. 2006).

M. esculenta'yı diğer funguslardan ayıran, önemli bir karakteristik vejetatif (sklerotium) özelliğe sahiptir. Bu özellik üremelerinde önemli bir rol oynar ve neden bu kadar zor bir tür olduklarını açıklamaya yardımcı olur. Büyük hücreler ve kalın hücre duvarlarıyla büyük bir yapıya sahiptir. Sklerotium, organizmanın olumsuz koşullarda hayatta kalmasına izin verir. Ayrıca, yeniden üreme zamanı geldiğinde *M. esculenta* 'nın ne yapacağını da kontrol eder. *M. esculenta* 'nın çimlenme için iki seçeneği vardır. Birincisi yeni miselyum oluşturmak, ikincisi ise meyve veren bir vücut üretmektir (Şezanka ve diğ. 1999; Bisakowski ve diğ. 2000).

M. esculenta'nın şapka kısmı mumsu esneklikte ete sahiptir. 3-8 cm arasında genişlik ve 5-12 cm boyunda, bazen konik, fakat daha sık küresel veya uzun dikey oval bir yapıya sahiptir. Bal peteği görünümünde, rengi soluk kremadan, koyu sarıya, sarımsı kahverengiye veya orta kahverengiye kadar değişir, genellikle yaşı büyüdükçe rengi koyulaşır. *M. esculenta*'nın sap kısmı genel olarak beyaz veya soluk krem renginde olan sap kısmı üzerinde kahverengi lekeler bulunur. Sert, düz ve içi oyuk olan sap kısmı 3-12 cm boyunda 1,5-3 cm çapında tepe noktasına doğru daralan Şekil 2.1'deki gibi bir görüntüsü vardır (Dalglish ve Jacobson 2005; Cui ve diğ. 2011).



Şekil 2.1 *Morchella esculenta*

2.2 Fungal Enzimler

2.2.1 Ligninolitik Enzimler

Ligninolitik enzimler, boyarmaddelerin, ligninlerin ve liginosülfonatların oksidasyonu, ilaç analizi, etanol üretimi, şarapların arıtılması, atık su arıtımı, aromatik hidrokarbonlar ve zehirli polisikliklerin bozulması gibi önemli görevler üstlenirler. Çevre yönetimi için enzimler kullanmış ve farklı alanlarda ligninolitik enzimlerin uygulamaları yapılmıştır (Asgher ve diğ. 2012; Ursula 2015; Voběrková ve diğ. 2018).

Milyonlarca yıllık evrim, fungal organizmaların sadece odun ayrışmasında değil, aynı zamanda meyve veren vücut yapımında ya da virülans faktörleri olarak hareket eden bir ligninolitik enzim arenali geliştirmesine izin vermiştir. Ayrıca, fungusların bitki atıklarından korunmasında rol alabilirler. Fungal yaşam döngüsü boyunca farklı kinetik veya fizikokimyasal özelliklere ve çeşitli fonksiyonlara sahip çok sayıda enzim izoformlarının varlığı çeşitli şekillerde ligninolitik izoenzimlerin ekspresyonunun başlıca nedenlerinden biridir (Ding ve diğ. 2015; Bilal ve diğ. 2017).

Ligninolitik enzimler, esas olarak besleyici azot ve/veya karbon tükenmesi ile beyaz çürükçül funguslarda tetiklenen ikincil metabolizma sırasında üretilir. Lignin modifiye edici enzimlerin çeşitli izozimleri, karbon tarafından diferansiyel olarak düzenlenebilir (Guerra ve diğ. 2002; Winquist ve diğ. 2008). Ligninolitik enzimlerin ekspresyonunun karbon tarafından düzenlendiği ve promotör bölgelerinde creA sahasının varlığı nedeniyle cAMP mekanizması ile gerçekleştiği görülmektedir. cAMP

çok çeşitli fungal morfojeniz ve gelişim süreçlerinde önemli bir rol oynar (Janusz ve diğ. 2013).

2.2.1.1 Fungal Lakkaz (EC 1.10.3.2)

Lakkazlar, doğal ortamda biyolojik rollerini belirleyen, geniş substrat spesifitesi ile karakterize edilen bakır içeren oksidoredüktazlara ait enzimlerdir. Lakkazın ana kaynakları bitkiler, birçok fungus türü, bakteriler yanı sıra sklerotizasyon ve pigmentasyona katıldığı böceklerde de mevcuttur (Baldrian, 2006; Giardina ve diğ. 2010). Lakkazların çeşitli biçimlerde var olduğu bilinmektedir; monomerik, homotetramerik, heterodimerik ve multimerik olabilirler. Moleküler ağırlığı organizmaya bağlı olarak 50 ila 130 kDa arasında değişir (Jaiswal ve diğ. 2015). Fungus kökenli lakkazlar yaklaşık olarak %10–30 oranında karbonhidrat içerir (Baldrian 2006). Lakkazın karbonhidrat kısmının, protein parçasının konformasyonel stabilitesini sağladığı, enzimi proteoliz ve inaktivasyondan, koruduğu varsayılmaktadır. Lakkaz enziminin yapısı Şekil 2.2’de verilmektedir. (Morozova ve diğ. 2007).



Şekil 2.2 Lakkaz enzimi

Lakkazın katalitik süreci sırasında, yapı ve reaksiyon koşullarına bağlı olarak farklı serbest radikal reaksiyonları ortaya çıkar. En sık görülen reaksiyonlar, dimerik ürünleri veya polimerik bileşikleri ve oksidatif karboksilasyonları üreten serbest radikallerin bir araya getirilmesidir. Substratların oksidasyonu, moleküler oksijenin indirgenmesine bağlanır ve iki su molekülü üretmektedir. Azaltılan her oksijen için, hidrojen peroksit üretimi olmaksızın dört substrat molekülü oksitlenir: $4H^+ + 4$ substrat

+ O₂ → 2H₂O + 4 substrat; Sonuç olarak, lakkazlar “ideal yeşil” katalizörler olarak kabul edilir çünkü O₂'yi bir yardımcı substrat olarak kullanırlar ve H⁺u oluştururlar (Solomon ve diğ. 2008).

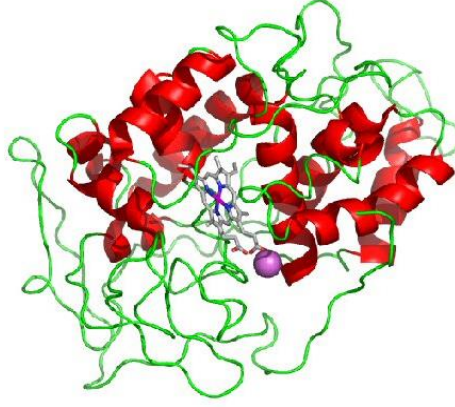
Hemen hemen tüm beyaz çürükçül fungusların lakkazı değişik derecelerde ürettiği bildirilmiştir (Kües 2015). *Pycnoporus cinnabarinus* ürettiği lakkaz bu türün lignin degradasyonunu sağlayabilen tek ligninolitik enzim olarak tanımlanmıştır (Camarero ve diğ. 2012).

Fungal lakkazlar, renkli atıkların açığa çıkmasına bağlı olarak suyu kirleten gıda, tekstil, kâğıt hamuru ve plastik gibi endüstrilerden boşaltılan atıkların (Chandra ve Chowdhary 2015) renk giderilmesinde ve detoksifikasyonlarında kullanılır. Boyarmaddeler genellikle karmaşık kimyasal yapıları ve sentetik orijinleri nedeniyle ışığa maruz kaldığında solmaya karşı dirençlidir (Lin ve diğ. 2010). Geleneksel boyarmadde arıtma sistemlerinin çok pahalı olması, yüksek miktarda kimyasal madde ve enerji tüketmesi, biyolojik giderim için etkili bir alternatif olarak görünmektedir. Boyarmadde bozunmasında lakkazın kullanımı incelenmiş olup, azo, antrakinin, heterosiklik, indigoid boyarmaddeler, polimerik boyarmaddeler, triarilmetan ve trifenilmetan gibi kromofor bileşikler üzerinde etkilidir (Abadulla ve diğ. 2000).

2.2.1.2 Fungal Mangan Peroksidaz (MnP, EC 1.11.1.13))

Mangan peroksidazın keşfinden beri (Glenn ve diğ. 1985; Paszczynski ve diğ. 1985), MnP'ye olan ilgi biyolojik kâğıt hamuru üretimi, biyoağartma ve biyoremediasyondaki potansiyel uygulaması nedeniyle büyük ölçüde artmıştır. MnP, 38 ila 62,5 kDa arasında değişen ve 45 kDa'da ortalama moleküler kütleye sahiptir (Hofrichter 2002). Mangan peroksidazlar (MnP'ler) daha yaygın bir enzim çeşididirler ve olası bir alternatif olarak kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır (Ghosh ve diğ. 2016). MnP'ler ayrıca güçlü bir şekilde oksitlenirler ve klasik bir peroksidaz döngüsüne uğrarlar, fakat nonfenolik lignin ile ilişkili yapıları oksitlemezler çünkü aromatik substratlara elektron transferi için gerekli olan değişmez triptofan kalıntısından yoksundurlar. Bunun yerine, birkaç asidik amino asit artığı ve hemipropionat gruplarından oluşan bir mangan bağlanma bölgesine sahiptirler. Buna göre, MnP'nin bir elektron transferi (MnP I) ile Mn²⁺'den meydana gelir (Das ve diğ. 2012). Mn²⁺ ve

çözünmeyen Mn^{4+} olan orantısızlığa karşı stabilize etmek için çeşitli çift dişli şelatlayıcılar mevcut ise, Mn^{3+} ürünü aktif bölgeden serbest bırakılır. Fizyolojik şelatörün, birçok beyaz çürükçül fungusun hücre dışı bir metaboliti olan okzalot olduğu düşünölmektedir (Hofrichter 2002).



Şekil 2.3 Mangan peroksidaz enzimi

Şekil 2.3'te görölen mangan peroksidaz birçok beyaz çürükçül fungus türünden izole edilebilir. MnP hidrojen peroksit (H_2O_2) varlığında Mn^{2+} 'nın Mn^{3+} 'ya oksidasyonunu katalize eder. Üretilen Mn^{3+} , organik asit ile stabilize edilir ve yayılabilir bir oksitleyici olarak işlev gören bir Mn^{3+} organik asit kompleksini oluşturur. Oluşan bu kompleks lignin, endüstriyel boyarmadde ve diğere organik kirleticiler dahil olmak üzere çeşitli aromatik bileşiklerle etki ederler (Tebo ve diğ. 2005; Das ve Singh, 2011). Kristal yapılar ve spektroskopik çalışmalar, MnP'nin 11 veya 12 α -heliks içeren iki alanlı, globöler bir protein olduğunu göstermiştir. Bir hemiprotein grubu, en yaygın olarak Fe protoporfirin IX, iki alan arasında yer alır. Yapısal destek sağlayan iki Ca^{2+} bağlayıcı bölge, hem grubunun her iki tarafında yer alır ve kataliz için gerekli olan bir Mn bağlanma bölgesi, iç hemipropiyonatın yakınında yer alır. Ayrıca MnP, protein yapısını stabilize eden dört veya beş disülfid köprüüne sahiptir (Bruins ve diğ. 2000; Mishra ve diğ. 2008).

2.2.1.3 Fungal Lignin Peroksidaz (LiP, EC 1.11.1.14)

LiP, ligninin H_2O_2 bağımlı oksidatif depolimerizasyonunu katalize eder. LiP ilk olarak beyaz çürükçül fungus *P. chrysosporium*'un hücre dışı ortamında keşfedilmiştir. *P. chrysosporium* ve *T. versicolor*, *Phanerochaete sordida*, *Phlebia*

radiata ve *Phlebia tremellosa* gibi diğer beyaz çürükçül funguslarda çeşitli LiP izoformları bulunur. LiP'ler 40 kDa civarında moleküler kütleli monomerik hemoproteinlerdir ve Şekil 2.4'de görülen yapıdadırlar (Johansson ve diğ. 1993; Morgenstern ve diğ. 2008).



Şekil 2.4 Lignin peroksidaz enzimi

Yabanturpu peroksidaz enzimi'ninkine benzer tipik bir peroksidaz katalitik çevrime sahiptir. LiP' nin Fe(III) 'ü dört hem tetrapirrol nitrojen ve bir histidin kalıntısına penta-koordinatlandırılır. LiP klasik peroksidazlar gibi H₂O₂ oksitlenirler ve demirin Fe(IV) olarak mevcut olduğu ve serbest radikalın tetrapirrol halkasında (veya yakınlardaki bir amino asit üzerinde) bulunduğu iki oksidize elektron, bir ara madde oluştururlar (Bileşik I). Bileşik I daha sonra bir donör substratı bir elektron tarafından oksitler, böylece bir substrat içermeyen radikal ve Bileşik II elde edilir, burada demir hala Fe (IV) olarak bulunur fakat tetrapirrolde herhangi bir radikal yoktur. Daha sonra Bileşik II, bir başka substrat içermeyen radikal ve peroksidazın dinlenme durumunu veren ikinci bir donör substrat molekülünü oksitler (Ritch ve Gold 1992; Gold ve Alic 1993; Miki ve diğ. 2010).

LiP'ler, klasik peroksidazlardan daha yüksek redoks potansiyeline sahip daha güçlü oksidanlardır, çünkü LiP'daki porfirin halkasındaki demir, klasik peroksidazlara göre daha az sayıda elektron içerir. Bu nedenle, LiP'lar orta derecede aktive olan aromatik halkaları oksitleyebilirken, klasik peroksidazlar sadece güçlü şekilde aktive edilmiş aromatik substratlar üzerinde etkili olurlar. LiP birçok fenol ve anilini okside

edebilmesi yanında polimerin %90'ını oluşturan, ligninin majör fenolik olmayan yapılarını oksitleyebilir (Martinez ve diğ. 2005).

2.3 İmmobilizasyon

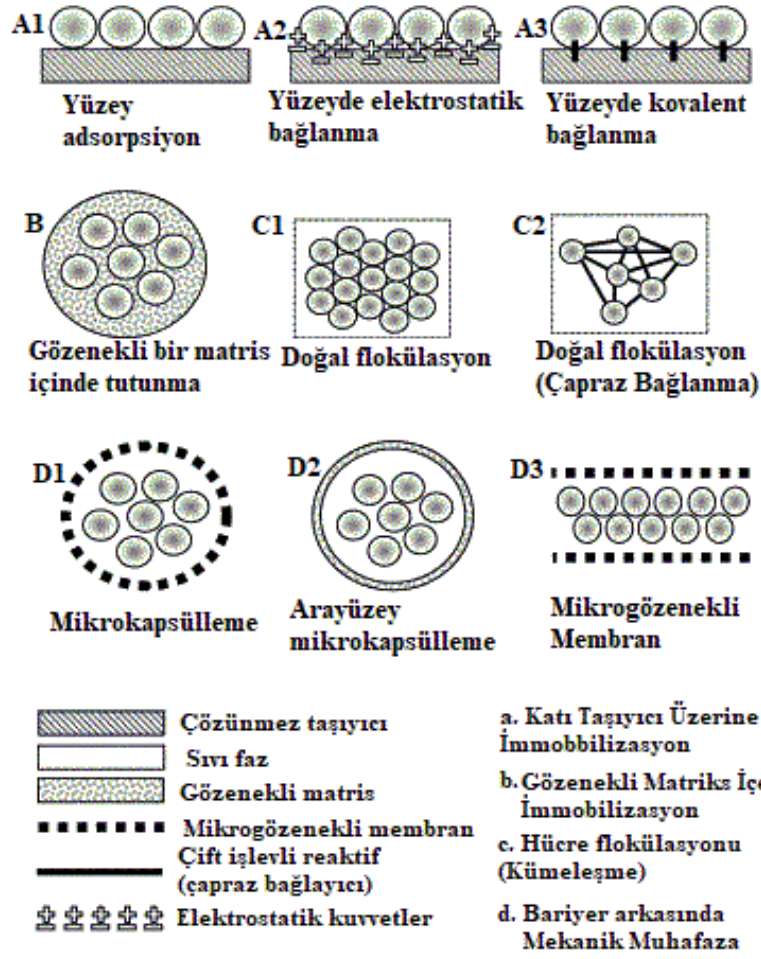
Tüm hücrelerin hareketsizleştirilmesi, katalitik aktivitenin korunmasıyla, bozulmamış hücrelerin belirli bir tanımlanmış bölgeye fiziksel olarak hapsedilmesi veya lokalizasyonu olarak tanımlanmıştır. Çözünebilir enzimler yerine sabitlenmiş hücreleri çevreleyen sürekli işleme sistemlerinde yeniden kullanım ve uygulanabilirliğin yanı sıra, pH ve sıcaklığın aşırı koşulları altında artan stabilite, hücreleri hem gıda endüstrisinde hem de ilaç sektöründe tercih edilen, çok yönlü bir araç haline getirir. Hareketsizleştirilmiş biyokatalizörlerin sınıflandırılmasına yönelik birkaç farklı yaklaşım vardır, fakat en sık kullanılan sınıflandırma, belirli bir uygulama için seçilen immobilizasyon yöntemine dayanmaktadır. Bu nedenle, immobilizasyon yönteminin seçimi, uygulama üzerine, mevcut olan kaynakların yanı sıra, hareketsiz hale getirilen mikroorganizmanın doğasına bağlıdır. İmmobilizasyon yöntemleri, tüm hücrelere veya enzimlere uygulanabilir. Enzim immobilizasyonuna kıyasla tam hücre immobilizasyonunun avantajlarından bazıları şunlardır: daha yüksek kararlılık ve enzim aktivitesi, çok değişkenli enzim uygulamaları ve daha düşük maliyet (Arıca ve diğ. 2003; Braghukumar ve diğ. 2004; Brányik ve diğ. 2004).

Hareketsiz hale getirilmiş hücre sistemleri, hareketsiz hale getirilmiş hücrelerin serbestçe süspansiyon edilmiş kültürler, biyokütlenin sıvıdan kolay ayrılması, kolay ürün geri kazanımı ve spesifik metabolik iyileştirmeler veya immobilizasyon üzerine oluşturulan ürünler sağladığı reaktör performans gibi avantajları vardır (Dervakos ve Webb 1991). Hücre immobilizasyonu, üretken olmayan büyüme fazını azaltarak daha verimli bir çalışma sağlar. Hareketsizleştirilmiş hücrelerin yüksek hücre yoğunluğunun, ürün verimini ve biyoreaktörlerin hacimsel verimliliğini artırdığı bilinmektedir. İmmobilizasyon, hücreleri kesme kuvvetlerinden korur ve mikroorganizmaya çevresel koşullara (pH, sıcaklık, organik çözücüler, tuzlar, substrat ve ürünleri inhibe etme, zehirler, kendi kendini yok etme) karşı özel bir stabilite kazandırır. Canlılık ve immobilize edilmiş hücrelerin üretkenliği uzun bir süre boyunca muhafaza edilebilir, bu da sürekli ekim işlemlerini kolaylaştırır ve daha iyi çalışma kararlılığı sağlar (Karel ve diğ. 1985; Mou ve diğ. 1991). Hareketsiz kılınmış

hücreler daha kolay işlenebilmekte ve zorlanmadan geri kazanılabilmektedir. Ayrıca, immobilizasyon, sınırlı hücrelerin desteği ve fizyolojik davranış yoluyla moleküllerin difüzyon özelliklerini etkileyebileceğinden, hareketsizleştirme üzerine hücre büyümesi, metabolizma ve fizyolojinin fark edilebilir farklılıkları gözlenir (Illanes 2008).

Belirli bir immobilizasyon sisteminin uygunluğu, uygulama tipi ve immobilize edici maddenin yani matriksin fiziksel ve biyokimyasal özellikleri tarafından belirlenir. Farklı immobilizasyon yöntemleri ve malzemeleri, katı polimerik malzemelere kovalent bağlanma, gözenekli inert desteklere adsorpsiyon, çapraz bağlanmış jel yöntemlerinde tutunma ve bazı reaktifler tarafından çapraz bağlanma gibi endüstriyel amaçlar için kullanılabilir. Fungusların pelet haline gelmesi de kendi kendine immobilizasyon sistemi olarak düşünülebilir (Xu ve diğ. 2000).

Fiziksel lokalizasyonun temelleri ve mikroçevrenin doğası üzerine, immobilize hücre sistemleri dört kategoride sınıflandırılabilir. Şekil 2.5'te temel hücre immobilizasyon yöntemleri görülmektedir. Bu yöntemlere bağlı olarak, doğal bağlanma için uygun bir adsorban, biyokatalizöre karşı yüksek bir afiniteye sahip olmalı ve minimal denatürasyona neden olmalıdır. Hücrelerin organik veya inorganik bir destek malzemesine adsorpsiyonu, Van der Waals kuvvetleri ve iyonik etkileşimler yoluyla elde edilir (Kourkoutas ve diğ. 2004).



Şekil 2.5 Temel hücre immobilizasyon yöntemleri

2.3.1 Katı taşıyıcı yüzeylerde immobilizasyon

Bir katı taşıyıcı üzerinde hücre immobilizasyonu, elektrostatik kuvvetler (fiziksel adsorpsiyon veya hücre membranı) ve taşıyıcı arasındaki kovalent bağlanma ile gerçekleştirilir. Hücre filminin kalınlığı genellikle bir hücre katmanından 1 mm veya daha fazlasına kadar değişir. Bir yüzeyde hareketsiz kılınmış hücreleri kullanan sistemler, bu tip bir hareketsizleştirme işlemini gerçekleştirmenin nispeten kolay olmasından dolayı popülerdir. Hücrelerin taşıyıcıya bağlandığı kuvvet ve biyofilmin derinliği sıklıkla değişir, bu kuvvet ve biyofilm derinliği kolayca belirlenemez. Bu tür hareketsizleştirmede kullanılan katı taşıyıcıların örnekleri; selülozik malzemeler (DEAE-selüloz, odun, talaş, delinmiş talaş), inorganik malzemeler (lifli magnezyum minerali, aktif kil, hidromica, gözenekli porselen, gözenekli cam), vb. (Melzoch ve diğ., 1994; Navarro ve Durand, 1977).

2.3.2 Gözenekli Matris İçerisine İmmobilizasyon

Bu immobilizasyon çeşidinde, hücreler ortamdaki diğer hücreler tarafından hareketleri kısıtlanana kadar gözenekli matrise nüfuz ederler. Gözenekli malzeme bir hücre kültürü ortamında doğal olarak oluşturulurlar. Gözenekli matris içerisine immobilize edilen hücrelerin, çevre ortamına yayılmasını önlemek için hücrelerin katı bir ağ içine immobilizasyonu yapılmasına karşın besin ve metabolitlerin kütle transferine izin verir. Gözenekli matris immobilizasyonun karakteristik örnekleri olarak, alginatlar, κ -karragenan, agar, kitosan ve poligalakturonik asit gibi polisakkarit jelleri veya jelatin, kollajen ve polivinil alkol gibi diğer polimerik matrisler içine hapsetme gösterilmektedir (Park ve Chang, 2000). Gözenekli matriste hücre büyümesi, malzemenin gözenekliliği ve daha sonra biriken biyokütlenin etkisi ile uygulanan difüzyon sınırlamalarına bağlıdır. Bu nedenle homojen olmayan bir hücre popülasyon modeli gelişebilir ve yüzeye yakın hücreler, tanelerin içindeki kısmen serbest kalmış hücrelere kıyasla farklı davranabilirler (Freeman ve Lilly, 1998).

Polisakkarit jel gibi gözenekli bir matris içinde hücre sıkışmasının problemlerinden biri de, boncukların dış yüzeyinde bulunan hücreler çoğalır ve immobilize edilerek oluşturulan yapı bozulabilir. Bu, hareketsiz ve serbest hücrelerden oluşan bir sisteme yol açar. Bu problemten kaçınmak için, hücrelerin ve bir dış katmanın yer aldığı bir iç çekirdeğe sahip olan hidrojel boncuklarının, çekirdekten hücrelerin kaçmasını önleyen çift katmanlı boncuklar geliştirilmiştir (Taillandier ve diğ. 1994).

2.3.3 Hücre Flokülasyonu (Kümeleşme)

Hücre flokülasyonu (kümeleşme), süspansiyonlardaki hücrelerin daha büyük bir yapı oluşturmak için hücrelerin bir araya toplanması veya özelliklerinin kümelere ve tortulara hızla yapışması olarak tanımlanmıştır. Hücrelerin flokülasyonu, bu tekniğin reaktörlerde kullanılmasını mümkün kılan potansiyel bir immobilizasyon tekniği olarak düşünülebilir. Bu türler arasında, dolu yataklı, akışkan yataklı ve sürekli karıştırılmış tank reaktörleri yer almaktadır. Küme oluşturma yeteneği esas olarak küf, mantar ve bitki hücrelerinde gözlenir. Yapay flokülasyon ajanları veya çapraz bağlayıcılar, doğal olarak kümeleşmeyen hücre kültürlerinde toplanmasını sağlamak

ve işlemi hızlandırmak için kullanılabilir. Kümeleşmiş hücreler, pH, çözülmüş oksijen ve ortam bileşimi gibi birçok faktörden etkilenir (Navratil ve diğ. 2000).

2.3.4 Bariyer Arkasında Mekanik Muhafaza

Bir bariyerin arkasındaki hücrelerin tutulması, mikro-gözenekli membran filtrelerinin kullanılmasıyla ya hücrelerin bir mikrokapsül içinde tutulması ya da iki karışmayan sıvının bir etkileşim yüzeyine hücre immobilizasyonu ile sağlanabilir. Bu immobilizasyon türü, hücre içermeyen ürün ve minimum bileşik transferi gerektiğinde idealdir (Park ve Chang 2000). Membran biyoreaktör teknolojisi, hücre geri dönüşüm ve sürekli süreçlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Mikro gözenekli membranlar arasında hücrelerin hareketsizleştirilmesinin başlıca dezavantajları arasında, kitlesel transfer sınırlamaları ve hücre büyümesinin neden olduğu olası membran biyo-kirliliği bulunmaktadır (Gryta 2002).

2.4 İmmobilizasyon Materyalleri

Taşıyıcı, hücrelerin bağlanacağı fonksiyonel gruplar ile büyük bir yüzeye sahip olmalıdır. Taşıyıcının taşınması ve yeniden üretilmesi kolay olmalıdır. Hareketsizleştirilmiş biyokatalizörün hücre canlılığı ve operasyonel stabilitesi yüksek olmalı ve daha uzun süre tutulmalıdır. Hareketsizleştirilmiş hücrelerin biyolojik aktivitesi, immobilizasyon işleminden olumsuz etkilenmemelidir. Desteğin gözenekliliği, substratlar, ürünler, kofaktörler ve gazların serbest değişimini sağlayan, tekdüze ve kontrol edilebilir olmalıdır. Taşıyıcı, iyi mekanik, kimyasal, termal ve biyolojik stabiliteyi muhafaza etmeli ve enzimler, çözücüler, basınç değişiklikleri veya kesme kuvvetleri tarafından kolayca ayrıştırılmamalıdır. Taşıyıcı ve immobilizasyon tekniği kolay, uygun maliyetli ve ölçeklendirmeye uygun olmalıdır. Destek (taşıyıcı) bir sentetik organik polimer, bir biyopolimer veya inorganik bir katı olabilir (Kourkoutas ve diğ. 2004; Grigoras 2017).

2.4.1 Doğal polimerler

2.4.1.1 Aljinat

Kahverengi alglerin hücre duvarlarından elde edilen aljinat, aljinik asidin kalsiyum, magnezyum ve sodyum tuzlarıdır. Artmış enzim aktivitesi ve yeniden kullanılabilirlik ile ksantan-alginat boncukları, aljinat-poliakrilamid jeller ve kalsiyum aljinat boncukları olarak immobilizasyon için yaygın olarak kullanılmaktadır. Aljinatın iki değerlikli iyonlarla (Ca^{2+} gibi) ve glutaraldehit'in çapraz bağlanması, enzimlerin stabilitesini artırır (Flores-Maltos ve diğ. 2011).

2.4.1.2 Kitosan ve kitin

Enzimlerin, protein veya karbonhidrat grupları, enzimin kitosan'a bağlanması için kullanılır (Hsieh ve diğ. 2000). Kitosan, kitosan kaplı enzimlerin, enzim ve destek arasındaki fiziksel ve iyonik etkileşimlerden dolayı, aljinatla karşılaştırıldığında daha az özütleme etkisine sahip olduğu için aljinat ile kombinasyon halinde kullanılmıştır (Betigeri ve Neau 2002). Enzimlerle kolayca bağlanan hidroksil ve amino gruplarına, iyi hidrofilitate ve yüksek gözenekliliğe sahiptir (Chang ve Juang 2007).

2.4.1.3 Kolajen

Doğal bir polimer olan kolajen, çapraz bağlayıcı ajan olarak glutaraldehit kullanan tannaz enzim immobilizasyonu için kullanılmıştır (Katwa ve diğ. 1981). Fe^{3+} kollajen lifler, 26 tekrardan sonra bile anlamlı aktiviteyi koruyarak katalaz enzim immobilizasyonu için mükemmel destek matrisi olduğunu kanıtlanmıştır (Chen ve diğ. 2011).

2.4.1.4 Jelatin

Jelatin, hidrokoloit bir maddedir, amino asitlerde yüksek miktarda bulunur ve suda ağırlığının on katına kadar adsorbe olabilmektedir. Uzun ömürlü yani kolaylıkla bozulmaması, hücre immobilizasyonu için dikkat çekmektedir. Poliakrilamid ile karışık taşıyıcı sistemde jelatin ve çapraz bağlayıcı olarak krom (III) asetat kullanılmıştır (Emregul ve diğ. 2006). Jelatin ile kalsiyum aljinat, enzim immobilizasyonu için kalsiyum fosfat birikimi için iyi bir şablon oluşturmuştur (Shen ve diğ. 2011).

2.4.1.5 Selüloz

En doğal polimerlerden birisi olan selüloz fungus, lakkaz, penisilin G açılaz, glukoamilaz, α -amilaz, tirozinaz, lipaz ve β -galaktosidazın immobilizasyonlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Al-Adhami ve diğ. 2002; Mislovicová ve diğ. 2004; Bryjak ve diğ. 2007; Namdeo ve Bajpai 2009; Labus ve diğ. 2011; Huang ve diğ. 2011; Klein ve diğ. 2011). Dietilaminoetil ile modifiye edilmiş selülozik desteklerin daha büyük depolama kapasitesi vardır (Al-Adhami ve diğ. 2002). Selüloz kaplamalı manyetik nanopartikülleri, α -amilazın selüloz dialdehit kaplı manyetit nanopartiküllerine tutturulmasının, yeni bir nişasta parçalama sisteminin oluşumuna yol açtığı nişasta parçalanması için kullanılmıştır (Namdeo ve Bajpai 2009). Glutaraldehit ile aktive edilen iyonik sıvı-selüloz film ile hareketsizleştirme daha iyi şekillendirilebilirlik ve esneklik sağlanmıştır (Klein ve diğ. 2011).

2.4.2 Sentetik Polimerler

İyon değiştirici reçineler/polimerler, gözenekli yüzeylere hücre immobilizasyonu için çözünmez destek materyalleridir (Kumari ve Kayastha 2011). Hücre immobilizasyonu sırasında glutaraldehit ve polietilen glikol, serbest radikallerin saldırısını önlemek için fungus hücresinin enzim üreten aktif merkezi etrafında bir katkı maddesi ve koruyucu tabaka görevi görür (Ashraf ve Husain 2010).

Destek materyali olarak kullanılan bazı sentetik polimerler Şu Şekilde ifade edilir: polivinil klorid, siklodekstrin glukosiltransferaz, 1:3 oranında polivinil alkol ve heksametil diizosiyantattan turetilmiŐ poliuretan mikropartikuller elde edilir. Poliuretan mikropartikuller, endüstriyel uygulamalar için faydalı olduğu öne sürölen UV ile aktive edilmiş metakrilatlı/fumarik asitle modifiye edilmiş epoksi; iki farklı formda polianilin; atıksu arıtımı için kullanılan çok sayıda gözeneğe sahip lipaz ve UV ışınları ile aktive edilmiş polietilen glikölün hareketsizleştirilmesi için glutaraldehitte aktive edilmiş naylon olarak örneklendirilebilir (Abdel-Naby 1999; Kahraman ve diğ. 2007; Pahujani ve diğ. 2008; Romaskevic ve diğ. 2010).

2.4.3 İnorganik Malzemeler

2.4.3.1 Zeolitler

Zeolitler veya "moleküler elekler", iyi tanımlanmiŐ yapılarla ve Şekil seçici özelliklere sahip olan ve moleküler adsorpsiyonda yaygın olarak kullanılan mikro gözenekli kristalli katılardır. Mikro gözenekli zeolitlerin, enzim ile kuvvetli hidrojen bağları oluşturan daha fazla hidroksil grubunun varlığından dolayı, mikro-gözenekli alaŐımı olanlardan daha iyi bir α -kimotripsin immobilizasyonu için daha iyi bir destek olduğu bulunmuştur. Çoklu adsorpsiyon bölgeleri olan zeolitlerin heterojen yüzeyinin, enzim ve destek etkileŐimlerini modöle etmek için uygun olduğu düşünölmektedir (Serralha ve diğ. 1998).

2.4.3.2 Seramik

Candida antarctica lipazının seramik membran üzerinde immobilizasyonu, bu inert desteğin, geri besleme inhibisyonunu sınırlandırarak hidrolitik ve sentetik reaksiyonların geręekleŐtirilmesi için kullanılabilereğini göstermiştir. Hem makro (77 nm) hem de mikro gözenekli (45 mikron) seramik köpüklerin, difüzyon hızını düŐürmede ve spesifik yüzey alanını arttırmada etkili olduğu bulunmuştur. Seramiğin bir başka örneği, değişik gözenek yapısı farklı organik kaplamalar kullanılarak deđiŐtirilebilen toyonittir (Magnan ve diğ. 2004).

2.4.3.3 Silika

Aktifleştirilmiş silika üzerinde hareketsizleştirilmiş funguslardan elde edilen lignin peroksidaz enzimi, okaliptüs ağacından yapılmış ambalaj atıklarından oluşan kloroligninlerin uzaklaştırılmasında etkili bir şekilde kullanılmıştır. Silikanın hidroksil ve reaktif siloksan gruplarının aminasyonu ve metil veya polivinil alkol gruplarının eklenmesiyle yüzey modifikasyonu, destek materyallerinin bağlarını güçlendirir (Pogorilyi ve diğ. 2007).

2.4.3.4 Cam

Cam oldukça viskoz bir sıvıdır ve α -amilazı immobilize etmekte kullanılmıştır; Amino grubu fonksiyonel cam boncukları içeren ftalil klorürün, bu süreç için sağlam ve yenilenebilir olduğu bulunmuştur (Kahraman ve diğ. 2007). Bir başka enzim nitrit redüktaz, sürekli izleme için bir biyoalgılama cihazı olarak işlev gören kontrollü gözenekli cam boncuklar üzerinde immobilize edilmiştir. Cam pH-elektrotları üzerinde hareketsiz hale gelen üre, kan örneklerinde 52 $\mu\text{g} / \text{ml}$ kadar üre izleme için stabil bir biyosensör oluşturulmuştur (Sahney ve diğ. 2005).

2.4.3.5 Aktif Karbon

Hem doğal hem de hidroklorik asitle modifiye edilmiş aktif karbon, hücre ve enzim adsorpsiyonu için değerli bir destek materyalidir (Alkan ve diğ. 2009). Son zamanlarda, enzim immobilizasyonu için geniş temas bölgeleri içeren mezo-gözenekli aktif karbon parçacıkları, 21 döngüden sonra katalitik etkinliğin önemli ölçüde muhafaza edildiği asit proteaz ve asidik lipazların immobilize edilmesi için kullanılmıştır (Kumar ve diğ. 2010; Ramani ve diğ. 2011).

2.4.3.6 Membranlar

Kimyasal ve fiziksel özelliklerin bir işlevi olarak çözeltide bulunan farklı türleri bir yürütücü kuvvet yardımıyla ayırma özelliğine sahip ince bir zar tabakadır.

Bir membran, belirli türlerin hareketini kısıtlayan, genellikle ince polimerik bir katı olarak bilinen, geçirgen veya yarı geçirgen bir fazdır. Membran, diğer bileşenlerin nüfuzunu engellerken, karışımın bir bileşeninin zara serbestçe nüfuz etmesine izin veren bir engeldir. Katı membranlar, sıvı membranlar, gaz membranlar olarak sınıflandırılmaktadır (Wehiua 2003; Salt ve Dinçer, 2006).

2.5 Biyolojik Membranlar

Membranların biyolojik aktiviteleri, dikkate değer fiziksel özelliklerinden kaynaklanır. Membranlar, sert, esnek, kendiliğinden sızdırmaz ve polar çözücülere seçici olarak geçirgendir. Biyolojik membranlar, hücreleri oluştururlar ve bir maddenin iç ve dış kısımları arasında ayrışmayı sağlarlar, hangi maddelerin girip çıktıkları seçici geçirgenliklerini kontrol ederler. İyonların gradyanlarının kendi aralarında oluşturulmasına izin vererek, membranlar da canlı organizmaların enerji üretmesini sağlar. Ayrıca, kimyasal ve elektriksel sinyaller halinde bilgi göndererek, alarak ve işleyerek hücreler arasındaki mesaj akışını kontrol ederler. Membranlar sadece iki molekül tabakasından oluşur ve bu nedenle çok incedirler; Esas olarak iki boyutlu olarak düşünülebilirler. Çok sayıda hücrenel süreç, zarlarla (lipitlerin ve bazı proteinlerin sentezi ve mitokondri ve kloroplastlarda enerji transdüksiyonları gibi) ilişkilidir. Moleküller arası çarpışmalar bu iki boyutlu yapıda, üç boyutlu yapıda olduğundan çok daha muhtemel olduğundan, iki boyutlu bir zar içinde gerçekleşen belirli enzim katalizli yolların etkinliği büyük ölçüde artar.

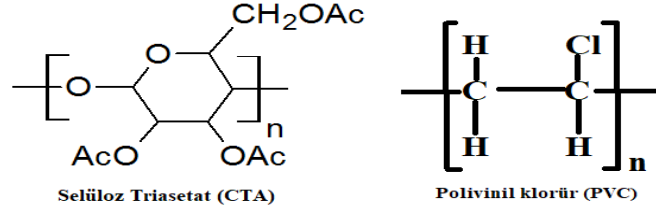
Biyolojik membranların üç temel işlevi vardır: (1) toksik maddeleri hücreden uzak tutarlar; (2) hücre ve dış ortam arasında organel ve hücre dışı faaliyetler arasında geçiş yapmak için; iyonlar, besinler, atıklar ve metabolik ürünler gibi belirli moleküllere izin veren reseptörler ve kanallar içerir; ve (3) organellerde gerçekleştirilen hayati fakat uyumsuz metabolik süreçleri ayırırlar.

2.5.1 Polimer İçerikli Membranlar (PIM)

PIM'lerin, çeşitli katyonların ve anyonların seçici ekstraksiyonu ve geri kazanımı için faydalı olduğu, geleneksel çözücü ekstraksiyonu ve iyon değişim

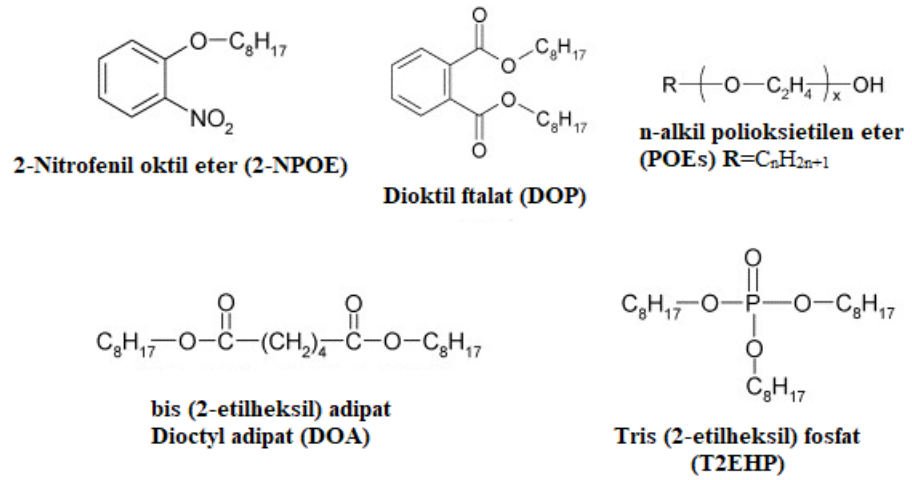
işlemlerinin ekstraksiyon özelliklerini taklit ettiği ancak ekstraksiyon ve geri ekstraksiyonun tek bir aşamada başarılabilme avantajına sahip olduğu gösterilmiştir. Tipik bir PIM, bir baz polimer ve bir taşıyıcıdan (ekstraktan) oluşur. Bazı durumlarda PIM bileşimine bir plastikleştirici veya modifiye edici eklenebilir. PIM'lerin önemli bir yönü, polimer matrisindeki taşıyıcıların dağılımını belirleyen ve sonuçta membran taşıma verimliliğini etkileyen membran malzemelerinin mikro yapısıdır (Sastre ve diğ. 1998). Polimer içerikli sıvı membran konsepti 40 yılı aşkın bir süredir bilinmektedir ve geleneksel çözücü ekstraksiyonuna olası bir alternatif olarak önerilmiştir. Ayrıca iyon seçici elektrotlarda algılama membranlarının hazırlanmasında kullanılmıştır. Bununla birlikte, daha yakın zamanlarda, bu tür membranlar polimer içerikli sıvı membranlar (PIMs) olarak adlandırılmış ve özellikle diğer sıvı membran tipleriyle (örneğin, desteklenmiş sıvı membranlar (SLM'ler)) karşılaştırıldığında mükemmel stabilite ve çok yönlülük sergilemiştir (Kim ve diğ. 2001; Kozłowski ve diğ. 2005).

PIM'ler genellikle bir ekstraktant (taşıyıcı), bir baz polimer (Şekil 2.6'da görülen; yaygın olarak poli (vinil klorür) (PVC) veya selüloz triasetat (CTA)) ve bir plastikleştiriciden oluşur. Taşıyıcı esas olarak, ilgilenilen türler ile bağlanma ve PIM boyunca taşınmasından sorumlu olan bir kompleksleştirici veya bir iyon değiştiricidir. Bu işlem, zar içinde taşınan tahrik kuvveti olarak hareket eden, membran içinde oluşan tür/taşıyıcı kompleksi veya iyon çifti konsantrasyon gradyanına dayanır (Kusumocahyo ve diğ. 2004; Gibbons ve diğ. 1998). Baz polimer, zarın mekanik mukavemetini sağlar bunun yanında plastikleştirici ise membrana esneklik ve bükülebilir bir yapı sağlar. Plastikleştirici, membranın camsı geçiş sıcaklığını düşürür ve membran bileşenlerinin uyumluluğunu geliştirir. Bazı durumlarda, taşıyıcı aynı zamanda bir plastikleştirici gibi davranır ve böylece ek bir plastikleştirici gerekli değildir. Membran halindeki sıvı fazda ekstre edilen türlerin çözünürlüğünü geliştirmek için membran bileşimine ara sıra bir modifiye edici eklenir (Nghiem ve diğ. 2006; Almeida ve diğ. 2017).



Şekil 2.6 Selüloz triasetat ve polivinil klorür yapıları

PIM'lerdeki bireysel moleküler zincirler, çeşitli çekici güçlerin bir kombinasyonu ile bir arada tutulur. Bunlar arasında, van der Waals kuvvetleri bol ama zayıf ve özgül değildir, polar etkileşimleri ise çok daha güçlüdür ancak yalnızca molekülün polar merkezlerinde meydana gelebilir (Nghiem ve diğ. 2006). Plastikleştiriciler genellikle metal türlerini, akıyı ve aynı zamanda membran yumuşaklığını ve esnekliğini arttırmak için kullanılır. Bir plastikleştiricinin rolü, polimer molekülleri arasına nüfuz etmek ve polimerin polar gruplarını kendi polar grupları ile "nötralize etmek" veya sadece polimer molekülleri arasındaki mesafeyi arttırmak ve dolayısıyla moleküller arası kuvvetlerin gücünü azaltmaktır (Kalyan ve diğ. 2009; Ngarisan ve diğ. 2014; Bhagat ve diğ. 2008). Çok sayıda ticari olarak temin edilebilen plastikleştirici bulunurken, bunların bir kısmı PIM'lerdeki uygulamalar için test edilmiştir. Bunlar arasında halen mevcut olan başarılı PIM çalışmalarının çoğunda 2-nitrofenil oktil eter (2-NPOE) ve 2-nitrofenil pentil eter (2-NPPE) kullanılmıştır.



Şekil 2.7 PIM'lerde sık kullanılan plastikleştiriciler

Şekil 2.7' de görülebileceği gibi plastikleştiriciler genellikle bir veya birden fazla, yüksek oranda çözücü oluşturan polar gruplara sahip olan bir hidrofobik alkil omurgasını içeren organik bileşiklerdir. Birincisi plastikleştiricinin membran ile uyumluluğunu idare ederken, ikincisi baz polimerin polar grupları ile etkileşime girer ve böylece onları nötralize eder (Almeida ve diğ. 2012).

PIM'lerde taşıma, esas olarak bir kompleksleştirici madde veya bir iyon değiştirici olan bir taşıyıcı tarafından gerçekleştirilir. Metal iyonu ve taşıyıcı arasında oluşan kompleks veya iyon çifti, membran içinde çözülür ve membran boyunca metal iyonu naklini kolaylaştırır (Wang ve diğ 2000). Çözücü ekstraksiyon reaktiflerinin iyi bilinen sınıfları, yani bazik, asidik ve şelatlama, nötral veya çözücü ve makrosiklik ve makromoleküler PIM'lerde çalışılmıştır. Taşıma verimliliği PIM'ler için başka bir kritik öneme sahiptir. Taşıyıcının moleküler yapısının, hedef çözücülerin membran boyunca taşınım hızını belirgin bir şekilde etkilemektedir (Almeida ve diğ. 2012).

2.6 Membran Prosesleri

Membran prosesleri, moleküllerin, emülsiyonların ve partiküllerin üretimi için reaksiyon, arıtma ve geri kazanım şemalarında giderek daha fazla kullanılmaktadır. Membran sistemleri, seçiciliklerinden, birim alan başına yüksek yüzey-alanından ve

temas seviyesini ve/veya iki faz arasında karışmayı kontrol etme potansiyellerinden yararlanır. Biyolojik moleküllerin işlenmesinde oldukça uygundur çünkü nispeten düşük sıcaklıklarda ve basınçlarda çalışırlar ve faz değişiklikleri veya kimyasal katkılar içermezler, böylece biyolojik ürünlerin denatürasyon, deaktivasyon ve/veya degradasyonunun kapsamını en aza indirir (Zeeman ve Zydney 1996).

Membran prosesleri, boyarmaddeyi sürekli olarak atık sudan ayırmak, konsantre etmek ve en önemlisi, temizleme kabiliyetine sahiptir (Charcosset 2006). Membran ayırıştırma işlemi, farklı kökenlerdeki atık suların arıtılmasında giderek daha fazla kullanım alanı bulmaktadır. Aynı zamanda, boyarmadde çözeltilerinin membranla ayrılması karmaşık bir işlemdir çünkü boyarmaddeler yüksek bir moleküler ağırlığına, sert bir moleküler yapıya ve çok sayıda iyonojenik gruba sahiptir; boyarmaddelerin bir membran tarafından tutulması, gözenek büyüklüğüne, sistemdeki basınca, çözeltilerin konsantrasyonuna ve boyarmaddelerin kimyasal yapısına bağlıdır (Kasperchik ve diğ. 2012). Membran metotlarından, boyarmaddelerin geri kazanımı ve kullanılmış boyama solüsyonlarının saflaştırılmasında teknolojik süreçte tekrarlanan kullanımları ile sıklıkla yararlanılmaktadır. Membran tipleri çeşitlendirilebilir veya diğer boyarmadde sökme yöntemleri ile kombinasyon halinde membranlar kullanılabilir (Akbari ve diğ. 2002). NF, RO ve FO içeren membran ayırma işlemleri organik ve inorganik kirleticilerin giderilmesinde daha yüksek etkinlik gösterir (Wei ve diğ. 2010). Membranlar, mikrokirleticileri boyut dışlama, elektrostatik itme ya da adsorpsiyonla giderebilir. Bununla birlikte, bileşiklerin uzaklaştırılmasının tahmin edilmesi oldukça zordur çünkü bileşiğin fiziko-kimyasal özelliklerine, membran özelliklerine, membran-çözünen etkileşimine ve aynı zamanda matrikse bağlıdır. Membran prosesleri, mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF), ters ozmoz (RO), gaz ayırma, vb. olmak üzere çeşitli sektörlerde yaygın olarak uygulanmaktadır. Esas olarak gözenekli, gözeneksiz ve anizotropik membranlara (gözenekli alt yapı üzerinde desteklenen ince bir yüzey tabakasından oluşan bir zar) olarak sınıflandırılırlar (Oatley-Radcliffe ve diğ. 2017).

Kimyasal koagülasyon, flotasyon, kimyasal oksidasyon ve adsorpsiyon gibi geleneksel yöntemler renklerin atıksudan uzaklaştırılması için kullanılmaktadır. Adsorpsiyon bu yöntemler arasında en çok tercih edilenidir. Fakat doğal olarak yavaş bir süreçtir ve performansı denge ile sınırlıdır. Membran teknikleri, boyarmaddeleri uzaklaştırmak, boyamak için kullanılan yardımcı kimyasalların yeniden

kullanılmasına ya da boyarmadde ve yardımcı maddelere konsantre olma ve arıtılmış su üretme potansiyeline sahip olmalarından dolayı geliştirilmiştir (Raffin ve diğ. 2013).

Mikrofiltrasyon (MF) ile ayırma, esas olarak eleme yoluyla meydana gelir ve nispeten gözenek büyüklüğüne (yaklaşık 0.1-1.0 mikron) bağlı olarak, askıda olan katı maddelerin veya parçacıkların, bakterilerin ve daha az ölçüde organik kolloitlerin uzaklaştırılması ile sınırlıdır. Mikrofiltrasyon, boyarmadde banyosundan ve benzer durulamalardan kolloidal boyarmaddelerin çıkarılması için uygundur (Del-Pino ve Durham 1999).

Ultrafiltrasyon membranlar (UF) esas olarak eleme yoluyla çalışırlar ancak MF'den daha geniş bir ayırma aralığına sahiptirler ve gözenek büyüklüğüne (genellikle 0.01 ile 0.1 µm arasında) bağlı olarak parçacıkları, patojenleri, virüsleri ve kolloidleri tutabilirler. Ultrafiltrasyon ikincil tekstil atıksularının tek aşamalı olarak iyileştirilmesi için etkilidir.

Nanofiltrasyon (NF), düşük moleküler ağırlıklı organik bileşiklerin ve tuzların, kayda değer bir yumuşatma etkisi ile ayrılmasını sağlar. Nanofiltrasyon membranları yüzey fonksiyonel grupların ayrışması veya yüklü çözünen maddelerin adsorpsiyonu nedeniyle orta derecede bir ayırım seviyesi sergiler. Bu, ayırma süreci geleneksel ayrımlarla kıyaslandığında, seçicilik ve maliyet yararı açısından oldukça rekabetçi hale getirir. Böylece, nanofiltrasyon, su ve atık su arıtımı, farmasötik ve biyoteknolojik süreçler ve gıda mühendisliği gibi bir dizi endüstriyel sektörde geniş bir uygulama alanı bulmuştur.

İleri osmozda, saf su, konsantrasyon farkının bir sonucu olarak bir yarı-geçirgen membrandan konsantre bir çözeltiye (örneğin mineral tuzları) kontaminantlarla karışımdan çekilir ve daha sonra seyreltilmiş solüsyon, damıtma gibi başka bir yöntemle saflaştırılmalıdır. Ters osmozda, konsantre bir çözelti kullanılmaz ve saf su, basınç farkının bir sonucu olarak yarı geçirgen zardan geçmeye zorlanır. Genel olarak, çözücülerin osmoz prosesleri ile reddedilmesi, dipol momenti, hidrofobiklik ve bileşiklerin moleküler büyüklüğünden etkilenmektedir (Al-Rifai ve diğ. 2011). Bununla birlikte, gerçek süreçler içinde, çözünen-çözücü ve çözünen-membran etkileşimlerinden dolayı hangi geri çevirme mekanizmasının baskın olduğunu belirlemek zordur (Soltanieh ve Sahebdehfar, 2001).

Polimer membranlar tarafından gazların ayrıştırılması (örneğin gazdan arındırma akımlarından hidrojen, hidrokarbon gazlarından gelen karbon dioksit ve havadaki oksijen veya nitrojen) artık endüstriyel süreçlerdir. Bu ayırmaların temeli, gazların membranlar boyunca geçirgenlik oranlarındaki farktır. Ayrılma için itici güç, membran boyunca ilgili basınç farklarından kaynaklanır. Birçok polimerin hidrojen ve metan gibi gazlara geçirgenliklerinde önemli farklılıklar göstermesine rağmen, polimerler asimetrik zarlar halinde üretilinceye kadar, işlemin ekonomik olarak cazip hale getirilmesi için yeterince yüksek akıntılar elde edilebilecek kadar değildir (Sanders ve diğ. 2013).

2.7 Tekstil Atık Suları

Tekstil endüstrisinin çevre üzerindeki en önemli yükü şu şekilde özetlenebilir: Su, yakıt ve elektrik gibi doğal ve enerji kaynaklarının tüketimi, kimyasalların özellikle boyaların boyama ve baskı işlemleriyle kullanılması ve kanalizasyona veya yüzey suyuna boşaltılmadan önce arıtılması gereken renk gibi birçok kirliliğe sahip atık su üretimidir (Rahul ve diğ. 2015).

Tekstil atık suları için arıtma süreçlerinde büyük miktarda enerjiye ve arıtma işleminden sonra, tehlikeli atık olarak değerlendirilen çamur kalıntısı ve enerji tüketen yakma gibi özel bertaraf işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Görüldüğü gibi, su tüketimi ve kirlilik tekstil endüstrisine ilişkin en önemli çevre sorunlarını oluşturur. Bu nedenle, tekstil sektöründeki üretim organizasyonları, daha az su tüketmek ve deşarj edilen atık suyun deşarj sınırlarını karşılamak için deşarj edilen atık suyun kalitesini arttırmak, daha verimli-çevre dostu teknolojiler geliştirmelidir. Tekstil ürünlerinin üretimi sırasında özellikle boyama ve baskı işlemleriyle büyük miktarlarda su tüketilmektedir. Günlük 8000 kg üretim kapasitesine sahip bir tekstil tesisinin günlük su tüketimi yaklaşık 1,6 milyon litredir. Bu su miktarının yaklaşık olarak %25'i baskı ve boyama işlemlerinde kullanılmaktadır (Adegoke ve Bello 2015). Tekstil endüstrisinin neden olduğu çevre üzerindeki bu büyük etkiyi azaltmak için çeşitli girişimler olmuştur. Daha az su gerektiren yeşil teknoloji ile yönetilen düşük etkili boyarmaddeler ve süreçler, üretimden sonra veya üretim sırasında alınan sonuçlardan daha etkilidir. Ayrıca tekstil işleme sistemlerinin daha etkili bir şekilde denetlenmesi önemli bir noktadır (Natarajan ve diğ. 2018). Günümüzde, tekstil endüstrisinde

aromatik ve heterosiklik boyarmaddeler kullanılmaktadır. Boyarmaddenin komplike ve stabil yapısı, sadece tekstil atık suyunda değil, aynı zamanda her türlü kompleks matriksde de bozulma durumunda daha büyük bir zorluk oluşturmaktadır (Ding ve diğ. 2015). Boyarmaddelerin mineralizasyonu, organik bileşikler ve dolayısıyla tekstil endüstrisi ve boyarmadde imalat sanayii tarafından üretilen atık suyun toksisitesi, temel ve büyük bir ekolojik sorundur. Bu nedenle endüstriyel alanda oluşan gerçek tekstil atık suların giderimi ekolojik dengenin korunması bakımından dikkat çekicidir.

2.8 Boyarmadde Giderimi İçin Mevcut Yöntemler

Boyarmadde yatağı atıklarının arıtmak için sayısız yöntem vardır. Pıhtılaşma, kimyasal oksidasyon, membran ayırma işlemi, elektrokimyasal ve aerobik ve anaerobik mikrobiyal degradasyon gibi atık sulardan gelen kirletici maddelerin uzaklaştırılmasına yönelik birçok tekniğin varlığına rağmen, bu yöntemlerin her birinin kendine özgü sınırlamaları vardır. Bu ayırma teknolojileri üç kategoriye ayrılabilir: fiziksel, kimyasal ve biyolojik (Ghoreishi ve Haghghi 2003). Boyarmadde giderme yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları Tablo 2.1’de verilmiştir (Salleh ve diğ. 2011).

Tablo 2.1 Boyarmadde giderme yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları

Yöntemler	Avantajları	Dezavantajları
<i>Kimyasal Yöntemler</i>		
Oksidatif süreç	Uygulama basitliği	(H ₂ O) ajanının bazı yollarla aktive edilmesi gerekiyor
H ₂ O ₂ + Fe (II) tuzları (Fenton reajanı)	Fenton reaktifi uygun bir kimyasal araçtır.	Çamur üretimi
Ozonlama	Ozon gaz halinde uygulanabilir ve atıksu ve çamur hacmini artırmaz.	Kısa yarı ömrü (20 dk)
Fotokimyasal	Çamur oluşmaz ve kötü kokular büyük ölçüde azaltılır.	Yan ürünlerin oluşumu
Sodyum hipoklorit (NaOCl)	Azo-bağ bölünmesini başlatır ve hızlandırır	Aromatik aminlerin salınımı
Elektrokimyasal yıkım	Kimyasal madde tüketimi yok ve çamur birikmesi yok	Göreceli olarak yüksek akış oranları, boyarmadde gideriminde doğrudan bir azalmaya neden olur
<i>Biyolojik Yöntemler</i>		
Beyaz çürük mantarlarla dekolizasyon	Beyaz çürük mantarlar enzimleri kullanarak boyamaddeleri bozabilir	Enzim üretiminin güvenilir olmadığı da görülmüştür.
Diğer mikrobik kültürler (karışık bakteri)	24-30 saat içinde yeniden renklendirildi	Aerobik koşullar altında azo boyamaddeleri kolayca metabolize edilmez.
Yaşayan / ölü mikrobiyal biyokütle tarafından adsorpsiyon	Bazı boyarmaddeler mikrobik türler ile bağlanma için özel bir afiniteye sahiptir.	Tüm boyarmaddeler için etkili değildir
Anaerobik tekstil boyarmaddesi biyoremediasyon sistemleri	Azo ve diğer suda çözünen boyarmaddelerin renklendirilmesini sağlar.	Anaerobik çöküş metan ve hidrojen sülfür verir
<i>Fiziksel Yöntemler</i>		
Aktif karbon ile adsorpsiyon	Çok çeşitli boyarmaddelerin iyi temizlenmesi	Çok pahalı
Membran filtrasyonu	Tüm boyarmadde tiplerini kaldırır	Konsantre çamur üretimi
İyon değişimi	Rejenerasyon: adsorban kaybı yok	Tüm boyarmaddeler için etkili değildir
Işınlama	Laboratuvar ölçeğinde etkili oksidasyon	Birçok çözünmüş O ₂ gerektirir
Elektrokinetik pıhtılaşma	Ekonomik olarak uygulanabilir	Yüksek çamur üretimi

3. YÖNTEM

3.1 Materyaller

3.1.1 Cihazlar

Deneysel çalışmalar sırasında kullanılan cihazlar Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1 Deneysel çalışmada kullanılan cihazlar ve kullanım amaçları

Cihaz	Kullanımı
UV/Visible spektrofotometre (PG Instruments Ltd T80+)	Spektrum taraması ve aktivite tayinleri için kullanılmıştır.
FT-IR (Perkin Elmer Spektrum)	Karakterizasyon analizi için kullanılmıştır.
pH metre (Hanna instruments HI221)	Çözeltilerin pH’larını ayarlamak için kullanılmıştır.
Santrifüj (Nüve NF048)	Örneklerdeki katı hücre süspansiyonunu ayırmak için kullanılmıştır.
Otoklav (Nüve OT40L)	Sterilizasyonu sağlamak için kullanılmıştır.
Isıtmalı Karıştırıcı (Wisestir MSH-20A)	Membran çalışmaları için kullanılmıştır.
Etüv (Nüve FN 400)	Hücre yaşam koşullarını sağlamak için kullanılmıştır.
SEM (LEICA EM CPD300)	Yüzey karakterizasyon analizi için kullanılmıştır.

3.1.2 Kullanılan Kimyasallar ve Bazı Çözeltilerin Hazırlanışı

Tablo 3.2 Deney sırasında kullanılan bazı çözeltiler ve hazırlanışı

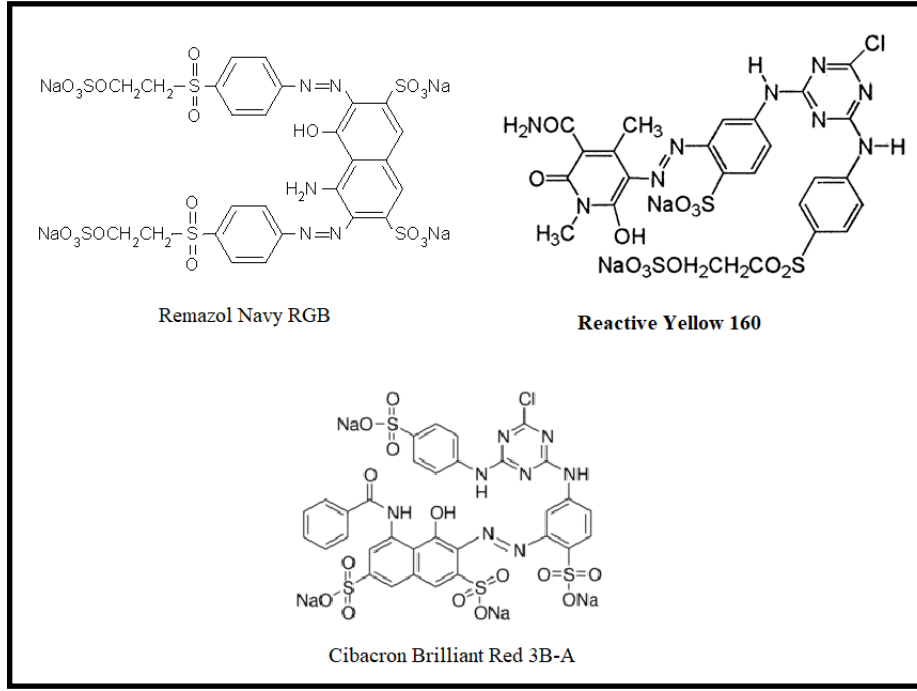
Çözelti	Hazırlanışı
Boyarmadde	Deneylemizde 1000 ppm'lik stok boyarmadde çözeltileri kullanılmıştır. Kullanılan boyarmaddelerden 1 g tartılıp balon joje içerisinde saf su ile 1000 ml'ye tamamlarız.
% 0,9'luk Tuz Çözeltisi(NaCl)	% 0,9'luk tuz çözeltisi için 0,009 g NaCl balon joje içerisinde saf su ile 100 ml'ye tamamlanarak hazırlanmıştır.
Sodyum Asetat Tamponu	100 mM Sodyum asetat tamponu, 0,8203 g Na-Asetat 100 ml'lik balon joje içerisinde üzerine saf su ekleyerek 100 ml'ye tamamlanmıştır.
ABTS	0,1 mM ABTS çözeltisi, 0,00054 g ABTS 100 ml balon joje içerisinde saf su ile 100 ml'ye tamamlanarak hazırlanmıştır.
Malonat Tamponu	50 mM Malonat tamponu,
MnSO ₄	0,1 mM MnSO ₄ çözeltisi, 1,6902 g MnSO ₄ tartılarak 100 ml balon joje içerisinde saf su ile 100 ml'ye tamamlanarak hazırlanır.
H ₂ O ₂	0,001M H ₂ O ₂ çözeltisi, 0,1 ml alınıp balon joje içerisinde saf su ile 100 ml'ye tamamlanarak hazırlanır.
% 2 malt ekstrakt broth	2 g malt ekstrakt broth, 100 ml saf suda çözülerek hazırlanır.

3.1.3 Kullanılan Boyarmaddeler

Deneyisel çalışmalarda kullanılan tekstil boyarmaddelerinin ticari isimleri kimyasal formülleri ve molekül ağırlıkları Tablo 3.3'te verilmektedir. Boyarmaddelerin açık kimyasal yapıları ise Şekil 3.1'de verilmektedir.

Tablo 3.3 Boyarmaddelere ait özellikler

Boyarmadde	Kimyasal Formül	Molekül ağırlığı (g mol ⁻¹)
Cibacron Brilliant Red 3B-A	C ₃₂ H ₂₄ ClN ₈ Na ₄ O ₁₄ S ₄	1000,25
Remazol Navy RGB	C ₂₆ H ₂₁ N ₅ Na ₄ O ₁₉ S ₆	991,789
Reactive Yellow 160	C ₂₅ H ₂₂ ClN ₉ Na ₂ O ₁₂ S ₃	818,13



Şekil 3.1 Boyarmaddelerin kimyasal yapıları

3.1.4 Enzim Üretim Ortamının Hazırlanması

Tablo 3.4 Enzim üretim ortamı

Madde	Miktar (g/L)
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	1,00
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,05
CaCl_2	0,01
Glukoz	10,00
Yeast Extract	0,025

Enzim üretim ortamı, beher içerisinde Tablo 3.4’de verilen maddelerden konulup 1000 ml su içinde çözülerek hazırlanmıştır. Hücre ortamının pH’ı 5-5,5 değerleri arasında olacak şekilde sodyum asetat tamponu ile ayarlanmıştır.

3.2 Hücre Süspansiyonunun Hazırlanması

M. esculenta % 2 (w/v) malt ekstrakt içeren ortamlarda 4 °C'de buzdolabında saklanıp 26 °C'de 72 saat boyunca aktive olması sağlanmıştır. Oluşan hücre miselleri önceden sterilize edilmiş % 0,9'luk NaCl çözeltisi ile 100 mL % 2 malt ekstrakt broth (pH 4,5) içeren 250 mL'lik erlenlere aktarıldı ve 4 gün boyunca 26 °C ve 175 rpm'de orbital çalkalayıcıda gelişmesi sağlanmıştır.

3.3 Serbest Hücreler ile Boyarmaddelerin Yıkımı

Mikrobiyal giderimde Cibacron Brilliant Red 3B-A, Remazol Navy RGB, Reactive Yellow 160 boyar maddelerinin yıkımı çalışılmıştır. Bu boyar maddelerin giderimi beyaz çürükçül fungus sınıfında yer alan *M.esculenta* hücreleri ile 26 °C ve 175 rpm'de orbital çalkalayıcıda gerçekleştirilmiştir. Serbest hücrelerle yapılan çalışmalarda 10 pellet kullanılmıştır.

3.4 Hücre İmmobilizasyonu ve Boyarmaddelerin Yıkımı

Giderim sadece serbest formdaki hücreler ile değil aynı zamanda immobilize formdaki hücreler ile de gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda *M. esculenta* hücreleri beş farklı destek materyaline (jelatin, polistiren, kaolin, selüloz, PIM membran) immobilize edilerek ve bu immobilize hücrelerle 3 farklı boyar maddenin farklı konsantrasyonlardaki giderimi incelenmiştir. Belirli miktarda tartılan taşıyıcılar erlende sterilize edilmiş ve üzerlerine homojenize edilmiş hücre süspansiyonu eklenerek tutuklanması sağlanmıştır.

Jelatin İmmobilizasyonu: Jelatin immobilizasyonu için % 20'lik jelatin solüsyonu ile 10 pellet *M.esculenta* hücre karıştırılmıştır. Daha sonra oda sıcaklığında kalıplara dökülen karışım 1 gün buz dolabında soğutulduktan sonra sodyum asetat tamponu içerisinde 15 dakika bekletilmiştir. Beklemeden sonra süzülerek 15 dakika distile su içerisinde de bekletilmiş ve tekrar süzülmüştür. Bu ortamdan alınıp süzülen jelatin glukoz içeren enzim üretim ortamına aktararak üzerine belirli

konsantrasyonlardaki (10 mg/L, 25 mg/L, 50 mg/L, 75 mg/L) boyarmadde çözeltilerimizi ilave edilerek 4 gün boyunca alınan örneklerdeki absorbans değişimi, spektrum taramaları, lakkaz ve MnP aktivite değişimleri izlenmiştir.

Polistiren, Kaolin, Selüloz İmmobilizasyonu: Sterilizasyonu sağlanmış destek materyalleri 0,5 g olarak tartıldıktan sonra erlende sterilize edilerek üzerlerine homojenize edilmiş hücre süspansiyonu ilave edilmiştir. İmmobilizasyon, sabit miktardaki taşıyıcılar üzerinde 12 saat boyunca 65 rpm'lik çalkalama hızında 26 °C'de orbital çalkalayıcıda gerçekleştirilmiştir. Hücrelerin taşıyıcılar üzerinde adsorpsiyonları için optimum koşullar belirlenip, tutuklanmanın başlangıcından itibaren belirli aralıklarla ortamdaki alınan örneklerin OD₅₆₀ (560 nm'deki optik yoğunluk) değerleri okunarak tutunmayan hücre yoğunluğu tespit edilmiştir. Tutuklanmanın gerçekleşip gerçekleşmediği SEM analizleri ile teyit edilmiştir.

3.5 Polimer İçerikli Biyomembran İmmobilizasyonu (Ekogreen Biyomembran Hazırlama):

Polimer içerikli biyomembranın hazırlanması için 0,200 g CTA üzerine 15 mL diklormetan ilave edilmiştir. Bu karışım 6 saat boyunca karıştırılmıştır. Diğer yandan 10 mL diklormetan, 0,35 mL 2-NPOE ve taşıyıcı olarak *M. esculenta* hücresi 3 saat boyunca karıştırılmıştır. Her iki karışımda belirtilen sürelerin sonunda birbirine eklenerek 3 saat boyunca karıştırılmaya devam edilmiştir. Daha sonra bu işlemlerin sonunda hazırlanan karışım 24 saat çözücünün buharlaşması için bekletilmiştir. Çözücü buharlaştıktan sonra pedri kabından soğuk su yardımıyla çıkarılan biyomembran difüzyon hücresine yerleştirilmiştir.



Şekil 3.2 EgBM deneylerinde kullanılan düzenek

3.6 Enzim aktivite tayinleri

3.6.1 Lakkaz Enzim Aktivitesi

Lakkaz enzim aktivitesi tayini literatürde belirtildiği şekilde yapılmıştır. (Eggert ve diğ. 1996). Aktivite, ABTS'nin enzimatik oksidasyonunun 420 nm dalgaboyundaki değişiminin ölçülmesi ile belirlendi (pH:4,5). Lakkaz aktivitesi 3 ml hacminde Tablo 3.5'da verilen oranlarda sodyum asetat tamponu, ABTS ve numuneden kullanılarak ölçülür.

Tablo 3.5 Lakkaz aktivitesi tayini için kullanılan kimyasallar

$\epsilon = 3,6 \times 10^4 \text{ cm}^{-1} \text{ M}^{-1}$ $\lambda = 420 \text{ nm}$	Sodyum-Asetat Tamponu	ABTS	Numune
Kör	2,70	0,30	-----
Örnek	2,40	0,30	0,30

3.6.2 Mangan peroksidaz enzim aktivitesi

MnP enzim aktivitesi tayini literatürde belirtildiği şekilde yapılmıştır. (Wariishi ve diğ. 1992). Malonik asit'in hidrojen peroksit tarafından oksidasyonunun 270 nm dalga boyunda ölçülmesi ile belirlenmiştir (pH:4,5). Mangan peroksidaz aktivitesi 3 ml hacminde Tablo 3.6'de verilen oranlarda malonat tamponu, MnSO_4 , H_2O_2 ve numuneden kullanılarak ölçülür.

Tablo 3.6 MnP aktivitesi tayini için kullanılan kimyasallar

$(\epsilon = 11590 \text{ cm}^{-1} \text{ M}^{-1})$ $\lambda = 270 \text{ nm}$	Malonat Tamponu	MnSO_4	H_2O_2	Numune
Kör	2,40	0,30	0,30	----- -
Örnek	2,10	0,30	0,30	0,30

Enzim aktivitelerinin hesaplanması aşağıdaki denklem 'e göre yapılmıştır.

Denklem 1 Aktivite hesaplanması için kullanılan denklem

$$\text{Aktivite (U/L)} = (\text{Abs}/\varepsilon) \times (3/1000) \times (1/1) \times (1/V_{enz}) \times 10^6$$

3.7 FT-IR Analizleri ve Spektrum Taraması

Mikrobiyal boyarmadde giderimi çalışmalarında ve giderimden sorumlu enzimlerin belirlenmesiyle yapılan enzimatik boyarmadde giderimi çalışmalarında belirli aralıklarla örnek alınmıştır. Alınan örneklerin FT-IR analizleri ve dalga boyu taraması yapılmıştır.

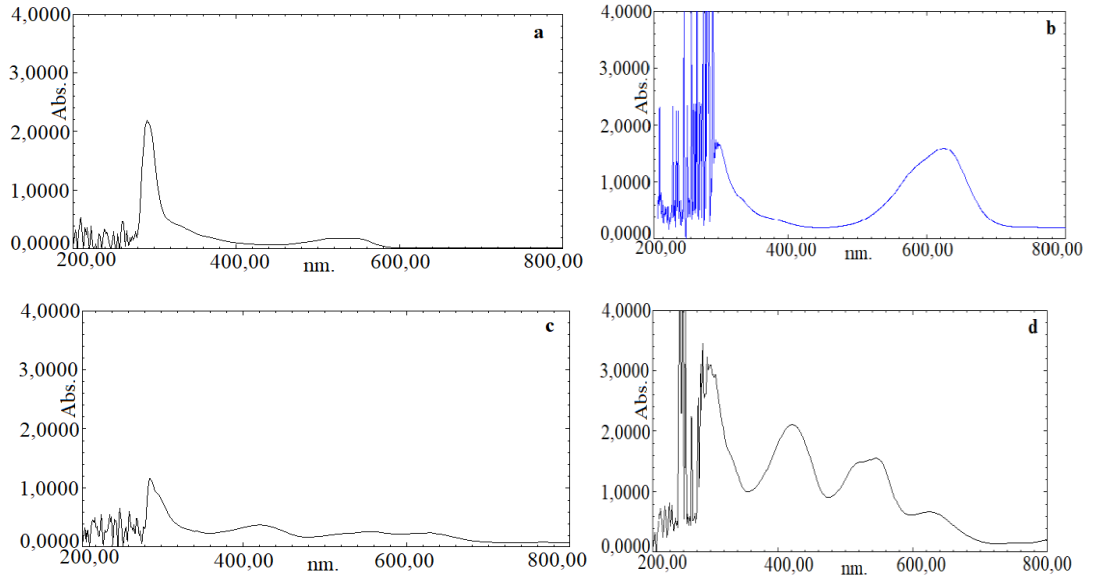
3.8 SEM Analizi

Kurutma işlemi için LEICHA EM CPD300 marka cihaz kullanılmış olup değiştirici sıvı olarak aseton kullanılmıştır. Sıvı aseton örnek yüzeyini kaplayacak şekilde doldurulduktan sonra sistem 15 °C'ye kadar soğutulmuştur. Sistemde örnek için optimum sıcaklık sağlandıktan sonra kurutmayı başlatmak için sisteme CO₂ gazı verildi. Aseton uzaklaştırıldıktan sonra sistem süper kritik nokta olan 35 °C sıcaklık ve 79 bar'a ısıtılarak kurutma işlemi tamamlanmıştır. Örneklerin kaplaması altın ile yapılmıştır.

4. BULGULAR

4.1 Boyarmaddelerin Dalga Boylarının Belirlenmesi:

Boyarmaddelerin dalga boyu taramaları 200-800 nm arasında UV spektrometresinde yapılmıştır. Boyarmaddelere ait spektrum grafikleri ayrı ayrı ve karışım halinde alınmıştır.



Şekil 4.1 Boyarmaddelerin spektrum taramaları a: Cibacron Brilliant Red 3B-A, b: Remazol Navy RGB, c: Reactive Yellow 160, d: Karışım halinde

Şekil 4.1'deki spektrum taramalarına bakıldığında, maksimum absorpsiyon yaptıkları dalga boyları, Cibacron Brilliant Red 3B-A için 519 nm, Remazol Navy RGB için 625 nm ve Reactive Yellow 160 için 421 nm olarak tespit edilmiştir. Boyarmadde karışımının spektrum grafiğine bakıldığında üç boyarmaddeninde pikleri görülmektedir.

4.2 Boyarmadde Giderimi

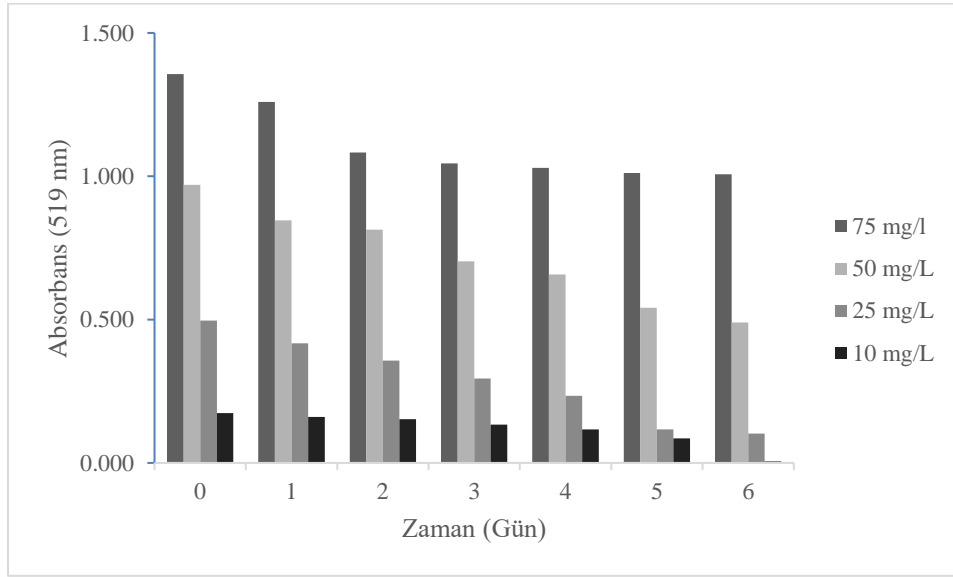
4.2.1 Serbest Hücrelerle Boyarmadde Giderimi

Tüm deneyler steril koşullar altında gerçekleştirilmiştir. Ortamlar, tüm cam malzemeler ve materyaller, 20 dakika boyunca 121 °C'de 2,4 bar basınç altında otoklavlanmıştır. Serbest hücrelerle boyarmadde giderimi glukoz içeren ortamlarda, 4 farklı konsantrasyonda (10 mg/L-75 mg/L) çalışılmıştır. Boyarmaddelerin giderimini belirlemek için maksimum dalga boyundaki absorpsiyon değişimini ve boyarmadde için görünür bölge içindeki ana pik alanının azaltılmasıyla spektrofotometrik olarak belirlenmiştir. Boyarmadde gideriminde rol alan lakkaz ve MnP enzimlerinin aktiviteleride spektrofotometrik olarak takip edilmiştir.

Enzimatik reaksiyonlar oda sıcaklığında (22-25 °C) gerçekleştirilmiştir. Bir birim enzim aktivitesi (U), dakikada 1 µmol substratı oksitleyen enzim miktarı olarak tanımlanmıştır ve sonuçlar U/L olarak ifade edilmiştir.

Serbest hücrelerin aynı zamanda ölü formları kullanılarak biyosorpsiyon çalışmasıda yapılmıştır.

4.2.1.1 Serbest Hücrelerle Cibacron Brilliant Red 3B-A Boyarmaddesinin Giderimi



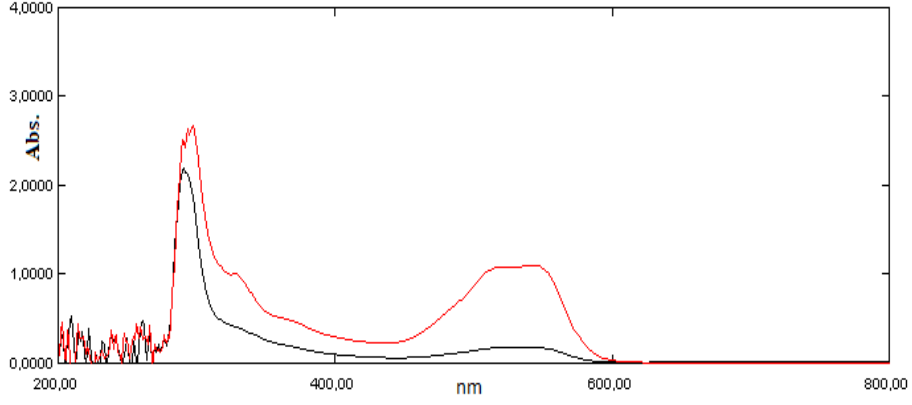
Şekil 4.2 Serbest forumdaki *M.esculenta* ile Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesinin giderimi

UV spektrofotometresi ile yapılan ölçümlerde elde edilen absorbans değerleri Şekil 4.2’de görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonunda boyarmadde içeren ortamda 6 gün boyunca alınan örnekler değerlendirildiğinde yaklaşık olarak %97,13 oranında *M.esculenta* tarafından boyarmadde giderilmiştir.

Tablo 4.1 Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesine ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri

	75 mg/L	50 mg/L	25 mg/L	10 mg/L
% Giderim	25,74	49,48	79,48	97,13
% Biyosorpsiyon	11,90	44,57	64,18	91,15
% Biyodegradasyon	13,84	4,91	15,29	5,97

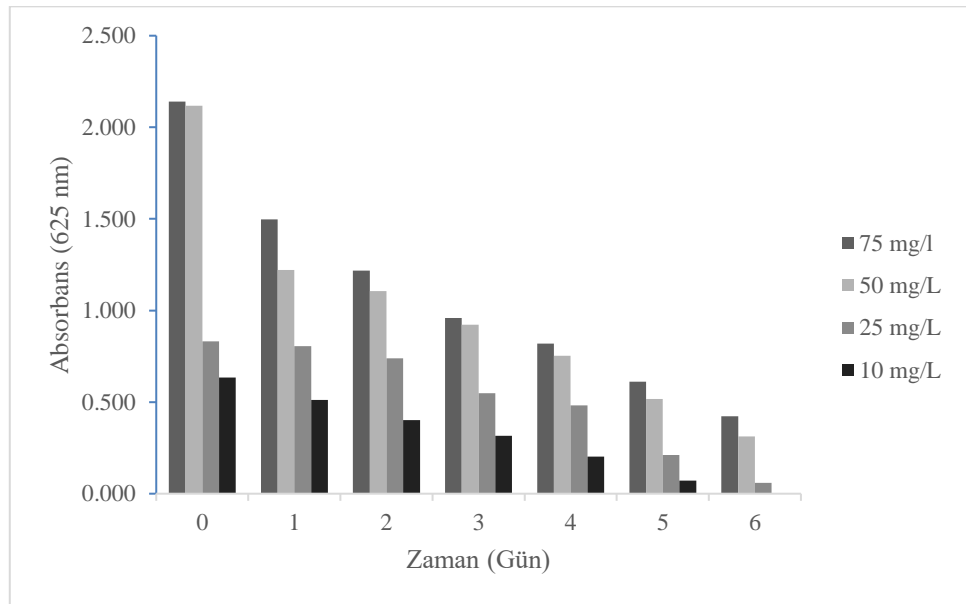
Farklı konsantrasyonlarda Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesini içeren ve bu boyarmaddenin *M.esculenta* tarafından giderimi ve biyosorpsiyon yüzdeleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Boyarmadde konsantrasyonu arttıkça giderim yüzdesi azalmaktadır.



Şekil 4.3 Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesine ait giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği

UV spektrofotometresi ile 200-800 nm arasında yapılan dalga boyu taramasında boyarmaddeye ait pikin 519 nm’de en yüksek pik alanına ulaştığı görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonuna ait 0. ve 6. Güne ait pikler Şekil 4.3’de görüldüğü gibidir. 0. günde maksimum pik alanına ulaşan boyarmaddeye ait dalga boyu piki 6. günün sonunda ise azalmaktadır.

4.2.1.2 Serbest Hücrelerle Remazol Navy RGB Boyarmaddesinin Giderimi



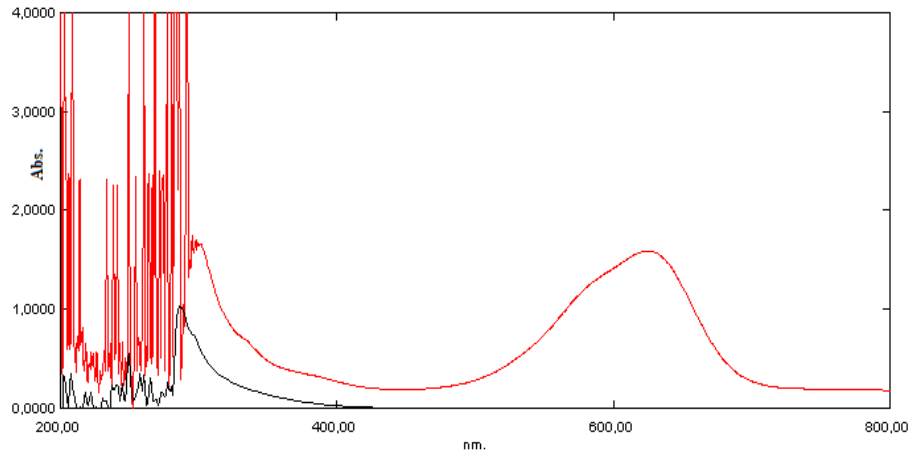
Şekil 4.4 Serbest formdaki *M.esculenta* ile Remazol Navy RGB boyarmaddesinin giderimi

UV spektrofotometresi ile yapılan ölçümlerde elde edilen absorbans değerleri Şekil 4.4’de görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonunda boyarmadde içeren ortamda 6 gün boyunca alınan örnekler değerlendirildiğinde yaklaşık olarak %99,53 oranında *M.esculenta* tarafından giderilmiştir.

Tablo 4.2 Remazol Navy RGB boyarmaddesine ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri

	75 mg/L	50 mg/L	25 mg/L	10 mg/L
% Giderim	80,24	85,26	92,79	99,53
% Biyosorpsiyon	53,04	64,58	73,23	85,06
% Biyodegradasyon	27,20	20,68	19,56	14,47

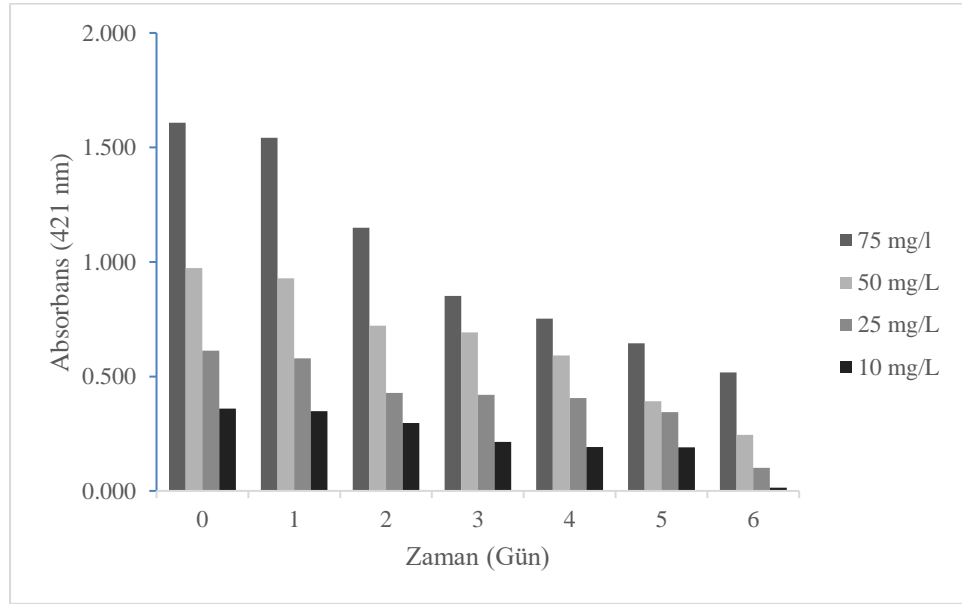
Farklı konsantrasyonlarda Remazol Navy RGB boyarmaddesini içeren ve bu boyarmaddenin *M.esculenta* tarafından giderimi ve biyosorpsiyon yüzdeleri Tablo 4.2’de verilmiştir. Boyarmadde konsantrasyonu arttıkça giderim yüzdesi azalmaktadır.



Şekil 4.5 Remazol Navy RGB boyarmaddesine ait giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği

UV spektrofotometresi ile 200-800 nm arasında yapılan dalga boyu taramasında boyarmaddeye ait pikin 625 nm’de en yüksek pik alanına ulaştığı görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonuna ait 0. ve 6. Güne ait pikler Şekil 4.5’de görüldüğü gibidir. 0. günde maksimum pik alanına ulaşan boyarmaddeye ait dalga boyu piki 6. günün sonunda ise pik alanı kaybolmaktadır.

4.2.1.3 Serbest Hücrelerle Reactive Yellow 160 Boyarmaddesinin Giderimi



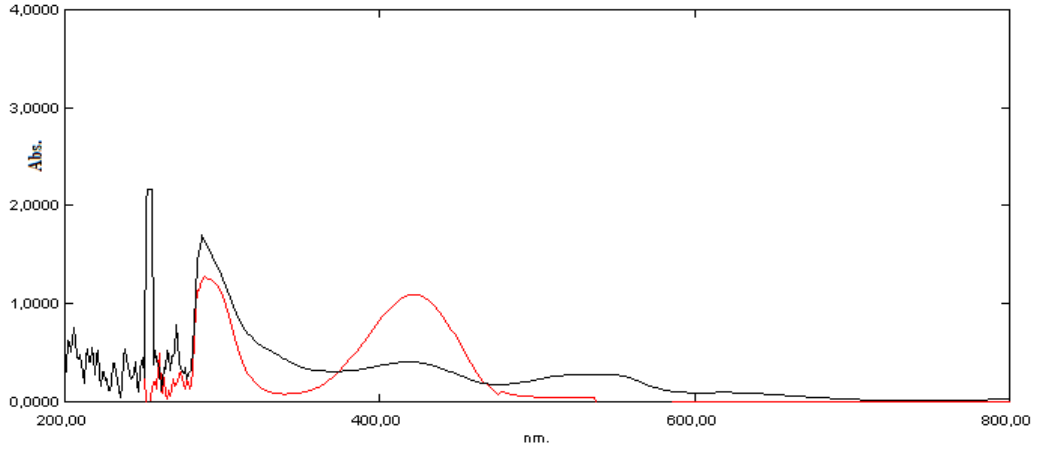
Şekil 4.6 Serbest forumdaki *M.esculenta* ile Reactive Yellow 160 boyarmaddesinin giderimi

UV spektrofotometresi ile yapılan ölçümlerde elde edilen absorbans değerleri Şekil 15’de görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonunda boyarmadde içeren ortamda 6 gün boyunca alınan örnekler değerlendirildiğinde yaklaşık olarak %93,11 oranında *M.esculenta* tarafından uzaklaştırılmıştır.

Tablo 4.3 Reactive Yellow 160 boyarmaddesine ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri

	75 mg/L	50 mg/L	25 mg/L	10 mg/L
% Giderim	67,85	74,82	83,50	93,11
% Biyosorpsiyon	37,06	48,92	59,80	73,33
% Biyodegradasyon	30,78	25,90	23,69	25,78

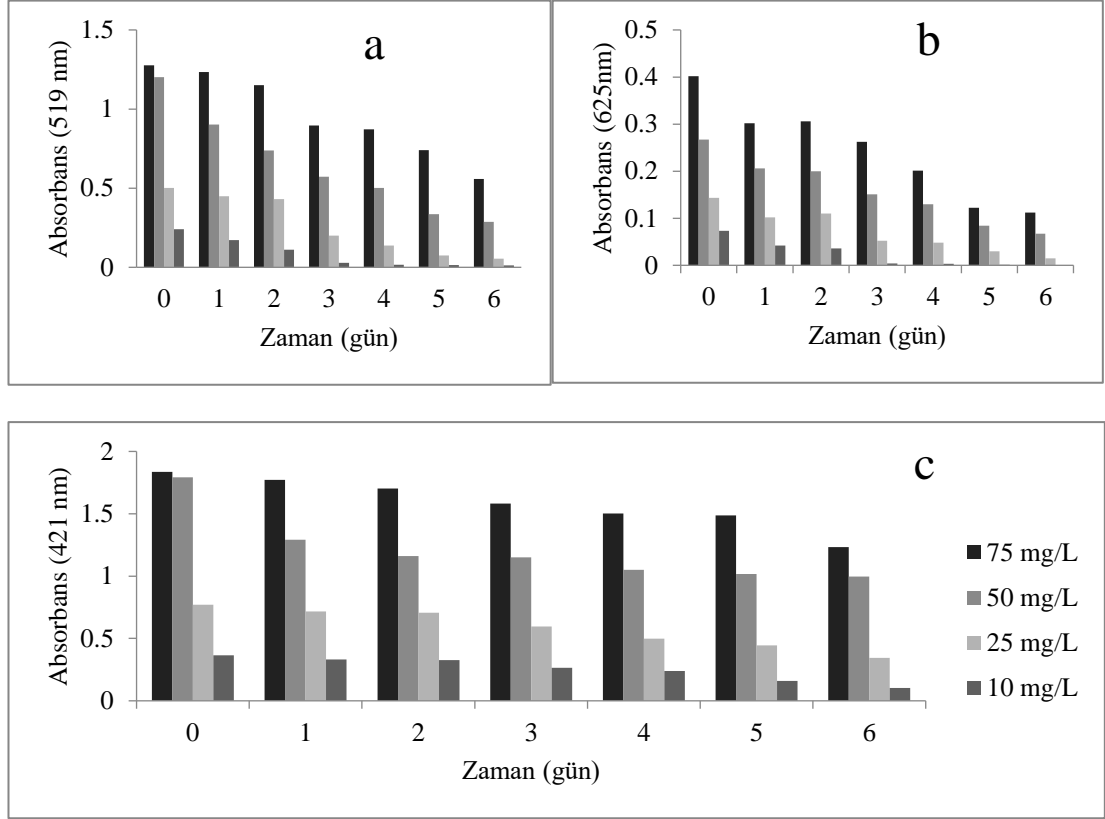
Farklı konsantrasyonlarda Reactive Yellow 160 boyarmaddesini içeren ve bu boyarmaddenin *M.esculenta* tarafından giderimi ve biyosorpsiyon yüzdeleri Tablo 4.3’de verilmiştir. Boyarmadde konsantrasyonu arttıkça giderim yüzdesi azalmaktadır.



Şekil 4.7 Reactive Yellow 160 boyarmaddesine ait giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği

UV spektrofotometresi ile 200-800 nm arasında yapılan dalga boyu taramasında boyaya ait pikin 421 nm’de en yüksek pik alanına ulaştığı görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonuna ait 0. ve 6. Güne ait pikler Şekil 4.7’da görüldüğü gibidir. 0. günde maksimum pik alanına ulaşan boyarmaddeye ait dalga boyu piki 6. günün sonunda ise pik alanı gözle görünür bir şekilde azalmaktadır.

4.2.1.4 Serbest Hücrelerle Karışım Halindeki Boyarmaddelerin Giderimi



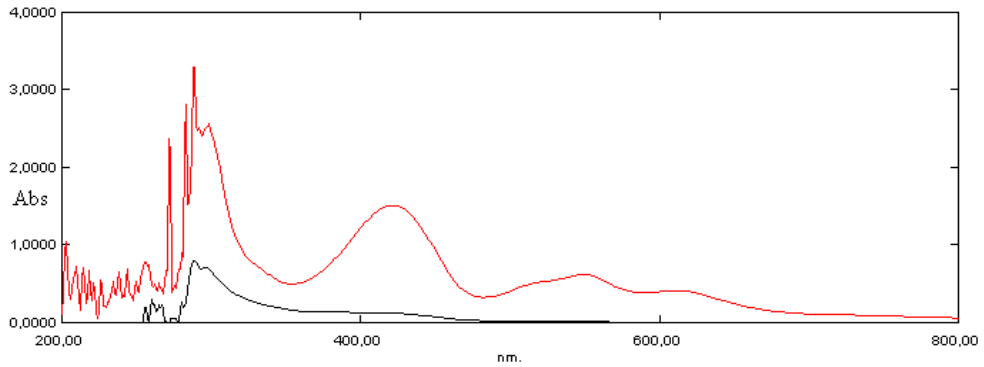
Şekil 4.8 Serbest forumdaki *M.esculenta* ile boyarmadde karışımının giderimi; a: 519 nm dalga boyunda, b: 625 nm dalga boyunda c: 421 nm dalga boyunda

UV spektrofotometresi ile yapılan ölçümlerde elde edilen absorbans değerleri Şekil 4.8’de görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonunda boyarmadde içeren ortamda 6 gün boyunca alınan örnekler değerlendirildiğinde yaklaşık olarak %100 (625nm için), %95,02 (519 nm için) ve %71,78 (421 nm için) oranında *M.esculenta* tarafından uzaklaştırılmıştır.

Tablo 4.4 Boyarmadde karışımına ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri

	Dalga boyu	75 mg/L	50 mg/L	25 mg/L	10 mg/L
	421 nm	68,40	44,39	55,19	71,78
% Giderim	519 nm	89,94	76,12	89,24	95,02
	625 nm	82,81	84,55	89,51	100,00
	421 nm	32,81	6,19	35,80	62,31
% Biyosorpsiyon	519 nm	56,27	66,09	75,00	92,50
	625 nm	72,14	74,91	81,34	96,30
	421 nm	35,59	38,20	19,39	9,47
% Biyodegradasyon	519 nm	33,67	10,03	14,24	2,52
	625 nm	10,67	9,64	8,17	3,70

Farklı konsantrasyonlarda boyarmadde karışımı içeren ve bu boyarmaddelerin *M.esculenta* tarafından giderimi ve biyosorpsiyon yüzdeleri Tablo 4.4’de verilmiştir. Boyarmadde karışımının konsantrasyonu arttıkça giderim yüzdesi azalmaktadır.



Şekil 4.9 Boyarmadde karışımına ait giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği

UV spektrofotometresi ile 200-800 nm arasında yapılan dalga boyu taramasında boyarmadde karışımına ait 3 farklı noktada piklerin 421 nm, 519 nm, ve 625 nm’de en yüksek pik alanına ulaştığı görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonuna ait 0. ve 6. Güne ait pikler Şekil 4.9’de görülmektedir ve 0. günde maksimum pik alanına ulaşan boyarmadde karışımına ait dalga boyularındaki pikler 6. günün sonunda ise pik alanları kaybolmaktadır.

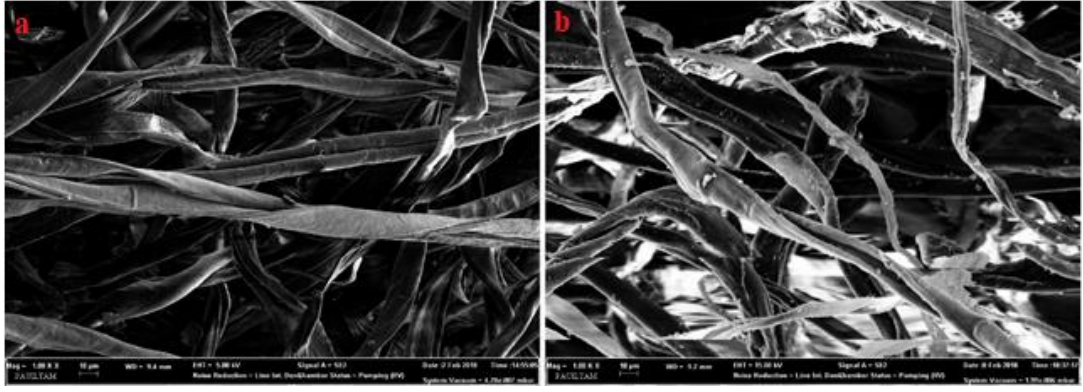
Tablo 4.5 Boyarmaddelerin 10 mg/L konsatrasyonunda ait % giderim değerleri

Boyarmadde	% Giderim
Cibacron Brilliant Red 3B-A	97,13
Remazol Navy RGB	99,53
Reactive Yellow 160	93,11

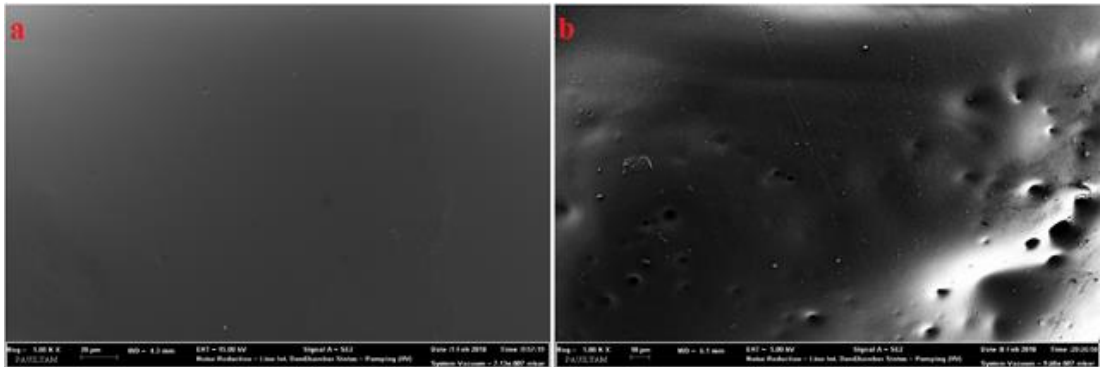
UV spektrofotometresi ile yapılan ölçümlerde 10 mg/L konsatrasyonunda boyarmadde içeren ortamda *M.esculenta* tarafından elde edilen % giderim değerleri Tablo 4.5’de görölmektedir. Remazol Navy RGB %99,53, Cibacron Brilliant Red 3B-A %97,13, ve Rektive Yellow 160 %93,11 oranında giderilmiştir. Serbest hücrelerle yapılan çalışmalarda en iyi giderime uğrayan boyarmadde Remazol Navy RGB boyarmaddesi olmuştur.

4.2.2 İmmobilize Hücrelerle Boyarmadde Giderimi

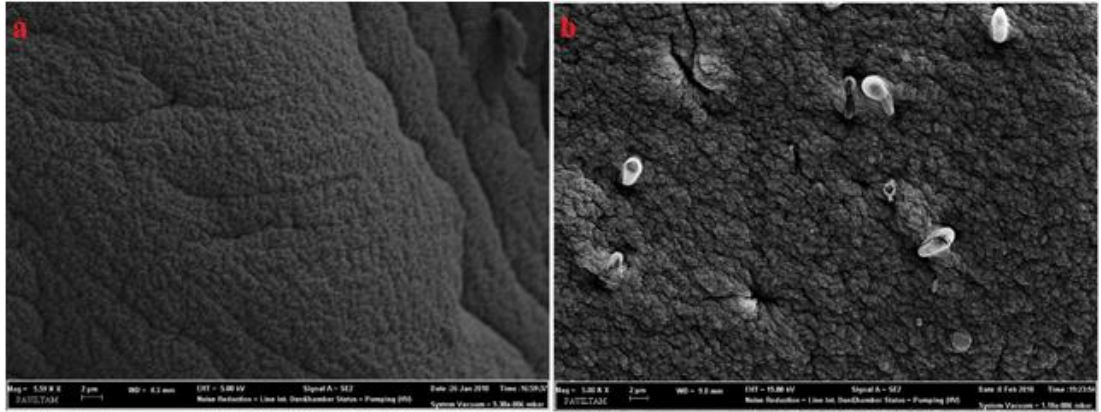
İlk olarak hücrelerin destek materyallerine tutuklanıp tutuklanmadığını gözlemlenmek adına hücreli ve hücreli olarak, herbir destek materyali için iki örnek hazırlanmıştır. Hazırlanan bu örneklerin SEM analizleri yapılmıştır. İmmobilize hücrelerle boyarmadde yıkımı serbest hücrelerle aynı koşullarla gerçekleştirilmiştir. Boyarmaddenin giderimini hangi oranda gerçekleştirdiğini, absorbans değişimi ve UV görünür bölgedeki pik alanındaki azalma ile spektrofotometrik olarak belirlenmiştir. Bu giderimide rol alan ligninolitik enzim sınıfında yer alan lakkaz ve MnP enzimlerinin aktiviteleride spektrofotometrik olarak belirlenmiştir. İmmobilize hücrelerin aynı zamanda ölü formları kullanılarak biyosorpsiyon çalışmasında yapılmıştır.



Şekil 4.10 İmmobilizasyon öncesi ve sonrası SEM görüntüleri; a: Selüloz destek materyaline ait SEM görüntüleri b: Selüloz destek materyaline immobilize *M.esculenta*'ya ait SEM görüntüleri



Şekil 4.11 İmmobilizasyon öncesi ve sonrası SEM görüntüleri; a: Jelatin destek materyaline ait SEM görüntüleri b: Jelatin destek materyaline immobilize *M.esculenta*'ya ait SEM görüntüleri



Şekil 4.12 İmmobilizasyon öncesi ve sonrası SEM görüntüleri; a: Polistiren destek materyaline ait SEM görüntüleri b: Polistiren destek materyaline immobilize *M.esculenta*'ya ait SEM görüntüleri

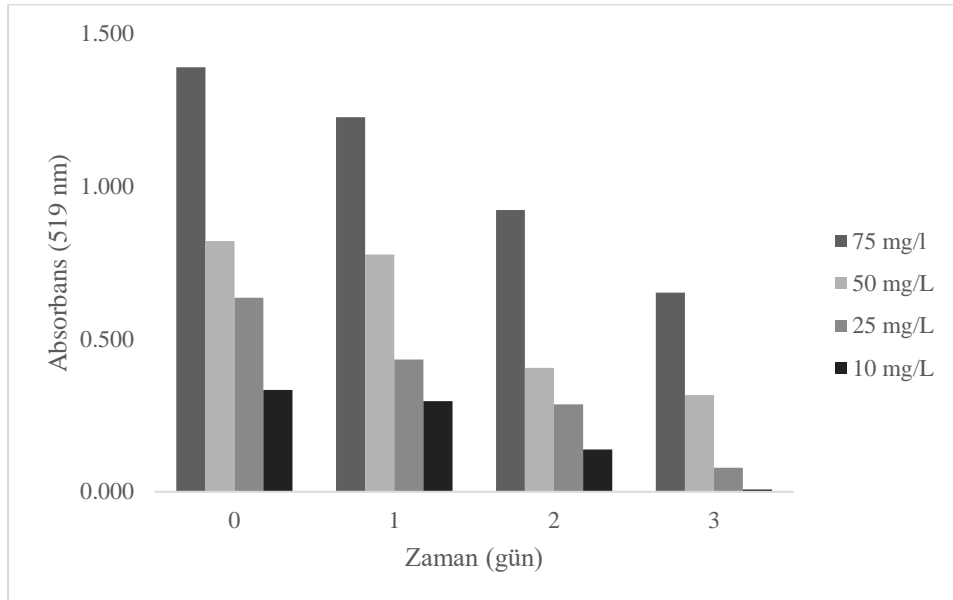
Şekil 4.10,4.11 ve 4.12'deki SEM görüntülerine bakıldığında *M.esculenta*'nın destek materyallerine başarılı bir şekilde immobilize oldukları görülmektedir. Buna ek olarak destek materyallerinin % Adsorbsiyon değerleri Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6 Destek materyallerinin % Adsorpsiyon değerleri

Taşıyıcı	% Adsorpsiyon
Jelatin	-
Polistiren	% 96,02
Kaolin	% 93,11
Selüloz	% 95,37
PIM membran	-

4.2.2.1 İmmobilize Hücrelerle Cibacron Brilliant Red 3B-A Boyarmaddesinin Giderimi

4.2.2.1.1 Selüloz Destek Materyaline İmmobilize *M.esculenta* İle Giderim



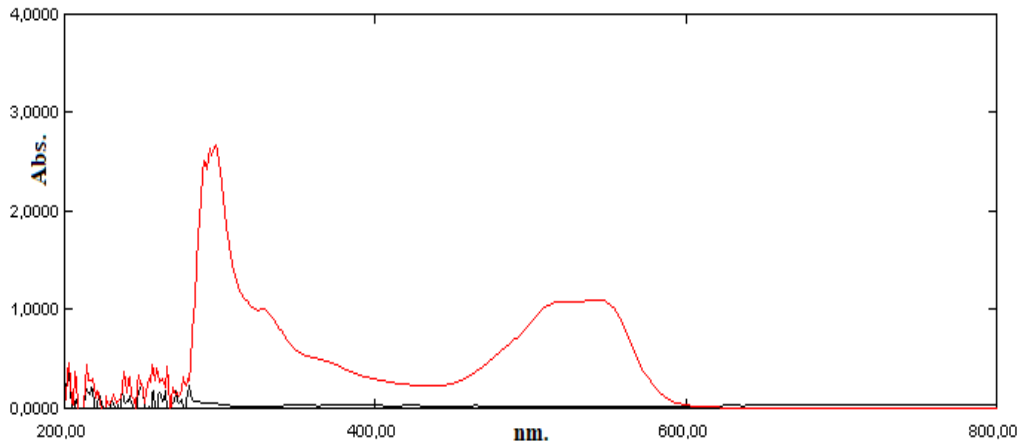
Şekil 4.13 Selüloz destek materyaline immobilize *M.esculenta* ile Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesinin giderimi

UV spektrofotometresi ile yapılan ölçümlerde elde edilen absorpsiyon değerleri Şekil 4.13’de görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonunda boyarmadde içeren ortamda 3 gün boyunca alınan örnekler değerlendirildiğinde yaklaşık olarak %97,9 oranında selüloza immobilize edilmiş *M.esculenta* tarafından uzaklaştırılmıştır.

Tablo 4.7 Selüloz destek materyaline immobilize *M.esculenta* ile Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesine ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri

	75 mg/L	50 mg/L	25 mg/L	10 mg/L
% Giderim	53,09	61,39	87,56	97,90
% Biyosorpsiyon	22,18	26,51	27,73	30,66
% Biyodegradasyon	30,92	34,88	59,83	67,24

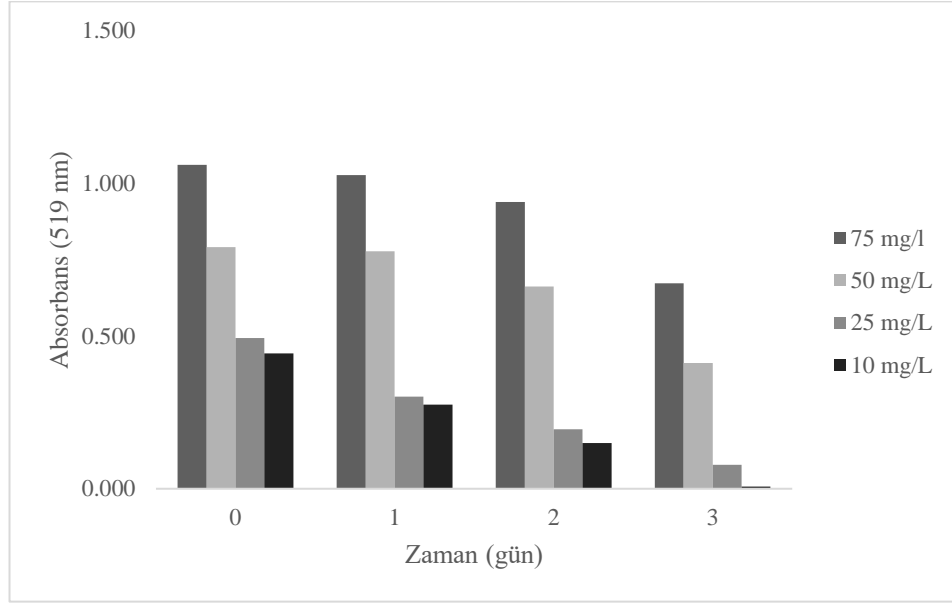
Farklı konsantrasyonlarda Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesini içeren ve bu boyarmaddenin selüloza immobilize edilmiş *M.esculenta* tarafından giderimi ve biyosorpsiyon yüzdeleri Tablo 4.7’de verilmiştir. Boyarmadde konsantrasyonu arttıkça giderim yüzdesi azalmaktadır.



Şekil 4.14 Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesine ait selüloza immobilize *M.esculenta* ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği

UV spektrofotometresi ile 200-800 nm arasında yapılan dalga boyu taramasında boyarmaddeye ait pikin 519 nm’de en yüksek pik alanına ulaştığı görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonuna ait 0. ve 3. gününün sonunda alınan ölçümlere ait pikler Şekil 4.14’de görüldüğü gibidir. 0. günde alınan ölçüme ait pikin maksimum olduğu ve bu pikin pik alanı 3. gününün sonunda kaybolduğu görülmektedir.

4.2.2.1.2 Kaolin Destek Materyaline İmmobilize *M.esculenta* İle Giderim



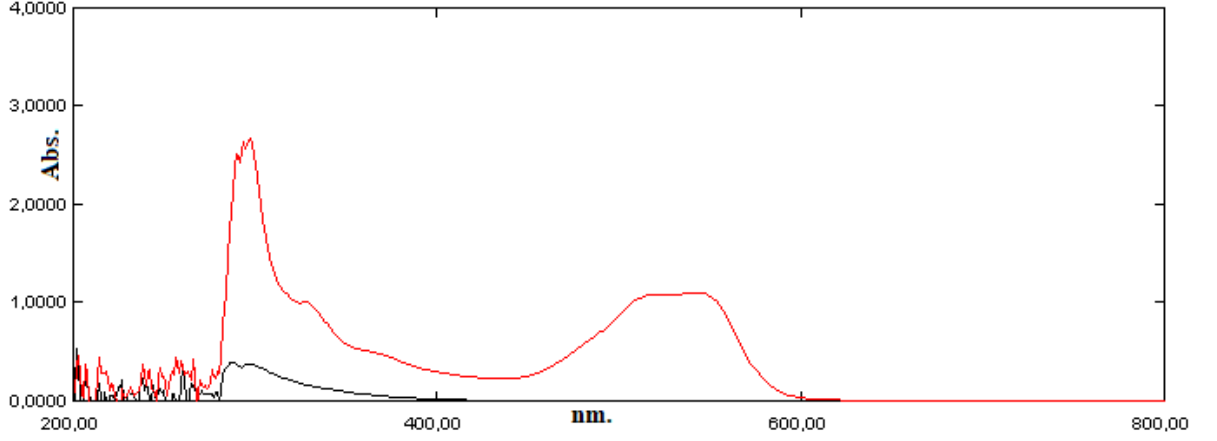
Şekil 4.15 Kaolin destek materyaline immobilize *M.esculenta* ile Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesinin giderimi

UV spektrofotometresi ile yapılan ölçümlerde elde edilen absorbanans değerleri Şekil 4.15’de görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonunda boyarmadde içeren ortamda 3 gün boyunca alınan örnekler değerlendirildiğinde yaklaşık olarak %98,42 oranında kaoline immobilize edilmiş *M.esculenta* tarafından uzaklaştırılmıştır.

Tablo 4.8 Kaolin destek materyaline immobilize *M.esculenta* ile Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesine ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri

	75 mg/L	50 mg/L	25 mg/L	10 mg/L
% Giderim	36,57	47,91	84,21	98,42
% Biyosorpsiyon	36,24	44,70	49,51	59,50
% Biyodegradasyon	0,33	3,22	34,70	38,92

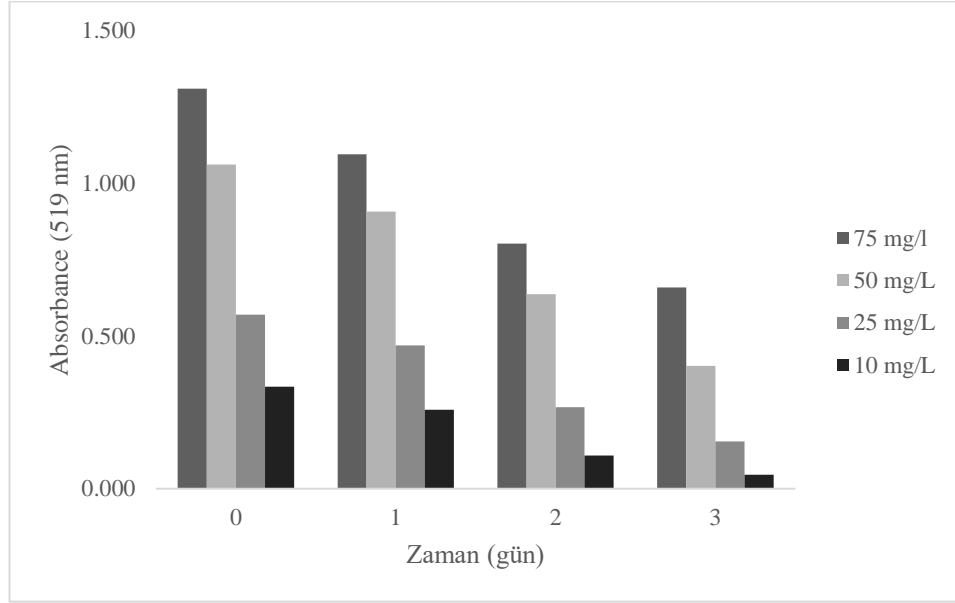
Farklı konsantrasyonlarda Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesini içeren ve bu boyarmaddenin kaoline immobilize edilmiş *M.esculenta* tarafından giderimi ve biyosorpsiyon yüzdeleri Tablo 4.8’de verilmiştir. Boyarmadde konsantrasyonu arttıkça giderim yüzdesi azalmaktadır.



Şekil 4.16 Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesine ait kaoline immobilize *M.esculenta* ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği

UV spektrofotometresi ile 200-800 nm arasında yapılan dalga boyu taramasında boyarmaddeye ait pikin 519 nm’de en yüksek pik alanına ulaştığı görülmektedir. 10 mg/L konsatrasyonuna ait 0. ve 3. gününün sonunda alınan ölçümlere ait pikler Şekil 4.16’de görüldüğü gibidir. 0. günde alınan ölçüme ait pikin maksimum olduğu ve bu pikin pik alanı 3. günün sonunda kaybolduğu görülmektedir.

4.2.2.1.3 Jelatin Destek Materyaline İmmobilize *M.esculenta* İle Giderim



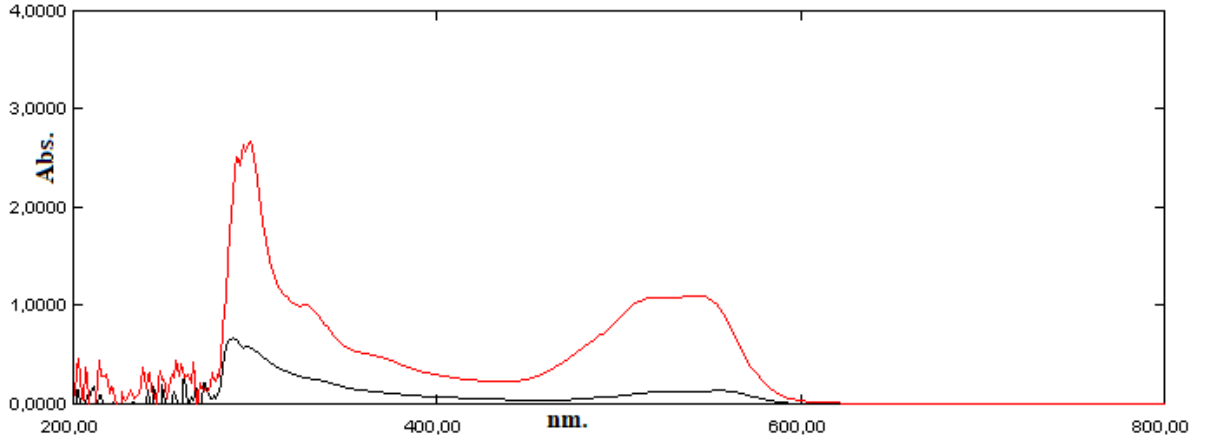
Şekil 4.17 Jelatin destek materyaline immobilize *M.esculenta* ile Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesinin giderimi

UV spektrofotometresi ile yapılan ölçümlerde elde edilen absorbanans değerleri Şekil 4.17’de görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonunda boyarmadde içeren ortamda 3 gün boyunca alınan örnekler değerlendirildiğinde yaklaşık olarak %86,23 oranında jelatine immobilize edilmiş *M.esculenta* tarafından uzaklaştırılmıştır.

Tablo 4.9 Jelatin destek materyaline immobilize *M.esculenta* ile Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesine ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri

	75 mg/L	50 mg/L	25 mg/L	10 mg/L
% Giderim	49,69	62,15	72,81	86,23
% Biyosorpsiyon	46,95	57,07	58,74	74,62
% Biyodegradasyon	2,75	5,08	14,06	11,60

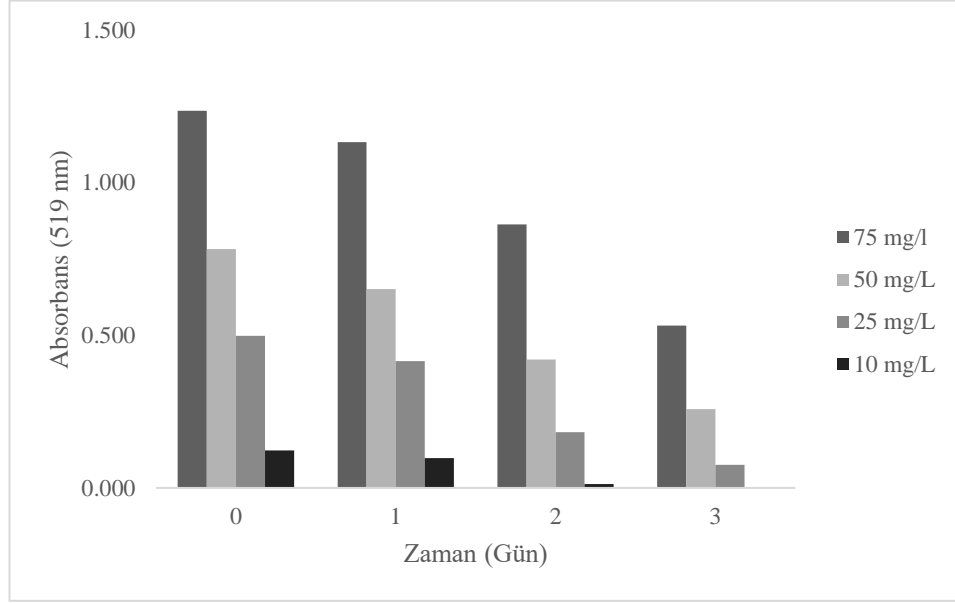
Farklı konsantrasyonlarda Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesini içeren ve bu boyarmaddenin jelatine immobilize edilmiş *M.esculenta* tarafından giderimi ve biyosorpsiyon yüzdeleri Tablo 4.9’da verilmiştir. Boyarmadde konsantrasyonu arttıkça giderim yüzdesi azalmaktadır.



Şekil 4.18 Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesine ait jelatine immobilize *M.esculenta* ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği

UV spektrofotometresi ile 200-800 nm arasında yapılan dalga boyu taramasında boyarmaddeye ait pikin 519 nm'de en yüksek pik alanına ulaştığı görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonuna ait 0. ve 3. gününün sonunda alınan ölçümlere ait pikler Şekil 4.18'de görüldüğü gibidir. 0. günde alınan ölçüme ait pikin maksimum olduğu ve bu pikin pik alanı 3. günün sonunda azaldığı görülmektedir.

4.2.2.1.4 Polistiren Destek Materyaline İmmobilize *M.esculenta* İle Giderim



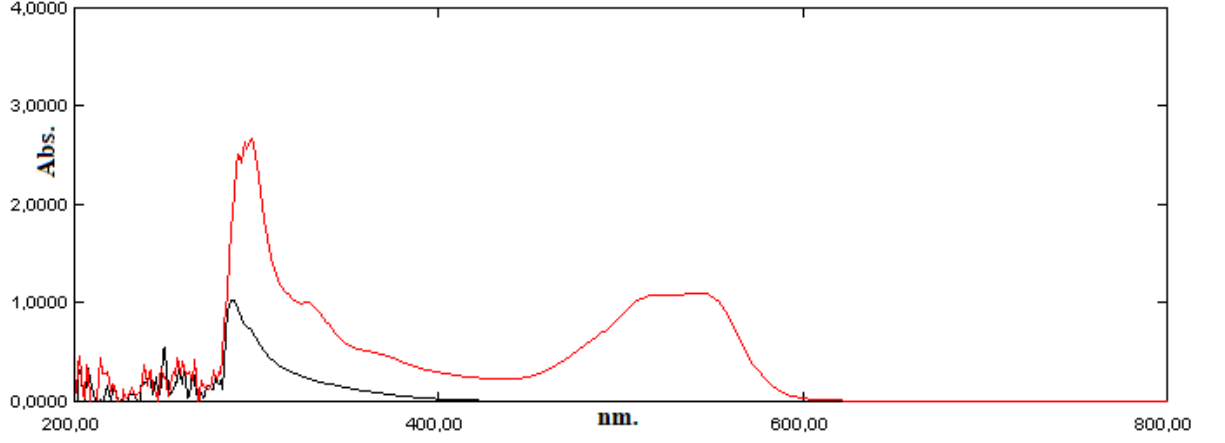
Şekil 4.19 Polistiren destek materyaline immobilize *M.esculenta* ile Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesinin giderimi

UV spektrofotometresi ile yapılan ölçümlerde elde edilen absorbans değerleri Şekil 4.19’de görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonunda boyarmadde içeren ortamda 3 gün boyunca alınan örnekler değerlendirildiğinde yaklaşık olarak %99,19 oranında polistirene immobilize edilmiş *M.esculenta* tarafından uzaklaştırılmıştır.

Tablo 4.10 Jelatin destek materyaline immobilize *M.esculenta* ile Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesine ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri

	75 mg/L	50 mg/L	25 mg/L	10 mg/L
% Giderim	56,92	67,01	84,74	99,19
% Biyosorpsiyon	6,09	10,20	12,53	15,43
% Biyodegradasyon	50,83	56,80	72,21	83,76

Farklı konsantrasyonlarda Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesini içeren ve bu boyarmaddenin polistirene immobilize edilmiş *M.esculenta* tarafından giderimi ve biyosorpsiyon yüzdeleri Tablo 4.10’de verilmiştir. Boyarmadde konsantrasyonu arttıkça giderim yüzdesi azalmaktadır.

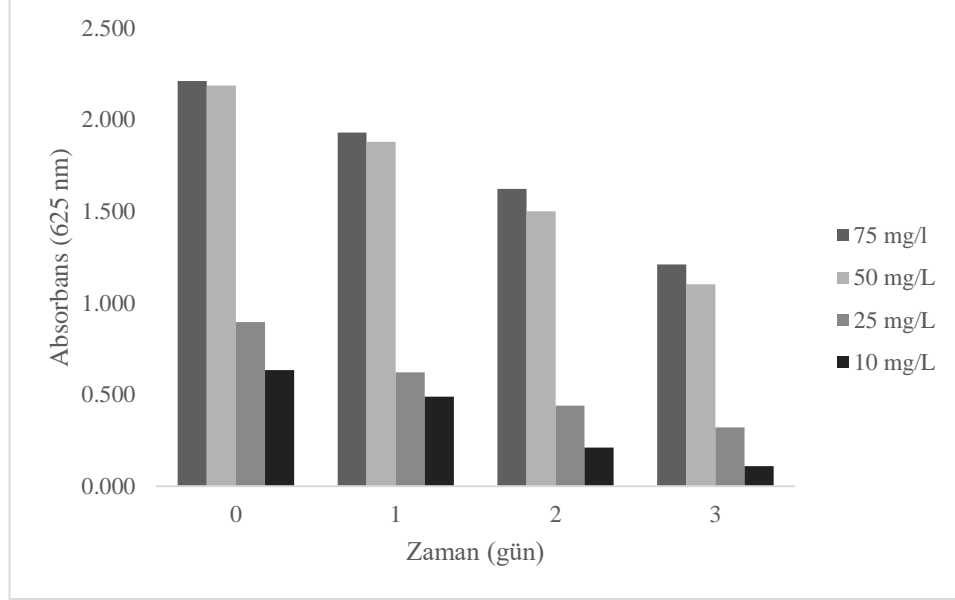


Şekil 4.20 Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesine ait polistirene immobilize *M.esculenta* ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği

UV spektrofotometresi ile 200-800 nm arasında yapılan dalga boyu taramasında boyarmaddeye ait pikin 519 nm’de en yüksek pik alanına ulaştığı görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonuna ait 0. ve 3. gününün sonunda alınan ölçümlere ait pikler Şekil 4.20’da görüldüğü gibidir. 0. günde alınan ölçüme ait pikin maksimum olduğu ve bu pikin pik alanı 3. günün sonunda kaybolduğu görülmektedir.

4.2.2.2 İmmobilize Hücrelerle Remazol Navy RGB Boyarmaddesinin Giderimi

4.2.2.2.1 Selüloz Destek Materyaline İmmobilize *M.esculenta* İle Giderim



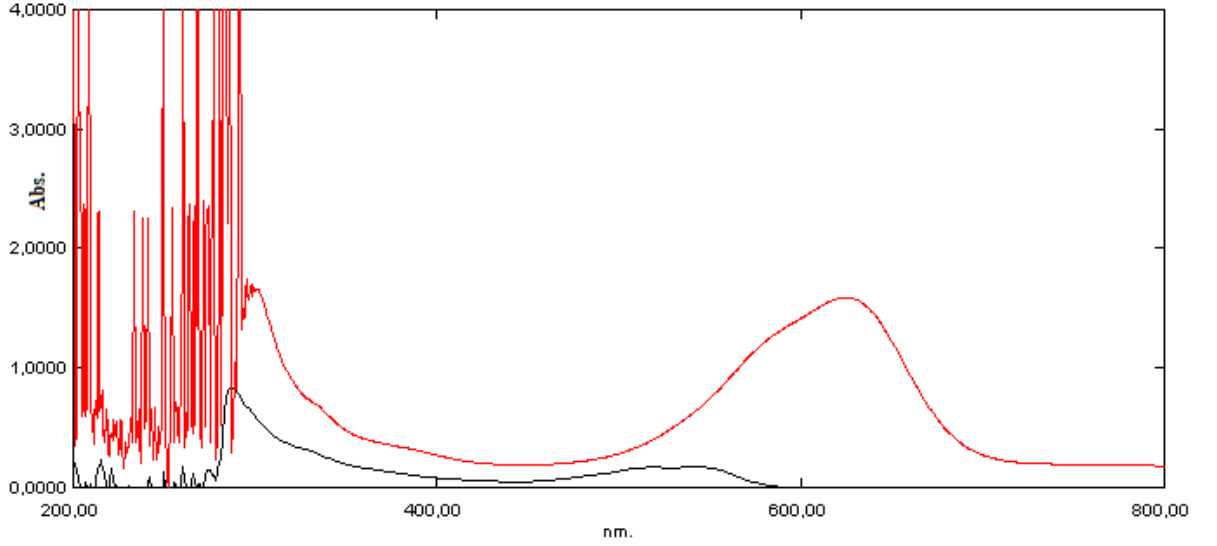
Şekil 4.21 Selüloz destek materyaline immobilize *M.esculenta* ile Remazol Navy RGB boyarmaddesinin giderimi

UV spektrofotometresi ile yapılan ölçümlerde elde edilen absorbans değerleri Şekil 4.21’de görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonunda boyarmadde içeren ortamda 3 gün boyunca alınan örnekler değerlendirildiğinde yaklaşık olarak %82,81 oranında selüloza immobilize edilmiş *M.esculenta* tarafından uzaklaştırılmıştır.

Tablo 4.11 Selüloz destek materyaline immobilize *M.esculenta* ile Remazol Navy RGB boyarmaddesine ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri

	75 mg/L	50 mg/L	25 mg/L	10 mg/L
% Giderim	45,23	49,61	64,17	82,81
% Biyosorpsiyon	42,39	48,57	50,55	52,74
% Biyodegradasyon	2,83	1,04	13,62	30,07

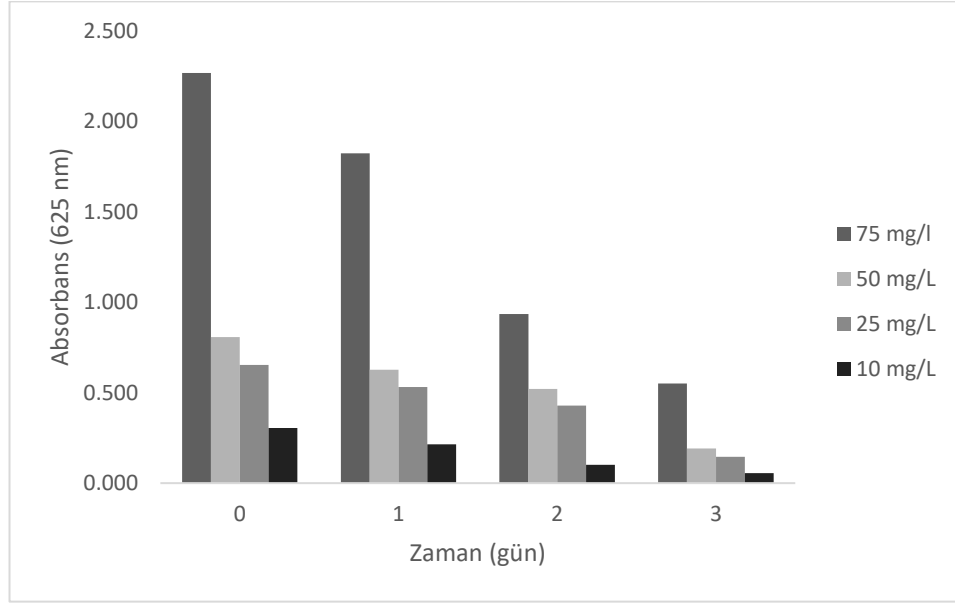
Farklı konsantrasyonlarda Remazol Navy RGB boyarmaddesini içeren ve bu boyarmaddenin selüloza immobilize edilmiş *M.esculenta* tarafından giderimi ve biyosorpsiyon yüzdeleri Tablo 4.11’de verilmiştir. Boyarmadde konsantrasyonu arttıkça giderim yüzdesi azalmaktadır.



Şekil 4.221 Remazol Navy RGB boyarmaddesine ait selüloza immobilize *M.esculenta* ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği

UV spektrofotometresi ile 200-800 nm arasında yapılan dalga boyu taramasında boyarmaddeye ait pikin 625 nm'de en yüksek pik alanına ulaştığı görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonuna ait 0. ve 3. gününün sonunda alınan ölçümlere ait pikler Şekil 4.22'de görüldüğü gibidir. 0. günde alınan ölçüme ait pikin maksimum olduğu ve bu pikin pik alanı 3. günün sonunda kaybolduğu görülmektedir.

4.2.2.2.2 Kaolin Destek Materyaline İmmobilize *M.esculenta* İle Giderim



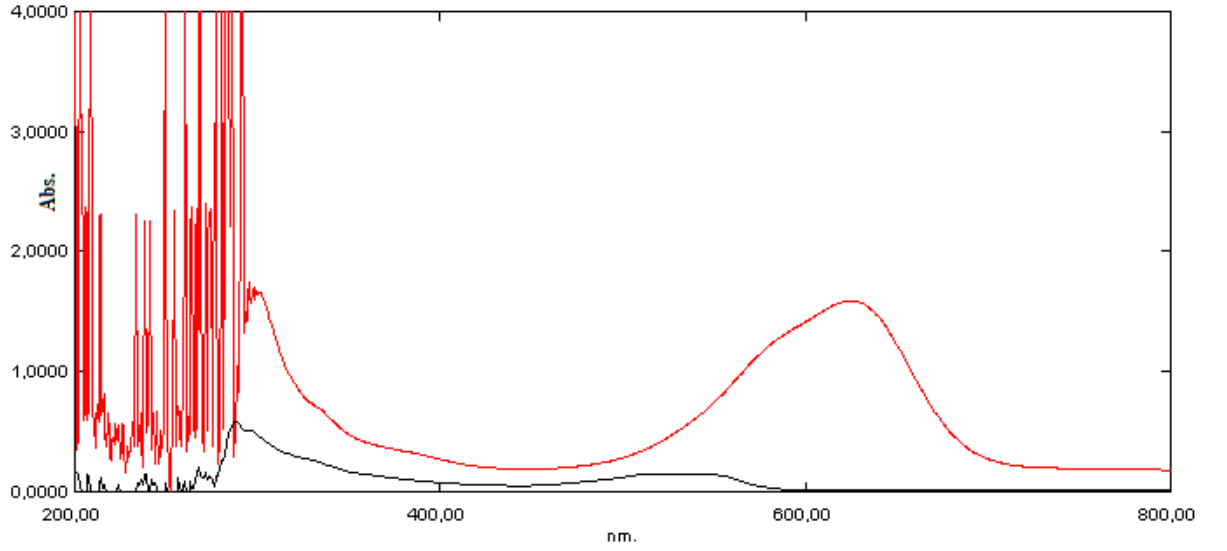
Şekil 4.23 Kaolin destek materyaline immobilize *M.esculenta* ile Remazol Navy RGB boyarmaddesinin giderimi

UV spektrofotometresi ile yapılan ölçümlerde elde edilen absorbans değerleri Şekil 4.23’de görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonunda boyarmadde içeren ortamda 3 gün boyunca alınan örnekler değerlendirildiğinde yaklaşık olarak %81,91 oranında kaoline immobilize edilmiş *M.esculenta* tarafından uzaklaştırılmıştır.

Tablo 4.12 Kaolin destek materyaline immobilize *M.esculenta* ile Remazol Navy RGB boyarmaddesine ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri

	75 mg/L	50 mg/L	25 mg/L	10 mg/L
% Giderim	75,68	76,36	77,68	81,91
% Biyosorpsiyon	44,26	45,92	53,76	63,08
% Biyodegradasyon	31,43	30,44	23,92	18,83

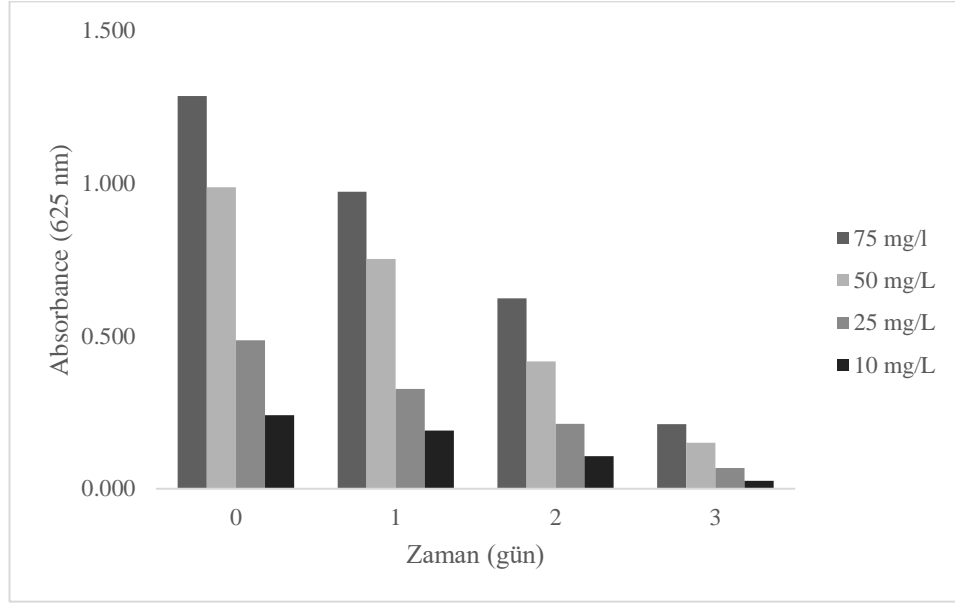
Farklı konsantrasyonlarda Remazol Navy RGB boyarmaddesini içeren ve bu boyarmaddenin kaolin immobilize edilmiş *M.esculenta* tarafından giderimi ve biyosorpsiyon yüzdeleri Tablo 4.12’de verilmiştir. Boyarmadde konsantrasyonu arttıkça giderim yüzdesi azalmaktadır.



Şekil 4.24 Remazol Navy RGB boyarmaddesine ait kaoline immobilize *M.esculenta* ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği

UV spektrofotometresi ile 200-800 nm arasında yapılan dalga boyu taramasında boyarmaddeye ait pikin 625 nm'de en yüksek pik alanına ulaştığı görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonuna ait 0. ve 3. gününün sonunda alınan ölçümlere ait pikler Şekil 4.24'de görüldüğü gibidir. 0. günde alınan ölçüme ait pikin maksimum olduğu ve bu pikin pik alanı 3. günün sonunda kaybolduğu görülmektedir.

4.2.2.2.3 Jelatin Destek Materyaline İmmobilize *M.esculenta* İle Giderim



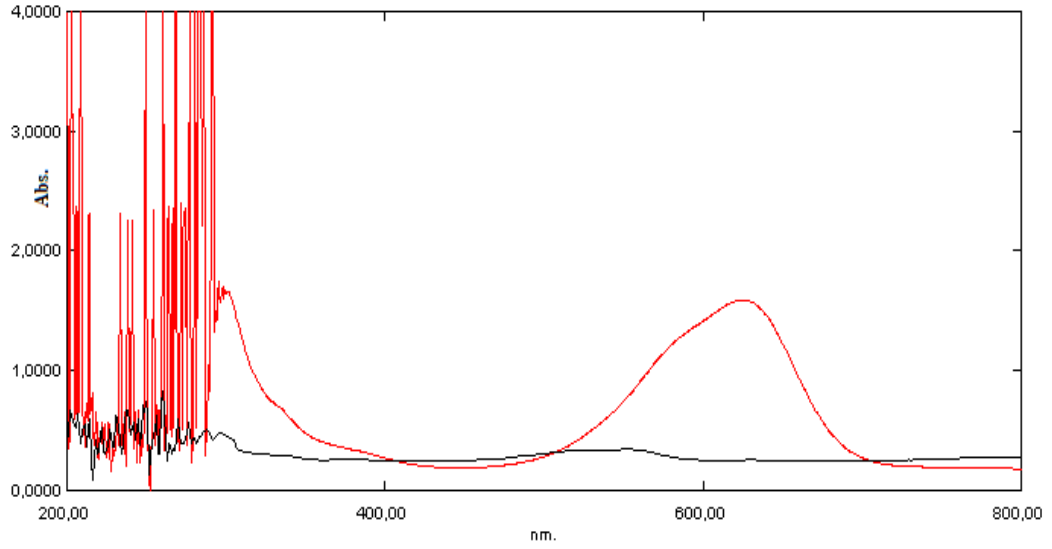
Şekil 4.25 Jelatin destek materyaline immobilize *M.esculenta* ile Remazol Navy RGB boyarmaddesinin giderimi

UV spektrofotometresi ile yapılan ölçümlerde elde edilen absorbanans değerleri Şekil 4.25’de görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonunda boyarmadde içeren ortamda 3 gün boyunca alınan örnekler değerlendirildiğinde yaklaşık olarak %89,21 oranında jelatine immobilize edilmiş *M.esculenta* tarafından uzaklaştırılmıştır.

Tablo 4.13 Jelatin destek materyaline immobilize *M.esculenta* ile Remazol Navy RGB boyarmaddesine ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri

	75 mg/L	50 mg/L	25 mg/L	10 mg/L
% Giderim	83,59	84,70	86,01	89,21
% Biyosorpsiyon	31,67	35,92	39,32	41,84
% Biyodegradasyon	51,93	48,78	46,69	47,37

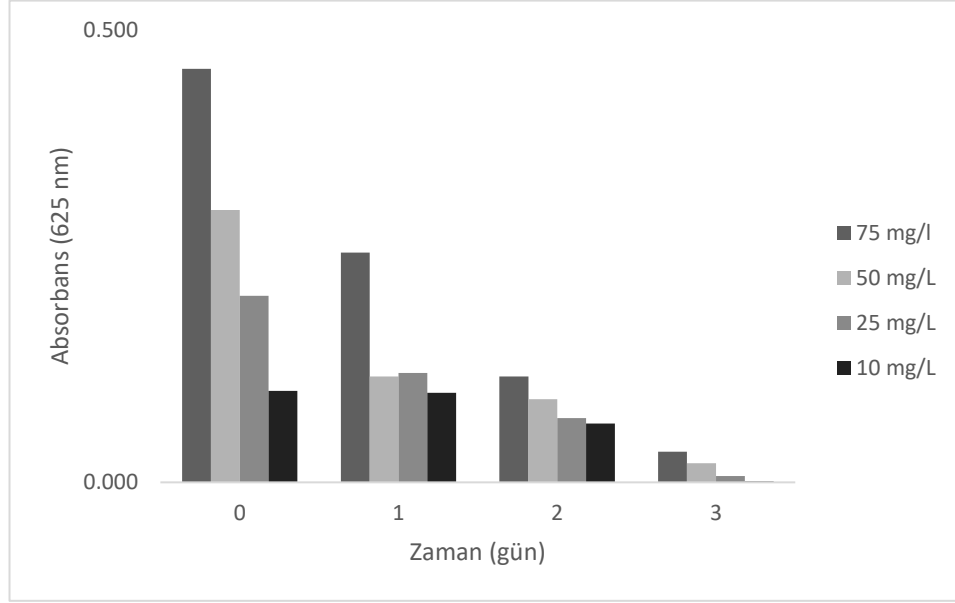
Farklı konsantrasyonlarda Remazol Navy RGB boyarmaddesini içeren ve bu boyarmaddenin jelatine immobilize edilmiş *M.esculenta* tarafından giderimi ve biyosorpsiyon yüzdeleri Tablo 4.13’de verilmiştir. Boyarmadde konsantrasyonu arttıkça giderim yüzdesi azalmaktadır.



Şekil 4.26 Remazol Navy RGB boyarmaddesine ait jelatine immobilize *M.esculenta* ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği

UV spektrofotometresi ile 200-800 nm arasında yapılan dalga boyu taramasında boyarmaddeye ait pikin 625 nm’de en yüksek pik alanına ulaştığı görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonuna ait 0. ve 3. gününün sonunda alınan ölçümlere ait pikler Şekil 4.26’de görüldüğü gibidir. 0. günde alınan ölçüme ait pikin maksimum olduğu ve bu pikin pik alanı 3. günün sonunda azaldığı görülmektedir.

4.2.2.2.4 Polistiren Destek Materyaline İmmobilize *M.esculenta* İle Giderim



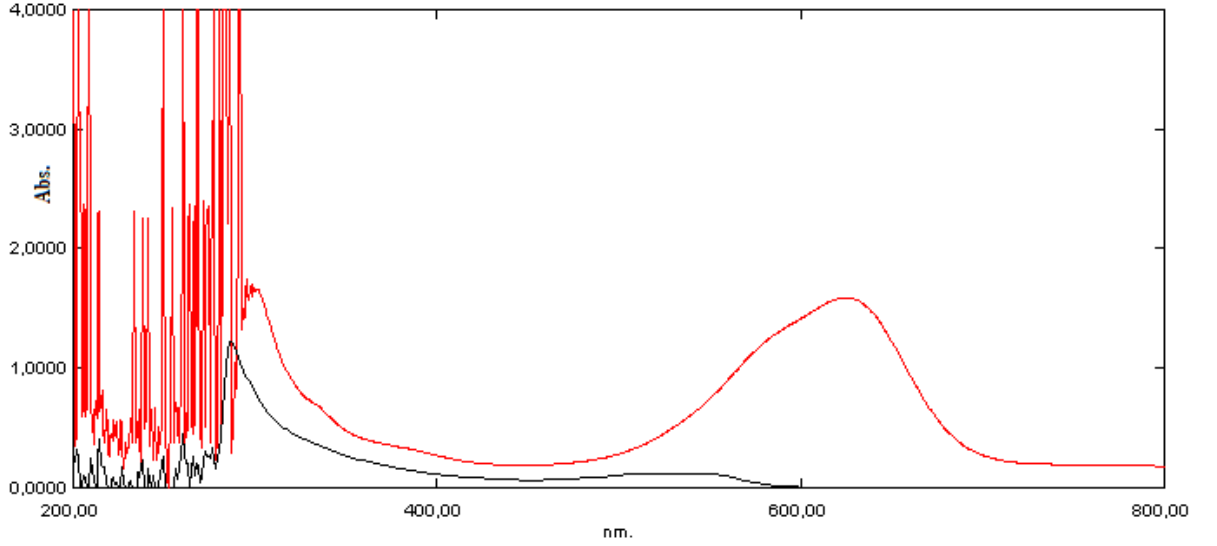
Şekil 4.27 Polistiren destek materyaline immobilize *M.esculenta* ile Remazol Navy RGB boyarmaddesinin giderimi

UV spektrofotometresi ile yapılan ölçümlerde elde edilen absorbans değerleri Şekil 4.27’de görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonunda boyarmadde içeren ortamda 3 gün boyunca alınan örnekler değerlendirildiğinde yaklaşık olarak %99,01 oranında polistirene immobilize edilmiş *M.esculenta* tarafından uzaklaştırılmıştır.

Tablo 4.14 Polistiren destek materyaline immobilize *M.esculenta* ile Remazol Navy RGB boyarmaddesine ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri

	75 mg/L	50 mg/L	25 mg/L	10 mg/L
% Giderim	92,56	93,02	96,60	99,01
% Biyosorpsiyon	31,63	41,08	43,78	48,16
% Biyodegradasyon	60,93	51,94	52,82	50,85

Farklı konsantrasyonlarda Remazol Navy RGB boyarmaddesini içeren ve bu boyarmaddenin polistirene immobilize edilmiş *M.esculenta* tarafından giderimi ve biyosorpsiyon yüzdeleri Tablo 4.14’de verilmiştir. Boyarmadde konsantrasyonu arttıkça giderim yüzdesi azalmaktadır.

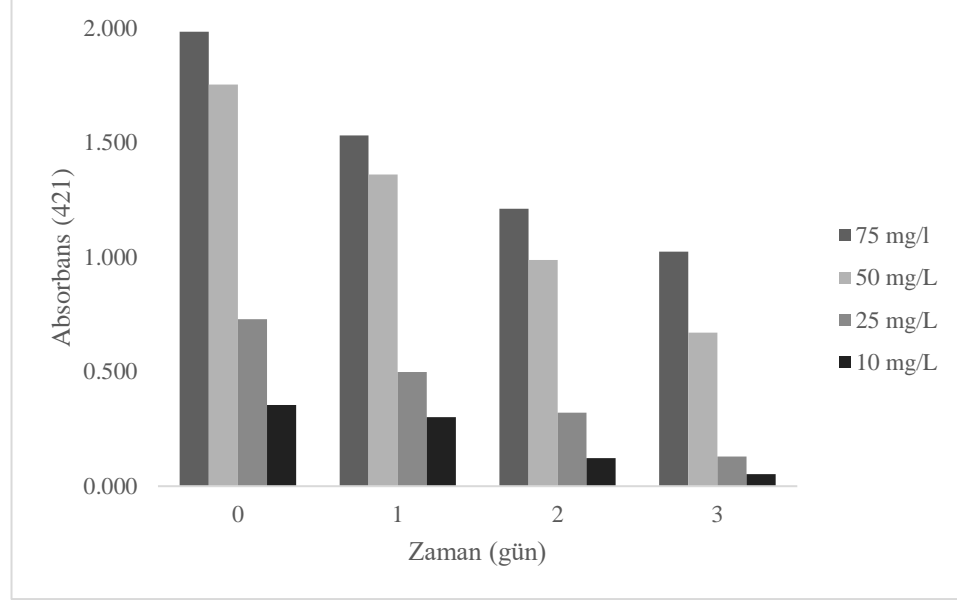


Şekil 4.28 Remazol Navy RGB boyarmaddesine ait polistirene immobilize *M.esculenta* ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği

UV spektrofotometresi ile 200-800 nm arasında yapılan dalga boyu taramasında boyarmaddeye ait pikin 625 nm'de en yüksek pik alanına ulaştığı görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonuna ait 0. ve 3. gününün sonunda alınan ölçümlere ait pikler Şekil 4.28'de görüldüğü gibidir. 0. günde alınan ölçüme ait pikin maksimum olduğu ve bu pikin pik alanı 3. günün sonunda kaybolduğu görülmektedir.

4.2.2.3 İmmobilize Hücrelerle Reactive Yellow 160 Boyarmaddesinin Giderimi

4.2.2.3.1 Selüloz Destek Materyaline İmmobilize *M.esculenta* İle Giderim



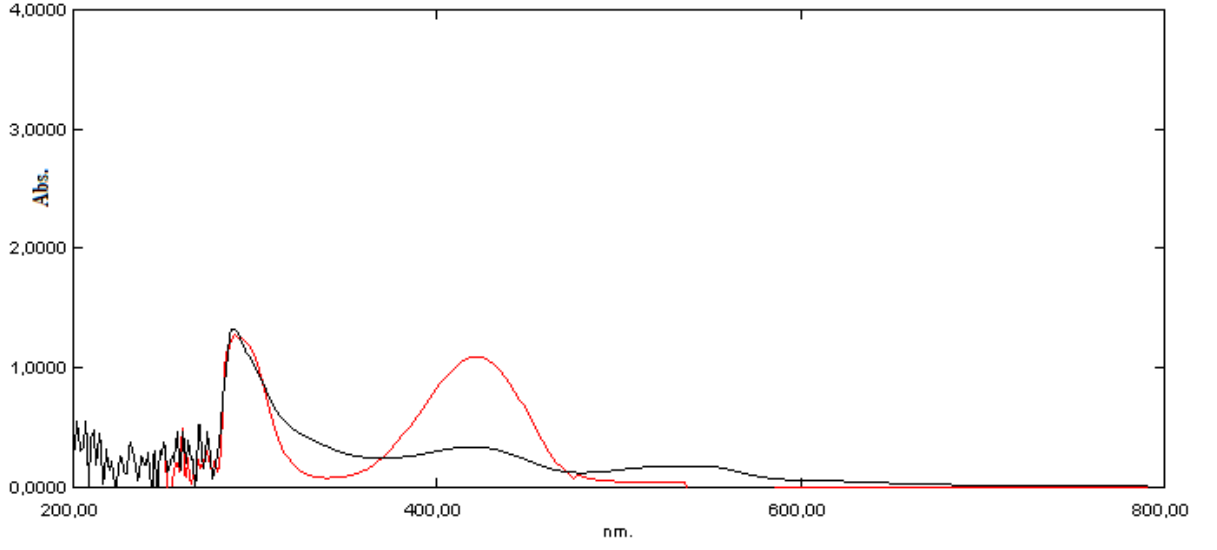
Şekil 4.29 Selüloz destek materyaline immobilize *M.esculenta* ile Reactive Yellow 160 boyarmaddesinin giderimi

UV spektrofotometresi ile yapılan ölçümlerde elde edilen absorbans değerleri Şekil 4.29’de görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonunda boyarmadde içeren ortamda 3 gün boyunca alınan örnekler değerlendirildiğinde yaklaşık olarak %85,31 oranında selüloza immobilize edilmiş *M.esculenta* tarafından uzaklaştırılmıştır.

Tablo 4.15 Selüloz destek materyaline immobilize *M.esculenta* ile Reactive Yellow 160 boyarmaddesine ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri

	75 mg/L	50 mg/L	25 mg/L	10 mg/L
% Giderim	48,39	61,74	82,30	85,31
% Biyosorpsiyon	15,76	33,93	55,87	59,57
% Biyodegradasyon	32,62	27,81	26,44	25,74

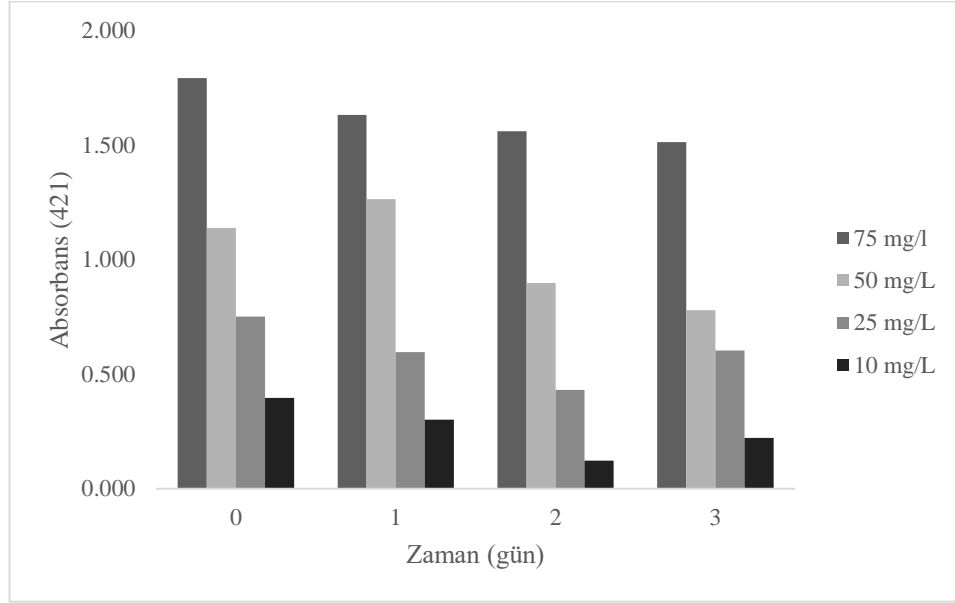
Farklı konsantrasyonlarda Reactive Yellow 160 boyarmaddesini içeren ve bu boyarmaddenin selüloza immobilize edilmiş *M.esculenta* tarafından giderimi ve biyosorpsiyon yüzdeleri Tablo 4.15’de verilmiştir. Boyarmadde konsantrasyonu arttıkça giderim yüzdesi azalmaktadır.



Şekil 4.30 Reactive Yellow 160 boyarmaddesine ait selüloza immobilize *M.esculenta* ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği

UV spektrofotometresi ile 200-800 nm arasında yapılan dalga boyu taramasında boyarmaddeye ait pikin 421 nm’de en yüksek pik alanına ulaştığı görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonuna ait 0. ve 3. gününün sonunda alınan ölçümlere ait pikler Şekil 4.30’da görüldüğü gibidir. 0. günde alınan ölçüme ait pikin maksimum olduğu ve bu pikin pik alanı 3. günün sonunda kaybolduğu görülmektedir.

4.2.2.3.2 Kaolin Destek Materyaline İmmobilize *M.esculenta* İle Giderim



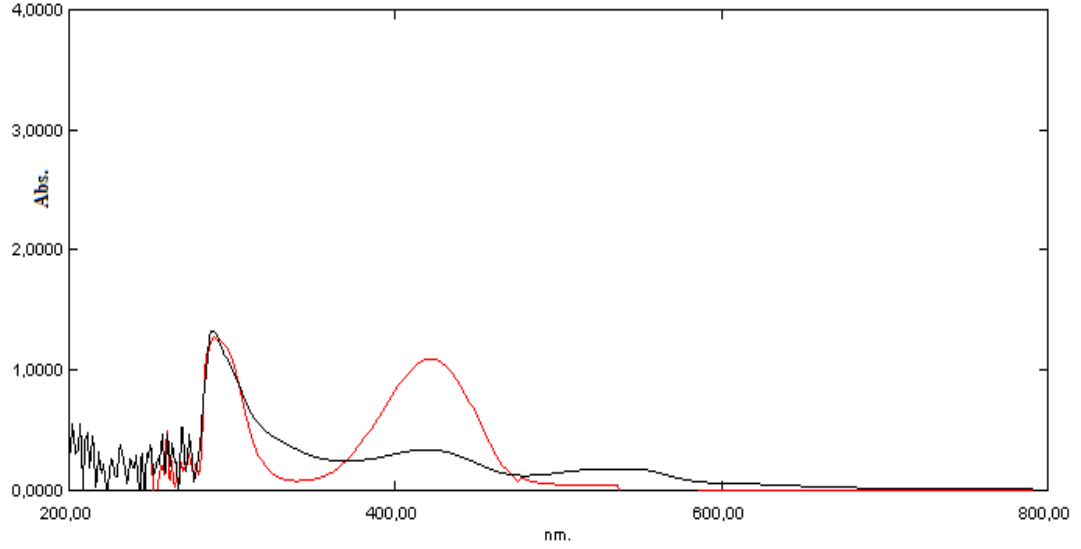
Şekil 4.31 Kaolin destek materyaline immobilize *M.esculenta* ile Reactive Yellow 160 boyarmaddesinin giderimi

UV spektrofotometresi ile yapılan ölçümlerde elde edilen absorbans değerleri Şekil 4.31’de görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonunda boyarmadde içeren ortamda 3 gün boyunca alınan örnekler değerlendirildiğinde yaklaşık olarak %44,08 oranında kaoline immobilize edilmiş *M.esculenta* tarafından uzaklaştırılmıştır.

Tablo 4.16 Kaolin destek materyaline immobilize *M.esculenta* ile Reactive Yellow 160 boyarmaddesine ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri

	75 mg/L	50 mg/L	25 mg/L	10 mg/L
% Giderim	15,56	31,61	19,81	44,08
% Biyosorpsiyon	4,01	0,24	9,04	29,95
% Biyodegradasyon	11,55	31,37	10,77	14,13

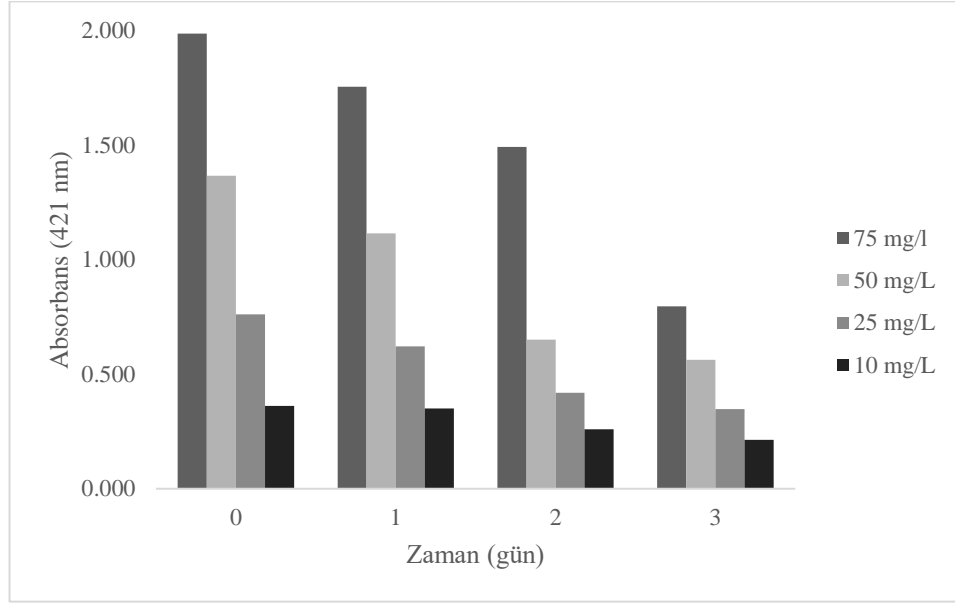
Farklı konsantrasyonlarda Reactive Yellow 160 boyarmaddesini içeren ve bu boyarmaddenin kaoline immobilize edilmiş *M.esculenta* tarafından giderimi ve biyosorpsiyon yüzdeleri Tablo 4.16’da verilmiştir. Boyarmadde konsantrasyonu arttıkça giderim yüzdesi azalmaktadır.



Şekil 4.32 Reactive Yellow 160 boyarmaddesine ait kaoline immobilize *M.esculenta* ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği

UV spektrofotometresi ile 200-800 nm arasında yapılan dalga boyu taramasında boyarmaddeye ait pikin 421 nm'de en yüksek pik alanına ulaştığı görülmektedir. 10 mg/L konsatrasyonuna ait 0. ve 3. gününün sonunda alınan ölçümlere ait pikler Şekil 4.32'de görüldüğü gibidir. 0. günde alınan ölçüme ait pikin maksimum olduğu ve bu pikin pik alanı 3. günün sonunda kaybolduğu görülmektedir.

4.2.2.3.3 Jelatin Destek Materyaline İmmobilize *M.esculenta* İle Giderim



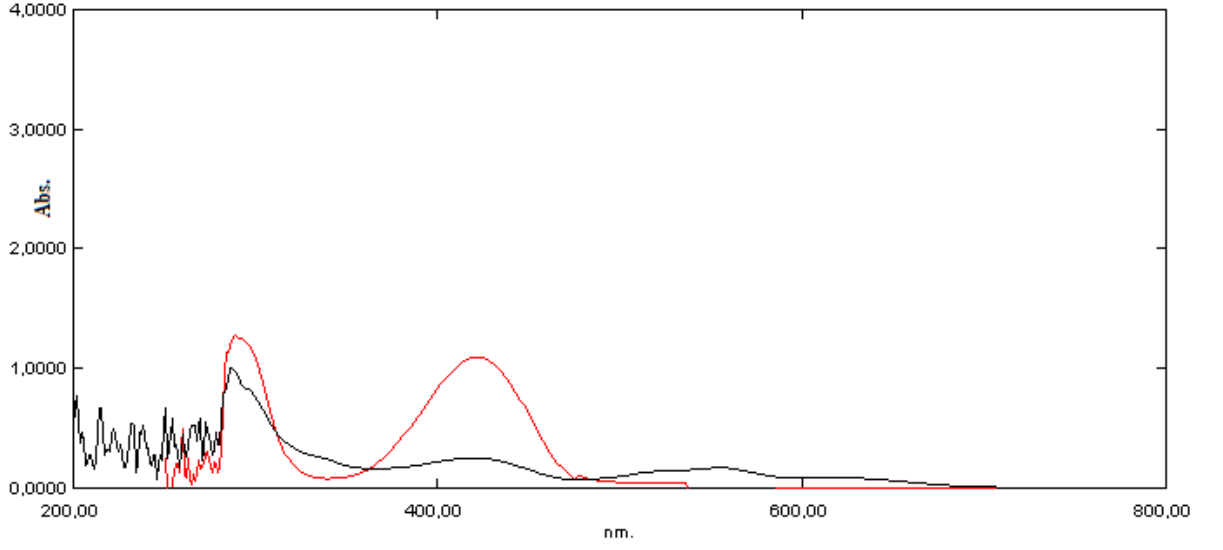
Şekil 4.33 Jelatin destek materyaline immobilize *M.esculenta* ile Reactive Yellow 160 boyarmaddesinin giderimi

UV spektrofotometresi ile yapılan ölçümlerde elde edilen absorbans değerleri Şekil 4.33’de görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonunda boyarmadde içeren ortamda 3 gün boyunca alınan örnekler değerlendirildiğinde yaklaşık olarak %40,88 oranında selüloza immobilize edilmiş *M.esculenta* tarafından uzaklaştırılmıştır.

Tablo 4.17 Jelatin destek materyaline immobilize *M.esculenta* ile Reactive Yellow 160 boyarmaddesine ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri

	75 mg/L	50 mg/L	25 mg/L	10 mg/L
% Decolorizasyon	59,96	58,81	54,40	40,88
% Biyosorpsiyon	5,49	5,21	3,46	4,24
% Biodegradasyon	54,47	53,61	50,94	36,65

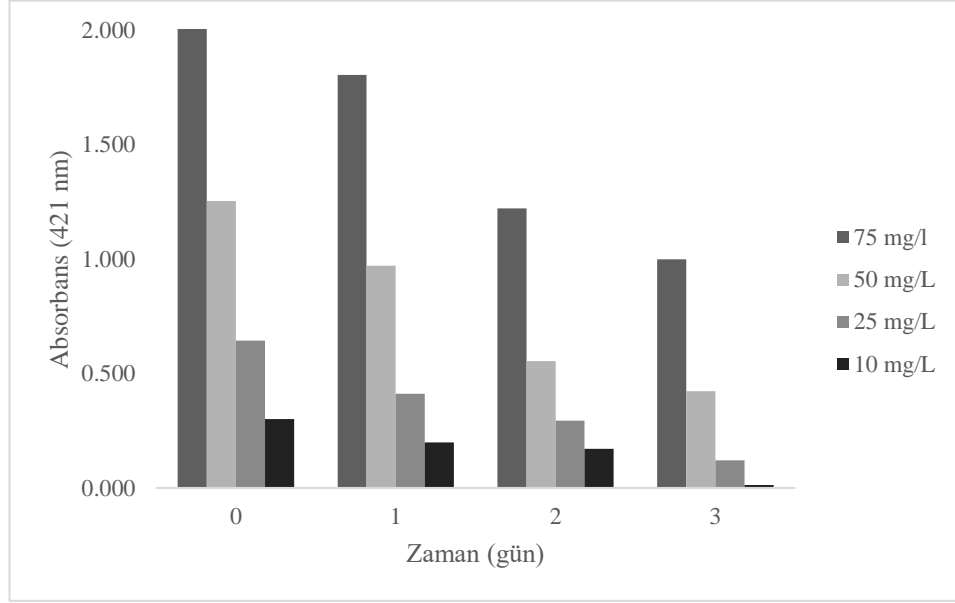
Farklı konsantrasyonlarda Reactive Yellow 160 boyarmaddesini içeren ve bu boyarmaddenin jelatine immobilize edilmiş *M.esculenta* tarafından giderimi ve biyosorpsiyon yüzdeleri Tablo 4.17’de verilmiştir. Boyarmadde konsantrasyonu arttıkça giderim yüzdesi azalmaktadır.



Şekil 4.34 Reactive Yellow 160 boyarmaddesine ait jelatine immobilize *M.esculenta* ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği

UV spektrofotometresi ile 200-800 nm arasında yapılan dalga boyu taramasında boyarmaddeye ait pikin 421 nm'de en yüksek pik alanına ulaştığı görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonuna ait 0. ve 3. gününün sonunda alınan ölçümlere ait pikler Şekil 4.34'te görüldüğü gibidir. 0. günde alınan ölçüme ait pikin maksimum olduğu ve bu pikin pik alanı 3. günün sonunda azaldığı görülmektedir.

4.2.2.3.4 Polistiren Destek Materyaline İmmobilize *M.esculenta* İle Giderim



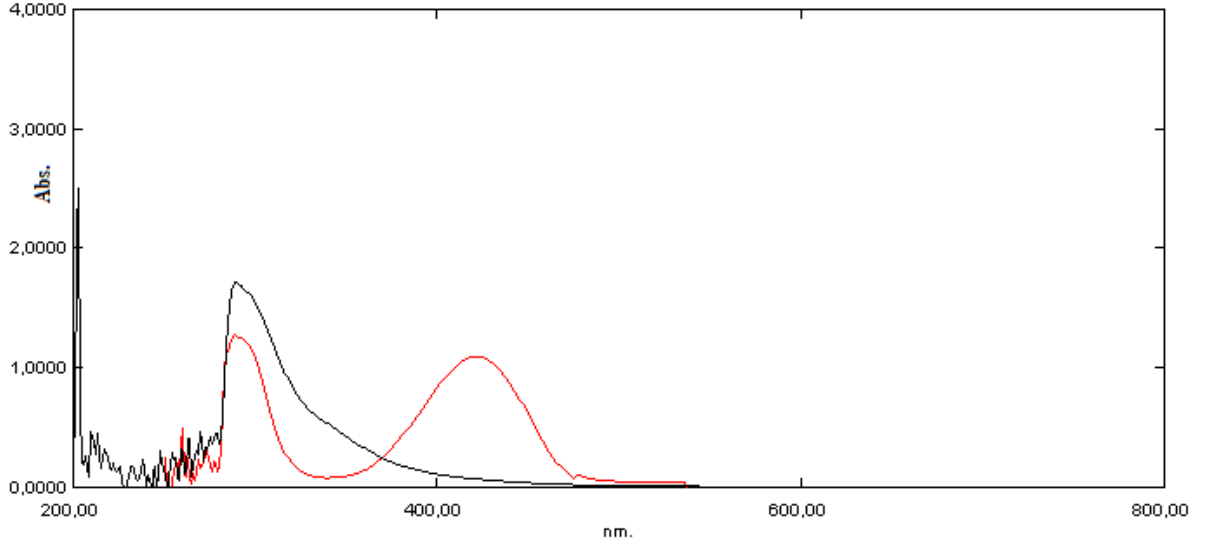
Şekil 4.35 Polistiren destek materyaline immobilize *M.esculenta* ile Reactive Yellow 160 boyarmaddesinin giderimi

UV spektrofotometresi ile yapılan ölçümlerde elde edilen absorbans değerleri Şekil 4.35’de görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonunda boyarmadde içeren ortamda 3 gün boyunca alınan örnekler değerlendirildiğinde yaklaşık olarak %95,68 oranında polistirene immobilize edilmiş *M.esculenta* tarafından uzaklaştırılmıştır.

Tablo 4.18 Polistiren destek materyaline immobilize *M.esculenta* ile Reactive Yellow 160 boyarmaddesine ait % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri

	75 mg/L	50 mg/L	25 mg/L	10 mg/L
% Giderim	50,37	66,32	81,18	95,68
% Biyosorpsiyon	27,73	39,55	26,95	50,28
% Biodegradasyon	22,64	26,77	54,24	45,40

Farklı konsantrasyonlarda Reactive Yellow 160 boyarmaddesini içeren ve bu boyarmaddenin polistirene immobilize edilmiş *M.esculenta* tarafından giderimi ve biyosorpsiyon yüzdeleri Tablo 4.18’de verilmiştir. Boyarmadde konsantrasyonu arttıkça giderim yüzdesi azalmaktadır.

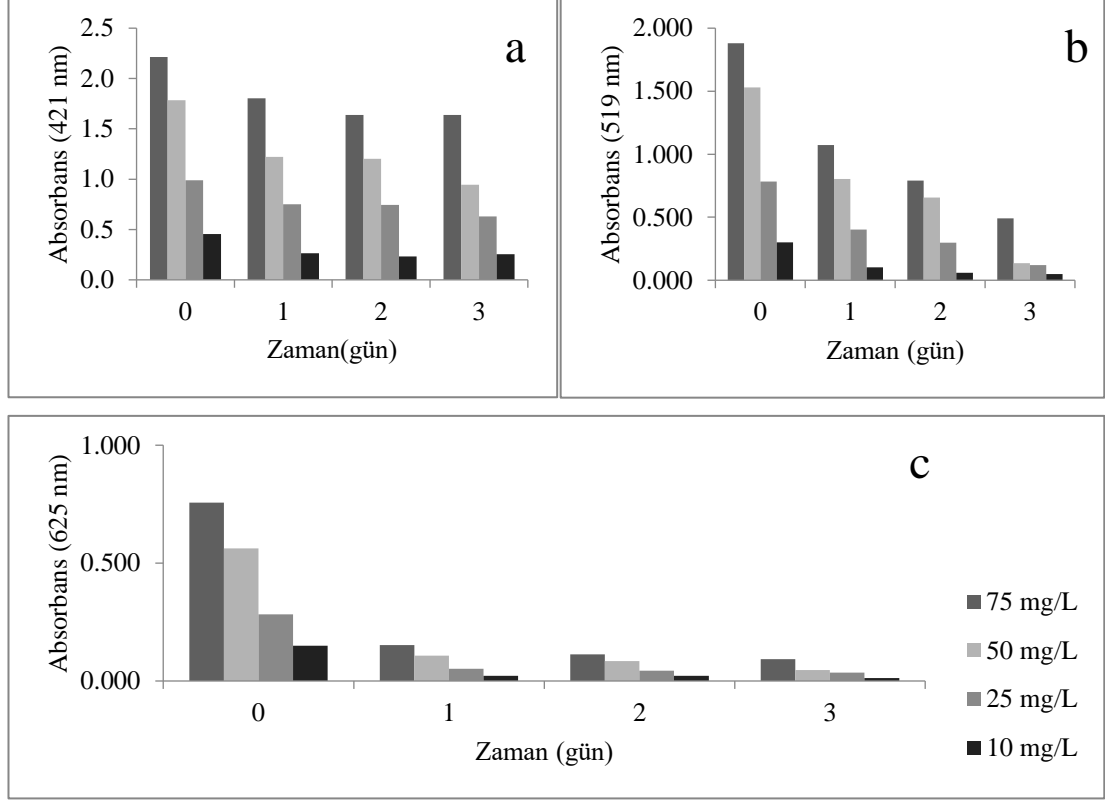


Şekil 4.36 Reactive Yellow 160 boyarmaddesine ait polistirene immobilize *M.esculenta* ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği

UV spektrofotometresi ile 200-800 nm arasında yapılan dalga boyu taramasında boyarmaddeye ait pikin 421 nm'de en yüksek pik alanına ulaştığı görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonuna ait 0. ve 3. gününün sonunda alınan ölçümlere ait pikler Şekil 4.36'de görüldüğü gibidir. 0. günde alınan ölçüme ait pikin maksimum olduğu ve bu pikin pik alanı 3. günün sonunda kaybolduğu görülmektedir.

4.2.2.4 İmmobilize Hücrelerle Karışım Halindeki Boyarmaddelerin Giderimi

4.2.2.4.1 Selüloz Destek Materyaline İmmobilize *M.esculenta* İle Giderim



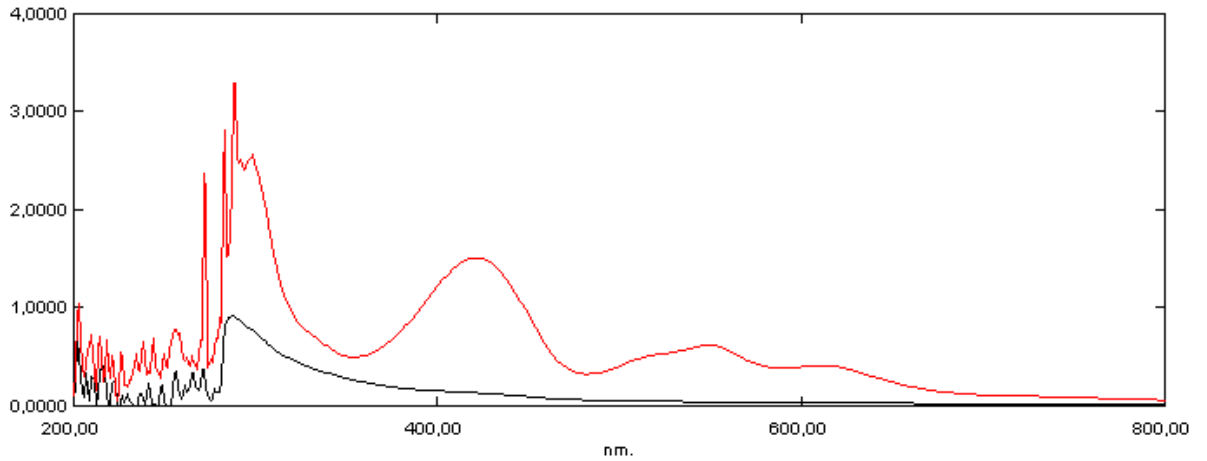
Şekil 4.37 Selüloza immobilize *M.esculenta* ile boyarmadde karışımının giderimi; a: 519 nm dalga boyunda, b: 625 nm dalga boyunda c: 421 nm dalga boyunda

UV spektrofotometresi ile yapılan ölçümlerde 10 mg/L konsatrasyonunda boyarmadde karışımı içeren ortamda, boyarmaddelere ait dalga boylarında her bir boyarmadde için ölçümler alınmıştır. Alınan ölçümlere ait absorbans değerleri Şekil 4.37'de verilmiştir. 3 gün boyunca alınan örnekler değerlendirildiğinde yaklaşık olarak %91,95 (625nm için), %84,05 (519 nm için) ve %44,08 (421 nm için) oranında selüloz destek materyaline immobilize *M.esculenta* tarafından uzaklaştırılmıştır.

Tablo 4.19 Selüloz destek materyaline immobilize *M.esculenta* ile boyarmadde karışımının % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri

		75 mg/L	50 mg/L	25 mg/L	10 mg/L
	421 nm	25,97	47,06	36,20	44,08
% Giderim	519 nm	73,88	91,17	84,53	84,05
	625 nm	87,70	91,65	87,59	91,95
	421 nm	0,25	4,98	21,06	8,61
% Biyosorpsiyon	519 nm	47,76	82,72	53,25	8,98
	625 nm	86,61	73,02	80,26	33,66
	421 nm	26,22	42,07	15,14	52,69
% Biyodegradasyon	519 nm	26,13	8,45	31,28	75,07
	625 nm	1,09	18,63	7,33	58,28

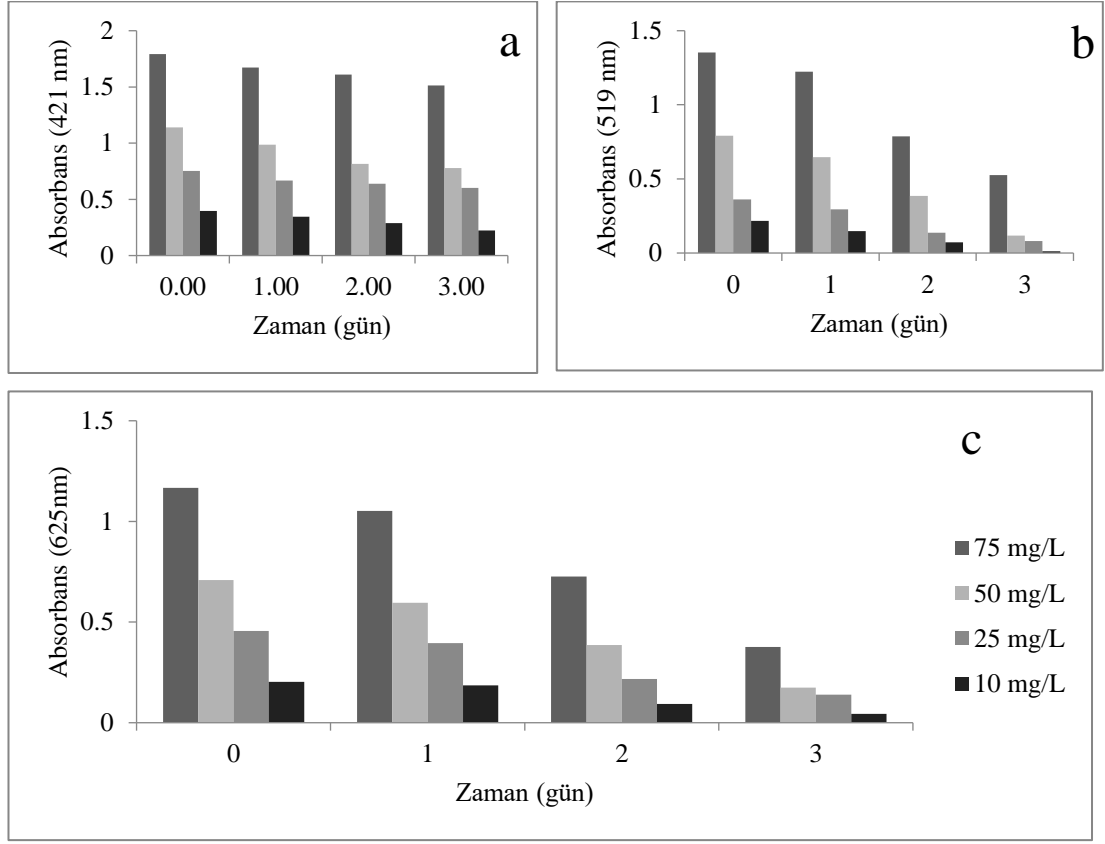
Farklı konsantrasyonlarda boyarmadde karışımı içeren ve bu boyarmaddelerin selüloz destek materyaline immobilize *M.esculenta* tarafından giderimi ve biyosorpsiyon yüzdeleri Tablo 4.19’da verilmiştir. Boyarmadde karışımının konsantrasyonu arttıkça giderim yüzdesi azalmaktadır.



Şekil 4.38 Boyarmadde karışımına ait selüloza immobilize *M.esculenta* ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği

UV spektrofotometresi ile 200-800 nm arasında yapılan dalga boyu taramasında boyarmadde karışımına ait 3 farklı noktada piklerin 421 nm, 519 nm, ve 625 nm’de en yüksek pik alanına ulaştığı görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonuna ait 0. ve 3. güne ait pikler Şekil 4.38’de görülmektedir ve 0. günde maksimum pik alanına ulaşan boyarmadde karışımına ait dalga boyularındaki pikler 3. günün sonunda ise pik alanları kaybolmaktadır.

4.2.2.4.2 Kaolin Destek Materyaline İmmobilize *M.esculenta* İle Giderim



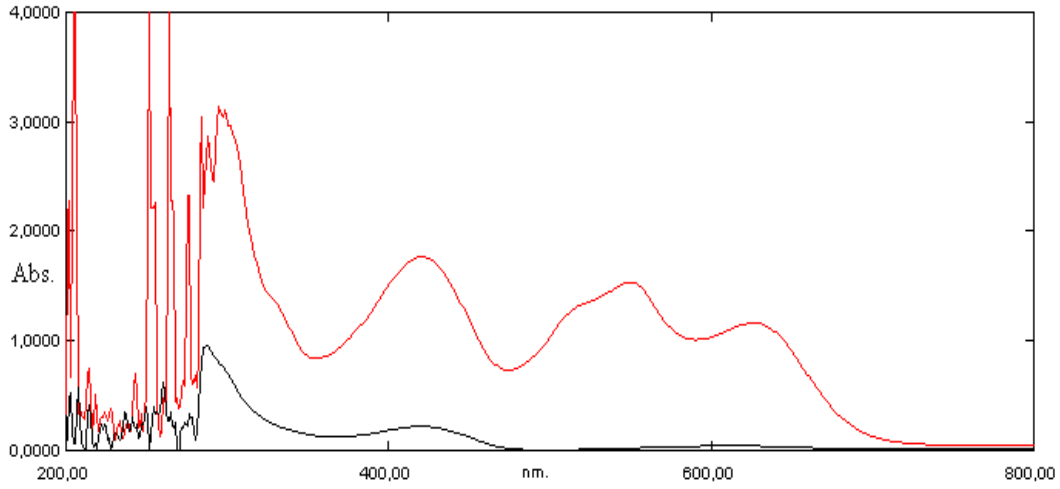
Şekil 4.39 Kaoline immobilize *M.esculenta* ile boyarmadde karışımının giderimi; a: 519 nm dalga boyunda, b: 625 nm dalga boyunda c: 421 nm dalga boyunda

UV spektrofotometresi ile yapılan ölçümlerde 10 mg/L konsantrasyonunda boyarmadde karışımı içeren ortamda, boyarmaddelere ait dalga boylarında her bir boyarmadde için ölçümler alınmıştır. Alınan ölçümlere ait absorbans değerleri Şekil 4.39'da verilmiştir. 3 gün boyunca alınan örnekler değerlendirildiğinde yaklaşık olarak % 78,33 (625nm için), %94,91 (519 nm için) ve %44,08 (421 nm için) oranında kaolin destek materyaline immobilize *M.esculenta* tarafından uzaklaştırılmıştır.

Tablo 4.20 Kaolin destek materyaline immobilize *M.esculenta* ile boyarmadde karışımının % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri

		75 mg/L	50 mg/L	25 mg/L	10 mg/L
	421 nm	28,25	31,61	19,81	44,08
% Giderim	519 nm	61,15	85,21	77,84	94,91
	625 nm	67,67	75,28	69,52	78,33
	421 nm	43,81	20,41	17,11	66,79
% Biyosorpsiyon	519 nm	33,77	84,14	44,90	80,43
	625 nm	34,19	57,08	54,94	47,51
	421 nm	15,56	11,20	2,71	22,71
% Biyodegradasyon	519 nm	27,38	1,06	32,94	14,48
	625 nm	33,48	18,20	14,57	30,81

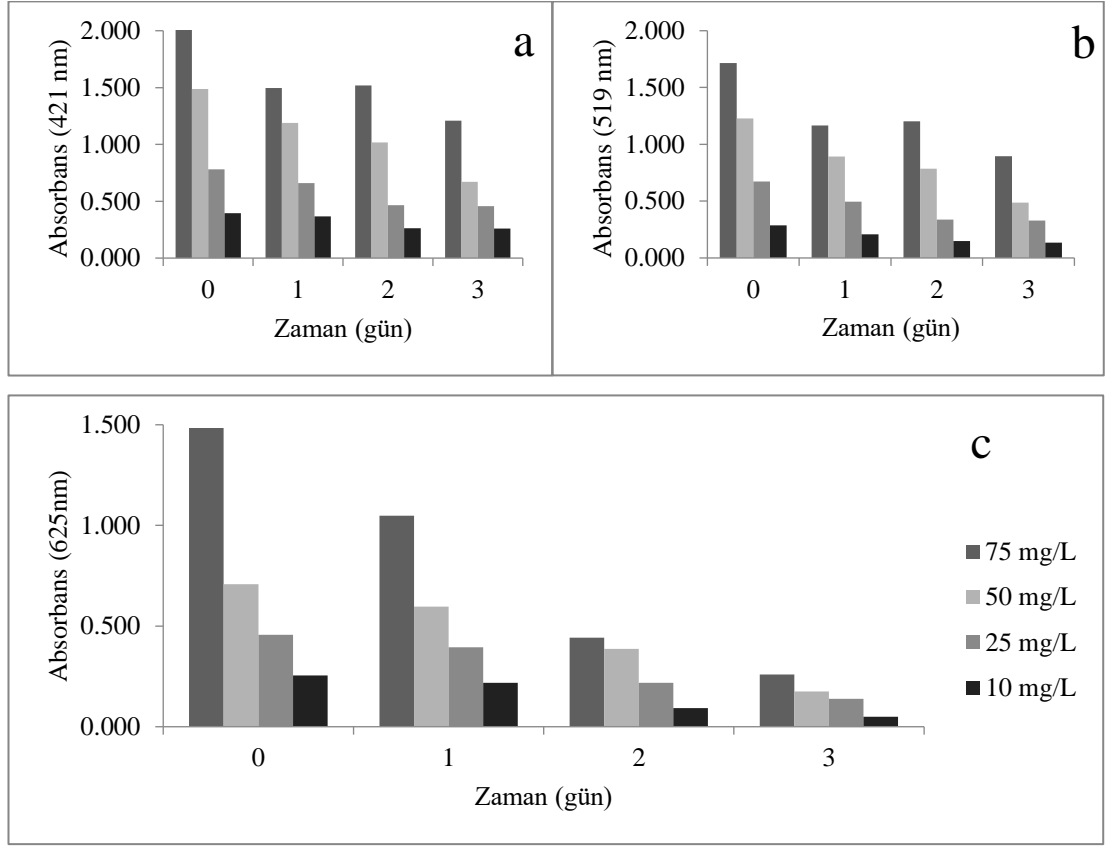
Farklı konsantrasyonlarda boyarmadde karışımı içeren ve bu boyarmaddelerin kaolin destek materyaline immobilize *M.esculenta* tarafından giderimi ve biyosorpsiyon yüzdeleri Tablo 4.20’de verilmiştir. Boyarmadde karışımının konsantrasyonu arttıkça giderim yüzdesi azalmaktadır.



Şekil 4.40 Boyarmadde karışımına ait kaoline immobilize *M.esculenta* ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği

UV spektrofotometresi ile 200-800 nm arasında yapılan dalga boyu taramasında boyarmadde karışımına ait 3 farklı noktada piklerin 421 nm, 519 nm, ve 625 nm’de en yüksek pik alanına ulaştığı görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonuna ait 0. ve 3. güne ait pikler Şekil 4.40’da görülmektedir ve 0. günde maksimum pik alanına ulaşan boyarmadde karışımına ait dalga boyularındaki pikler 3. günün sonunda ise pik alanları kaybolmaktadır.

4.2.2.4.3 Jelatin Destek Materyaline İmmobilize *M.esculenta* İle Giderim



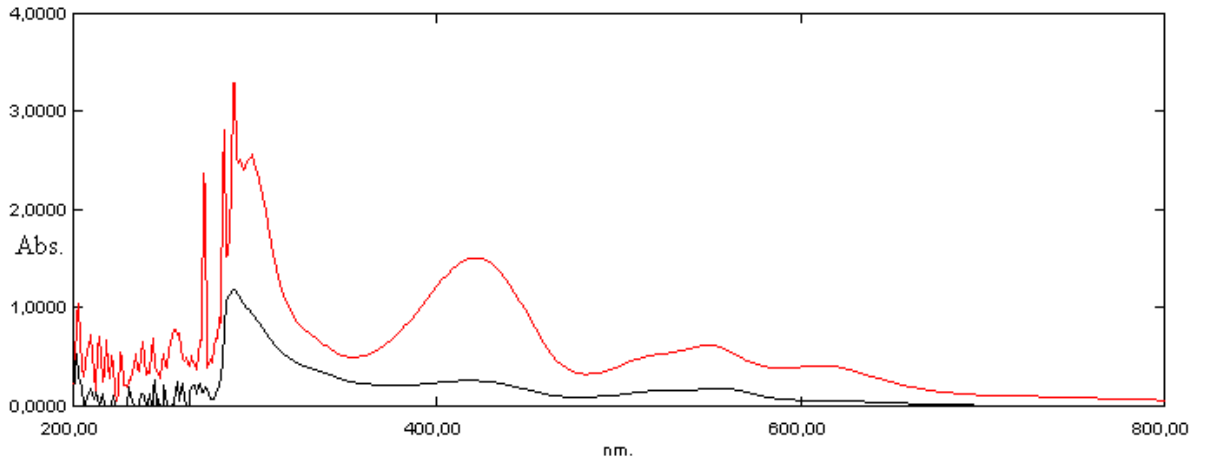
Şekil 4.41 Jelatine immobilize *M.esculenta* ile boyarmadde karışımının giderimi; a: 519 nm dalga boyunda, b: 625 nm dalga boyunda c: 421 nm dalga boyunda

UV spektrofotometresi ile yapılan ölçümlerde 10 mg/L konsantrasyonunda boyarmadde karışımı içeren ortamda, boyarmaddelere ait dalga boylarında her bir boyarmadde için ölçümler alınmıştır. Alınan ölçümlere ait absorbans değerleri Şekil 4.41’de verilmiştir. 3 gün boyunca alınan örnekler değerlendirildiğinde yaklaşık olarak % 80,39 (625nm için), % 52,61 (519 nm için) ve % 34,26 (421 nm için) oranında jelatin destek materyaline immobilize *M.esculenta* tarafından uzaklaştırılmıştır.

Tablo 4.21 Jelatin destek materyaline immobilize *M.esculenta* ile boyarmadde karımının % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri

		75 mg/L	50 mg/L	25 mg/L	10 mg/L
	421 nm	74,13	92,97	50,82	66,27
% Giderim	519 nm	47,76	60,31	51,04	66,81
	625 nm	82,55	85,70	84,46	80,39
	421 nm	40,36	54,88	41,54	34,26
% Biyosorpsiyon	519 nm	26,93	37,22	28,61	14,19
	625 nm	79,32	83,75	89,42	46,44
	421 nm	33,77	38,10	9,28	32,00
% Biyodegradasyon	519 nm	20,83	23,09	22,43	52,61
	625 nm	3,22	1,95	4,96	33,95

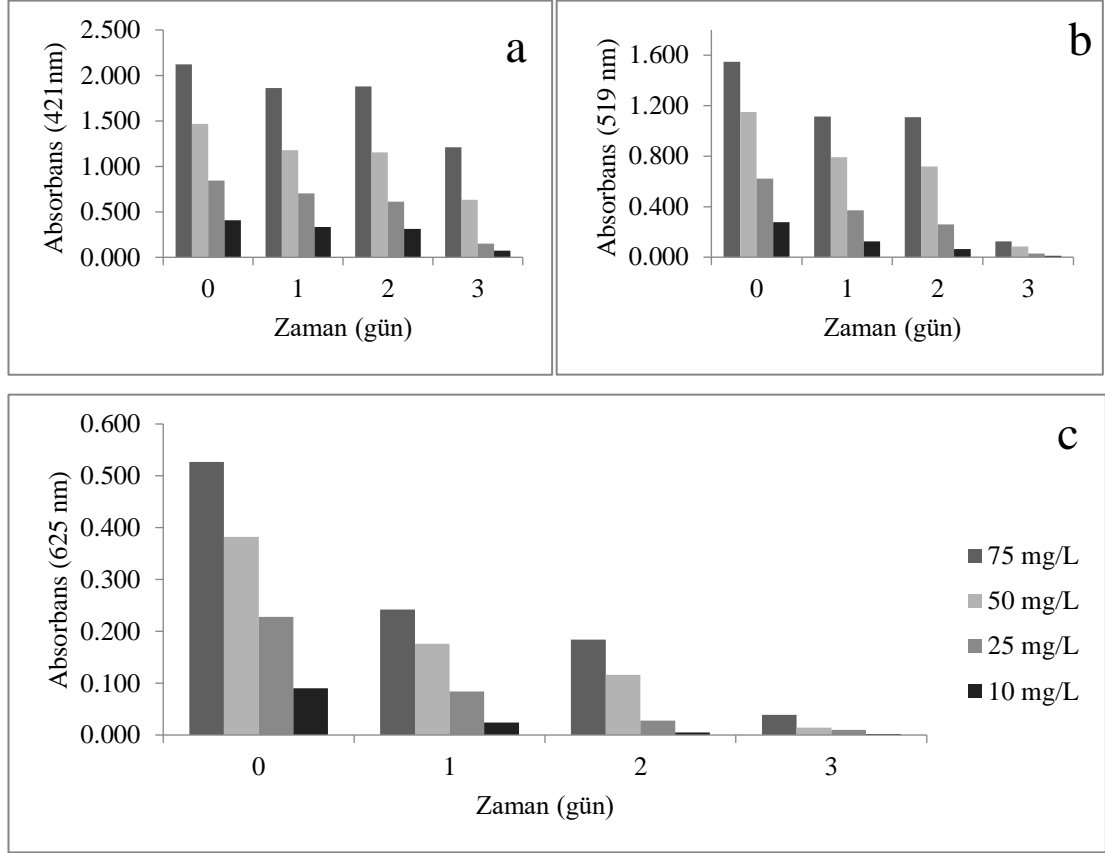
Farklı konsantrasyonlarda boyarmadde karışımı içeren ve bu boyarmaddelerin jelatin destek materyaline immobilize *M.esculenta* tarafından giderimi ve biyosorpsiyon yüzdeleri Tablo 4.21’de verilmiştir. Boyarmadde karışımının konsantrasyonu arttıkça giderim yüzdesi azalmaktadır.



Şekil 4.42 Boyarmadde karışımına ait jelatine immobilize *M.esculenta* ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği

UV spektrofotometresi ile 200-800 nm arasında yapılan dalga boyu taramasında boyarmadde karışımına ait 3 farklı noktada piklerin 421 nm, 519 nm, ve 625 nm’de en yüksek pik alanına ulaştığı görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonuna ait 0. ve 3. güne ait pikler Şekil 4.42’de görülmektedir ve 0. günde maksimum pik alanına ulaşan boyarmadde karışımına ait dalga boyularındaki pikler 3. günün sonunda ise pik alanları kaybolmaktadır.

4.2.2.4.4 Polistiren Destek Materyaline İmmobilize *M.esculenta* İle Giderim



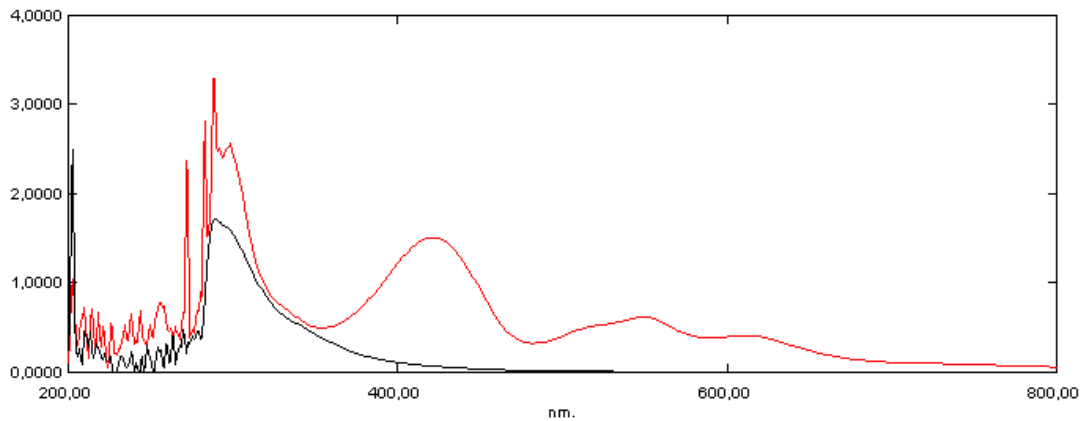
Şekil 4.43 Polistirene immobilize *M.esculenta* ile boyarmadde karışımının giderimi; a: 519 nm dalga boyunda, b: 625 nm dalga boyunda c: 421 nm dalga boyunda

UV spektrofotometresi ile yapılan ölçümlerde 10 mg/L konsantrasyonunda boyarmadde karışımı içeren ortamda, boyarmaddelere ait dalga boylarında her bir boyarmadde için ölçümler alınmıştır. Alınan ölçümlere ait absorbans değerleri Şekil 4.43'te verilmiştir. 3 gün boyunca alınan örnekler değerlendirildiğinde yaklaşık olarak % 97,78 (625nm için), % 95,65 (519 nm için) ve % 82,31 (421 nm için) oranında polistiren destek materyaline immobilize *M.esculenta* tarafından uzaklaştırılmıştır.

Tablo 4.22 Polistiren destek materyaline immobilize *M.esculenta* ile boyarmadde karımının % giderim, % biyosorpsiyon ve % biyodegradasyon değerleri

		75 mg/L	50 mg/L	25 mg/L	10 mg/L
	421 nm	43,00	56,95	82,33	82,31
% Giderim	519 nm	91,99	92,60	95,17	95,65
	625 nm	92,60	96,34	95,61	97,78
	421 nm	20,57	53,35	30,52	52,39
% Biyosorpsiyon	519 nm	87,07	86,75	87,80	53,01
	625 nm	22,36	70,18	87,09	34,44
	421 nm	22,43	3,60	51,81	29,92
% Biyodegradasyon	519 nm	4,92	5,86	7,36	42,64
	625 nm	70,24	26,16	8,53	63,33

Farklı konsantrasyonlarda boyarmadde karışımı içeren ve bu boyarmaddelerin polistiren destek materyaline immobilize *M.esculenta* tarafından giderimi ve biyosorpsiyon yüzdeleri Tablo 4.22’de verilmiştir. Boyarmadde karışımının konsantrasyonu arttıkça giderim yüzdesi azalmaktadır.



Şekil 4.44 Boyarmadde karışımına ait polistirene immobilize *M.esculenta* ile giderim öncesi ve sonrasına ait spektrum grafiği

UV spektrofotometresi ile 200-800 nm arasında yapılan dalga boyu taramasında boyarmadde karışımına ait 3 farklı noktada piklerin 421 nm, 519 nm, ve 625 nm’de en yüksek pik alanına ulaştığı görülmektedir. 10 mg/L konsantrasyonuna ait 0. ve 3. güne ait pikler Şekil 4.44’te görülmektedir ve 0. günde maksimum pik alanına

ulaşan boyarmadde karışımına ait dalga boyularındaki pikler 3. günün sonunda ise pik alanları kaybolmaktadır.

Tablo 4.23 Boyarmaddelerin 10 mg/L konsatrasyonunda immobilize hücrelerle % giderim değerleri

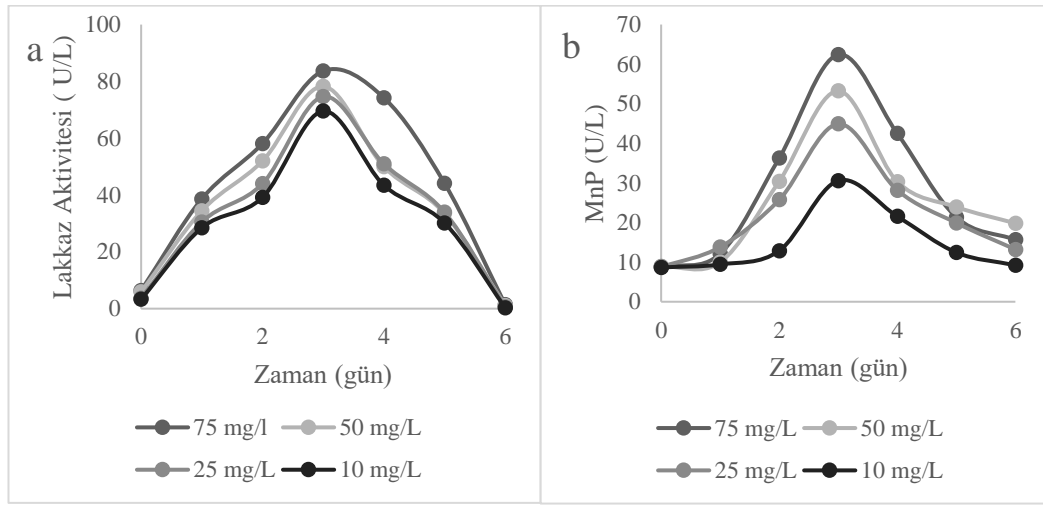
Boyarmadde	% Giderim			
	Selüloz	Kaolin	Jelatin	Polistiren
Cibacron Brilliant Red 3B-A	97,90	98,42	86,23	99,19
Remazol Navy RGB	82,81	81,91	89,21	99,01
Reactive Yellow 160	85,31	44,08	40,88	95,68

Tablo 4.23’de verilern değerler incelendiğinde, Cibacron Brilliant Red 3B-A, Remazol Navy RGB ve Reactive Yellow 160 boyarmaddelerinin en iyi giderimi, polistirene immobilize *M.esculenta* hücreleri tarafından geręekleřmiřtir.

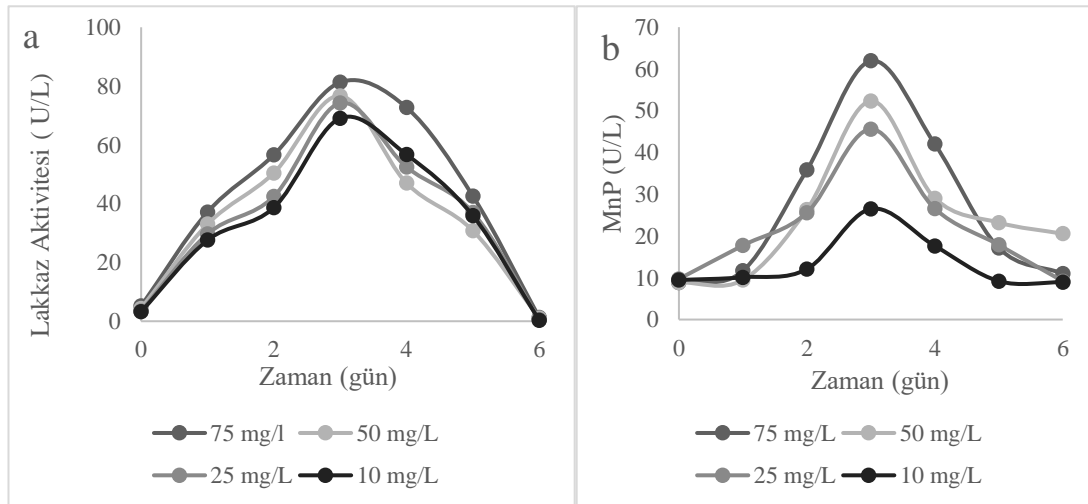
4.3 Aktivite Değişimleri

4.3.1 Serbest Hücrelerle Gerçekleştirilen Boyarmadde Giderimi Sırasındaki Aktivite Değişimleri

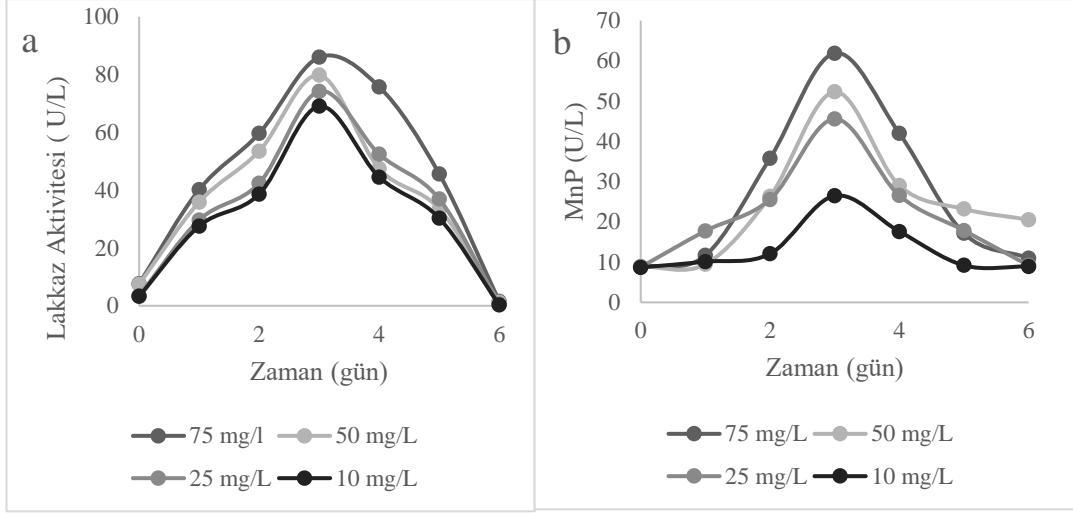
Boyarmadde giderimleri sırasında lakkaz ve mangan peroksidaz aktivitelerinin değişimleri incelenmiştir.



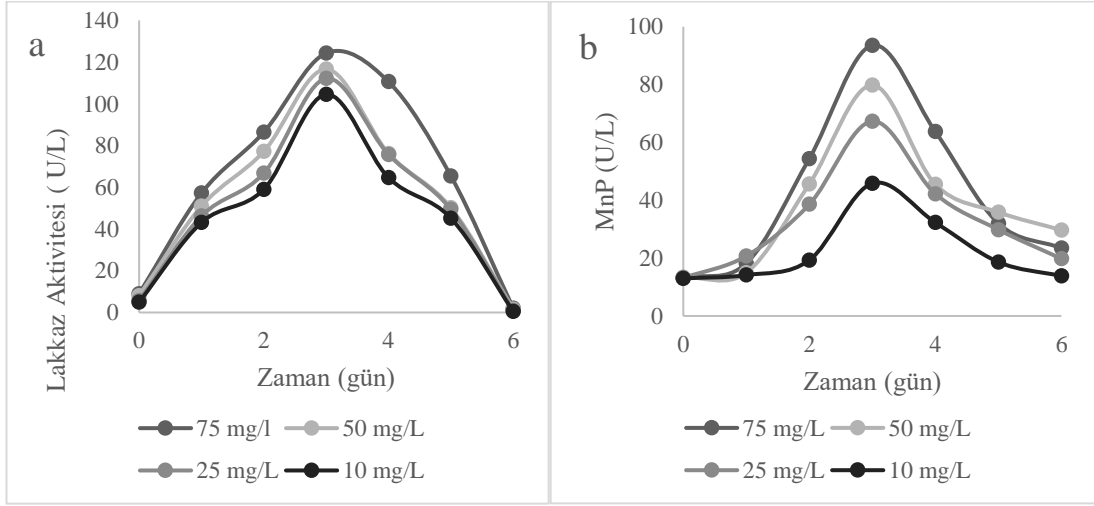
Şekil 4.45 Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesinin serbest formdaki *M.esculenta* ile giderimi sırasında aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi



Şekil 4.46 Remazol Navy RGB boyarmaddesinin serbest formdaki *M.esculenta* ile giderimi sırasında aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi



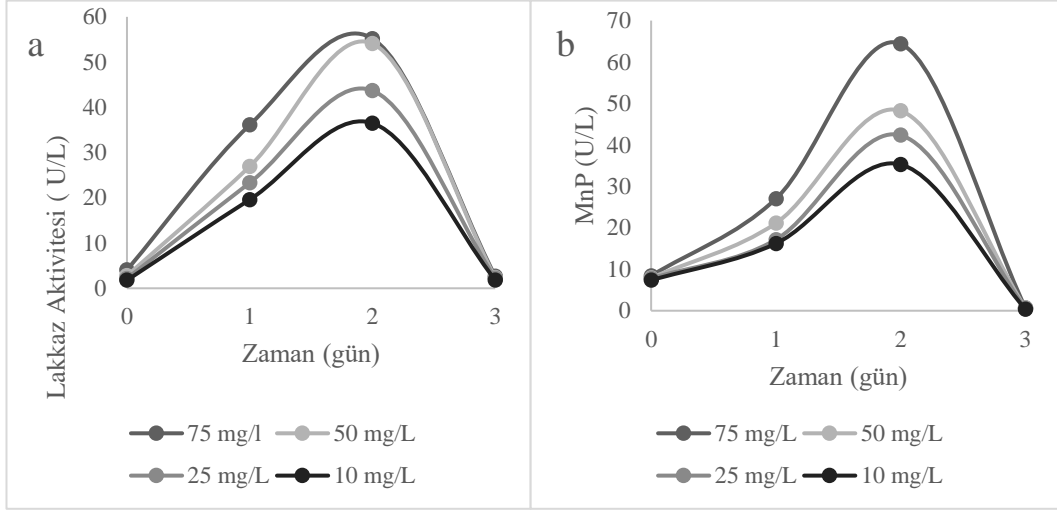
Şekil 4.47 Reactive Yellow 160 boyarmaddesinin serbest formdaki *M.esculenta* ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi



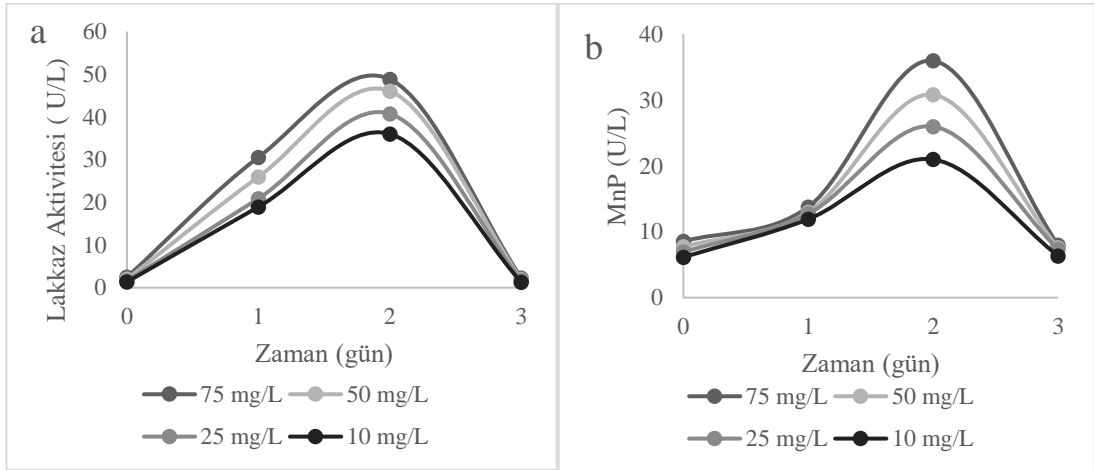
Şekil 4.48 Boyarmadde karışımının serbest formdaki *M.esculenta* ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi

6 gün boyunca serbest hücrelerle gerçekleştirilen boyarmadde giderimi sırasında elde edilen lakkaz ve MnP aktiviteleri Şekil 4.45, 4.46, 4.47 ve 4.48'da verilmiştir. Ligninolitik enzimlerin boyarmadde giderimi sırasında lakkaz ve MnP aktiviteleri takip edilmiştir. Lakkaz aktivitesi incelenen tüm boyarmadde konsantrasyonlarında 3. günde maksimum değere ulaşmıştır. Aktivite 3. günden sonra gözle görünür bir şekilde azalmış ve 6. günün sonunda yaklaşık olarak 0'a düşmüştür. Hücre dışı MnP aktivitesi inkübasyonun 3. gününde arttı ve daha sonra azaldı. Bu sonuçlar, birinci günden itibaren yüksek bir hücre dışı lakkaz düzeyinin tespit edildiğini, 4. günde yaklaşık %55'in altına düştüğünü ve biyobozunma sonrası yaklaşık olarak %0'a düşmektedir. Lakkaz ve MnP enzimleri inhibe edilmiştir.

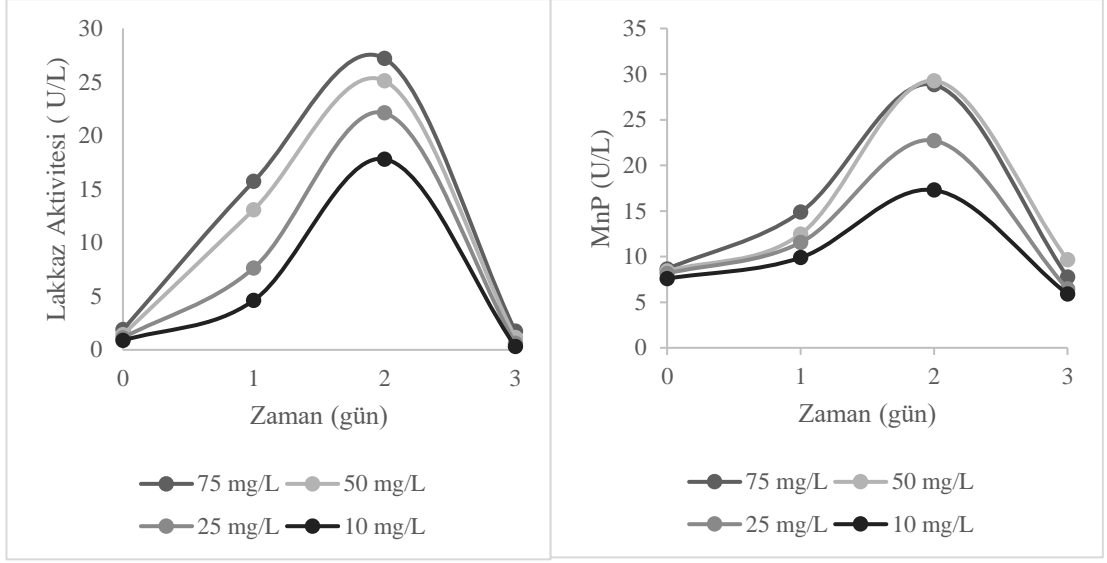
4.3.2 İmmobilize Hücrelerle Gerçekleştirilen Boyarmadde Giderimi Sırasındaki Aktivite Değişimleri



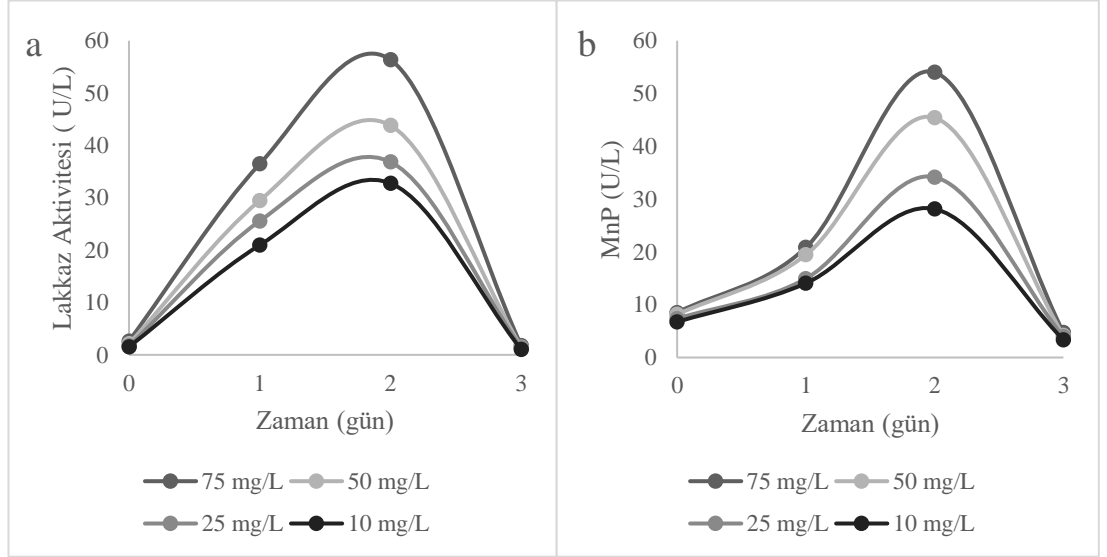
Şekil 4.49 Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesine ait selüloza immobilize *M.esculenta* ile giderimi sırasında aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi



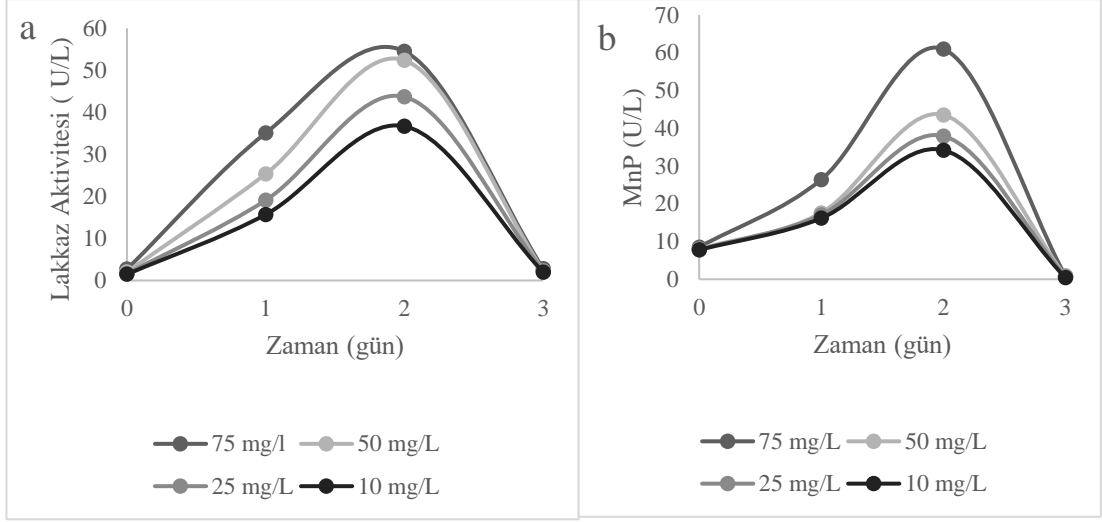
Şekil 4.50 Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesine ait kaoline immobilize *M.esculenta* ile giderimi sırasında aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi



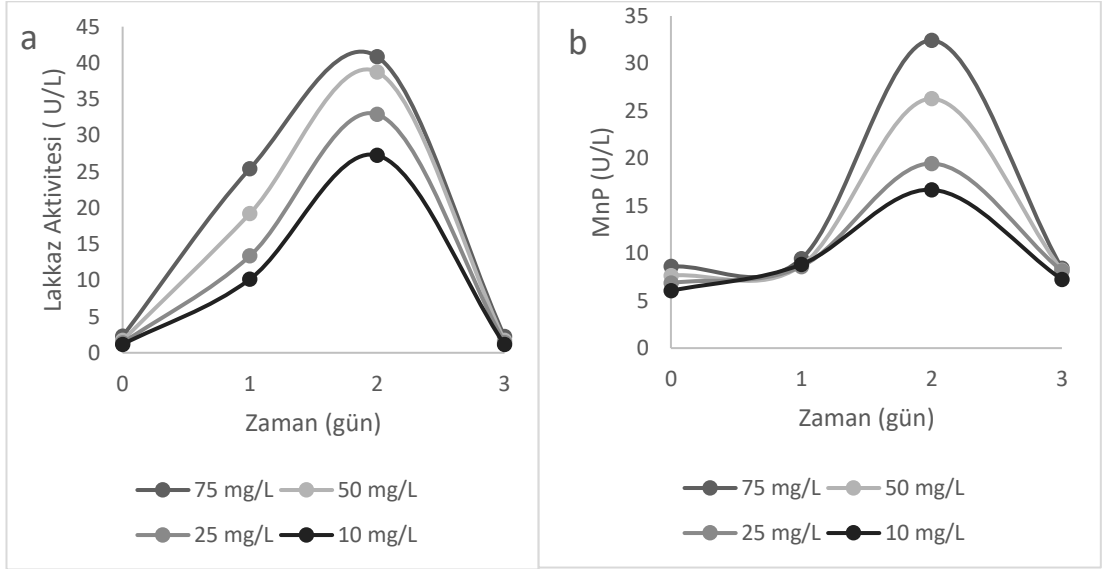
Şekil 4.51 Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesine ait jelatine immobilize *M.esculenta* ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi



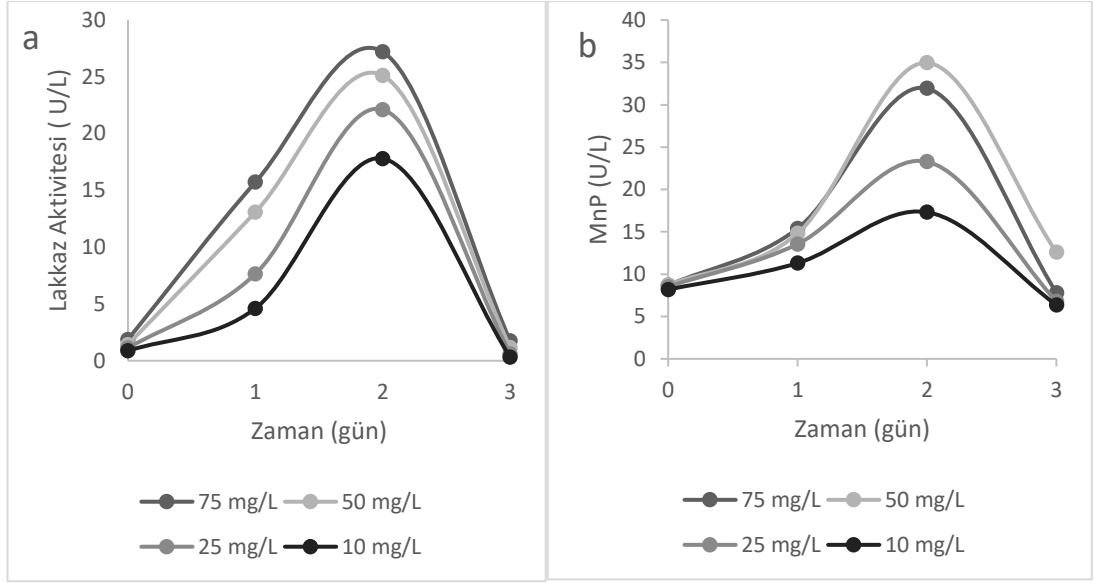
Şekil 4.52 Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesine ait polistirene immobilize *M.esculenta* ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi



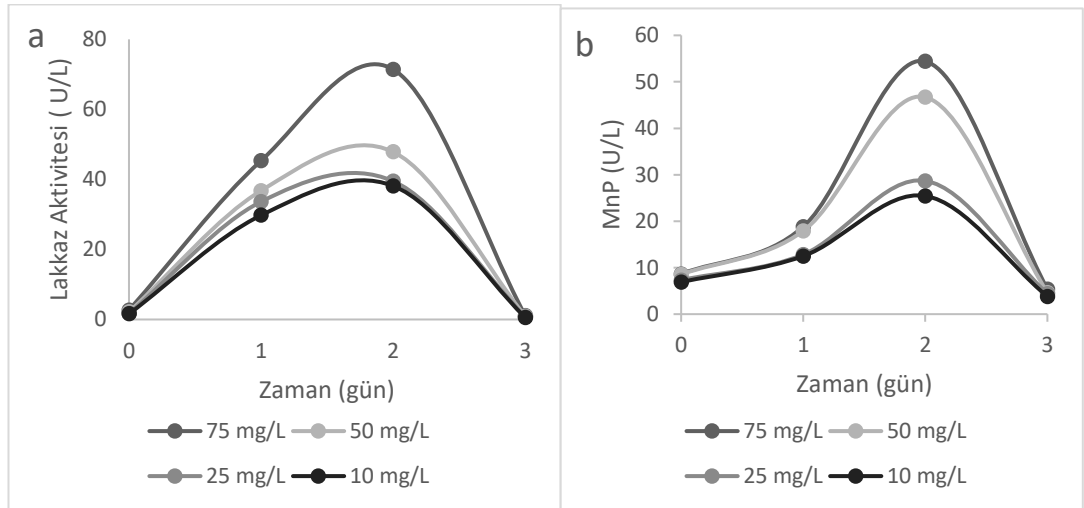
Şekil 4.53 Remazol Navy RGB boyarmaddesine ait selüloza immobilize *M.esculenta* ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi



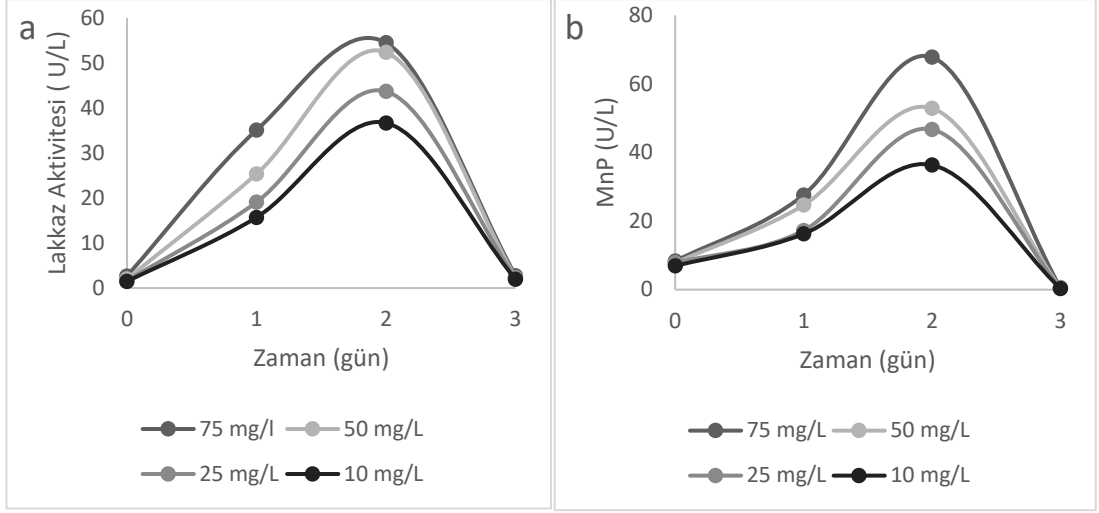
Şekil 4.54 Remazol Navy RGB boyarmaddesine ait kaoline immobilize *M.esculenta* ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi



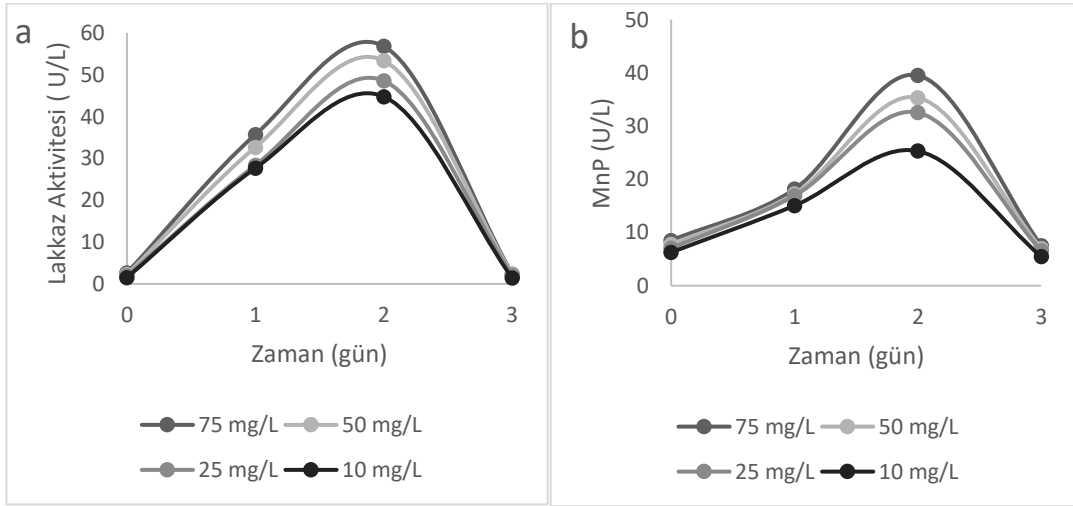
Şekil 4.55 Remazol Navy RGB boyarmaddesine ait jelatine immobilize *M. esculenta* ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi



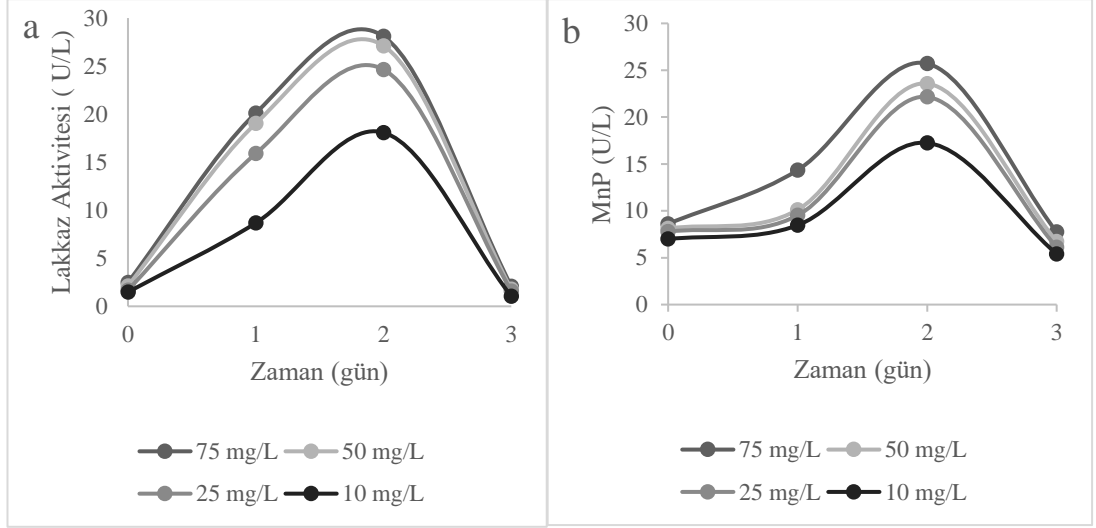
Şekil 4.56 Remazol Navy RGB boyarmaddesine ait polistirene immobilize *M. esculenta* ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi



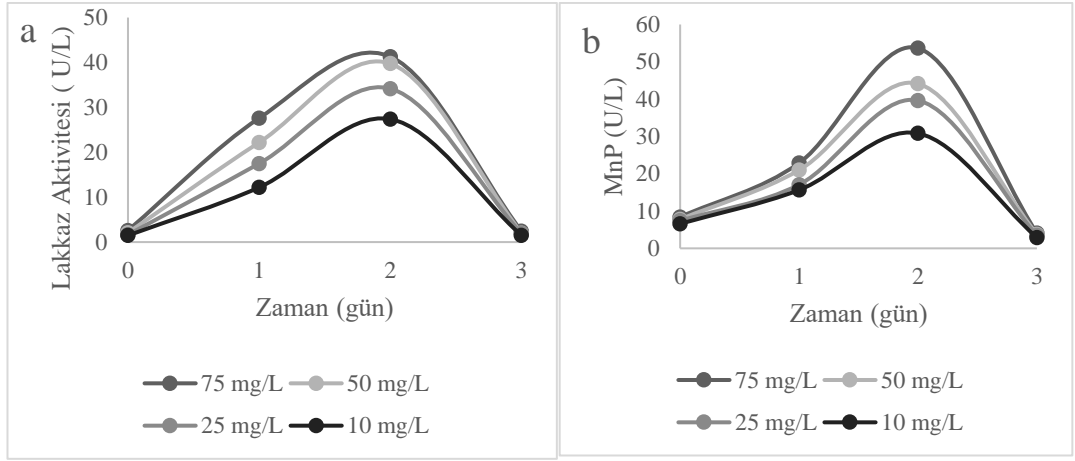
Şekil 4.57 Reactive Yellow 160 boyarmaddesine ait selüloza immobilize *M.esculenta* ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi



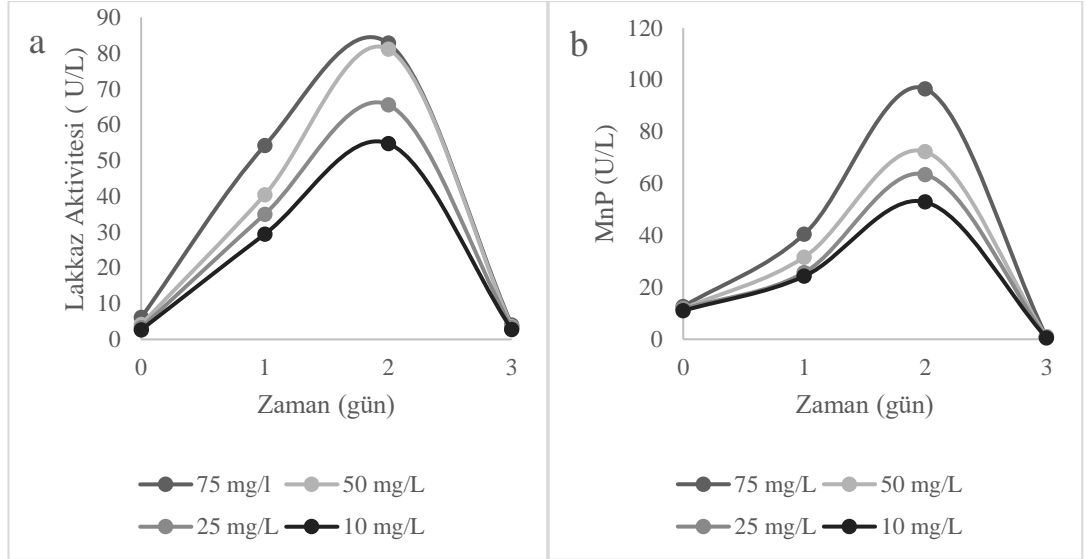
Şekil 4.58 Reactive Yellow 160 boyarmaddesine ait kaoline immobilize *M.esculenta* ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi



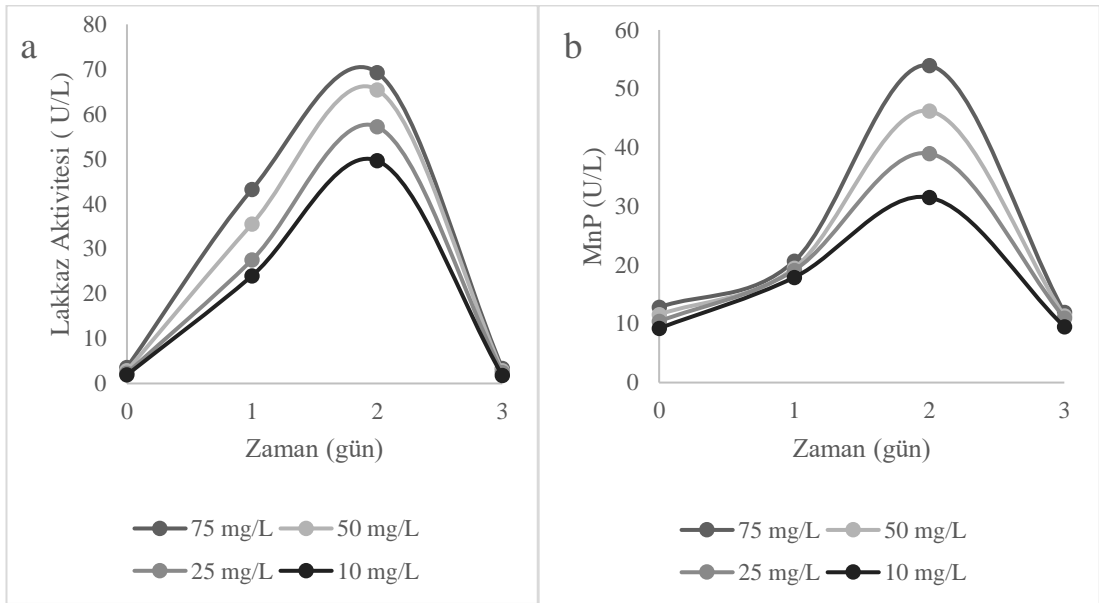
Şekil 4.59 Reactive Yellow 160 boyarmaddesine ait jelatine immobilize *M.esculenta* ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi



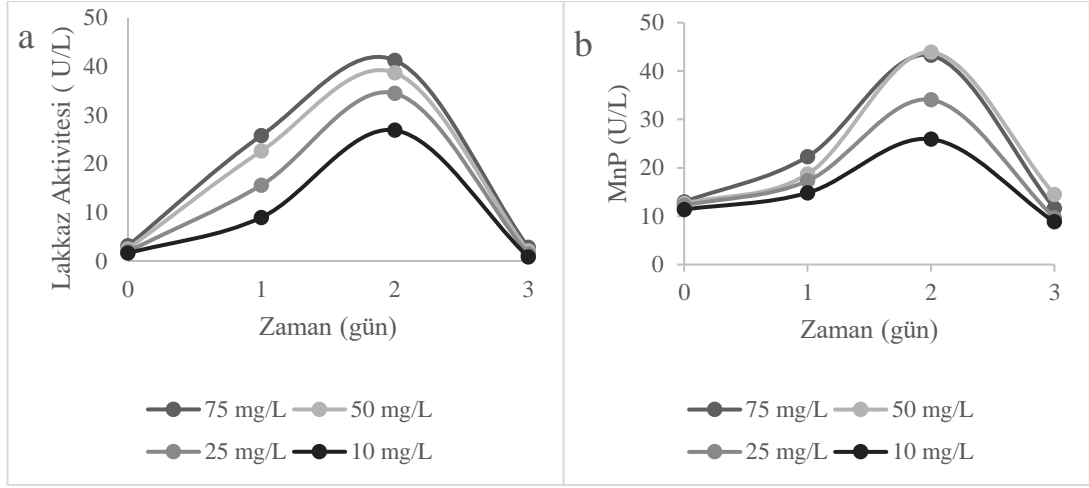
Şekil 4.60 Reactive Yellow 160 boyarmaddesine ait polistirene immobilize *M.esculenta* ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi



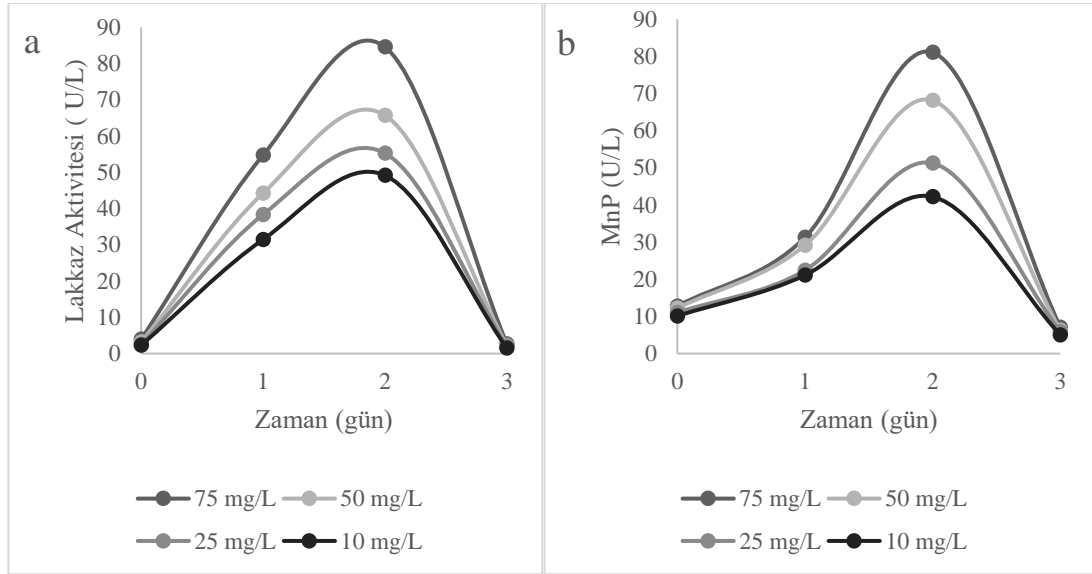
Şekil 4.61 Boyarmadde karışımına ait selüloza immobilize *M.esculenta* ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi



Şekil 4.62 Boyarmadde karışımına ait kaolin immobilize *M.esculenta* ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi



Şekil 4.63 Boyarmadde karışımına ait jelatine immobilize *M.esculenta* ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi



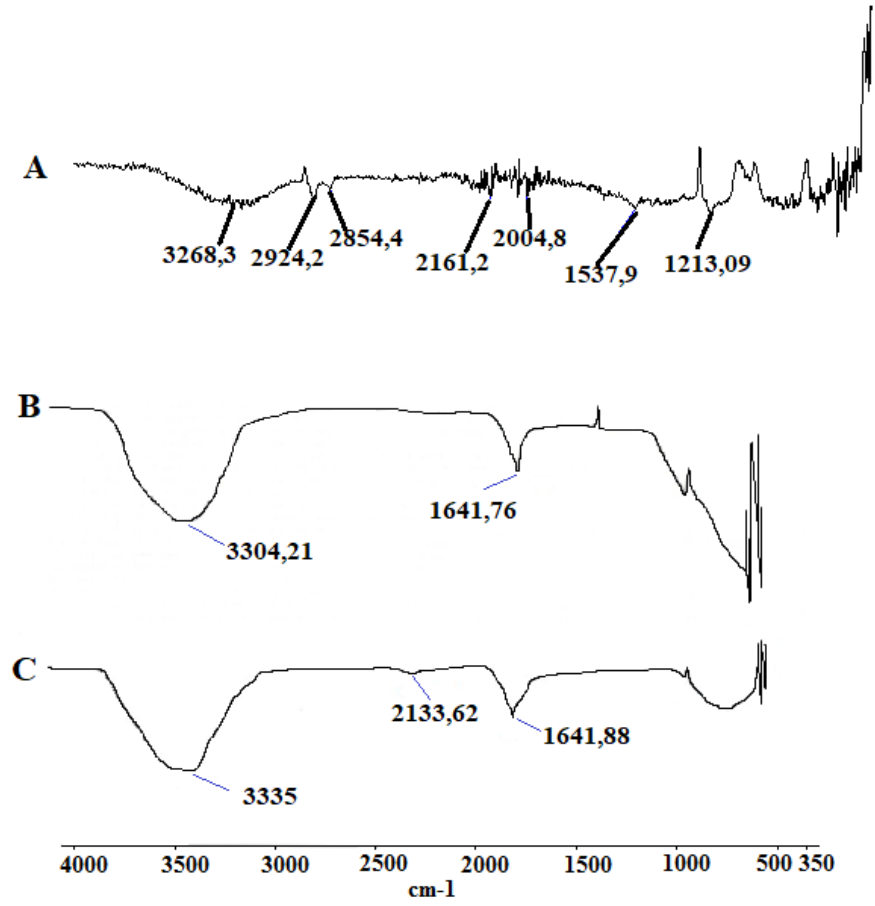
Şekil 4.64 Boyarmadde karışımına ait polistiren immobilize *M.esculenta* ile giderimi sırasındaki aktivite değişimleri a: Lakkaz aktivitesi değişimi, b: MnP aktivitesi değişimi

Şekil 4.49, 4.50, 4.51, 4.52, 4.53, 4.54, 4.55, 4.56, 4.57, 4.58, 4.59, 4.60, 4.61, 4.62, 4.63, ve 4.64 3 gün boyunca boyarmaddelerin immobilize hücrelerle giderimi sırasında lakkaz ve MnP aktiviteleri ve boyarmadde varyasyonlarını göstermektedir. Ligninolitik enzimlerin boyarmadde giderimi sırasında lakkaz ve MnP aktiviteleri takip edilmiştir. Lakkaz aktivitesi incelenen tüm boyarmadde konsantrasyonlarında 2. günde maksimum değere ulaşmıştır. Aktivite 2. günden sonra gözle görünür bir şekilde azalmış ve 3. günün sonunda yaklaşık olarak 0'a düşmüştür. Hücre dışı MnP aktivitesi inkübasyonun 1. gününde arttı ve daha sonra azaldı. Bu sonuçlar, birinci günden itibaren yüksek bir hücre dışı lakkaz düzeyinin tespit edildiğini, 2. günde yaklaşık

%55'in altına düştüğünü ve biyobozunma sonrası yaklaşık olarak %0'a düşmektedir. Lakkaz ve MnP enzimleri inhibe edilmiştir.

4.4 FT-IR Analizleri

Saf haldeki boyarmaddelerin ve immobilize *M.esculenta* ile en iyi giderimin gerçekleştiği her bir boyarmadde için giderim sonrasında FT-IR spektrumları alınmıştır.

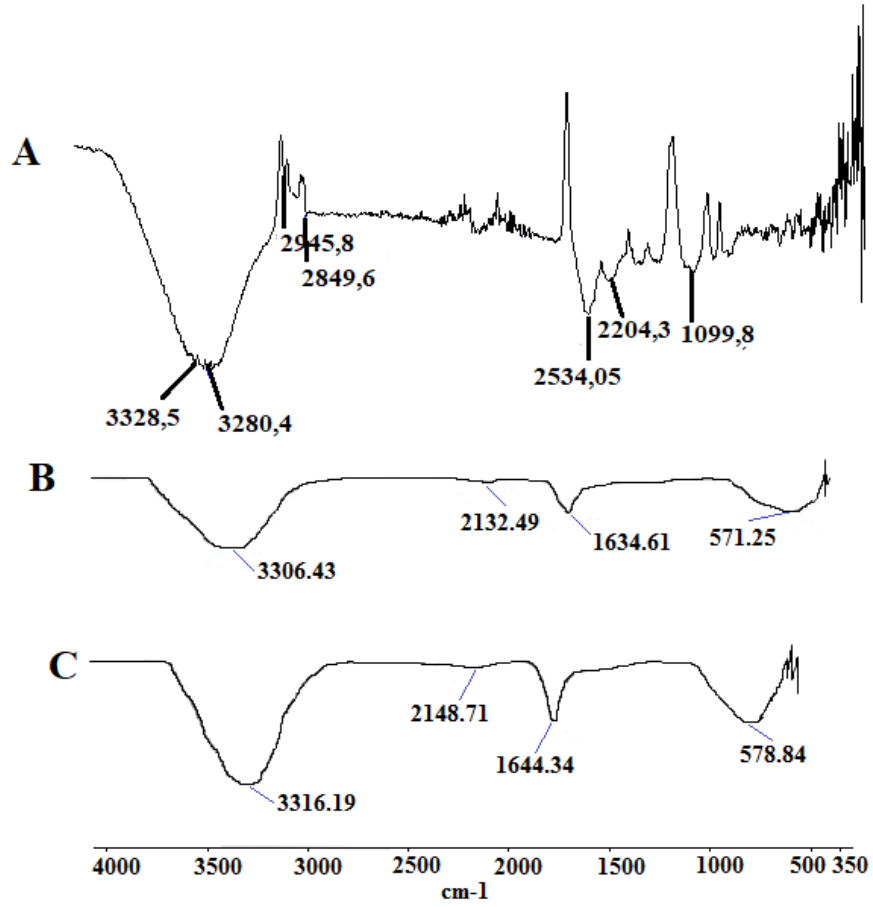


Şekil 4.65 Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesi'ne ait FT-IR spektrumları; A: Saf boyarmaddeye ait spektrum B: Serbest hücrelerle boyarmadde giderimi sonrası C: Polistirene immobilize hücrelerle boyarmadde giderimi sonrası

Saf haldeki boyarmaddenin giderim öncesi FT-IR spektrumunda, bağlı olan -O-H grubunun gerilmesine bağlı olarak $3268,3 \text{ cm}^{-1}$ 'de pik göstermiştir. $2924,2 \text{ cm}^{-1}$ ve $2854,4 \text{ cm}^{-1}$ 'deki pikler, (simetrik ve asimetric) aromatik -C=C-H geriliminden kaynaklanmaktadır. S=O simetrik ve asimetric titreşimlere atfedilen $1213,9 \text{ cm}^{-1}$ değerlerinde pik vermektedir.

Giderim sonucunda serbest ve en iyi giderimin gerçekleştiği immobilize *M.esculenta* örneği, FT-IR spektrumları değerlendirilmiştir. Elde edilen spektrumlarda $3304,21$ ve 3335 cm^{-1} 'de elde edilen yayvan -O-H pikleri -H bağı nedeniyle görülmektedir. Boyarmaddeye ait FT-IR spektrumunda bulunan $2924,2 \text{ cm}^{-1}$ ve $2854,4 \text{ cm}^{-1}$ 'deki N-H pikinin giderildiği gözlemlenmiştir. Bu veriler

değerlendirildiğinde Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddenin serbest ve immobilize hücreler tarafından giderime uğratıldığı görülmektedir.

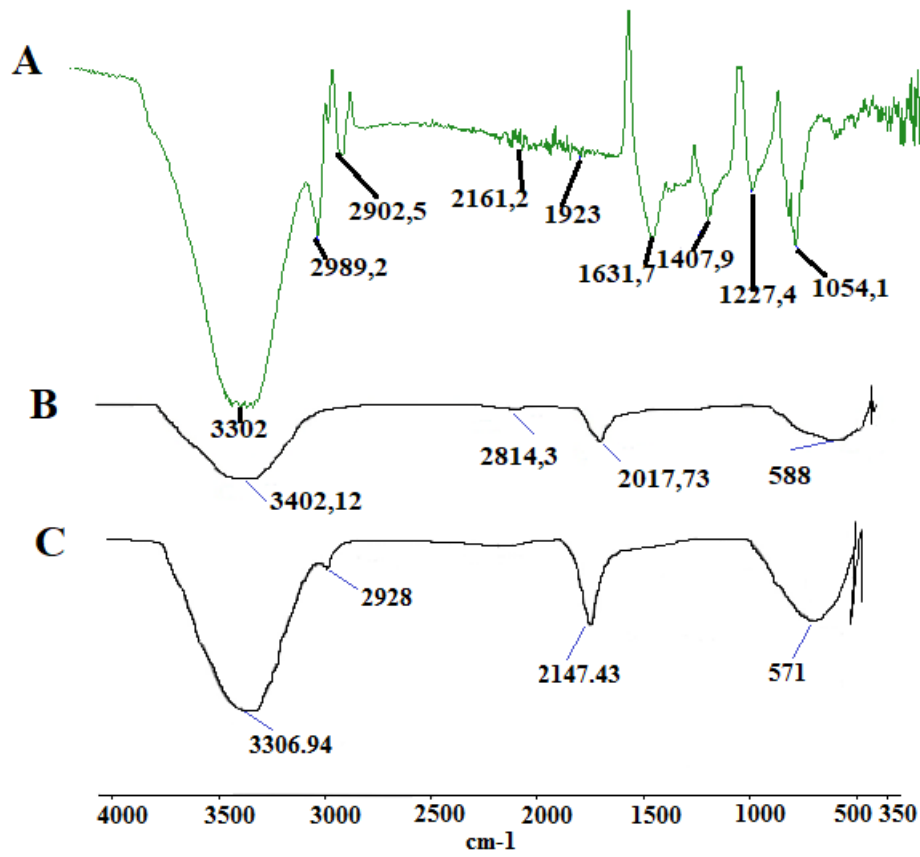


Şekil 4.66 Remazol Navy RGB boyarmaddesi FT-IR spektrumları; A: Saf boyarmaddeye ait spektrum B: Serbest hücrelerle boyarmadde giderimi sonrası C: Polistirene immobilize hücrelerle boyarmadde giderimi sonrası

Saf haldeki boyarmaddenin giderim öncesi FT-IR spektrumunda, bağlı olan -O-H grubunun gerilmesine bağlı olarak $3328,5 \text{ cm}^{-1}$ 'de pik göstermiştir. $2945,8 \text{ cm}^{-1}$ ve $2849,6 \text{ cm}^{-1}$ 'deki pikler, (simetrik ve asimetric) aromatik -C=C-H geriliminden kaynaklanmaktadır. S=O simetrik ve asimetric titreşimlere atfedilen $1099,8 \text{ cm}^{-1}$ değerlerinde pik vermektedir.

Giderim sonucunda serbest ve en iyi giderimin gerçekleştiği immobilize *M.esculenta* örneği, FT-IR spektrumları değerlendirilmiştir. Elde edilen spektrumlarda $3306,43$ ve $3316,19 \text{ cm}^{-1}$ 'de elde edilen yayvan -O-H pikleri -H bağı nedeniyle görülmektedir. Boyarmaddeye ait FT-IR spektrumunda bulunan $2945,8 \text{ cm}^{-1}$ ve $2849,6 \text{ cm}^{-1}$ 'deki N-H pikinin giderildiği gözlemlenmiştir. $675-1000 \text{ cm}^{-1}$ aralığında yer alan -C=C ait piklerdeki şiddetin azaldığı görülmektedir. Bu veriler

değerlendirildiğinde Remazaol Navy RGB boyarmaddesinin serbest ve immobilize hücreler tarafından giderime uğratıldığı görülmektedir.

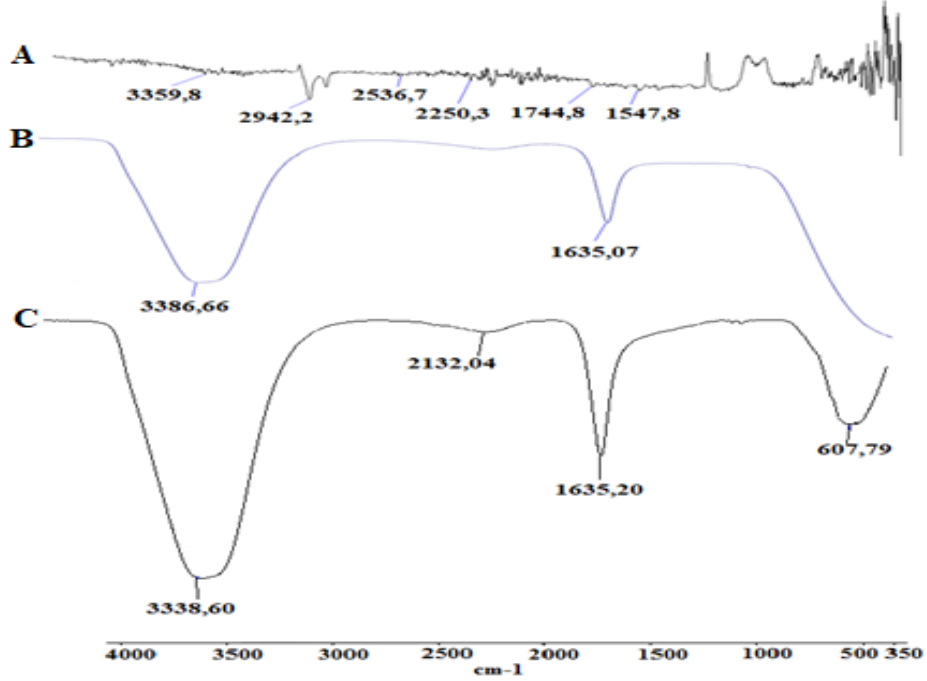


Şekil 4.67 Reactive Yellow 160 boyarmaddesi FT-IR spektrumları; A: Saf boyarmaddeye ait spektrum B: Serbest hücrelerle boyarmadde giderimi sonrası C: Polistirene immobilize hücrelerle boyarmadde giderimi sonrası

Saf haldeki boyarmaddenin giderim öncesi FT-IR spektrumunda, bağlı olan -O-H grubunun gerilmesine bağlı olarak 3302 cm^{-1} 'de pik göstermiştir. $2989,2\text{ cm}^{-1}$ ve $2902,5\text{ cm}^{-1}$ 'deki pikler, (simetrik ve asimetrik) aromatik -C=C-H geriliminden kaynaklanmaktadır. S=O simetrik ve asimetrik titreşimlere atfedilen $1099,8\text{ cm}^{-1}$ değerlerinde pik vermektedir.

Giderim sonucunda serbest ve en iyi giderimin gerçekleştiği immobilize *M.esculenta* örneği, FT-IR spektrumları değerlendirilmiştir. Elde edilen spektrumlarda $3306,94$ ve $3402,12\text{ cm}^{-1}$ 'de elde edilen yayvan -O-H pikleri -H bağı nedeniyle görülmektedir. Boyarmaddeye ait FT-IR spektrumunda bulunan $2989,2\text{ cm}^{-1}$ ve $2902,5\text{ cm}^{-1}$ 'deki N-H pikinin giderildiği gözlemlenmiştir. $675-1000\text{ cm}^{-1}$ aralığında yer alan -C=C ait piklerdeki şiddetin azaldığı görülmektedir. Bu veriler

değerlendirildiğinde Reactive Yellow 160 boyarmaddesinin serbest ve immobilize hücreler tarafından giderime uğratıldığı görülmektedir.



Şekil 4.68 Boyarmadde karışımına ait FT-IR spektrumları; A: Boyarmadde karışımına ait spektrum, B: Serbest hücrelerle boyarmadde giderimi sonrası, C: Polistirene immobilize hücrelerle boyarmadde giderimi sonrası

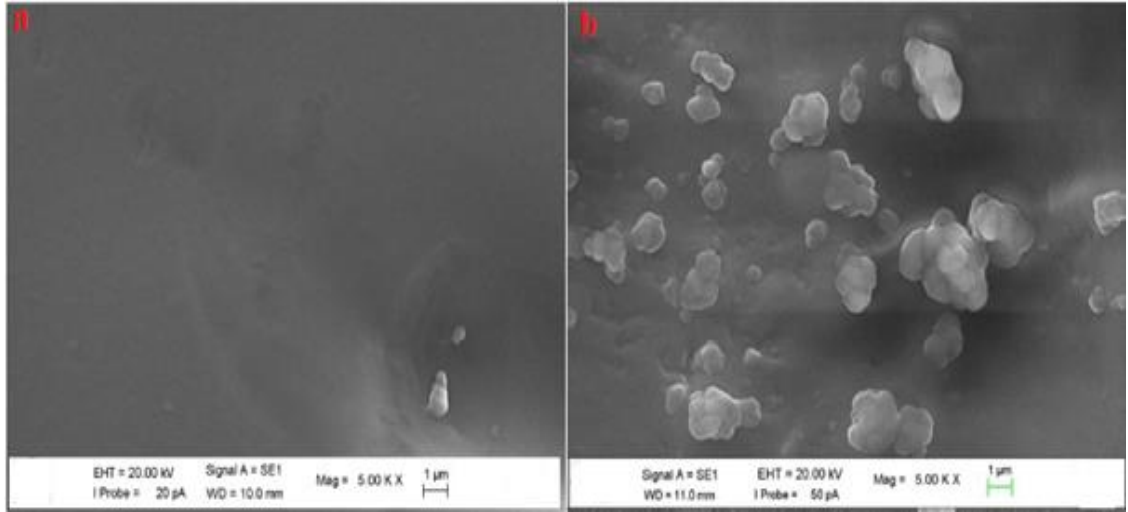
Boyarmadde karışımının giderim öncesi FT-IR spektrumunda, bağlı olan -O-H grubunun gerilmesine bağlı olarak 3302 cm⁻¹'de pik göstermiştir. 2942,2 cm⁻¹'deki pik, (simetrik ve asimetric) aromatik -C=C-H geriliminden kaynaklanmaktadır.

Giderim sonucunda serbest ve en iyi giderimin gerçekleştiği polistirene immobilize *M.esculenta* örneği, FT-IR spektrumları değerlendirilmiştir. Aromatik'lik pikinin yer aldığı 1500-1600 cm⁻¹ aralığındaki piklerin kaybolduğu görülmektedir. 3359,8 cm⁻¹'deki N-H pikinin, boyarmadde karışımına ait 2250,3 cm⁻¹'deki C-N pikinin kaybolduğu görülmektedir. -C=C' ye ait 675-1000 cm⁻¹ aralığında yer alan piklerde ise azalma gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde boyarmadde karışımı serbest ve immobilize hücreler tarafından giderime uğratıldığı görülmektedir.

4.5 Ecogreen Biyomembran (EgBM) Reaktör Sisteminde Boyarmadde Giderimi

EgBM üç temel bileşenden oluşur: bazık polimer olarak selüloz triasetat (CTA), membranın esnekliğini, mekanik stabilitesini sağlayan ve destek malzemesi olarak hareket eden plastikleştirici 2-nitrofenil oktil eter (2-NPOE), taşıyıcı ve parçalayıcı olarak *M. esculenta* pelletleri kullanılmıştır.

M.esculenta hücresi membran içerisinde hareketsizleştirdikten sonra, *M. esculenta* immobilize edilmiş EgBM'de açıkça ve belirgin bir şekilde görülmüştür (Şekil 4.69). EgBM'nin SEM fotoğrafları, *M. Esculenta*'nın membran üzerinde başarılı bir şekilde immobilize olduğunu gösterdi.



Şekil 4.69 İmmobilizasyon öncesi ve sonrası SEM görüntüleri; a: Hücre immobilize edilmemiş membran b: Hücre immobilize edilmiş membran (EgBM)

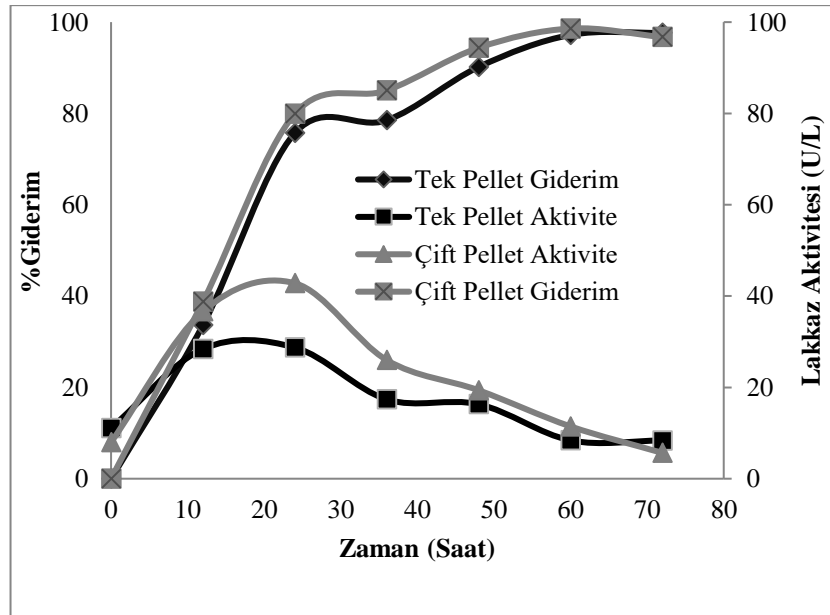
4.5.1 EgBM ile Cibacron Brilliant Red 3B-A Boyarmaddesinin Giderimi

EgBM'de iki farklı hücre miktarının membrana immobilizasyona etkileri araştırılarak optimum hücre miktarı optimize edildi. Membrana immobilize hücrelerle boyarmaddenin giderimi biyosorpsiyon ve lakkaz enzim aktivitesindeki değişimler belirlenerek, veriler karşılaştırıldı. Tablo 4.24 ve Şekil 4.70'da verilen ağırlıklardaki tek ve çift pellet içeren membranlarla yapılan çalışmada 60. ve 72. saatin sonunda elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında her iki hücre miktarında da oldukça iyi oranda giderim tespit edilmiştir. Şekil 4.70'da görüldüğü gibi her iki membran için lakkaz

enzim aktivitesi 24. saatte maksimum değerine ulaşmıştır. Tek ve çift pellet içeren membranlar için 24., 60. ve 72. saatin sonunda dekolorizasyon ve lakkaz enzim aktiviteleri değerlendirildiğinde çift pellet içeren membranla yapılan deneysel verilerinin daha iyi olduğu belirlenmiş ve ileriki aşamalarda hücre miktarı olarak çift pellet esas alınmıştır.

Tablo 4.24 Farklı pellet miktarlarında % Giderim, % Biyosorpsiyon, % Biyodegradasyon ve lakkaz aktivite değerleri

Pellet Miktarı		% Giderim	% Biyosorpsiyon	% Biyodegradasyon	Lakkaz aktivitesi U/L
Donör Faz	Tek Pellet	97.66	16.35	81.30	28.722
	Çift Pellet	96.72	17.28	79.43	42.806



Şekil 4.70 Membrandaki pellet miktarına bağlı donör fazın giderim ve lakkaz aktivitesi değerleri

Akseptör faz (Enzim üretim ortamı, Boyarmadde çözeltisi, Saf su) için en uygun çözeltiyi belirlemek amacıyla üç farklı ortam kullanılmıştır. Giderim ve lakkaz enzim aktivitesi, her üç ortamda da 72 saat boyunca izlendi. Tablo 4.25’de gösterildiği gibi, yapılan hesaplamalar boyarmadde giderimi için en uygun akseptör fazın enzim üretim ortamı olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.25 Farklı ortamlar içeren akseptör faz enzim aktivitesi değerleri

Lakkaz Aktivitesi (U/L)							
Zaman (Saat)	0	12	24	36	48	60	72
Enzim Üretim Ortamı	7.972	36.639	42.806	25.972	19.361	11.444	5.639
Enzim Üretim Ortamı + Boyarmadde	6.547	32.750	36.555	24.277	17.805	12.702	3.527
Saf su	0.000	15.944	11.472	10.194	9.027	8.750	8.027

Tablo 4.26 Farklı ortamlar içeren akseptör faz % Giderim, % Biyosorpsiyon, % Biyodegradasyon değerleri

	Enzim Üretim Ortamı	Enzim Üretim Ortamı+Boyarmadde	Saf su
% Giderim	97.66	92.99	99.53
% Biyosorpsiyon	16.36	16.36	16.36
% Biyodegradasyon	81.31	76.64	83.18

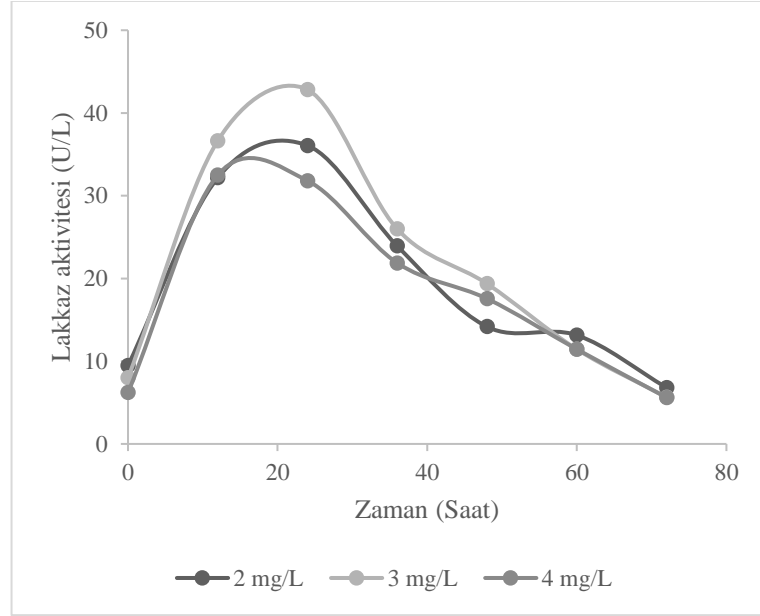
Uygun akseptör faz belirlendikten sonra 3 farklı konsantrasyonda boyarmadde içeren donör fazdan boyarmadde giderimne ait sonuçlar Tablo 4.26’da verilmiştir. UV spektrofotometresi ile yapılan ölçümlerde 2, 3, 4 mg/L konsantrasyonlarında boyarmadde içeren ortamda 72 saat boyunca alınan örnekler değerlendirildiğinde yaklaşık olarak % 99,26 % 96,73 ve % 98,87 oranında EgBM tarafından uzaklaştırılmıştır.

Tablo 4.27 EgBM ile farklı konsantrasyonlarda Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmadde % Giderim, % Biyosorpsiyon, % Biyodegradasyon değerleri

Boyarmadde Konsantrasyonu	2 mg/L	3 mg/L	4 mg/L
% Giderim	99,26	96,73	98,87
% Biyosorpsiyon	20,00	17,29	15,67
% Biyodegradasyon	79,26	79,44	83,20

Membran üzerine immobilize edilen *M.esculenta* hücrelerinden yapılan EgBM sistemi ile boyarmadde giderimi, donör fazda boyarmadde konsantrasyonu 2,0, 3,0, 4,0 mg/L kullanıldı. Tablo 4.27’de verilen veriler değerlendirildiğinde 72 saat sonunda EgBM’nin donör fazda bulunan boyarmaddeyi etkili bir şekilde giderime uğrattığını

gözlemledik. Şekil 4.71’de verilen Lakkaz aktivitesi incelenen tüm boyarmadde konsantrasyonlarında 24. saat sonunda maksimum değere ulaşmıştır. Aktivite 24 saat sonunda gözle görünür bir şekilde azalmış ve 72. saat sonunda minimum değerine düşmüştür. Bu sonuçlar, EgBM’ye ait yüksek bir hücre dışı lakkaz düzeyinin tespit edildiğini ve biyobozunma sonrası ise % 0'a düştüğünü göstermektedir.



Şekil 4.71 EgBM ile Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesi giderimi sırasında lakkaz aktivitesi değişimi

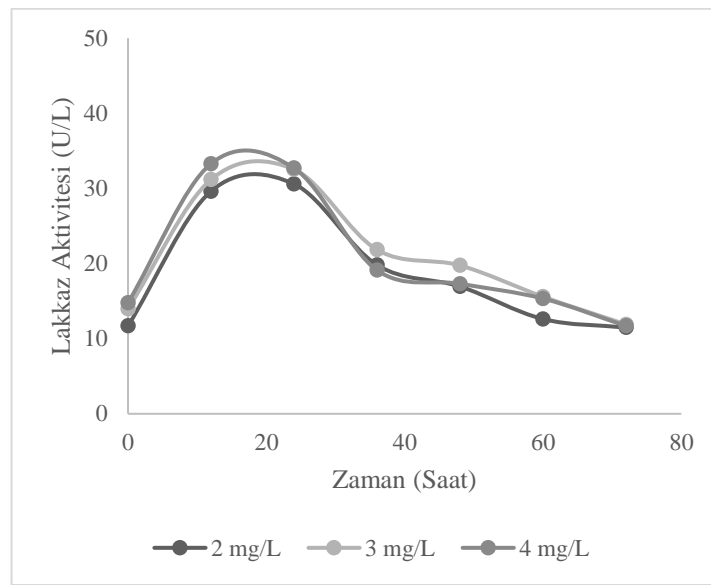
4.5.2 EgBM ile Remazol Navy RGB boyarmaddesinin Giderimi

UV spektrofotometresi ile yapılan ölçümlerde 2, 3, 4 mg/L konsantrasyonlarında boyarmadde içeren ortamda 72 saat boyunca alınan örnekler değerlendirildiğinde yaklaşık olarak % 94,85 % 93,46 ve % 89,10 oranında EgBM tarafından uzaklaştırılmıştır.

Tablo 4.28 EgBM ile farklı konsantrasyonlarda Remazol Navy RGB boyarmaddesi % Giderim, % Biyosorpsiyon, % Biyodegradasyon değerleri

Boyarmadde Konsantrasyonu	2 mg/L	3 mg/L	4 mg/L
% Giderim	94,85	93,46	89,10
% Biyosorpsiyon	8,69	6,86	6,80
% Biyodegradasyon	86,16	86,60	82,30

EgBM sistemi ile boyarmadde giderimi, donör fazda boyarmadde konsantrasyonu 2,0, 3,0, 4,0 mg/L kullanıldı. Tablo 4.28'de verilen veriler değerlendirildiğinde 72 saat sonunda EgBM'nin donör fazda bulunan boyarmaddeyi etkili bir şekilde giderime uğrattığını gözlemledik. Şekil 4.72'de verilen lakkaz aktivitesi incelenen tüm boyarmadde konsantrasyonlarında 24. saat sonunda maksimum değere ulaşmıştır. Aktivite 24 saat sonunda gözle görünür bir şekilde azalmış ve 72. saat sonunda minimum değerine düşmüştür. Bu sonuçlar, EgBM'ye ait yüksek bir hücre dışı lakkaz düzeyinin tespit edildiğini ve biyobozunma sonrası ise % 0'a düştüğünü göstermektedir.



Şekil 4.72 EgBM ile Remazol Navy RGB boyarmaddesi giderimi sırasında lakkaz aktivitesi değişimi

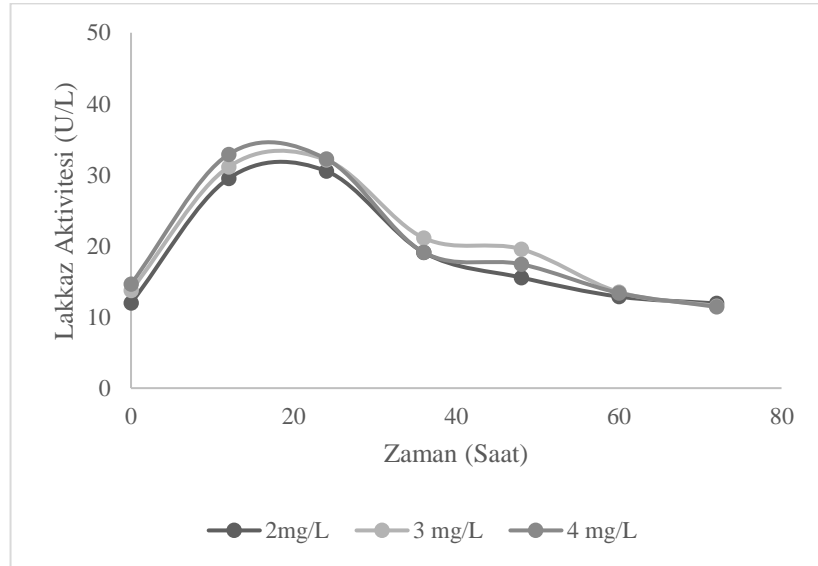
4.5.3 EgBM ile Reactive Yellow 160 boyarmaddesinin Giderimi

UV spektrofotometresi ile yapılan ölçümlerde 2, 3, 4 mg/L konsantrasyonlarında boyarmadde içeren ortamda 72 saat boyunca alınan örnekler değerlendirildiğinde yaklaşık olarak % 94,85 % 93,46 ve % 89,10 oranında EgBM tarafından uzaklaştırılmıştır.

Tablo 4.29 EgBM ile farklı konsantrasyonlarda Reactive Yellow 160 boyarmaddesi % Giderim, % Biyosorpsiyon, % Biyodegradasyon değerleri

Boyarmadde Konsatrasyonu	2 mg/L	3 mg/L	4 mg/L
% Giderim	95,91	94,30	93,21
% Biyosorpsiyon	25,98	7,60	11,28
% Biyodegradasyon	69,93	86,70	81,93

EgBM sistemi ile boyarmadde giderimi, donör fazda boyarmadde konsantrasyonu 2,0, 3,0, 4,0 mg/L kullanıldı. Tablo 4.29'da verilen veriler değerlendirildiğinde 72 saat sonunda EgBM'nin donör fazda bulunan boyarmaddeyi etkili bir şekilde giderime uğrattığını gözlemledik. Şekil 4.73'de verilen Lakkaz aktivitesi incelenen tüm boyarmadde konsantrasyonlarında 12. saat sonunda maksimum değere ulaşmıştır. Aktivite 12 saat sonunda gözle görünür bir şekilde azalmış ve 72. saat sonunda minimum değerine düşmüştür. Bu sonuçlar, EgBM'ye ait yüksek bir hücre dışı lakkaz düzeyinin tespit edildiğini ve biyobozunma sonrası ise % 0'a düştüğünü göstermektedir.



Şekil 4.73 EgBM ile Reactive Yellow 160 boyarmaddesi giderimi sırasında lakkaz aktivitesi değişimi

5. SONUÇ ve TARTIŞMA

P. ostreatus ile boyarmadde gideriminde farklı karbon kaynaklarının etkisini çalışan Hu ve diğ. (2004) çalışma sonucunda selülobioz karbon kaynağının renksizleştirmede daha etkili olduğunu belirlemişler fakat zor bulunması ve maliyetinin yüksek olmasından dolayı en uygun karbon kaynağının glukoz olduğunu rapor etmişlerdir (Hu ve diğ. 2004). Buna benzer olarak, Reactive Black 5 boyarmaddesinin *F. trogii* tarafından renksizleştirilmesi çalışmasında karbon kaynağı olarak nişasta, sükroz ve glukoz kullanılmış, glukoz içeren ortamda renksizleştirme oranının diğer karbon kaynaklı ortamlara göre daha yüksek olduğu rapor edilmiş bunun yanında farklı sıcaklıklarda yapılan giderim çalışmalarında optimum sıcaklık olarak 30 °C belirtilmiştir (Mazmancı ve Ünyayar 2003). Genellikle fungusların asidik pH ortamında gelişikleri (pH 4-5) literatürde yer almaktadır. Yedi farklı boyarmaddenin *P. chrysosporium* tarafından dekolarizasyonu Radha ve diğ. tarafından araştırılmıştır. Yaptıkları çalışmada optimum pH'ın belirlenmesi hedeflenerek 2,0-7,0 pH aralığında çalışmışlardır (Radha ve diğ. 2005). Bu çalışmada; ilk olarak optimum koşullar sağlandıktan sonra misel yaşları 4 gün olacak şekilde geliştirilmiştir. Dört günlük misel yaşına sahip olan beyaz çürükçül fungus *M.esculenta* kültürleri ile 3 farklı tekstil boyarmaddesinin (Cibacron Brilliant Red 3B-A, Remazol Navy RGB, Reactive Yellow 160) ayrı ayrı ve karışım halinde, biyolojik giderimi çalışılmıştır. Biyolojik giderim sırasında lakkaz ve mangan peroksidaz aktiviteleride takip edilmiştir. Farklı konsantrasyonlarda (10, 25, 50 ve 75 mg/L) altı gün boyunca alınan örneklerdeki absorbans değişimine bağlı olarak serbest formda yapılan çalışmalarda 10 mg/L konsantrasyonundaki örneklerde % 99,53 oranında Remazol Navy RGB boyarmaddesinde, % 97,13 oranında Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesinde ve % 93,11 oranında Reactive Yellow 160 boyarmaddesinde absorbansdaki azalma ile tespit edilmiştir. Boyarmadde karışımını içeren örneğe ait sonuçlar incelendiğinde her bir boyarmaddenin dalga boyunda alınan absorbans ölçümlerinde % 100 (621 nm), % 95,02 (519 nm), %71,78 (421 nm) oranında giderim gerçekleşmiştir. Konsantrasyon arttıkça beyaz çürükçül fungus hücrelerinin metabolik aktivitesi inhibe edildiğinden toksisite artmaktadır ve beyaz çürükçül fungusun gelişme hızı oranı buna bağlı olarak azalmasına neden olmaktadır. Bu sebepten kaynaklı olarak yüksek konsantrasyonda giderim veriminin daha düşük olduğu görülmektedir. Serbest formdaki hücrelerle

yapılan çalışmaların hepsinde boyarmaddelerin giderimi *M.esculenta* tarafından başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Candida tropicalis ile reaktif boyarmadde sınıfında yer alan 3 farklı boyarmaddenin, optimum koşullarda boyarmadde ve pH derişimlerine bağlantılı olarak biyoakümülyasyon çalışması yapılmıştır. Çalışmada yüksek konsantrasyonlardaki boyarmaddenin maya gelişimini inhibe ettiği ve daha düşük biyoakümülyasyona sebep olduğu belirtilmiştir (Dönmez 2002). Lignin yıkım yeteneğine sahip olan 18 fungus türü ile Reactive Blue 15, Reactive Violet 5, Reactive Black 5, Reactive Orange 96 ve Reactive Blue 38 boyarmaddelerinin giderimi çalışılmıştır. Bu boyarmadelerin tümünü sadece üç tane fungus türü tarafından giderildiği Heinflig ve diğ. (1997) tarafından rapor edilmiştir (Heinflig ve diğ. 1997).

Atık sulardan boyarmadde giderimi beyaz çürükçül funguslar tarafından üretilen enzimlerin spesifik aktivitelerine bağılı olarak gerçekleşmektedir. Boyarmadde renk giderimi spesifik aktivitenin artmasına bağılı olarak giderimden sorumlu lakkaz ve peroksidaz enzimlerinin olduğu fikrini doğurmuştur. Deveci ve diğ. (2004) yaptıkları bir çalışmada RBBR boyarmaddesinin giderimden lakkaz enziminin sorumlu olduğunu rapor etmişlerdir (Deveci ve diğ. 2004). Novotny ve ark tarafından yapılan benzer bir çalışmada RBBR boyarmaddesinin MnP enzimi tarafından gideriminin gerçekleşmeyeceğini, giderimden sorumlu enzim lakkaz veya başka bir oksijenaz enzimi olduğunu belirtmişlerdir (Novotny ve diğ. 2004). Chander ve Arora (2007) tarafından yapılan başka bir çalışmada beyaz çürükçül fungus enzimlerinin trifenilmetan ve antrakinin cinsi boyarmaddelerin giderimini başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini rapor etmişlerdir. Bunun yanında lakkaz enziminin RBRR ve Malachite Green renksizleştirilmesinde aktif rolü olduğunu belirtmişlerdir (Chander ve Arora 2007). Abadulla ve diğ. (2000) beyaz çürükçül fungusdan elde edilen lakkaz enzimi ile Acid Blue 74, Reactive Blue 221, Acid Blue 225, Reactive Black 5, Reactive Blue 19, Basic Red 9 ve Direct Blue 71 boyarmaddelerinin giderimini rapor etmişlerdir (Abadulla ve diğ. 2000). *Aspergillus ficuum* beyaz çürükçül fungusu pellet oluşturarak daha etkili şekilde renk giderimi gerçekleştirdiği belirtilmiştir. Araştırmacılar bu şekildeki misel oluşturarak 24 saat sonunda 50 mg/L konsantrasyonunda Direc Black 22 boyarmaddesinin % 95,05 oranında giderildiğini rapor etmişlerdir. Böylelikle biyolojik parçalanmanın ve biyoadsorbsiyonun etkili olduğu sonucuna varılmıştır (Dong ve diğ. 2001).

Schliephake ve Lonergan (1996), paketlenmiş biyoreaktörde naylon ağ küplerinde yetiştirilen beyaz çürükçül fungus *Pycnoporus cinnabarinus* tarafından sentetik boyarmadde Remazol Brilliant Blue R (RBBR)'nin giderimini incelemişlerdir. Funguların ürettiği lakkazların etkisi nedeniyle boyarmaddenin hızlı bir şekilde renksizleştiğini bulmuşlardır Schliephake ve Lonergan 1996). Leidig ve diğ. (1999) *T.versicolor* hücrelerini, polivinillalkol (PVAL)-hidrojel boncukları içerisine immobilize etmişlerdir. İmmobilize hücrelerle, polimerik boya Poly R-478, karıştırılmış bir tank reaktöründe (çalışma hacmi 1 L) immobilize *T. versicolor* ile % 89'luk bir giderim elde etmişlerdir (Leidig ve diğ. 1999). Ayrıca, Zhang ve diğ. (1999), azo boyarmadde sınıfında yer alan Orange II'nin, serbest ve Ca-aljinata immobilize formlarıyla bir çalışma rapor etmişlerdir. Biyoreaktör sisteminde immobilize fungusun, serbest fungusa oranla daha iyi performans gösterdiğini ve iki aydan fazla süre için yüksek verimle tekrar kullanılabilceğini bulmuşlardır (24 saatte % 97) (Zhang ve diğ. 1999).

Bu çalışmada giderimden sorumlu beyaz çürükçül fungus kaynaklı lakkaz ve MnP enzimlerinin aktiviteleri 6 gün boyunca takip edilmiştir. Tüm boyarmadde konsantrasyonlarında 3 gün sonunda maksimum değere ulaşan lakkaz ve MnP aktiviteleri üçüncü gün sonunda azalma göstermiştir. Lakkaz aktivitesi altıncı gün sonunda yok denecek kadar az bir seviyeye düşmüştür. Hücre dışı MnP aktivitesi 3. gününde arttı ve daha sonra azaldı. Aktiviteler göz önünde bulundurulduğunda ilk günden itibaren yüksek oranda lakkaz ve MnP olduğunu göstermektedir.

Boyarmadde atık oranının yüksekliği göz önünde bulundurularak organizmanın daha uzun süreli, hücrenin korunması ve daha etkili olabilmesi amaçlanarak *M.esculenta* farklı destek materyallerine (Selüloz, Kaolin, Jelatin, Polistiren) immobilize edilmiştir. İmmobilize hücrelerle yapılan çalışmalarda tüm boyarmaddeler ve karışım halinde boyarmadde içeren ortam için en yüksek giderim oranı polistiren destek materyali ile yapılan çalışmalarda elde edilmiştir. İmmobilize polistiren ile yapılan çalışmalarda 3 gün sonunda Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesinde % 99,19, Remazol Navy RGB boyarmaddesinde % 99,01 ve Reactive Yellow 160 boyarmaddesinde ise % 95,68 oranında giderim elde edilmiştir. İmmobilize selüloz ile yapılan çalışmalarda 3 gün sonunda Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesinde % 97,90, Remazol Navy RGB boyarmaddesinde % 82,81 ve Reactive Yellow 160 boyarmaddesinde ise % 85,31 oranında, immobilize kaolin ile

yapılan çalışmalarda sırasıyla % 98,42, %81,91 ve % 44,08 oranında giderim elde edilmiştir. *M.esculenta*'nın jelatin içerisine immobilize edilmesi ile yapılan çalışmalarda ise Cibacron Brilliant Red 3B-A boyarmaddesinde % 86,23, Remazol Navy RGB boyarmaddesinde % 89,21 ve Reactive Yellow 160 boyarmaddesinde ise % 40,88 oranında giderim gözlemlenmiştir. Immobilize hücrelerle yapılan boyarmadde karışımının giderimi çalışmalarında 3 günün sonunda; % 82,31 (421 nm), % 95,65 (519 nm) ve % 97,78 (625 nm) oranında polistiren destek materyaline immobilize *M.esculenta* tarafından gerçekleştirilmiştir. En yüksek giderim oranı polistiren destek materyalinde gözlemlenmiştir. % 44,08 (421 nm), % 84,05 (519 nm) ve % 91,95 (625 nm) oranında selüloz destek materyaline immobilize *M.esculenta* tarafından gerçekleştirilmiştir. % 44,08 (421 nm), % 94,91 (519 nm) ve % 78,33 (625 nm) oranında kaolin destek materyaline immobilize *M.esculenta* tarafından ve % 34,26 (421 nm), % 52,61 (519 nm) ve % 80,39 (625 nm) oranında jelatin destek materyaline immobilize *M.esculenta* tarafından giderimin gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, fungusların polistiren immobilizasyonunun, serbest fungus kültürlerine kıyasla boyarmaddelerin renk giderimini arttırdığını göstermiştir. Sonuçlar ayrıca lakkaz ve MnP'nin, boyarmaddelerin parçalanmasında rol oynayan ana ligninolitik enzim olduğunu göstermiştir. Bu çalışma, yüksek boyarmadde konsantrasyonunun (75 mg/L) giderimine, karışım halinde boyarmadde içeren ortamların temizlenmesine ve immobilize edilmiş hücrelerin yeniden kullanılabilmesine işaret etmektedir. Bu, boyarmadde içeren atık suyun arıtılmasında büyük bir ilerleme olabilir ve yöntem, sürekli sistemlerde, özellikle tekstil endüstrisinden gelen atık suyu arıtmak için potansiyel bir uygulamaya sahip olabilir.

Fungal immobilizasyon için çeşitli taşıyıcı materyaller denenmesine rağmen, bunların performansları, uzun vadeli stabiliteleri ve maliyetleri açısından çok az sayıda çalışma vardır. Ayrıca, daha fazla odaklanma gerektiren önemli bir araştırma alanı biyoreaktör tasarımı ve uzun süreli çalışmasıdır. Diğer atık sular gibi boyarmadde içeren akışkanlar, yüksek akış oranlarına sahip büyük miktarlarda atık olarak üretilmektedir. Örneğin, tekstil endüstrisi yaklaşık 1 kg tekstil materyalini işlemek için yaklaşık 100 L su tüketmektedir. Bu nedenle, bu yüksek hacimde boyarmaddeli atık suyu işlemek için büyük bir hacme sahip bir sistem gereklidir. Gelecekteki

araştırmalar, sadece hareketsiz hücresler ile mümkün olan mikrobiyolojik süreçlerin geliştirilmesinde değil, aynı zamanda bazı mühendislik problemlerini çözmek için biyoreaktör tasarımımda kapsamlı araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Gelecekteki araştırmaların, süreç yoğunlaşması konusundaki bilgimizi zenginleştirmek için immobilize edilmiş durumda mikrobiyal fizyolojiye odaklanması da çok önemlidir.

Son zamanlarda, mikrobiyal bozulma ve biyosorpsiyon nedeniyle boyarmaddenin giderilmesinde maliyet-etkin yöntemler önemlidir. Endüstriyel atık su biyolojik arıtma, atıkların karmaşık kombinasyonu nedeniyle seçim yapmak için en iyi seçenek olarak zor bir görevdir. Çoğunlukla iki veya daha fazla sistemin bir kombinasyonu gereklidir. Doğru sistemin seçimi, atıkların bileşimine, boyanın özelliklerine, bozunma ürünlerinin toksisitesine ve arıtılmış suyun gelecekteki kullanımına bağlıdır. Çalışmamızda ilk defa bir fungus hücresi PIM'e immobilize edildi ve hazırlanan bu eko-green biyomembran ile bir membran biyoreaktör sistemi tasarlamıştır. *M. esculenta* tarafından üretilen hücre dışı bir enzim olan lakkaz enziminde seçilen boyarmaddelerin uzaklaştırılmasındaki değişiklik izlenmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında hedef alınan boyarmaddelerin gideriminden ligninolitik enzim sınıfında yer alan Lakkaz enziminin sorumlu olduğu tespit edilmiştir.

6. KAYNAKLAR

Abadulla, E., Tzanov, T., Costa, S., Robra, K.-H., Cavaco-Paulo, A. and Gübitz, G.M., “Decolorization and Detoxification of Textile Dyes with a Laccase from *Trametes hirsuta*”, *App. and Envir. Mic.*, 66 (8), 3357–3362, (2000).

Abdel-Naby, M.A., “Immobilization of *Paenibacillus macerans* NRRL B-3186 cyclodextrin glucosyltransferase and properties of the immobilized enzyme”, *Process Biochem.*, 34, 399–405, (1999).

Adegoke, K.A. and Bello, O.S., “Dye sequestration using agricultural wastes as adsorbents”, *Water Resources and Industry*, 12, 8-24, (2015).

Aehle, W., “Enzymes in industry—production and applications”, *J. Chemical Tech. and Biotech.*, 79, 484, (2004).

Ahn, J. H., Cheng Y.Q., Walton, J. D., “An Extended Physical Map of the TOX2 Locus of *Cochliobolus carbonum* Required for Biosynthesis of HC-Toxin” *Fungal Genetics and Biology*, 35, 31-38, (2002).

Akbari, A., Desclaux, S., Remigy, J.C. and Aptel, P. “Treatment of textile dye effluents using a new nanofiltration membrane photografted”, *Desalination*, 149, 101–107, (2002).

Al-Adhami, A.J.H., Bryjak, J., Greb-Markiewicz, B., Peczyńska-Czoch, W., “Immobilization of wood-rotting fungi laccases on modified cellulose and acrylic carriers”, *Process Biochem.*, 37, 1387–1394, (2002).

Alkan, S., Gür, A., Ertan, M., Savran, A., Gür, T., Genel, Y., “Immobilization of catalase via adsorption into natural and modified active carbon obtained from walnut in various methods”, *Afr. J. Biotechnol.*, 8, 2631–2635, (2009).

Almeida, M.I.G.S., Cattrall, R.W., Kolev, D., “Recent trends in extraction and transport of metal ions using polymer inclusion membranes (PIMs)”, *J. Membr. Sci.*, 415–416, 9-23, (2012).

Almeida, M.I.G.S., Cattrall, R.W., Kolev, S.D., “Polymer inclusion membranes (PIMs) in chemical analysis - A review”, *Analytica Chimica Acta*, 987, 1-14, (2017).

Al-Rifai, J.H., Khabbaz, H., Andrea, A.I., "Removal of pharmaceuticals and endocrine disrupting compounds in a water recycling process using reverse osmosis systems", *Separation and Purification Techn.*, 77, 60-67 (2011).

Arıca, M.Y., Arpa, Ç., Ergene, A., Bayramoglu, G., Genç, Ö., "Ca-alginate as a supporter for Pb(II) and Zn(II) biosorption with immobilized *Phanerochaete chrysosporium*", *Carbohydr. Polym.*, 52, 167-174, (2003).

Arora, D.S., Sharma R.K., "Ligninolytic fungal laccases and their biotechnological applications", *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 160, 1760-1788, (2010).

Asgher, M., Iqbal, H.M.N., Irshad, M., "Characterization of purified and Xerogel immobilized Novel Lignin Peroxidase produced from *Trametes versicolor* IBL-04 using solid state medium of Corncobs", *BMC Biotechnology*, 12, 46, (2012).

Asgher, M., Bilal, M., Bhatti, H.N., "Improved catalytic and dye decolorization properties of chitosan beads immobilized manganese peroxidase from *Ganoderma lucidum* IBL-05", *J. Biochem. Biotechnol. Biomater.*, 1, 76-89, (2016).

Ashraf, H., Husain, Q., "Use of DEAE cellulose adsorbed and crosslinked white radish (*Raphanus sativus*) peroxidase for the removal of α -naphthol in batch and continuous process", *Int. Biodeter. Biodegr.*, 64, 27-31, (2010).

Ateş, S., Doğan, N.S., "Properties of immobilized phenylalanine ammonia lyase and investigation of its use for the prediagnosis of phenylketonuria", *Turk J. Biochem.*, 35, 58-62, (2010).

Baldrian, P., "Fungal laccases occurrence and properties", *FEMS Microbiol. Rev.*, 30, 215-242, (2006).

Barr, D.P. and Aust S.D., "Mechanisms white-rot fungi use to degrade pollutants", *Environ. Sci. Technol.*, 28, A78-A87, (1994).

Betigeri, S.S., Neau, S.H., "Immobilization of lipase using hydrophilic polymers in the form of hydrogel beads", *Biomaterials*, 23, 3627-3636, (2002).

Bhagat, P.R., Pandey, A.K., Acharya, R., Nair, A.G.C., Rajurkar, N.S., Reddy, A.V.R., "Molecular iodine preconcentration and determination in aqueous samples using poly(vinylpyrrolidone) containing membranes", *Talanta*, 74, 1313-1320, (2008).

Bilal, M., Asgher, M., Parra-Saldivar, R., Hu, H., Wang, W., Zhang, X., Iqbal, H.M.N., “Immobilized ligninolytic enzymes: An innovative and environmental responsive technology to tackle dye-based industrial pollutants – A review”, *Science of The Total Environment*, 576, 646-659, (2017).

Bisakowski, B., Atwal, A.S., Kermasha, S., “Characterisation of lipoxygenase activity from a partially purified enzymic extract from *Morchella esculenta*”, *Process Biochem.*, 36, 1-7, (2000).

Brányik, T., Vicente, A., Oliveira, R., Teixeira, J.A., “Physicochemical surface properties of brewing yeast influencing their immobilization onto spent grains in a continuous reactor”, *Biotechnology and Bioengineering*, 88, 84-93, (2004).

Bruins, M.R., Kapil, S., Oehme, F.W., “Microbial resistance to metals in the environment”, *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 45, 198-207, (2000).

Bryjak, J., Anilyte, J., Liesiene, J., “Evaluation of man-tailored cellulose-based carriers in glucoamylase immobilization”, *Carbohyd Res.*, 342, 1105–1109, (2007).

Camareroa, S., Pardob, I., Cañasa, A. I., Molinaa, P., Recordc, E., Martínez, A. T., Martínez, M. J., Alcaldea, M., “Engineering platforms for directed evolution of laccase from *Pycnoporus cinnabarinus*”, *Appl. Environ. Microbiol.*, 78, 1370-1384, (2012).

Chander, M., Arora, D.S., "Evaluation of some white-rot fungi for their potential to decolourise industrial dyes", *Dyes and Pigments*, 72, 192-198, (2007).

Chandra L.C.S., Chowdhary S.A., "Letter to Editor" *Medical Journal Armed Forces India*, 71, 97, (2015).

Chang, M.Y., Juang, R.S., “Use of chitosan-clay composite as immobilization support for improved activity and stability of β -glucosidase”, *Biochem Eng. J.*, 35, 93–98, (2007).

Chang, Y.K., Chu, L., “A simple method for cell disruption by immobilization of lysozyme on the extrudate-shaped Na Y zeolite”, *Biochem. Eng. J.*, 35, 37–47, (2007).

Charcosset, C., “Membrane processes in biotechnology An overview”, *Biotechnology Advances*, 24 (5), 482-492, (2006).

Chen, G.C., Kuan, I.C., Hong, J.R., Tsai, B.H., Lee, S.L., Yu, C.Y., "Activity enhancement and stabilization of lipase from *Pseudomonas cepacia* in polyallylamine-mediated biomimetic silica", *Biotechnol. Lett.*, 33, 525–529, (2011).

Cui, H.-L., Chen, Y., Wang, S.-S., Kai, G.-Q., Fang, Y.-M., "Isolation, partial characterization and immunomodulatory activities of polysaccharide from *Morchella esculenta*", *J. Sci. Food Agric.*, 91, 2180-2185, (2011).

Dalgleish, H.J., Jacobson, K.M., "A first assessment of genetic variation among *Morchella esculenta* (morel) populations", *J. Heredity*, 96, 396-403, (2005).

Das, A.P. and Singh, S., "Occupational health assessment of chromite toxicity among Indian miners", *Indian J. Occup. Environ. Med.*, 15, 10-17, (2011).

Das, A.P., Sukla, L.B., Pradhan, N., "Microbial recovery of manganese using *Staphylococcus epidermidis*", *Int. J. Nonferrous Metall.*, 1, 9-12, (2012).

Del Pino, M.P., Durham, B., "Wastewater reuse through dual-membrane processes: opportunities for sustainable water resources" *Desalination*, 124, 271-277, (1999).

Dervakos, G.A. and Webb, C., "On the merits of viable-cell immobilization", *Biotech. Adv.*, 9, 559-612, (1991).

Deveci, T., Unyayar, A., Mazmancı, M., "Production of Remazol Brilliant Blue R decolourising oxygenase from the culture filtrate of *Funalia trogii* ATCC 200800", *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 30, 25-32, (2004).

Ding, S., Cargill, A.A., Medintz, I.L., Claussen, J.C., "Increasing the activity of immobilized enzymes with nanoparticle conjugation", *Curr. Opin. Biotechnol.*, 34, 242-250, (2015).

Dong, X.J., Du, Z.Y., Chen. Z., "Decolorization of Direct Black 22 by *Aspergillus ficuum*", *J Environ Sci*, 4, 472, (2001).

Dönmez, G., "Bioaccumulation of the reactive textile dyes by *Candida tropicalis* growing in molasses medium", *Enzyme and Microbial Technology*, 30,363-366, (2002).

Eggert, C., U. Temp, J. F. Dean, and K. E. Eriksson.: *FEBS Lett.* 391, 144–148, (1996).

- Eichlerova, I., Homolka, L., Nerud, F., “Decolorization of Synthetic Dyes by *Pleurotus ostreatus* Isolates Differing in Ligninolytic Properties”, *Folia Microbiology*, 47 (6), 691-595 (2002).
- Elçin, Y.M., “Encapsulation of urease enzyme in xanthan–alginate spheres”, *Biomaterials*, 16, 1157–1161, (1995).
- Emregul, E., Sungur, S., Akbulut, U., “Polyacrylamide–gelatin carrier system used for invertase immobilization”, *Process Biochem.*, 38, 27–30, (2006).
- Flores-Maltos, A., Rodríguez-Durán, L.V., Renovato, J., Contreras, J.C., Rodríguez, R., Aguilar, C.N., “Catalytical properties of free and immobilized *Aspergillus niger* tannase”, *Enzyme Res.*, 2011, 6, (2011).
- Freeman, A., Lilly, D.M., "Effect of processing parameters on the feasibility and operational stability of immobilized viable microbial cells" *Enzyme and Microbial Tech.*, 23, 335-345, (1998).
- Gao, B., Wang, Y., Yue, Q., Wei, J.C., Li, Q., “Color removal from simulated dye water and actual textile wastewater using a composite coagulant prepared by polyferric chloride and polydimethyldiallylammonium chloride” *Separation and Purification Technology*, 54 (2), 157-163, (2007).
- Ghoreishi, S., Haghghi, R., “Chemical catalytic reaction and biological oxidation for treatment of non-biodegradable textile effluent”, *Chem. Eng. J.*, 95 (1), 163-169, (2003).
- Ghosh, S., Mohanty, S., Akcil, A., Sukla, L.B., Das, A.P., “A greener approach for resource recycling: Manganese bioleaching”, *Chemosphere*, 154, 628-639, (2016).
- Giardina, P., Faraco, V., Pezzella, C., Piscitelli, A., Vanhulle, S., Sannia, G., “Laccases: a never-ending story”, *Cell. Mol. Life Sci.*, 67, 369-385, (2010).
- Gibbons, W.S. and Kusy, R.P., “Influence of plasticizer configurational changes on the dielectric characteristics of highly plasticized poly(vinyl chloride)”, *Polymer*, 39 (14), 3167-3178, (1998).
- Glenn J.K., Morgan, M.A., Mayfield, M.B., Kuwahara, M. and Gold, M.H., “An extracellular H₂O₂-requiring enzyme preparation involved in lignin biodegradation by the white rot basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium*”, *Biochemical and Biophysical Res. Com.*, 114 (3), 1077-1083, (1983).

Glenn, J.K. and Gold M.H., "Purification and characterization of an extracellular Mn(II)-dependent peroxidase from the lignin-degrading basidiomycete, *Phanerochaete chrysosporium*", *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 242, 329-341, (1985).

Gold, M.H., Alic, M., "Molecular biology of the lignin-degrading basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium*", *Microbiological Rev.*, 57 (3), 605-622, (1993).

Grigoras, A.G., "Catalase immobilization—A review", *Biochemical Engineering Journal*, 117, 1-20, (2017).

Gryta, M., "The assessment of microorganism growth in the membrane distillation system", *Desalination*, 142, 79-88, (2002).

Guerra, A., Mendonca, R., Ferraz, A., "Characterization of the residual lignins in *Pinus taeda* biodegraded by *Ceriporiopsis subvermispora* by using in situ CuO oxidation and DFRC methods", *Holzforschung*, 56, 157-160, (2002).

Heinfling, A., Bergbauer, M., Szewzyk, U., "Biodegradation of azo and phthalocyanine dyes by *Trametes versicolor* and *Bjerkandera adusta*", *Applied Microbiology and Biotechnology*, 48, 261-266, (1997).

Hofrichter M., "Review: lignin conversion by manganese peroxidase (MnP)", *Enzyme and Microbial Technology*, 30 (4), 454-466, (2002).

Holkar, C.R., Jadhav, A.J., Pinjari, D.V., Mahamuni, N.M., Pandit, A.B., "A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches", *J. Envir. Manag.*, 182, 351-366, (2016).

Hsieh, H.J., Liu, P.C., Liao, W.J., "Immobilization of invertase via carbohydrate moiety on chitosan to enhance its thermal stability". *Biotechnol Lett.*, 22, 1459–1464, (2000).

Hu, Z.H., Wang, G., Yu, H.Q., "Anaerobic degradation of cellulose by rumen microorganisms at various pH values", *Biochem Engineering Journal*, 21, 59-62, (2004).

Huang, X.J., Chen, P.C., Huang, F., Ou, Y., Chen, M.R., Xu, Z.K., "Immobilization of *Candida rugosa* lipase on electrospun cellulose nanofiber membrane", *J. Mol Catal. B-Enzym.*, 70, 95–100, (2011).

Illanes, C.O., Ochoa, A.N., Marchese J., "Kinetic sorption of Cr(VI) into solvent impregnated porous microspheres", *Chemical Engineering Journal*, 136, 92-98, (2008).

Jaiswal, N., Veda P. P., Upendra N. D., "Purification of a thermostable alkaline laccase from papaya (*Carica papaya*) using affinity chromatography" *International Journal of Biological Macromolecules*, 72, 326-332, (2005).

Janusz, G., Kucharzyk, K.H., Pawlik, A., Staszczak, M., Paszczynski, A.J., "Fungal laccase, manganese peroxidase and lignin peroxidase: Gene expression and regulation" *Enzyme and Microbial Technology*, 52 (1), 1-12, (2013).

Johansson, T., Welinder, K.G., Nyman, P.O., "Isozymes of lignin peroxidase and manganese(II) peroxidase from the white-rot basidiomycete *Trametes versicolor*. Partial sequences, peptide maps, and amino acid and carbohydrate compositions", *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 300, 57-62, (1993).

Kahraman, M.V., Bayramoglu, G., Kayaman-Apohan, N., Güngör, A., "UV-curable methacrylated/fumaric acid modified epoxy as a potential support for enzyme immobilization", *React. Funct. Polym.*, 67, 97-103, (2007).

Kalyan, Y., Pandey, A.K., Bhagat, P.R., Acharya, R., Natarajan, V., Naidu, G.R.K., Reddy, A.V.R., "Membrane optode for mercury(II) determination in aqueous samples", *J. Hazard. Mater.*, 166, 377-382, (2009).

Kalyani, D.C., Telke, A.A., Dhanve, R.S., Jadhav, J.P., "Ecofriendly biodegradation and detoxification of Reactive Red 2 textile dye by newly isolated *Pseudomonas* sp. SUK1", *J. Hazard. Mater.*, 163 (2-3), 735-742, (2009).

Kang, H.W., Yang, Y.H., Kim, S.W., Kim, S., Ro, H.S., "Decolorization of triphenylmethane dyes by wild mushrooms", *Biotechnol. Bioproc. Eng.*, 19, 519-525, (2014).

Karel, S.F., Libicki, S.B., Robertson. C.R., "The immobilization of whole cells-engineering principles", *Chem. Eng. Sci.*, 40, 1321-1354, (1985).

Kasperchik, V.P., Yaskevich, A.L., Bil'dyukevich, A.V., "Wastewater Treatment for Removal of Dyes by Coagulation and Membrane Processes" *Petroleum Chemistry*, 52 (7), 545-556, (2012).

Katwa, L.C., Ramakrishna, M., Rao, M.R.R., "Spectrophotometric assay of immobilized tannase", *J. Biosci.*, 3, 135-142, (1981).

- Kim, J.S., Kim, S.K., Cho, M.H., Lee, S.H., Kim, J.Y., Kwon, S.-G., Lee, E.-H., “Permeation of silver ion through polymeric CTA membrane containing acyclic polyether bearing amide and amine end-group”, *Bull. Kor. Chem. Soc.*, 22 (10), 1076-1080, (2001).
- Kim, T.H., Lee, Y., Yang, J., Lee, B., Park, C., Kim, S., “Decolorization of dye solutions by a membrane bioreactor (MBR) using white-rot fungi”, *Desalination*, 168, 287-293, (2004).
- Klein, M.P., Scheeren, C.W., Lorenzoni, A.S.G., Dupont, J., Frazzon, J., Hertz, P.F., “Ionic liquid-cellulose film for enzyme immobilization”, *Process Biochem.*, 46, 1375–1379, (2011).
- Kourkoutas, Y., Bekatorou, A., Banat, I.M., Marchant, R., Koutinas, A.A., “Immobilization technologies and support materials suitable in alcohol beverages production: a review”, *Food Microbiology*, 21 (4), 377-397, (2004).
- Kozłowski, C.A. and Walkowiak, W., “Applicability of liquid membranes in chromium(VI) transport with amines as ion carriers”, *J. Membr. Sci.*, 266, 143-150, (2005).
- Kumar, A.G., Perinbam, K., Kamatchi, P., Nagesh, N., Sekaran, G., “In situ immobilization of acid protease on mesoporous activated carbon packed column for the production of protein hydrolysates”, *Bioresour Technol*, 101, 1377–1379, (2010).
- Kumari, A., Kayastha, A.M., “Immobilization of soybean (Glycine max) α -amylase onto chitosan and amberlite MB-150 beads: optimization and characterization”, *J. Mol Catal. B-Enzym.*, 69, 8–14, (2011).
- Kusumocahyo, S.P., Kanamori, T., Sumaru, K., Aomatsu, S., Matsuyama, H., Teramoto, M., Shinbo, T., “Development of polymer inclusion membranes based on cellulose triacetate: carrier-mediated transport of cerium(III)”, *J. Membr. Sci.*, 244 (1/2), 251-257, (2004).
- Kües, U., “Fungal enzymes for environmental management”, *Current Opinion in Biotechnology*, 33, 268-278, (2015).
- Labus, K., Turek, A., Liesiene, J., Bryjak, J., “Efficient *Agaricus bisporus* tyrosinase immobilization on cellulose-based carriers” *Biochem. Eng. J.*, 56, 232–240, (2011).

Ledakowicz, S., Solecka, M., Zylla, R., "Biodegradation, decolourisation and detoxification of textile wastewater enhanced by advanced oxidation processes" *Journal of Biotechnology*, 89 (2–3), 175-184, (2001).

Leidig, E., Pruesse, U., Vorlop, K.D., Winter, J., "Biotransformation of poly R-478 by continuous cultures of PVAL-encapsulated *Trametes versicolor* under non-sterile conditions" *Bioprocess Eng.*, 21, 5-12, (1999).

Lin, Y., Zhang, Z., Zhao, L., Wang, X., Mao L., "A non-oxidative electrochemical approach to online measurements of dopamine release through laccase-catalyzed oxidation and intramolecular cyclization of dopamine", *Biosensors and Bioelectronics*, 25, 1350-1355, (2010).

Magnan, E., Catarino, I., Paolucci-Jeanjean, D., Preziosi-Belloy, L., Belleville, M. P., "Immobilization of lipase on a ceramic membrane: activity and stability", *Journal of Membrane Science*, 241, 161-166, (2004).

Martínez, E. Á., Alonso, F. C., Siles, M. S., Jornet, P. L., "Melanoma of the oral mucosa with cerebral metastasis: a clinical case", *Oral Oncology Extra*, 41, 30-33, (2005).

Mazmanci, M.A., Ünyayar, A., "Decolourisation of Reactive Black 5 by *Funalia trogii* immobilised on *Luffa cylindrica* sponge", *Process Biochemistry*, 40, 337-342, (2005).

Melzoch, K. Mojmir Rychtera, M., Hábová, V., "Effect of immobilization upon the properties and behavior of *Saccharomyces cerevisiae* cells", *Journal of Biotechnology*, 32(1), 59-65 (1994).

Miki, Y., Ichinose, H., Wariishi, H., "Molecular characterization of lignin peroxidase from the white-rot basidiomycete *Trametes cervina*: a novel fungal peroxidase", *FEMS Microbiology Letters*, 304, 39-46, (2010).

Mishra, D., Kim, D.J., Ralph, D.E., Ahn, J., Rhee, Y.H., "Bioleaching of spent hydro-processing catalyst using acidophilic bacteria and its kinetics aspect", *J. Hazard. Mater.*, 152 (3), 1082, (2008).

Mislovicová, D., Masarova, J., Vikartovska, A., Germeiner, P., Michalkova, E., "Biospecific immobilization of mannan–penicillin G acylase neoglycoenzyme on Concanavalin A-bead cellulose", *J. Biotechnol.*, 110, 11–19, (2004).

Morgenstern, I., Klopman, S., Hibbett, D.S., “Molecular evolution and diversity of lignin degrading heme peroxidases in the Agaricomycetes”, *J. Molecular Evolution*, 66, 243-257, (2008).

Mou, D.G., Lim, K.K. and Shen, H. P., “Microbial Agents for Decolorization of Dye Wastewater”, *Biotechnol. Adv.*, 9, 613-622, (1991).

Morozova, O. V., Vasil’eva, I. S., Shumakovich, G. P., Shleev, S. V., Yaropolov A. I., "Laccase-catalyzed synthesis of optically active polyaniline", *Synthetic Metals*, 157, 18-20, (2007).

Namdeo, M., Bajpai, S.K., “Immobilization of α -amylase onto cellulose-coated magnetite (CCM) nanoparticles and preliminary starch degradation study”, *J. Mol Catal. B-Enzym.*, 59, 134–139, (2009).

Natarajan, S., Bajaj, H.C., Tayade, R.J., “Recent advances based on the synergetic effect of adsorption for removal of dyes from waste water using photocatalytic process”, *J. Envir. Sciences*, 65, 201-222, (2018).

Navarro, J.M., Durand, G., "Modification of yeast metabolism by immobilization onto porous glass", *European journal of applied microbiology and biotech.*, 4, 243–254, (1977).

Navrátil, M., Dömény, Z. Hronský, V. Šturdík, E., Gemeiner, P., "Use of Bioluminometry for Determination of Active Yeast Biomass Immobilized in Ionotropic Hydrogels", *Anal. Biochem.*, 284, 394-400, (2000).

Ngarisan, N.I., Ngah, C., Ahmad, M., Kuswandi, B., “Optimization of polymer inclusion membranes (PIMs) preparation for immobilization of Chrome Azurol S for optical sensing of aluminum(III)”, *Sens. Actuators B:Chem.*, 203, 465-470, (2014).

Nghiem, L.D., Mornane, P., Potter, I.D., Perera, J.M., Cattrall, R.W., Kolev, S.D., “Extraction and transport of metal ions and small organic compounds using polymer inclusion membranes (PIMs)”, *J. Membr. Sci.*, 281 (1–2), 7-41, (2006).

Novotný, Č., Svobodová, K., Kasinath, A., Erbanová, P., "Biodegradation of synthetic dyes by *Irpex lacteus* under various growth conditions", *International Biodeterioration & Biodegradation*, 54, 215-223, (2004).

Oatley-Radcliffe, D.L., Walters, M., Ainscough, T.J., Williams, P.M., Mohammad, A.W., Hilal, N., “Nanofiltration membranes and processes: A

review of research trends over the past decade”, *J. Water Process Engineering*, 19, 164-171, (2017).

O’Neil, C., Hawkes, F.R., Esteves, S., Wilcox, S.J., “Anaerobic-aerobic biotreatment of simulated textile effluent containing varied ratios of starch and azo dye”, *Water Res.*, 34, 2355, (2000).

Pahujani, S., Kanwar, S.S., Chauhan, G., Gupta R., "Glutaraldehyde activation of polymer Nylon-6 for lipase immobilization: Enzyme characteristics and stability", *Bioresource Technology*, 99, 2566-2570, (2008).

Pala, A., Tokat, E., “Color removal from cotton textile industry wastewater in an activated sludge system with various additives”, *Water Research*, 36 (11), 2920-2925, (2002).

Park, J.K., Chang, H.N., "Microencapsulation of microbial cells", *Biotech Advan.*, 18, 303-319, (2000).

Paszczynski, A., Huynh, V.B., Crawford, R., “Enzymatic activities of an extracellular, manganese-dependent peroxidase from *Phanerochaete chrysosporium*”, *FEMS Microbiology Letters*, 29 (1-2), 37-41, (1985).

Pogorilyi, R.P., Melnyk, I.V., Zub, Y.L., Seisenbaeva, G.A., Kessler, V.G., "Enzyme immobilization on a nanoadsorbent for improved stability against heavy metal poisoning" *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 144, 135-142, (2016).

Pollegioni, L., Tonin, F., Rosini, E., “Lignin-degrading enzymes”, *Febs J.*, 282, 1190-1213, (2015).

Radha, K.V., Regupathi, I., Arunagiri, A., Murugesan T., "Decolorization studies of synthetic dyes using *Phanerochaete chrysosporium* and their kinetics" *Process Biochemistry*, 40, 3337-3345, (2005).

Raffin, M., Germain, E., Judd, S., “Wastewater polishing using membrane technology: a review of existing installations”, *Environ. Technol.*, 34, 617-627, (2013).

Rahul, V.K., Sanjay P.G., Phytoremediation of textile dyes and effluents: Current scenario and future prospects", *Biotech Adv.*, 33, 1697-1714, (2015).

Ramani, K., Karthikeyan, S., Boopathy, R., Kennedy, L.J., Mandal, A.B., Sekaran, G., “Surface functionalized mesoporous activated carbon for the immobilization of acidic lipase and their application to hydrolysis of waste

cooked oil: isotherm and kinetic studies”, *Process Biochem.*, 47 (3), 435-445, (2011).

Reddy, C.A., “The potential for white-rot fungi in the treatment of pollutants”, *Current Opinion in Biotech.*, 6 (3), 320-328, (1995).

Rescigno, A., Zucca, P., Flurkey, A., Now, J., Flurkey, W.H., “Identification and discrimination between some contaminant enzyme activities in commercial preparations of mushroom tyrosinase”, *Enzym. Microb. Technol.*, 41, 620-627, (2007).

Rodríguez Couto, S., "Dye removal by immobilised fungi", *Biotech. Adv.*, 27, 227-235, (2009).

Romaskevici, T., Viskantiene, E., Budriene, S., Ramanaviciene, A., Dienys G., "Immobilization of maltogenase onto polyurethane microparticles from poly(vinyl alcohol) and hexamethylene diisocyanate", *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 64, 172-176, (2010).

Sahney, R., Puri, B. K., Anand, S., "Enzyme coated glass pH-electrode: Its fabrication and applications in the determination of urea in blood samples", *Analytica Chimica Acta*, 542, 157-161, (2005).

Salleh, M.A.M., Mahmoud, D.K., Karim, W.A.W.A., Idris, A., “Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: A comprehensive review”, *Desalination*, 280 (1–3), 1-13, (2011).

Sanders, D.F., Smith, Z.P., Guo, R., Robeson, L.M., McGrath, J.E., Paul, D.R., Freeman, B.D., “Energy-efficient polymeric gas separation membranes for a sustainable future: a review”, *Polymer*, 54, 4729-4761, (2013).

Sastre, A., Kumar, A., Shukla, J.P. and Singh, R.K., “Improved techniques in liquid membrane separations: an overview”, *Sep. Purif. Meth.*, 27 (2), 213-298, (1998).

Salt, Y. and Dinçer, S., “An Option For Special Separation Operations: Membrane Processes, Journal of Engineering and Natural Sciences”, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, Derleme Makalesi, (2006).

Schliephake, K., Lonergan, G.T., "Laccase variation during dye decolourisation in a 200 L packed-bed bioreactor", *Biotechnol. Lett.*, 18, 881-886, (1996).

- Serralha, F.N., Lopes, J.M., Lemos, F.D., Prazeres, M.F., Ribeiro, R.F., "Zeolites as supports for an enzymatic alcoholysis reaction", *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 4, 303-311, (1998).
- Shen, Q., Yang, R., Hua, X., Ye, F., Zhang, W., Zhao, W., "Gelatin-templated biomimetic calcification for β -galactosidase immobilization", *Process Biochem.*, 46, 1565–1571, (2011).
- Shin, R.J., Chin, F.W., Ling, R.T., "Use of chemically modified chitosan beads for sorption and enzyme immobilization", *Advances in Environmental Research*, 6, 171-177, (2002).
- Singh, A.P. and Singh, T., "Biotechnological applications of wood-rotting fungi: A review", *Biomass and Bioenergy*, 62, 198-206, (2014).
- Solomon, E.I., Augustine, A.J., Yoon J., "O₂ reduction to H₂O by the multicopper oxidases", *Dalton Transact.*, 30, 3921-3932, (2008).
- Soltanieh, M., Sahebdehfar S., "Interaction effects in multicomponent separation by reverse osmosis", *Journal of Membrane Science*, 183, 15-27, (2001).
- Raghukumar, C., Mohandass C., Kamat, S., Shailaja, M. S., "Simultaneous detoxification and decolorization of molasses spent wash by the immobilized white rot fungus *Flavodon flavus* isolated from a marine habitat", *Enzyme Microb. Tech.*, 35, 197-202, (2004).
- Şezanka, T., Rozentsvet, O.A., Dembitsky V.M., "Characterization of the hydroxy fatty acid content in Basidiomycotina", *Folia Microbiologica*, 44, 635-641, (1999).
- Ritch Jr., T.G. and Gold, M.H., "Characterization of a highly expressed lignin peroxidase-encoding gene from the basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium*", *Gene*, 118, 73-80, (1992).
- Taillandier, P., Cazottes, M. L., Strehaiano P., "Deacidification of grape musts by *Schizosaccharomyces* entrapped in alginate beads: a continuous-fluidized-bed process", *The Chemical Engineering Journal and the Biochemical Engineering Journal*, 55, b29-b33, (1994).
- Tebo, B.M., Johnson, H.A., McCarthy, J.K., Templeton, A.S., "Geomicrobiology of manganese (II) oxidation", *Trends Microbiol.*, 13, 421-428, (2005).

Thongchul, N., and Yang, S. T., "Controlling Filamentous Fungal Morphology by Immobilization on a Rotating Fibrous Matrix to Enhance Oxygen Transfer and L(+)-Lactic Acid Production by *Rhizopus oryzae*", *Fermentation Biotech.*, 3, 36-51, (2003).

Tsai, S.Y., Weng, C.C., Huang, S.J., Chen, C.C., Mau J.L., "Nonvolatile taste components of *Grifola frondosa*, *Morchella esculenta* and *Termitomyces albuminosus mycelia*", *LWT-Food Science and Technology*, 39 (10), 1066-1071, (2006).

Ursula, K., "Fungal enzymes for environmental management", *Current Opinion in Biotechnology*, 33, 268-278, (2015).

Vaillant, F., Millan, A., Millan, P., Dornier, M., Decloux, M., Reynees, M., "Co-immobilized pectinlyase and endocellulase on chitin and nylon supports", *Process Biochem.*, 35, 989–996, (2000).

Voběrková, S., Solčány, V., Vršanská, M., Adam, V., "Immobilization of ligninolytic enzymes from white-rot fungi in cross-linked aggregates", *Chemosphere*, 202, 694-707, (2018).

Vongsangnak, W. and Nielsen, J., *Microbial Production of Food Ingredients, Enzymes and Nutraceuticals*, Fransa: Woodhead Publishing, 19-41, (2013).

Wang, L., Paimin, R., Cattrall, R.W., Wei, S., Kolev, S.D., "The extraction of cadmium(II) and copper(II) from hydrochloric acid solutions using an Aliquat 336/PVC membranes", *J. Membr. Sci.*, 176 (1), 105-111, (2000).

Wariishi, H., K. Valli, and M. H. Gold., *J. Biol. Chem.* 267, 23688–23695, (1992).

Wehiua, P., "Study on The Effect of Multiple Factors on RO and NF Membranes' Performance and Rejection Efficiency", Ph.D. Thesis, (2003).

Wei, X., Wang, Z., Fan, F., Wang, J., Wang S., "Advanced treatment of a complex pharmaceutical wastewater by nanofiltration: Membrane foulant identification and cleaning", *Desalination*, 251, 167-175, (2010).

Winqvist, E., Moilanen, U., Mettala, A., Leisola, M., Hatakka, A., "Production of lignin modifying enzymes on industrial waste material by solid-state cultivation of fungi", *Biochem. Eng. J.*, 42, 128-132, (2008).

Xu, J.J., Chen, H.Y., "Amperometric glucose sensor based on glucose oxidase immobilized in electrochemically generated poly(ethacridine)", *Analytica Chimica Acta.*, 423, 101-106, (2000).

Zaharia, C., Suteu, D., Muresan, A., Muresan, R., Popescu, A., "Textile wastewater treatment by homogeneous oxidation with hydrogen peroxide", *Environmental Engineering and Management Journal*, 8 (6), 1359-1369, (2009).

Zeeman, J., Zydney, A.L., "Microfiltration and Ultrafiltration - Principles and Applications.", *Chemie Ingenieur Technic.*, 69, 1479, (1996).

Zhang, F.M., Knapp, J.S., Tapley K.N., "Development of bioreactor systems for decolorization of Orange II using white rot fungus", *Enzyme and Microbial Technology*, 24, 48-53, (1999).

7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Buğra DAYI
Doğum Yeri ve Tarihi : 07 Ağustos 1992
Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi (Kimya Bölümü)
Y. Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi
Elektronik posta : bugradayi92@gmail.com
Yayın Listesi :

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

BUGRA DAYI, AIDAI DUISHEMAMBET KYZY, YASIN ABDULOGLU, KUBRA CIKRIKCI, HATICE ARDAG AKDOGAN “Investigation of the ability of immobilized cells to different carriers in removal of selected dye and characterization of environmentally friendly laccase of Morchella esculenta” Dyes and Pigments, 151 15-21 (2018).

Bugra DAYI, Aidai DUISHEMAMBET KYZY, Hatice A. AKDOGAN “Characterization of recuperating talent of white-rot fungi cells to dye-contaminated soil/water” Chinese Journal of Chemical Engineering, In press, accepted manuscript, Available online 17 May 2018.

Aidai DUISHEMAMBET KYZY, **Bugra DAYI**, Hüsnu DUMAN, Tugba Karagöz Hatice ARDAG AKDOGAN “Investigation of the effect of different factors on the destruction of dye by environmental approach and identification of its metabolites” (2018) submitted.

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (*Proceedings*) basılan bildiriler:

Assesment Of Reactive Orange 16 Decolorization Results For Wastewater Bioremediation; Hatice ARDAG AKDOGAN, Kubra CIKRIKCI, **Bugra DAYI**, Yasin ABDULOGLU, Sinem ERGUN; EUROANALYSIS 2015, Bordo, Fransa, 6-10 September 2015.

Removal Of Textile Dye With Different Organisms and Assesment of Some Factors Effect; Ardag Akdogan, Hatice, **Dayi, Bugra**; ISEAC 39 Hamburg, July 19-22, 2016.

Decolorization of the mixed dyes by immobilized white-rot fungi; **Bugra DAYI**, Hatice A. AKDOGAN; World Congress on Chromatography, September 21-23, 2016 Amsterdam, Netherlands.

The Effect of Simazine Pesticide on Laccase and Manganese Peroxidase Enzymes; Hatice Ardag Akdogan, **Bugra Dayi**, Nurben Alkan, Latif Elci; International Multidisciplinary Congress of Eurasian, August 23-25, 2017 Roma, Italy.

Chromatographic Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Salad Sauces; Abdullah Akdogan, **Bugra Dayi**, Hatice Ardag Akdogan; International Multidisciplinary Congress of Eurasian, August 23-25, 2017 Roma, Italy.

Transport and Biodegradation of Reactive Textile Dye with a Novel Eco Green Biomembrane; Hatice Ardag Akdogan, **Bugra Dayi**, Canan Onac, Ahmet Kaya; International Multidisciplinary Congress of Eurasian, August 23-25, 2017 Roma, Italy.

Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

Bugra Dayi, Hatice Ardağ Akdoğan, Abdullah Akdoğan, “Nar Sosunda Kromatografik Yöntemle Bazı Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların Analizi” *Akademik Gıda*, 15(3) (2017) 269-273, DOI: 10.24323/akademik-gida.345264.

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler:

M. esculenta'nın Farklı Taşıyıcılara İmmobilizasyonu ve İmmobilize Hücrelerle Reaktif Orange 16'in Biyolojik Giderim Metabolitlerinin Araştırılması; Sinem

ERGÜN, Kübra ÇIKRIKÇI, Yasin ABDÜLOĞLU, **Buğra DAYI**, Hatice A. Akdoğan; 15. Kromatografi Kongresi, 8-10 Nisan, 2015, Uşak/TÜRKİYE.

Karışım Halinde Boyar Madde İçeren Sucul Ortamların Biyoyileştirilmesi; **Buğra DAYI**, Hatice A. Akdoğan; 4. Eser Analiz Kongresi, 19-22 Mayıs, 2016, Sakarya/TÜRKİYE.

Farklı Organizmaların Boyar Madde Biyodegradasyon Yeteneklerinin Araştırılması ve Farklı Faktörlerin Giderim Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi; Hüsni Duman, Tuğba Karagöz, **Buğra DAYI**, Hatice ARDAĞ AKDOĞAN; 4. Eser Analiz Kongresi, 19-22 Mayıs, 2016, Sakarya/TÜRKİYE.

Serbest ve İmmobilize *Morchella Esculenta* İle Karışım Halinde Tekstil Boyar Maddesi İçeren Atık Suların Biyolojik Gideriminin Araştırılması; **Buğra DAYI**, Hatice A. Akdoğan; 10. Ulusal Afinite Teknikleri Kongresi, 26-28 Mayıs, 2016, Balıkesir/TÜRKİYE.