



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI

**POLİ(N-(1-SİKLOHEKSİLETİL)AKRİLAMİT-ko-
ETİLENGLİKOLDİMETAKRİLAT-ko-
STİREN)'İN SENTEZİ VE SULU
ÇÖZELTİLERDEN METİLEN MAVİSİ
ADSORPLAMA ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mahmut SAYAR

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Mutlu CANPOLAT

Mart-2024
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mahmut SAYAR tarafından hazırlanan “Poli(*N*-(1-sikloheksiletil)akrilamit-ko-EGDMA-ko-Stiren)’in Sentezi Ve Sulu Çözeltilerden Metilen Mavisi Adsorplama Özelliklerinin Araştırılması” adlı tez çalışması 08.03.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Reşit ÇAKMAK

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mutlu CANPOLAT

Üye

Doç. Dr. Orhan BAYTAR

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Murat ÖTER
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Mahmut SAYAR
08.03.2024

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

POLİ(N-(1-SİKLOHEKSİLETİL)AKRİLAMİT-ko-ETİLENGLİKOLDİMETAKRİLAT-ko-STİREN)'İN SENTEZİ VE SULU ÇÖZELTİLERDEN METİLEN MAVİSİ ADSORPLAMA ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Mahmut SAYAR

**Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Kimya Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mutlu CANPOLAT

2024, 46 Sayfa

Jüri

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mutlu CANPOLAT

Doç. Dr. Reşit ÇAKMAK

Doç. Dr. Orhan BAYTAR

Bu tez çalışmasında, sulu çözeltilerden metilen mavisini (MB) adsorbe etmek amacıyla yeni bir polimerik adsorbanın sentezini ve değerlendirmesini incelemektedir. Çalışmanın ilk aşamasında, N-(1-sikloheksiletıl)akrilamit (CEA) monomeri, S-(+)-1-sikloheksiletılamin ve akrilol klorür kullanılarak sentezlenmiş ve elde edilen CEA, FTIR, ¹H-NMR ve ¹³C-NMR analizleriyle karakterize edilmiştir. Daha sonra, CEA monomeri, etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) ve stiren monomerleri kullanılarak radikal polimerizasyon reaksiyonu ile çapraz bağı polı(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) kopolimeri elde edilmiştir. Bu kopolimerin karakterizasyonu için FTIR, katı-NMR ve elementel analiz yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmanın son aşamasında, elde edilen polı(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) kopolimeri, sulu çözeltilerden MB'yi adsorbe etmek amacıyla adsorban olarak kullanılmıştır. Araştırma, adsorpsiyon verimliliğı üzerinde etkisi olan çeşitli değışkenleri incelemiştir, bunlar arasında adsorban dozu, temas süresi, başlangıç MB konsantrasyonu ve çözelti pH'I bulunmaktadır. Optimal çalışma parametreleri, 0.1 g adsorban dozu, 500 mg/L başlangıç konsantrasyonu, 70 dakika temas süresi ve pH 7 olan bir çözelti olarak belirlenmiştir. Adsorpsiyon kapasitesi, 25°C'de 256.4 mg/g olarak ölçülmüştür. Kinetik veriler, deneysel olarak belirlenen değere yakın olan teorik adsorpsiyon kapasitesi ve en yüksek regresyon katsayısına sahip yalancı ikinci derece modeli ile en iyi şekilde açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Adsorpsiyon, ikinci dereceden kinetik model, kopolimer, metilen mavisi.

ABSTRACT

MS THESIS

SYNTHESIS OF POLY(N-(1-CYCLOHEXYTHYL)ACRYLAMITE-co-ETHYLENENGLYOLDIMETACRYLATE-co-STYRENE) AND INVESTIGATION OF THE ADSORPTION PROPERTIES OF METHYLENE BLUE FROM AQUEOUS SOLUTIONS

Mahmut SAYAR

**INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES OF BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE CHEMISTRY**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Mutlu CANPOLAT

2024, 46 Pages

Jury

Advisor: Asst. Prof. Dr. Mutlu CANPOLAT

Assoc. Prof. Dr. Reşit ÇAKMAK

Assoc. Prof. Dr. Orhan BAYTAR

This thesis investigates the synthesis and evaluation of a new polymeric adsorbent to adsorb methylene blue (MB) from aqueous solutions. In the first step of the study, N-(1-cyclohexylethyl)acrylamide (CEA) monomer was synthesised using S-(+)-1-cyclohexylethylamine and acryloyl chloride and the obtained CEA was characterised by FTIR, ¹H-NMR and ¹³C-NMR analysis. Then, crosslinked poly(CEA-co-Styrene-co-EGDMA) copolymer was obtained by radical polymerisation reaction using CEA monomer, ethylene glycol dimethacrylate (EGDMA) and styrene monomers. FTIR, solid-NMR and elemental analysis methods were used for the characterisation of this copolymer. In the final stage of the study, the obtained poly(CEA-co-Styrene-co-EGDMA) copolymer was used as adsorbent to adsorb MB from aqueous solutions. The research investigated several variables that have an effect on adsorption efficiency, including adsorbent dose, contact time, initial MB concentration and solution pH. The optimal operating parameters were determined as a solution with an adsorbent dose of 0.1 g, initial concentration of 500 mg/L, contact time of 70 min and pH 7. Adsorption capacity was measured as 256.4 mg/g at 25°C. The kinetic data were best explained by the theoretical adsorption capacity, which was close to the experimentally determined value, and the pseudo-second order model with the highest regression coefficient.

Keywords: Adsorption, Copolymer, methylene blue, second-order kinetic model.

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarımda büyük desteklerini esirgemeyen danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mutlu CANPOLAT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, ders dönemimde ve tez çalışmaları sürecinde yanımda olan Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Abdulkadir LEVENT'e, Fen Edebiyat Fakültesi Öğretim Üyeleri Prof. Dr. Tarık ARAL ve Dr. Öğr. Üyesi Murat SÜNKÜR, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Müdürü Doç. Dr. Yalçın ALTUNKAYNAK, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölüm Başkanı Doç. Dr. Fevzi YAŞAR ve tez savunmamda yer alan jüri üyelerine içtenlikle teşekkür ederim.

Ayrıca eğitim hayatım boyunca yanımda olan ve desteklerini hiç esirgemeyen sevgili eşime ve aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Mahmut SAYAR
BATMAN-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Polimerler Hakkında Genel Bilgiler	3
2.2. Metilen Mavisi ve Adsorpsiyon	9
3. MATERYAL VE METOTLAR	12
3.1. Materyal.....	12
3.1.1. Kullanılan kimyasal maddeler	12
3.1.3. Kullanılan cihazlar ve yapılan analizler.....	12
3.2. Metotlar	13
3.2.1. N-(1-sikloheksiletil)akrilamid (CEA) sentezi.....	13
3.2.2. Poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) sentezi.....	13
3.2.3. Metilen mavisi ile yapılan adsorpsiyon çalışmaları.....	14
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	15
4.1. Karakterizasyon Çalışmaları.....	15
4.2. Adsorpsiyon Çalışmaları ve Sonuçları.....	18
4.2.1. pH'ın adsorpsiyon üzerindeki etkisi.....	18
4.2.2. Adsorban dozunun etkisi	19
4.2.3. MB'nin başlangıç konsantrasyonunun poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) üzerindeki adsorpsiyonuna etkisi.....	20
4.2.4. Temas süresinin adsorpsiyona etkisi.....	21

4.2.5. Kinetik çalışmalar	22
4.3. Desorpsiyon Çalışmaları	26
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	27
5.1. Sonuçlar	27
5.2. Öneriler	27
KAYNAKLAR	28
ÖZGEÇMİŞ	33

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. 2-Dimetilaminoetilmetakrilat ile metakrilat monomerlerinin kopolimerizasyonunu gösteren sentez şeması	4
Şekil 2.2. 4-Klorofenilakrilat ve glisidilmetakrilat monomerlerinin kopolimerizasyonunu gösteren sentez şeması	5
Şekil 2.4. 4-Benzoilfenil metakrilat ile glisidil metakrilat monomerlerinin kopolimerizasyonunu gösteren sentez şeması	6
Şekil 2.5. (Benzofuran-2-il)metilketoksim-o-metakrilat ve stiren monomerlerinin kopolimerizasyonunu gösteren sentez şeması	6
Şekil 2.6. Poli(vinilnaftalin-co-metilmetakrilat) sentez şeması.....	7
Şekil 2.7. 2-Hidroksietilmetakrilat ile t-bütil akrilat monomerlerinin kopolimerizasyonunu gösteren sentez şeması	7
Şekil 2.8. Poli(hidroksietilmetakrilat-ko-N-metakriloil-ko-L-glutamikasit) sentez şeması.	7
Şekil 2.9. Poli(hidroksietilmetakrilat-co-metakrilamidhistidin) sentez şeması.....	8
Şekil 3.1. CEA bileşiğinin sentez reaksiyonu.....	13
Şekil 3.2. Çapraz Bağlı Poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) Sentezi.....	14
Şekil 4.1. CEA FTIR spektrumu	15
Şekil 4.2. CEA ¹ H-NMR spektrumu	16
Şekil 4.3. CEA ¹³ C-NMR spektrumu	16
Şekil 4.4. Poli(CEA- co-Styrene-co-EGDMA) FTIR spektrumu.....	17
Şekil 4.5. Poli(CEA- co-Styrene-co-EGDMA) kat-NMR spektrumu.....	18
Şekil 4.6. pH'ın MB'nin poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) üzerindeki adsorpsiyonu üzerindeki etkisi.....	19
Şekil 4.7. Dozajın MB'nin poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) üzerindeki adsorpsiyonu üzerindeki etkisi.....	20
Şekil 4.8. MB'nin başlangıç konsantrasyonun poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) üzerindeki adsorpsiyonuna etkisi.....	21
Şekil 4.9. Temas süresinin MB'nin poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) üzerindeki adsorpsiyonuna etkisi.....	22
Şekil 4.10. MB'nin poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) ile adsorpsiyonuna ilişkin PFO çizimi	23
Şekil 4.11. MB'nin poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) ile adsorpsiyonuna ilişkin PSO çizimi	24
Şekil 4.12. MB'nin poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) ile adsorpsiyonuna ilişkin Weber-Morris çizimi.....	24
Şekil 4.13. MB'nin poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) ile adsorpsiyonuna ilişkin Elovich çizimi	25

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 4.1. MB'nin poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) üzerinde adsorpsiyonu için kinetik parametreler	25
Tablo 4.2. MB giderimi amacıyla kullanılan çeşitli adsorbanların adsorpsiyon kapasitelerinin karşılaştırılması.	26
Tablo 4.3. Poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) ile MB desorpsiyon değerleri	26

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

q_e	Denge adsorpsiyon katsayısı (mg/g)
q_t	t anındaki adsorpsiyon katsayısı (mg/g)
δ	Kimyasal kayma (ppm)
$^{\circ}\text{C}$	Santigrad
C_e	Çözeltinin denge derişimi (mg/L)
C_i	Çözeltinin başlangıç derişimi (mg/L)
g	Gram
mg	Miligram
V	Çözelti hacmi (L)
t	Zaman (dk)
m	Adsorban kütlesi (g)
$\bar{\nu}_{\text{maks}}$	Maksimum dalga sayısı
k_1	PFO hız sabiti (1/dk)
k_2	PSO hız sabiti (g/mg dk)

Kısaltmalar

UV-Vis	Ultraviole-Görünür Alan Spektroskopisi
THF	Tetrahidrofuran
TEA	Trietilamin
PVAL	Polivinilalkol
EGDMA	Etilen Glikol Dimetakrilat
BPO	Benzoil peroksit
CEA	S-(+)-1-sikloheksilettilamin
^{13}C NMR	Karbon-13 nükleer manyetik rezonans
^1H NMR	Proton nükleer manyetik rezonans
PFO	Yalancı birinci derece
PSO	Yalancı ikinci derece
MB	Metilen mavisi
d	Dublet
CDCl_3	Döterokloroform
FT-IR	Fourier transform infrared

Hz	Hertz
MHz	Megahertz
m	Multiplet
s	Singlet
t	Triplet
NaOH	Sodyum hidroksit
HCl	Hidroklorik asit

1. GİRİŞ

Su, tüm yaşam formları için kritik bir öneme sahiptir, çünkü biyolojik süreçleri sürdürmek ve insan faaliyetlerini sürdürebilmek için temel bir kaynaktır. Su kirliliği, birçok ölüm ve salgın hastalığın temel nedenlerinden biri olarak kabul edilmektedir (Canpolat, 2023; Altunkaynak ve ark., 2023; Güleç ve ark., 2023). Tekstil endüstrisi, büyük miktarda su kullanımı nedeniyle çevre üzerinde önemli bir etkisi olan sektörlerden biridir. Özellikle dokuma ve boyama işlemleri sırasında ortaya çıkan atık sular, çeşitli boyaların yanı sıra farklı asidik, bazik ve toksik bileşikler içermektedir (El Qada ve ark., 2006; Bazin ve ark., 2012; Hessel ve ark., 2007). Bu atık suların suyun rengini değiştirme potansiyeli, boya maddelerinin atık sular içinde önemli bir sorun oluşturduğunu göstermektedir (Rafatullah ve ark., 2010). Tekstil endüstrisi yanında kağıt, boya, ilaç, yiyecek, içecek, kozmetik, plastik ve deri gibi sektörler de, aynı zamanda fotoğrafçılık, baskı ve yazım işleri gibi uygulamalarla renkli atık suların oluşmasına neden olmaktadır. Bu sektörlerin ürettiği boyalar, toksik ve çevresel birikim özellikleri ile çevresel sorunlara neden olan en tehlikeli kirleticilerden biri olarak öne çıkmaktadır (Bazin ve ark., 2012). Tahminlere göre dünya genelinde yılda 700,000 tonun üzerinde üretilen 100,000'den fazla ticari boya bulunmaktadır. Ancak, birçok boya türü insanlar, mikroorganizmalar ve sucul canlılar için karsinojenik, mutajenik, teratojenik ve toksik etkilere sahip olabilir. Bu istatistikler, boya kirliliğinin önemli bir sorun olduğunu ve bu kirleticilerin atık sulardan uzaklaştırılmasının kritik bir öneme sahip olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, çeşitli endüstrilerden kaynaklanan atık sular içindeki boya kirliliği, çevresel etkileri ve insan sağlığına olan potansiyel tehlikeler göz önüne alınarak ciddi bir şekilde ele alınmalıdır. Atık su yönetimi, atık suların arıtılması ve boyar maddelerin uzaklaştırılması için etkili yöntemlerin uygulanması, su kaynaklarının ve çevrenin korunması açısından hayati bir öneme sahiptir (Canpolat ve Topal, 2023; Fradj ve ark., 2014).

Boyar maddeler gibi organik su kirleticilerinin sulardan uzaklaştırılması için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar içerisinde adsorpsiyon, özellikle endüstriyel atık sularından ağır metallerin uzaklaştırılmasında pratik ve ekonomik bir seçenek olarak öne çıkmaktadır (Guiza, 2017; Azzam ve ark., 2016; Bhatti ve ark., 2009). Bu sebeple, farklı adsorbanlar kullanılarak atık sulardan boyar maddelerin temizlenmesi için adsorpsiyon yöntemi yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Polimerik adsorbanlar, özellikle atık sulardan boyar maddelerin seçici ve tekrar kullanılabilir bir şekilde uzaklaştırılmasında etkili materyaller olarak öne çıkarlar. Bu polimerler, azot, oksijen

veya kükürt içeren fonksiyonel gruplara sahip monomerlerden oluşmaktadır (Thamizharasi ve ark., 2003; Martinez ve ark., 2000). Bu özellikleri sayesinde polimerler, boyar maddeleri adsorbe etme konusunda yüksek etkinlik ve seçicilik gösterirler. Örneğin, boyar maddeleri bağlama kapasiteleri açısından seçici ve yüksek performanslı olan akrilamit türevleri içeren poliakrilamit kopolimerleri öne çıkmaktadır.

Bu araştırmada sentezlenen çapraz bağlı poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) kopolimerinin MB'yi sulu çözeltilerden uzaklaştırma potansiyeli incelenmiştir. Adsorban ile kirletici arasındaki etkileşim yanında, adsorbanın yüzey alanı, sıcaklık, parçacık boyutu, çözeltinin pH'ı ve temas süresi gibi faktörler de adsorpsiyon sürecini etkiler. Adsorpsiyon çalışmasında, farklı pH'larda çözelti kullanılarak en etkili adsorpsiyon verimini sağlayan uygun pH seviyesi belirlenmiştir. Daha sonra, MB'nin başlangıç konsantrasyonunun adsorpsiyon üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla belirlenen pH değerlerinde farklı derişimlerdeki MB çözeltileri kullanılarak en yüksek adsorpsiyonun gerçekleştiği başlangıç konsantrasyonu belirlenmiştir. MB'nin adsorban ile etkileşiminin zamanla nasıl değiştiğini anlamak için farklı zamanlarda alınan numunelerdeki MB konsantrasyonları belirlenmiş ve bu veriler Yalancı birinci derece (PFO), Yalancı ikinci derece (PSO) Weber-Morris ve Elovich modellerine göre analiz edilmiştir. Sonuç olarak, adsorpsiyon kinetiğinin hangi modele uyduğu belirlenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Polimerler Hakkında Genel Bilgiler

Polimerler, bir veya daha fazla sayıda küçük, basit molekülün kimyasal bağlarla birleşerek uzun zincirler oluşturmaları sürecine denir. Bu sürece polimerleşme adı verilir. Polimerlerdeki kimyasal yapı, molekül içinde sürekli olarak tekrarlanır. Polimerler, moleküler mimarilerine, fiziksel yapılarına, oluşum şekillerine ve molekül yapılarına göre sınıflandırılabilirler (Saçak, 2004; Saçak, 2008; Kesim, 2002; Kurt, 2008).

Moleküler mimarilere göre polimerler; dallanmış, doğrusal ve çapraz bağlı polimerler olarak sınıflandırılır. Doğrusal polimerlerde zincirler birbirine bağlı değilken, dallanmış polimerlerde kısa zincirler ana zinceye bağlıdır. Çapraz bağlı polimerlerde ise zincirler küçük moleküllerle birbirine bağlanmıştır (Seven 2006; Işıkver, 2005).

Fiziksel yapılarına göre; kristalin, amorf ve yarı-kristalin olabilirler. Amorf polimerlerde zincirler düzensiz bir şekilde bulunurken, kristalin polimerlerde zincirler belirli bir düzen içinde paketlenmiştir. Yarı-kristalin polimerler ise amorf ve kristalin yapıların bir karışımını gösterir (Kesim, 2002; Kurt, 2008).

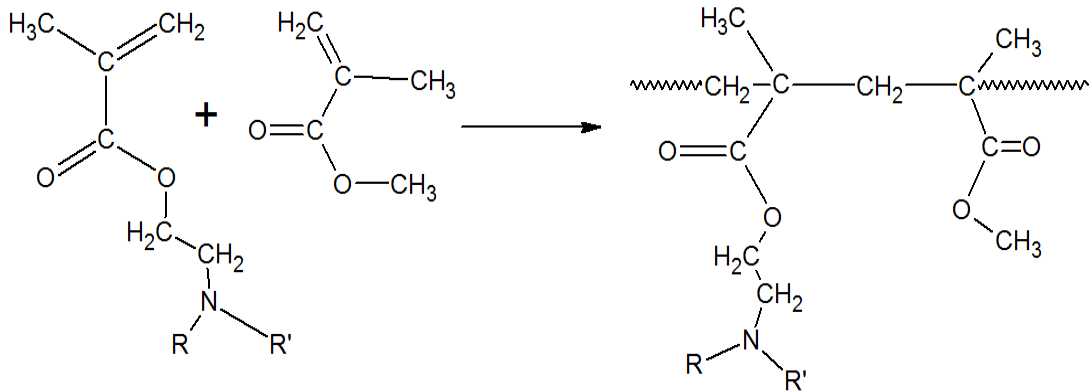
Oluşum şekillerine göre polimerler, kondensasyon ve katılma polimerizasyonu olmak üzere ikiye ayrılır. Kondensasyon polimerizasyonunda monomerler küçük moleküller çıkararak birleşirken, katılma polimerizasyonunda monomer birimleri aktif merkezle birleşerek polimer zincirlerini oluştururlar (Kurt, 2008).

Molekül yapılarına göre polimerler, homopolimerler ve kopolimerler olmak üzere ikiye ayrılır. Homopolimerler, tek bir tip yinelenen birimden oluşurken, kopolimerlerde zincirlerinde iki veya daha fazla farklı tip monomer bulunabilir. Bu polimerlerde bir zincirde birden fazla monomer birimi bulunur. Kopolimerlerin çeşitli tipleri vardır: blok kopolimerler, aşırı kopolimerler, ardışık kopolimerler ve rastgele kopolimerler. Her bir tür, farklı monomer yapılarının polimer zincirindeki düzenlenme şeklini ifade eder. Kopolimerler, polimerlerin özelliklerini çeşitlendirerek, elastikiyet, dayanıklılık, ısı direnci gibi özellikleri artırabilirler. Bu nedenle, endüstriyel ve bilimsel alanlarda geniş bir kullanım alanına sahiptirler.

Kopolimerlerin adsorpsiyon özellikleri, kullanılan monomerlerin kimyasal yapısına, kopolimerizasyon yöntemine ve son polimerin özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Usha ve ark., 1993; Wu ve ark., 2003). Bu bağlamda, kopolimerler çeşitli kimyasal grupları içerirler ve bu gruplar, polimerin adsorpsiyon özelliklerini

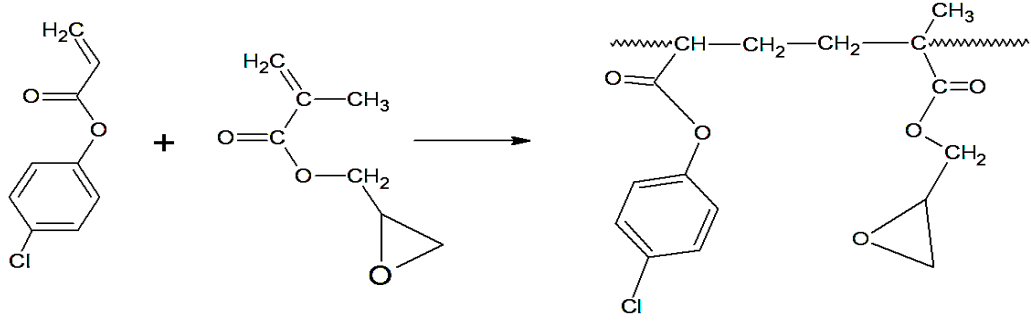
önemli ölçüde etkiler. Örneğin, polimerlerin yapısında bulunan amid grupları (CONH), amin grupları (NH₂), karboksil grupları (COOH), aromatik halkalar ve hidrojen bağları gibi kimyasal gruplar, adsorpsiyon davranışını etkileyen kritik faktörlerdir. Amid grupları polar bir yapıya sahip olduğundan, su ile etkileşime girerek polar bileşiklerin adsorpsiyonunu kolaylaştırabilirler. Amin grupları ise yüzey yükünü değiştirerek iyonların adsorpsiyonunu etkileyebilirler. Karboksil grupları, iyon değişim reaksiyonlarına katılarak yüzey yükünü etkileyebilirler. Aromatik halkalar, hidrofobik etkileşimlere yol açarak hidrofobik moleküllerin adsorpsiyonunu kolaylaştırabilirler. Hidrojen bağları ise su ve diğer polar moleküllerle güçlü hidrojen bağları oluşturarak adsorpsiyonu etkileyebilirler. Bu nedenle, polimerlerin yapısında bulunan bu gruplar, adsorpsiyon özelliklerini belirleyen önemli faktörlerdir ve bu grupların çeşitliliği adsorpsiyon kapasitesini önemli ölçüde artırabilir (Canpolat ve Topal, 2023).

Camail ve ark. (1995), 2-dimetilaminoetilmetakrilat monomeri ile metakrilat monomerini farklı oranlarda etkileyerek düşük ve yüksek dönüşümlü polimerler sentezlemişlerdir. Bu sentezlerin ardından monomer reaktivite oranları hesaplamışlardır.



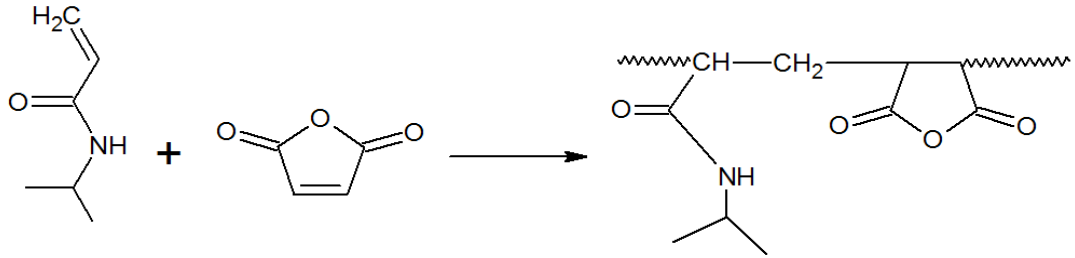
Şekil 2.1. 2-Dimetilaminoetilmetakrilat ile metakrilat monomerlerinin kopolimerizasyonunu gösteren sentez şeması

Vijayaraghavan ve ark. (1999), 4-klorofenilakrilat ve glisidilmetakrilat monomerlerini bir araya getirerek 4-klorofenilakrilat-co-glisidilmetakrilat kopolimerini sentezlemişlerdir. Ardından, çeşitli analiz yöntemleri kullanarak monomerlerin reaktivite oranlarını belirlemişlerdir.



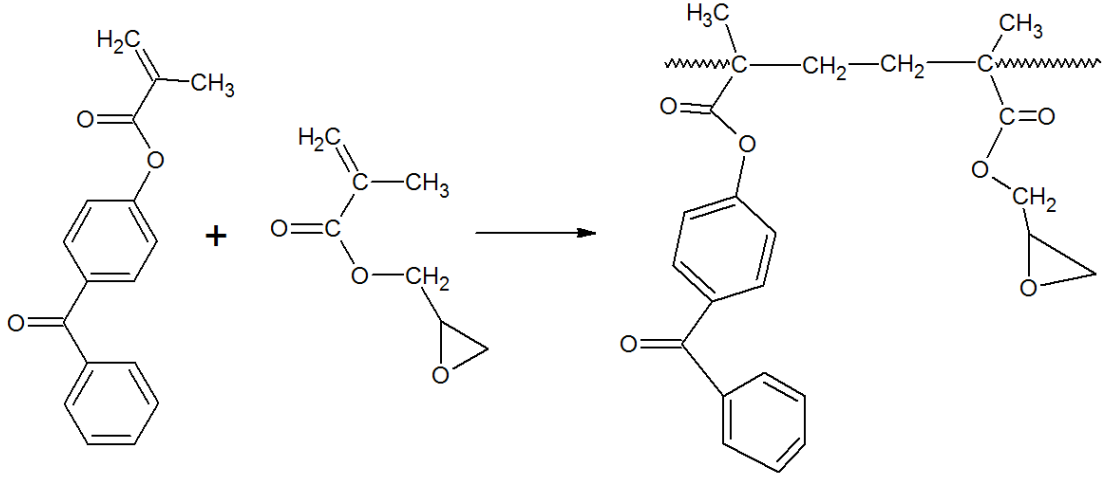
Şekil 2.2. 4-Klorofenilakrilat ve glisidilmetakrilat monomerlerinin kopolimerizasyonunu gösteren sentez şeması

Kesim (2002), poli(N-izopropilakrilamit-ko-maleikanhidrit) polimeri sentezleyerek FT-IR, ^{13}C -NMR ve ^1H -NMR gibi çeşitli karakterizasyon yöntemleriyle yapısı karakterize etmişlerdir. Daha sonra, kopolimer içeriğinin monomer oranları elementel analiz kullanılarak belirlemişler ve çalışmanın son aşamasında, kopolimere polietilenglikol bağlamışlar ve FT-IR ile ^1H -NMR analizleri yapılarak bağlanmanın gerçekleştiği doğrulamışlardır.



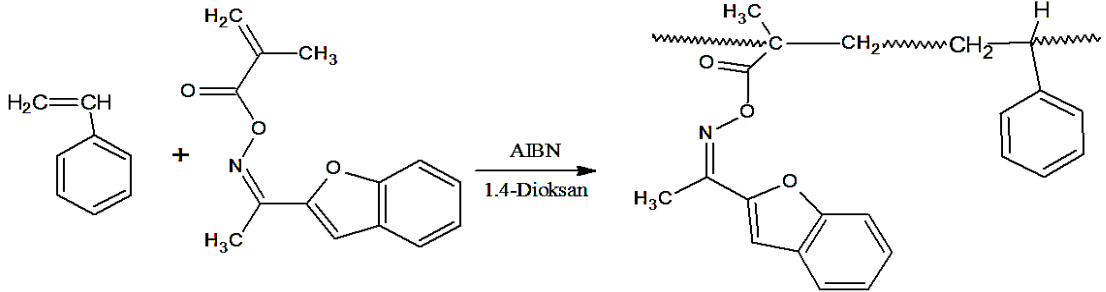
Şekil 2.3. Poli(N-izopropilakrilamit-ko-maleikanhidrit) sentez şeması

Nanjundan ve ark. (2005), 4-benzoilfenilmetakrilat bileşiğinin hem homopolimeri hem de glisidilmetakrilat ile kopolimeri sentezlemişlerdir. Elde edilen polimerlerin yapıları çeşitli spektral yöntemlerle karakterize ederek sentezlenen polimerlerin termal özellikleri üzerinde incelemeler yapmışlardır.



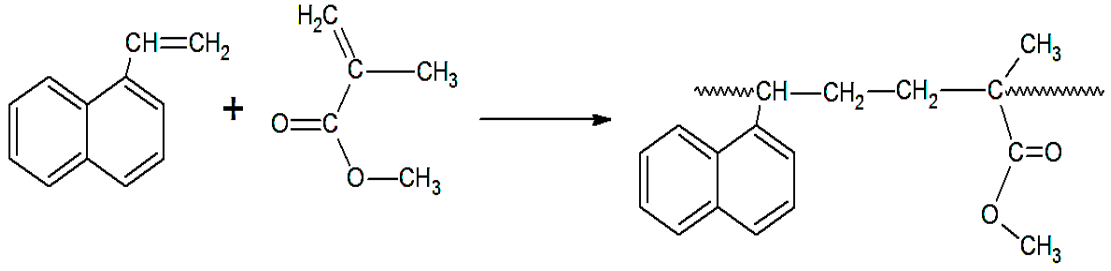
Şekil 2.4. 4-Benzoilfenil metakrilat ile glisidil metakrilat monomerlerinin kopolimerizasyonunu gösteren sentez şeması

Barutçu ve ark. (2012), (Benzofuran-2-il)metilketoksim-o-metakrilat monomerini ve bu bileşiğin stiren ile kopolimerini başarılı bir şekilde sentezlemişlerdir. Elde edilen monomer ve kopolimerin yapısal özellikleri, FT-IR, ^1H -NMR ve ^{13}C -NMR spektroskopik teknikler kullanılarak detaylı bir şekilde karakterize etmişlerdir.



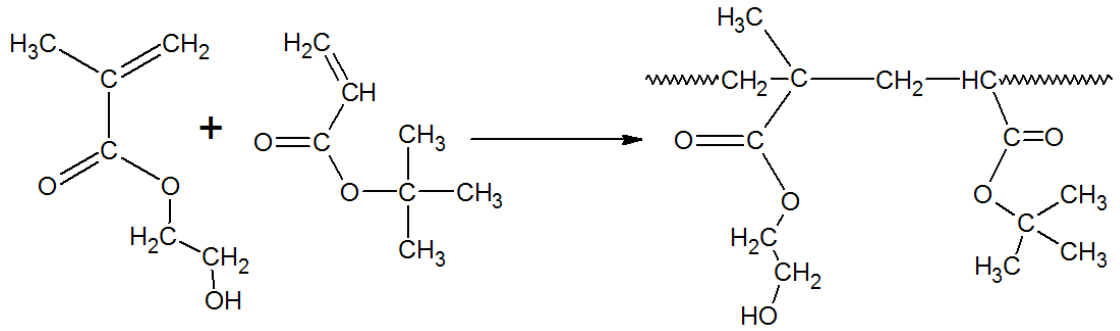
Şekil 2.5. (Benzofuran-2-il)metilketoksim-o-metakrilat ve stiren monomerlerinin kopolimerizasyonunu gösteren sentez şeması

Braun ve ark. (1989), 1-vinilnaftalinin metilmetakrilat ile kopolimerini başarıyla sentezlemişler ve elde edilen kopolimerlerin yapılarını ^1H -NMR ve ^{13}C -NMR spektroskopik tekniklerle karakterize etmişlerdir.



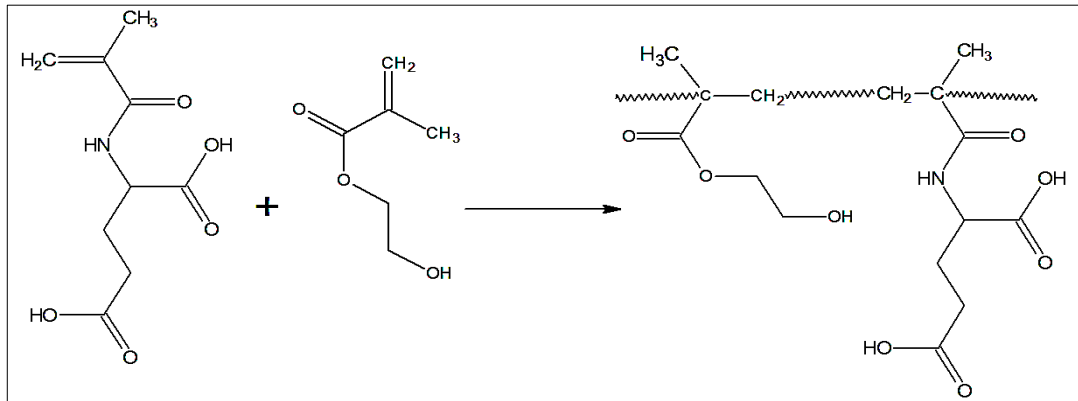
Şekil 2.6. Poli(vinilnaftalin-co-metilmetakrilat) sentez şeması

Martinez ve ark. (2000), 2-hidroksietilmetakrilat ve t-bütilakrilat monomerlerinin etkileşimini kullanarak başarılı bir şekilde 2-hidroksietilmetakrilat-ko-t-bütilakrilat kopolimeri sentezlemişlerdir. Daha sonra, çeşitli analiz yöntemleri kullanılarak monomer reaktivite oranlarını hesaplamışlardır.



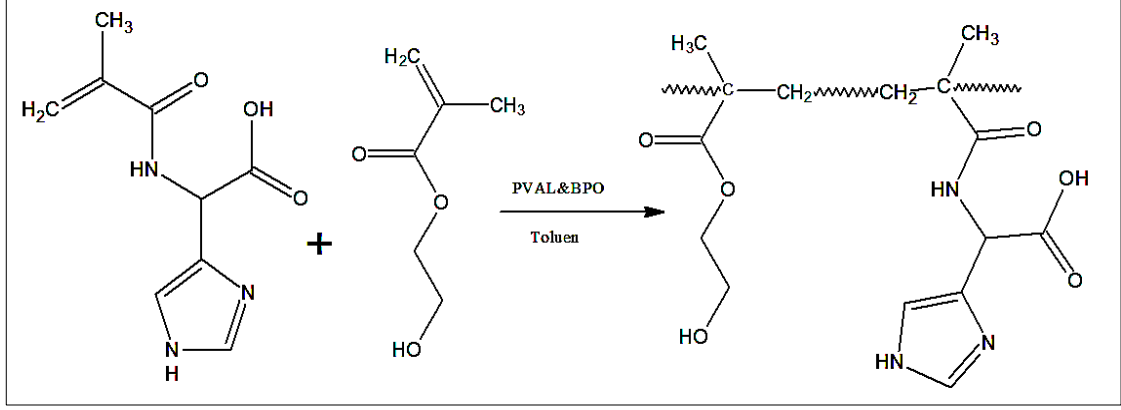
Şekil 2.7. 2-Hidroksietilmetakrilat ile t-bütil akrilat monomerlerinin kopolimerizasyonunu gösteren sentez şeması

Denizli ve ark. (2005), N-metakriloil-L-glutamik asit ile hidroksietilmetakrilat monomerlerini ve bunları içeren kopolimeri başarıyla sentezlemişler ve karakterize etmişlerdir. Sonrasında, bu sentezlenen kopolimer, Pb(II) iyonlarının sulu çözeltilerden uzaklaştırılmasında kullanmışlardır.



Şekil 2.8. Poli(hidroksietilmetakrilat-ko-N-metakriloil-ko-L-glutamikasit) sentez şeması.

Say ve ark. (2002), hidroksietil metakrilat ile metakrilamidhistidin monomerlerini ve bunları içeren kopolimeri başarılı bir şekilde sentezlemişler ve karakterize etmişlerdir. Sonrasında, bu sentezlenen kopolimer, Cu(II) iyonlarının sulu çözeltilerden uzaklaştırılmasında kullanmışlardır. Adsorplanan Cu(II) iyonu miktarının 122.7 mg olduğunu belirlemişlerdir.



Şekil 2.9. Poli(hidroksietilmetakrilat-co-metakrilamidhistidin) sentez şeması.

Erol (2002), 1,3-trisüstitüesiklobütanketoetil metakrilat, 1,2,3,4-tetrahidronaftalen monomerlerini ve bunları içeren kopolimerleri başarıyla sentezlemiştir. Elde edilen monomer ve kopolimerlerin yapıları, ^1H -NMR ve ^{13}C -NMR gibi spektroskopik teknikler kullanılarak detaylı bir şekilde karakterize etmiştir. Ayrıca, kopolimer bileşimleri elementel analiz yöntemiyle belirleyerek ve monomer reaktivite oranları Kelen-Tüdos ve Finemann-Ross metodları kullanılarak hesaplamıştır.

Soykan ve Erol (2003), Stiren, 2-[(5-metil-1,3-oksazol-3-il)amino]-2-oksoetilmetakrilat ve metilmetakrilat monomerlerini farklı oranlarda içeren kopolimerler başarıyla sentezlemişlerdir. Elde edilen kopolimerlerin yapıları ve bileşimleri element analizi ve ^1H -NMR spektroskopisiyle belirleyerek kopolimerlerin termal özellikleri TGA-DTA ve DSC yöntemleri kullanılarak değerlendirmişlerdir. Kopolimerlerin monomer reaktivite oranları da Finemann-Ross ve Kelen-Tüdos metodlarıyla hesaplamışlardır.

Patel ve ark. (2004), 8-kinolinilmetakrilat ile 2,4-diklorfenilmetakrilat'ın kopolimerini başarılı bir şekilde sentezlemişlerdir. Elde edilen kopolimerin bileşimi UV-spektroskopisi kullanılarak belirlemişler ve molekül ağırlığı GPC (Jel Geçirgenlik Kromatografisi) yöntemiyle tespit etmişlerdir. Ayrıca, kopolimerin termal ve antimikrobiyal özelliklerini araştırmışlardır.

2.2. Metilen Mavisi ve Adsorpsiyon

Metilen mavisi, endüstriyel süreçlerde özellikle tekstil ve deri üretiminde kullanılan bir organik boyar maddedir. Bu kimyasal madde, atık sulardan kaynaklanan su kirliliğinde önemli bir rol oynar. Metilen mavisi gibi organik boyar maddeler, sucul ekosistemlere karışımlarında çeşitli çevresel ve sağlık riskleri oluşturabilirler. Bu tür boyar maddelerin su sistemlerine salınması, sucul organizmalar için toksik etkilere neden olabilir ve su ekosistemlerinin dengesini bozabilir (Oladoye ve ark., 2022; Moorthy ve ark., 2021). Ayrıca, metilen mavisi içeren suyun insanlar tarafından tüketilmesi de sağlık sorunlarına yol açabilir. Bu nedenle, su kirliliğini azaltmak ve su kaynaklarını korumak için etkili önlemler alınmalıdır. Endüstriyel tesislerde atık su arıtma sistemlerinin etkinliğinin artırılması, çevresel düzenlemelerin sıkılaştırılması ve sürdürülebilir üretim uygulamalarının teşvik edilmesi gibi adımlar, metilen mavisi gibi organik boyar maddelerin su kirliliğine olan etkilerini azaltmaya yardımcı olabilir. Bu süreçte, adsorpsiyon gibi su arıtma teknikleri de organik boyar maddelerin uzaklaştırılmasında etkili bir rol oynayabilir (Dardouri ve Sghaier, 2017).

Adsorpsiyon, bir maddenin (adsorbat) başka bir yüzeye veya maddenin (adsorban) yüzeyine tutunması fenomenidir. Bu süreç, adsorbat moleküllerinin adsorban yüzeyindeki çeşitli etkileşimler sonucunda sabitlenmesiyle gerçekleşir. Adsorbatın adsorban yüzeyine tutunması genellikle çekim kuvvetleriyle sağlanır ve kimyasal bir reaksiyon gerektirmez (Zhang ve ark., 2023; Khan ve ark., 2018; Pan ve ark., 2017). Adsorpsiyon, katı-sıvı, katı-gaz veya sıvı-gaz arayüzlerinde gerçekleşebilir. Adsorpsiyon, birçok endüstriyel uygulama ve çevre sorunlarına çözüm arayışında önemli bir rol oynamaktadır. Metilen mavisi gibi organik boyar maddelerin su kirliliğini azaltmak için adsorpsiyon, etkili bir arıtma yöntemi olarak kullanılabilir. Bu süreç, kirlleticilerin su ortamından uzaklaştırılmasına ve suyun temizlenmesine yardımcı olur. Polimerik adsorbanlar, metilen mavisi gibi organik boyar maddeleri sudan uzaklaştırmak için etkili bir seçenek olabilir. Polimerik adsorbanlar, yüksek yüzey alanına sahip olmaları ve kirleticileri adsorbe etme yetenekleriyle bilinirler. Bu adsorbanlar, suyun içindeki metilen mavisi gibi organik boyar maddeleri emerek veya yüzeylerine tutarak sudan uzaklaştırabilirler.

Hamed ve ark. (2007), Malezya'da bol miktarda bulunan ve ucuz bir doğal kaynak olan bambunun, potasyum hidroksit (KOH) ve karbon dioksit (CO₂) ile fizikokimyasal aktivasyonla aktif karbon hazırlamışlar. Hazırladıkları bu aktif karbon üzerinde metilen

mavisi (MB) adsorpsiyon izotermi belirlenmiş ve yaygın izotermlerle ilişkilendirmişlerdir. Aktif karbon üzerinde metilen mavisi için denge verileri, maksimum tek katman adsorpsiyon kapasitesi olan 454.2 mg/g değeri ile Langmuir denkleminin iyi uyum sağladığını bulmuşlardır.

Demir ve ark. (2008), doğal *Luffa cylindrica* liflerinin adsorban olarak kullanılmasıyla, metilen mavisi boyasının sulu çözeltilerinden farklı sıcaklıklarda ve boyar madde konsantrasyonlarında uzaklaştırılmasını araştırmışlardır. Adsorpsiyonun termodinamiği ve kinetiği de inceleyerek adsorpsiyon izotermi Freundlich modeli yerine Langmuir modeli ile daha iyi tanımlanabildiğini belirlemişlerdir. Metilen mavisi (MB) adsorpsiyonunun termodinamik parametreleri, adsorpsiyonun eksotermik ve spontan olduğunu göstermişlerdir. Ortalama MB adsorpsiyon kapasitesi 49 mg/g olarak belirlenmiş ve liflerin ortalama BET yüzey alanı 123 m²/g olarak hesaplanmışlardır.

Bulut ve Aydın (2006), buğday kabuklarının (WHS) metilen mavisi adlı boyanın sulu çözeltilerinden uzaklaştırılmasındaki etkinliği incelemişlerdir. Adsorpsiyon işlemi 60 dakikada dengeye ulaştığını ve Langmuir izoterminin daha iyi uyum sağladığını belirlemişlerdir. Yalancı-ikinci derece reaksiyon modeli adsorpsiyon kinetiğini en iyi tanımlayan model olduğunu ve maksimum adsorpsiyon kapasitelerinin, çeşitli sıcaklıklarda (303, 313 ve 323 K) sırasıyla 16.6, 20.8 ve 21.5 mg/g olarak hesaplanmışlardır.

Hameed ve ark. (2008), Malezya'da bol miktarda bulunan muz sapı atığı (BSW) ile sulu çözeltilerden bazik boyanın tutunması incelenmiştir. Denge verileri, Langmuir izoterminin modeli ile en iyi şekilde temsil edildiğini ve maksimum tek katman adsorpsiyon kapasitesi 243.90 mg/g olarak belirlenmişlerdir. Adsorpsiyon kinetiği, yalancı-ikinci derece modeli ile en iyi şekilde tanımlandığını belirlemişlerdir.

Vilar ve ark. (2007), agar ekstraksiyonu işleminden elde edilen algal endüstriyel atık, *Gelidium* algı ve poliakrilonitril (PAN) ile immobilizasyonu yapılan bir kompozit malzeme biyosorbent olarak kullanmışlardır. Biyosorbent partiküllerinin fiziksel özellikleri belirlenmiş ve metilen mavisi modeli kullanılarak boyaların uzaklaştırılması için etkinlikleri değerlendirmişlerdir. Denge izotermi Langmuir denklemi ile iyi bir şekilde tanımlanmış ve en yüksek alım kapasiteleri sırasıyla 171, 104 ve 74 mg/g olarak bulmuşlardır.

Hajjaji ve ark. (2006), doğal kil örneğinden izole edilen lifli kil mineralleri ile sulu çözeltilerden metilen mavisi tutulmasının kinetik ve denge süreçleri incelemişlerdir. Sonuçlar, MB tutulumunun yalancı-birinci derece denkleminin uyduğunu ve sürecin

difüzyon kontrollü katı-hal reaksiyonu olduğunu belirlemişlerdir. Langmuir denklemi, izoterm verilerine uyum sağladığını adsorpsiyon katsayısının (q_e) 85 mg/g olduğunu bulmuşlardır.

Ghosh ve Bhattacharyya (2002), yerel bir yataktan elde edilen kaolin üzerine metilen mavisi adsorbe etmişlerdir. Ham kaolinin adsorpsiyon kapasitesinin NaOH çözeltisi ile işlem görmesi ile arttığını belirlemişlerdir. Kaolinin kalsinasyonu adsorpsiyon kapasitesini azalttığını, adsorpsiyon verilerinin Freundlich ve Langmuir denklemleri ile uyumlu olduğunu ve maksimum adsorpsiyon kapasitesinin ise (q_e) 20.5 mg/g olduğunu bulmuşlardır.

3. MATERYAL VE METOTLAR

3.1. Materyal

3.1.1. Kullanılan kimyasal maddeler

Hedef bileşiklerin sentezi çalışmalarında kullanılan kimyasallar analitik saflığa sahip olup ek bir saflaştırma işlemi yapılmadan kullanılmıştır. Bu kimyasallar, bu alanda faaliyet gösteren ticari firmaların Türkiye temsilcilerinden tedarik edilmiştir. Monomer ve kopolimerin sentezinde; akrilol klorür (549797:Sigma-Aldrich), S-(+)-1-sikloheksiletılamin (726796:Sigma-Aldrich), polivinilalkol (341584:Merck), tetrahidrofuran (34865:Sigma-Aldrich), sodyum hidroksit (221465:Sigma-Aldrich), hidroklorik asit (320331: Sigma-Aldrich), trietilamin (8.08352:Sigma-Aldrich), metanol (1.06007:Merck), etanol (920.026:İsolab), tolüen (5.89578:Merck), benzoil peroksit (8.01641:Sigma-Aldrich), etilen glikol dimetakrilat (335681:Sigma-Aldrich), stiren (240869:Sigma-Aldrich), metilen mavisi (1428008: Sigma-Aldrich) kullanılmıştır.

3.1.3. Kullanılan cihazlar ve yapılan analizler

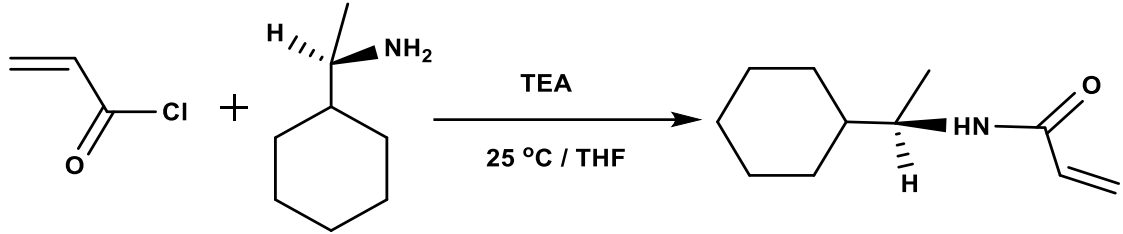
Monomer ve kopolimerin sentez ve karakterizasyon çalışmalarında aşağıdaki cihazlar kullanılmıştır.

1. ^1H -NMR ve ^{13}C -NMR Spektrofotometresi (Bruker AV-400) Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
2. FTIR Spektrofotometre (Perkin-Elmer Precisely Spectrum One), Dicle Üniversitesi
3. Katı-NMR Spektrofotometre (Bruker Superconducting FT.NMR Spectrometer Avance TM 300MHz WB) ODTÜ Merkez Laboratuvarı
6. UV-Vis Spektroskopisi (Shimadzu-1900 modeli), Elementel analiz (CHNS-O Analyzer), pH Metre (Thermo Scientific), Su Banyosu (WiseBath), Hassas Terazi (KERN ABT 220-5DM), Evaporatör (Heidolph Laborato 4001 Efficient), Magnetik Karıştırıcı (IKA C-Mag HS-7), Erime noktası tayin cihazı (Barnstead Electrothermal 9100), Etüv (Protherm), Çalkalayıcı, Batman Üniversitesi

3.2. Metotlar

3.2.1. N-(1-sikloheksiletil)akrilamid (CEA) sentezi

CEA'nın sentezi için şu deneysel prosedür uygulanmıştır: 0.01 mol akriloyl klorür ve 0.01 mol S-(+)-1-sikloheksiletilamin, 75 mL tetrahidrofuran (THF) içinde çözüldü ve buna 0.01 mol trietilamin (TEA) eklenerek karışım, oda sıcaklığında 36 saat boyunca manyetik karıştırıcıda karıştırıldı. Kimyasal reaksiyon süresinin sonunda oluşan tuz çöktürüldü, ardından süzünüye saf su ilave edilerek akrilamid maddesi çöktürüldü. Oluşan beyaz katı çökelti daha sonra süzülerek etanol içinde kristalleştirildi (Şekil 3.1).



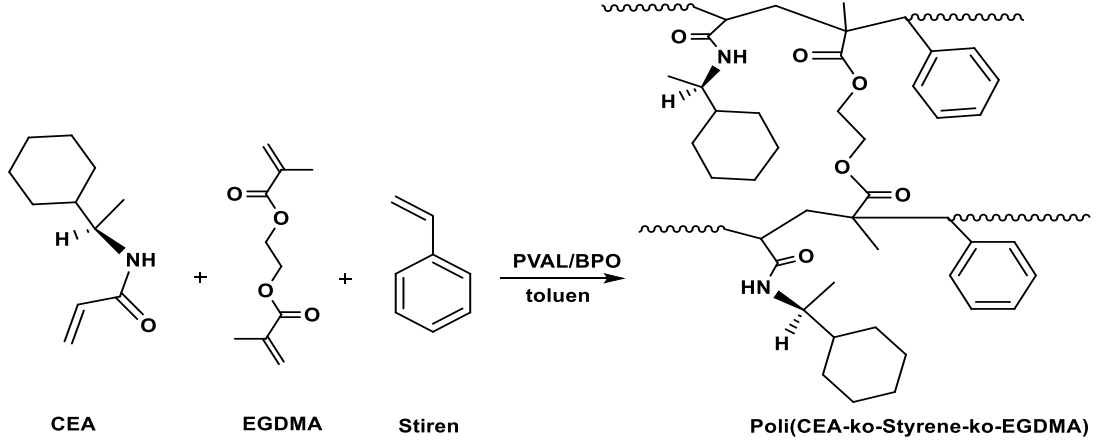
Şekil 3.1. CEA bileşiğinin sentez reaksiyonu

3.2.2. Poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) sentezi

3 mL stiren, 4 mL EGDMA ve 0.6 g CEA, 25 mL toluen içerisinde iki boyunlu bir balona konularak manyetik karıştırıcıda yarım saat süresince homojenleştirildi. Ardından sisteme N₂ gazı gönderildi ve polimerizasyon başlatıcısı olarak 50 mg benzoilperoksit (BPO) ilave edildi. Daha sonra bir beher içerisine yaklaşık 50 mg polivinil alkol (PVAL) alınarak, 25 mL deiyonize su içinde çözüldü ve bu çözelti ana karışıma katıldı. Daha sonrasında manyetik karıştırıcıya kontak termometre takılarak, yağ banyosunda 60 °C'de 6 saat süreyle ve 90 °C'de 3 saat süreyle karıştırılarak polimerizasyon işlemi tamamlandı (Denizli ve ark., 2005; Garipcan ve ark., 2002) (Şekil 3.2).

Karışımın ardından polimerizasyon işlemi oda sıcaklığına getirildi. Elde edilen kopolimer ilk aşamada vakum altında süzüldü. Daha sonra filtrelenen kopolimer bir behere aktarıldı ve etil alkol ile oda sıcaklığında 1 saat süreyle karıştırıldı. Ardından tekrar süzülerek, birkaç defa etil alkol ve birkaç defa deiyonize su ile yıkanarak saflaştırıldı.

Saflaştırılan çapraz bağlı poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) kopolimeri tromptan süzüldü ve vakumlu etüvde 80 °C'de 25 saat kurumaya bırakıldı.



Şekil 3.2. Çapraz Bağlı Poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) Sentezi

3.2.3. Metilen mavisi ile yapılan adsorpsiyon çalışmaları

İlk olarak, sentezlenen çapraz bağlı kopolimer ile sulu çözeltiden metilen mavisinin adsorpsiyonuna yönelik deneyler için 1000 mg L⁻¹ (ppm) konsantrasyonunda stok çözelti hazırlandı. Bu stok çözelti daha sonra farklı derişimlere seyreltilerek, ileriki deneylerde kullanılmak üzere hazırlandı.

Hazırlanışı: 1000 mg/L (ppm) metilen mavisi çözeltisi hazırlamak için, 1 g metilen mavisi bir miktar distile suda çözüldükten sonra distile su ile hacim 1 litreye tamamlandı.

Adsorpsiyon deneyleri 25 °C sıcaklıkta ve 120 dakikaya kadar karıştırma süresinde gerçekleştirildi. Tüm deneylerde, belirli konsantrasyonlarda 50 ml MB çözeltisi içeren kapaklı konik bir şişeye 0.1 g adsorban eklenmiştir. Daha sonra şişeler, sıcaklık ve zaman kontrollü bir çalkalayıcıda çalkalandı. Dengeleme süresinin ardından karışım santrifüjlendi. Geriye kalan adsorbe edilmemiş MB konsantrasyonu UV-Vis Spektroskopisi kullanılarak belirlendi.

Adsorban üzerine bağlanan MB miktarı, denklem 3.1 kullanılarak hesaplandı (Chen ve ark., 2015).

$$q_e = \frac{C_0 - C_t}{m} V \quad (3.1)$$

q_e (mg.g⁻¹), dengede adsorbanın kütle birimi başına uzaklaştırılan MB miktarını ifade eder. C_i ve C_e (mg.L⁻¹), sırasıyla MB'nin başlangıç ve denge konsantrasyonlarıdır. V (L) çözelti hacmini, m (g) ise adsorban kütlesini temsil eder.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

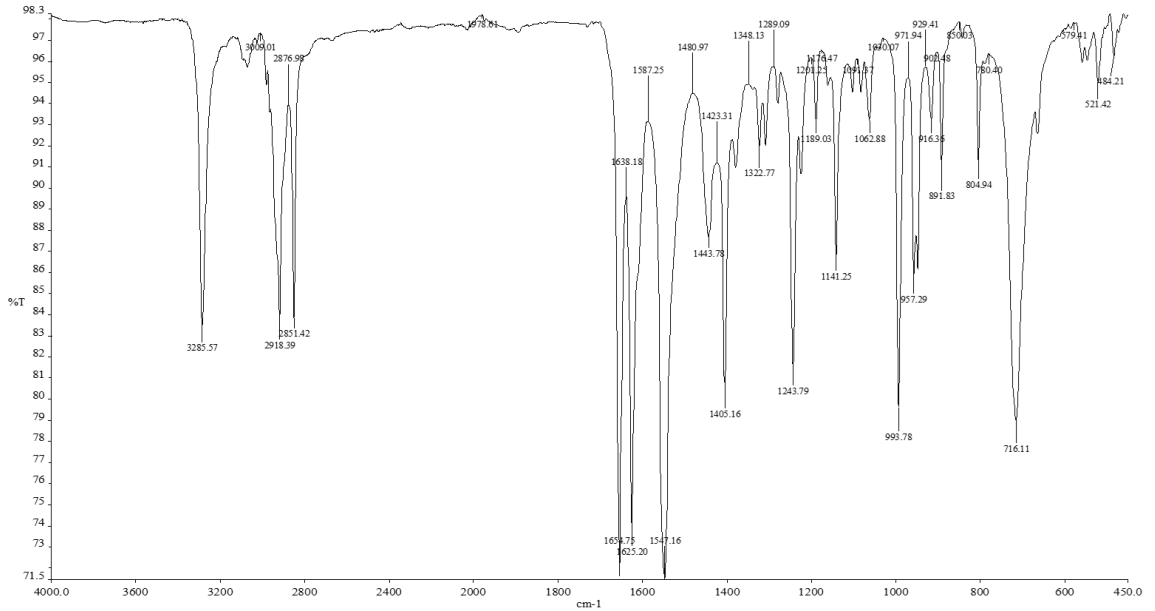
4.1. Karakterizasyon Çalışmaları

CEA monomerinin IR spektrumu analizi sonucunda, -NH gerilme bandının 3285 cm^{-1} , vinilik =CH gerilme bandının 3009 cm^{-1} , -C=O gerilme bandının 1654 cm^{-1} ve $\text{H}_2\text{C}=\text{C}$ gerilme titreşim bandının 1625 cm^{-1} 'de gözlemlendiği belirlenmiştir (Şekil 4.1). Bu pikler, CEA monomerinin karakteristik titreşim bantları olarak tanımlanmaktadır.

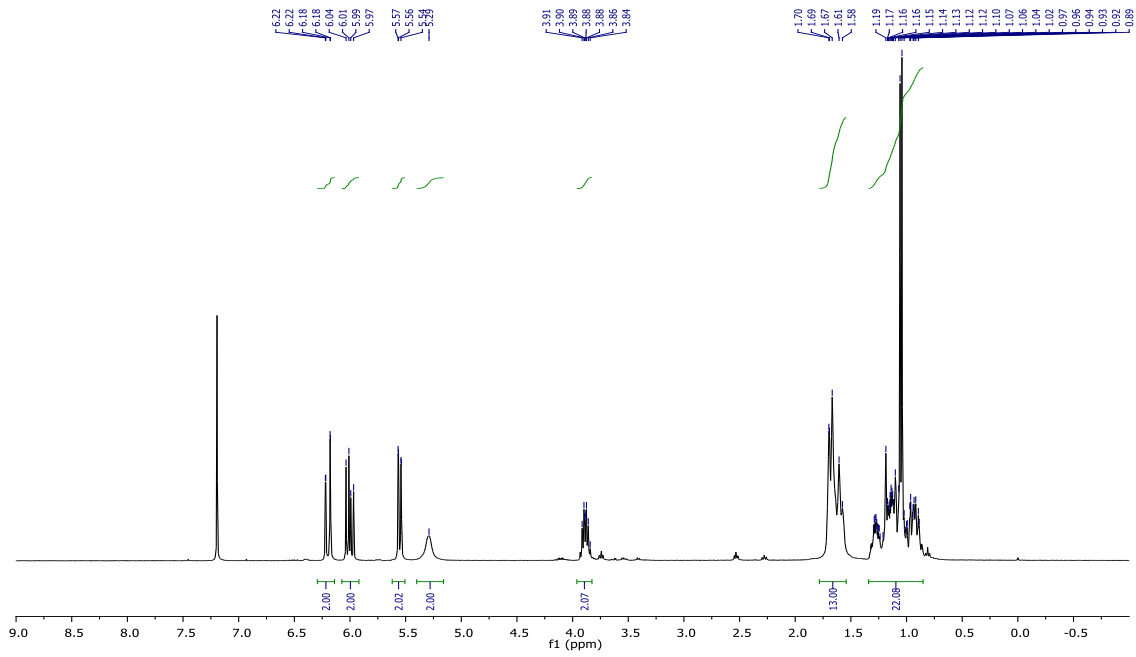
CEA monomerinin sentezi, ^1H -NMR ve ^{13}C -NMR spektroskopileri kullanılarak belirlenmiştir. Şekil 4.2'de yer alan ^1H -NMR spektrumu ve Şekil 4.3'te görülen ^{13}C -NMR spektrumu, CEA'nın yapısını destekleyen nitelikte sonuçlar sunmaktadır. Bu analizler, CEA monomerinin moleküler yapısının ayrıntılı bir şekilde anlaşılmasına ve sentezin doğrulanmasına katkı sağlamaktadır.

^1H -NMR (CDCl_3): δ 0.89-1.7 m (14H), 3.84-3.94 m (1H), 5.54-5.57 m (1H), 5.97-6.04 m (1H), 6.18-6.22 m (1H)

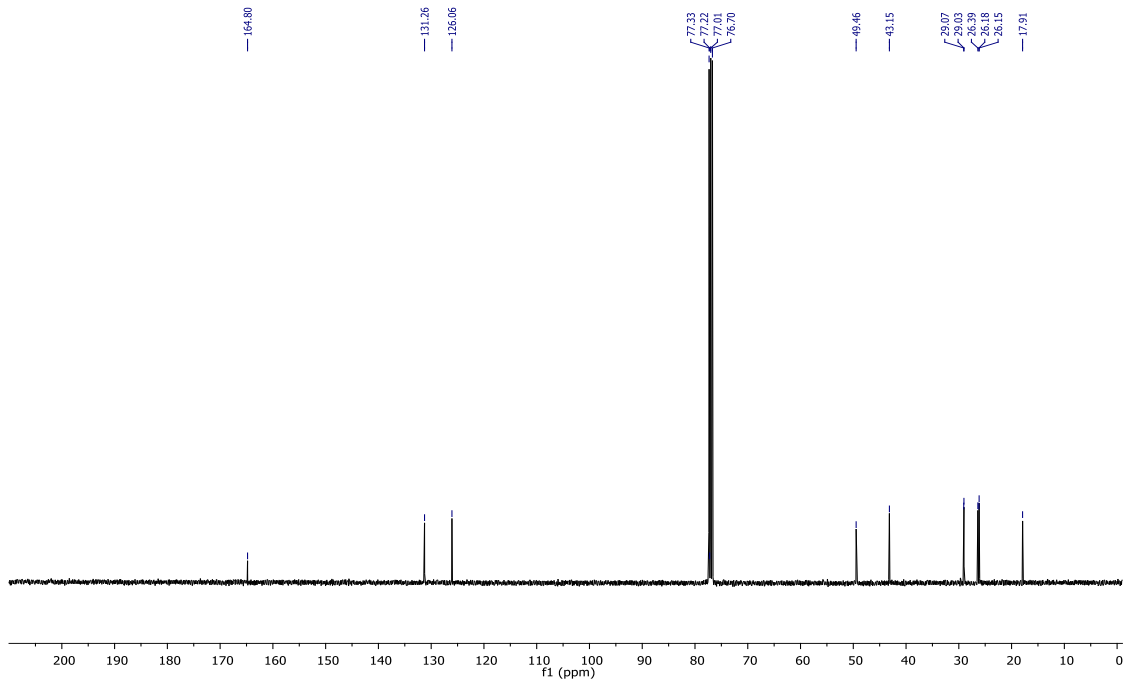
^{13}C -NMR (CDCl_3): δ 17.91 / 26.15 / 26.39 / 29.07 / 43.15 / 49.46 / 126.06 / 131.26 / 164.80



Şekil 4.1. CEA FTIR spektrumu



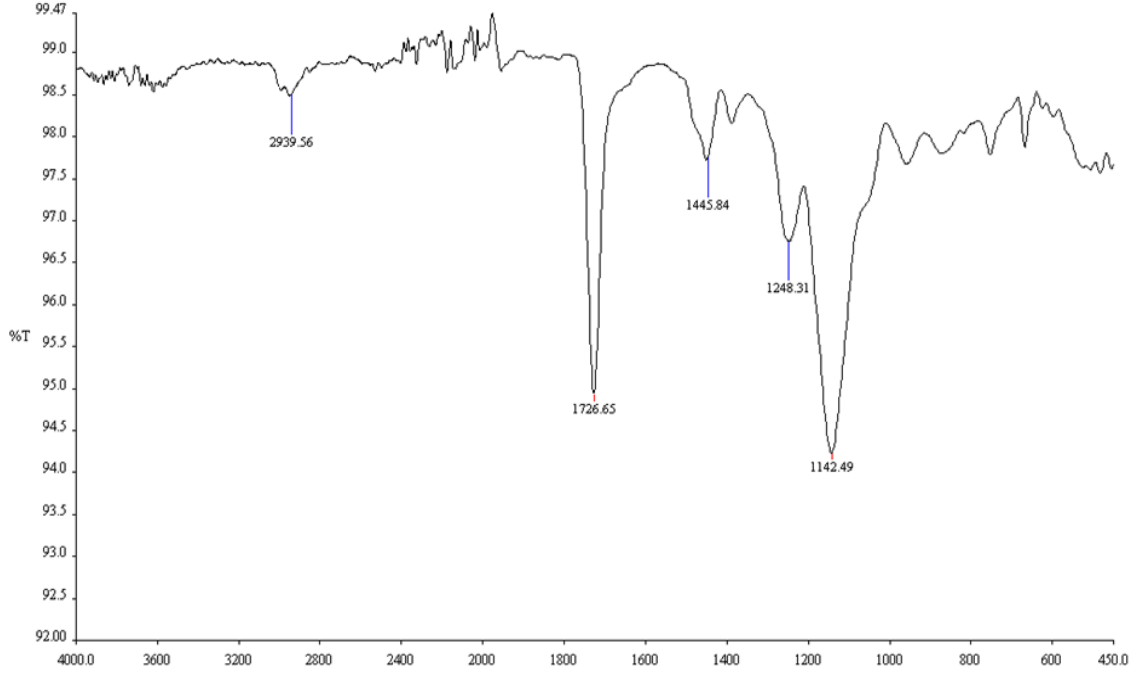
Şekil 4.2. CEA ^1H -NMR spektrumu



Şekil 4.3. CEA ^{13}C -NMR spektrumu

Poli(CEA- co-Stiren-co-EGDMA) kopolimerinin IR spektrumu analizi, Şekil 4.4'te görüldüğü gibi, 1726 cm^{-1} 'de -C=O , 1248 cm^{-1} 'de C-O ve 1142 cm^{-1} 'de -C-N gerilme titreşim bantlarının belirgin olduğunu ortaya koymaktadır. CEA monomerinde bulunan 3009 cm^{-1} vinilik =CH ve 1625 cm^{-1} $\text{H}_2\text{C=C}$ gerilme titreşimlerinin kaybolması,

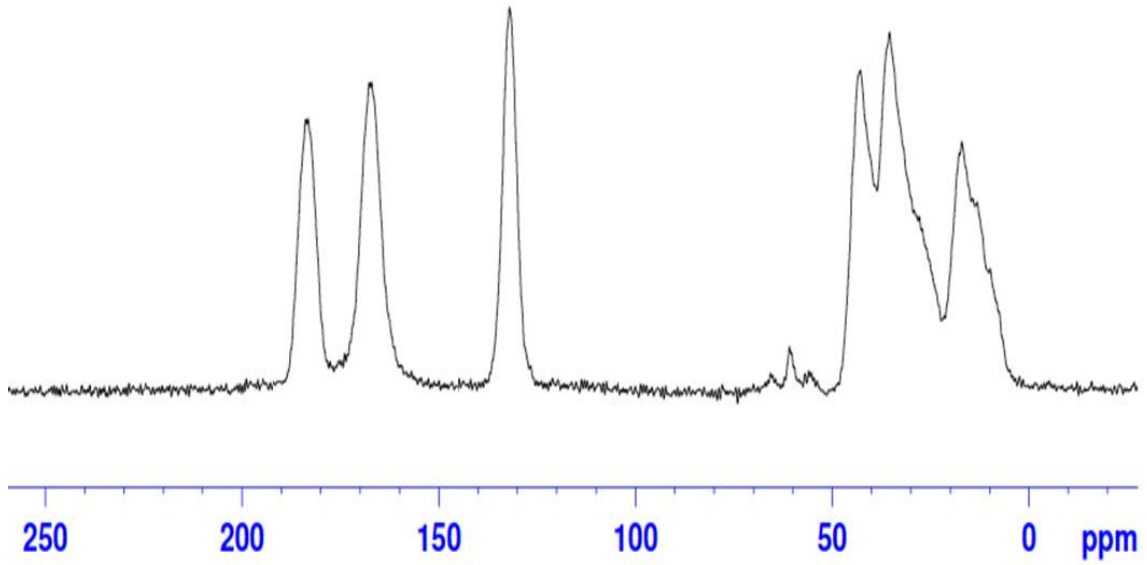
1248 cm^{-1} ester C-O ve 1726 cm^{-1} C=O gerilme titreşimleri, kopolimerin oluşumunu büyük oranla doğrulamaktadır.



Şekil 4.4. Poli(CEA- co-Styrene-co-EGDMA) FTIR spektrumu.

Kopolimerin katı-NMR spektrumu, Şekil 4.5'te sunulmuştur. Bu spektrumda, 160-180 ppm aralığında -C=O piklerinin belirgin bir şekilde görülmesi, 50-120 ppm arasında vinil C sinyallerinin tespit edilmemesi ve 0-50 ppm aralığında doymuş C sinyal alanında artış göstermesi, polimerizasyonun başarıyla gerçekleştiğini göstermektedir.

Kopolimerin elementel analiz sonuçlarına göre; yapısındaki azot oranı (%0,609), sadece CEA monomerinden kaynaklandığı için, elementel analizden elde edilen hesaplamalara göre akrilamid monomerinin tamamının polimer zincirine bağlı olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.5. Poli(CEA- co-Styrene-co-EGDMA) kat-NMR spektrumu

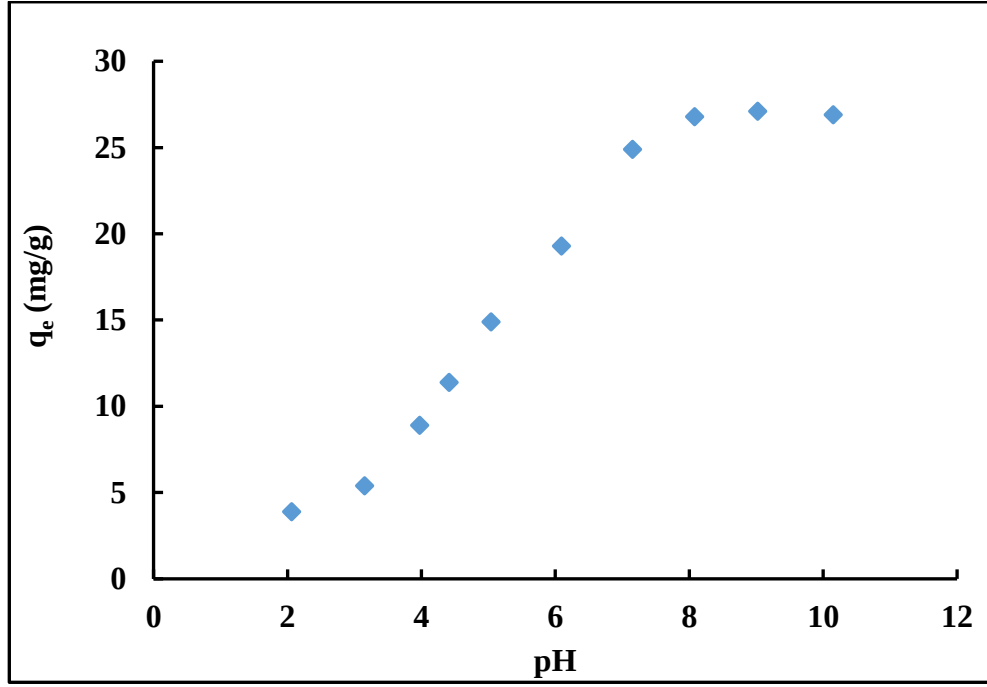
4.2. Adsorpsiyon Çalışmaları ve Sonuçları

4.2.1. pH'ın adsorpsiyon üzerindeki etkisi

Farklı pH seviyelerinin adsorpsiyon üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, 2 ila 10 pH aralığında değişen çözeltilerden 50 mL alınarak 100 mg L⁻¹ MB, 0.05 g poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) üzerine ilave edilmiştir. Bu karışımlar, 25 °C'de çalışan bir sirkülatör (SELECTA Unitronic Or) cihazında 120 dakika süresince çalkalanmıştır. Çalkalama işlemi sonrasında, çözeltilerde kalan MB konsantrasyonları UV-Vis Spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmaların değerlendirilmesi sonucunda, adsorpsiyon çalışmaları için en uygun pH değerinin 7 olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.6). Çözeltinin pH'ının 2'den 7'ye yükselmesiyle birlikte adsorpsiyon kapasitesi (qe) artış göstermiştir. Ancak, çözeltilerin pH'ının 7 ile 10 arasında olduğunda qe değerlerinde belirgin bir değişiklik gözlemlenmemiştir (Ansari ve Mosayebzadeh, 2010; Baek ve ark., 2010; Vidovix ve akr., 2022).

MB molekülünün katyonik grupları, düşük pH seviyelerinde çözeltideki H⁺ iyonları ile rekabet etmektedir. Bu durum, MB'nin poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) üzerindeki adsorpsiyon kapasitesinin azalmasına neden olmaktadır. Çözeltinin pH'ı,

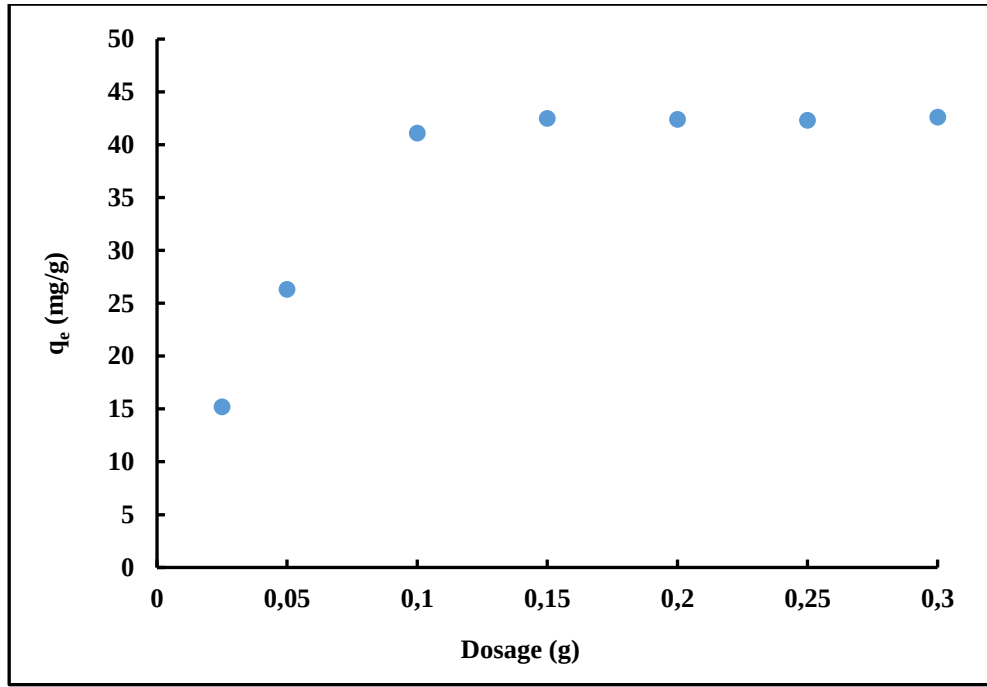
polimerin zeta potansiyelini aştığında, fonksiyonel gruplar (hidroksil, ester, karboksil ve amit) iyonik duruma geçer ve polimerin yüzeyi negatif bir yük kazanır.



Şekil 4.6. pH'ın MB'nin poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) üzerindeki adsorpsiyonu üzerindeki etkisi.

4.2.2. Adsorban dozunun etkisi

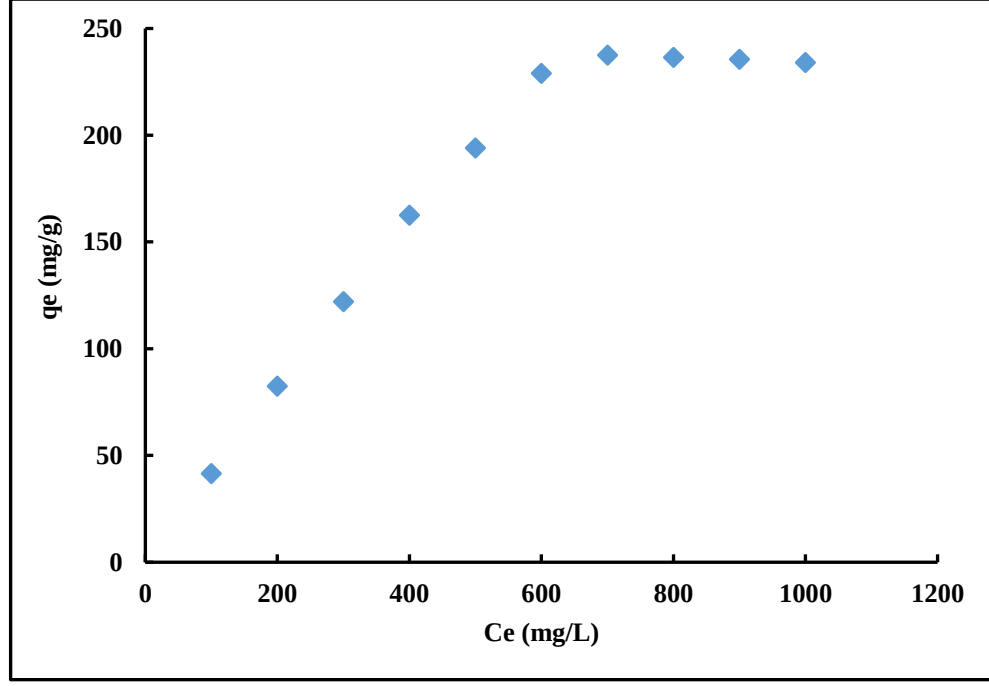
Poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) dozunun adsorpsiyon üzerindeki etkileri, 0.025 ila 0.3 g arasında değişen çeşitli adsorban miktarlarının kullanıldığı bir dizi çalışmayla araştırıldı (Ekinci, 2023; Zhang ve ark., 2021). Bu testler, 100 rpm hızında karıştırılarak 25 °C sıcaklıkta 120 dakika süreyle gerçekleştirildi. Şekil 4.7, adsorban dozunun adsorpsiyon üzerindeki etkisini göstermektedir. Özellikle, adsorban miktarı arttıkça MB'nin poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) tarafından adsorpsiyonu, 0.1 g'da zirveye ulaşan tutarlı bir yükseliş eğilimi sergiledi. Daha sonra MB sabit bir seviyeye ulaştı. Bu nedenle, daha fazla adsorban kullanmanın herhangi bir yararlı etkisi olmayacağından, araştırmanın sonraki aşamalarında 0.1 g poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) ile çalışılması seçilmiştir.



Şekil 4.7. Dozajın MB'nin poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) üzerindeki adsorpsiyonu üzerindeki etkisi

4.2.3. MB'nin başlangıç konsantrasyonunun poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) üzerindeki adsorpsiyonuna etkisi

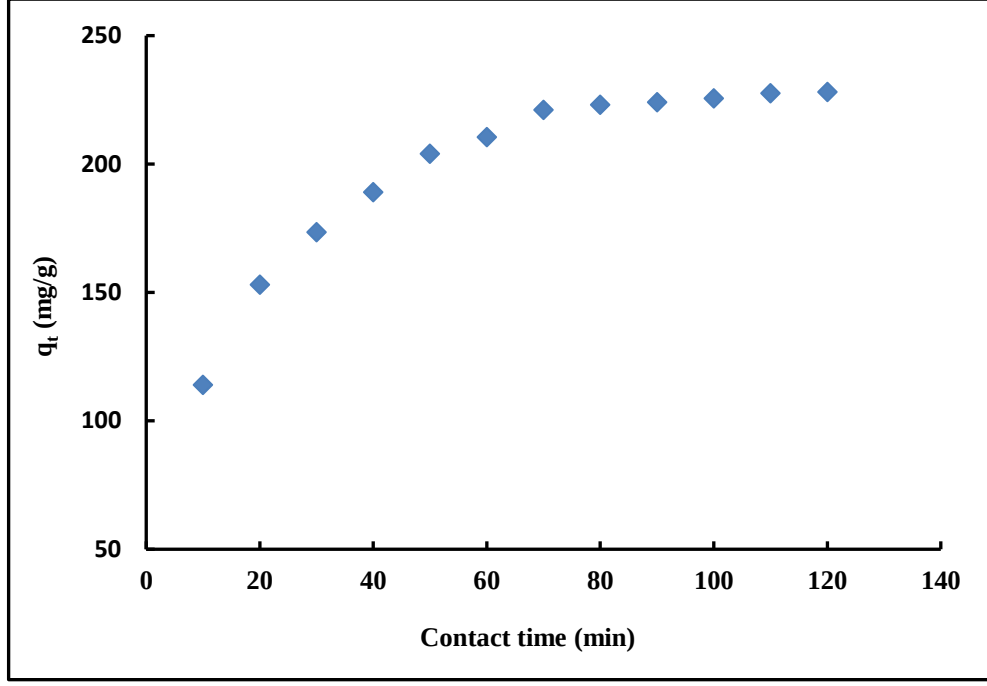
Farklı konsantrasyonlardaki ($100-1000 \text{ mg L}^{-1}$) MB çözeltilerinin adsorpsiyon verimine olan etkisini belirlemek amacıyla, 50 mL'lik çözeltiler 0.1 g poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) ile birlikte sirkülatör cihazında $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 120 dakika süresince çalkalanmıştır. Yüksek konsantrasyonlardaki boyar madde çözeltilerinde, adsorbanın aktif merkezleri boyar madde molekülleriyle doygun hale gelir. Bu durumda, yüksek konsantrasyonlu boyarmadde çözeltilerinde adsorbe edilmeyen boyarmadde miktarı artmakta ve adsorpsiyon yüzdesinde azalmaya neden olmaktadır (Chowdhury ve ark., 2011; Ho ve Ofomaja, 2006). Adsorplanmadan kalan MB konsantrasyonları UV-Vis cihazı ile ölçülmüş ve maksimum adsorpsiyonun gerçekleştiği başlangıç MB konsantrasyonu 500 mg L^{-1} olarak belirlenmiştir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. MB'nin başlangıç konsantrasyonunun poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) üzerindeki adsorpsiyonuna etkisi

4.2.4. Temas süresinin adsorpsiyona etkisi

Adsorpsiyon testlerinde önemli bir faktör, adsorbanın çözeltideki boyarmadde ile temas halinde olduğu sürenin uzunluğudur (Jawad ve ark., 2020). 10-120 dakikalık aralık, MB'nin poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) kopolimer ile etkileşiminin zamana bağlı değişimini gözlemlemek için seçildi. 50 mL 500 mgL^{-1} MB solüsyonu alındı ve 0.1 g poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA)'ye ilave edildi. Farklı zamanlarda alınan numunelerdeki MB konsantrasyonları UV-Vis ile belirlendi. Adsorplanmadan kalan MB UV-Vis ile belirlenerek doygunluğa ulaştığı adsorpsiyon süreleri belirlendi. Bu bağlamda, Şekil 4.9'da temas süresinin poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) kopolimeri kullanılarak MB'nin etkili bir şekilde uzaklaştırılması üzerindeki etkisini araştırmak için gerçekleştirilen deneylerin sonuçları gösterilmektedir. Şekil 4.9'da gösterildiği gibi 10 ila 120 dakika arasında toplanan veriler kullanılarak zamana karşı qe grafiği çizildi ve MB için denge süresinin 70 dakika olduğu belirlendi. Adsorpsiyon işleminin başlangıcında MB, adsorbanın mevcut bol yüzey alanından yararlanarak hızlı bir başlangıç adsorpsiyon hızı gösterdi. Ancak adsorban yüzeyi doygunluğa yaklaştıkça uzaklaştırma hızı yavaş yavaş azaldı. Bu verilere dayanarak adsorpsiyon prosesinin kinetiği değerlendirildi.



Şekil 4.9. Temas süresinin MB'nin poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) üzerindeki adsorpsiyonuna etkisi

4.2.5. Kinetik çalışmalar

Poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) kullanılarak gerçekleştirilen kinetik deneyler, MB adsorpsiyon süreçlerini anlamak ve süreçteki hız sınırlayıcı aşamayı belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon sürecinde, özellikle ilk temas süresi, önemli bir parametredir. Şekil 4.9'da görüldüğü gibi, poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) adsorpsiyon kapasitesi, ilk temas süresi ile birlikte hızla artmıştır. MB'nin büyük bir kısmı sırasıyla ilk 60 dakikalık temas süresi içinde adsorbe edilmiştir. Bu durum, kısa temas süreleri boyunca mevcut olan çok sayıda boş adsorpsiyon bölgesinin varlığından kaynaklanmaktadır. Temas süresi uzadıkça, hedef iyonlar boşalan alanları doldurur ve adsorpsiyon süreci giderek daha az verimli hale gelir. Kinetik hususların daha detaylı bir şekilde anlaşılabilmesi amacıyla, doğrusal olmayan kinetik modelleme yöntemleri uygulanmıştır (Vickers, 2017; Neolaka ve ark., 2020; dos Reis Oliveira ve ark., 2023; Abukhadra ve ark., 2018). Adsorpsiyon verilerini analiz etmek için PFO, PSO ve Elovich kinetik modelleri kullanılmıştır. Bu modellerin ilgili doğrusal olmayan kinetik denklemleri sırasıyla denklem 4.1, 4.2 ve 4.3 olarak ifade edilmiştir. Ayrıca, film difüzyonu ve gözenek difüzyon hızlarını açıklığa kavuşturmak amacıyla Weber-Morris

kinetik modeli de kullanılabilmektedir. Bu kinetik modelin doğrusal temsili denklem 4.4 ile ifade edilmiştir.

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (4.1)$$

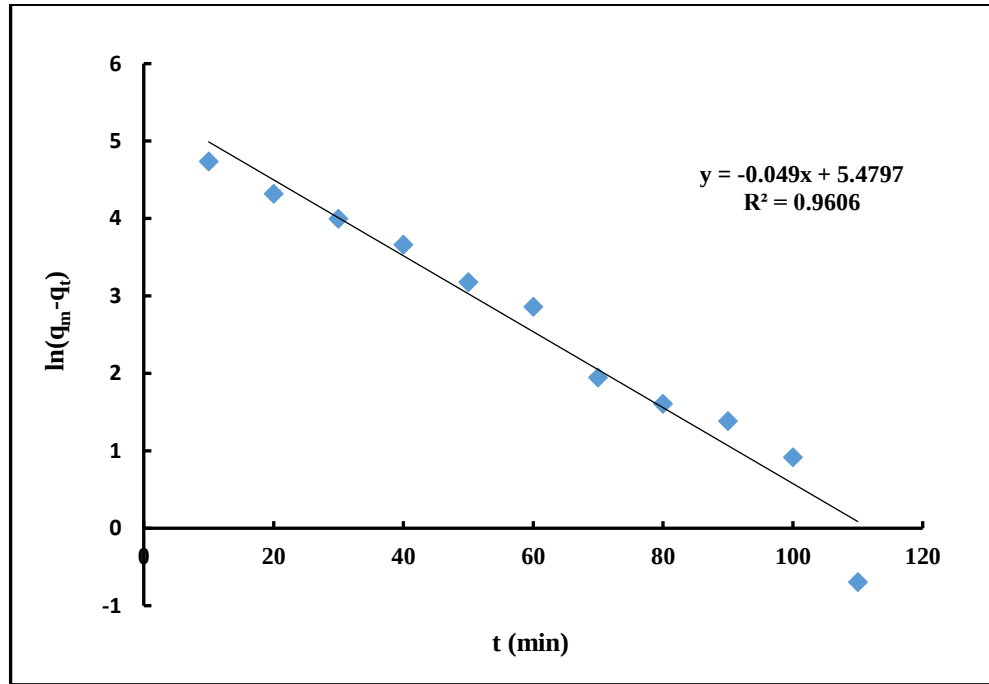
$$\frac{t}{q_t} = \frac{t}{q_e} + \frac{1}{k_2 q_e^2} \quad (4.2)$$

$$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} \ln t \quad (4.3)$$

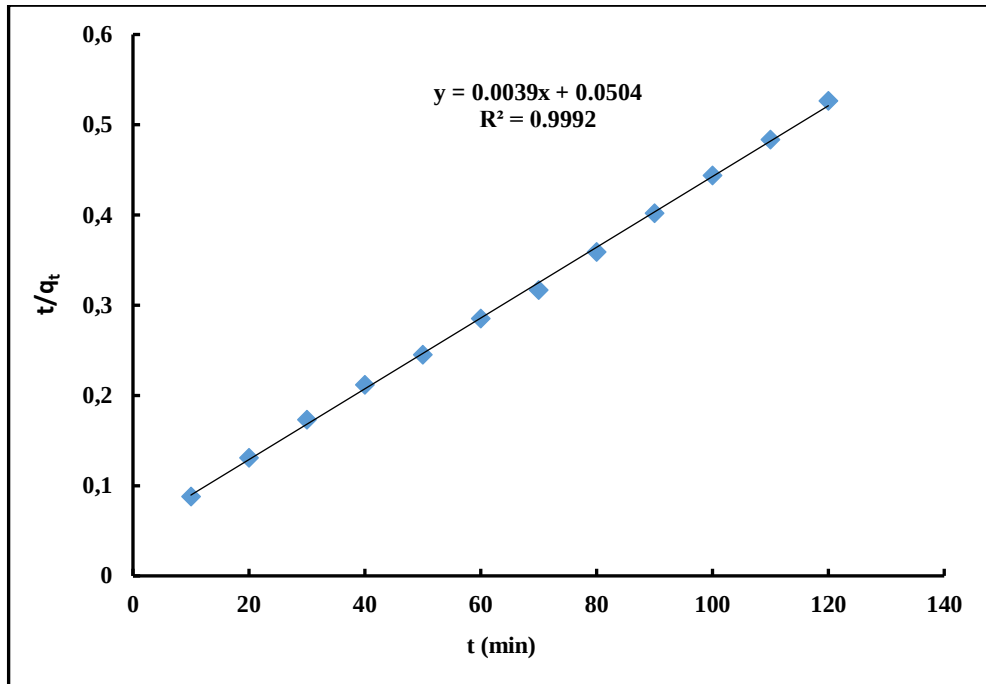
$$q_t = k_d t^{0.5} + C \quad (4.4)$$

Bu bağlamda, " q_t " belirli bir " t " zamanındaki adsorpsiyon kapasitesini ifade ederken, " q_e " adsorbe edilen iyonların kümülatif miktarını temsil etmektedir. PFO ve PSO modelleri için adsorpsiyon hızı sabitleri sırasıyla k_1 ve k_2 ile ifade edilirken, α ilk adsorpsiyon hızını sembolize etmektedir. Ek olarak, β yüzey kaplamasıyla ilgili adsorpsiyon sabitini temsil eder. Ayrıca, K_d reaksiyon hızı sabitini ifade eder ve C , oluşan sınır tabaka kalınlığı tarafından belirlenen kesişme noktasına karşılık gelir.

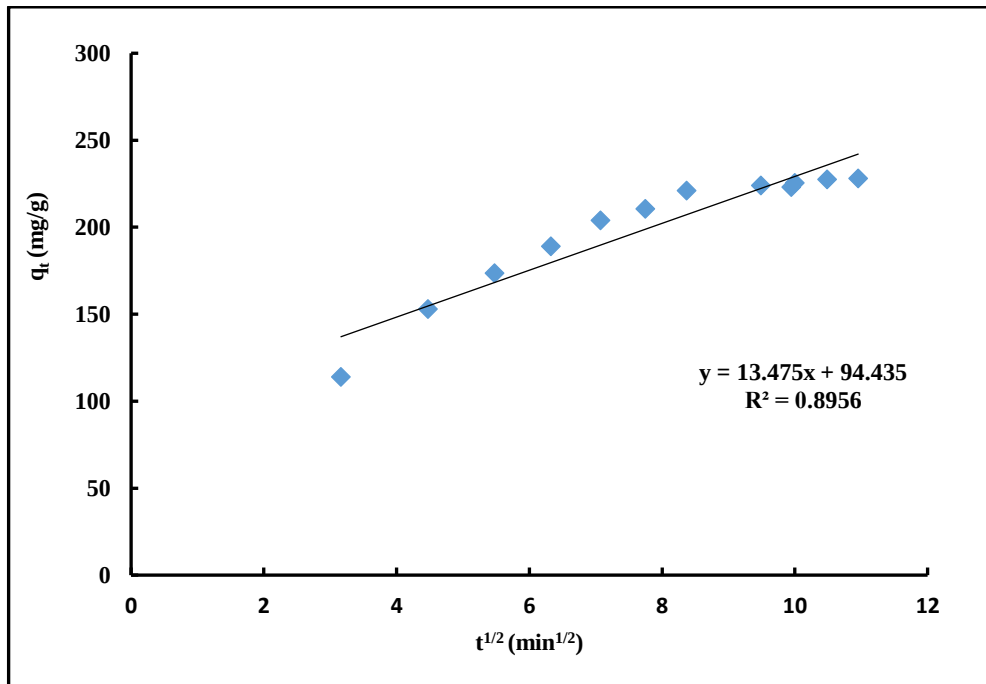
Modellerin doğrusal olmayan grafiklerinden elde edilen kinetikle ilgili parametreler, Tablo 4.1 ve Şekil 4.10/11/12/13'da ayrıntılı olarak sunulmuştur. Tablo 4.1'de gösterildiği gibi, 25 °C sıcaklık için zaman içindeki q_e değerleri belirlenebilir. Hesaplanan $q_{\max}$ değerlerinin deneysel karşılıklarıyla karşılaştırılması, PSO modelinin MB'nin poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) üzerine adsorpsiyon kinetiğini etkili bir şekilde karakterize ettiğini, bunu gösteren nispeten yüksek R^2 katsayıları ile birlikte ortaya koymaktadır.



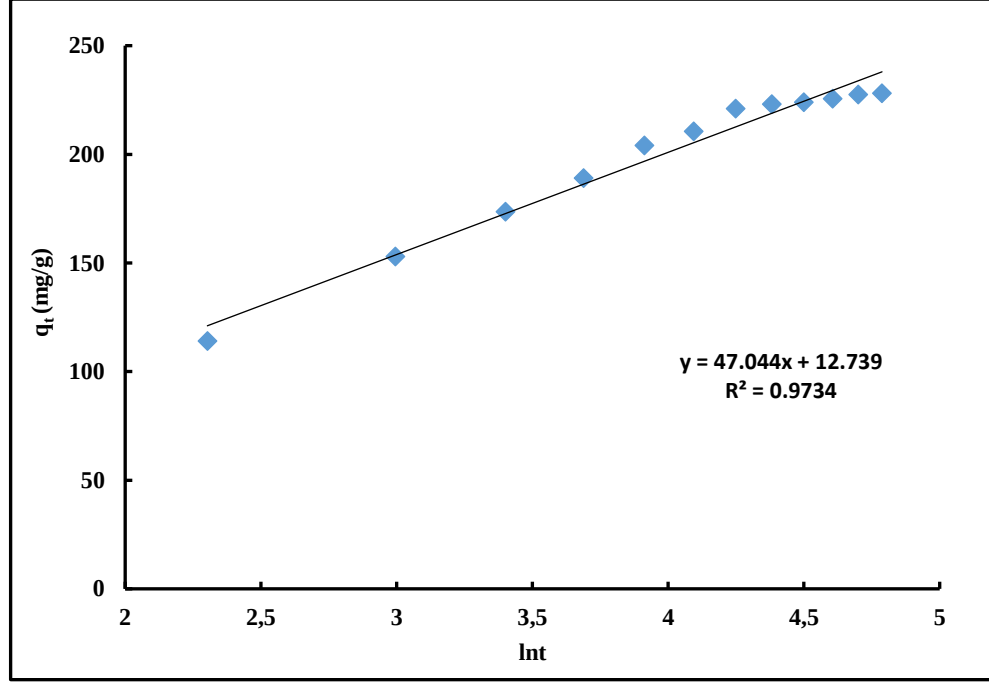
Şekil 4.10. MB'nin poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) ile adsorpsiyonuna ilişkin PFO çizimi



Şekil 4.11. MB'nin poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) ile adsorpsiyonuna ilişkin PSO çizimi



Şekil 4.12. MB'nin poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) ile adsorpsiyonuna ilişkin Weber-Morris çizimi



Şekil 4.13. MB'nin poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) ile adsorpsiyonuna ilişkin Elovich çizimi

Tablo 4.1. MB'nin poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) üzerinde adsorpsiyonu için kinetik parametreler

PFO		Weber morris	
Doğru denklemi	$y = -0.049x + 5.4797$	Doğru denklemi	$y = 13.475x + 94.435$
k_1 (min ⁻¹)	0.049	C (mg.g ⁻¹)	94.435
q_e (mg.g ⁻¹)	239.77	k_d (mg.g ⁻¹ .min ^{-0.5})	13.475
R^2	0.9606	R^2	0.8956
PSO		Elovich	
Doğru denklemi	$y = 0.0039x + 0.0504$	Doğru denklemi	$y = 47.044x + 12.739$
k_2 (mg.g ⁻¹ .min ⁻¹)	0.0003	β	0.0213
q_e (mg.g ⁻¹)	256.41	α	80.56
R^2	0.9992	R^2	0.9734

Bilimsel dergilerdeki benzer araştırmaların incelenmesi, bu çalışmanın elde ettiği bulguların son derece tatmin edici olduğunu ortaya koymaktadır. Araştırma, keşfedilen adsorpsiyon yeteneklerini, Tablo 4.2'de yer alan bilimsel dergilerde rapor edilen çalışmalarla karşılaştırmıştır. Farklı adsorbanlar kullanılarak elde edilen verilerin karşılaştırılması sonucunda, poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) kopolimerinin sulu çözeltilerden MB'yi etkili bir şekilde uzaklaştırma yeteneğinin önemli ölçüde yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda, poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) kopolimerinin adsorpsiyon prosedürleri için umut vadeden bir malzeme olduğu gösterilmiştir.

Tablo 4.2. MB giderimi amacıyla kullanılan çeşitli adsorbanların adsorpsiyon kapasitelerinin karşılaştırılması.

Adsorbent	Adsorpsiyon kapasitesi (mg/g)	Kaynak
Polivinildienflorür aktif karbon elyafları	486	Yamashita ve ark.,2001
Bambu bazlı aktif karbon	454.2	Hameed ve ark., 2007
Luffa cylindrica lifleri	122	Demir ve ark., 2008
Pirofilit	70.4	Bulut ve Aydın, 2006
Muz sapı atığı	243.9	Hameed ve ark., 2008
Modifiye pirinç samanı	208.3	Gong ve ark., 2007
Alg atığı	104	Vilar ve ark., 2007
Lifli kil mineralleri	85	Hajjaji ve ark., 2006
NaOH ile işlenmiş saf kaolin	20.5	Gong ve Bhattacharyya,2002
poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA)	256.4	Bu çalışma

4.3. Desorpsiyon Çalışmaları

Malzeme rejenerasyonu yoluyla ayırma işlemlerinin ekonomisini iyileştirmek çok önemlidir. Sonraki adsorpsiyon prosedürlerinde, yüksek desorpsiyon potansiyeline sahip bir malzeme başarıyla kullanılabilir. Desorpsiyon çalışması ile poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) kopolimerinin stabilitesini ve yeniden kullanılabilirliğini değerlendirmek için 4 ardışık test tekrarlanmıştır. Her döngüden sonra, kullanılan adsorban 0.1 mol/L HCl'de ıslatılmış ve tekrar kullanılmadan önce 80 °C'de 1 saat kurutulmuştur. Tablo 4.3 incelendiğinde, poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA)'nın 4 döngü boyunca MB için iyi bir giderim kapasitesi gösterdiği anlaşılmaktadır.

Tablo 4.3. Poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) ile MB desorpsiyon değerleri

Döngüler	% Desorpsiyon
Döngü 1	95.2
Döngü 2	88.4
Döngü 3	82.3
Döngü 4	77.5

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Tez çalışması kapsamında, akrilamit türevi içeren yeni bir kopolimer sentezlenmiştir. Sentezlenen moleküller, farklı saflaştırma teknikleriyle saflaştırılmış ve yapıları FT-IR, ^1H -NMR, ^{13}C -NMR, katı NMR ve elementel analiz gibi karakterizasyon teknikleri kullanılarak detaylı olarak incelenmiştir. Elde edilen spektroskopik veriler, sentezlenen yapılarla uyum içerisindedir. Daha sonra poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) kopolimeri, sulu çözeltilerden metilen mavisini uzaklaştırmak amacıyla adsorban olarak kullanılmıştır. CEA, EGDMA ve Stiren monomerlerinden radikal polimerizasyon reaksiyonları ile sentezlenen poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) kopolimeri, sulu çözeltilerden MB'nin etkili bir şekilde uzaklaştırılmasında etkili adsorpsiyon performansı sergilemiştir. Çalışmada, adsorpsiyon verimliliğini etkileyebilecek, adsorban dozu, temas süresi, başlangıç metilen mavisi konsantrasyonu ve çözelti pH'ı gibi değişkenler üzerinde detaylı bir araştırma yapılmıştır. MB'nin giderimi için en etkili olduğu belirlenen adsorban dozu, başlangıç konsantrasyonu, temas süresi ve çözelti pH'ı sırasıyla 0.1 g, 500 mg/L, 70 dakika ve 7 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, 25°C'de MB için adsorpsiyon kapasitesi 256.4 mg/g olarak hesaplanmıştır. Kinetik çalışmalar, MB gideriminin PSO kinetik denklemi ile uyumlu olduğunu göstermiştir. Yapılan benzer çalışmalarla karşılaştırıldığında, elde edilen adsorpsiyon kapasitesi verileri poli(CEA-ko-Stiren-ko-EGDMA) kopolimerinin sulu çözeltilerden MB'yi etkili bir şekilde uzaklaştırma konusunda yüksek verimli bir giderici olarak potansiyel sunduğunu göstermektedir.

5.2. Öneriler

Bu tez çalışmasında, akrilamit türevi içeren yeni bir kopolimer sentezlenmiştir. Sentezlenen bu kopolimer, sulu çözeltilerden metilen mavisini etkili bir şekilde uzaklaştırmıştır. Polimerik bileşiklerin farklı fonksiyonel gruplarını içerebileceği ve bu bileşiklerin çeşitli boyar maddelerin ve ağır metallerin adsorpsiyonu çalışmaları yapılabilir. Ayrıca, bu polimerik bileşiklerin biyolojik ve tıbbi özellikleri de araştırılabilir. Bu çalışma, sulu çözeltilerden kirleticilerin uzaklaştırılmasında yeni ve etkili adsorbanların geliştirilmesine yönelik önemli bir adımı temsil ettiği kanaatindeyiz.

KAYNAKLAR

- Abukhadra, M.R., Dardir, F.M., Shaban, M., Ahmed, E.A., and Soliman, M.F. (2018). Superior removal of Co^{2+} , Cu^{2+} and Zn^{2+} contaminants from water utilizing spongy Ni/Fe carbonate–fluorapatite; preparation, application and mechanism. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 157:358-368.
- Altunkaynak, Y., Canpolat, M., & Aslan, M. (2023). Adsorption of lead (II) ions on kaolinite from aqueous solutions: isothermal, kinetic, and thermodynamic studies. *Ionics*, 29(10), 4311-4323.
- Ansari, R., & Mosayebzadeh, Z. (2010). Removal of basic dye methylene blue from aqueous solutions using sawdust and sawdust coated with polypyrrole. *Journal of the Iranian Chemical Society*, 7, 339-350.
- Azzam, A. M., El-Wakeel, S. T., Mostafa, B. B., & El-Shahat, M. F. (2016). Removal of Pb, Cd, Cu and Ni from aqueous solution using nano scale zero valent iron particles. *Journal of environmental chemical engineering*, 4(2), 2196-2206.
- Baek, M. H., Ijagbemi, C. O., Se-Jin, O., & Kim, D. S. (2010). Removal of Malachite Green from aqueous solution using degreased coffee bean. *Journal of hazardous materials*, 176(1-3), 820-828.
- Barutçu, Z.B. (2012). (Benzofuran-2-İl-)Metilketoksim-O-Metakrilat Monomerinin Ve Polimerlerinin Sentezi, Karakterizasyonu. (Yüksek lisans tezi), Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adıyaman.
- Bazin, I., Hassine, A. I. H., Hamouda, Y. H., Mnif, W., Bartegi, A., Lopez-Ferber, M., ... & Gonzalez, C. (2012). Estrogenic and anti-estrogenic activity of 23 commercial textile dyes. *Ecotoxicology and environmental safety*, 85, 131-136.
- Bhatti, H. N., Khalid, R., & Hanif, M. A. (2009). Dynamic biosorption of Zn (II) and Cu (II) using pretreated Rosa gruss an teplitz (red rose) distillation sludge. *Chemical Engineering Journal*, 148(2-3), 434-443.
- Braun, D., Pour, A.E., Czerwiński, W.K. (1989). Free radical copolymerization of 1-vinyl naphthalene with styrene, methyl methacrylate, and acrylonitrile. *Colloid and Polymer Science*, 267:1096-1100.
- Bulut, Y., & Aydın, H. (2006). A kinetics and thermodynamics study of methylene blue adsorption on wheat shells. *Desalination*, 194(1-3), 259-267.
- Camail, M., Essaoudi, H., Margaillan, A., Vernet, J.L. (1995). Terpolyme–Risation Radicalaire Del'acrylamide, De L'acide Acrylique Et Del'acrylamide Den-(1,1-Dime–Thyl-3-Oxobutyle). *European Polymer Journal*, 31:1119-1125
- Canpolat, M. (2023). Removing Co (II) and Mn (II) ions effectively from aqueous solutions by means of chemically non-processed Mardin stone waste: Equivalent, kinetic, and thermodynamic investigations. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 42(3), e14042.

- Canpolat, M., & Topal, G. (2023). Synthesis, characterization of cross-linked poly (ethylene glycol dimethacrylate-methyl methacrylate-N-(1-phenylethyl) acrylamide) copolymer and removal of copper (II), cobalt (II) ions from aqueous solutions via this copolymer. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 42(6), e14197.
- Chen, C., Liu, H., Chen, T., Chen, D., & Frost, R.L. (2015). An insight into the removal of Pb (II), Cu (II), Co (II), Cd (II), Zn (II), Ag (I), Hg (I), Cr (VI) by Na (I)-montmorillonite and Ca (II)-montmorillonite. *Applied Clay Science*, 118, 239-247.
- Chowdhury, S., Mishra, R., Saha, P., & Kushwaha, P. (2011). Adsorption thermodynamics, kinetics and isosteric heat of adsorption of malachite green onto chemically modified rice husk. *Desalination*, 265(1-3), 159-168.
- Dardouri, S., & Sghaier, J. (2017). Adsorptive removal of methylene blue from aqueous solution using different agricultural wastes as adsorbents. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 34(4), 1037-1043.
- Demir, H., Top, A., Balköse, D., & Ülkü, S. (2008). Dye adsorption behavior of *Luffa cylindrica* fibers. *Journal of Hazardous Materials*, 153(1-2), 389-394.
- Denizli, A., Garipcan, B., Karabakan, A., & Senöz, H. (2005). Synthesis and characterization of poly (hydroxyethyl methacrylate-N-methacryloyl-(l)-glutamic acid) copolymer beads for removal of lead ions. *Materials Science and Engineering: C*, 25(4), 448-454.
- Dos Reis Oliveira, M., Paulino, I.M.R., Resende, J.F., Simão, L., Vieira, M.F., Bergamasco, R., and Vieira, A.M.S. (2023). Valorization of biomass ash for the effective removal of dipyrone from water: an efficient and low-cost option. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 98:1690-1702.
- Ekinci, S. (2023). Elimination of Methylene Blue from Aqueous Medium Using an Agricultural Waste Product of Crude Corn Silk (*Stylus maydis*) and Corn Silk Treated with Sulphuric Acid. *ChemistrySelect*, 8(18), e202300284.
- El Qada, E. N., Allen, S. J., & Walker, G. M. (2006). Adsorption of methylene blue onto activated carbon produced from steam activated bituminous coal: a study of equilibrium adsorption isotherm. *Chemical Engineering Journal*, 124(1-3), 103-110.
- Erol, İ. 2002. 1,2,3,4-Tetrahidronaftalin, Mesitilen Halkaları içeren 1,3 Trisüstitüe SiklobütanKetoetil Metakrilat Monomer ve Polimerlerinin Sentezi Karakterizasyonu. (Doktora Tezi), Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.Enstitüsü, Ankara.
- Fradj, A. B., Hamouda, S. B., Ouni, H., Lafi, R., Gzara, L., & Hafiane, A. (2014). Removal of methylene blue from aqueous solutions by poly (acrylic acid) and poly (ammonium acrylate) assisted ultrafiltration. *Separation and Purification Technology*, 133, 76-81.

- Garipcan, B., Say, R., Patir, S., Arica, Y., & Denizli, A. (2002). Poly (hydroxyethyl methacrylate-co-methacrylamidoalanine) membranes and their utilization as metal-chelate affinity adsorbents for lysozyme adsorption. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 13(5), 563-577.
- Ghosh, D., & Bhattacharyya, K. G. (2002). Adsorption of methylene blue on kaolinite. *Applied clay science*, 20(6), 295-300.
- Gong, R., Jin, Y., Chen, J., Hu, Y., & Sun, J. (2007). Removal of basic dyes from aqueous solution by sorption on phosphoric acid modified rice straw. *Dyes and Pigments*, 73(3), 332-337.
- Guiza, S. (2017). Biosorption of heavy metal from aqueous solution using cellulosic waste orange peel. *Ecological Engineering*, 99, 134-140.
- Güleç, F., Williams, O., Samson, A., Kostas, E. T., Stevens, L. A., & Lester, E. (2023). Exploring the Utilisation of Natural Biosorbents for Effective Methylene Blue Removal. *Applied Sciences*, 14(1), 81.
- Hajjaji, M., Alami, A., & El Bouadili, A. (2006). Removal of methylene blue from aqueous solution by fibrous clay minerals. *Journal of hazardous materials*, 135(1-3), 188-192.
- Hameed, B. H., Din, A. M., & Ahmad, A. L. (2007). Adsorption of methylene blue onto bamboo-based activated carbon: kinetics and equilibrium studies. *Journal of hazardous materials*, 141(3), 819-825.
- Hameed, B. H., Mahmoud, D. K., & Ahmad, A. L. (2008). Sorption equilibrium and kinetics of basic dye from aqueous solution using banana stalk waste. *Journal of Hazardous Materials*, 158(2-3), 499-506.
- Hessel, C., Allegre, C., Maisseu, M., Charbit, F., & Moulin, P. (2007). Guidelines and legislation for dye house effluents. *Journal of environmental management*, 83(2), 171-180.
- Ho, Y. S., & Ofomaja, A. E. (2006). Biosorption thermodynamics of cadmium on coconut copra meal as biosorbent. *Biochemical Engineering Journal*, 30(2), 117-123.
- Işıkver, Y.Ç. 2005. Çevre duyarlı hidrojellerin hazırlanması, karakterizasyonu ve biyomolekül adsorpsiyonunda kullanımı.(Doktora Tezi), Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Jawad, A. H., Abdulhameed, A. S., & Mastuli, M. S. (2020). Acid-fractionalized biomass material for methylene blue dye removal: a comprehensive adsorption and mechanism study. *Journal of Taibah University for Science*, 14(1), 305-313.
- Kesim, H. (2002). Poli(N-izopropilakrilamit/maleik anhidrit)/ polietilenglikol/ polietilenimin esaslı suda çözünür polimerik taşıyıcıların sentezi ve karakterizasyonu. (Yüksek Lisans Tezi), Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri

- Khan, N. A., Bhadra, B. N., & Jhung, S. H. (2018). Heteropoly acid-loaded ionic liquid@ metal-organic frameworks: Effective and reusable adsorbents for the desulfurization of a liquid model fuel. *Chemical Engineering Journal*, 334, 2215-2221.
- Kurt, M. 2008. Poli(o-Fenilen-co-Adipikası) Sentezi ve Karakterizasyonu. (Yüksek Lisans Tezi), Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Martinez, G., Sanchez, M., Madruga, E.I., Monreal, F.G. (2000). Free radical copolymerization of 2-hydroxyethyl methacrylate with butyl methacrylate: determination of monomer reactivity ratios and glass transition temperatures. *Polymer*. 41:6021-6026.
- Moorthy, A. K., Rathi, B. G., Shukla, S. P., Kumar, K., & Bharti, V. S. (2021). Acute toxicity of textile dye Methylene blue on growth and metabolism of selected freshwater microalgae. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 82, 103552.
- Nanjundan, S., Unnithan, C.S., Selvamalar, C.S.J., Pendilis, A. (2005). Homopolymer of 4-Benzoylphenyl Methacrylate and its Copolymers with Glycidyl Methacrylate: Synthesis., Characterization, Monomer Reactivity Ratios and Application as Adhesives. *Reactive & Functional Polymers*, 62: 11-24.
- Neolaka, Y.A., Lawa, Y., Naat, J.N., Riwu, A.A., Iqbal, M., Darmokoesoemo, H., and Kusuma, H.S. (2020). The adsorption of Cr (VI) from water samples using graphene oxide-magnetic (GO-Fe₃O₄) synthesized from natural cellulose-based graphite (kusambi wood or Schleicher oleosa): Study of kinetics, isotherms and thermodynamics. *Journal of Materials Research and Technology*, 9:6544-6556.
- Oladoye, P. O., Ajiboye, T. O., Omotola, E. O., & Oyewola, O. J. (2022). Methylene blue dye: Toxicity and potential technologies for elimination from (waste) water. *Results in Engineering*, 100678.
- Pan, Y., Wang, Y., Zhou, A., Wang, A., Wu, Z., Lv, L., ... & Zhu, T. (2017). Removal of azo dye in an up-flow membrane-less bioelectrochemical system integrated with bio-contact oxidation reactor. *Chemical Engineering Journal*, 326, 454-461.
- Patel, P., Shah, B., Ray, A. (2004). Patel R., Acrylic Homo And Co-Polymers Based on 2,4-Dichlorophenyl Methacrylate And 8-quinoliny Methacrylate., *Journal of Polymer Research*, 11:65-73.
- Rafatullah, M., Sulaiman, O., Hashim, R., & Ahmad, A. (2010). Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: a review. *Journal of hazardous materials*, 177(1-3), 70-80.
- Saçak, M. 2004. Polimer Kimyası. Gazi Kitabevi, Ankara.
- Saçak, M. 2008. Polimer Kimyası. Gazi Kitabevi, Ankara.
- Say, R., Garipcan, B., Diltemiz, S.E., Denizli, A. (2002). Preparation of poly(hydroxyethylmethacrylate-co-ethacrylamidohistidine) beads and its design

- as a affinity adsorbent for Cu(II) removal from aqueous solutions. *Physicochemical and Engineering Aspects*, 196(2-3): 199 – 207
- Seven, Ş. 2006. P-tolil metilmetakrilat polimerinin sentezi ve karakterizasyonu.(Yüksek Lisans Tezi),Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Soykan, C., Erol, İ. (2003). Free Radical Copolymerization of [(4-Isopropyl phenyl)Oxycarbonyl] Methyl Methacrylate. *Journal of Applied Polymer Science*, 88(9),2331-2338.
- Thamizharasi, S., Gnanasundaram, P., & Balasubramanian, S. (2003). Synthesis, characterization, and reactivity ratios of copolymers derived from 4-nitrophenyl acrylate and n-butyl methacrylate. *Journal of Applied Polymer Science*, 88(7), 1817-1824.
- Usha, V., Varma, I. K., Bhayani, G. G., & Sinha, T. J. M. (1994). Copolymers of methyl methacrylate and N-cyclohexyl maleimide: Preparation and properties. *Die Angewandte Makromolekulare Chemie: Applied Macromolecular Chemistry and Physics*, 221(1), 1-9.
- Vickers, N.J. (2017). Animal communication: when i'm calling you, will you answer too? *Current Biology*, 27:R713-R715.
- Vidovich, T. B., Quesada, H. B., Bergamasco, R., Vieira, M. F., & Vieira, A. M. S. (2022). Adsorption of Safranin-O dye by copper oxide nanoparticles synthesized from Punica granatum leaf extract. *Environmental Technology*, 43(20), 3047-3063.
- Vijayaraghavan, P.G., Reddy, B.S.R. (1999). 4-Chlorophenyl acrylate and glycidyl methacrylate copolymers: Synthesis, characterization, reactivity ratios, and application. *Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry*, 36:1181–95.
- Vilar, V. J., Botelho, C. M., & Boaventura, R. A. (2007). Methylene blue adsorption by algal biomass based materials: biosorbents characterization and process behaviour. *Journal of hazardous materials*, 147(1-2), 120-132.
- Wu, W., Xie, D., Puckett, A., Mays, J.W. (2003). Synthesis of amino acid-containing polyacids and their application in self-cured glass-ionomer cement. *European Polymer Journal*, 39:959–968.
- Yamashita, J., Shioya, M., Kikutani, T., & Hashimoto, T. (2001). Activated carbon fibers and films derived from poly (vinylidene fluoride). *Carbon*, 39(2), 207-214.
- Zhang, S., Fan, X., & Xue, J. (2023). A novel magnetic manganese oxide halloysite composite by one-pot synthesis for the removal of methylene blue from aqueous solution. *Journal of Alloys and Compounds*, 930, 167050.
- Zhang, Y., Xu, S., Zhou, H., Qi, H., & Wang, H. (2021). Adsorption of organic pollutants and heavy metal by Co-doped core-shell MoO₂/Mo₂C adsorbent. *Journal Of Solid State Chemistry*, 293, 121801.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mahmut SAYAR
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri : Kozluk
Doğum Tarihi : 05.08.1977

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lisans	: Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi	2001
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi	Devam Ediyor

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2002-Devam Ediyor	Milli Eğitim Bakanlığı	Öğretmen