



T.C.
KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI

SULU ORTAMLARDAN TEKSTİL BOYASININ
UZAKLAŞTIRILMASINDA ALG BİYOKÜTLESİNİN
KULLANILMASI: KİNETİK ve TERMODİNAMİK
PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ

BELGİN TORUNOĞLU UMUCU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRŞEHİR / 2020



T.C.
KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI

**SULU ORTAMLARDAN TEKSTİL BOYASININ
UZAKLAŞTIRILMASINDA ALG BİYOKÜTLESİNİN
KULLANILMASI: KİNETİK ve TERMODİNAMİK
PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ**

BELGİN TORUNOĞLU UMUCU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Doç. Dr. İlkay AÇIKGÖZ ERKAYA

II. DANIŞMAN
Prof. Dr. Gülay BAYRAMOĞLU

KIRŞEHİR / 2020

Bu çalışma 23.01.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, İleri Teknolojiler Tezli Yüksek Lisans Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi



Doç. Dr. İlkay AÇIKGÖZ ERKAYA
Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi



Prof. Dr. Gülşay BAYRAMOĞLU
Gazi Üniversitesi
Fen Edebiyat Fakültesi



Prof. Dr. Aydın AKBULUT
Hacettepe Üniversitesi
Eğitim Fakültesi



Doç. Dr. Belgin ERDEM
Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu



Dr. Öğr. Üyesi Özlem AYDIN
Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

BELGİN TORUNOĞLU UMUCU



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.



ÖNSÖZ

Yüksek Lisans çalışmalarım süresince bilgileri ve her türlü destekleriyle beni yönlendiren hocalarım Doç. Dr. İlkay AÇIKGÖZ ERKAYA ve Prof. Dr. Gülay BAYRAMOĞLU'na sonsuz teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen Gazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü öğrencileri Murat KILIÇ ve Merve ÖZTEKİN'e teşekkür ederim.

Tüm öğrenim hayatım boyunca gösterdikleri sabır, ilgi ve her türlü desteklerinden dolayı aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisansa başlamamda ve yüksek lisans öğrenim hayatım boyunca hep yanımda olan eşim Ayhan UMUCU'ya teşekkür ederim.

Ocak, 2020

BELGİN TORUNOĞLU UMUCU

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
TABLO LİSTESİ.....	viii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ABSTRACT.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Amacı.....	2
1.2. Tezin Önemi.....	3
2. GENEL KISIMLAR.....	5
2.1. Boyar Maddeler.....	5
2.1.1. Boyar Maddelerin Sınıflandırılması.....	5
2.1.1.1. Çözünürlüklerine Göre Boyar Maddelerin Sınıflandırılması.....	5
2.1.1.1.1. Suda Çözünen Boyar Maddeler.....	5
2.1.1.1.2. Suda Çözünmeyen Boyar Maddeler.....	5
2.1.1.2. Boyama Özelliklerine Göre Boyar Maddelerin Sınıflandırılması.....	5
2.1.1.3. Kimyasal Yapılarına Göre Boyar Maddelerin Sınıflandırılması.....	6
2.2. Algler.....	6
2.2.1. Alglerin Sınıflandırılması.....	7
2.3. Sulu Ortamdan Tekstil Boyalarının Giderimi.....	8
2.4. Literatürde Yer Alan Çalışmalar.....	10
3. MATERYAL ve YÖNTEMLER.....	14
3.1. Materyaller.....	14
3.2. Kullanılan Cihazlar.....	14
3.3. Kültüre Alınan Alg Türü.....	14
3.4. Alg Türünün Yetiştirilme Ortamı.....	14
3.5. Alg Biyokütlesinin Karakterizasyonu.....	16

3.6. Sulu Ortamdan Boya Uzaklaştırılması Çalışmaları	16
3.6.1. Tekstil Boyasının Özellikleri.....	16
3.6.2. Sulu Ortamdaki Boya Miktarının Belirlenmesi.....	17
3.6.2.1. Boyanın Maksimum Dalga Boyunun Belirlenmesi	17
3.6.2.2. Boyanın Kalibrasyon Grafiğinin Oluşturulması	17
3.6.3. Sulu Ortamdan Boya Adsorpsiyonu Çalışmaları	17
3.6.4. Boya Adsorpsiyonu Üzerine Farklı Deney Koşullarının Etkisi	18
3.6.5. Desorpsiyon ve Tekrar Kullanılabilirlik Çalışmaları	19
3.6.6. Adsorpsiyon Kinetiğinin Belirlenmesi	19
3.6.7. Adsorpsiyon İzoterm Modelinin Belirlenmesi	20
4. BULGULAR.....	21
4.1. <i>Stigeoclonium nanum</i> (Dillwyn) Kützing Alg Türünün Sınıflandırılması ve Alg Biyokütlesinin Karakterizasyonu.....	21
4.2. Alg Biyokütlesinin ışık mikroskobu görüntüleri	21
4.3. Ortam pH'sının Alg Biyokütlesinin Zeta Potansiyeli Üzerine Etkisi	22
4.4. Alg Biyokütlesinin Spesifik Yüzey Alanı ve SEM Görüntüsü.....	23
4.5. Alg Biyokütlesinin FTIR Spektrumu.....	24
4.6. Evercion Green H-34BD'nin Kalibrasyon Eğrisi.....	24
4.7. Sulu Ortamdan Boya Uzaklaştırılması.....	26
4.7.1. pH Etkisi	26
4.7.2. Denge Süresi.....	27
4.7.3. İyonik Şiddetin Etkisi	28
4.7.4. Alg Biyokütlesi Miktarının Etkisi	29
4.7.5. Sıcaklığın Etkisi.....	29
4.7.6. Başlangıç Boya Konsantrasyonunun Etkisi.....	30
4.7.7. Adsorpsiyon Kinetiği.....	31
4.7.8. Adsorpsiyon İzotermi	31
4.7.9. Desorpsiyon ve Tekrar Kullanılabilirlik.....	32
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	34
KAYNAKLAR.....	38
ÖZGEÇMİŞ	44

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 3.1. Evercion Green H-34BD'nin kimyasal yapısı.	17
Şekil 4.1. <i>Stigeoclonium nanum</i> 'un ışık mikroskobu görüntüsü. (10x40 büyütme)	21
Şekil 4.2. <i>Stigeoclonium nanum</i> 'un laboratuvar koşullarında kesikli sistemde üretimi.	22
Şekil 4.3. Alg biyokütlesinin farklı pH değerlerindeki zeta potansiyeli	23
Şekil 4.4. Alg biyokütlesinin yüzey görüntüsü	23
Şekil 4.5. Alg biyokütlesinin FTIR spektrumu	24
Şekil 4.6. Evercion Green H-34BD'ne ait spektrum.....	25
Şekil 4.7. Evercion Green H-34BD'nin kalibrasyon grafiği	25
Şekil 4.8. Alg biyokütlesi ile Evercion Green H-34BD uzaklaştırılması işleminde ortam pH'sının etkisi.	27
Şekil 4.9. Sulu ortamdan boya uzaklaştırılması işleminin zamana bağlı değişimi.	28
Şekil 4.10. Alg biyokütlesi ile boya uzaklaştırılması işleminde iyonik şiddetin etkisi	29
Şekil 4.11. Alg biyokütlesi ile boya uzaklaştırılması işleminde kullanılan alg miktarının etkisi.....	29
Şekil 4.12. Alg biyokütlesi ile boya uzaklaştırılması işleminde ortam sıcaklığının etkisi.	30
Şekil 4.13. Alg biyokütlesi ile boya uzaklaştırılması işleminde boya konsantrasyonunun etkisi	30
Şekil 4.14. Deneysel verilerin Langmiur izoterm modeline uyumluluğu.	32
Şekil 4.15. Alg biyokütlesinin boya adsorpsiyonu işleminde tekrar kullanımı.	33

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 3.1. BG-11 besi ortamı.	15
Tablo 3.2. BG-11 Trace Metal Solüsyonu.	15
Tablo 3.3. Evercion Green H-34BD'un karakteristik özellikleri.....	17
Tablo 4.1. <i>Stigeoclonium nanum</i> alg biyokütlesi ile Evercion Green H-34BD boyasının giderimi işleminde elde edilen kinetik sabitler	31
Tablo 4.2. Alg biyokütlesi için belirlenen Langmuir izoterm model sabitleri.	32

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
pH	: Bir çözeltinin asitlik veya bazlık derecesini tarif eder
R²	: Doğrusal Regresyon Katsayısı
ppm	: Toplam miktarın milyonda biri
q	: Adsorbent yüzeyine adsorplanan boya miktarı
q_{max}	: Maksimum adsorpsiyon katsayısı
q_{den}	: Denge zamanında adsorplanan boya miktarı
q_t	: <i>t</i> zamanında adsorplanan boya miktarı
C_o	: Sulu ortamdan boya uzaklaştırılmasından önceki boya konsantrasyonu
C	: Sulu ortamdan boya uzaklaştırılmasından sonraki boya konsantrasyonu
%R	: Adsorplanan boya yüzdesi

Kısaltmalar	Açıklama
EG	: Evercion Green H-34BD azo boyası
UV	: Ultraviyole (morötesi) ışınlar
RBB	: Remazol Black B
ARP-2BX	: Acid Red P-2BX (ARP-2BX)
BET	: Brunauer-Emmett-Teller
MG	: Malachite Green
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Işınlar

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SULU ORTAMLARDAN TEKSTİL BOYASININ UZAKLAŞTIRILMASINDA ALG BİYOKÜTLESİNİN KULLANILMASI: KİNETİK VE TERMODİNAMİK PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ

BELGİN TORUNOĞLU UMUCU

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İlkay AÇIKGÖZ ERKAYA

II. Danışman: Prof. Dr. Gülay BAYRAMOĞLU

Sentetik organik boyalar kozmetik, kağıt ve tekstil endüstrilerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bunlar arasında, reaktif boyalar, reaktif klor, aril grupları, sülfat ve amino gruplarının varlığı ile kategorize edilir. Bu boyalar, ksenobiyotik özelliklerinden dolayı genellikle mikrobiyal bozunmaya karşı önemli ölçüde direnç gösterirler. Bu nedenle, bu boyaların sulu çözeltiden uzaklaştırılması için farklı yöntemler önerilmiştir. *Stigeoclonium nanum* alg biyokütlesi kullanılarak Evercion Green H-34BD'nin adsorpsiyonu çalışmaları zaman, başlangıç boya konsantrasyonu, adsorban dozu, pH, iyonik güç ve sıcaklığı içeren parametrelerin bir fonksiyonu olarak kesikli sistemde gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon işleminin çok hızlı ve pH'a bağlı olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar, boya uzaklaştırma yüzdesinin, Evercion Green'in başlangıç konsantrasyonuna büyük ölçüde bağlı olduğunu ve boya konsantrasyonunun artması ile azaldığını göstermiştir. Alg biyokütlesinin mükemmel adsorpsiyon kapasitesine sahip olduğu ve bu değer pH 2,0'de 407,2 mg/g olduğu belirlenmiştir. Alg biyokütlesi ATR-FTIR, Z-seizer, BET yöntemi ve çeşitli analitik yöntemler kullanılarak karakterize

edilmiştir. Desorpsiyon çalışmaları, alg biyokütlesinin özellikle beş döngüye kadar tekrar kullanılabilirlik performansı araştırılmıştır. Denge verilerini test etmek için Langmuir izoterm modeli kullanılmıştır. Doğrusal regresyon katsayısı R^2 , izoterm model uygunluğunun değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Tek tabakalı (maksimum) adsorpsiyon kapasitesi (q_{max}) 454,5 mg/g biyokütle olarak bulunmuştur. Kinetik verilerin, ikinci dereceden kinetik model ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Ocak 2020, 59 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Biyokütle, Alg, Boya giderimi, Kinetik



ABSTRACT

M. Sc. THESIS

USING ALG BIOMASS FOR REMOVAL OF TEXTILE DYE FROM AQUOUS MEDIA: DETERMINATION OF KINETIC AND THERMODYNAMIC PARAMETERS

BELGİN TORUNOĞLU UMUCU

Kırşehir Ahi Evran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Advanced Technologies Department

Supervisor: Doç. Dr. İlkay AÇIKGÖZ ERKAYA
II. Supervisor: Prof. Dr. Gülay BAYRAMOĞLU

Synthetic organic dyes are frequently utilized in cosmetics, paper and textile industries. Among them, the reactive dyes are categorized by the existence of reactive chlorine, aryl groups, sulfate and amino groups. These dyes are commonly recalcitrant due to their xenobiotic character and display considerable resistance to microbial degradation. Therefore, different methods have been proposed for removal of these dyes from aqueous solution. Systematic batch mode studies of adsorption of Evercion Green H-34BD using algal biomass of *Stigeoclonium nanum* were carried out as a function of process of parameters includes time, initial dye concentration, dose of adsorbent, pH, ionic strength and temperature. The adsorption process was very fast and pH dependent. The results demonstrated that the percentage uptake of dye is highly dependent to the initial concentration of Evercion Green and decreasing with an increase in dye concentration. Algal biomass was found to have excellent adsorption capacity and it was observed at pH 2.0 as 407.2 mg/g. The algal biomass was characterized ATR-FTIR, Z-seizer, BET method and various analytical methods. Desorption studies indicated that the algal biomass had good reusability performance especially up to five cycle. The Langmuir isotherm models was used to test the equilibrium data. The linear regression coefficient R^2 was used to elucidate the best fitting isotherm models. The monolayer (maximum) adsorption capacity (q_{max}) was

found to be 454,5 mg/g biomass. The kinetic data were fitted with the pseudo-second-order kinetic model.

January 2020, 59 Pages.

Keywords: Biomass, Algae, Dye removal, Kinetic



1. GİRİŞ

Dünyada sanayinin gelişmesi ile birlikte çevre kirliliği de önemli sorunlardan biri haline gelmektedir. Nüfus artışına paralel olarak endüstri kollarının ortaya çıkışı kirlilik artışını da beraberinde getirmektedir. Bu kollardan birisi olan boya endüstrisinde ortaya çıkan atık maddeler ve bu maddelerin su kaynaklarında meydana getirdiği çevresel kirlilik önemli boyutlara ulaşmaktadır. Çevre kirliliği, özellikle de su kaynaklarındaki kirlilik gelecekte su kıtlığının yaşanması muhtemel görülen dünyamız için çok daha büyük bir önem teşkil etmektedir. Besin zinciri üzerinden, sularda oluşan kirlilik, besin zincirinin tüm basamaklarındaki canlıları etkilemektedir.

Doğal dengeyi bozan kirletici unsurlar; renk değişimine ve bulanıklığa neden olan maddeler, endüstriyel atıklar, organik maddeler, petrol türevleri, yapay tarımsal gübreler, deterjanlar, reaktif maddeler, pestisitler, inorganik tuzlar, yapay organik kimyasal maddeler ve atık ısı olarak sınıflandırılabilir (Kayhan, 2006). Boyalar da endüstriyel atık kaynaklı olup sularda doğal dengeyi bozucu düzeylere ulaşabilmektedir.

Boya molekül ve bileşiklerini içeren atıkların zararsız hale getirilmesi, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde önemli bir sorun oluşturmaktadır. Geniş ölçekli üretim ve yaygın uygulamadan dolayı metal iyonları ve tekstil boyalarının ciddi sağlık sorunlarına neden oldukları bilinmektedir. Canlı sağlığına karşı önemli riskler içeren ve hali hazırda kullanılan binlerce farklı tekstil boyasının giderimine yönelik olarak araştırmalar yapılmaktadır (Khalaf, 2008; Bayramoğlu ve diğ., 2006; Hu, 1996; Beyazıt, 2018; Aksu ve Tezer, 2005).

Makroalgler, sahip olduğu bazı avantajlar nedeni ile çeşitli tekstil boyalarını uzaklaştırmak için canlı olmayan biyokütle olarak kullanım potansiyeline sahiptir. Bu nedenle makroalgler, renkli atıkların arıtılması için farklı derecelerde başarı potansiyeline sahip, toksik olmayan, düşük maliyetli ve kolay elde edilebilir biyomateryallerdir (Omarı ve diğ., 2018; Bayramoğlu ve diğ., 2006).

1.1. Tezin Amacı

Modern toplumda, artan sayıda tehlikeli inorganik veya organik kökenli bileşikler içeren kirleticiler, doğal ortamlara bırakılmaktadır. Bunların çoğu, çevreye bırakılmadan önce, fiziksel, kimyasal ve biyolojik uygulamalarla degrede ve detoksifiye edilir. Her ne kadar biyolojik uygulamalar bazı organik bileşikler için bir uzaklaştırma işlemi ise de, bunların biyodegradasyon ürünleri de tehlikeli olabilir. Ayrıca, muameleye maruz bırakılmış bileşiklerle birlikte, çevreye bırakılan bazı degrede edilemeyen bileşikler, biyolojik birikim yolu ile genellikle insanlara geri dönmesinden dolayı, problemlere sebep olabilir. Doğal su kütlelerine boşaltılan, inorganik veya organik kökenli kirletici içeren atıksuların arıtım işlemleri membran filtrasyonu, iyon değişimi, yükseltgenme, adsorpsiyon, kimyasal çöktürme ve flokülasyon gibi çeşitli fiziksel ve kimyasal yöntemlerle birlikte biyolojik yöntemleri de içermektedir. Anılan yöntemlerin uygulanması bazı teknik zorluklar ve fazla enerji gereksiniminden dolayı ekonomik sınırlamalar getirmektedir. Sağlığa zararlı olduğu çok sayıda bulgularla rapor edilen sulu ortamdaki inorganik ve organik kökenli kirleticilerin neden olduğu çevre kirliliğinin önlenmesinde oldukça yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Atık sulardan boyaların giderimi ile ilgili yöntemlerden biri, doğal biyokütlelerin veya doğal ve/veya sentetik polimerik destek materyallerinin sorbent olarak kullanıldığı adsorpsiyon tekniğidir. Bu kapsamda hali hazırda organizmaların (alg, mantar, maya, bakteri v.b.) düşük işlem maliyeti ile sulu ortamdan organik kirleticilerin uzaklaştırılmasında kullanılması araştırmacıların dikkatini çekmektedir.

Ülkemiz mikroalg türleri bakımından oldukça zengin bir çeşitliliğe sahiptir ve sularımızda ticari önemi olduğu bilinen çok sayıda alg türleri bulunmaktadır. Ülkemizde şimdiye kadar yapılan çalışmalarda çoğunlukla iç sularımızdaki alglerin teşhisleri ve yoğunluklarındaki mevsimsel değişimler incelenmiş ve bazı ekolojik değerlendirmeler yapılmıştır. Mikroalglerin biyoteknolojik uygulamalara yönelik kullanımı üzerine yapılan çalışmaların sayısı ülkemizde olması gerekenin çok altındadır. Biyoteknolojik alanda ilerlemelere paralel olarak mikroalglerin kullanım alanlarının daha da genişleyeceği açık olarak görülmektedir. Yeryüzünde tanımlanmış 30.000 civarında mikroalg türü bulunmasına rağmen bunların %15 kadarı kültür koleksiyonlarında tutulmaktadır. Bununla birlikte, 100 civarında alg türünden elde edilen bilgiler ışığında biyoteknolojik olarak kullanım potansiyelleri belirlenmiştir. Literatür incelendiğinde ticari potansiyeli olan ve ilgi gören bu mikroalglerin çoğunun özel alanlardan izole edilen türler olduğu görülmektedir.

Reaktif boyalar, farklı reaktif gruplardan oluşan azo bileşikleridir. Bu boya grubu kirleticilerin uzaklaştırılmasını veya asimilasyonunu gerçekleştirebilen mikroorganizmalar, sulardaki kirlenmeyi azaltmak için kullanılan alternatif bir yöntemdir. Algler inorganik ve organik kökenli kirleticilerin uzaklaştırılması işleminde; ucuz ve kolay üretilibilmeleri, ayrıca çevre kirliliğine neden olmamaları gibi bazı avantajlarından dolayı geleneksel yöntemlere kıyasla önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Bu doğrultuda tez çalışmasında, insan sağlığı ve çevre için son derece zararlı kirleticiler arasında yer alan Evercion Green H-34BD tekstil boyasının uzaklaştırılmasında, *Stigeoclonium nanum* alg biyokütlesi kullanılmıştır.

1.2. Tezin Önemi

Dünya nüfusundaki artış, giderek tükenen enerji kaynakları, besin yetersizliği, hızlı ve kontrolsüz kentleşme, ilerleyen ve gelişen teknolojik gelişmeler, çevre kirliliği sorununu önemli hale getirmiştir. İnorganik kirleticiler (ağır metal iyonları) ve organik kirleticileri (sentetik boyalar, fenolik bileşikler vb.) içeren endüstriyel atıksuların herhangi bir işlem yapılmadan doğrudan doğal su kaynaklarına boşaltılmasının, bu ortamdaki canlılar üzerinde toksik-karsinojenik etkileri bulunduğu bilinmektedir. Endüstriyel atık sularda bulunan en önemli kirletici gruplarından biri, organik temelli boyalardır.

Biyolojik birikme eğilimi olan çevresel kirleticiler arasında yer alan reaktif boyalar canlı sağlığını önemli ölçüde tehdit etmesinin yanında, alıcı su kaynaklarındaki bu maddelerin varlığı 1 ppm konsantrasyonunda bile görünür olabildiğinden estetik olarak kabul edilmez. Boyaların renk giderim işleminde mikroorganizmaların kullanımı son yıllarda önem kazanmıştır. Bu mikroorganizmalar atık sulardan toksik boyaların uzaklaştırılmasında mikrobiyal sorbentlerin kullanımı yeni bir metod olması ve düşük maliyet gerektirmesi nedeni ile alternatif bir yöntemdir.

Atık sulardan boya uzaklaştırılması işleminde alg gibi ucuz ve ayrıca çevre kirliliğine neden oluşturmayacak biyokütlelerin kullanıldığı adsorpsiyon işlemleri oldukça yaygındır. Ancak, şu ana kadar literatür taramalarından elde edindiğimiz bilgiler ışığında, *Stigeoclonium nanum* alg biyokütlesinin Evercion Green H-34BD (EG) azo boyasının sulu çözeltiden uzaklaştırılmasına yönelik bir bulguya rastlanılmamıştır. İpliksi bir yeşil alg olan *Stigeoclonium nanum* mikroalg kültürü büyüme ortamında kültüre alınmış ve büyüme koşulları optimize edilmiştir. Bu işlem basamağının ardından, kesikli sistemde alg

biyokütlesi elde edildi. Kurutulmuş adsorbentin (alg biyokütlesi) karakterizasyon çalışmaları tamamlanarak, farklı deney koşulları varlığında sulu ortamdan boya uzaklaştırılması işleminde kullanılmıştır. Adsorbent ile sulu ortamdan boya uzaklaştırılması çalışmasında elde edilen deneysel sonuçlar teorik olarak türetilen denklemlere uygulanarak adsorpsiyon sisteminin kinetiği ve izoterm modeli araştırılmıştır. Tez çalışmasından erişilen sonuçlar, adsorpsiyon yoluyla sulu ortamlardan EG boyasının, alg biyokütlesinin adsorbent olarak kullanımı sonucu uzaklaştırabileceğini göstermiştir. Adsorpsiyon yöntemi kullanılarak boya uzaklaştırılması işleminde elde edilen sonuçlar, kullanılan yöntemin iyon değişimi, kimyasal çöktürme, çözücü ekstraksiyonu ve ters ozmoz gibi metotlara alternatif olarak etkin ve ekonomik bir yolla pratik uygulama potansiyelinin olduğunu göstermiştir. Farklı alg türlerinin boya giderim mekanizmalarının araştırılması çevre kirliliğinin önüne geçilmesinde en uygun türlerin tespiti açısından da önemlidir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. Boyar Maddeler

Cisimleri (kumaş, elyaf gibi) renkli hale getirmede kullanılan organik maddelere boyar madde denir. Bütün renk veren veya renkli olan maddeler boyar madde değildir. Boyar maddeler organik bileşiklerdir, çözelti veya süspansiyon şeklinde uygulanırlar (Başer ve İnanıcı, 1990).

2.1.1. Boyar Maddelerin Sınıflandırılması

Boyar maddeler; çözünürlüklerine, boyama özelliklerine ve kimyasal yapıya göre sınıflandırılmaktadır (Başer ve İnanıcı, 1990).

2.1.1.1. Çözünürlüklerine Göre Boyar Maddelerin Sınıflandırılması

2.1.1.1.1. Suda Çözünen Boyar Maddeler

Boyar madde molekülü en az bir tane tuz oluşturabilen grup bulundurur. Boyar maddelerin sentezi esnasında başlangıç maddeleri suda çözüdürücü grup içermiyorsa daha sonra eklenerek çözünürlük sağlanabilir. Suda çözünebilen boyar maddeler, tuz teşkil edebilen grubun karakterine göre iyonik suda çözünen boyar maddeler, katyonik suda çözünen boyar maddeler ve zwitter iyon karakterli boyar maddeler olarak 3'e ayrılmıştır.

2.1.1.1.2. Suda Çözünmeyen Boyar Maddeler

Tekstilde ve diğer alanlarda kullanılan boyar maddelerdir. Bu gruptaki boyar maddeler; substratta çözünen, organik çözücülerde çözünen, geçici çözünürlüğü olan, polikondensasyon pigmentler ve elyaf içinde oluşturulan boyar maddeler olarak sınıflandırılmıştır.

2.1.1.2. Boyama Özelliklerine Göre Boyar Maddelerin Sınıflandırılması

Bu kısımda boyar maddeler kimyasal yapılarına göre değil elyafı hangi yöntemle boyayabildiğine göre sınıflandırılmıştır. Buna göre ise boyar maddeler;

- Bazik (Katyonik) Boyar Maddeler
- Asit Boyar Maddeler
- Direkt Boyar Maddeler (Substantif Boyar Maddeler)
- Mordan Boyar Maddeler
- Reaktif Boyar Maddeler
- Küpe Boyar Maddeler
- İnkişaf Boyar Maddeler
- Metal-Kompleks Boyar Maddeler
- Dispersiyon Boyar Maddeler
- Pigment Boyar Maddeler olarak sınıflandırılmıştır.

Reaktif Boyar Maddeler

Elyaf yapısındaki fonksiyonel gruplara gerçek kovalent bağlarla bağlanabilen reaktif gruplar içeren boyar maddelerdir. Küçük ve basit molekül yapıdadırlar. Küçük partikül yapıda olması lifli yapılara hızla nüfuz etmelerini sağlar. Gerçek parlak renklerde olan reaktif boyar maddeler en çok mavi, oranj, sarı ve kırmızı renklerin eldesinde kullanılır (Başer ve İnancı, 1990). Selülozik elyaf, yün, ipek ve poliamid boyanmasında kullanılmaktadır.

2.1.1.3. Kimyasal Yapılarına Göre Boyar Maddelerin Sınıflandırılması

Kimyasal yapılarına göre boyar maddeler;

- Azo Boyar Maddeler
- Nitro ve Nitrozo Boyar Maddeler
- Polimetin Boyar Maddeler
- Arilmetin Boyar Maddeler
- Aza Annulen Boyar Maddeler
- Karbonil Boyar Maddeler
- Kükürt Boyar Maddeler olarak sınıflandırılmıştır.

2.2. Algler

Algler fotosentetik canlılardır. Karbondioksit ve ışık enerjisinden kompleks karbon bileşikleri üretirler. Algler sahip oldukları hücre yapıları nedeniyle biyoteknoloji çalışmalarında yoğun olarak kullanılmaktadır. Algler içerdikleri pigment maddeleri, antibiyotikler, vitaminler bakımından tıp ve eczacılıkta, kozmetik sektöründe yararlanılan

canlılardır. Su ürünleri üretiminde besin kaynağını oluşturmaktadır (Özççek ve diğ., 2017). Tarım alanında gübre ve toprak iyileştiricisi olarak da yararlanır (Altuner, 1994).

Algler; yağ asitleri, polisakkaritler, proteinler, pigmentler, sterol, vitaminler gibi yüksek değerlikli bileşikler içerirler; bu bileşikler de birçok sanayi alanında kullanılırlar (Akyıl ve diğ., 2016). Son yıllarda yağ asitlerinden biyoyakıt eldesi çalışmaları da artmıştır (Elçik ve Çakmakçı, 2017). Ayrıca atık su arıtımında fitoremediasyon ve biyosorpsiyon çalışmalarında alglerin kullanımı hız kazanmıştır.

2.2.1. Alglerin Sınıflandırılması

Algler on divizyoda sınıflandırılmıştır (Morris, 1977).

- Cyanophyta
- Chlorophyta
- Xanthophyta
- Chrysophyta
- Bacillariophyta
- Pyrrophyta
- Cryptophyta
- Euglenophyta
- Phaeophyta
- Rhodophyta

Bu çalışmada biyokütle elde ettiğimiz alg türü *Stigeoclonium nanum*, Chlorophyta (yeşil algler) divizyosunun Chlorophyceae sınıfında yer almaktadır. Chlorophyceae oldukça geniş bir sınıftır. Vejetatif yapı aralığı diğer alg sınıflarından daha büyüktür. Yeşil algler ekstrem çeşitlilik göstermelerine rağmen genelde dört temel özelliğe sahiptirler (Morris, 1977).

1. Fotosentetik pigment olarak klorofil a içerir.
2. Depo ürünü olarak nişasta depolar.
3. Hücre duvarları her zaman selüloz içerir.
4. Flagella mevcutsa normal olarak iki veya dört tanedir ve hepsi akronematiktir.

Chlorophyta divizyosu 500'den fazla cins ve yaklaşık 15000 tür içerir bu nedenle en büyük alg grubunu oluşturur. Yeşil alglerin çoğu (%80'nin üzerinde) tatlı sularda yaygındır ancak toprakta ve denizlerde de yayılım gösterirler. Chlorophyta divizyosundaki algler çok farklı

formlara sahiptir. Mikroskopik kamçılı tek hücreliden kompleks makroskopik thalli yapıya kadar morfolojik çeşitlilik gösterir (Wehr ve Sheath, 2003).

2.3. Sulu Ortamdan Tekstil Boyalarının Giderimi

Önemli organik kirleticiler sınıfında yer alan tekstil boya sulu ortamdan farklı teknikler kullanılarak fiziksel, kimyasal veya biyolojik yöntemler ile uzaklaştırılabilmektedir (Bayramoğlu ve diğ., 2017; Robinson ve diğ., 2001). Sulu ortamlardan kirleticilerin giderimi uygulamalarında, yüzeyde tutunma (adsorpsiyon), katyonik veya anyonik reçinelerin kullanıldığı iyon değişimi veya elektrodializ, ters ozmoz ve nano veya ultrafiltrasyon gibi teknikleri kapsayan fiziksel yöntemler kullanılmaktadır. Atık sulardan organik kökenli kirleticilerin giderimi için kullanılan en yaygın kimyasal yöntemler ise, flokülasyon ve çöktürme (koagülasyon), oksidasyon ve ozonlama olarak sıralanabilir (Perkins ve diğ., 1995; Socha, 1991; Verma ve diğ., 2012). Kimyasal bir ajan kullanılarak (demir(III) klorür, demir(II) sülfat, kalsiyum klorür vb.) flokülasyon ve çöktürme işlemleri yapılarak sulu ortamdaki kirleticilerin uzaklaştırılması gerçekleştirilebilmektedir. Ancak bu teknikte, işlemin sonucunda ayrıca oluşan koagülasyon ürünlerinin ortamdaki uzaklaştırılmasının gerekliliği önemli bir dezavantaj oluşturmaktadır. Son dönemlerde, organik kirleticilerin sulu ortamdan uzaklaştırılması bazı yükseltgeyiciler (Cl_2 , O_3 , H_2O_2 gibi kimyasal moleküller, UV gibi bazı ışımaya türleri veya bazı metal oksitleri vb.) kullanılarak da yapılabilmektedir. Bu yöntem ile renk giderimi gerçekleştirilmesinden sonra ortamda bazı radikallerin bulunması, işletim maliyetinin yüksek olması gibi sorunlar ile karşılaşmaktadır. Kimyasal yöntem arasında yer alan ozonlama tekniği, hali hazırda geniş bir organik kirletici grubuna başarı ile uygulanabilmekle birlikte, uygulama veriminin düşük olması, süreç sonunda çamur oluşumu, gerekli olan enerji ve işletim maliyeti alternatif arıtım teknikleri veya yaklaşım arayışlarını da beraberinde getirmektedir.

Aerobik, aneorobik, biyosorpsiyon veya enzimatik biyobozunma teknikleri de sulu ortamdan kirleticilerin uzaklaştırılması işleminde kullanılan biyolojik yöntemlerdir. Bu yöntem içerisinde yer alan ve bir arayüzey olayı olan adsorpsiyon sulu ortamdan kirleticilerin uzaklaştırılmasında kullanılan etkin bir yöntemdir. Sulu ortamda giderimi gerçekleştirilecek atom, iyon veya molekülün doğal veya modifiye mikroorganizmalar (alg, fungus, maya vb.) tarafından sağlanması işlemi biyosorpsiyon olarak tanımlanmaktadır (Arica ve diğ., 2007; Bayramoğlu ve diğ., 2013; Açıkgöz-Erkaya ve diğ., 2014). Hedef kirleticinin giderimi, kullanılan mikroorganizma ve türüne, kirleticinin (adsorplanacak tür)

kimyasal yapısına ve farklı deney koşullarına bağlı olarak uzaklaştırma hızları ve etkinlikleri farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle, kullanılacak adsorbentin yüzey özellikleri (boyutu, gözenekliliği ve yüzey alanı), ortam sıcaklığı, pH'sı, denge süresi, hedef kirleticinin sulu ortamdaki miktarı, sorbentin miktarı, sulu ortamda bulunan diğer iyonik türler vs. gibi sistem parametreleri hedef analitin sulu ortamdan uzaklaştırılmasındaki etkinliğini belirlemektedir. Bu yöntemde, sıklıkla aktif karbon kullanılmakla birlikte, daha basit ve ekonomik tekniklerle elde edilebilecek adsorbanların geliştirilmesi veya doğal biyokütlelerin kullanımı önem kazanmaktadır.

Sucul sistemlerde mikroalgler besin zincirinin temel basamağını oluşturmaktadırlar. Mikroalgler güneş ışınlarının ulaştığı denizlerde, tatlı su kaynaklarında, çöl kumlarında, sıcak su kaynaklarında, kar ve buzla kaplı farklı değişik iklim koşullarında, kısaca yeterli suyun ve nemin bulunduğu her ekosistemde, hatta bazı bitki ve hayvanların üzerlerinde, taş oyuklarında ve mağara ağızlarında yaşam sürdürebildikleri gibi mantarlarla birlikte farklı iklim koşullarında çok geniş alanlara yayılmış simbiyotik ilişki ürünü olan likenleri oluştururlar (Bayramoğlu ve diğ., 2016). Çok sayıda biyoteknolojik alanda kullanım potansiyeline tanımlanmış ökaryot ve prokaryot mikroalg türlerinin: A) küresel ısınmayla mücadelede, yüksek CO₂ seviyelerine toleranslı olan bazı mikroalglerin yoğun CO₂ emisyonunun gerçekleştirildiği endüstriyel bölgelerde ve hatta fabrika bacalarında yetiştirilmesine yönelik çalışmalar çok sayıda araştırmacı tarafından sürdürülmektedir. B) Farmasötik ve terapötik amaçlı; bazı polisakkaritlerin, yağların, vitaminler, karotenoidler, enzimlerin ve antibiyotiklerin üretiminde çeşitli alglerin kullanılma potansiyelleri günümüzde yoğun olarak araştırılmaktadır. C) Pigment ve antioksidant kaynağı olarak; gıda, eczacılık, tekstil ve kozmetik sanayiinde kullanılan klorofil a,b,c, β karoten, astaksantin, fikosiyanın, fikoeritrin ve ksantofil gibi bazı organik kökenli pigmentlerin elde edilmesinde de algler yoğun olarak kullanılmaktadır (Muruganandham ve Swaminathan, 2004). Ticari ilgi görmüş olan ve çoğu besleyici özelliği aydınlatılmış olup tablet, toz, kapsül veya sıvı halde insanların tüketimi için satışa sunulan bazı türleri bulunmaktadır. Ülkemiz mikroalg türleri bakımından oldukça zengin bir çeşitliliğe sahiptir ve sularımızda ticari önemi olduğu bilinen çok sayıda alg türleri bulunmaktadır. Alg biyokütlelerinin sulu ortamdan metal iyonu ve organik kirleticileri (fenolik bileşikler, boya molekülleri vb.) giderim potansiyelleri de bulunmaktadır. Algler, hücre duvarları büyük miktarlarda katı, sıvı, ara yüzey reaksiyonunda fonksiyonel gruplara sahip olan proteinlere ve polisakkaritlere sahip olduklarından dolayı ilgi çekici biyosorbentlerdir (Bayramoğlu ve diğ., 2011). Bazı

araştırmalar, modifiye alg biyokütlesinin daha etkin bir adsorbent olarak kullanım potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir. Zira aktive edilmiş biyokütlenin hücre duvarı yapısı üzerinde ek bağlanma bölgeleri oluşturulabilir. Alg biyokütlesi canlı veya cansız olarak kullanılabilir (Açıkgöz-Erkaya ve diğ., 2014). Cansız alg biyokütlesinin kullanımı; yüksek adsorpsiyon hızı, minimum toksisite problemi ve işlemsel kolaylık sergilemesi nedeni ile önemli avantajlara sahiptir (Bhat ve diğ., 2008; Stolz, 2001; Arica ve diğ., 2005; Khani ve diğ., 2008).

2.4. Literatürde Yer Alan Çalışmalar

Tekstil endüstrileri, tekstil ürünlerinin ıslak işlenmesi için büyük miktarlarda su ve kimyasal kullanır. Kimyasal bileşikleri içeren önemli bir atık su miktarı üretir. Kullanılan kimyasal reaktifler inorganik bileşiklerden polimerlere ve organik ürünlere kadar kimyasal çeşitlilik gösterir. Atık su deşarjları konusunda giderek daha kısıtlayıcı düzenlemeler getirildiğinden geleneksel yöntemlere daha etkin ve düşük maliyetli alternatifler önermek gerekli hale gelmektedir (Robinson ve diğ., 2001; Lebron ve diğ., 2019). Bu nedenle de boya gideriminde biyosorbent olarak alglerle yapılan çalışmalarda son yıllarda hız kazanmıştır. Çeşitli makro ve mikro alger kullanılarak farklı boya moleküllerinin sulu ortamdan uzaklaştırılması üzerine çalışmalar mevcuttur.

Bayazıt (2018), tez çalışmasında tekstil atık sularının arıtımında alg, liken ve organik atıkların biyosorbent olarak kullanımlarını araştırmış. Çalışmada, 4 farklı organik atık (muz, çekirdek, portakal ve patates kabukları), 3 farklı liken türü (*Cladonia convoluta*, *Pseudevernia furfuracea* ve *Evernia prunastri*) ve 2 farklı alg türü (*Phormidium animale* ve *Scenedesmus* sp.) Acid Red P-2BX (ARP-2BX) ve Remazol Black B (RBB) boylarının biyosorpsiyonu için biyosorbent olarak kullanılmıştır. Biyosorpsiyon üzerine temas süresi, pH, boya deşişimi, biyosorbent miktarı ve sıcaklık etkisini incelemiştir. İki alg türünden en yüksek verimde giderim yapan türün *P. animale* olarak belirlemiş. Maksimum biyosorpsiyonun pH 2 ve 45°C'de gerçekleştiğini ve ARP-2BX biyosorpsiyon oranını % 99,70 olarak tespit etmiştir. *Scenedesmus* sp. için en iyi giderimin pH 8'de olduğu ancak pH 2 ve 8'deki giderim oranları arasında çok yüksek bir farklılık olmadığı belirtilmiştir.

Alaguprathana ve Poonkothai (2017), tekstil boyası atık suyunun iyileştirilmesi için tatlı sularda yayılış gösteren yeşil alg *Spirogyra gracilis*'in biyosorbent olarak potansiyelini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre *S. gracilis*'in 96 saat inkübasyonunun ardından

pH 4'te, 30 °C sıcaklıkta ve 1 g/L (w/v) biyokütle konsantrasyonunda atık sudan %74 oranında renk giderimi sağladığını tespit etmişlerdir.

Yakhdansaz (2015), Cyanobacteria'dan *Spirulina platensis*'in azo-boyalar olan Reactive Yellow, Reactive Red, Reactive Black 5 ve Basic Red 46 ile boyar madde giderimini araştırmıştır. *Spirulina platensis*'in renk giderim oranını 240 saatlik inkübasyon sonucunda 4 boya için sırasıyla %44,4, %26,21, %50,1, %96,48 olarak saptamış ve sonraki çalışmalara Basic Red 46 ile devam etmiştir. Optimum pH'ı 9 olarak belirlemiş, 40 °C sıcaklıkta 96. saatte boya gideriminin %96,7 oranında olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca canlı ve ölü biyokütle kullanılarak Basic Red 46 boya renk gideriminde canlı biyokütlenin az da olsa daha etkili olduğunu tespit etmiştir.

Sarıkcı (2013), Acid Red 97 ve nikel(II) iyonlarının deniz algleri *Padina pavonia*, *Dictyota dichotoma* ve *Sargassum acinarum*'a kesikli sistemde tekli ve ikili biyosorbisyonunu incelemiştir. AR97'nin tekli biyosorbisyonunda optimum başlangıç pH, sıcaklık ve derişimleri sırasıyla *P. pavonia* için 2,0, 25 °C, 200 mg/L; *D. dichotoma* için 3,0, 30 °C, 200 mg/L ve *S. acinarum* için 3,0, 25 °C, 800 mg/L olarak belirlemiştir. Ayrıca optimum biyosorbent derişimlerini ise *P. pavonia* için 0,5g/L, *D. dichotoma* için 0,25g/L ve *S. acinarum* için 1g/L olarak tespit etmiştir.

Karakuş (2011) tez çalışmasında, kahverengi alg (*Laminaria japonica*), yeşil alg (*Ulva rotundata*), bentonit (Reşadiye, Tokat) ve modifiye bentonit kullanarak, üç farklı boyar maddenin (Kongo Kırmızısı, Metil Mavisi ve Metil Violent) adsorpsiyon kinetiği ve termodinamiğini incelemiştir. Kullanılan adsorbentlerin adsorpsiyon yüzdesinin yüksek olduğunu tespit etmiştir.

Khataee ve Dehghan (2011), Malachite Green (MG) çözeltilisinin *Cladophora* sp. türünü kullanarak biyolojik arıtımını incelemişlerdir. Biyolojik arıtımda kilit faktörlerin etkisini araştırmak için tepki yüzeyi metodolojisi (RSM) kullanılmış. Model tarafından tahmin edilen optimizasyonun sonuçlarının, başlangıçtaki pH 8 optimum koşulunda, başlangıç boya konsantrasyonu 10 mg/l, alg miktarı 4 g ve reaksiyon süresi 75 dakika olduğunda maksimum çözülme verimliliğinin elde edildiğini belirtmişlerdir.

Doğar ve diğ. (2010), filamentli yeşil alg *Ulothrix* sp. türünü Erzurum Uzundere'deki sulama kanallarından toplayıp, kurutmuşlar ve methylene blue boyar maddesini absorblama kapasitesini araştırmışlardır. Başlangıç boya konsantrasyonunun etkileri, temas süresi,

sıcaklık, çözelti denge pH'ı, biyosorbent dozajı ve boyanın biyosorpsiyonu üzerindeki karışım oranını incelemişlerdir. *Ulothrix* sp. türünün boya absorpsiyon kapasitesinin artan denge pH'ı ve karışım oranı arttıkça arttığını, sıcaklık ve sorbent dozu arttıkça azaldığını tespit etmişler ve bu türün renk giderimi için ekonomik bir biyosorbent olarak kullanılabilceğini belirtmişlerdir.

Ülker (2010) doktora tez çalışmasında, aktif çamur, *S. cerevisiae* (maya) ve *Spirogyra* sp. (yeşil alg)'in ölü biyokütlelerinin doğal ve ön işlemden geçirilmiş olarak bakır(II) ve nikel(II) ağır metal iyonları ile Metilen Mavisi (katyonik) boyar maddesinin kesikli ve sürekli sistemde tek bileşenli ve iki bileşenli olmak üzere sentetik ve gerçek atıksudan biyosorpsiyonunu incelemiştir. Biyosorbent olarak kullanılabilir özellikte olduklarını tespit etmiştir. *Spirogyra* sp. türü için pH 5'in biyosorpsiyon için en ideal olduğunu ve sıcaklık arttıkça giderim veriminin azaldığını belirlemiştir.

Çelekli ve diğ. (2009) tarafından havuzdan toplanan *Spirogyra majuscula* türü ile sulu ortamdan reaktif sarı (reactive yellow (RY) 81 boyasının uzaklaştırılmasında başlangıç boya konsantrasyonu, etkileşim zamanı ve pH etkisi araştırılmıştır. Deneyler sonucunda, pH 3'te, 25, 50, 75, 100, 150 ve 300 mg/l boya konsantrasyonunda absorpsiyon değerleri sırasıyla, 24,64; 36,76; 54,24; 70,63; 89,67 ve 143,62 mg/g olarak belirtilmiştir.

Khalaf (2008), *Aspergillus niger* ve tatlı su yeşil alg *Spirogyra* sp. türlerini tekstil atık suyundan reaktif boyanın (Synazol) uzaklaştırılması için biyosorbent olarak kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre pH 3, 30 °C sıcaklıkta ve 18 saat temas süresi sonrası 8 g l⁻¹ (w/v) biyokütle konsantrasyonunda kuru *A. niger* ve *Spirogyra* sp. türleri sırasıyla %88 ve %85 oranlarında maksimum boya uzaklaştırmıştır.

Marungrueng ve Pavasant (2006), yeşil bir alg olan *Caulerpa lentillifera* ile yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda, bazik bir boya olan Astrazon Blue FGRL'nin ortamdan uzaklaştırılmasında potansiyel olarak bir biyosorbent olarak kullanılabilceğini göstermişlerdir.

Özer ve diğ. (2006) tarafından yapılan *Spirogyra rhizopus* ile Acid Blue 290 ve Acid Blue 324 boyalarının biyosorpsiyonu çalışmasında en ideal pH, sıcaklık ve başlangıç boya konsantrasyonunu sırasıyla 2,0, 30 °C, 1500 mg/L ve 3,0, 25 °C, 750 mg/L tespit etmişlerdir. *Spirogyra rhizopus*'un yüksek boya derişimlerinde iyi bir giderim verimi sağladığını belirtmişlerdir.

Elmacı ve diğ. (2005) yılında yaptıkları çalışmada sentetik olarak hazırlanan bir hidroliz boyanın Remazol Turkish Blue-G ve Zn(II), Cd(II), Co(II) ağır metallerinin biyosorpsiyonunu 3 alg türü (*Chara* sp., *Cladophora* sp. ve *Chlorella* sp.) üzerinde incelemiştir. Ağır metal çalışmasında en iyi giderimi *Cladophora* sp. türünde tespit etmişlerdir. Boya gideriminde üç alg türü için en uygun pH 2 olarak bulunmuştur. En iyi giderim verimini ise yeşil alg türü olan *Chlorella* sp. ile elde etmişlerdir. pH seviyesinin artmasıyla birlikte boya giderim veriminin de azaldığını belirlemişlerdir.

Aksu ve Tezer (2005) tarafından üç reaktif boya üzerinde (Remazol Black B, Remazol Red RR, Remazol Golden Yellow RNL) *Chlorella vulgaris*'in biyosorpsiyon kapasitesi incelenmiştir. Alg biyomasının en yüksek boya alımının bütün boyalar için pH 2'de gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Maksimum biyosorpsiyon kapasitesinin sırasıyla 35 °C, 25 °C ve 15 °C sıcaklıklarda elde edildiği belirtilmiştir. Bu boyalardan en fazla Remazol Black B 419,5 mg/g⁻¹ ile maksimum düzeyde absorbe edildiği tespit edilmiştir.

Temelli (2005) tez çalışmasında, *Chlorophyta* divizyonundan *Scenedesmus quadricauda* türünü Remazol Brilliant Blue R ve Reactive Orange 16 boyalarının renk giderimi için kullanmıştır. Boş aljinat küreleri, tutuklanmış canlı ve ısı ile inaktive edilmiş alglerle deneysel çalışmalarını gerçekleştirmiştir. Her iki boya için de en uygun pH 2,0, sıcaklık 25 °C ve boya konsantrasyonunu 0,015 g/100 ml olarak tespit etmiştir.

Mohan ve diğ. (2002), yaygın olarak bulunan yeşil alglerin *Spirogyra* türlerini, sentetik azo boyasının (Reactive Yellow 22) etkenlerinin biyolojik arıtımı için uygun biyomateryaller olarak araştırmışlardır. Toplu deneylerden elde edilen sonuçlar hem boya konsantrasyonuna hem de alg biyokütlesine bağlı olarak alg türlerinin boya rengini çıkarma kabiliyetini ortaya çıkarmışlardır. Tüm sistem koşulları için üçüncü günde maksimum boya renk giderimini gözlemlemişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEMLER

3.1. Materyaller

Evercion Green H-34BD, Sigma-Aldrich Chemie GmbH (Almanya) firmasından temin edildi. Diğer tüm kimyasallar analitik saflıkta olup, Merck AG (Darmstadt, Almanya) firmasından temin edildi.

3.2. Kullanılan Cihazlar

Alg biyokütlesinin üretimi, besi ortamlarının hazırlanması, boya çözeltisinin hazırlanması, çözeltilerin karıştırılmasında ve boya uzaklaştırılması deneylerinde manyetik karıştırıcı ve vorteks (Velp Scientifica, İtalya) kullanılmıştır. Ortam pH'sı, BT-600 (Boeco micro-process pH meter, Germany) model pH metre kullanılarak ayarlanmıştır.

Boya adsorpsiyonu öncesi ve sonrasında alg biyokütlesinin FTIR spektrumları (Perkin Elmer Inc., Norwalk, CT, ABD) ATR modunda alınmıştır. UV-vis spektrumları bir spektrofotometre (PG Instrument Ltd., Model T80+; PRC) kullanılarak alınmıştır. Adsorbentin yüzey morfolojisi için SEM ölçümleri JEOL marka (Model JSM 5600, Japonya) cihaz kullanılmıştır. Alg biyokütlesinin spesifik yüzey alanı, Micromeritics marka (Tristar II) BET ölçüm cihazı ile belirlenmiştir.

3.3. Kültüre Alınan Alg Türü

Stigeoclonium nanum (Dillwyn) Kützing (CCA02Stg01) türü Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Alg Kültür Koleksiyonundan temin edilmiştir (Açıkgöz-Erkaya ve diğ., 2018).

3.4. Alg Türünün Yetiştirilme Ortamı

Stigeoclonium nanum türü için Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Alg Kültür Laboratuvarında BG-11 besi ortamında biyokütle üretiminin elde edilmesi için optimum koşullar sağlanmıştır. BG-11 besi ortamı kimyasal içerikleri Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de verilmiştir (Andersen, 2005).

Tablo 3.1. BG-11 besi ortamı.

No	Bileşen	Miktar	Stok Solüsyon Konsantrasyonu	Son Konsantrasyon
1	NaNO ₃	10 mL/L	30 g/200 mL dH ₂ O	17,6 mM
2	K ₂ HPO ₄	10 mL/L	0,8 g/200 mL dH ₂ O	0,23 mM
3	MgSO ₄ ·7H ₂ O	10 mL/L	1,5 g/200 mL dH ₂ O	0,3 mM
4	CaCl ₂ ·2H ₂ O	10 mL/L	0,72 g/200 mL dH ₂ O	0,24 mM
5	Citric Acid·H ₂ O	10 mL/L	0,12 g/200 mL dH ₂ O	0,031 mM
6	Ferric Ammonium Citrate	10 mL/L	0,12 g/200 mL dH ₂ O	0,021 mM
7	Na ₂ EDTA·2H ₂ O	10 mL/L	0,02 g/200 mL dH ₂ O	0,0027 mM
8	Na ₂ CO ₃	10 mL/L	0,4 g/200 mL dH ₂ O	0,19 mM
9	BG-11 Trace Metals Solution	1 mL/L	-	

BG-11 besi ortamında Tablo-3.1’de belirtilen 9 adet kimyasal madde 900 ml saf suya belirtilen oranlarda eklenerek saf su ile 1000 ml’ye tamamlanmış ve otoklavlanmıştır. Stok solüsyonlar +4 °C’de buzdolabında muhafaza edilmiştir.

Tablo 3.2. BG-11 Trace Metal Solüsyonu.

No	Bileşen	Miktar	Son Konsantrasyon
1	H ₃ BO ₃	2,86 g/L	46 mM
2	MnCl ₂ ·4H ₂ O	1,81 g/L	9 mM
3	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0,22 g/L	0,77 mM
4	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0,39 g/L	1,6 mM
5	CuSO ₄ ·5H ₂ O	0,079 g/L	0,3 mM
6	Co(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	49,4 mg/L	0,17 mM

BG-11 Trace Metal Solüsyonu için de Tablo 3.2’deki kimyasal maddeler 900 ml saf suya belirtilen oranlarda ilave edilip 1000 ml’ye tamamlanmış ve buzdolabında muhafaza edilmiştir. Besi ortamının sterilizasyonu için JSR JSAC-60 marka otoklav da 121 °C’de 20 dakika otoklavlanmıştır. Tüm cam malzemelerin sterilizasyonu Nüve marka FN500 sterizatörde 180 °C’de 1 saatte yapılmıştır. Kültürde izole edilmiş canlı organizmaların devamlılığını sağlamak amacıyla ortamdan tüm mikroorganizmaların uzaklaştırılması için sterilizasyon çok önemlidir (Andersen, 2005).

Kültür koşulları 16 saat aydınlık-8 saat karanlık periyodunda, $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ışık şiddetinde, $22 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık aralığında ve besi ortamı pH'ı 6,8 olacak şekilde ayarlanmıştır. Kültürlere akvaryum hava motoru ile hava verilmiştir. Kültüre aldığımız tür logaritmik faza erişince hasat işlemi yapılmıştır. Hasat işlemi $20 \mu\text{m}$ göz açıklığına sahip plankton bezlerinden süzülerek yapılmıştır. Süzülen örnek saf su ile yıkandıktan sonra $40 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 24 saat süreyle kurutulmuştur.

3.5. Alg Biyokütlesinin Karakterizasyonu

Stigeoclonium nanum (Dillwyn) Kützing türünün fotoğrafları Olympus BX53 marka mikroskop ile çekilmiştir.

Alg biyokütlesinin yüzey alanı, BET (Brunauer-Emmett-Teller) metodu kullanılarak, Micromeritics marka (Tristar II) cihazı ile ölçülmüştür.

Alg biyokütlesinin yüzey morfolojisi taramalı elektron mikroskopu (JEOL marka; Model JSM 5600, Japonya) ile elde edilmiştir.

Alg biyokütlesinin FTIR spektrumu alınarak sahip olduğu farklı fonksiyonel gruplarına ait bandlar sayesinde yapısal karakterizasyonu çalışıldı. ATR-FTIR spektrumları, Universal ATR aksesuarı ile donatılmış, Spectrum100 FTIR spektrometre (Perkin Elmer Inc., Norwalk, CT, ABD) içinde, one-bounce ATR modunda yapılmıştır. Numuneler $4000\text{-}525 \text{ cm}^{-1}$ arasında taranmıştır.

Alg biyokütlesinin yüzey yükü, çözelti pH'sının fonksiyonu olarak zeta potansiyelleri, zeta-sizer (Malvern Instruments Limited (Malvern Zetasizer-Nano ZS90 ZEN 3600) kullanılarak ölçülmüştür.

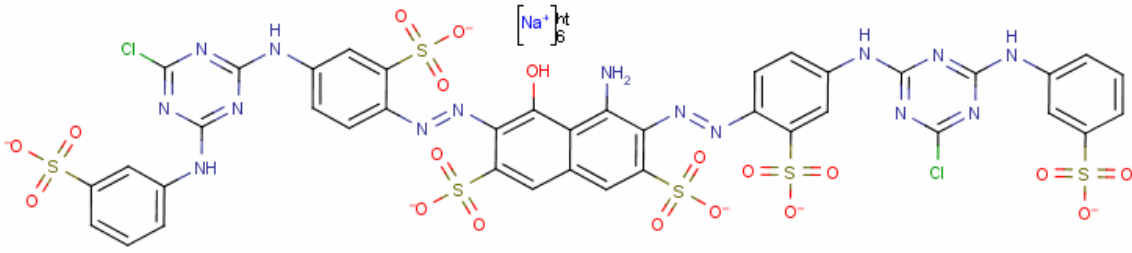
3.6. Sulu Ortamdan Boya Uzaklaştırılması Çalışmaları

3.6.1. Tekstil Boyasının Özellikleri

Evercion Green H-34BD tekstil boyasına ait karakteristik özellikler Tablo 3.3'de ve kimyasal yapısı ise Şekil 3.1'de verilmiştir. EG boyası 6 adet proton verici ve 34 adet proton alıcı gruplarına sahiptir.

Tablo 3.3. Evercion Green H-34BD'un karakteristik özellikleri.

Moleküler Kütle	1418,92 g/mol
Color Index No	C.I.205075
Maksimum Dalga Boyu	630 nm
Kimyasal/Boya Sınıfı	Azo
Molekül Formülü	C ₄₀ H ₂₃ Cl ₂ N ₁₅ Na ₆ O ₁₉ S ₆



Şekil 3.1. Evercion Green H-34BD'nin kimyasal yapısı.

3.6.2. Sulu Ortamdaki Boya Miktarının Belirlenmesi

3.6.2.1. Boyanın Maksimum Dalga Boyunun Belirlenmesi

Alg biyokütlesi kullanılarak Evercion Green H-34BD boyasının sulu ortamdaki adsorpsiyon çalışmaları kesikli sistemle araştırılmıştır. Bu amaçla, derişimi 1000 ppm olan Evercion Green H-34BD stok boya çözeltisi hazırlanmıştır. Sulu ortamındaki EG boya miktarı spektrofotometrik yöntem kullanılarak belirlenmiştir. Bu doğrultuda, EG'nin maksimum dalga boyunun belirlenmesi için bir UV-vis spektrofotometresi ile spektrumu alınmıştır.

3.6.2.2. Boyanın Kalibrasyon Grafiğinin Oluşturulması

Belirlenen bu maksimum dalga boyunda, stok boya çözeltisinden hazırlanan 1,0 ile 80,0 mg/L derişim aralığındaki standart boya çözeltileri kullanılarak EG'nin kalibrasyon grafiği oluşturulmuştur (Bayramoğlu ve Yılmaz, 2018).

3.6.3. Sulu Ortamdan Boya Adsorpsiyonu Çalışmaları

Adsorpsiyon deneylerinde, belirli miktarda alg biyokütlesi belirli başlangıç konsantrasyonunda boya içeren deney ortamına aktararak belirli sürelerde alınan

örneklerin spektrofotometrik analizinden sulu ortamdan uzaklaştırılan boya miktarı belirlenmiştir.

Ortamdaki boyanın başlangıç ve bakiye miktarları 630 nm dalga boyunda çift ışık demetli UV-vis spektrofotometresi ile, spektrofotometrik yöntem kullanılarak takip edilmiştir (Genç ve diğ., 2003). Elde edilen bu kalibrasyon eğrisi, adsorbent ile sulu ortamdan boya (EG) adsorpsiyonu işleminde boyanın başlangıç ve bakiye miktarının hesaplanmasında kullanılmıştır. Adsorbent yüzeyine adsorplanan boya miktarı (q) ve adsorplanan boya yüzdesi (%R), aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Arica ve Bayramoğlu, 2007).

$$q = [(C_0 - C) V] / m \quad (3.1)$$

$$\%R = [(C_0 - C)] / m \quad (3.2)$$

Bu eşitliklerdeki, q adsorbent yüzeyine adsorplanan boya miktarıdır (mg/g); C₀ ve C, sırasıyla, sulu ortamdan boya uzaklaştırılması işleminden önceki ve sonraki ortamdaki boya konsantrasyonudur (mg/L); V boya çözeltisinin hacmidir (mL) ve m ise kullanılan adsorbentin miktarıdır (g).

3.6.4. Boya Adsorpsiyonu Üzerine Farklı Deney Koşullarının Etkisi

Tekstil boyasının, alg biyokütlesine adsorpsiyonu işleminde optimum pH'ın belirlenmesi için, pH'ı 2,0 ile 8,0 aralığında değişen 100 mg/L boya çözeltileri kullanılarak sulu ortamdan boya uzaklaştırılması deneyleri yapılmıştır. Ortam pH'sının adsorpsiyona etkisinin belirlenmesi için, 0,01 M NaOH ve 0,01M HCl kullanılarak farklı pH değerine ayarlanmış EG boya çözeltileri hazırlanmıştır. Bu çalışmalar, 100 mg/L boya içeren 10 mL boya çözeltisi içerisinde 10 mg alg biyokütlesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

EG boyasının uzaklaştırılması işleminde adsorpsiyon denge süresini ve adsorpsiyonun zamana bağlı değişiminin tespiti 0 ile 240 dakika arasında farklı zaman aralıklarında alınan örneklerin analizi ile belirlenmiştir. Bu çalışmalar, pH 2,0'da 100 mg/L boya içeren 10 mL çözeltisi içerisinde 10 mg alg biyokütlesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Kullanılan alg biyokütlesinin, çözelti hacmine oranla sulu ortamından boya uzaklaştırma etkinliğine etkisi, 10 mL çözelti ortamında 2 – 20 mg arasında değiştirilerek araştırıldı. Bu çalışmalar, pH 2,0'da 100 mg/L boya içeren 10 mL çözeltisi içerisinde gerçekleştirilmiştir.

Deneysel adsorpsiyon izotermi ve dolayısı ile alg biyokütlesinin deneysel maksimum adsorpsiyon kapasitesinin belirlenmesi amacı ile sulu ortamdaki başlangıç boya konsantrasyonu 10 ile 1000 mg/L aralığında değiştirilerek araştırılmıştır. Bu çalışmalar, pH 2,0'da 10 mL boya çözeltisi içerisinde 10 mg alg biyokütlesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Sulu ortamdan uzaklaştırılan boya yüzdesi üzerine iyonik şiddetin etkisi, 0,0 – 1,0 M NaCl varlığında araştırılmıştır. Bu çalışmalar, pH 2,0'da, farklı iyonik şiddete sahip, 100 mg/L boya içeren 10 mL çözeltisi içerisinde 10 mg alg biyokütlesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Ortam sıcaklığının boya uzaklaştırma etkinliği üzerine etkisi, 15, 25, 35 ve 45 °C sıcaklık koşullarında çalışılarak araştırılmıştır. Bu çalışmalar, pH 2,0'da 100 mg/L boya içeren 10 mL çözeltisi içerisinde 10 mg alg biyokütlesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.6.5. Desorpsiyon ve Tekrar Kullanılabilirlik Çalışmaları

Alg biyokütlesi kullanılarak sulu ortamdan uzaklaştırılan EG boyasının desorpsiyonu, 0,1 M HCl, 0,1 HNO₃ ve 0,1 M NaOH kullanılarak araştırıldı. Desorpsiyon yüzdesi aşağıda verilen eşitlik kullanılarak belirlenmiştir (Bayramoğlu ve diğ., 2016). Alg biyokütlesinin EG boyası uzaklaştırılması işleminde tekrar kullanım kapasitesi aynı biyokütlenin art arda 5 kez adsorpsiyon-desorpsiyon döngüsünde kullanımı ile araştırılmıştır.

$$\% \text{Desorpsiyon} = \text{Desorpsiyon sonrası boya derişimi} / (\text{Boyanın başlangıç derişimi} - \text{Adsorpsiyon sonrası ortamdaki boya derişimi}) \quad (3.3)$$

3.6.6. Adsorpsiyon Kinetiğinin Belirlenmesi

Stigeoclonium nanum alg biyokütlesi ile sulu ortamdan Evercion Green H-34BD boyasının adsorpsiyonundan elde edilen deney sonuçları teorik kinetik model eşitliklerine uygulanmıştır. Kullanılan birinci ve ikinci dereceden kinetik eşitliklerinin doğrusal denklemleri aşağıdaki gibi verilmektedir (Lagergren, 1898; Ritchie, 1987).

$$\log(q_{den} - q_t) = \log q_{den} - (k_1 t) / 2,303 \quad (3.4)$$

$$1/q_t = 1/k_2 q_m t + 1/q_m \quad (3.5)$$

Bu eşitlikte k_1 ve k_2 sırası ile birinci dereceden adsorpsiyon hız sabitini (dak^{-1}), q_{den} ve q_t sırası ile denge ve t zamanında adsorplanan boya miktarını göstermektedir (mg g^{-1}).

3.6.7. Adsorpsiyon İzoterm Modelinin Belirlenmesi

Deneysel olarak belirlenen adsorpsiyon verilerini değerlendirebilmek için türetilen langmuir denklemi izoterm model uygunluğunun belirlenmesi için kullanılmıştır.

Langmuir tarafından türetilen teorik adsorpsiyon izoterm model eşitliği aşağıdaki şekilde verilmiştir (Langmuir, 1919).

$$q = q_m C / (K_d + C) \quad (3.6)$$

Bu eşitlikte, q_m , alg biyokütlesinin maksimum adsorpsiyon kapasitesini (mg/g); C , sulu ortamdaki boya konsantrasyonunu (mg/ml); q , alg biyokütlesinin adsorpladığı boya miktarını (mg/g); ve K_d ($K_d = k_2 / k_1$) ise ayrışma denge sabitini (mg/ml) göstermektedir (Genç ve diğ., 2003).

4. BULGULAR

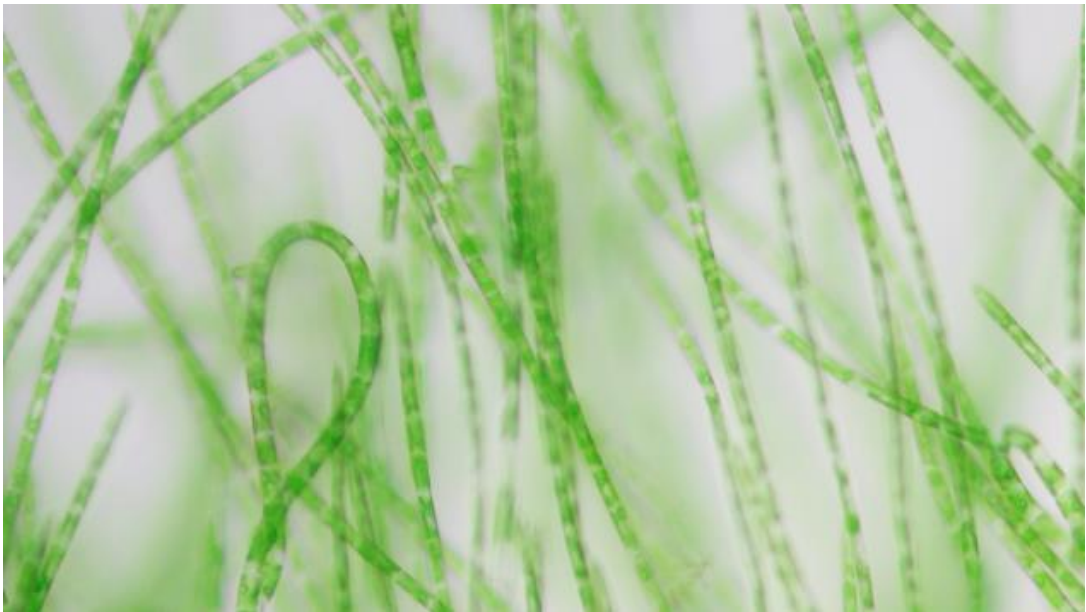
4.1. *Stigeoclonium nanum* (Dillwyn) Kützing Alg Türünün Sınıflandırılması ve Alg Biyokütlesinin Karakterizasyonu

Tez çalışmasında kullanılan alg türünün sınıflandırması aşağıdaki gibidir.

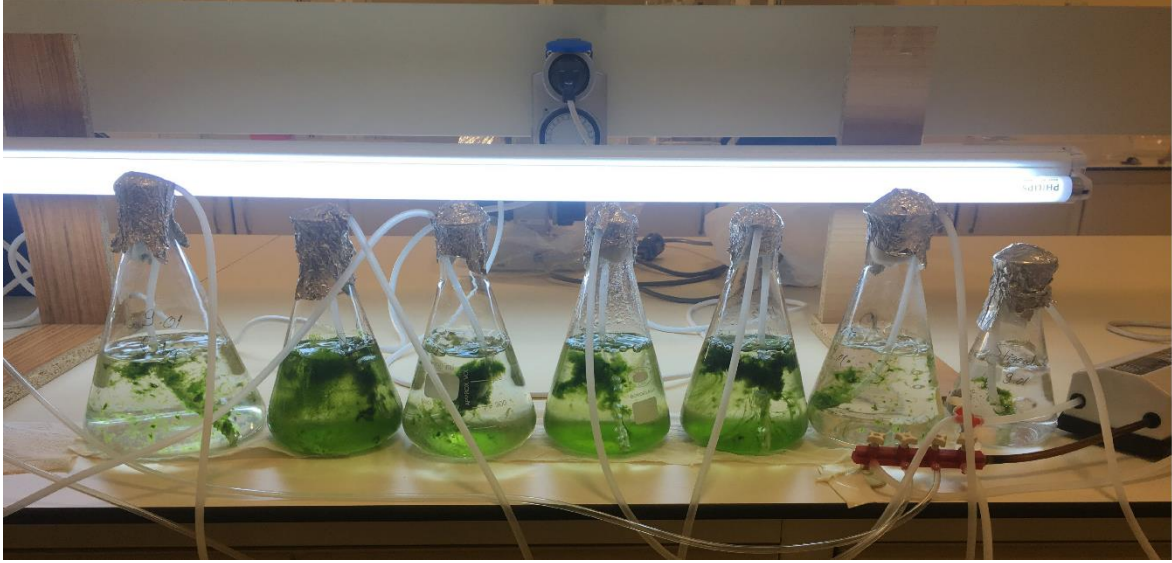
Empire	: Eukaryota
Kingdom	: Plantae
Subkingdom	: Viridiplantae
Infrakingdom	: Chlorophyta infrakingdom
Divizyo	: Chlorophyta
AltDivizyo	: Chlorophytina
Sınıf	: Chlorophyceae
Takım	: Chaetophorales
Aile	: Chaetophoraceae
Cins	: <i>Stigeoclonium</i>
Tür	: <i>Stigeoclonium nanum</i> (Dillwyn) Kützing

4.2. Alg Biyokütlesinin Işık Mikroskobu Görüntüleri

Stigeoclonium nanum (Dillwyn) Kützing (CCA02Stg01) türün fotoğrafları ışık mikroskobu ile çekilmiştir (Şekil 4.1). Şekil 4.2’de laboratuvar koşullarında alg biyokütlesinin kesikli sistemde üretimi gösterilmiştir.



Şekil 4.1. *Stigeoclonium nanum*'un ışık mikroskobu görüntüsü. (10x40 büyütme)

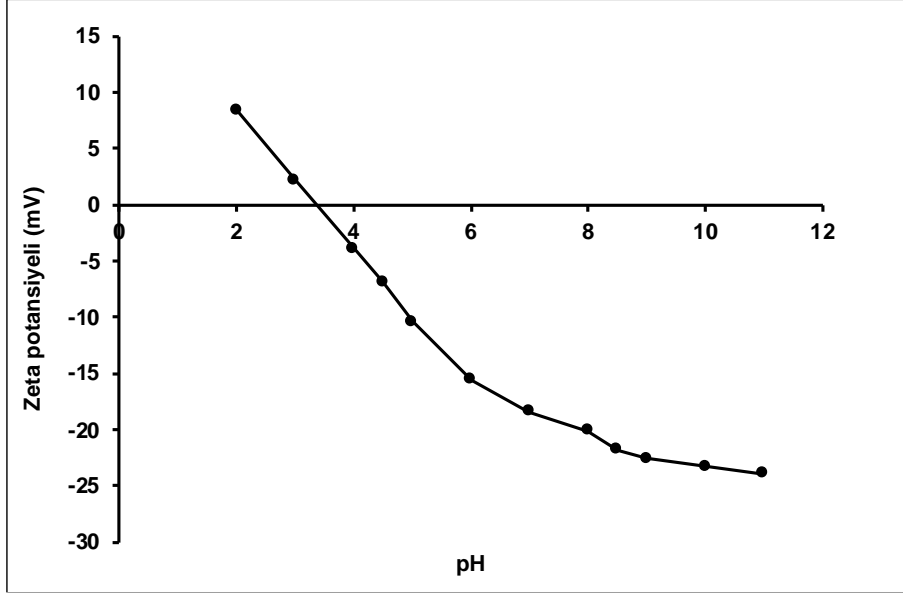


Şekil 4.2. *Stigeoclonium nanum*'un laboratuvar koşullarında kesikli sistemde üretimi.

Stigeoclonium nanum türünde hücreler, dallar boyunca birbirine benzer ve 4-8 μm genişliğinde, 10-18 μm uzunluğunda, genişliğinden 1-2 (3) kez daha uzundur. Prostat sistemi hemen hemen her hücreden çıkan dik dallarla, ayrı sürünen filamentlerden oluşur. Dik sistem sıklıkla fazlaca dallanmış, dallanma sıra ile veya tek taraflı, nadiren karşılıklıdır. Dallanma hücreleri karakteristik değildir. Primer ve sekonder dallar kısa, tepe hücreleri küt, sivri veya bir saç gibi sonlanır (John ve diğ., 2002).

4.3. Ortam pH'sının Alg Biyokütlesinin Zeta Potansiyeli Üzerine Etkisi

Boya moleküllerinin iyonizasyon durumunun derecesi ve türleşmesi gibi, biyokütle üzerindeki fonksiyonel grupların iyonizasyon durumunu da belirlemesinden dolayı, ortam pH'sı, boya degradasyonunu kontrol etmek için önemli bir parametredir. Bu nedenle, zeta potansiyeli biyosorbentler için oldukça önemli bir parametredir. Organik ve inorganik moleküllerin absorban yüzeyine bağlanması için yüzeyin yük özellerinin absorbanın hedef kirletici ile ilişkileri sıkça adsorpsiyon çalışmalarında kullanılmaktadır. Absorbanın kapasitesini belirleyen en önemli parametrelerden birisi olan pH, zeta potansiyelini etkileyen önemli bir faktördür. Alg biyokütlesinin zeta potansiyeli üzerine pH'ın etkisi incelenmiş ve Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Zeta potansiyeli ölçümleri, pH 3,0 değerinden sonra alg biyokütlesinin negatif bir yüke sahip olduğunu ortaya koymaktadır. pH 2,0'den 6,0 değerine kadar logaritmik bir düşüş gözlenmektedir. pH 3,0 ve 6,0'da zeta potansiyel değeri sırası ile alg için 2,2 ve -15,6 mV'dır. Alg biyokütlesi için, Şekil 4.3'te görüldüğü gibi, çalışılan pH aralığındaki yük yoğunluğu, -23,9'dan, 8,4 mV'a kadar değişmiştir.

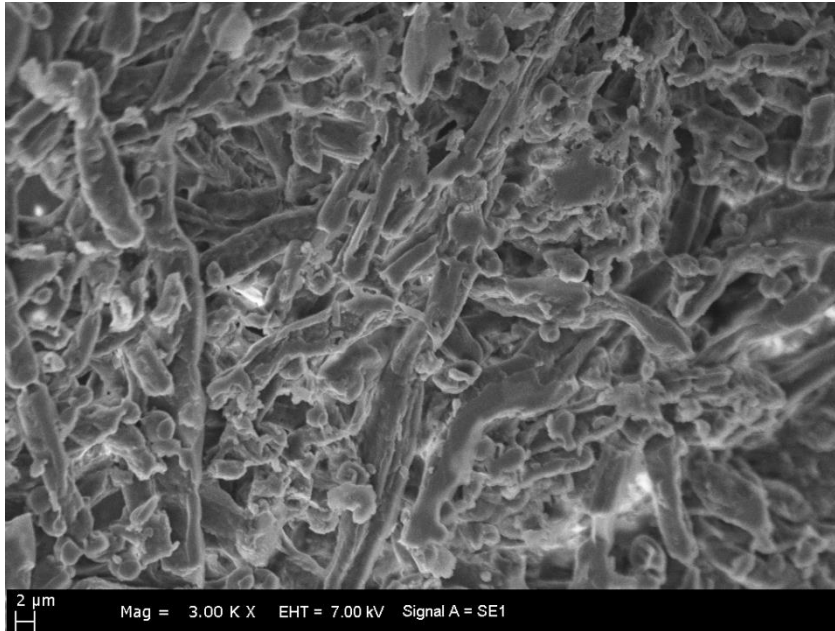


Şekil 4.3. Alg biyokütlesinin farklı pH değerlerindeki zeta potansiyeli.

4.4. Alg Biyokütlesinin Spesifik Yüzey Alanı ve SEM Görüntüsü

Alg biyokütlesinin ortalama spesifik yüzey alanı, Brunauer-Emmer-Teller (BET) metodu ile ölçüldü ve 2,04 m²/g olarak bulunmuştur.

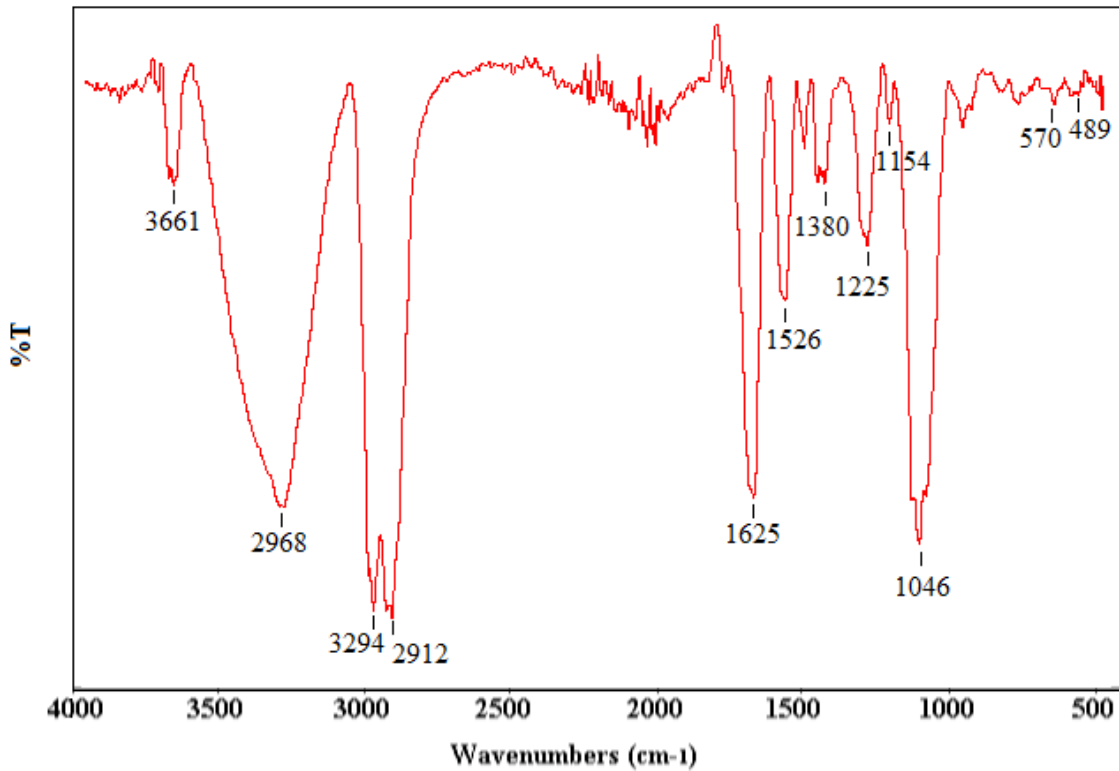
Taramalı elektron mikroskobu ile gerçekleştirilen yüzey morfolojisi incelemelerinden, biyokütlenin yoğun yüzey yapısına sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Alg biyokütlesinin yüzey görüntüsü.

4.5. Alg Biyokütlesinin FTIR Spektrumu

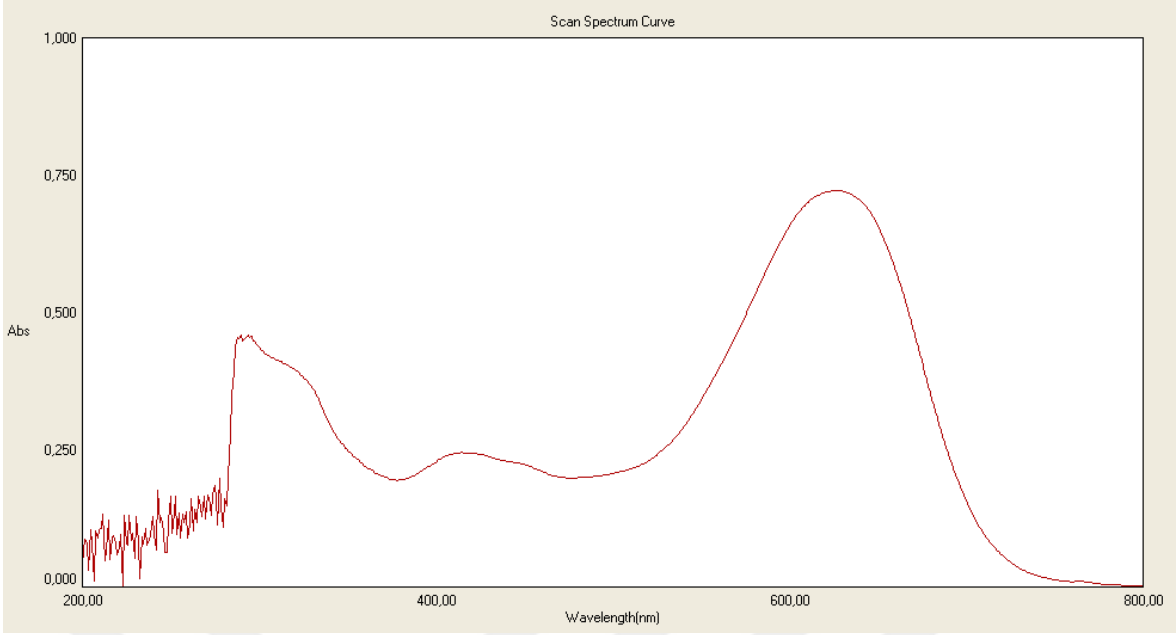
Stigeoclonium nanum alg biyokütlesinin ATR-FTIR spektrumu, amino, karboksilik, hidroksil ve karbonil gruplarının bulunma olasılığını destekler nitelikte farklı karakteristik piklerin varlığını kanıtladı (Şekil 4.5). 3400-3200 cm^{-1} 'de algin yapısındaki karboksil, -OH ve -NH gruplarına ait gerilim bantları pikleri gözlenmiştir. C-H gerilme, N-H eğilmesi, -CH₃ titreşimi ve C-OH gerilim titreşimlerine ait olan pikler 2912, 1526, 1380, 1046 cm^{-1} 'de görülmüştür. Diğer taraftan O-C-O ve C=O'ya ait 570 ve 489 cm^{-1} 'de pikler gözlenmiştir. Karboksil gruplarından ileri gelen absorpsiyon pikleri ise 3200-3700, 1625, 1526 ve 1225 cm^{-1} aralığında gözlenirken, fosfonat gruplarının absorpsiyon piki ise 1154 cm^{-1} 'deki P=O gerilim ve 1046 cm^{-1} 'de P-O gerilim bandı olarak gözlenmiştir.



Şekil 4.5. Alg biyokütlesinin FTIR spektrumu.

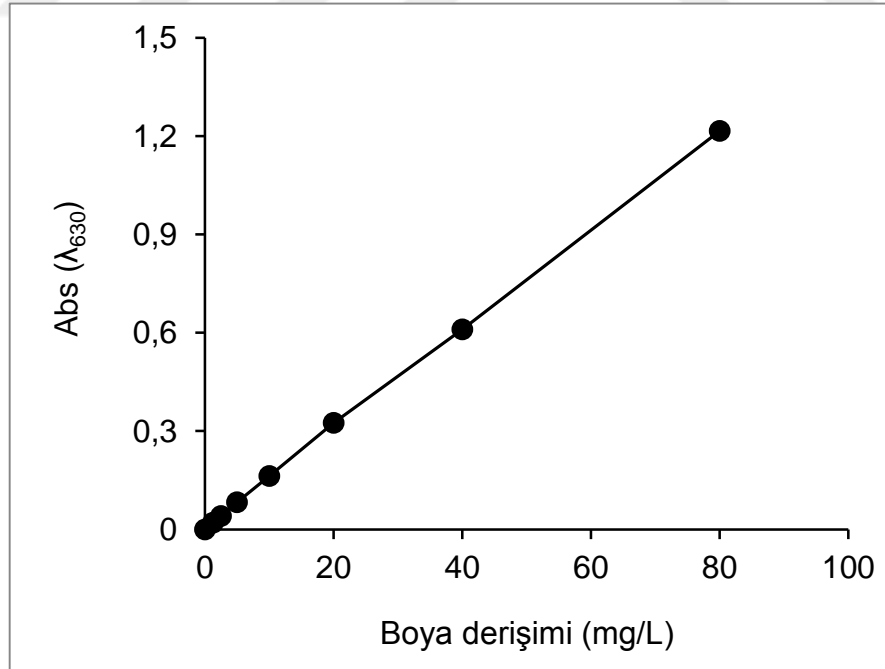
4.6. Evercion Green H-34BD'nin Kalibrasyon Eğrisi

Araştırmada kullanılan Evercion Green H-34BD boyasının, 200-800 nm dalga boyu arasında yapılan tarama sonucunda, maksimum absorbans değerleri 630 nm olarak belirlenmiştir (Şekil 4.6). Bu nedenle bu dalga boyu, sulu ortamdan boya uzaklaştırılması çalışmalarında boyanın spektrofotometrik yöntem ile belirlenmesinde kullanılmıştır.



Şekil 4.6. Evercion Green H-34BD'ne ait spektrum.

Boya giderimi işleminde, sulu ortamdaki başlangıç ve bakiye boya örneği miktarlarının belirlenebilmesi için hazırlanan standart EG boyası için, 630 nm dalga boyunda boya derişiminin bir fonksiyonu olarak absorbans değerleri belirlenmiş ve kalibrasyon grafiği oluşturulmuştur (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Evercion Green H-34BD'nin kalibrasyon grafiği.

Şekil 4.7'de verilen kalibrasyon doğrusunun R^2 değeri 0,9994 olarak belirlenmiş olup, bu doğru denkleminin eğimi 0,0152 olarak hesaplanmıştır. Belirlenen bu doğru denklemi, boya

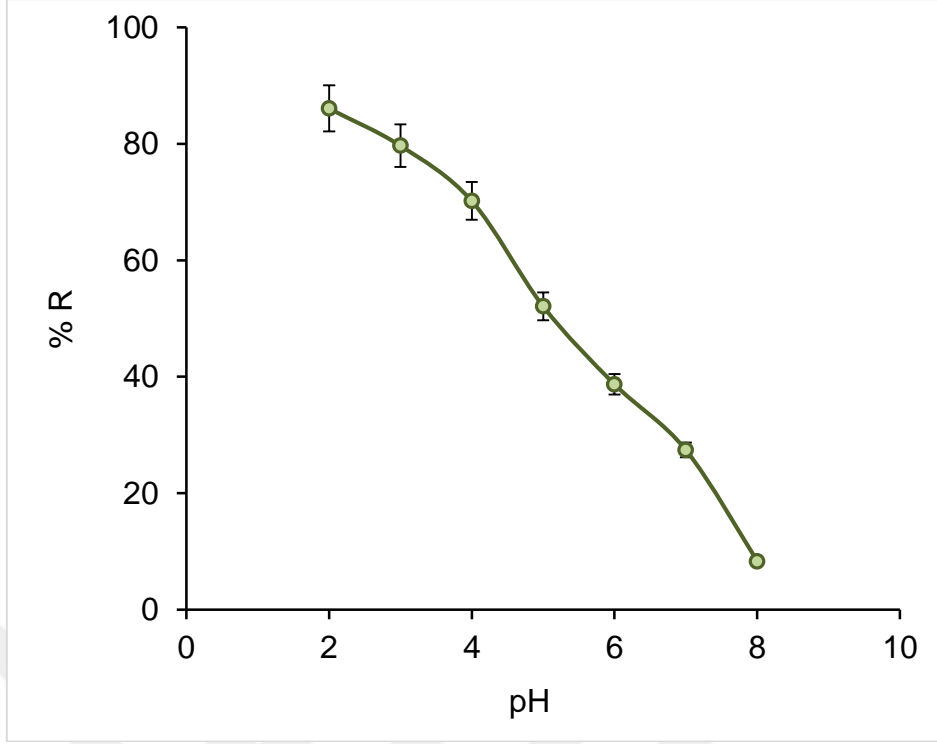
uzaklaştırma deneylerinde sulu ortamdaki boya örneğinin miktarının belirlenmesinde kullanılmıştır.

4.7. Sulu Ortamdan Boya Uzaklaştırılması

Adsorpsiyon deneylerinde, belirli miktarda alg biyokütlesi belirli başlangıç konsantrasyonunda boya içeren deney ortamına aktarılarak denge anına kadar, sürekli karıştırılarak kesikli sistemde inkübe edilmiştir. Başlangıç boya konsantrasyonu, ortam pH'sı, biyokütle dozu, sıcaklık gibi faktörlerin alg biyokütlesinin performansı üzerine etkisi araştırılarak optimum deney koşulları tespit edilmiştir. Alg biyokütlesi ile sulu ortamdan boya uzaklaştırılması işleminde önemli bir parametre olan zamana bağlılığı araştırılarak denge adsorpsiyon süresi belirlenmiştir. Sulu ortamdan boya uzaklaştırılması işleminde elde edilen deneysel veriler Langmuir denkleminde uygulanarak teorik adsorpsiyon kapasitesi hesaplanmıştır (Bayramoğlu ve diğ., 2013).

4.7.1. pH Etkisi

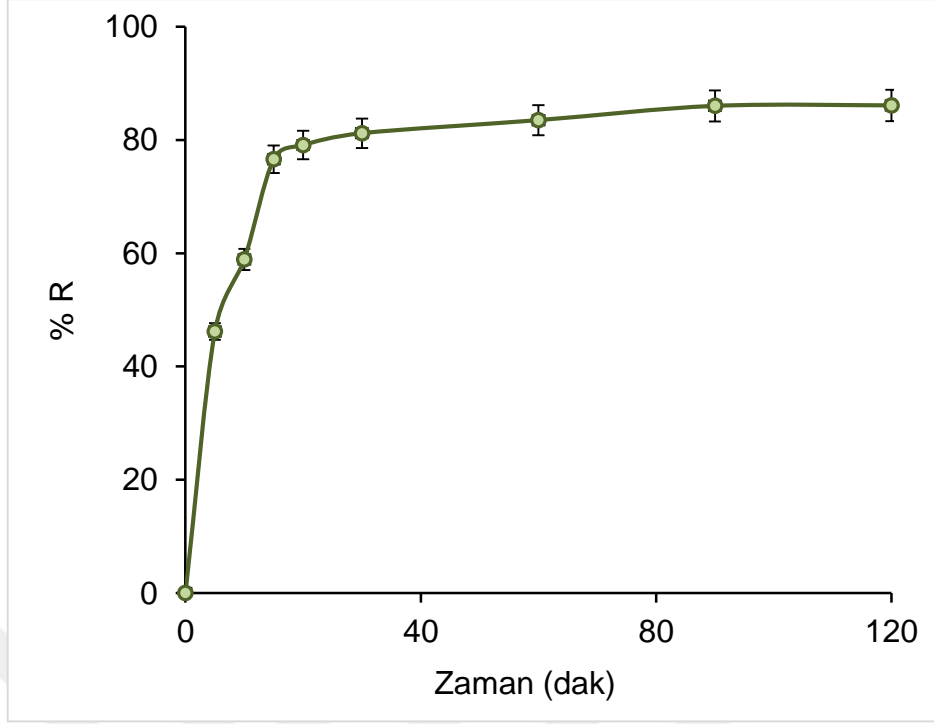
Sulu ortamdan boya uzaklaştırılması işleminde pH etkisi, sabit başlangıç boya konsantrasyonu, sıcaklık, adsorbent miktarında araştırılmıştır. EG reaktif boyasının alg biyokütlesi üzerine adsorpsiyonu, 25 °C sabit ortam sıcaklığında, pH'sı 2,0 ile 8,0 aralığında değişen deney koşullarında araştırılmıştır (Şekil 4.8). Adsorpsiyon tekniği ile sulu ortamdan boya uzaklaştırma işlemi büyük ölçüde, alg biyokütlesinin yüzey yüküne bağlıdır. Elde edilen deneysel sonuçlar, alg biyokütlesinin fonksiyonel grupları ve boya moleküllerinin sahip olduğu iyonize olabilen grupları arasındaki etkileşimlerin boya uzaklaştırma eğilimine önemli derecede bağlı olduğunu göstermiştir. Çözeltinin pH değeri, adsorpsiyon olayında yüzey yük dağılımını belirleyen bir parametredir. Alg biyokütlesi ile EG boyasının pH 2,0'de %86,1'lik bir renk giderimine sahip olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.8. Alg biyokütlesi ile Evercion Green H-34BD uzaklaştırılması işleminde ortam pH'sının etkisi.

4.7.2. Denge Süresi

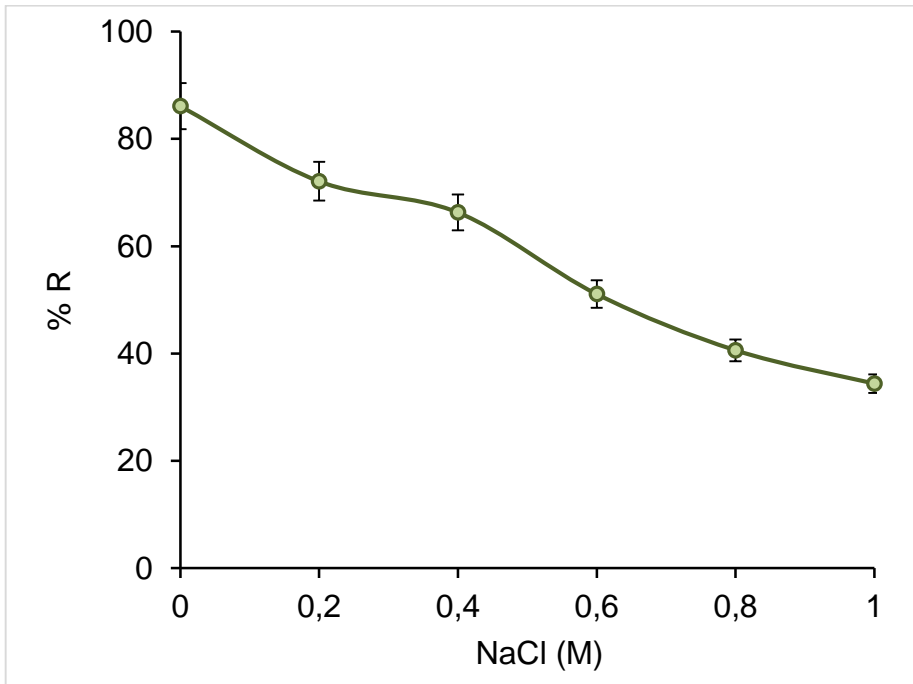
EG reaktif boyasının adsorpsiyonunun zamana bağlı değişimi Şekil 4.9'da verilmiştir. Çalışılan tüm derişim aralıklarında sulu ortamdan boya adsorpsiyonunun 90 dakikada dengeye geldiği ve bu süreden sonra kapasitede önemli bir değişiklik olmadığı görülmüştür (Şekil 4.9). Boya uzaklaştırma yüzdesi, 90 dakika içerisinde %86,1 değerine ulaşmıştır ve denge süresine ulaştıktan sonra boya uzaklaştırma yüzdesinde önemli bir değişim olmadığı görülmüştür.



Şekil 4.9. Sulu ortamdan boya uzaklaştırılması işleminin zamana bağlı değişimi.

4.7.3. İyonik Şiddetin Etkisi

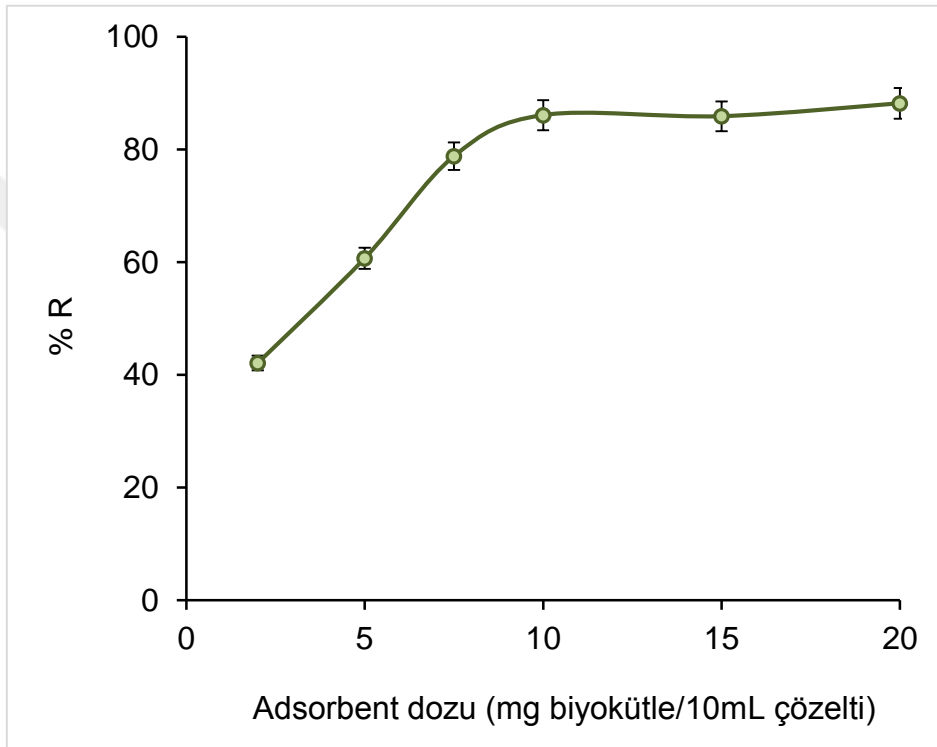
Sulu ortamdan boya uzaklaştırma işleminde, iyonik şiddetin etkisi 0,0 ile 1,0 M derişim aralığındaki NaCl çözeltisi kullanılarak araştırılmıştır. Artan iyonik şiddet etkisi ile alg biyokütlesine adsorplanan boya yüzdesinde azalma gözlenmiştir (Şekil 4.10). İyonik şiddetin 1,0 M değerine çıkarılması ile adsorpsiyon yüzdesinin 2,51 kat azaldığı belirlenmiştir.



Şekil 4.10. Alg biyokütlesi ile boya uzaklaştırması işleminde iyonik şiddetin etkisi.

4.7.4. Alg Biyokütlesi Miktarının Etkisi

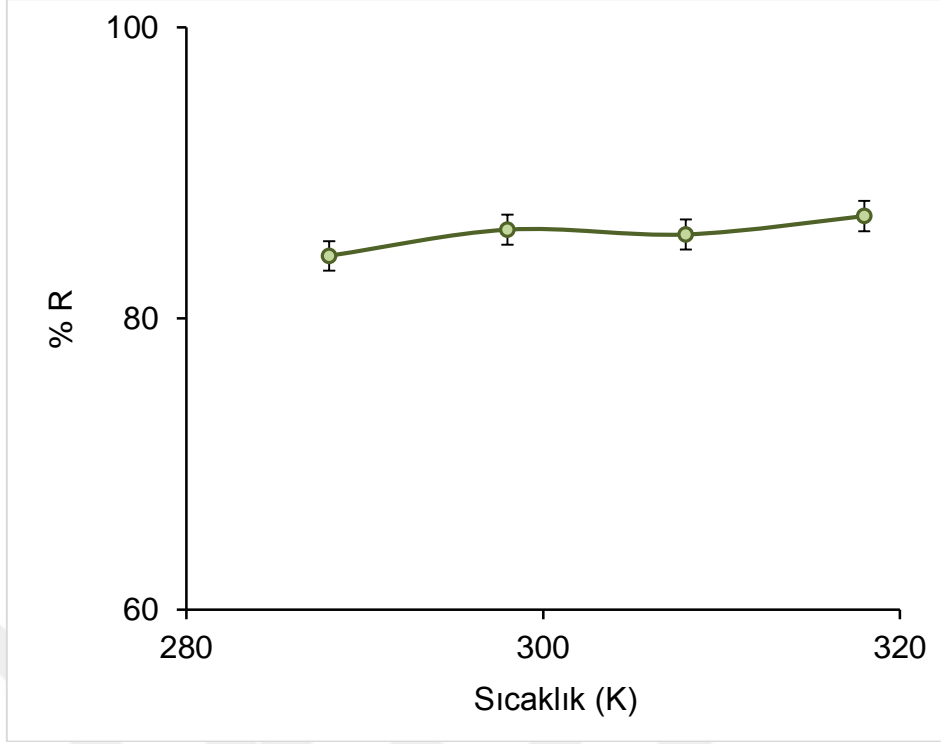
Sulu ortamdan EG boyasının alg biyokütlesi ile uzaklaştırılması işleminde, sabit çözelti hacmi içerisinde değişen adsorbent miktarının etkisi araştırılmıştır. Kullanılan alg miktarı 2,0 – 20,0 mg (10 ml çözelti hacmi içerisinde) aralığında değiştirilmiştir. Adsorbent miktarının artması ile boya uzaklaştırma yüzdesinin % 42,3'ten % 86,1'e arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Alg biyokütlesi ile boya uzaklaştırması işleminde kullanılan alg miktarının etkisi.

4.7.5. Sıcaklığın Etkisi

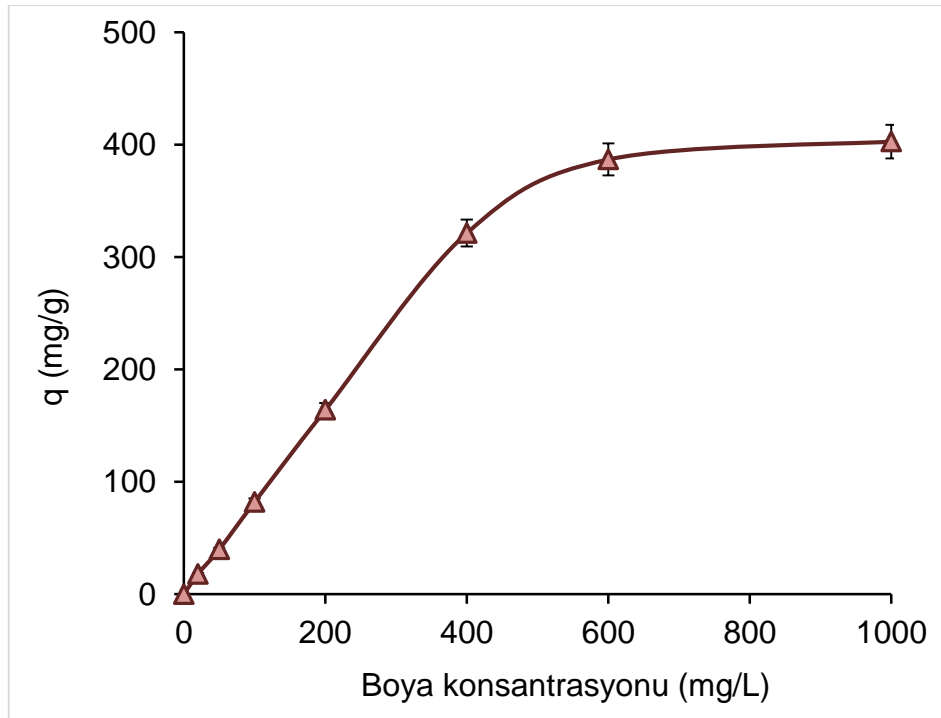
Sulu ortamdan EG boyasının uzaklaştırılması işleminde ortam sıcaklığı, 15 ile 45 °C aralığında değiştirilerek boya adsorpsiyonu üzerine etkisi araştırılmış ve önemli bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Alg biyokütlesi ile boya uzaklaştırması işleminde ortam sıcaklığının etkisi.

4.7.6. Başlangıç Boya Konsantrasyonunun Etkisi

Alg biyokütlesi ile EG tekstil boyasının uzaklaştırılması işleminde, sulu ortamındaki boya derişimi arttıkça adsorpsiyon etkinliğinin de arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.13). Maksimum boya giderim kapasitesi 407,2 mg/g olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.13. Alg biyokütlesi ile boya uzaklaştırması işleminde boya konsantrasyonunun etkisi.

4.7.7. Adsorpsiyon Kinetiği

Adsorpsiyon kinetiği, deneysel verilerin birinci ve ikinci dereceden kinetik eşitliklere uygulanması ile belirlenmiştir. Deneysel verilerden hesaplanan maksimum adsorpsiyon kapasitesi, q_{den} ile birinci ve ikinci dereceden kinetik modelin uygulanması ile elde edilen teorik denge adsorpsiyon kapasiteleri, q_{eq} , karşılaştırıldığında, sonuçların ikinci derece kinetik modelinden elde edilen değerlere yakın olduğu gözlenmiştir (Tablo 4.1). Yüksek korrelasyon katsayıları ve maksimum adsorpsiyon kapasitelerindeki uyumlu sonuçlar alg biyokütlesi ile sulu çözeltiden boya adsorpsiyonunun ikinci dereceden kinetik modeli ile uyumlu olduğunu göstermiştir.

Tablo 4.1. *Stigeoclonium nanum* alg biyokütlesi ile Evercion Green H-34BD boyasının giderimi işleminde elde edilen kinetik sabitler.

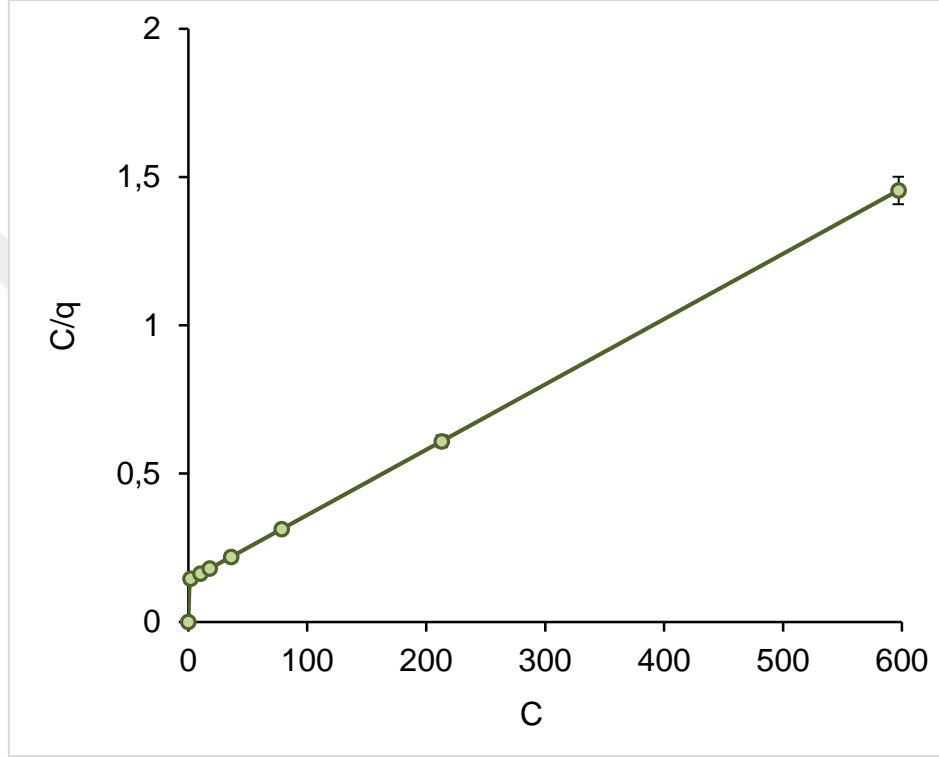
Birinci Derece				İkinci Derece		
q_{den}	q_{eq}	$k_1 \times 10^2$	R^2	q_{eq}	$k_2 \times 10^1$	R^2
(mg/g)	(mg/g)	(dak^{-1})		(mg/g)	(dak^{-1})	
470,2	186,2	6,29	0,947	434,8	2,02	0,989

4.7.8. Adsorpsiyon İzotermi

Adsorpsiyon izotermi, sulu ortamdaki hedef analit ile adsorbent arasındaki etkileşimleri açıklamak için türetilen teorik denklemlerdir. Alg biyokütlesi ile EG boyası adsorpsiyonu işleminde, arayüzey etkileşiminin değerlendirilebilmesi için elde edilen deneysel sonuçlar Langmuir eşitliğine uygulanarak bu modele uygunluğu araştırılmıştır. Bu amaçla, farklı derişim aralığındaki boya çözeltileri ile adsorpsiyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Boya çözeltileri 25 °C'de dengeye gelinceye kadar etkileştirilmiş ve alg biyokütlesi ortamdan uzaklaştırıldıktan sonra, bakiye boya miktarı spektrofotometrik olarak tayin edilerek deneysel adsorpsiyon kapasitesi belirlenmiştir. Deneysel verilerin izoterm modellerine uygunluğu ise langmuir denklemi kullanılarak belirlenmiştir.

Langmuir izoterm teorisi, homojen bir adsorplayıcı üzerinde tek tabakalı bir kaplanma gerçekleştiğini, varsaymaktadır. Langmuir modeli, eşit erişilebilir adsorpsiyon yerleri, tek tabakalı yüzey kaplaması ve adsorplanan türler arasında etkileşimin olmadığı gibi homojenite varsayımına dayanır.

Deneysel verilerin Langmiur izoterm modeline uygunluğunu belirlemek için $1/C$ 'ye karşı $1/q$ grafikleri çizilerek q_{mak} ve K_d değerleri hesaplanmıştır (Şekil 4.14). Tek tabaka adsorpsiyon kapasitesi ve K_d değerleri sırası ile 454,5 mg/g ve 0,0157 L/mg olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.2). Langmuir modelinin korelasyon katsayısının büyük olması ve hesaplanan maksimum adsorpsiyon kapasitesinin deneysel adsorpsiyon kapasitesine yakın olması, sulu ortamdan boya biyosorpsiyonu işleminin, Langmuir modeli ile açıklanabileceğini göstermiştir (Genç ve diğ., 2003).



Şekil 4.14. Deneysel verilerin Langmuir izoterm modeline uyumluluğu.

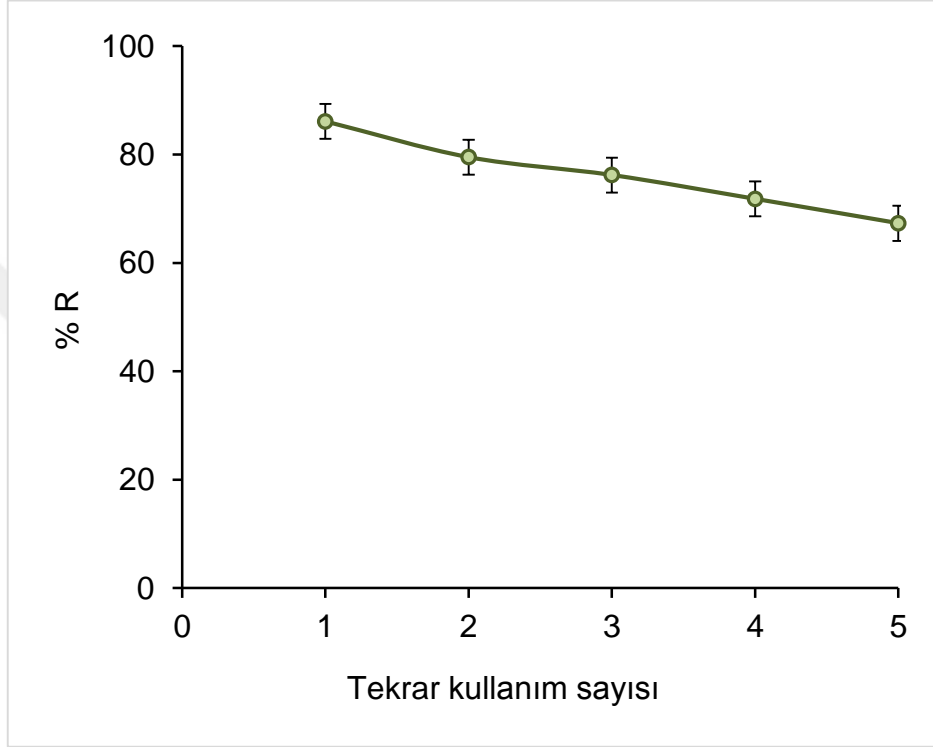
Tablo 4.2. Alg biyokütlesi için belirlenen Langmuir izoterm model sabitleri.

Model Parametreleri			
q_{den}	q_{mak}	$K_d \times 10^2$	R^2
(mg/g)	(mg/g)	(L/mg)	
470,2	454,5	1,57	0,993

4.7.9. Desorpsiyon ve Tekrar Kullanılabilirlik

Alg biyokütlesine adsorplanan EG tekstil boyasının desorpsiyonu, farklı desorpsiyon ajanları (0,1 M HCl, 0,1 M HNO₃ ve 0,1 M NaOH) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. EG boyasının adsorbent yüzeyinden 0,1 M HCl, 0,1 M HNO₃ ve 0,1 M NaOH kullanılarak gerçekleştirilen desorpsiyon yüzdeleri sırası ile %43, %56 ve %81 olarak bulunmuştur.

Belirli bir miktarda alg biyokütlesinin adsorbe edebileceği boyar madde miktarını araştırmak amacıyla yapılan çalışma, aynı alg biyokütlesinin beş kez kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Her adsorpsiyon – desorpsiyon döngüsü 120 dakika sürdürülmüştür. Alg biyokütlesine adsorplanan EG boyasının ilk kullanımında %86,1, ardından gerçekleştirilen ikinci boya giderimi işleminde %79,5 oranında gerçekleşirken aynı adsorbentin beşinci kez kullanımında adsorplanan boya yüzdesi %67,3 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Alg biyokütlesinin boya adsorpsiyonu işleminde tekrar kullanımı.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tez kapsamında *Stigeoclonium nanum* alg biyokütlesi, sulu ortamdan Evercion Green H-34BD boyasının adsorpsiyon yolu ile gideriminde kullanılmıştır.

Alg biyokütlesi ATR-FTIR, Z-seizer, BET yöntemi ve çeşitli analitik yöntemlerle karakterize edildi. *Stigeoclonium nanum* (Dillwyn) Kützing (CCA02Stg01) türün fotoğrafları ışık mikroskobu ile çekilmiştir. Kesikli sistemde üretilen alg biyokütlesinin SEM görüntüsünden yüzey morfolojisi belirlenmiştir. Taramalı elektron mikroskobu ile gerçekleştirilen yüzey morfolojisi incelemeleri, biyokütlenin yoğun yüzey yapısına sahip olduğunu göstermiştir. *Stigeoclonium nanum* alg biyokütlesinin zeta potansiyeli üzerine pH'ın etkisi incelemiştir. pH 3,0 değerinden sonra alg biyokütlesinin negatif bir yüke sahip olduğu belirlenmiştir. pH 2,0'den 6,0 değerine kadar logaritmik bir düşüş gözlenmiştir. pH 3,0 ve 6,0'da zeta potansiyel değeri sırası ile 2,2 ve -15,6 mV olarak bulunmuştur. Alg biyokütlesinin ortalama spesifik yüzey alanı, Brunauer-Emmer-Teller (BET) metodu ile 2,04 m²/g olarak belirlenmiştir. *Stigeoclonium nanum* alg biyokütlesinin yapısal karakterizasyonu FTIR spektrumu alınarak yapılmıştır. Alg biyokütlesinin ATR-FTIR spektrumunda amino, karboksilik, hidroksil ve karbonil gruplarının varlığını destekler nitelikte farklı karakteristik pikler gözlemlenmiştir.

Alg biyokütlesinin reaktif bir tekstil boyasının sulu ortamdan uzaklaştırılması işleminde, besin ihtiyacına gereksinim duymayan ucuz bir sorbent olarak kullanımı, endüstriyel atık suların arıtımında önemli avantajlar sağlama potansiyeline sahiptir. Atıksulardan kirleticilerin gideriminde canlı mikroorganizmalara kıyasla, cansız biyokütlelerin kullanımı, toksik atıklardan etkilenmemesi, besin ortamına ihtiyaç duymamaları, kolaylıkla rejenere edilebilmeleri, giderim kapasitelerinde önemli bir değişiklik olmaksızın aynı biyokütlenin defalarca adsorpsiyon-desorpsiyon döngülerinde kullanılabilmesi, depolama kararlılıkları gibi önemli üstünlükler sağlamaktadır (Singh ve Thakur, 2006; Arica ve Bayramoğlu, 2007). Tez çalışmasında, sulu ortamlardan, hedeflenen boyanın uzaklaştırılması için, adsorpsiyon etkinliği ve hızına etki eden deneysel koşullar değerlendirilmiştir.

Boya bileşiklerini sulardan uzaklaştırma verimliliğini etkileyen önemli parametreler arasında ortamın pH'sı ve ortamdaki kirleticinin başlangıç konsantrasyonu olduğu bilinmektedir. Ortamın pH değeri boya bileşiklerin çözünürlüğünü ve alg biyokütlesinde mevcut olan fonksiyonel grupların iyonlaşmasına (örneğin, karboksilat, fosfat ve amino grupları) etki etmektedir. Algal biyokütlenin boya uzaklaştırma hız ve kapasitelerine pH'nın etkisi 2,0 - 8,0 aralığında araştırılmıştır. pH 2,0 değerinde, algal biyokütle ile maksimum boya adsorpsiyon kapasitesine ulaşılmıştır. Alg biyokütlesi ile EG boyasının pH 2,0'de %86,1'lik bir renk giderimine sahip olduğu bulunmuştur. Ortam pH'sının artırılması sonucunda boya uzaklaştırma kapasitesinde azalma gözlenmiştir. Mikroorganizmaların boya uzaklaştırma etkinliğinin artan pH değeri ile önemli ölçüde azaldığı diğer araştırmacılar tarafından da rapor edilmiştir (Bayramoğlu ve diğ., 2013; Mishra Tripathy, 1993). Biyokütle yüzeyindeki pozitif yüklü gruplar ile negatif yüklü boya molekülü arasında elektrostatik etkileşim sonucunda, düşük pH değerlerinde adsorpsiyon kapasitesinin arttığı düşünülmektedir. Boya molekülü ile alg biyokütlesi arasındaki iyonik ve hidrofobik etkileşimler, sulu ortamdan boya uzaklaştırma etkinliğini arttırmaktadır (Aksu ve Tezer, 2005; Bayramoğlu ve Yılmaz, 2018).

Kesikli sistemde alg biyokütlesi ile boya giderimi 2 saat işletim süresi içerisinde adsorpsiyon dengesine 90 dakika içerisinde ulaşılmıştır. EG boyasının adsorpsiyonu işleminde denge süresine ulaştıktan sonra boya uzaklaştırma yüzdesinde önemli bir değişim olmadığı görülmüştür.

Sulu ortamdan boya uzaklaştırma işleminde, iyonik şiddetin etkisi 0,0 ile 1,0 M derişim aralığındaki NaCl çözeltisi kullanılarak araştırılmıştır. İyonik şiddetin 1,0 M değerine çıkarılması ile adsorpsiyon yüzdesinin 2,51 kat azaldığı belirlenmiştir.

Biyokütle, 2,0-20,0 mg aralığında (10 ml çözelti hacmi içerisinde) değiştirilerek boya giderim yüzdesi üzerine etkisi araştırılmış ve artan biyokütle miktarı ile boya giderim yüzdesinin arttığı ve 10 mg adsorbent dozunda sabit bir değere ulaştığı görülmüştür. Adsorbent miktarının 2,0 mg'dan 20,0 mg'a artması ile boya uzaklaştırma yüzdesinin %42,3'den %86,1'e arttığı belirlenmiştir. Artan adsorbent miktarının boya uzaklaştırma yüzdesinde bir artışa neden olduğu sonucunun literatür ile uyumlu olduğu görülmüştür (John ve diğ., 2002; Bayramoğlu ve Arıca, 2007).

Biyoteknolojik yöntemlerle endüstriyel atıksuların arıtımı uygulamalarında ortam sıcaklığı, hedef kirletici giderim kapasitesini etkileyen önemli bir parametredir. 15 – 45 °C sıcaklığı

arasında değiştirilen ortam sıcaklığının, alg biyokütlesi kullanılarak EG boyasının adsorpsiyon yüzdesinde önemli bir değişikliğe neden olmadığı belirlenmiştir. Ortam sıcaklığın artması ile adsorbent ile adsorplanacak tür arasındaki etkileşiminin kısmen azaldığı ve/veya değişmediğı araştırmacılar tarafından da belirtilmiştir (Hu, 1996).

EG boyasının adsorbent yüzeyinden 0,1 M HCl, 0,1 M HNO₃ ve 0,1 M NaOH kullanılarak gerçekleştirilen desorpsiyon yüzdeleri sırası ile %43, %56 ve %81 olarak bulunmuştur. Desorpsiyon çalışmalarında, alg biyokütlesinin tekrar kullanılabilirliği beş döngü ile çalışılmıştır. Alg biyokütlesine adsorplanan EG boyasının ilk kullanımında %86,1, ardından gerçekleştirilen ikinci boya giderimi işleminde %79,5 oranında gerçekleşirken aynı adsorbentin beşinci kez kullanımında adsorplanan boya yüzdesi %67,3 olarak belirlenmiştir.

Alg biyokütlesi ile reaktif bir tekstil boyası olan EG'nin sulu ortamdan deneysel maksimum adsorpsiyon kapasitesi, sabit tutulan pH, sıcaklık, biyokütle miktarı ve zaman koşullarında, farklı boya konsantrasyonuna sahip özeltiiler kullanılarak belirlenmiştir. Adsorpsiyon etkinliği, artan boya konsantrasyonuyla artması gözlenmiştir. Alg biyokütlesinin pH 2,0'da, yüksek adsorpsiyon kapasitesine (407,2 mg / g) sahip olduğu bulunmuştur. Boya konsantrasyonunun artması ile adsorpsiyon kapasitesinin artması, EG boyası ile alg biyokütlesinin sahip olduğu aktif bölgeler arasında, daha etkin çarpışma olasılığından kaynaklanmaktadır (Khalaf, 2008; Lebron ve diğ., 2019; Omari ve diğ., 2018).

Algal biyokütle ile reaktif EG boyasının uzaklaştırılması işleminde belirlenen deneysel verilerin, Langmuir tarafından türetilen model eşitliğine uygunluğu araştırılmıştır. Elde edilen yüksek R² değerleri, deney verilerinin bu model ile tanımlanabileceğini göstermiştir. Tek tabakalı (maksimum) adsorpsiyon kapasitesi (q_{max}) 454,5 mg/g biyokütle olarak bulunmuştur. K_d değerleri ise 0,0157 L/mg olarak hesaplanmıştır. Langmuir modelinin korelasyon katsayısının büyük olması ve hesaplanan maksimum adsorpsiyon kapasitesinin deneysel adsorpsiyon kapasitesine yakın olması, sulu ortamdan boya adsorpsiyonu işleminin, Langmuir modeli ile açıklanabileceğini göstermiştir.

Adsorpsiyon kinetiği, deneysel verilerin birinci ve ikinci dereceden kinetik eşitliklere uygulanması ile belirlenmiştir. İkinci derece kinetik eşitliğinden hesaplanan adsorpsiyon kapasitesi ve k₂ değerleri sırasıyla, 434,8 mg/g ve 0,202 L/dak olarak hesaplanmıştır. Bu model eşitliğinin uygulanmasından elde edilen korelasyon katsayısının büyük olması (0,989) ve hesaplanan maksimum adsorpsiyon kapasitesinin deneysel adsorpsiyon kapasitesine

yakın olması, sulu ortamdan boya adsorpsiyonu işleminin, ikinci derece kinetik modeli ile açıklanabileceğini göstermiştir.

Stigeoclonium nanum biyokütlesinin Evercion Green H-34BD uzaklaştırma kapasitesinin, ortam pH'sı, biyokütle miktarı, adsorpsiyon dengesine ulaşma zamanı ve başlangıç boya konsantrasyonu gibi çevresel şartların bileşimine bağlı olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, biyoteknoloji alanında, adsorpsiyonla atıksulardan boya bileşiklerinin uzaklaştırılması işleminde alg biyokütlesi kullanımının olumlu sonuçlar verdiğini göstermiştir.



KAYNAKLAR

- Acıkgöz -Erkaya, I., Arica, M.Y., Akbulut, A., Bayramoglu, G., 2014, biosorption of uranium(VI) by free and entrapped algae: Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies *Chlamydomonas reinhardtii*. *Journal of Radioanalytical & Nuclear Chemistry*, 299, 1993–2003
- Açıkgöz Erkaya İ., Yalçın Duygu, D., Özer, T., 2018, Installation of operational processes for the establishment of microalgal culture collection, *MedFAR.*, 2(2), 49-62.
- Aksu, Z., Tezer, S., 2005, Biosorption of reactive dyes on the green alga *Chlorella vulgaris*. *Process Biochemistry* 40, 1347-1361.
- Akyıl, S., Işıl İltir, I., Koç, M., Kaymak-Ertekin F., 2016, Alglerden elde edilen yüksek değerlikli bileşiklerin biyoaktif/biyolojik uygulama alanları, *Akademik Gıda* 14(4), 418-423.
- Alaguprathana, M., Poonkothai, M., 2017, *Spirogyra gracilis* - A potent algae for the remediation of textile dyeing effluent, *J. Env. Bio-Sci.*, 31 (2), 345-355.
- Altuner, Z., 1994, *Tohumusuz bitkiler sistematigi*, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Yayınları No:2 I. Cilt.
- Andersen, R.A., 2005, *Algal culturing techniques*. Elsevier Academic Press, New York.
- Arica, M.Y., Bayramoğlu G., 2007, Biosorption of Reactive Red-120 dye from aqueous solution by native and modified fungus biomass preparations of *Lentinus sajor-caju*, *Journal of Hazardous Materials*, 149, 499–507.
- Arica, M.Y., Tuzun, I., Yalçın, E., Ince, O., Bayramoglu, G., 2005, Utilisation of native, heat and acid-treated microalgae *Chlamydomonas reinhardtii* preparations for biosorption of Cr(VI) ions. *Process Biochemistry*, 40, 2351–2358.
- Başer, İ., and İnanıcı, Y., 1990, *Boyarmadde kimyası*, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yayınları, İstanbul.

- Bayazıt, G., 2018, *Tekstil atık sularının arıtımında alg, liken ve organik atıkların biyosorbent olarak kullanım olanaklarının karşılaştırılması*, Yüksek Lisans, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bayramoğlu, G., Adiguzel, N., Ersoy, G., Yılmaz, M., Arica, M.Y., 2013, Removal of Textile Dyes from Aqueous Solution using Amine-Modified Plant Biomass of *A. caricum*: Equilibrium and Kinetic Studies, *Water, Air, Soil Pollution*, 224,1640.
- Bayramoğlu, G., Akbulut, A., Arica, M.Y., 2016, Aminopyridine modified *Spirulina platensis* biomass for chromium (VI) adsorption in aqueous solution, *Water Science and Technology*, 74 (4), 914-926.
- Bayramoğlu, G., Arica, M.Y., 2007, Biosorption of benzidine based textile dyes “Direct Blue 1 and Direct Red 128” using native and heat-treated biomass of *Trametes versicolor*, *Journal of Hazardous Materials*, 143 (1-2), 135-143.
- Bayramoğlu, G., Celikbicak, O., Salih, B., Arica, M.Y., 2017, Immobilization of laccase on the fibrous polymer grafted film and studies of textile dyes degradation by MALDI-ToF-MS. *Chemical Engineering Research & Design*, 128, 107–119.
- Bayramoğlu, G., Yılmaz, M., 2018, Azo dye removal using free and immobilized fungal biomasses: Isotherms, kinetics and thermodynamic studies, *Fibers and Polymers*, 19(4), 877-886.
- Bayramoğlu, G., Arica M.Y., 2011, Preparation of a Composite Biosorbent Using *Scenedesmus quadricauda* Biomass and Alginate/Polyvinyl Alcohol for Removal of Cu(II) and Cd(II) Ions: Isotherms, Kinetics, and Thermodynamic Studies, *Water Air and Soil Pollution*, 221(1-4), 391-403.
- Bayramoğlu, G., Celik, G., Arica, M.Y., 2006, Studies on accumulation of uranium by fungus *Lentinus sajor-caju*. *J. Hazardous Materials*, B136, 345-353.
- Bayramoğlu, G., Tüzün, I., Çelik G., Yılmaz M., Arica, M.Y., 2006, Biosorption of mercury(II), cadmium(II) and lead(II) ions from aqueous system by microalgae *Chlamydomonas reinhardtii* immobilized in alginate beads, *International Journal of Mineral Processing*, 81, 35-43.

- Bhat, S.V., Melo, J.S., Chaugule, B.B., D'Souza, S.F., 2008, Biosorption characteristics of uranium(VI) from aqueous medium onto *Catenella repens*, a red alga. *Journal of Hazardous Materials*, 158, 628–635.
- Çelekli, A., Yavuz Atmaca, M., Bozkurt, H., 2009, Reaktif sarı 81 boyasının sulu ortamdan *Spirogyra majuscula* ile uzaklaştırılması; kinetik ve denge modellemesi, *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 2 (2) 59-69.
- Doğar, Ç., Gürses, A., Açıkyıldız, M., Özkan, E., 2010, Thermodynamics and kinetic studies of biosorption of a Basic dye from aqueous solution using Green algae *Ulothrix sp.*, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 76, 279-285.
- Elçik, H., Çakmakçı, M., 2017, *Mikroalg üretimi ve mikroalglerden biyoyakıt eldesi*, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 32:3, 795-820.
- Elmacı, A., Yonar, T., Özengin, N., Türkoğlu, H., 2005, Zn(II), Cd(II), Co(II) ve Remazol Turkish Blue-G boyar maddesinin sulu çözeltilerinde kurutulmuş *Chara sp.*, *Cladophora sp.*, ve *Chlorella sp.* türleri ile biyosorpsiyonun araştırılması, *Ekoloji*, 14 (55), 24-31.
- Genç, Ö., Soysal, L., Bayramoğlu, G., Arıca, M.Y., Bektaş, S., 2003, Procion Green H-4G immobilized poly(2-hydroxyethylmethacrylate/chitosan) composite membranes for heavy metal removal. *Journal of Hazardous Materials*, 97(1-3), 111-125.
- Güler, A.S., 2010, *Farklı biyosorbentler üzerine Cu(II), Ni(II) ve Metilen Mavisi biyosorpsiyonunun kesikli ve sürekli sistemlerde incelenmesi*, Yüksek Lisans, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hu T-L., 1996, Removal of reactive dyes from aqueous solution by different bacterial genera. *Water Sci Technol*, 34, 89–95.
- John, D.M., Whitton, B.A., Brook, A.J., 2002, *The freshwater algal flora of the British Isles: An identification guide to freshwater and terrestrial algae*, Cambridge University Press, Cambridge, ISBN: 0-521-77051-3.

- Karakuş, S., 2011, *Farklı boyar maddelerin özel hazırlanmış adsorbanlar üzerinde adsorpsiyon kinetiği ve termodinamiğinin incelenmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Khalaf, M.A., 2008, Biosorption of reactive dye from textile wastewater by non-viable biomass of *Aspergillus niger* and *Spirogyra* sp., *Bioresource Technology*, 99 (14), 6631–6634.
- Khani, M.H., Keshtkar, A.R., Ghannadi, M., Pahlavanzadeh, H., 2008, Equilibrium, kinetic and thermodynamic study of the biosorption of uranium onto *Cystoseria indica* algae. *Journal of Hazardous Materials*, 150, 612–618.
- Khataee, A.R., Dehghan, G., 2011, Optimization of biological treatment of a dye solution by macroalgae *Cladophora* sp. using response surface methodology, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 42, 26–33.
- Lagergren S, 1898, Zur theorie der sogenannten adsorption gel oster stoffe. *Kunliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar* 24, 1–39.
- Langmuir, I., 1919, The adsorption of gases on plane surfaces of gas, mica and platinum. *Journal American Chemical Society*, 40, 1361 –1403.
- Lebron, Y.A.R., Moreira, V.R., Santos, L.V.S., 2019, Studies on dye biosorption enhancement by chemically modified *Fucus vesiculosus*, *Spirulina maxima* and *Chlorella pyrenoidosa* algae *Journal of Cleaner Production*, 240, 118-197.
- Marungrueng, K., Pavasant, P., 2006, Removal of basic dye (Astrazon Blue FGRL) using macroalga *Caulerpa lentillifera*, *J. Environ. Manag.*, 78, 268-274.
- Mishra, G., Tripathy, M. A., 1993, critical review of the treatment for decolourization of textile effluent. *Colourage*, 40, 35–8.
- Morris, I., 1997, *An introduction to the algae*, Hutchinson University Library, London.
- Muruganandham, M., Swaminathan, M., 2004, Photochemical Oxidation of Reactive Azo Dye with UV–H₂O₂ Process, *Dyes and Pigments*, 62, 269–275.
- Omarı, H., E-Gendy, A., Al-Ahmary, K., 2018, Bioremoval of toxic dye by using different marine macroalgae, *Turkish Journal of Botany*, 42, 15-27.

- Özçiçek, E., Can E., Yılmaz, K., Seyhaneyıldız Can Ş., 2017, Akuakültürde sürdürülebilir besin kaynağı olarak mikroalglerin kullanımı, *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 34(3), 347-354.
- Özer, A., Akkaya, G., Turabik, M., 2006, The removal of Acid Blue 290 (AB290) and Acid Blue 324 (AB324) dyes on *Spirogyra rhizopus*, *Journal of Hazardous Materials*, B135, 355–364.
- Perkins, W.S., Walsh, W.K., Reed, I.E., Namboodri, C.G., 1995, A Demonstration of Reuse of Spent Dyebath Water Following Color Removal with Ozone, *Textile Chemist And Colorist*, 28(1), 31-37.
- Ritchie, AG., 1987, Alternative to the Elovich equation for kinetics of adsorption of gases on solids. *J Chem Soc Faraday Trans* 73, 1650–1653.
- Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., Nigam, P., 2001, Remediation of dyes in textile effluent, a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative, *Bioresour. Technol.* 77, 247–55.
- Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., Nigam, P., 2001, Remedation of Dyes in Textile effluent: A Critical Review on Current Treatment Technologies With A Proposed Alternative, *Bioresource Technology*, 77, 247-255.
- Sarıkcı, Ö., 2013, *Acid Red 97 ve Nikel(II) İyonlarının Tekli ve İkili Karışımlarının Padina pavonia, Dictyota dichotoma ve Sargassum acinarum'a biyosorbsiyonu*, Yüksek Lisans, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Singh, K., Thakur, I.S., 2006, Color removal of anaerobically treated pulp and paper mill effluent by microorganisms in two steps bioreactor, *Biores Technol*, 97, 218-223.
- Socha, K., 1991, Treatment of Textile Effluents, *Textile Month*, 12, 52-56.
- Stolz, A., 2001, Basic and applied aspects in the microbial degradation of azo dyes. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 56, 69–80.
- Temelli, M., 2005, *Tutuklanmış Scenedesmus quadricauda ile remazol brilliant blue-R ve orange 16 tekstil boyar maddelerin giderimi*, Yüksek Lisans, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Venkata Mohan, S., Chandrasekhar Rao, N., Krishna Prasad, K., Karthikeyan, J., 2002, Treatment of simulated Reactive Yellow 22 (Azo) dye effluents using *Spirogyra species*, *Waste Management*, 22, 575–582.

Verma, A.K., Dash, R.R., Bhunia, P., 2012, A Review On Chemical Coagulation/Flocculation Technologies For Removal Of Colour From Textile Wastewaters, *Journal Of Environmental Management*, 93, 154-168.

Wehr, J.D., Sheath, R.G., 2003, *Freshwater algae of North America*, Academic Press, USA.

Yakhdansaz, N., 2015, *Spirulina platensis ile çeşitli boyaların renk giderimlerinin araştırılması*, Yüksek Lisans, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Belgin Torunoğlu Umucu
Doğum Yeri	Kırşehir
Doğum Tarihi	25.05.1991
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	+90 536 628 66 71
E-Posta Adresi	belgin.torunoglu@hotmail.com



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Aksaray Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Çevre Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2016

Yüksek Lisans	
Üniversite	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	İleri Teknolojiler Anabilim Dalı
Programı	İleri Teknolojiler Tezli Yüksek Lisans
Mezuniyet Tarihi	2020

Makale ve Bildiriler	
Açıkgöz Erkaya, İ., Torunoğlu B., and Bayramoğlu, G., 2019, Utilization of Algal Biomass <i>Stigeoclonium nanum</i> for Removal of Textile Dye from Aqueous Solution, 2nd International Environmental Chemistry Congress, 31 Kasım-3 Aralık, Antalya	