



T.C

ALANYA ALAADDİN KEYKUBAT ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ALJİNAT/ÇİNKO OKSİT/TURMALİN KOMPOZİT FİMLERİN
ÜRETİLMESİ, ANTİBAKTERİYEL VE FOTOKATALİTİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Yüksek Lisans Tezi

Hasan Kamil KOYUNCU

Danışman

Prof. Dr. Derman VATANSEVER BAYRAMOL

ALANYA

2024

T.C
ALANYA ALAADDİN KEYKUBAT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ALJİNAT/ÇİNKO OKSİT/TURMALİN KOMPOZİT FİMLERİN
ÜRETİLMESİ, ANTİBAKTERİYEL VE FOTOKATALİTİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Yüksek Lisans Tezi

Hasan Kamil KOYUNCU

Anabilim Dalı: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Program Adı: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Danışman

Prof. Dr. Derman VATANSEVER BAYRAMOL

Bu tez çalışması TÜBİTAK 1002-A Hızlı Destek Programı (Proje No: 222M346)
ve TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı (BİDEB) 2210-C Yurt İçi
Lisansüstü Burs Programı kapsamında desteklenmiştir.

ALANYA

(2024)

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Hasan Kamil KOYUNCU'nun "Aljinat/Çinko Oksit/Turmalin Kompozit Filmlerin Üretilmesi, Antibakteriyel ve Fotokatalitik Özelliklerinin İncelenmesi" başlıklı tezi 24/04/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

	Unvanı-Adı Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı) :	Prof. Dr. Derman VATANSEVER BAYRAMOL
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Fatma AYDIN ÜNAL
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Duygu GAZİOĞLU RÜZGAR

Enstitü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilemeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmamın Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programıyla tarandığını ve “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

Hasan Kamil KOYUNCU

TEŞEKKÜR SAYFASI

Tez çalışmam süresince öncelikle bilgi ve tecrübeleri sayesinde bilgi paylaşımları ve anlayışlı önerileri ile her zaman şahsıma yön gösterip önüme ışık tutan kıymetli tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Derman VATANSEVER BAYRAMOL' a teşekkürü bir borç bilirim. Kıymetli hocamın desteğiyle onunla birlikte çalışma imkanı bularak bu büyük deneyimi yaşadığım için onurlu ve şanslıyım.

Tez süresince numune üretimleri ve karakterizasyon analizlerinde şahsıma yardımcı olan değerli hocam Sayın Arş. Gör. Ercan ŞENER'e,

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi'nden Sayın Doç. Dr. Gül KAYKIOĞLU ve Sayın Arş. Gör. Dr. Mine AYDIN KURÇ hocalarıma tezime katkıları için teşekkürlerimi sunarım.

222M346 numaralı 1002 projesi kapsamında tezimin hayata geçirilmesinde öncü olan ve tez sürecimdeki Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı (BİDEB) 2210-C Yurt İçi Lisansüstü Burs Programı kapsamında finansal desteklerinden ötürü TÜBİTAK' a teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen ve eğitimim süresince aldığım kararlarda yanımda olan sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Saygıyla, daima bilimin ışığında...

Hasan Kamil KOYUNCU

ÖZET

ALJİNAT/ÇİNKO OKSİT/TURMALİN KOMPOZİT FİLMLERİN ÜRETİLMESİ, ANTİBAKTERİYEL VE FOTOKATALİTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Hasan Kamil KOYUNCU

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü,

Nisan, 2024 (67 Sayfa)

Sağlık, kaliteli bir insan yaşamı için birincil önceliğe sahiptir. Yaralanmalarda ise yara iyileşme sürecinin konforlu geçmesi yaşam kalitesini etkilemektedir. Bu çalışmada, aljinat polimerine turmalin ve çinko oksit partikülleri takviye edilerek film yüzeyler üretilmiş ve üretilen yüzeylerin özellikleri incelenmiştir. Turmalin ve çinko oksitin etkisini tespit edebilmek için malzemeler hem tek başlarına aljinat içerine katkılanarak film üretilmiş hem de ikisinin bir arada ancak farklı oranda bulunduğu aljinat film yüzeyler üretilmiştir. Kontrol numunesi olarak kullanılmak üzere %100 aljinat film üretilmiştir. Film yüzeylerin daha hızlı katılaşması için koagülasyon çözeltisi kullanılmıştır.

Üretilen kompozit filmlerin yara örtüsü uygulamalarından kullanımının öngörülmesi nedeniyle mukavemetleri, şişme davranışları, su buharı geçirgenliği, antibakteriyel özellikleri ve fotokatalitik etkileri incelenmiş olup morfolojik, elemental ve yapısal incelemeler için SEM-EDS, FTIR, XRD analizleri yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Tez kapsamında üretilen yüzeylerin yara örtüsü uygulamalarında kullanımı öngörülmüş olup ana amaç Aljinat/Çinko Oksit/Turmalin içeren kompozit yapının in vitro incelemelerini yapmak şeklinde sınırlandırılmıştır. Klinik testler ve uygulamalar bu çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Aljinat, Çinko Oksit, Turmalin, Antibakteriyel, Fotokatalitik, Yara Örtüsü.

ABSTRACT

FABRICATION OF ALGINATE/ ZINC OXIDE/ TURMALINE COMPOSITE FILMS AND INVESTIGATION OF THEIR ANTIBACTERIAL AND PHOTOCATALYTIC PROPERTIES

Hasan Kamil KOYUNCU

Department of Metallurgy and Material Engineering

Alanya Alaaddin Keykubat University, Graduate School of Education

April, 2024

Health is a top priority for a quality human life. In case of injuries, a comfortable wound healing process affects the quality of life. In this study, tourmaline and zinc oxide particles were added to alginate polymer to produce film surfaces and the properties of the produced surfaces were investigated. In order to determine the effect of tourmaline and zinc oxide, both materials were doped into alginate alone to produce films and alginate film surfaces with both of them together but in different ratios were produced. A 100% alginate film was produced to be used as a control sample. Coagulation solution was used for faster solidification of the film surfaces.

Since the produced composite films are expected to be used in wound dressing applications, their strength, swelling behavior, water vapor permeability, antibacterial properties and photocatalytic effects were investigated and the results were evaluated by SEM-EDS, FTIR, XRD analysis for morphological, elemental and structural investigations. The surfaces produced within the scope of the thesis are envisaged to be used in wound dressing applications and the main purpose is limited to in vitro investigations of the composite structure containing Alginate / Zinc Oxide / Tourmaline. Clinical tests and applications are excluded from the scope of this study.

Keywords: Alginate / Zinc Oxide / Tourmaline Antibacterial, Photocatalytic, Wound Dressing.

İÇİNDEKİLER

İÇ KAPAK SAYFASI	
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI	i
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	ii
TEŞEKKÜR SAYFASI.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	2
1.2. Tezin Hedefleri	2
2. LİTERATÜR	4
2.1. Deri.....	4
2.2. Yara ve Türleri	4
2.3. Yara Örtüleri ve Genel Özellikleri.....	6
2.4. Polimerik Nanokompozit Malzemeler	8
2.4.1 Antibakteriyel Etkiye Sahip Polimerik Nanokompozit Çalışmaları.....	9
2.4.2 Fotokatalitik Etkiye Sahip Polimerik Nanokompozit Çalışmaları	13
2.5. Aljinat.....	15
2.5.1 Aljinatın Kimyasal Yapısı	18
2.5.2 Jelleşme ve Film Oluşturma Etkinliği	19
2.6. Çinko Oksit (ZnO)	20
2.7. Turmalin.....	21
3. YÖNTEM.....	24
3.1. Kullanılan Malzemeler.....	24
3.2. Kompozit Filmlerin Üretimi	24
3.3. Karakterizasyon Yöntemleri	27
3.2.1 Kalınlık Ölçümü	27
3.2.2 Kullanılan Katkılara ait Tane Boyut Analizi	27
3.3.3 Çekme Testi	27
3.3.4 Şişme Testi.....	27

3.3.5 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	28
3.3.6 X-Işını Difraksiyonu Yöntemi (XRD).....	28
3.3.7 Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)	28
3.3.8 Antibakteriyel Etkinlik Testi	28
3.3.9 Fotokatalitik Etkinlik Testi	29
3.3.10 Su Buharı İletim Hızı (WVTR)	30
4. BULGULAR.....	32
4.1. Kalınlık Ölçümü.....	32
4.2. Tane Boyut Analizi	32
4.3. Çekme Testi	33
4.4. Şişme Testi.....	34
4.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	36
4.6. X-Işını Difraksiyonu Yöntemi (XRD)	41
4.7. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR).....	42
4.8. Antibakteriyel Etkinlik Testi.....	46
4.9. Fotokatalitik Etkinlik Testi	52
4.10. Su Buharı İletim Hızı (WVTR)	57
5. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER.....	58
6. KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Derinin katmanları.....	4
Şekil 2.2 Yara iyileşme aşamaları/evreleri	6
Şekil 2.3 İdeal bir yara örtüsünün farklı işlevlerinin şematik gösterimi	7
Şekil 2.4 Kahverengi deniz yosunu	16
Şekil 2.5 Aljinat biyopolimerinin kimyasal yapısı	19
Şekil 2.6 Yumurta Kutusu Modeli.....	19
Şekil 2.7 A: Siyah Turmalin B: Pembe Turmalin C: Yeşil Turmalin	22
Şekil 3.1 Aljinat matrisli üretilen kompozit filmler	27
Şekil 3.2 Fotokatalitik aktivite deney düzeneği.....	30
Şekil 3.3 Su buharı iletim hızı kap yöntemi	32
Şekil 4.1 Kullanılan ZnO partiküllerine ait tane boyut dağılımı	33
Şekil 4.2 Kullanılan turmalin partiküllerine ait tane boyut dağılımı	34
Şekil 4.3 Üretilen kompozit filmlerin sudaki şişme yüzdeleri	36
Şekil 4.4 Üretilen kompozit filmlerin %1 NaCl şişme yüzdeleri	36
Şekil 4.5 Üretilen Aljinat kompozit filme ait SEM görüntüleri	37
Şekil 4.6 Üretilen Aljinat kompozit filme ait EDS sonuçları	37
Şekil 4.7 Üretilen Alg/Tur Kompozit Filme ait SEM görüntüleri.....	38
Şekil 4.8 Üretilen Alg/Tur kompozit filme ait EDS sonuçları	38
Şekil 4.9 Üretilen Alg/ZnO Kompozit Filme ait SEM görüntüleri	39
Şekil 4.10 Üretilen Alg/ZnO kompozit filme ait EDS sonuçları.....	39
Şekil 4.11 Üretilen Alg/Tur ₂₅ /ZnO ₇₅ kompozit filme ait SEM görüntüleri.....	40
Şekil 4.12 Üretilen Alg/Tur ₂₅ /ZnO ₇₅ kompozit filme ait EDS sonuçları	40
Şekil 4.13 Üretilen Alg/Tur ₅₀ /ZnO ₅₀ kompozit filme ait SEM görüntüleri.....	41
Şekil 4.14 Üretilen Alg/Tur ₅₀ /ZnO ₅₀ kompozit filme ait EDS sonuçları	41
Şekil 4.15 Üretilen Alg/Tur ₇₅ /ZnO ₂₅ kompozit filme ait SEM görüntüleri.....	42
Şekil 4.16 Üretilen Alg/Tur ₇₅ /ZnO ₂₅ kompozit filme ait EDS sonuçları	42
Şekil 4.17 Üretilen kompozit filmlerin XRD kırınım desenleri	43
Şekil 4.18 Ca-Alg'ın FTIR Spekturumu	44
Şekil 4.19 Alg/ZnO kompozit filmine ait FTIR spektrumu	44
Şekil 4.20 Alg/Tur kompozit filmine ait FTIR spektrumu	45

Şekil 4.21 Alg/Tur ₅₀ /ZnO ₅₀ Kompozit filmine ait FTIR spektrumu.....	45
Şekil 4.22 Alg/Tur ₂₅ /ZnO ₇₅ kompozit filmine ait FTIR spektrumu	46
Şekil 4.23 Alg/Tur ₇₅ /ZnO ₂₅ kompozit filmine ait FTIR spektrumu	47
Şekil 4.24 %1 Tur ve ZnO katkılı filmlerin E. Coli 'ye karşı inhibisyon zonları	48
Şekil 4.25 %1 Tur ve ZnO katkılı filmlerin S.Aureus'a karşı inhibisyon zonları.....	48
Şekil 4.26 %2 Tur ve ZnO katkılı filmlerin E. Coli'ye karşı inhibisyon zonları	49
Şekil 4.27 %2 Tur ve ZnO katkılı filmlerin S. Aureus' a karşı inhibisyon zonları	49
Şekil 4.28 %2 Tur ve ZnO katkılı filmlerin E. Faecalis' a karşı inhibisyon zonları	50
Şekil 4.29 %6 Tur ve ZnO katkılı filmlerin E. Coli'ye karşı inhibisyon zonları	50
Şekil 4.30 %6 Tur ve ZnO katkılı filmlerin P. Aeruginosa 'ya karşı inhibisyon zonları	50
Şekil 4.31 %6 Tur ve ZnO katkılı filmlerin S. Aureus 'a karşı inhibisyon zonları.....	51
Şekil 4.32 %6 Tur ve ZnO katkılı filmlerin E. Faecalis 'e karşı inhibisyon zonları.....	51
Şekil 4.33 UV-C uygulanmaksızın eklenen katalizörlerin giderme verimine etkileri ...	53
Şekil 4.34 Zamana bağlı olarak alınan numuneler ve giderme verimleri.....	53
Şekil 4.35 30 dakikalık adsorpsiyon desorpsiyon uygulaması ve ardından UV-C sonrasında giderim verimlerinin karşılaştırılması.....	54
Şekil 4.36 Üretilen kompozit filmlerin su buharı iletim hızları	57

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1 Derinliklerine, kirlenme durumlarına ve doğal iyileşme sürelerine göre yaralar	5
Tablo 3.1 Film Oluşumu için kullanılan malzemelerin molekül ağırlıkları ve yoğunlukları	24
Tablo 4.1 Üretilen kompozit filmlerin kalınlıkları.....	32
Tablo 4.2 Alg, Alg/Tur ₅₀ /ZnO ₅₀ , Alg/Tur ₇₅ /ZnO ₂₅ filmlere ait çekme mukavemeti sonuçları.....	34
Tablo 4.3 Fotokatalitik oksidasyon denemelerinde MB giderme verimleri (250 mL, 10 mg/L MB çözeltisi, 0,25 g katalizör, doğal pH:5,2, 670 nm).....	52
Tablo 4.4 Kinetik değerlendirme	55
Tablo 4.5 Kinetik değerlendirme ve reaksiyon hız katsayıları	56

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

μm	Mikrometre
mm	Milimetre
nm	Nanometre
rpm	Dakikadaki devir sayısı
ml	Mililitre
g	Gram
sa	Saat
t	Zaman
Å	Angström
°C	Santigrat derece
pH	Potansiyel hidrojen
A	Alan
MPa	Megapaskal
N	Kuvvet
w:v	Ağırlık:hacim
g/cm^3	Yoğunluk
g/mol	Molekül ağırlığı
W_0	Filmin kuru ağırlığı
W_S	Filmin yaş ağırlığı

Kısaltmalar

Ag	Gümüş
Al	Alüminyum
B	Baryum
C	Karbon
Ca	Kalsiyum
Cd	Kadmiyum
Cl	Klor
Co	Kobalt
Cu	Bakır
Cr	Krom

Fe	Demir
Ga	Galyum
Hg	Cıva
K	Potasyum
Li	Lityum
Mo	Molibden
Mn	Manganez
Na	Sodyum
Ni	Nikel
O	Oksijen
Pb	Kurşun
Sb	Antimon
Sr	Stronsiyum
Te	Tellür
Zn	Çinko
Alg	Aljinat
Tur	Turmalin
CS	Kitosan
CA	Selüloz asetat
GO	Grafen oksit
rGO	İndirgenmiş grafen oksit
PCL	Polikaprolakton
PEO	Polietilenoksit
PLA	Polilaktikasit
PU	Poliüretan
PVA	Polivinilalkol
TPU	Termoplastik poliüretan
CaCl ₂	Kalsiyum klorür
MgO	Magnezyum oksit
NaOH	Sodyum hidroksit
NaCl	Sodyum klorür
SiO ₂	Silisyum dioksit
TiO ₂	Titanyum dioksit

ZnO	Çinko oksit
AgNP	Gümüş nanopartikül
ZnONP	Çinko oksit nanopartikül
UV	Ultraviyole
MB	Metilen mavisi
g-C ₃ N ₄	Grafit karbon nitrür
MoO _{3-x}	Molibden trioksit
TBBPA	Tetrabromobisfenol
Ca-PGA	Kalsiyum poli (γ -glutamik asit)
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
EDS	Enerji Dispersiv Spektrum
XRD	X-Işını Difraksiyonu Yöntemi
FTIR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
XPS	X-ışını fotoelektron spektroskopisi
WVTR	Su buharı iletim hızı

1. GİRİŞ

Günümüzde tıbbi uygulamalar için biyomalzemelerin araştırılması ve kullanılması bireylerin yaşam kalitesinin iyileştirilmesinde önemli bir yer üstlenmektedir (Pitpisutkul ve Prachayawarakorn 2022). Biyomalzemeler belirli bir süre ile birlikte vücudun herhangi bir bölgesinin iyileşmesinde veya kuvvetlenmesinde yararlanılan doğal veya sentetik materyallerdir. Biyomalzemeler yapıldıkları malzeme türüne göre seramik, kompozit, polimer ve metal olarak sınıflandırılırlar (Ajmal, Athar Hashmi ve Imran 2022). Bu malzemeler doku mühendisliği, biyoloji, kimya ve malzeme bilimi gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Aynı zamanda her alanda olduğu gibi tıbbi uygulamalarda da kullanılacak olan malzemelerin biyoyumlu olması önemli bir husustur. Biyomalzemelerin vücut dokuları ile bütünleştiğinde malzeme etrafındaki çevre dokulara zarar vermemesi, iltihaplanma, enfeksiyon, alerjik reaksiyon gibi olumsuz tepkilere sebebiyet vermeden çevre dokular ile bütünleşme durumuna biyoyumluluk denir (Mateu-Sanz vd 2023). Bilim insanları tarafından biyomalzeme ve biyoyumluluk üzerine son yıllarda artan sayıda çalışma devam etmektedir.

Birçok araştırmacı deneysel ve teorik çalışmalarla yarıiletken grubuna ait kompozit yapıda filmlerin ayrıcalıklı özelliklerini araştırmaktadır. Polimerik kompozit filmler, fonksiyonel malzemelerin önemli bir türünü oluşturmaktadır. Kendi kendini temizleyen polimerik film/membranlar çevre dostu malzemelerin gelişmekte olan bir ürünü olarak kabul edilmektedir. Kendi kendini temizleyebilen film/membranların fotokatalitik etkinliklerinin artırılması kirlenme önleyici özelliklerinin iyileştirilmesi için uygulanabilir bir teknolojidir.

Yüksek temin edilebilirlik seviyesi, ekonomik ve çevre dostu bir fotokatalizörün araştırılması ve/veya geliştirilmesi küresel enerji ve çevre sorunlarının çözümlenebilmesinde oldukça önemlidir. Yarıiletken metal oksitlerden Titanyumdioksit (TiO_2) ve Çinko oksit (ZnO) kendi kendini temizleme, birçok kirlenme önleyici maddeyi giderme yeteneği, çevre dostu ve yüksek verimlilikleri nedeniyle fotokatalitik malzeme olarak kullanılan en yaygın fotokatalizörlerdir. Bu fotokatalitik etkiye sahip malzemeler, polimerler gibi farklı malzeme türlerine takviye edilerek çeşitli kompozitler oluşturulabilmektedir (Besra vd., 2023; Kang vd., 2013).

1.1. Tezin Amacı

Bu tez çalışması ile Aljinat (Alg) biyopolimeri içerisine Turmalin (Tur) ve Çinko Oksit (ZnO) partikülleri ilave edilerek, üretilecek olan kompozit yapıların in vitro düzeyde antibakteriyel ve fotokatalitik etki başta olmak üzere özelliklerinin incelenmesi ve yara örtüsü uygulamalarında kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bununla birlikte, üretilecek olan film yüzeyler (solvent cast) çözelti döküm tekniğinde çözücü buharlaştırma yerine koagülasyon çözeltisi ilave edilerek film yüzeylerin üretimi sağlanacaktır.

1.2. Tezin Hedefleri

Çalışmanın amaçlandığı şekilde gerçekleştirilebilmesi için belirlenen hedefler aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- ZnO ve Tur partikül boyutlarının tane boyut analizi yöntemi ile belirlenmesi.
- Alg çözeltilerin hazırlanması ve içerisine sadece Tur, sadece ZnO ve Tur/ZnO partiküllerinin farklı oranlarda (25/75; 50/50; 75/25) ilave edilmesi.
- Hazırlanan çözeltilerin petri kabı içerisine dökülmesi ve ortama %1'lik CaCl_2 çözeltisi verilerek film yüzeylerin oluşumunun sağlanması.
- Elde edilen filmlerin kalınlıklarının mikrometre ile ölçülmesi.
- Elde edilen filmlerin tuzlu su ile temas ettiğinde şişme davranışı sergilemesi.
- Elde edilen filmlerin su buharı geçirgenlik değerlerinin ölçülmesi.
- Elde edilen filmlerin mekanik (çekme testi) dayanımlarının test edilmesi.
- Elde edilen filmlerin FTIR spektogramlarında aljinata ait piranoz halkasının iskelet titreşimini ve karboksilat anyonunun asimetric gerilme titreşimini ifade eden piklerin tespit edilmesi.
- Genel itibari ile ZnO bulunduran filmlerin FTIR spektogramlarında Zn-O bağının gerilme modundan kaynaklanan tipik IR absorpsiyon zirvesinin tespit edilmesi.
- Genel itibari ile Tur bulunduran filmlerin FTIR spektogramlarında ise turmalinin yapıdaki varlığının ispatı olarak B-O bağına ve Si-O bağına ait piklerin tespit edilmesi.
- XRD paternlerinde ZnO ve turmalin tozlarına ait spesifik piklerin tespit edilmesi.
- Elde edilen filmlerin morfolojik (SEM) ve elemental (EDS) ve karakterizasyonlarının gerçekleştirilmesi, EDS analizinde çinko oksit ve turmalinin

yapısında varolan elementlerin yapı içinde tespit edilmesi ve %'ce miktarlarının belirlenmesi.

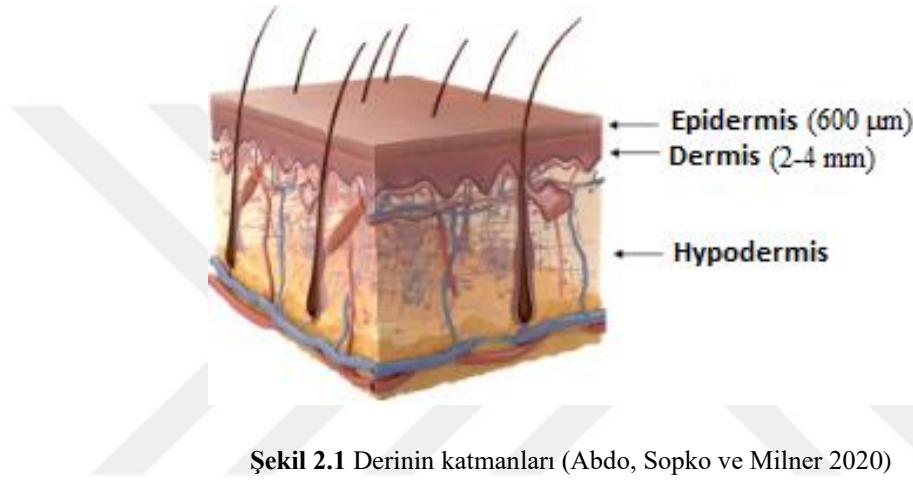
- Elde edilen film yapıların seçilen gram negatif (*Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853) ve gram pozitif (*Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212) bakterilere karşı antibakteriyel etki sergilemesi.
- Elde edilen filmlerin fotokatalik etkiye sahip olması.



2. LİTERATÜR

2.1. Deri

Bilindiği üzere deri, tüm vücudu kaplayan ve dış etkenlere karşı koruyan ilk koruma tabakası olup aynı zamanda vücudun en büyük organıdır. Bireylerde vücut ağırlığının yaklaşık %15'ini oluşturur. Bu nedenle, vücudun mikroorganizmalara karşı korunmasında oldukça önemli bir yere sahiptir. Ek olarak yaralanmalara, bakteriyel enfeksiyonlara ve diğer komplikasyonlara karşı duyarlıdır (Juncos Bombin, Dunne ve McCarthy 2020).



Deri, Şekil 2.1’de görüldüğü gibi üç katmandan oluşmaktadır. Bunlar, 600 µm kalınlığa kadar olan damarlanmamış kısım epidermis, 2-4 mm kalınlığında bağ dokusundan oluşmuş dermis ve deri ile iskeletin tutunmasını sağlayan yağlı bağ dokusundan oluşmuş hipodermis şeklindedir (Juncos Bombin, Dunne ve McCarthy 2020).

2.2. Yara ve Türleri

Herhangi bir nedenle deri ve doku bütünlüğünün bozulması yara olarak tanımlanmaktadır. Yaralar, doğal iyileşme sürelerine, derinliklerine ve kirlenme durumlarına göre sınıflandırılmaktadır. Yaralara ait yapılan genel sınıflandırma Tablo 2.1’de verilmiştir. Derinliklerine göre yaralar açık veya kapalı, kirlenme durumlarına göre yaralar temiz, kontamine-temiz, kontamine-kirli veya kirli, doğal iyileşme sürecine ve süresine göre yaralar ise akut ve kronik olmak üzere alt sınıflandırmalara tabidir. Ezilme, burkulma, çıkık gibi nedenle cilt bütünlüğünün tamamıyla bozulmadığı yaralara “kapalı yaralar”, kesik, batma, delinme gibi nedenlerle meydana gelen cilt bütünlüğünün

bozulmuş olduğu yaralara “açık yaralar” denilmektedir. Zaman içerisinde bu yaraların birbirinin yerini alması söz konusu olabilir. Örneğin yatalak hastalarda ilk etapta oluşan kapalı yaraların ilerleyen süreçte açık yaraya dönüşme potansiyeli oldukça yüksektir (Baktır 2019). İyileşme durumu ve süresine göre akut ve kronik olarak yapılan sınıflandırmada “akut” terimi belirli bir süre içerisinde yara iyileşme aşamalarını tamamlayan ve normal anatomik ve işlevsel bütünlüğüne geri dönebildiği yaraları ifade ederken “kronik” terimi ise iyileşmesi için çok daha uzun sürelere ihtiyaç duyulan, altta yatan bir hastalık nedeniyle yara iyileşme süreçlerinin kesintiye uğraması ile normal anatomik ve işlevsel bütünlüğün sağlanamadığı yaralardır. Bu yaraların tekrar tekrar oluşmaları söz konusu olabilir (Baktır 2019; Öztaş 2021).

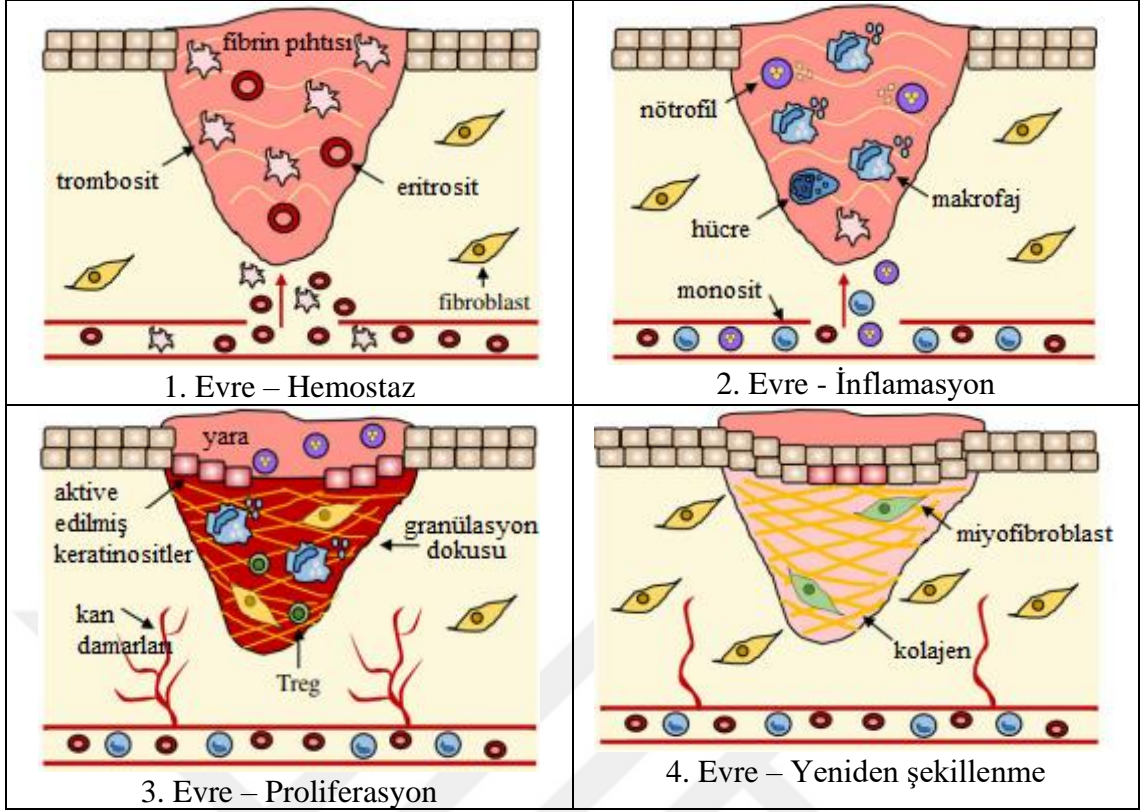
Tablo 2.1 Derinliklerine, kirlenme durumlarına ve doğal iyileşme sürelerine göre yaralar

Yaraların Sınıflandırılması	
Derinliğine göre	<ul style="list-style-type: none"> ● Açık yaralar ● Kapalı yaralar
Kirlenme durumuna göre	<ul style="list-style-type: none"> ● Temiz yaralar ● Kontamine-Temiz yaralar ● Kontamine-Kirli yaralar ● Kirli yaralar
İyileşme süresine göre	<ul style="list-style-type: none"> ● Akut yaralar ● Kronik yaralar

Yukarıda bahsi geçen yara iyileşme aşamaları dört aşamalı bir süreç olup hemostaz, inflamasyon, proliferasyon ve yeniden şekillenme evrelerinden oluşmakta (Visha ve Karunagaran 2019) olup bu evrelerin gösterimi Şekil 2.2’de verilmiştir.

Hemostaz evresi iyileşmenin başladığı evredir. Bu evrede meydana gelen pıhtılaşma sayesinde aşırı kanama, dehidratasyon ve enfeksiyonun engellenmesi sağlanır.

Çok kısa sürede gerçekleşir. Bu nedenle bazı kaynaklarda yara iyileşme sürecine dahil edilmez. İkinci aşama olan inflamasyon evresinin yaralanmanın gerçekleştikten sonraki 4-6 gün sürdüğü kabul edilir. Proliferasyon evresi, inflamasyon evresinin bitişi ile başlar ve yaklaşık iki hafta kadar sürer. Bu evrede granülasyon dokusu gelişir ve epitelizasyon tamamlanır.



Şekil 2.2 Yara iyileşme aşamaları/evreleri (Wilkinson ve Hardman 2023)

Son evre yeniden modellenme/şekillenme olarak bilinir ve bir yıla kadar devam eden süreci kapsar. Yara iyileşme sürecinde fazlar çoğunlukla iç içe geçmiş halde gerçekleşir ve başlama ve bitişleri net olarak belirlenemez (Öztaş 2021). Yara iyileşmesi için gerekli olan, bu süreçlerin doğru zamanlaması ve en kısa sürede birbirini izlemesidir (Homaeigohar ve Boccaccini 2020). Sürecin bu şekilde gerçekleştiği yaralar, hızla iyileşme gösteren akut yaralardır. Kronik yaralarda ise iyileşme süreci ya çok uzun zamanlar alır ya da hiç gerçekleşmez.

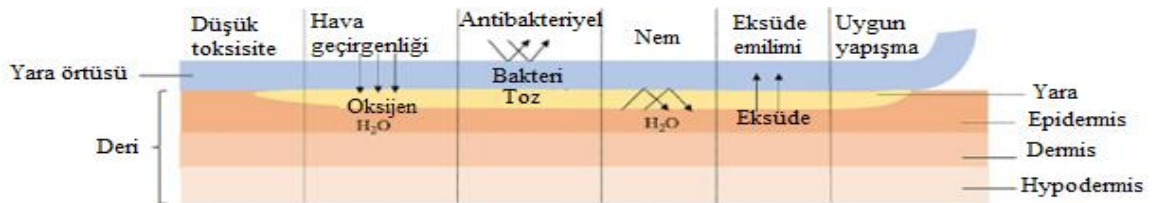
2.3. Yara Örtüleri ve Genel Özellikleri

Bir önceki alt bölümde bahsedildiği üzere bozulan deri bütünlüğünün tekrar sağlanması yani iyileşme süreci yaranın durumuna göre oldukça uzun zamana ihtiyaç duyabilir. Yaranın tedavi edilme süresi boyunca hijyenik koşulların sağlanması, yaranın dış etkilerden korunması ve iyileşme sürecine engel teşkil edebilecek durumların oluşmaması için kullanılan yapılara “yara örtüsü” denilmektedir. Yara bakımı, global pazarda oldukça önemli bir yere sahip olmakla birlikte, 2023 yılında 21,5 milyar dolar değerinde olduğu tahmin edilmekte olup 2028 yılına kadar 28,6 milyara ulaşması

beklenmektedir (https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/wound-care-market-371.html).

Travma, yanık yaraları veya cerrahi nedene bakılmaksızın tüm açık yaralar bakteriyel enfeksiyona eğilimlidir. Bu yüzden yara enfeksiyonunun ve tedavisinin kontrolü oldukça önemlidir. Gazlı bez ve pamuk gibi geleneksel yara örtüsü malzemeleri, ekonomik ve uygulama kolaylıkları sebebiyle yaranın korunması ve örtülmesi için sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak bu pansumanlar, yara dehidrasyonu ve buna bağlı olarak doku yapışmasına neden olabilmektedir. Biyoaktivite yetersizlikleri sebebiyle yara iyileşmesini yavaşlatmakta ve enfeksiyon riskini artırmaktadır. Dolayısıyla, enfekte yaralar için yeni yara örtü malzemelerinin geliştirilmesi vazgeçilmez bir ihtiyaçtır.

Deri bütünlüğünün bozulma durumuna bağlı olarak farklı büyüklük, derinlik ve eksüdaya sahip çok farklı tip yara çeşidi bulunduğundan tüm yaralar için kullanılabilen tek bir ideal yara örtüsü oluşturmanın mümkün olamayacağını söylemek yanlış olmayacaktır. Ancak tüm yara örtülerinde bulunması beklenen bazı ortak özellikler vardır ki bunların başında yara örtüsünün toksik, yapışkan ve alerjik olmaması gibi hususlar gelmektedir (Nozari vd., 2021). Yara örtüsü için kullanılan malzemelerin, yaranın ciddi enfeksiyonlardan korunması amacıyla dayanıklı ve düşük toksisitede olması, hücrelerin ihtiyaç duyduğu oksijeni sağlayabilmek için hava geçirgen olması, bakteri ve toz partiküllerinin yaraya temasını engellemek için antibakteriyel özellikte olması, iyileşme süreci için gerekli olan nemi koruması, fazla eksüdayı yaradan uzaklaştırması, yaraya sadece örtme amaçlı temas etmesi ve travmatik durum yaratacak şekilde yaraya aşırı yapışmaması gibi özelliklere sahip olması beklenmektedir (Şekil 2.3). Bu amaçla uzun yıllardır yara örtüleri üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle doğal antimikrobiyal yara örtüsü malzemeleri biyoyoumluluk, toksik olmama ve hidrofilitiklik gibi avantajlı özelliklerinden dolayı araştırmacıların ilgisini çekmektedir (Thomas vd., 2020).



Şekil 2.3 İdeal bir yara örtüsünün farklı işlevlerinin şematik gösterimi (Yuan vd., 2023)

Yara örtüleri birçok farklı malzemedan üretilebilmektedir. Bunlar polisakaritler, selüloz türevleri, aljinat, kitosan, jelatin, poliüretan ve kolajen gibi çeşitli malzemeler

olabilmektedir. Üretildikleri malzemelere ve üretim yöntemlerine göre birden fazla yara örtüsü tipi bulunmaktadır: filmler, köpük pansumanlar, fiber pansumanlar, üç boyut baskılı kompozit pansumanlar ve hidrojeller şeklinde sınıflandırılabilir (Homaeigohar ve Boccaccini 2020; Kaya ve Derman 2023). 1962 yılında, George Winter tarafından yapılan deneysel çalışma ile yara ortamının neminin korunması ile yeniden epitelizasyon ve yara kapanma sürelerinin kısaldığı ve genel yara iyileşme sürecinin hızlandığı sonucuna varılmış ve bu önemli bilgi literatürde yerini almıştır (Winter George vd., 1962). Bir yıl sonra, Winter ve Scales havaya maruz bırakılarak kuruyan ve nemli tutulan iki yara arasında meydana gelen iyileşme sürecini inceledikleri çalışmada, hava ile temas eden yaranın üzerinde oluşan kabuğun dehidrasyon nedeniyle dermisin yüzeysel bir bölümünü içerdiğini çünkü epidermisin, hücrelerin yaşaması için yeterli nemin bulunduğu susuz kalmış fibröz dokunun altına göç ettiği ancak hücrelerin yaşaması için yeterli nemin sağlandığı durumda ise epidermisin, dermis yüzeyinin üzerine doğru hareket ettiği ve epidermisin göçünün, fibröz dokudan geçmeye zorlandığı zamankinden iki kat daha hızlı olduğu ifade edilmiştir (Winter George ve Scales 1963). Ayrıca, yara yüzeyinin nemli tutulmadığı durumlarda, aşırı kuruma nedeniyle yara örtüsünün yaraya yapıştığı, bunun da yara örtüsü değişimi sırasında yaranın tahrişine sebep olarak iyileşme sürecini olumsuz yönde etkilediği yönünde görüşler bulunmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında, yara örtüsünün nemli bir ortam sağlayabilmesi adına Alg polimeri seçilmiş olup Tur ve ZnO partikülleri ile takviye edilerek kompozit film formunda üretildiğinden tezin devamında polimerik kompozitler, Alg, Tur ve ZnO üzerine yoğunlaşmıştır.

2.4. Polimerik Nanokompozit Malzemeler

Birbirlerinden farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip iki ya da daha fazla malzemenin bir araya getirilmesiyle oluşturulan yeni malzemelere kompozit malzeme denilmektedir. Kompozit malzemeler, matris ve takviye olarak tanımlanan iki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilmesiyle oluşturulur. Kompozitteki takviye malzemesinin görevi matrisin özelliklerini güçlendirmek/geliştirmektir. Takviye malzemesi genellikle partikül veya lif formundadır. Matris malzemesi ise üretilen son ürünün matris türüne göre polimer, metal, seramik, parçacık ve fiber takviyeli kompozitler olarak sınıflandırılabilirler (Ahmad vd., 2019). Kompozit bileşimindeki matris ya da takviye malzemelerinden herhangi birisi nano boyutta ise nihai ürün nanokompozit malzeme olarak tanımlanır. Kompozitler mühendislik malzemelerinde

önemli bir yer almaktadır ve havacılık, tıp, otomotiv, inşaat ve gıda sanayisi gibi çeşitli alanlarda kullanım potansiyeline sahiptir.

Polimerik nanokompozitler ise genellikle parçacık takviyeli olarak üretilen ve kullanılan takviye malzemesinin en az bir boyutunun nano düzeyde olduğu polimer matrisli kompozitlerdir. Öngörülen uygulama alanına ve beklenen kompozit malzeme özelliklerine göre çok farklı polimerler, çok farklı takviyeler ile birlikte üretilerek birçok yönden üstün özelliklere sahip nanokompozit yapılar elde edilebilmektedir. Polimerik nanokompozitlerin en çok kullanıldığı alanlardan bir tanesi de yara iyileştirme ve yara örtüsü uygulamalarıdır. Bu amaçla, genellikle biyoyumlu polimer matrise, genellikle grafen, Ag, ZnO gibi iletken ve antibakteriyel nano malzemelerin takviye edilmesiyle oluşan polimer nanokompozitler, gelişmiş özellikleri nedeniyle yara örtüsü ve yara iyileşmesi uygulamalarında ilgi görmüştür.

2.4.1 Antibakteriyel Etkiye Sahip Polimerik Nanokompozit Çalışmaları

İdeal bir yara örtüsünde bulunması gereken temel özellikler arasında önceki bölümlerde detaylı bahsedildiği gibi antibakteriyel, biyobozunur ve iyileşme sonrası kolayca çıkarılabilir olması gibi özellikler yer almaktadır. Ek olarak alerjik ve toksik olmamalıdır. Yara pansuman biyomalzemelerinin çoğunluğu yine antimikrobiyal malzemeler ile kombinasyonu sonucu oluşturulmaktadır. Çevre dostu ve doğal özellikleri nedeniyle polimer matrisli kompozitler araştırmacılar tarafından yüksek ilgi görmektedir. Biyopolimer temelli yara örtüsü malzemeleri, yara eksüdalarını emebilmekte, yaranın dehidrasyonunu önleyebilmekte ve oksijenin yara ile temasını sağlayabilmektedir. Nanomalzemelerin, özellikle büyük yüzey alanına sahip olmaları nedeniyle birçok yönden makro boyuttaki benzerlerine göre özelliklerinin çok daha üstün olduğunun ispatlanmasından hemen sonra nanomalzemeler, malzeme bilimi içerisindeki yerini çok hızlı bir şekilde almış ve birçok uygulama alanında kullanım bulmuştur. Antibakteriyel polimerik nanokompozitlerin üretimi ve yara örtüsü olarak kullanımı da bunlardan sadece biridir.

Alven vd., gerçekleştirdikleri çalışmada, diyabet yaralarının iyileşme sürecindeki zorluklardan bahsederek bu yaraların yanlış tedavi edildiği durumda amputasyonla sonuçlanabildiğine dikkat çekmiştir. Hali hazırda kullanılan malzeme ve tekniklerin zayıf antimikrobiyal özellikler, nem sağlayamama, zayıf mekanik özellikler, zayıf biyolojik parçalanabilirlik ve düşük biyoyumluluk gibi sebepler nedeniyle uygun ve yeterli

olmadığını belirtmişlerdir. Zayıf mekanik özelliklerin üstesinden gelmek için, polimer bazlı yara pansumanları tasarlanmıştır. Biyoaktif ajanların veya ilaçların polimer bazlı yara örtülerine yüklenmesi, diyabetik yaraların tedavisinde kullanıldığında iyi antibakteriyel veya antioksidan aktivite gibi iyileştirilmiş terapötik sonuçlara yol açabildiğinin ifade edildiği çalışmada, klinik öncesi deneylerde polimer bazlı yara pansumanlarının diyabetik yaralar üzerindeki olağanüstü performansına dayanarak, yara pansuman malzemelerinin diyabetik yara üzerindeki in vivo ve in vitro terapötik sonuçları incelenmiştir (Alven vd., 2022).

Yara iyileştirme uygulamaları için nanokompozit bir malzemenin üretildiği çalışmada, Ag nanoparçacıkları (AgNP'ler) imidazol bazlı gözenekli bir organik polimere (IM-POP) kapsüllenecek yeni bir antibakteriyel ajan (IM-POP-Ag) geliştirilmiştir. Organik polimer, ucuz ve endüstriyel olarak büyük miktarlarda üretilen imidazol-2-karbaldehit ve melaminin katalizörsüz Schiff temelli kimyasal kopolimerizasyonu yoluyla sentezlenmiş ve ağırlıkça %26,01 AgNP yüklemiştir. Sonuç olarak, üretilen IM-POP-Ag nanokompozit malzemenin hem *Staphylococcus aureus*'a (*S. aureus*) hem de *Escherichia coli*'ye (*E. coli.*) karşı sinerjistik bir antibakteriyel aktivite sergilediği ifade edilmiştir. Üretilen nanokompozit malzemelerin ayrıca in vivo fare deneyleri ile enfekte yaraların iyileşme oranını önemli ölçüde destekleyebildiği, damar ve kıl folikülünün büyümesini kolaylaştırarak epitelizasyonu hızlandırabildiği belirtilmiştir (Luo vd., 2022).

Önce kitosan (CS) içeren gözenekli yapıda polimerik yüzeylerin hazırlandığı, daha sonra hazırlanan CS yüzeylerin Ag/ZnO çözeltisi içerisine daldırılarak kitosan-Ag/ZnO kompozit yapıların üretildiği bir çalışmada, elde edilen potansiyel yara örtüleri ilaca duyarlı ve ilaca dirençli patojenik bakterilere karşı gözeneklilik, şişme, kan pıhtılaşması ve in vitro antibakteriyel aktivite testleri ile değerlendirilmiş olup yara iyileşmesi ile ilgili in vivo fare deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak, üretilen kitosan-Ag/ZnO kompozit yapıların yüksek gözeneklilik, şişme, gelişmiş kan pıhtılaşması ve antibakteriyel aktivite gösterdiği, yara iyileşmesini arttırdığı, yeniden epitelizasyonu ve kollajen birikimini desteklediği ifade edilmiştir. In vitro olarak gerçekleştirilen sitotoksikite testlerinde ise çok düşük toksik doğası tespit edilmiştir (Lu vd., 2017).

Avcı ve Gergeroğlu, Türkiye'deki dokuz çeşit bitki ekstraktının polikaprolakton (PCL), termoplastik poliüretan (TPU), polilaktik asit (PLA), selüloz asetat (CA), polivinil alkol (PVA) ve kitosan (CS) polimerleri ile uyumunu ve elektro lif çekim prosesi ile antimikrobiyal özelliklere sahip nanomatlar üretmeyi amaçladıkları çalışmalarında, bitki

ekstraktı olarak antibakteriyel ve iyileştirici ajanlar bulundurduğu tespit edilen sarı kantaron (*Hypericum perforatum*, HP), koyun otu (*Agrimonia eupatoria*, AE) ve mercimek otu (*Satureja hortensis*, SH) bitki ekstraktlarını nanomat üretimi için uygun bulmuşlardır. Elektro lif çekim yöntemi ile üretilen kompozit nanomatların *Staphylococcus aureus* (S. aureus) ve *Pseudomonas aeruginosa*'a (P. aeruginosa) karşı antibakteriyel aktivitesi değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, hem bitki ekstrakt-polimer uyumu hem de antibakteriyel özelliği en iyi olan kompozit yapının TPU/SH olduğu ifade edilmiştir. Üretilen TPU/SH kompozit nanomatlar, antibakteriyel özelliklerinin yanı sıra hava geçirgenliği, morfolojik ve kimyasal özellikleri bakımından da değerlendirilmiştir (Avcı ve Gergeroglu 2019).

Çinko oksit (ZnO) nanopartiküllerinin polivinil alkol (PVA) polimer çözeltisi içerisine takviye edilerek elektro lif çekim yöntemiyle nanolifli kompozitlerin üretildiği bir başka çalışmada, üretilen nanolifli kompozitler, X-ışını kırınımı (XRD), fourier-transform kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ve alan emisyon taramalı elektron mikroskobu (FESEM) dahil olmak üzere yapısal ve morfolojik analiz teknikleriyle karakterize edilmiş, gözeneklilik ve şişme özellikleri incelenmiştir. Ayrıca antibakteriyel ve sitotoksisite testlerinin yanı sıra farelerde in vivo yara iyileştirme deneyleri yapılmıştır. Test ve analiz sonuçları doğrultusunda, ZnO nanopartiküllerinin PVA matris yapısı içerisinde iyi bir dağılım gösterdiği, üretilen PVA/ZnO nanolifli kompozitlerin *S. aureus* ve *E. coli*'ye karşı 250 ve 62,5 µg/mL inhibitör konsantrasyonu (MIC) ile antibakteriyel aktivite sergilediği, in vivo çalışmalar ile PVA/ZnO kompozit nanofiberlerin yara iyileştirme özelliklerini hızlandırdığı ifade edilmiştir (Norouzi vd., 2021).

Polivinilalkol (PVA), kitosan (CS), grafen oksit (GO) ve çinko oksit (ZnO) içeren antibakteriyel kompozit hidrojel filmlerin çözelti döküm yöntemi ile üretildiği çalışmada, kompozit içerisinde nanoboyuttaki dolgu malzemelerinin dağılımını ve kompozit hidrojel filmlerin özelliklerini incelemişlerdir. Bu amaçla, taramalı elektron mikroskobu-enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (SEM-EDX), X-ışını difraktometresi (XRD), Fourier dönüşümü kızılötesi (FTIR), atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ve Raman analizi ile karakterizasyon yanında elektro-iletkenlik, antimikrobiyal aktivite, hemostatik yetenek ve biyouyumluluk gibi özellikleri incelenmiştir. Tüm polimer örnekleri için fiziko-kimyasal ve iletkenlik çalışmaları yapıldı. Çalışmada polimer matris olarak PVA/SC kullanılmış olup GO ve ZnO nano-dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Kompozit filmlerin iyi bir antibakteriyel etkinlik, minimum hemolitik aktivite ve daha iyi

trombojenite sergilendiği ancak sitotoksosite sergilemediği, nano dolgu konsantrasyonu artıkça olumlu özelliklerin de arttığı, dolayısıyla daha yüksek partikül konsantrasyonuna sahip kompozitin, elektro-iletkenlik, antimikrobiyal aktivite, hemostatik yetenek ve biyouyumluluk özellikleriyle yara örtüsü uygulamaları için kullanılmaya uygun olduğu sonucuna varılmıştır (Unnikrishnan vd., 2023).

Bagheri vd, yara iyileşmesini hızlandırmanın yanı sıra antibakteriyel etki de gösterebilen yara örtüsü elde etmek için gerçekleştirdikleri çalışmada, polimer olarak (CS)/polietilen oksit (PEO), takviye malzemesi olarak ise çinko oksit nanopartiküller (ZnONP) ve gümüş nanopartiküller (AgNP) kullanmıştır. Elektro lif çekimi ile nanolifli yüzeyler şeklinde üretilen potansiyel yara örtüsünün *Staphylococcus aureus*, *Escherichiacoli* ve *Pseudomonas aeruginosa*'ya karşı yüksek bir antioksidan etki ve antibakteriyel aktivite sergilediği, fibroblast hücreleri üzerinde herhangi bir sitotoksosite göstermediği, pıhtılaşma süresinin etkilerine göre iyi kan uyumluluğu gösterdiği ve sonuç olarak üretilen AgNP/ZnONP takviyeli CS/PEO nanolifli matların biyouyumlu, antioksidan ve antibakteriyel olması nedeniyle etkili bir yara pansumanı olma potansiyeli barındırdığı ifade edilmiştir (Bagheri vd., 2022).

Elektro lif çekim yöntemi ile nanolifli yüzey olarak yapılan bir başka üretimde, katkı malzemesi olarak süper hidrofilik ve antibakteriyel özelliklere sahip Turmalin (Tur) nanopartikülleri, (NP'leri), matris yani taşıyıcı olarak da Poliüretan (PU) polimeri kullanılmıştır. PU polimer çözeltisi içerisine ağırlıkça %1, %3 ve %5 oranlarında Tur NP'leri ilave edilerek nanolifli kompozit yüzeyler elde edilmiştir. Yapılan test ve değerlendirmeler neticesinde, %3 oranında Tur barındıran filmlerin saf PU filme nazaran gerilme mukavemetinde %75 ve modülünde %87'lik bir artış olduğu tespit edilmiştir. Tur içeren tüm filmleri saf PU filme nazaran daha hidrofil olduğu ancak en yüksek hidrofilitenin 13° temas açısı ile ağırlıkça %5 Tur bulunduran filmler olduğu belirtilmiştir. Üretilen filmlerin bakterilere karşı aktiviteleri değerlendirildiğinde ise Tur/PU nanolifli kompozit yüzeylerde, Tur miktarının artmasıyla hem seçilmiş Gram-negatif bakteri (*Escherichia coli*) hem de seçilmiş Gram-pozitif bakteri (*Enterococci*) için yüksek bölge inhibisyonu tespit edilmiştir. Sonuç olarak üretilen Tur/PU yüzeylerin hem sağlık tekstili hem de su filtreleme alanında kullanılabileceği ifade edilmiştir (Tijing vd., 2012).

Cilt yenilenmesi için potansiyel yara örtüsü olabileceği ifade edilen Turmalin/Kitosan (Tur/CS) kompozit liflerin, yaş lif çekim yöntemiyle 200-300 µm

çaplarında başarıyla üretildiği bir çalışmada, Tur parçacıklarının CS matris içinde eşit şekilde dağılarak düzgün bir kompozit lif yapısı elde edildiği ve CS'nin kristallinitesindeki azalma dışında kayda değer bir değişiklik olmadığı belirtilmiştir. In vitro sitotoksikite testleri için, L929 hücreleri kompozit lifler üzerine kültürlenmiş ve sonuç olarak Tur/CS kompozit liflerin, L929 hücrelerinin bağlanması ve yayılması için en umut verici bir matris olduğu ve cilt yenilenmesi için potansiyel yara örtüsü olarak kullanılabileceği ifade edilmiştir (Zhao vd., 2015). Yara iyileştirme uygulamalarına yönelik yapılan benzer bir çalışmada, kitosan (CS) polimeri içerisine turmalin (Tur) partiküllerinin takviye edilmesi ile Tur/CS kompozit film yapıları geliştirilmiştir. Yapılan optik mikroskop, kızılötesi spektrum ve X-ışını kırınımı analizleri ile Tur partiküllerinin CS filmde düzgün bir şekilde dağıldı, CS'nin kristalliliğinin azalması dışında yapısında önemli bir değişiklik olmadığı, Tur partiküllerinin CS matrisine 0, 1/40 ve 1/10 oranlarında yüklenmesiyle hazırlanan Tur/CS kompozit filmlerde, 1/40 kütle oranına sahip Tur/CS kompozit filmin hücre yapışmasını ve çoğalmasını desteklediği ifade edilmiştir. In vitro sitotoksikite testleri için, L929 hücreleri kompozit lifler üzerine kültürlenmiş ayrıca bu filmler domuz tam kat yanık yaralarında in vivo olarak test edilmiştir. Dermisin en hızlı yenilenme sürecinin 1/40 kütle oranına sahip Tur/CS filmlerle gerçekleştiği belirtilmiş ve üretilen filmlerin yara iyileşmesi ve cilt dokusu mühendisliği uygulamalarında kullanılabileceği vurgulanmıştır (Zou vd., 2017).

2.4.2 Fotokatalitik Etkiye Sahip Polimerik Nanokompozit Çalışmaları

Fotokatalizör kelimesi ultraviyole (UV) ışık ile aktifleşen ve kuvvetli bir oksitleyici ortam oluşturan yarı iletken malzemeler için kullanılan genel bir isimdir. Bu malzemelerin en önemli özelliği temas halinde olduğu yüzeyde bulunan bakteri ve organik bileşikler, oluşturduğu bu kuvvetli oksit ortam sayesinde kolaylıkla uzaklaştırılabilmesidir (Keleş Güner 2023). Bu nedenle, kendi kendini temizleyen malzemeler olarak da bilinmektedir. Fotokatalizör etki gösterebilen birçok malzeme bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; titanyum dioksit (Özkan, 2023), çinko oksit (Widiyandari, Ketut Umiati ve Dwi Herdianti 2018), tungsten trioksit (Dutta vd., 2021), demir (III) oksit (Cao vd., 2020; Al-Musawi vd., 2023), galyum arsenit (Rouzhahong vd., 2020; Xu vd., 2022) gibi yarıiletkenlerdir. Mevcut tez çalışmasında kullanılan ZnO ve Tur'un fotokatalitik özellik gösterdiğine ilişkin çalışmalar da literatürde yer almaktadır.

ZnO nanopartiküllerinin oluşumunun grafen oksit (GO) indirgenmesi ile eş zamanlı olarak gerçekleştirildiği yeni bir tek adımlı fotokimyasal yöntemle üretilen ZnO/indirgenmiş GO (rGO) nanokompozitlerin, UV ve görünür ışık altında metilen mavisini (MB) degrades etme durumunun incelendiği çalışmada, nanokompozitin yapısı ve kalitesi, X-ışını kırınımı, Fourier dönüşümü kızılötesi (FT-IR) spektroskopisi, Raman spektroskopisi ve X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) ile değerlendirilmiştir. Sonuç olarak verimli, çevre dostu ve uygun maliyetli tek adımlı fotokimyasal yöntemle sentezlenen ZnO/rGO nanokompozitin MB'ye karşı yüksek fotodegradasyon performansı sergilediği, rGO'nun dahil edilmesinin ZnO'nun fotodegradasyon verimliliğini büyük ölçüde arttırdığı ifade edilmiştir (Xue ve Zou 2018).

Çinko oksit (ZnO)'in gümüş (Ag) ile birlikte kullanıldığı bir çalışmada, Ag/ZnO sentezi için çinko nitrat, hexamethylenetetramine ve gümüş nitrat başlangıç malzemeleri ile basit bir hidrotermal yaklaşımla hazırlanmış ve hazırlanan kompozitler XRD, SEM, EDX ve XPS ile karakterize edilmiştir. Gümüş nitrat ilavesinin ZnO'nun boşluk konsantrasyonunu ve yüzey hidroksil konsantrasyonunu azalttığı ifade edilmiş, Ag/ZnO'nun fotokatalitik aktivitesi Rodamin B'nin fotokatalitik bozunması ile test edilmiştir. Yapılan inceleme ve değerlendirmeler sonucunda, kompozitlerin Ag içeriğinin fotokatalitik aktivite üzerindeki etkisinin Ag içeriğinin ağırlıkça %3,8 olduğunu durumda optimum olduğu belirtilmiştir (J. Xu vd., 2008).

Fotokatalitik ajan olarak TiO_2/ZnO 'in kullanıldığı bir çalışmada, elektro lif çekim yöntemi ile çapları 85-200 nm aralığında olan TiO_2/ZnO kompozit nanolifler şeklinde üretilmiştir. Çalışma kapsamında öncelikle TiO_2 /çinko asetat/selüloz asetat kompozit nano lifleri üretilmiş daha sonra 0,1 mol/L NaOH sulu çözeltisi ile muamele edilerek $TiO_2/Zn(OH)_2$ /selüloz kompozit nano liflerine dönüştürülmüştür. Son olarak hidroliz edilen kompozit lifler 500 ve 700 °C'de 5 saat kalsine edilerek TiO_2/ZnO kompozit nanolifler elde edilmiştir. Elde edilen kompozit nanolifler ayrıntılı şekilde karakterize edilmiş olup Rodamin B ve fenolün ayrışmasına yönelik fotokatalitik aktivitesi araştırılmıştır. Sonuç olarak, Rodamin B'nin neredeyse %100, fenol'ün ise %85'inin TiO_2/ZnO kompozit nanofiberlerin varlığında ayrıştığı, en verimli fotokatalitik aktivitenin TiO_2/ZnO içindeki ZnO miktarının ağırlıkça %15,76 olduğu ifade edilmiştir (Liu vd., 2010).

Basit hidrotermal yöntemle üretilen titanyum dioksit/çinko oksit (TiO_2/ZnO) kompozit yapıların fotokatalitik özelliği, Rodamin B'nin su çözeltilerinden görünür ışık

altında giderimi üzerinden değerlendirildiği çalışmada, üretilen TiO_2/ZnO kompozit fotokatalizörlerin görünür ışık altında Rodamin B'nin foto bozunumuna karşı iyi bir stabilite gösterdiği belirtilmiştir (Qin vd., 2019). Tek adımlı bir hidrotermal yöntem kullanılarak Rodamin B için yeni bir fotokatalizörün geliştirildiği çalışmada, turmalinin yüzeyi grafit karbon nitrür ($g-C_3N_4$) ile kaplanmış ve oksijen boşluğu bulunduran molibden trioksit (MoO_{3-x}) plazmonik olarak $g-C_3N_4$ 'e tutturulmuştur. Elde edilen $MoO_{3-x}/g-C_3N_4/Tur$ 'in, Rodamin B için görünür ışık altında neredeyse %100 giderme verimliliği sunduğu belirtilmiştir (Zheng vd., 2021).

Kendiliğinden kalıcı kutuplara sahip Turmalin (Tur) mineralinin TiO_2 ile birlikte sol-jel yöntemiyle hazırlandığı çalışmada, üretilen Tur- TiO_2 kompozit yapılar taramalı elektron mikroskobu, X-ışını kırınımı ve nitrojen adsorpsiyon-desorpsiyon analizi ile karakterize edilmiş ve fotokatalitik aktivitesi tetrabromobisfenol A'nın (TBBPA) bozunması ile değerlendirilmiştir. Yapıya turmalin ilave edilmesinin TiO_2 'nin kristalit boyutlarını arttırdığı, Tur- TiO_2 kompozitlerinin TBBPA'nın bozunması üzerindeki etkisinin TiO_2 ile karşılaştırıldığında mükemmel fotokatalitik aktivite sergilediği, optimum etkinin ise Tur- TiO_2 kompoziti içindeki Tur miktarının %20 olduğu durum olduğu belirtilmiş ve kendiliğinden kalıcı kutuplara sahip mineralin TiO_2 'ye dahil edilmesi ile fotokatalitik etkide artışa neden olduğu ifade edilmiştir (Li vd., 2017).

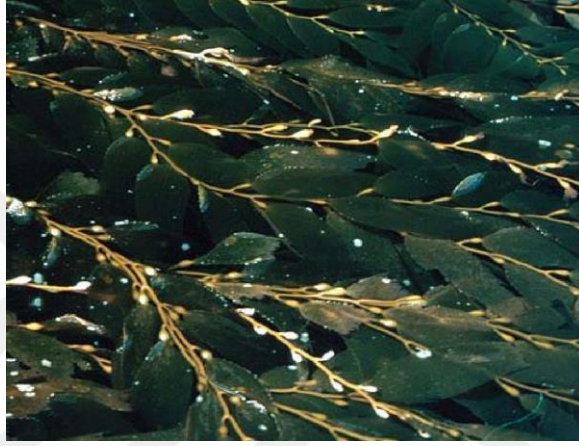
ZnO ve Tur'in birlikte yer aldığı bir çalışmada ise, ZnO/Tur kompozitini sentezlemek için çökeltme-hidrotermal yöntem kullanılmıştır. Üretilen ZnO/Tur kompozitinin metilen mavisinin (MB) bozunmasına karşı göstermiş olduğu fotokatalitik etki, ZnO ile karşılaştırılmış ve sonuç olarak ZnO/Tur'un MB bozunmasına karşı önemli ölçüde gelişmiş fotokatalitik aktivite gösterdiği, kompozit varlığında birbirini takip eden beş fotokatalitik reaksiyon döngüsünden sonra bozunma oranının %90,8'inin korunduğu tespit edilmiştir. Kendiliğinden kalıcı kutuplara sahip ve toprakta bol miktarda bulunan Tur mineralinin ZnO'un fotokatalitik etkisini artırdığı, bu nedenle fotokatalitik alanda potansiyel uygulamaya sahip olduğu belirtilmiştir (Yu vd., 2019).

2.5. Aljinat

Aljinat polimeri, antimikrobiyal etkinliği, biyolojik olarak parçalanabilirliği ve jel oluşturu özellikleri nedeniyle yara örtüsü uygulamalarında yaygın olarak tercih edilen malzemelerden birisidir. Aljinat polimerine ek olarak yara örtüsü malzemelerinin klinik uygulamalarda uygulanabilirliğini artırmak için kitosan, karboksimetilselüloz, aloe vera,

jelatin, kolajen gibi diğer polimerlerle kompozit yapılar oluşturarak, çeşitli mikrobiyal dirençli yara örtüleri geliştirilmesinde kullanılmaktadır (Varaprasad vd., 2020).

Aljinat, kahverengi deniz yosunlarından (*Phaeophyceae*) elde edilen bir biyomalzemedir ve doğada bol miktarda bulunmaktadır (Şekil 2.4). Bu sebeple aljinat bazlı sürdürülebilir ve yenilikçi biyomalzemeler tasarlamak için önemli bir potansiyele sahiptir. Farklı malzemelerle takviye edilmiş aljinat matrisli kompozitleri oluşturmak, kimyasal ve biyokimyasal yöntemlerin kullanılmasıyla birlikte aljinatın, hidrofilik, viskozite, çözünürlük gibi temel özellikleriyle mümkün olabilmektedir (Pawar ve Edgar 2012).



Şekil 2.4 Kahverengi deniz yosunu

Doğal ve antimikrobiyal yara örtüsü uygulamalarında en yaygın olarak kullanılan ve araştırmacıların ilgisini çeken materyallerin başında Aljinat biyopolimeri gelmektedir (Abou-Okeil vd., 2018; Koga vd 2020; Sikareepaisan, Ruktanonchai ve Supaphol 2011). Yara eksüdasını emme ve nemli bir ortam oluşturma, hidrofiliklik, doku uyumu, toksik olmama, biyobozunurluk gibi yara bakım sürecini hızlandıracak üstün özelliklere sahiptir. Aljinat bu özelliklerinin yanı sıra ekonomik, çevre dostu ve ulaşılabilir olmasıyla da dikkat çekmektedir. Filmler ve hidrojeller gibi aljinat bazlı yara jenerasyonu çalışmaları için tercih edilen bir malzemedir. (Summa vd., 2018; Türe 2019; Zhang vd., 2021). Bu özelliklerinden dolayı yara örtüsü çalışmalarında en çok kullanılan malzemelerden biri olan aljinat üzerine farklı katkı maddeleri eklenerek ve farklı yöntemlerle geliştirilen yara örtüleri çalışmaları halen devam etmektedir.

Thomas ve arkadaşlarının çalışmasında yara bakımı ve uygulamaları için sodyum aljinat bazlı Aljinat/Aloevera ve Aljinat/Aloevera/Selüloz nano-kristal filmleri solvent döküm tekniği ile hazırlanmıştır. Geliştirilen filmin morfolojik, mekanik, şişme,

antibakteriyel, hücre canlılığı ve yara iyileştirici özellikleri değerlendirilmiştir. Üstün biyouyumluluk, iyi mekanik özellikler, üstün antibakteriyel özellikler ve toksik olmaması Aljinat/Aloe vera/ Selüloz nano-kristal filmini yara iyileştirme uygulaması için uygun hale getirdiği ifade edilmiştir (Thomas vd., 2020). Ambrogi ve arkadaşlarının çalışmasında silika destekli gümüş nanopartiküller içeren aljinat filmler hazırlanmış ve karakterize edilmiştir. Filmlerin iyi hidrasyon ve çok yavaş gümüş salınımı gösterdiği, antimikrobiyal ve antibiyofilm aktiviteleri sergilediği ifade edilmiştir (Ambrogi vd., 2020).

Türe'nin 2019 yılında gerçekleştirdiği çalışmada Sodyum Aljinat ve Jelatin'in ağırlık oranı değiştirilerek ve değişen konsantrasyonlarda hidroksiapatit dahil edilerek sodyum aljinat-jelatin kompozit filmler hazırlanmıştır. Elde edilen filmlerin şişme ve bozulma davranışı, mekanik özellikleri, antimikrobiyal ve termal özellikleri ve morfolojileri incelenmiştir. Hazırlanan filmlerden model ilaç olarak seçilen tetrasiklin hidroklorürün salınımı incelenmiştir. Filmlerin şişme davranışlarının incelenmesi, filmlerdeki aljinat ve hidroksiapatit miktarları arttıkça su tutma kapasitelerinin azaldığını göstermiştir. Çözelti bozunma çalışması, filmlerin sudaki stabilitesinin aljinat ve hidroksiapatit miktarı arttıkça arttığını göstermiştir. SEM analizi, yüksek aljinat içeriğine sahip filmlerin daha kompakt bir yapıya sahip olduğunu ve filmlerdeki Hidroksiapatit miktarı arttıkça filmlerin yüzeyinin daha pürüzlü hale geldiğini göstermiştir. Filmlerin mekanik özellikleri hidroksiapatit miktarı Aljinat/Jelatin oranından etkilenmiştir. Artan aljinat ve hidroksiapatit miktarları, ilk 15 dakika içinde filmlerden alınan model ilacın azalmasına neden olduğu ifade edilmiştir (Türe 2019).

Huang ve Yang tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, sodyum aljinat hidrojel kalsiyum poli (γ -glutamik asit) (Ca-PGA) ile çapraz bağlanmıştır. Elde edilen hidrojel filmlerin hidrofiliğini, şişme testleri, su tutma kapasitesi testleri ve su buharı geçirgenlik testleri ile değerlendirilmiştir. Aljinat/Ca-PGA'nın şişme oranı, su tutma kapasitesi ve su buharı iletim hızı Ca-Aljinat'tan daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Nemli yara iyileşmesi için Aljinat/Ca-PGA'nın hızlı buharlaşmasını önlemek için iyi sıvı tutma sergilediği ve Aljinat/Ca-PGA hidrojelinin gerilme mukavemeti, Ca-Aljinattan daha düşük olduğu ifade edilmiştir (Huanga ve Yanga 2010).

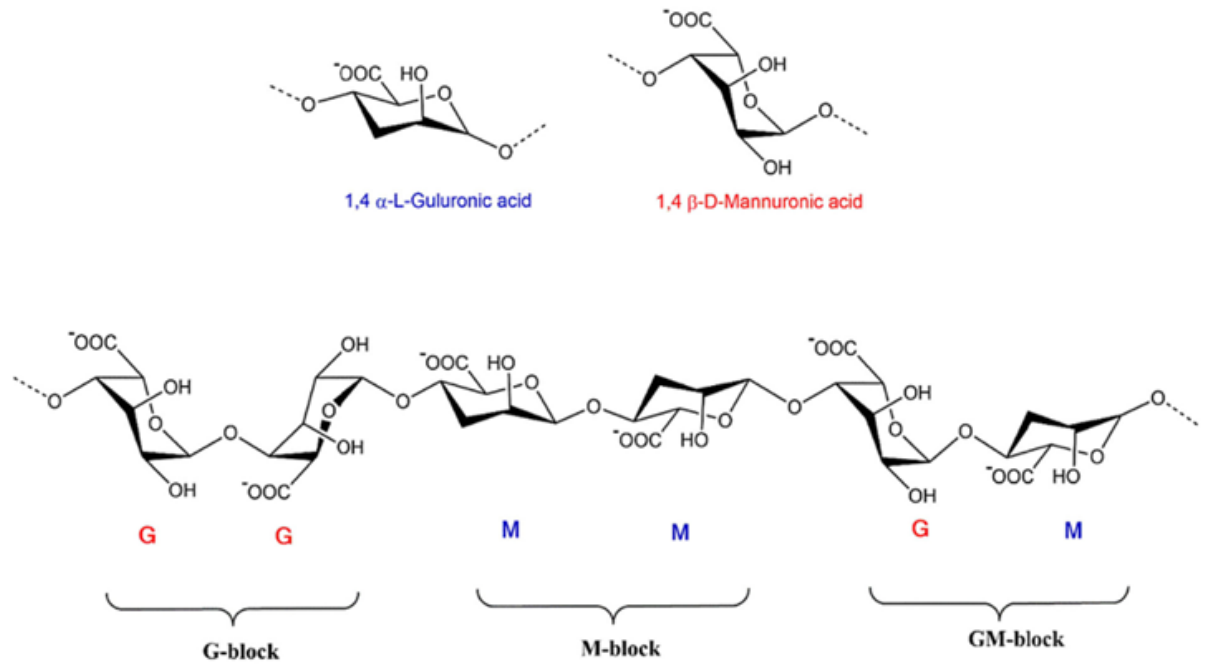
Summa ve arkadaşlarının çalışmasında sodyum aljinat matrisli ve antiseptik ajan povidon iyota (PVPI) dayanan kompozit bir yara örtüsü sunulmuştur. Bu filmin geliştirilmesi olası toksisitesinin üstesinden gelen kontrollü bir salınımına izin vermek için

aljinat bazlı polimerlerde PVPI'nın kapsüllenmesine dayanmaktadır. Geliştirilen materyal, aljinatların mükemmel yara iyileştirici özelliklerini PVPI'nın bakterisit ve mantar öldürücü özellikleriyle birleştirerek kontrollü bir antiseptik salım sağladığı bildirilmiştir. Sodyum Aljinat/PVPI filmleri iyi bir biyoyumluluk, biyorezorpsiyon gösterdiği, yara iyileşmesini desteklediği, inflamatuvar reaksiyonları hafiflettiği ve hidroksprolini artırdığı ifade edilmiştir (Summa vd., 2018).

Detaylı literatür taramasından anlaşıldığı üzere aljinat, birçok özelliği ile yara örtüsü uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bir polimer olmuştur. Aljinat polimerinin sağladığı özelliklerin artırılması ve/veya yeni özellikler ile geliştirilebilmesi için yara örtüsü uygulamalarında farklı katkı maddeleri takviye edilerek (örn: Cu iyonları (S. Wang vd., 2021), Aloe-vera (Koga vd., 2020), çinko oksit (Motelica vd., 2021), Ag@MOF-loaded kitosan nanoparçacıklar (M. Zhang vd., 2021)) önemli sayıda çalışma literatürde mevcuttur.

2.5.1 Aljinatın Kimyasal Yapısı

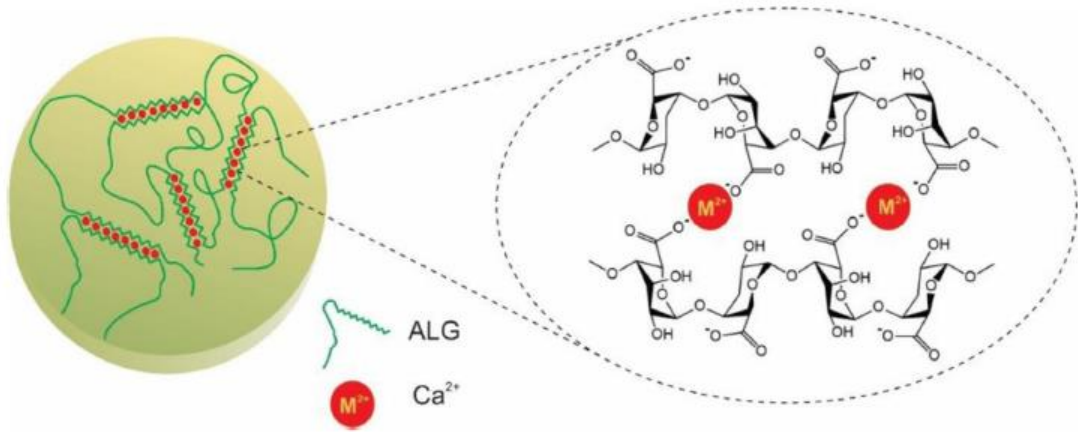
Aljinat, kahverengi deniz yosunlarından elde edilen ve doğal olarak oluşan bir polisakkarittir. β -D(1-4)-Mannuronik Asit (M) α -L(1-4)-Guluronik Asit (G) monomerlerinden oluşur. Kompozisyonu, homojen [(G) ve (M)] veya heterojen (MG) yapıların blok halinde bir yerleşimidir (Makarova vd 2023; Zarei ve Hassanzadeh-Tabrizi 2023) (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Aljinat biyopolimerinin kimyasal yapısı (Zarei ve Hassanzadeh-Tabrizi 2023)

2.5.2 Jelleşme ve Film Oluşturma Etkinliği

Aljinatın en önemli fiziksel özelliği, Ca^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} ve Co^{2+} gibi iki değerlikli metallere takviyesiyle çapraz bağlanarak jelleşme ve film üretme özelliği göstermesidir (Zarei ve Hassanzadeh-Tabrizi 2023). Genellikle kalsiyum (Ca^{2+}), aljinat hidrojeni ve filmi oluşturmak için en sık kullanılan katyondur ve CaCl_2 en iyi alternatiflerden birisidir. Sodyum aljinat suda çözünmesine rağmen, sodyumun Ca^{2+} ile yer değiştirmesi ile birlikte aljinat suda çözünmez hale gelir. Bu da kalsiyum iyonlarının Aljinat'ın bitişik guluronik asit zincirlerini birbirine bağlayan boşluklarda bulunduğu Şekil 2.6'da ki gibi bir 'yumurta kutusu modeli' oluşturan iyonik çapraz bağlanmalara dayandırılmaktadır (Azeredo vd., 2012).



Şekil 2.6 Yumurta Kutusu Modeli (Abasalizadeh vd., 2020)

Yukarıda bahsedildiği gibi biyolojik olarak parçalanabilen ve doğal bir polisakkarit olma özelliği ile çevre dostu bir malzeme olan aljinat, film oluşturma özelliğine sahiptir. Aljinat filmlerin en belirleyici özelliği ortamdaki iyonların miktarına göre fiziksel, kimyasal ve mekanik olarak geri dönüştürülebilir yani tersinir yapılar oluşturmalarıdır. Başka bir deyişle suda çözülebilen aljinat filmi iki değerlikli katyon çözeltilerine banyolama tekniği (daldırma-çıkarma) ile rahatlıkla suda çözünmeyen yani suya dayanıklı bir forma dönüştürülebilmektedir. Suda çözünmeyen örneğin Ca-Aljinat film yapıları tuz solüsyonları ile banyolama yapıldıklarında önceki suda çözülebilen hallerine dönüşebilmektedirler (Tezcan, 2008).

Aljinat filmler nadiren tek başına kullanılmaktadır. Bir veya birden fazla bileşen eklenerek kompozisyonun geliştirilmesi ve/veya iyileştirilmesi sağlanabilir.

2.6. Çinko Oksit (ZnO)

Antibakteriyel özelliklerinden dolayı tercih edilen malzemeler arasında birçok metal nano partikül bulunmaktadır: Ag, Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Hg, Mo, Mn, Ni, Pb, Sb, Te, Zn. Bunlar sensörlerde, elektronik devrelerde, yakıt hücrelerinde, katalizörlerde ve antimikrobiyal malzemeler başta olmak üzere birçok farklı alanlarda kullanılmaktadır (Qi vd., 2017; Song vd., 2020).

Yara örtüsü üretiminde, antibakteriyel etkinliğin artırılması amacıyla TiO₂, SiO₂, ZnO, MgO gibi metal oksitler çeşitli biyopolimerler gibi birçok malzeme ile kombine edilerek kullanılabilir. Bu metaloksitlerden biri olan çinko oksit (ZnO) yeryüzünde bol miktarda bulunmaktadır. Suda çözünmeyen, asidik ortamda çözünen beyaz renkli bir tozdur. 1975 °C erime noktasına sahiptir. Ulaşılabilir, ekonomik, toksik olmayan ve biyolojik olarak uyumlu parçacıklar olmaları nedeniyle avantajlı konumdadır. Antibakteriyel aktivitesi sayesinde gıda paketlenme malzemeleri üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Gudkov vd., 2021; Mirzaei ve Darroudi 2017; Rajivgandhi vd., 2022; Sathiyaseelan vd., 2023). Bununla birlikte fotokatalitik, optik ve elektriksel aktiviteleri ZnO'nun diğer önemli avantajlarından bazılarıdır (Mansouri, Sheikholeslami ve Behzadmehr 2019; Mirzaei ve Darroudi 2017; Qi vd., 2017).

2021 yılında gerçekleştirilen ve ZnO'in antibakteriyel özellikleri üzerine yazılan literatürün değerlendirildiği bir çalışmada, ZnO nanoparçacıklarının önemli antibakteriyel potansiyele sahip olduğu, kullanılan sentez yöntemine, kimyasal modifikasyona tabi tutulup tutulmamasına, yapıda başka nanomalzemeler bulunup bulunmamasına, nanoparçacıkların fiziksel ve morfolojik özelliklerine bağlı olarak ZnO'in antibakteriyel özelliklerinin değiştirilebileceği ifade edilmiştir ve ZnO nanoparçacıklarının umut verici yeni nesil bir antimikrobiyal ajan olarak düşünülebileceği vurgulanmıştır (Gudkov vd., 2021).

Literatürdeki Emami-Karvani ve Chehrazi tarafından ZnO nanopartiküllerin gram-pozitif (*Staphylococcus aureus* PTCC 1431) ve gram-negatif (*Escherichia coli* PTCC 1399) bakterilere karşı göstermiş olduğu antibakteriyel durumun incelendiği çalışmada, artan ZnO nanoparçacıklarının konsantrasyonuna bağlı olarak büyüme inhibisyonunun da arttırıldığı görülmüştür. İnhibisyon zonunun boyutunun ise bakteri tipine, ZnO nanopartiküllerinin boyutuna ve konsantrasyonlarına göre farklılık gösterdiği tespit edilmiştir (Zarrindokht Emami-Karvani 2012).

Gong vd., tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada sodyum aljinat, kitosan ve çinko oksit nano partikülleri olmak üzere üç bileşenden oluşturulmuş biyofilm sentezine yöneliktir. İlgili çalışmada gözenek oluşturma yetenekleri için kitosan ve aljinat, antibakteriyel aktivite için ise çinko oksit kullanıldığı ifade edilmiştir. Önerilen filmin mikroskopik ve spektroskopik analizlerinde biyofilmin oluşumunun doğrulandığı belirtilmiştir. Dahil edilen çinko oksit nano partikülleri kitosan aljinat biyokompozit filmlerinin antibakteriyel aktivitesini oldukça arttırdığı ve çinko oksit nano partiküllerinin antimikrobiyal etkinliğini, yara rejenerasyonu için yüksek oranda destekleyebileceği ifade edilmiştir (Gong, Luo ve Pan 2019).

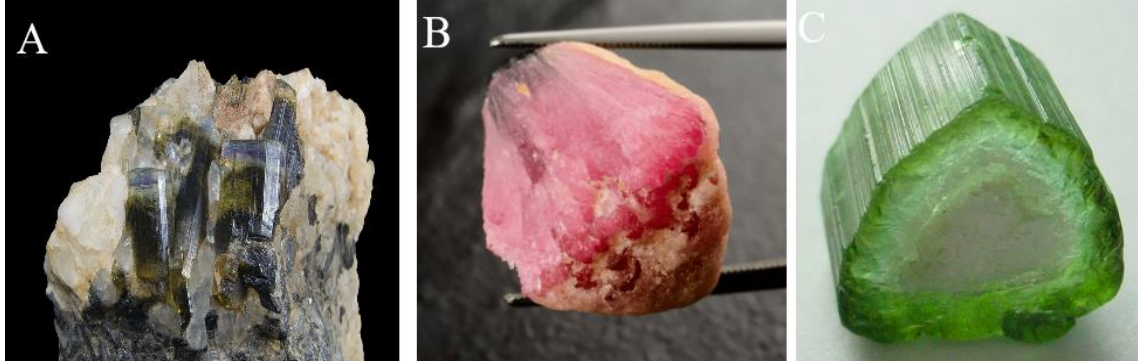
Varaprasad vd., nano çinko oksit içeren antibakteriyel selüloz lifleri ürettikleri çalışmada, nano çinko oksit çökeltme yöntemiyle sentezlenmiş ve sodyum aljinat matrisi ile selüloz lifleri üzerine empreyene edildiği belirtilmiştir. Aynı zamanda biyomedikal alanla yakından ilgisi nedeniyle sodyum aljinatın, sentezlenen nano çinko oksitin selüloz lifi üzerinde stabilizasyonu ve bağlanması için özellikle seçildiği de ifade edilmiştir. Çekme gerilimi-gerinim eğrileri verileri üretilen liflerin önemli bir hasar veya kırılma olmaksızın daha uzun süreli kullanım için fizibilitesini göstermiştir. Antibakteriyel çalışmalarla çinko oksit sodyum aljinat selüloz nanokompozit liflerin *E.coli* ye karşı mükemmel antibakteriyel aktivite gösterdiği ifade edilmiştir. Çinko oksit sodyum aljinat selüloz liflerinin bakteri eğilimli bölgede yara pansuman uygulamaları için antibakteriyel kumaşlar olarak kullanılabileceği ifade edilmiştir (Varaprasad vd., 2016).

2.7. Turmalin

Belirli bir kimyasal bileşime ve atomik içyapıya sahip, doğal olarak oluşan maddelere mineral denir. Mineraller çoğunlukla katı halde bulunurlar. Nadiren olsa da civa gibi sıvı halde olabilirler. Minerallerin herhangi bir parçası o mineralin bütün özelliklerini taşımaktadır. Ekonomik açıdan kıymetli olan mineraller maden olarak tanımlanmaktadır.

Çeşitli özellikleri nedeniyle farklı uygulamalara yönelik bilimsel çalışmalarda kendine yer bulmuş olan turmalin, yeryüzünde yaygın olarak bulunan minerallerden ve aynı zamanda en popüler taşlardan birisidir. Bor, alüminyum, sodyum, demir ve lityum elementleriyle birleştirilmiş silikat mineral grubuna ait polar kristalli bir malzemedir. Turmalinin kimyasal formülü $\text{NaR}_3\text{Al}_6[\text{Si}_6 \text{O}_{18}] (\text{BO}_3)_3(\text{OH})_4$ şeklinde yazılabilir. Magnezyum turmalin ($\text{R} = \text{Mg}$), demir turmalin ($\text{R} = \text{Fe}$), lityum turmalin ($\text{R} = \text{Li}$) ve

manganez turmalin ($R = Mn$) minerallerini içerir. (Hu ve Yang 2012). Turmalin doğada hidrofiliktir. Rengi ise yapısında yapısındaki bulunduğu elemente göre değişmektedir. Siyah, yeşil ve koyu pembe gibi renklere sahip turmalinler bulunmaktadır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 A: Siyah Turmalin B: Pembe Turmalin C: Yeşil Turmalin

Kendiliğinden yüzey elektrik alanına sahip olması, elektrik alanını koruma kapasitesi, negatif iyonları serbest bırakması ve antibakteriyel aktiviteye sahip olması turmalinin çarpıcı özellikleridir (Tijing vd., 2012). Geçtiğimiz yıllarda, turmalinin bu çarpıcı özellikleri araştırmacıların ve mühendislerin dikkatini çekmiş ve buna bağlı olarak literatürde çalışmalarda kullanılmıştır. İlgili çalışmalarda turmalinin farklı özellikleri arasında fotokatalitik aktivite (Kang vd., 2013), negatif iyon yayını (Hu ve Yang 2012), polar konfigürasyon nedeniyle piezoelektrik ve piroelektrik etki (Vatansever Bayramol, Ağırman ve Yıldız 2019; Xia ve Kang 2022) ve gelişmiş mekanik özellikler (Ary Subagia vd., 2014) yer almaktadır.

Zou vd., çalışmasında yara iyileştirme uygulamaları için turmalin/kitosan kompozit filmler geliştirilmiştir. Turmalin partiküllerinin kitosan matrisine farklı oranlarda (0, 1/40, 1/10) dahil edilmesiyle hazırlanan kompozit filmlerin yara iyileştirme özelliği araştırılmıştır. Kompozit filmler tam kalınlıktaki domuz yanık yaralarına nakledildiğinde, histolojik sonuçlar 1/40 kütle oranına sahip turmalin/kitosan kompozit filminin önemli ölçüde daha yüksek sayıda yeni oluşmuş ve olgun kan damarları ile en hızlı dermis yenilenmesine sahip olduğu ifade edilmiştir (Zou vd., 2017).

Tijing vd., çalışmasında, elektro lif çekim yöntemi ile poliüretan üzerine turmalin nano partikülleri süsleyerek poliüretan nano liflere işlevsellik kazandırılması amacıyla kompozit nano lifli matlar hazırlanmıştır. Turmalin nano partiküllerinin dekorasyonunun kompozit matların hidrofilikliğini iyileştirdiği ve poliüretanın ağırlığına göre ağırlıkça %5 turmalinli kompozit matta süper hidrofilik bir yüzeye ($CA:13^\circ$) ulaşıldığı ifade

edilmiştir. Saf poliüretan ile turmalin katkılı polüretan karşılaştırıldığında, turmalin katkılı kompozitin *E.coli* ve *Enterococci* bakterilerine karşı güçlü bir antibakteriyel aktivite sergilediği ve turmalinin antibakteriyel malzeme olarak yararlı olduğu ifade edilmiştir (Tijing vd., 2012). Ek olarak Qiu ve arkadaşlarının çalışmasında ise turmalinin gram negatif bakterilerinden *E.coli*'ye karşı antibakteriyel etkinliği araştırılmıştır. İlgili çalışmada 0, 4, 40, 80 ve 120 mg/ml konsantrasyonların da turmalin içeren bakteri kültürleri hazırlanmıştır. Sonuçlar, düşük konsantrasyonlu turmalinin bakteri çoğalmasını arttırdığı, yüksek konsantrasyonlu turmalinin ise *E.coli*'ye karşı engelleyici yönde etkisinin olduğu ifade edilmiştir (Qiu vd., 2011).

Bununla birlikte Sun vd., tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Turmalin üzerine yüzey kaplama tekniği ile ZnO nanoparçacıklar kaplanmış ve Turmalin/ZnO yapılar elde edilmiş, fotokatalitik özellikleri incelenmiştir. Çalışmada kontrol numunesi olarak ZnO kullanılmış ve yapıda turmalin kullanımının fotokatalitik etki üzerindeki etkisi incelenmiştir. Turmalin/ZnO yapıların fotokatalitik etkisinin ZnO'ya göre %9 oranında artırdığı ve organik kirleticileri daha hızlı degrades ettiği ifade edilmiştir (Sun vd., 2021). Bulgular 2018 yılında yapılan benzer bir başka çalışma ile örtüşmektedir (Fu vd., 2018). Turmalin ve ZnO'nun film formunda bir araya getirebileceği ise Guo ve arkadaşları tarafından 2015 yılında gerçekleştirilen çalışma ile ortaya konulmuştur (Guo vd., 2015). Buradan yola çıkarak ZnO'nun, film formunda üretilmesi planlanan Turmalin/Aljinat yapısına dahil edilmesi ile elde edilecek olan filmlerin antibakteriyel ve fotokatalitik etkilerinin Alg, Alg/ZnO ve Alg/Tur filmlerin ilgili özelliklerinden daha yüksek olacağı öngörülmektedir. ZnO'nun projeye dahil edilme amacı Alg ve/veya Alg/Tur ile üretilen yüzeylere kıyasla daha yüksek antibakteriyel etki ve daha yüksek fotokatalitik etki elde etmektir.

3. YÖNTEM

3.1. Kullanılan Malzemeler

Çalışmada kompozit film bileşimi için kullanılan başlıca malzemeler; Sodyum Aljinat, Çinko oksit (ZnO) ve Turmalindir. Sodyum Aljinat, Carlo Erba Reagents S.A.S. den temin edilmiştir. ZnO, laboratuvarımızdan temin edilmiştir. Turmalin, Shanghai HuZhengNano Teknoloji Şirketi tarafından temin edilmiştir. Film oluşumunda kullanılan koagülasyon çözeltisi için Kalsiyum Klorür (CaCl_2), Sigma-Aldrich şirketinden temin edilmiştir. Şişme testi esnasında kullanılan Sodyum Klorür (NaCl) Sigma-Aldrich şirketinden temin edilmiştir. Kullanılan malzemelerin molekül ağırlıkları ve yoğunlukları aşağıdaki Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1 Film Oluşumu için kullanılan malzemelerin molekül ağırlıkları ve yoğunlukları

Malzemeler	Molekül Ağırlığı (g/mol)	Yoğunluk (g/cm ³)
Aljinat	216,121	1,601
ZnO	81,406	5,1
Turmalin	1059,4	2.82–3.32
CaCl_2	110,98	2,15
NaCl	58,44	2,17

3.2. Kompozit Filmlerin Üretimi

Üretilmesi planlanan Alg, Alg/ZnO, Alg/Tur, Alg/Tur/ZnO filmler çözelti döküm tekniği ile hazırlanmıştır ancak çözelti uzaklaştırmak yerine ortama %1 ağırlık:hacim’lik CaCl_2 çözeltisi bırakılarak film tabakasının oluşması sağlanmıştır. Kontrol numunesi olarak kullanılmak üzere üretilen aljinat film yüzeyler ile sadece Tur katkısı içeren aljinat, sadece ZnO katkısı içeren ve Tur/ZnO partiküllerinin farklı oranlarda (25/75; 50/50; 75/25) ilave edildiği aljinat filmlere ait reçeteler aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Oluşan film yüzeylere ait görseller Şekil 3.1’de verilmiştir.

- **Aljinat (Alg) yüzey üretimi:** Bir beherde 100 ml deiyonize suya 2 g sodyum aljinat ilave edilerek oda sıcaklığında 60 dakika manyetik karıştırıcı kullanılarak çözülmüştür. Elde edilen çözülden 15 ml alınarak 160 mm çapında 4 mm kalınlığındaki bir cam yüzey üzerine dökülüp 100 rpm de 20 saniye döndürülerek homojen bir dağılım sağlanmıştır. Ardından ortama koagülant olarak CaCl_2 çözeltisi bırakılarak Aljinat yüzey halinde katılaşması sağlanmıştır.

- **Aljinat/Çinko Oksit (Alg/ZnO) yüzey üretimi:** Bir beherde 70 ml deiyonize suya 2 g sodyum aljinat ilave edilerek oda sıcaklığında 120 dakika manyetik karıştırıcı

kullanılarak çözülmüştür. Farklı bir beherde 30 ml deiyonize suya 1 g ZnO ilave edilerek oda sıcaklığında 15 dakika manyetik karıştırıcı kullanılarak dağıtılmıştır. Daha sonra bu iki karışım birleştirilerek oda sıcaklığında 60 dakika boyunca manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Elde edilen karışımdan 15 ml alınarak 160 mm çapında 4 mm kalınlığındaki bir cam yüzey üzerine dökülüp 100 rpm de 20 saniye döndürülerek homojen bir dağılım sağlanmıştır. Ardından ortama koagülant olarak CaCl₂ çözeltisi bırakılarak Alg/ZnO yüzey halinde katılaşması sağlanmıştır.

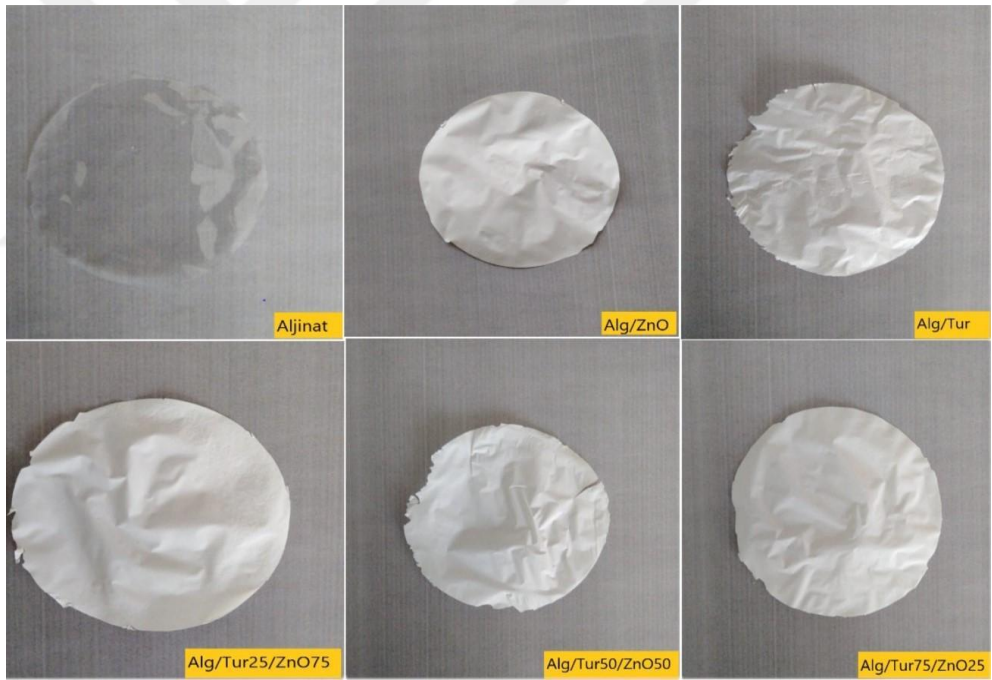
- **Aljinat/Turmalin (Alg/Tur) yüzey üretimi:** Bir beherde 70 ml deiyonize suya 2 g sodyum aljinat ilave edilerek oda sıcaklığında 120 dakika manyetik karıştırıcı kullanılarak çözülmüştür. Farklı bir beherde 30 ml deiyonize suya 1 g Tur ilave edilerek oda sıcaklığında 15 dakika manyetik karıştırıcı kullanılarak dağıtılmıştır. Daha sonra bu iki karışım birleştirilerek oda sıcaklığında 60 dakika boyunca manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Elde edilen karışımdan 15 ml alınarak 160 mm çapında 4 mm kalınlığındaki bir cam yüzey üzerine dökülüp 100 rpm de 20 saniye döndürülerek homojen bir dağılım sağlanmıştır. Ardından ortama koagülant olarak CaCl₂ çözeltisi bırakılarak Alg/Tur yüzey halinde katılaşması sağlanmıştır.

- **Aljinat/Turmalin/Çinko Oksit (Alg/Tur₇₅/ZnO₂₅) yüzey üretimi:** Bir beherde 70 ml deiyonize suya 2 gr sodyum aljinat ilave edilerek oda sıcaklığında 120 dakika manyetik karıştırıcı kullanılarak çözülmüştür. Farklı bir beherde 30 ml deiyonize suya 0,75 g Tur ve 0,25 g ZnO ilave edilerek oda sıcaklığında 15 dakika manyetik karıştırıcı kullanılarak dağıtılmıştır. Daha sonra bu iki karışım birleştirilerek oda sıcaklığında 60 dakika boyunca manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Elde edilen karışımdan 15 ml alınarak 160 mm çapında 4 mm kalınlığındaki bir cam yüzey üzerine dökülüp 100 rpm de 20 saniye döndürülerek homojen bir dağılım sağlanmıştır. Ardından ortama koagülant olarak CaCl₂ çözeltisi bırakılarak Alg/Tur₇₅/ZnO₂₅ yüzey halinde katılaşması sağlanmıştır.

- **Aljinat/Turmalin/Çinko Oksit (Alg/Tur₅₀/ZnO₅₀) yüzey üretimi:** Bir beherde 70 ml deiyonize suya 2 g sodyum aljinat ilave edilerek oda sıcaklığında 120 dakika manyetik karıştırıcı kullanılarak çözülmüştür. Farklı bir beherde 30 ml deiyonize suya 0,5 g Tur ve 0,5 g ZnO ilave edilerek oda sıcaklığında 15 dakika manyetik karıştırıcı kullanılarak dağıtılmıştır. Daha sonra bu iki karışım birleştirilerek oda sıcaklığında 60 dakika boyunca manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Elde edilen karışımdan 15 ml alınarak 16 cm çapında 4 cm kalınlığındaki bir cam yüzey üzerine dökülüp 100 rpm de

20 saniye döndürülerek homojen bir dağılım sağlanmıştır. Ardından ortama koagülant olarak CaCl_2 çözeltisi bırakılarak $\text{Alg/Tur}_{50}/\text{ZnO}_{50}$ yüzey halinde katılaşması sağlanmıştır.

• **Aljinat/Turmalin/Çinko Oksit ($\text{Alg/Tur}_{25}/\text{ZnO}_{75}$) yüzey üretimi:** Bir beherde 70 ml deiyonize suya 2 g sodyum aljinat ilave edilerek oda sıcaklığında 120 dakika manyetik karıştırıcı kullanılarak çözülmüştür. Farklı bir beherde 30 ml deiyonize suya 0,25 g Tur ve 0,75 g ZnO ilave edilerek oda sıcaklığında 15 dakika manyetik karıştırıcı kullanılarak dağıtılmıştır. Daha sonra bu iki karışım birleştirilerek oda sıcaklığında 60 dakika boyunca manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Elde edilen karışımdan 15 ml alınarak 160 mm çapında 4 mm kalınlığındaki bir cam yüzey üzerine dökülüp 100 rpm de 20 saniye döndürülerek homojen bir dağılım sağlanmıştır. Ardından ortama koagülant olarak CaCl_2 çözeltisi bırakılarak $\text{Alg/Tur}_{25}/\text{ZnO}_{75}$ yüzey halinde katılaşması sağlanmıştır.



Şekil 3.1 Aljinat matrisli üretilen kompozit filmler

3.3. Karakterizasyon Yöntemleri

3.2.1 Kalınlık Ölçümü

Üretilen kompozit filmlerin kalınlığı mikrometre kullanılarak ölçülmüştür. Filmler üzerinden bir tanesi merkezden olmak üzere toplamda beş farklı yerin ölçümünün ortalaması alınarak kalınlıklar mm cinsinden ölçülmüştür.

3.2.2 Kullanılan Katkılara ait Tane Boyut Analizi

Kompozit filmlerin üretilmesinde takviye malzemesi olarak kullanılan Tur ve ZnO malzemelerinin toz tane boyut dağılımının analizi Mastersizer 2000 marka lazer tane boyut ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

3.3.3 Çekme Testi

Üretilen kompozit filmlerin çekme mukavemetlerine ilişkin testler beş tekrarlı olmak üzere INSTRON 34C-1 marka Universal çekme test cihazı ile ASTM D1708-18 “Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics by Use of Microtensile Specimens” standardına göre gerçekleştirilmiştir. Bu standart daha çok plastik ve film yapılı malzemelerin çekme özelliklerinin belirlenmesinde tercih edilen standart olup numunede mikro gerilmeler uygulamaya olanak sunmaktadır.

3.3.4 Şişme Testi

Üretilen kompozit filmlerin su tutma kapasitelerinin (şişme oranı) değerlendirilmesi için üretilen biyo-kompozit filmlerden kesilen 20 mm x 20 mm ebatlarındaki numuneler, öncelikle 40°C de 24 sa kurutulmuştur ve ağırlıkları ölçülmüştür. Sonrasında filmler oda sıcaklığında 50 ml su içinde 0, 1, 3, 6 ve 24 saat bekletildikten sonra sudan çıkarılarak ağırlıkları tekrar ölçülmüştür (Türe 2019). Eşzamanlı olarak her biri üretime ait numuneler tuzlu su çözeltisinde (%1 ağırlık:hacim’lik NaCl) de bekletilip çıkartılarak, boyut ve ağırlıklarının ölçülmesi ile şişme ve su çekme kapasiteleri değerlendirilmiştir. Filmlerin şişme oranları Denklem (3.1) ile belirlenmiştir.

$$\% \text{ Şişme Oranı} = \frac{W_s - W_0}{W_0} \times 100 \quad (3.1)$$

Burada W_0 filmin kuru ağırlığıdır. W_s filmin yaş (50 ml su) ağırlığıdır.

3.3.5 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Üretilen kompozit filmlerin yüzey morfolojileri, normal veya optik mikroskop altında gözlemleyemeyeceğimiz yapıları veya detayları görmemize ve kayıt altına almamıza olanak sunan taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Numune içindeki elementleri ve miktarlarını tespit etmeye yardımcı bir analiz olan EDS ile numunede bulunan elementlere ait %'ce miktarlar ve elemental haritalandırma yapılmıştır. Kompozit filmler iletken olmadığı için inceleme öncesi altın-paladyum alaşımı ile kaplanarak inceleme işlemi yapılmıştır. İletken kaplama işlemi JEOL JSM-7100-F marka/model cihaz ile gerçekleştirilmiştir.

3.3.6 X-Işını Difraksiyonu Yöntemi (XRD)

Üretilen kompozitlerin kristal yapılarının, x-ışını demeti sayesinde malzemelerden gerçekleşecek yansımaların açılarının ve karakteristik spektrumlara ait paternlerin değerlendirilmesi $\lambda=1.54 \text{ \AA}$ da Cu Ka radyasyonuna sahip X-ışını difraktometresi (XRD) ile yapılmıştır. XRD analizi, PANalytical Empyrean marka/model cihaz ile gerçekleştirilmiştir.

3.3.7 Fourier Dönüştümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)

Titreşimle analiz yöntemlerinden olan ve molekül içi bağlar üzerine düşürülen kızılötesi ışınların, bağların titreşim ve dönme hareketleri ile soğurulması esnasındaki dalga boylarını tespit ederek malzemelerin bağ ve bağlanma durumları hakkında bilgi veren Fourier transform kızılötesi spektroskopisi (FTIR) yöntemi ile 400 ile 4000 cm^{-1} frekans aralığı taranarak Ca-Alg, ZnO ve Tur' nin kimyasal bileşimi değerlendirilmiştir. Analizin gerçekleştirildiği FTIR cihazı Vertex 70 ATR marka/modeldir.

3.3.8 Antibakteriyel Etkinlik Testi

Üretilen kompozit filmlerin antibakteriyel özellikleri Kirby-Bauer disk difüzyon yöntemi ile belirlenmiştir. Çalışmada standart suş olarak iki gram pozitif (*Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212) ve iki gram negatif (*Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853) bakteri suşu kullanılmıştır. Biyo-kompozit filmler antibakteriyellik testi için disk şeklinde (yaklaşık 6 mm çapında) kesilmiştir. Çalışmadan önce diskler steril olması için UV ışık altında (1 sa) bekletilecektir. Antibakteriyel testten önce bakteriler, Muller Hinton Broth (MHB)

ortamında $35\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de 24 saat inkübe edilerek kültürleri hazırlanmıştır. Her bir bakteri için hazırlanan taze kültürlerden spektrofotometrik ölçümle (600 nm) yaklaşık 1×10^8 kob/ml hücre olacak şekilde süspansiyonlar hazırlanıp, Muller Hinton Agar (MHA) besiyerine yayılmıştır ve steril edilen diskler besiyeri yüzeyine yerleştirilmiştir. Antibakteriyel etkinin belirlenmesi için, petriler $35\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de 24 saat inkübe edildikten sonra oluşan inhibisyon zon çapları ölçülerek (mm olarak) değerlendirilmiştir. Antibakteriyel testler üç tekrarlı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

3.3.9 Fotokatalitik Etkinlik Testi

Üretilen kompozit filmlerin fotokatalitik oksidasyon UV-C ışık altında gerçekleştirilmiştir. Sentetik olarak hazırlanmış Methylene Blue (MB) boyarmaddesi içeren suyun oksidasyonunda kullanılan deney düzeneği Şekil 3.2'de verilmiştir. Deney düzeneğinde 250 mL'lik cam mezür, 8 W gücünde düşük basınçlı civa buharlı 254 nm dalga boyunda UV-C ışık kaynağı ve tam karışımı sağlamak amacıyla manyetik karıştırıcı bulunmaktadır. UV-C ışık kaynağı optimum verimin sağlanabilmesi için mezürün tam ortasına yerleştirilmiştir. UV-C ışık kaynağı mezür içerisinde hareket etmemesi amacıyla sabitlenmiştir.



Şekil 3.2 Fotokatalitik aktivite deney düzeneği

Fotokatalitik etki değerlendirme çalışması için 10 mg/L'lik MB içeren renkli su numunesinden 250 mL alınarak deney düzeneğindeki mezür içerisine konulmuştur. Oksidasyon çalışmaları oda sıcaklığında (25°C) ve doğal pH şartlarında

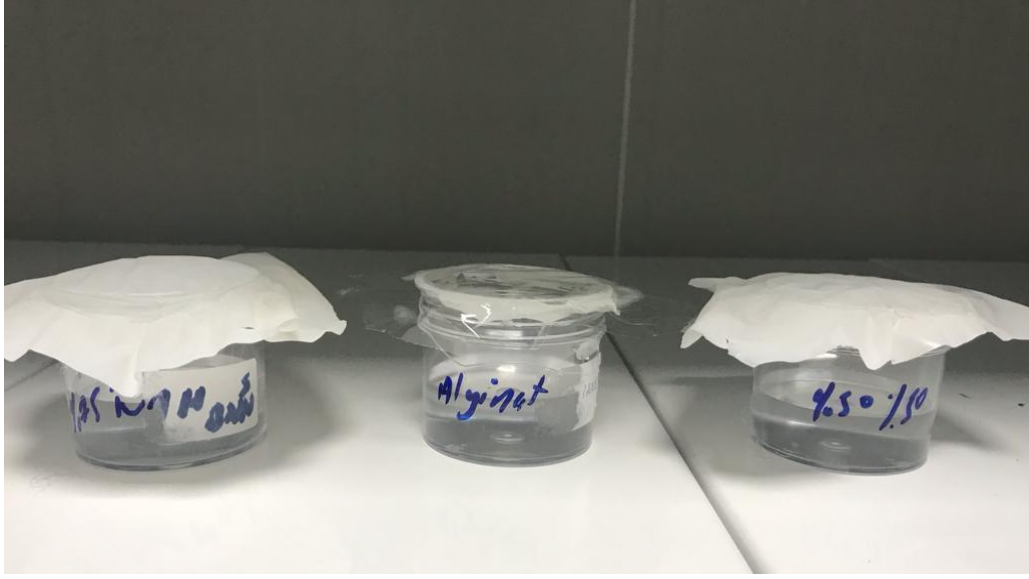
gerçekleştirilmiştir. Boyarmaddeli çözeltinin pH değeri 5,2 olarak belirlenmiş olup, deneysel çalışmalarda pH düzeltilmesi yapılmamıştır. UV oksidasyon prosesinde katalizör etkisini değerlendirmek istenilen kompozitlerden (Alg-Tur, Alg-ZnO, Alg-Tur₅₀-ZnO₅₀, Alg-Tur₂₅-ZnO₇₅ ve Alg-Tur₇₅-ZnO₂₅) 250 mL çözelti içerisine 0,25 g olacak şekilde kullanılmıştır. Deney düzeneğinin tüm çalışma boyunca manyetik karıştırıcı ile sabit hızda karıştırılması sağlanmıştır. Deneysel çalışmalarda fotokatalitik oksidasyon süresinin MB giderimine etkisini belirlemek amacıyla 240 dakika fotokatalitik oksidasyon yapılmış ve belirli zaman aralıklarında (t=0, 1, 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180 ve 240 dk) 5 mL numune alınmıştır. Bunun yanı sıra t=0 anında alınan numuneden sonra eklenen katalizörlerin adsorpsiyon-desorpsiyon dengesine erişmesi için 30 dakika süre ile karanlık ortamda karıştırma işlemi uygulanmıştır. 15. ve 30. dakikalarda alınan numunelerde boyarmadde giderim durumu değerlendirilmiştir. Alınan numunelere 4000 rpm'de 5 dakika santrifüj uygulanmış ve katalizörlerin numuneden ayrılması sağlanmıştır. Üst fazda maksimum absorbans değeri 670 nm olarak belirlenen MB boyarmaddesi derişimi UV spektrofotometre (Schimadzu UV-2401 PC instrument) ile ölçülmüştür. UV spektrofotometrede okumalar quartz küvetler ile gerçekleştirilmiştir. pH ölçümü için WTW pH 315i marka pH metre kullanılmıştır.

3.3.10 Su Buharı İletim Hızı (WVTR)

Üretilen kompozit filmlerin su buharı iletim hızları ASTM E96 standardına göre kap yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. İlgili yöntem, test kabı, kontrollü bir test ortamı (25 ± 1 °C sıcaklık ve 60 ± %5 bağıl nem) ve hassas terazi içermektedir. Kompozit filmler Şekil 3.3 de görüldüğü gibi içerisinde 50 ml su bulunan test kabının üzerine herhangi bir sızıntı olmayacak şekilde yerleştirilmiştir. Ardından test kabının toplam ağırlığı beş gün boyunca 24 saat aralıklarla düzenli bir şekilde ölçülmüştür. Su buharı iletim hızı (WVTR) Denklem (3.2) ile belirlenmiştir (Tang vd., 2022).

$$WVTR = \left[\frac{G}{(t.A)} \right] \quad (3.2)$$

Burada G test kabının ağırlığı, t zaman, A ise test kabının alanını (m²) ifade etmektedir.



Şekil 3.3 Su buharı iletim hızı kap yöntemi

4. BULGULAR

4.1. Kalınlık Ölçümü

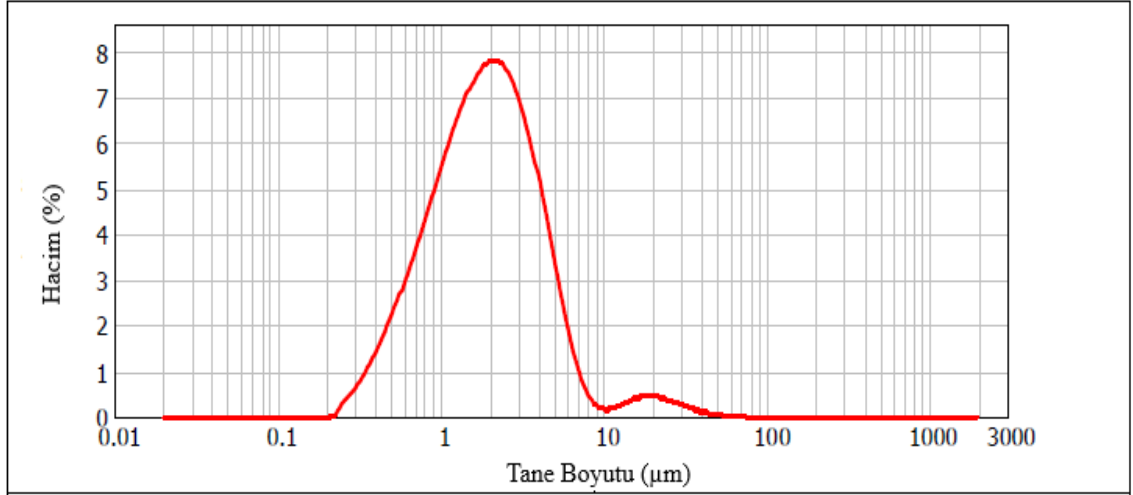
Üretilen kompozit filmlerin ortalama kalınlıkları mikrometre ile ölçülüp Tablo 4.1’de verilmiştir. Ölçümler filmin hem orta hem de kenarlarından olacak şekilde beş tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Aljinat filmin diğerlerine göre daha ince olması öngörülen bir durumdur. Katkılı film yapılarından Alg/Tur kalınlığı 110 mikron diğer tüm filmlere ait kalınlıklar ise 80 mikron olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.1 Üretilen kompozit filmlerin kalınlıkları

Filmler	Film Kalınlığı (mm)
Aljinat	0,06
Alg/Tur	0,11
Alg/ZnO	0,08
Alg/Tur ₂₅ /ZnO ₇₅	0,08
Alg/Tur ₅₀ /ZnO ₅₀	0,08
Alg/Tur ₇₅ /ZnO ₂₅	0,08

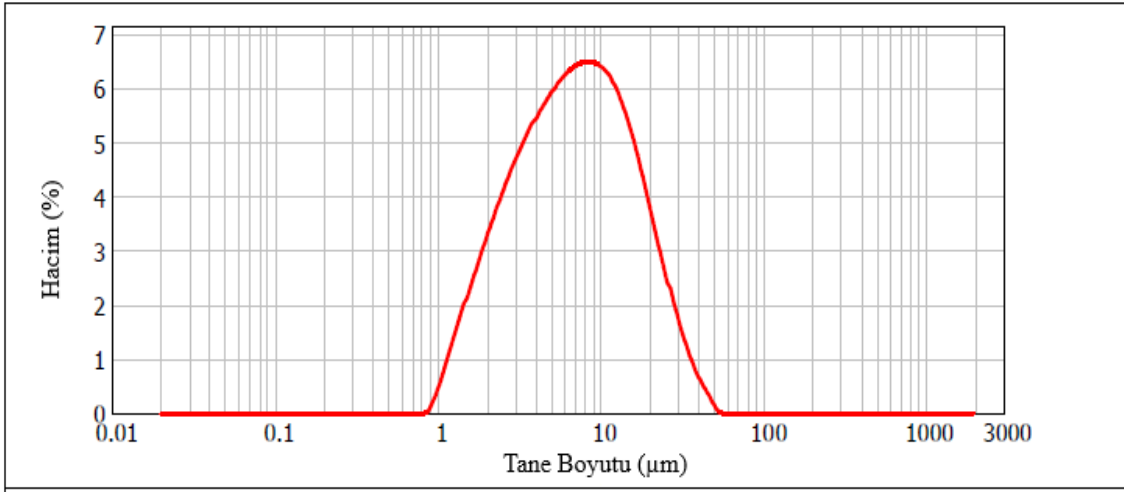
4.2. Tane Boyut Analizi

Çalışmada kullanılan turmalin ve çinko oksit tozlarına ait partikül boyut dağılımı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1 Kullanılan ZnO partiküllerine ait tane boyut dağılımı

Çalışmada kullanılan ZnO tozlarına ait partikül boyut dağılımı Şekil 4.1’de verilmiştir. Partikül boyutlarının 220 nm ile 10 mikron arasında değiştiği görülmektedir. Dağılım grafiğinde dikkat çeken 10 mikron üzerinde az miktardaki partikül dağılımı malzemede meydana gelen küçük bir aglomerasyondan kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.2 Kullanılan turmalin partiküllerine ait tane boyut dağılımı

Çalışmada kullanılan turmalin tozlarına ait partikül boyut dağılımı Şekil 4.2’de verilmiştir. ZnO tozlarına göre daha büyük partikül boyutuna sahip olup partikül boyut dağılımı da daha geniştir.

4.3. Çekme Testi

Üretilen kompozit filmlere uygulanan çekme hızı 100,00 mm/dk olup test, aljinat film ile fotokatalitik etkisi en iyi çıkan seçilmiş iki filme ((Alg/Tur₅₀/ZnO₅₀), (Alg/Tur₇₅/ZnO₂₅)) yapılmış olup test sonuçları Tablo 4.2’de verilmiştir.

2002 yılında Wang vd., tarafından gerçekleştirilen çalışmada yara örtüsü uygulamaları için Kitosan, Aljinat Polielektrolit (PEC) membranlar üretilmiştir. İlgili çalışmada derinin çekme mukavemeti 2,5 MPa ile 16 MPa arasında olduğu rapor edilmiştir (Wang vd., 2002). Bu nedenle, tez çalışmasında kontrol numunesi olarak üretilen Aljinat filmler ile Tur ve ZnO içeren Aljinat filmlerin çekme dayanımlarının 2,5 MPa üzerinde olması hedeflenmiştir.

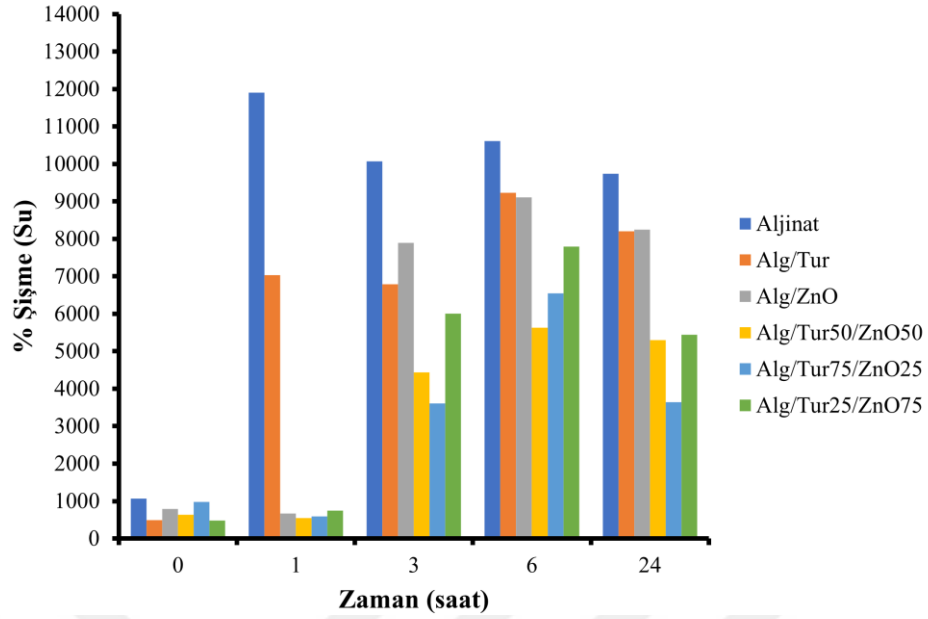
Tablo 4.2 Alg, Alg/Tur₅₀/ZnO₅₀, Alg/Tur₇₅/ZnO₂₅ filmlere ait çekme mukavemeti sonuçları

Numune	Çekme gerinimi (Extension) Maximum Force [%]	Çekme gerilmesi Break (Standard) [MPa]	Çekme gerinimi Break (Standard) [%]	Kuvvet, Maximum Force [N]
Alg	1,76	77,63	1,76	6,22
Alg/Tur ₅₀ /ZnO ₅₀	1,31	26,87	1,31	5,03
Alg/Tur ₇₅ /ZnO ₂₅	1,69	38,42	1,69	9,00

Tablo 4.2’de bulunan verilerden anlaşıldığı üzere üretilen film yapıların çekme mukavemetlerinin hedeflenen $\geq 2,5$ MPa’ı fazlasıyla sağlamaktadır. Film yapılar kendi içinde değerlendirildiğinde ise herhangi bir katkı içermeyen Alg filmlerin mukavemetinin ve yüzde kopma uzamasının diğer filmlerden daha yüksek olduğu, içerisine Tur ve ZnO ilavesiyle mukavemetinin ve yüzde kopma uzamasının azaldığını söylemek mümkündür. Film yapısı içerisindeki ZnO miktarının artmasıyla mukavemetteki azalma da artmıştır.

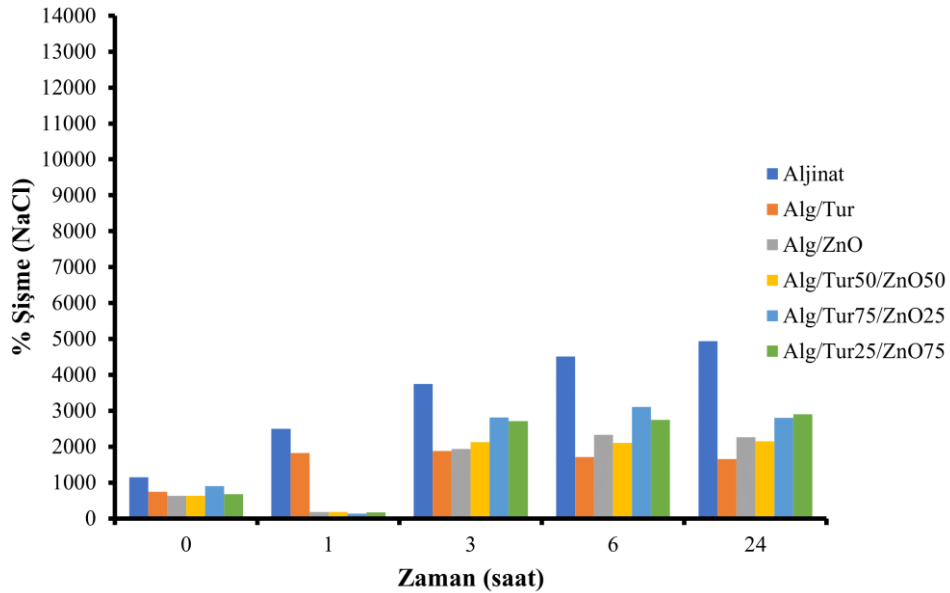
4.4. Şişme Testi

Üretilen kompozit filmlerin şişme davranışları, yara bakımı uygulamalarında etkinliğinin analiz edilmesi için oda sıcaklığında incelenmiştir. Sadece Tur ve ZnO partikülleri içeren farklı ağırlık ve oranlarında (25/75; 50/50; 75/25) Aljinat matrisli kompozit filmlerin şişme dereceleri Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de gösterilmiştir. Sırasıyla Şekil 4.3 filmlerin sudaki şişme yüzdelerini, Şekil 4.4 filmlerin %1 NaCl çözeltisi içerisindeki şişme yüzdelerini göstermektedir. Kompozit filmler suda, %1 NaCl çözeltisine göre daha fazla şişme göstermiştir. Saf aljinat filmin sudaki şişme hızı Tur ve ZnO katkılı aljinat filmlere göre daha hızlıdır. Saf aljinat filmin sudaki şişme hızı 1 saatte maksimuma ulaşmış ardından azalmıştır. Aljinat film kompozisyonuna Tur ve ZnO partiküllerinin eklenmesiyle Alg/Tur, Alg/ZnO, Alg/Tur₂₅/ZnO₇₅, Alg/Tur₅₀/ZnO₅₀, Alg/Tur₇₅/ZnO₂₅ kompozitlerinin sudaki şişme hızı 6. saatte maksimum şişme derecelerine ulaşmış ardından azalmıştır.



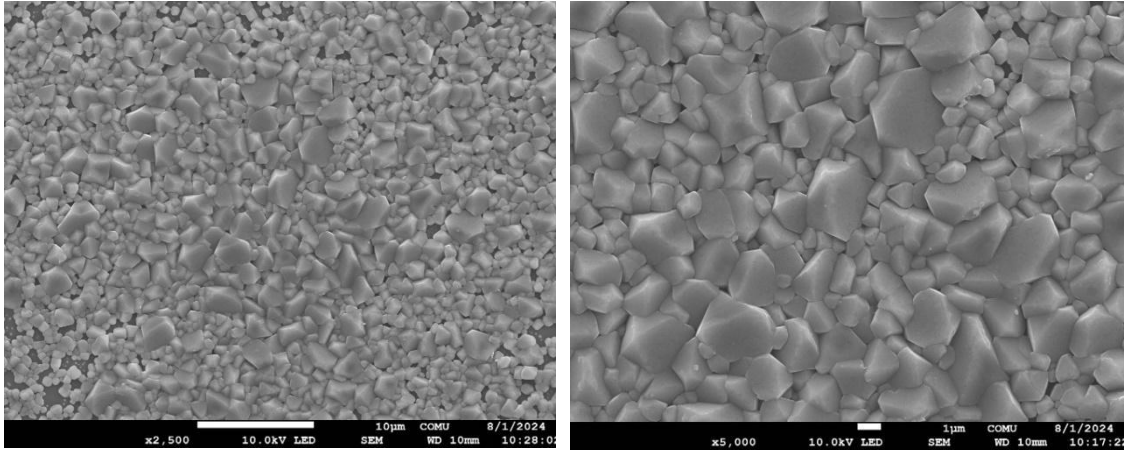
Şekil 4.3 Üretilen kompozit filmlerin sudaki şişme yüzdeleri

Saf aljinat filmin %1 NaCl çözeltisi içerisindeki şişme hızı 24 saate kadar devam etmiştir. Aynı şekilde Alg/Tur₅₀/ZnO₅₀ ve Alg/Tur₂₅/ZnO₇₅ filmler de 24 saate kadar şişmeye devam etmiştir. Sadece ZnO içeren Aljinat kompoziti 6. saatte maksimum şişme derecesine ulaşmış ardından az oranda azalmıştır. Sadece Tur içeren aljinat kompoziti 3. saatte maksimuma ulaşmış ardından dengeli bir şekilde azalmıştır (Şekil 4.4).

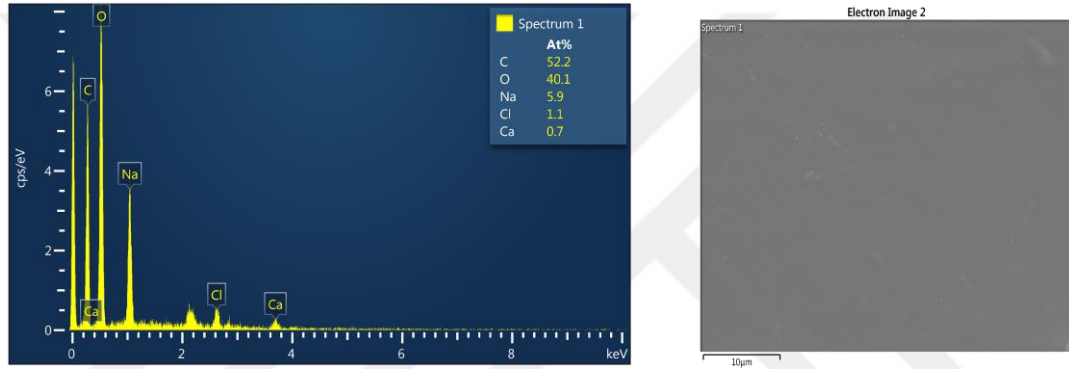


Şekil 4.4 Üretilen kompozit filmlerin %1 NaCl çözeltisinde şişme yüzdeleri

4.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

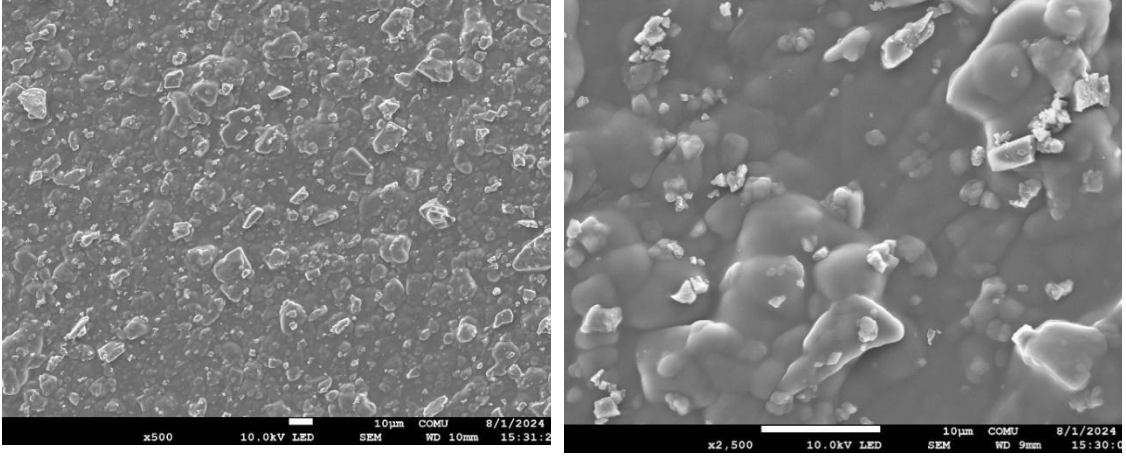


Şekil 4.5 Üretilen Aljinat kompozit filme ait SEM görüntüleri



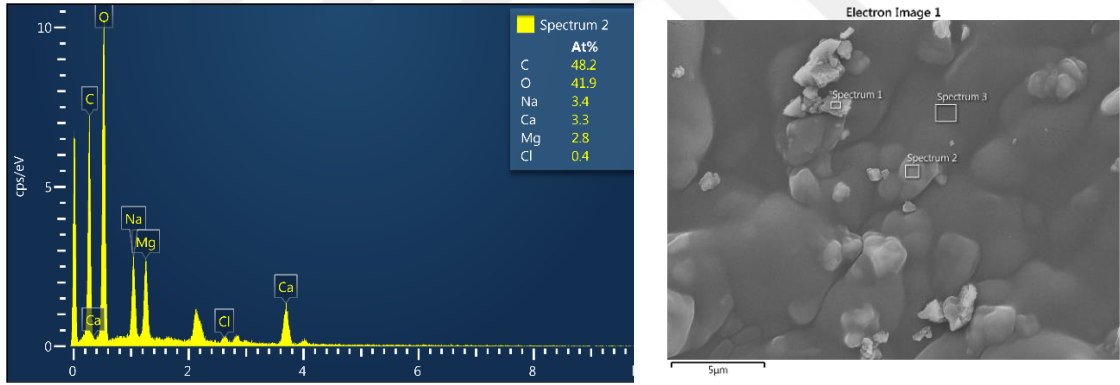
Şekil 4.6 Üretilen Aljinat kompozit filme ait EDS sonuçları

Şekil 4.5’de üretilen aljinat kompozit filme ait mikro yapı görüntüleri ve Şekil 4.6’da EDS sonuçları paylaşılmıştır. Paylaşılan görüntülerde aljinat filminin mikro yapısı incelendiğinde büyük bir topaklanma olmadan homojen bir dağılım gözlemlenmiştir. Şekil 4.6’da üretilen aljinat kompozit filme ait EDS sonuçlarında yapıda Na, Ca, Cl, C, O elementleri olduğu tespit edilmiştir.



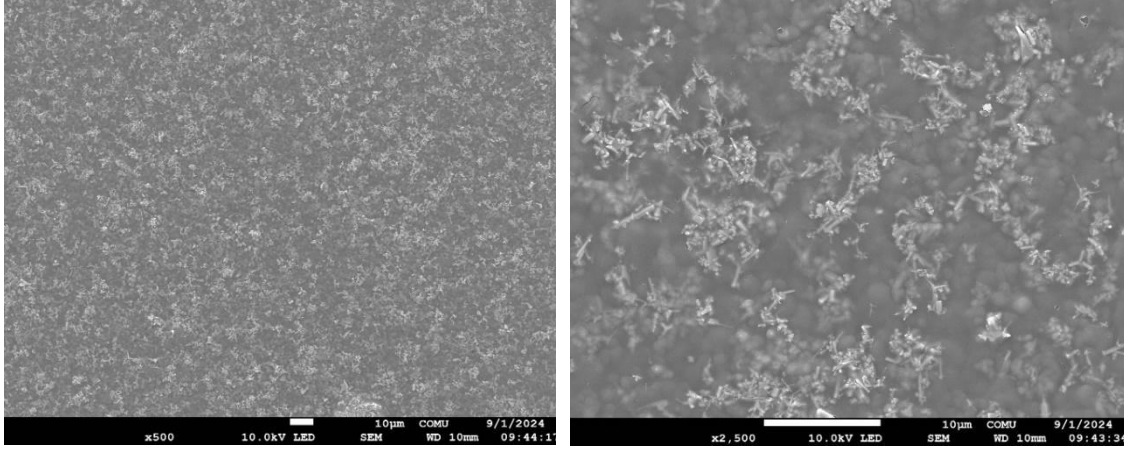
Şekil 4.7 Üretilen Alg/Tur Kompozit Filme ait SEM görüntüleri

Şekil 4.7’de üretilen Alg/Tur kompozit filme ait mikro yapı görüntüleri paylaşılmıştır. Alg/Tur kompozit filminin mikro yapısı incelendiğinde Aljinat matrisinin içerisindeki turmalin partiküllerinin genel olarak homojen bir dağılım gösterdiği gözlemlenmiştir. Yapıda oluşan küçük topaklanmalar Tur partiküllerinin Alg kompozisyonu içerisinde çözünmemesinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir.



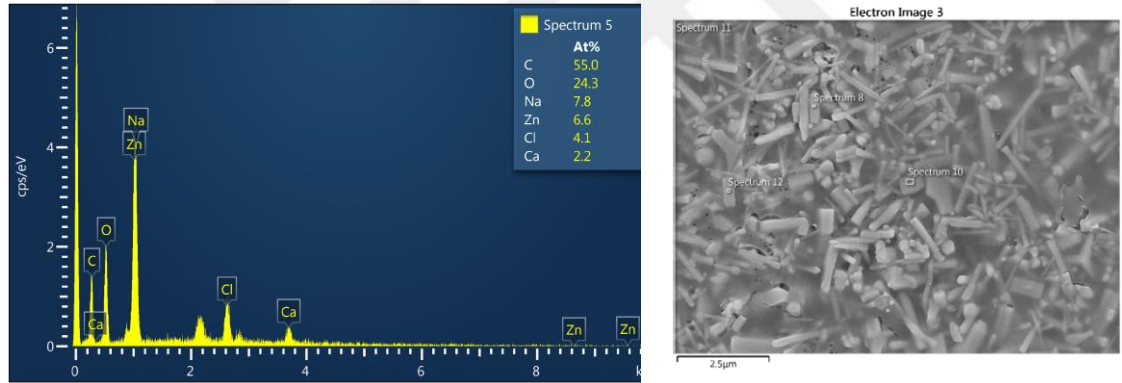
Şekil 4.8 Üretilen Alg/Tur kompozit filme ait EDS sonuçları

Şekil 4.8’de üretilen Alg/Tur kompozit filme ait EDS sonuçlarında yapıda C,O,Na,Ca,Mg,Cl elementleri olduğu tespit edilmiştir. Kompozisyona Tur partiküllerinin eklenmesiyle Na,Ca,Mg,Cl, gibi tipik Tur elementlerinin varlığı gözlemlenmiştir.



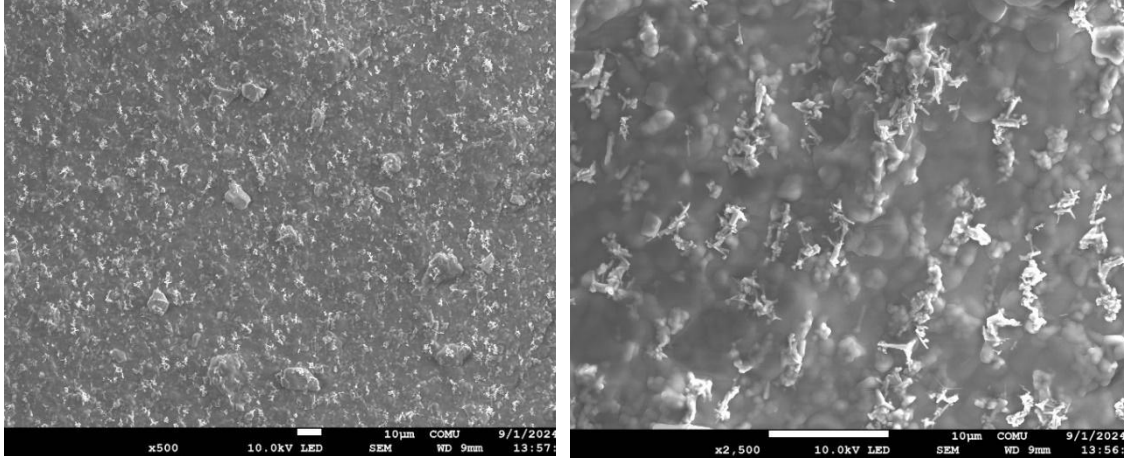
Şekil 4.9 Üretilen Alg/ZnO kompozit filme ait SEM görüntüleri

Şekil 4.9’da üretilen Alg/ZnO kompozit filme ait mikro yapı görüntüleri paylaşılmıştır. Alg/ZnO kompozit filminin mikro yapısı incelendiğinde Aljinat matrisinin içerisindeki ZnO partiküllerinin genel olarak homojen bir dağılım gösterdiği gözlemlenmiştir. Yapıda oluşan küçük topaklanmalar ZnO partiküllerinin Alg kompozisyonu içerisinde çözünmemesinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir.



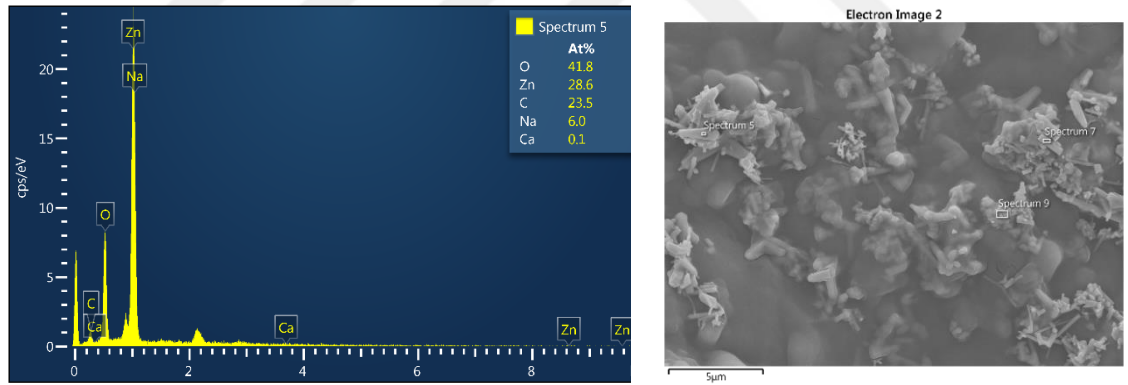
Şekil 4.10 Üretilen Alg/ZnO kompozit filme ait EDS sonuçları

Şekil 4.10’da üretilen Alg/ZnO kompozit filme ait EDS sonuçlarında yapıda C, O, Na, Cl, Ca ve Zn, C elementleri olduğu tespit edilmiştir. Kompozisyona ZnO partiküllerinin eklenmesiyle Zn, O gibi tipik ZnO elementlerinin varlığı gözlemlenmiştir.



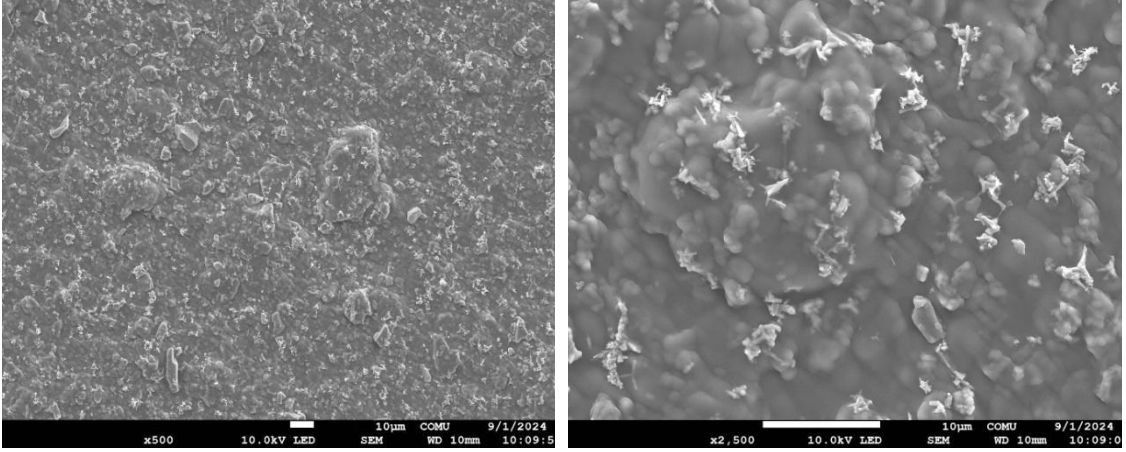
Şekil 4.11 Üretilen Alg/Tur₂₅/ZnO₇₅ kompozit filme ait SEM görüntüleri

Şekil 4.11’de üretilen Alg/Tur₂₅/ZnO₇₅ kompozit filme ait mikro yapı görüntüleri paylaşılmıştır. Alg/Tur₂₅/ZnO₇₅ kompozit filminin mikro yapısı incelendiğinde Aljinat matrisinin içerisindeki Tur ve ZnO partiküllerinin genel olarak homojen bir dağılım gösterdiği gözlemlenmiştir. Yapıda oluşan küçük topaklanmalar Tur ve ZnO partiküllerinin Alg kompozisyonu içerisinde çözünmemesinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir.



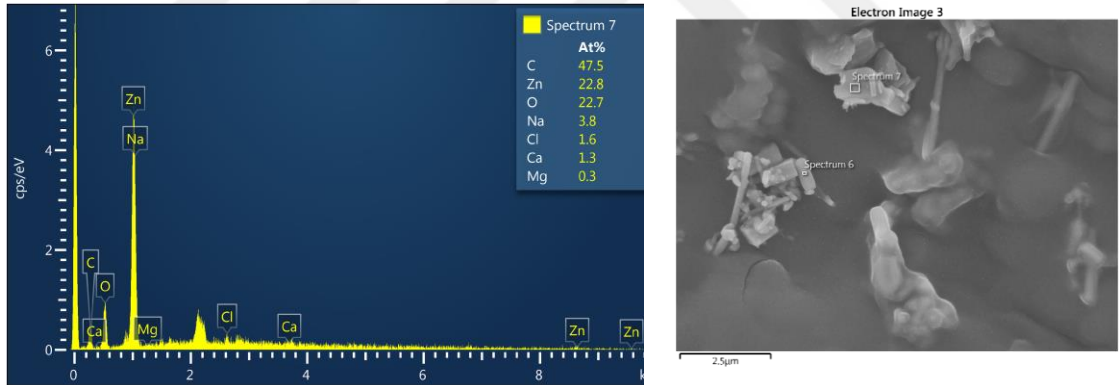
Şekil 4.12 Üretilen Alg/Tur₂₅/ZnO₇₅ kompozit filme ait EDS sonuçları

Şekil 4.12’de üretilen Alg/Tur₂₅/ZnO₇₅ kompozit filme ait EDS sonuçlarında yapıda O, Zn, C, Na, Ca elementleri olduğu tespit edilmiştir. Kompozisyonda ağırlıkça ZnO partiküllerinin fazla olması nedeniyle Zn ve O elementleri yapıda yüzdece fazla yer almaktadır.



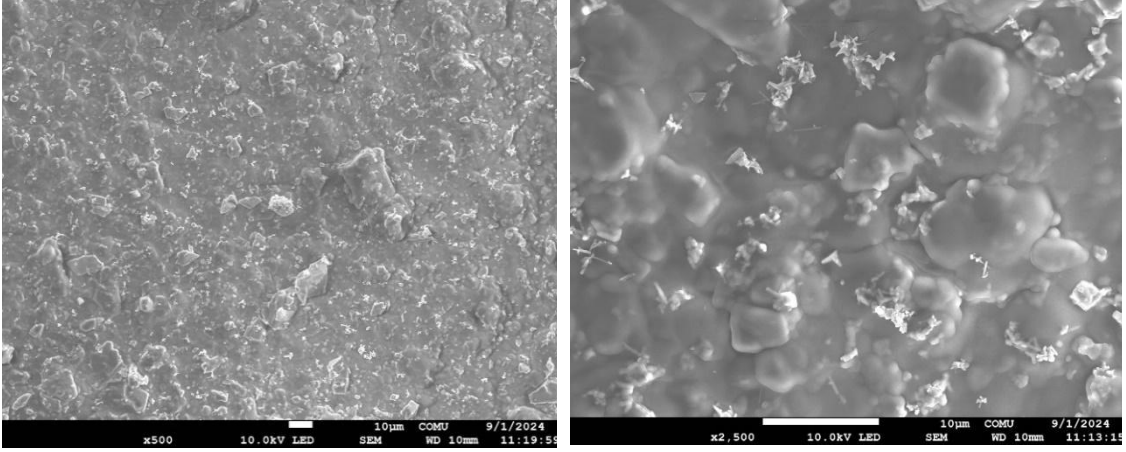
Şekil 4.13 Üretilen Alg/Tur₅₀/ZnO₅₀ kompozit filme ait SEM görüntüleri

Şekil 4.13’de üretilen Alg/Tur₅₀/ZnO₅₀ kompozit filme ait mikro yapı görüntüleri paylaşılmıştır. Alg/Tur₅₀/ZnO₅₀ kompozit filminin mikro yapısı incelendiğinde Aljinat matrisinin içerisindeki Tur ve ZnO partiküllerinin genel olarak homojen bir dağılım gösterdiği gözlemlenmiştir. Yapıda oluşan küçük topaklanmalar Tur ve ZnO partiküllerinin Alg kompozisyonu içerisinde çözünmemesinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir.



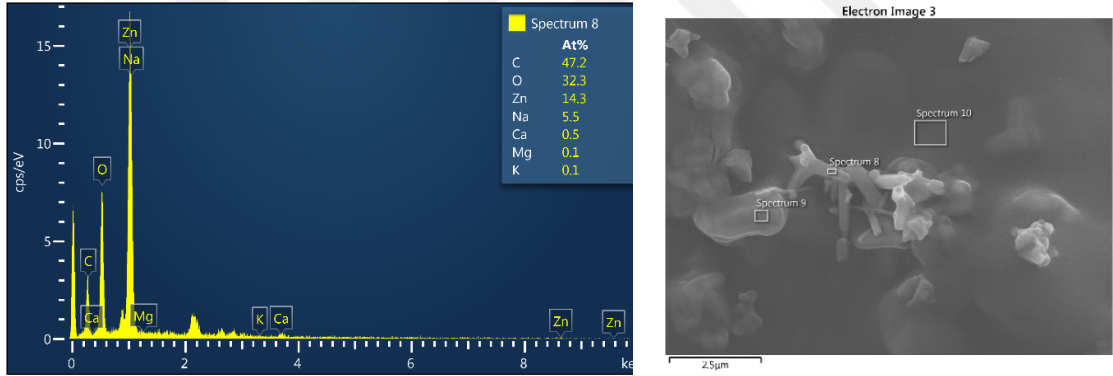
Şekil 4.14 Üretilen Alg/Tur₅₀/ZnO₅₀ kompozit filme ait EDS sonuçları

Şekil 4.14’de üretilen Alg/Tur₅₀/ZnO₅₀ kompozit filme ait EDS sonuçlarında yapıda C, Zn, O, Na, Cl, Ca, Mg elementleri olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.15 Üretilen Alg/Tur₇₅/ZnO₂₅ kompozit filme ait SEM görüntüleri

Şekil 4.15’de üretilen Alg/Tur₇₅/ZnO₂₅ kompozit filme ait mikro yapı görüntüleri paylaşılmıştır. Alg/Tur₇₅/ZnO₂₅ kompozit filminin mikro yapısı incelendiğinde Aljinat matrisinin içerisindeki Tur ve ZnO partiküllerinin genel olarak homojen bir dağılım gösterdiği gözlemlenmiştir. Yapıda oluşan küçük topaklanmalar Tur ve ZnO partiküllerinin Alg kompozisyonu içerisinde çözünmemesinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir.



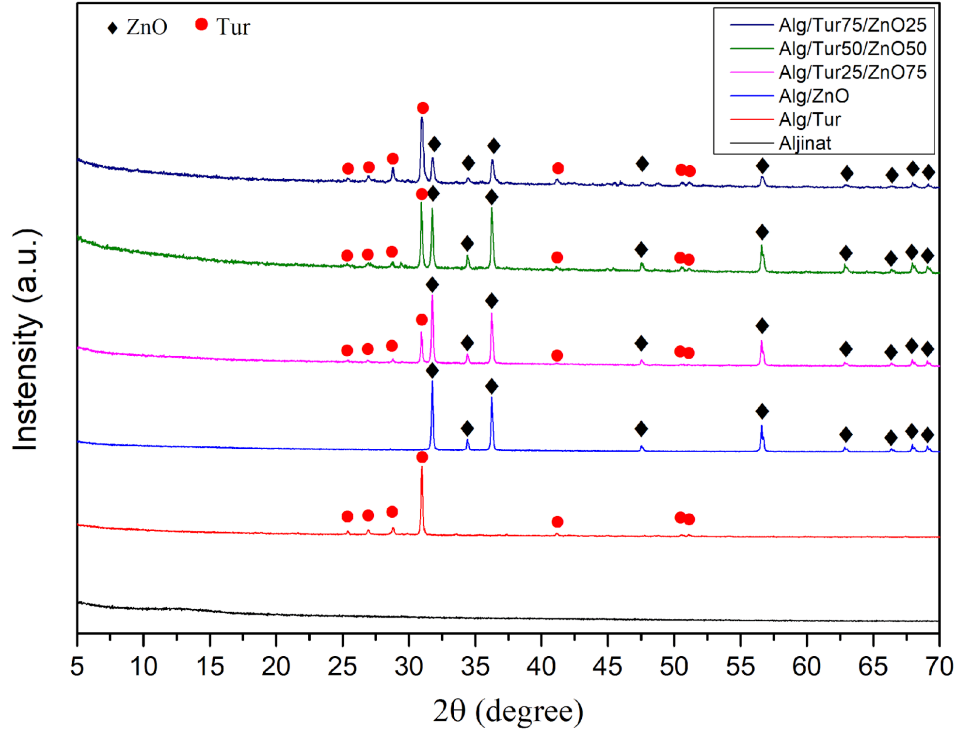
Şekil 4.16 Üretilen Alg/Tur₇₅/ZnO₂₅ kompozit filme ait EDS sonuçları

Şekil 4.16’da üretilen Alg/Tur₇₅/ZnO₂₅ kompozit filme ait EDS sonuçlarında yapıda C, O, Zn, Na, Ca, Mg, K elementleri olduğu tespit edilmiştir.

4.6. X-Işını Difraksiyonu Yöntemi (XRD)

Üretilen kompozit filmlerin XRD kırınım desenleri Şekil 4.17’de verilmiştir. Aljinat matrisindeki farklı oranlarda Tur ve ZnO içeren kompozit filmlerde karakteristik pik noktaları gözlenmiştir. XRD patternlerinde bulunan karakteristik piklerden ZnO’ya ait olanlar siyah, Tur’e ait olanlar ise kırmızı ile ifade edilmiştir. Görüleceği üzere kompozit yapıdaki Tur miktarının artışına paralel olarak Tur karakteristik piklerinin

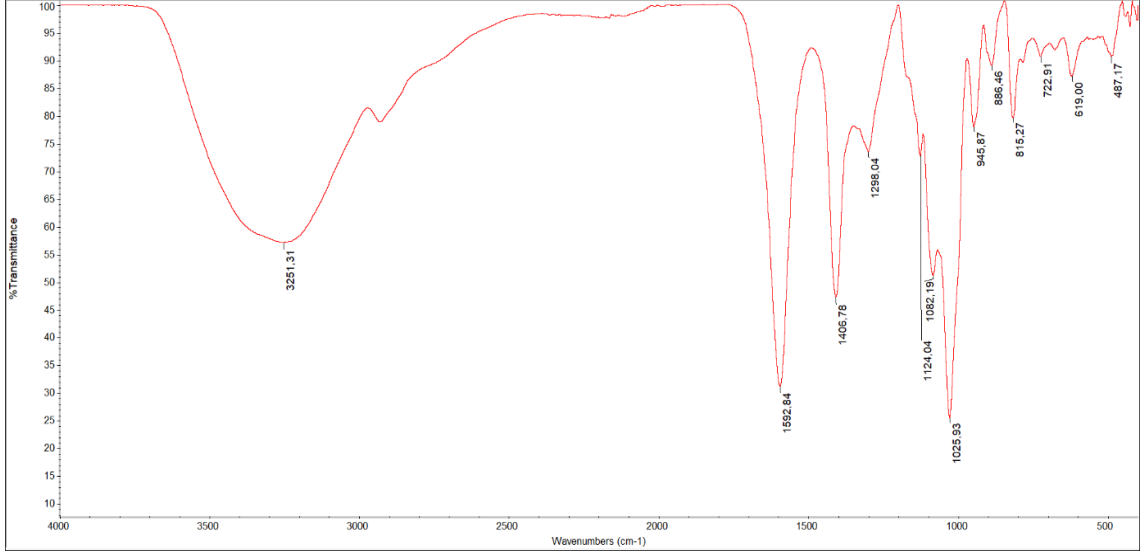
şiddeti, ZnO artışına bağlı olarak da ZnO karakteristik piklerinin şiddetlerin artış gerçekleşmiştir.



Şekil 4.17 Üretilen kompozit filmlerin XRD kırınım desenleri

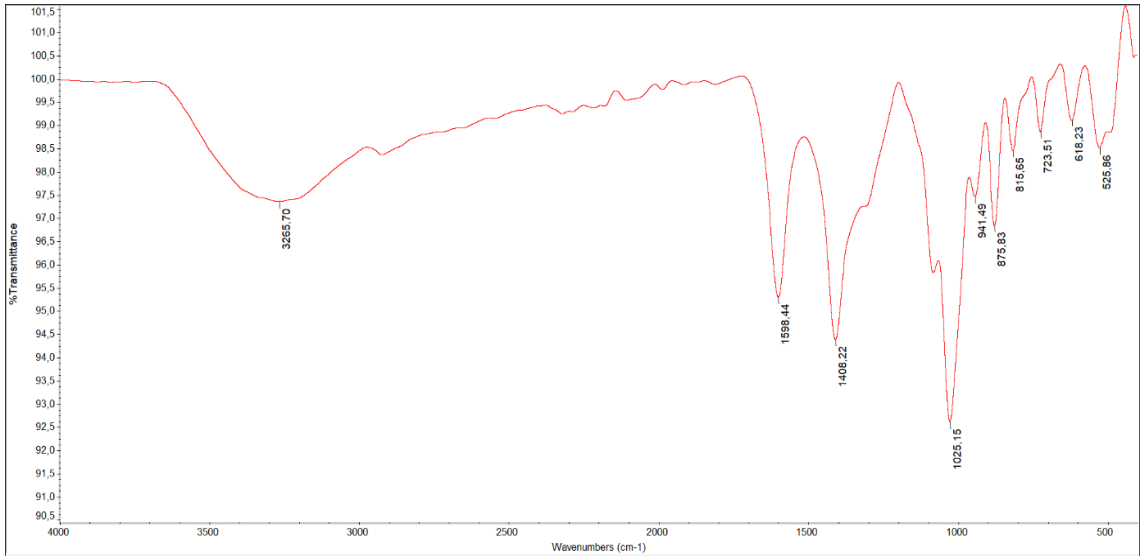
4.7. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)

Üretilen 6 farklı kompozisyondaki film numuneler, 400 ile 4000 cm^{-1} frekans aralığında taranarak kimyasal bağ durumları değerlendirilmiştir. İlgili FTIR spektrumları Şekil 4.18 - 4.23'de verilmiştir. Film üretiminde Alg ile Tur, Alg ile ZnO, Alg ile Tur ve ZnO arasındaki ilişki fiziksel düzeyde olup kimyasal bir bağlanma gerçekleşmesi beklenmemektedir. Oluşan film yapılar kompozit formundadır. Bu nedenle, Alg, Tur ve ZnO spesifik piklerinin spektrumlardaki varlıkları kompozit filmlerin üretiminin başarılı bir şekilde gerçekleştiğini belirtmek için yeterli olacaktır



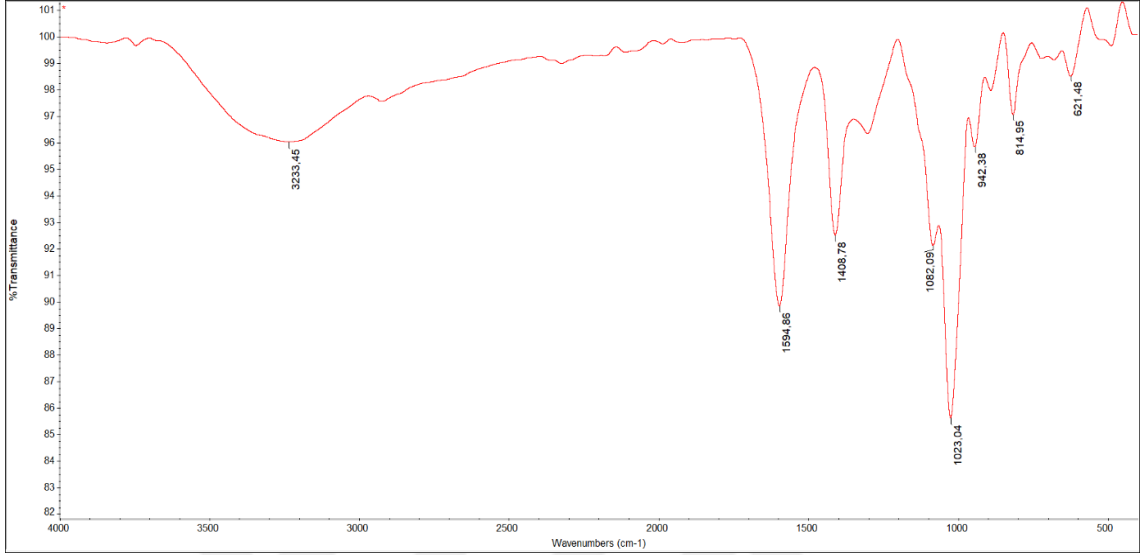
Şekil 4.18 Ca-Alg'ın FTIR Spekturumu

Na Alg ve kalsiyum çapraz bağlı Alg filminin FTIR spektrumları, Alg ve kalsiyum iyonları arasındaki çapraz bağlanmayı araştırmak için alınmıştır (Şekil 4.18). 3251 cm⁻¹ de OH grubuna ait yayvan bir pik tespit edilmiştir. Karbonil grubuna (COO⁻) ait pik ise 1592 cm⁻¹ civarında gözlemlenmiştir. Ca-Alg polisakkarit yapısının CO gerilme titreşimine karşılık gelen 1025 cm⁻¹ de karakteristik pik göstermiştir (Thomas vd., 2020). Ca-Alg film üretiminin başarılı şekilde gerçekleştiğini söylemek mümkündür.



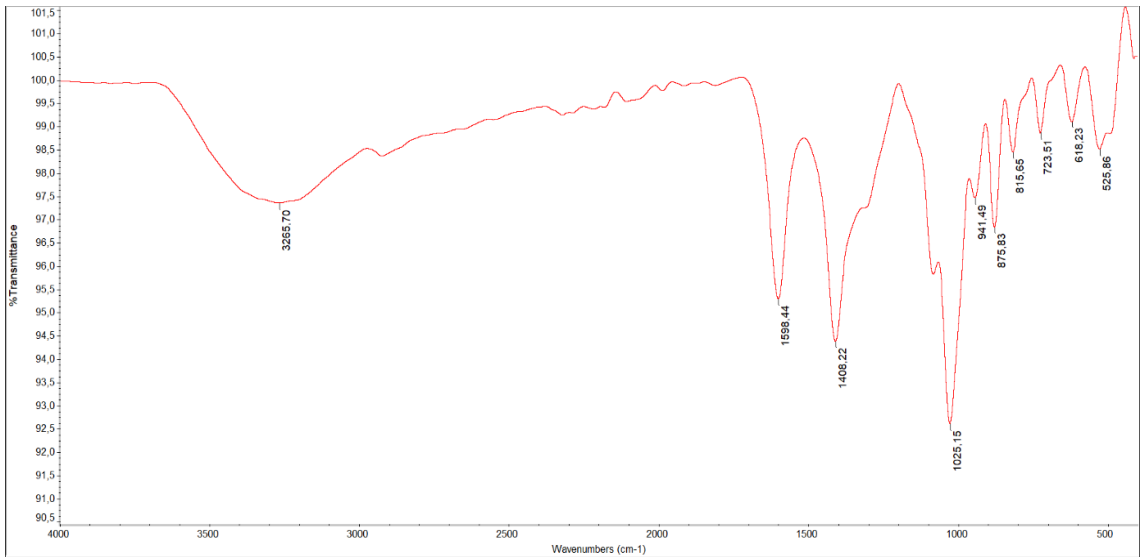
Şekil 4.19 Alg/ZnO kompozit filmine ait FTIR spektrumu

Şekil 4.19’da Alg/ZnO kompozit filminin FTIR spektrumunda, Alg polimerine ait pikler yanında, kompozisyondaki ZnO varlığı, 525 cm⁻¹ de tespit edilen Zn-O-Zn titreşimine karşılık gelen karakteristik pik gözlemlenmiştir (Varaprasad vd., 2016).



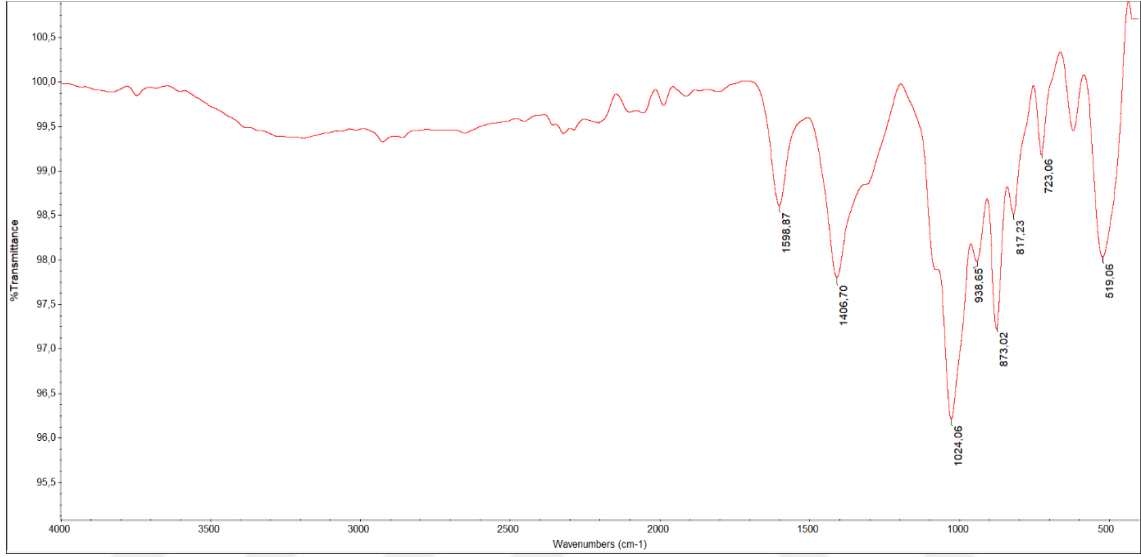
Şekil 4.20 Alg/Tur kompozit filmine ait FTIR spektrumu

Şekil 4.20’de Alg/Tur filmlerine ait FTIR spektrumu görülmektedir. Burada, Alg pikleri ile birlikte, parmak izi bölgesinde 1270 cm⁻¹ civarında tespit edilen pik Boronil (BO) grubunu temsil etmekte olup (Hu, Chen ve Li., 2016) Tur spesifik piklerindedir ve Alg/Tur film yapılarında Tur varlığını ispatlamaktadır.



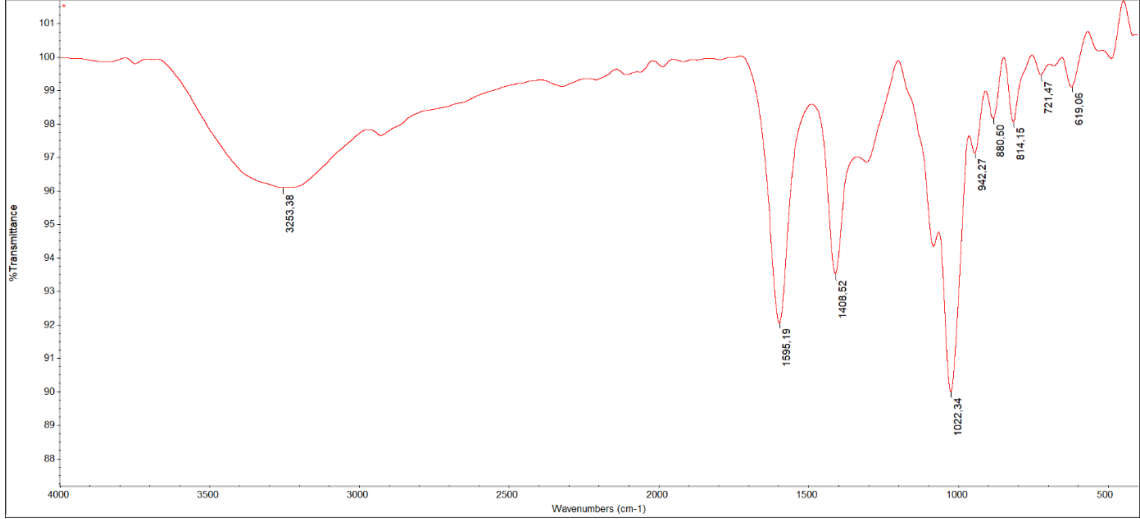
Şekil 4.21 Alg/Tur50/ZnO50 Kompozit filmine ait FTIR spektrumu

Şekil 4.21’de Alg/Tur₅₀/ZnO₅₀ filmlerine ait FTIR spektrumu görülmektedir. Burada, Alg pikleri ile birlikte, parmak izi bölgesinde hem 525 cm⁻¹ civarında Zn-O-Zn titreşimine ait pik (Varaprasad vd., 2016) hem de 1270 cm⁻¹ civarında Boronil grubuna ait pik (Hu, Chen ve Li., 2016) tespit edilmiştir. Kompozit film yapıda matris görevi gören Alg ve takviye görevi gören ZnO ve Tur spesifik piklerine ilgili FTIR spektrumunda rastlandığından Alg/Tur₅₀/ZnO₅₀ kompozit film üretiminin başarılı şekilde gerçekleştiğini söylemek mümkündür.



Şekil 4.22 Alg/Tur₂₅/ZnO₇₅ kompozit filmine ait FTIR spektrumu

Şekil 4.22’de Alg/Tur₂₅/ZnO₇₅ filmlerine ait FTIR spektrumu görülmektedir. Burada, Alg pikleri ile birlikte, parmak izi bölgesinde hem 525 cm⁻¹ civarında Zn-O-Zn titreşimine ait pik (Varaprasad vd., 2016) hem de 1270 cm⁻¹ civarında Boronil grubuna ait pik (Hu, Chen ve Li., 2016) tespit edilmiştir. Ancak Alg/Tur₅₀/ZnO₅₀ ile kıyaslandığında, ZnO ve Tur miktarlarındaki değişimle paralel olarak ZnO pik şiddetinin arttığı, Tur pik şiddetinin nispeten azaldığı görülmüştür. Kompozit film yapıda matris görevi gören Alg ve takviye görevi gören ZnO ve Tur spesifik piklerine ilgili FTIR spektrumunda rastlandığından Alg/Tur₇₅/ZnO₂₅ kompozit film üretiminin başarılı şekilde gerçekleştiğini söylemek mümkündür.

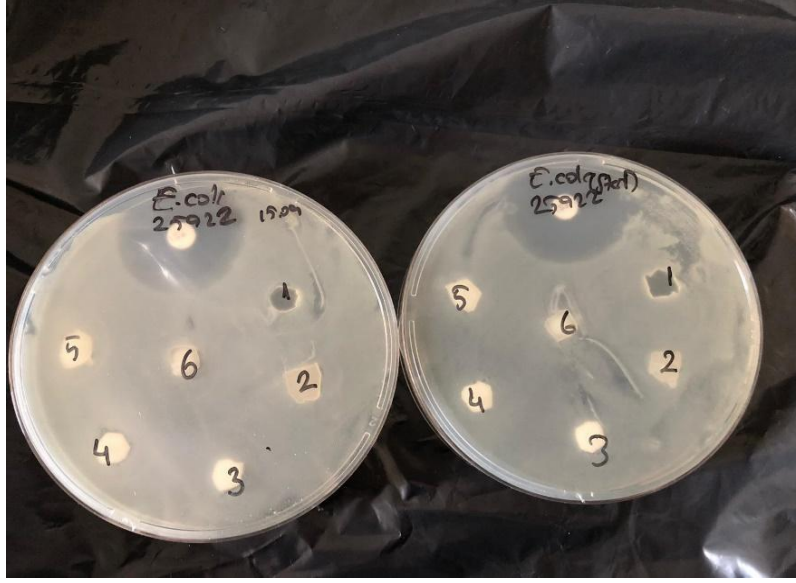


Şekil 4.23 Alg/Tur75/ZnO25 kompozit filmine ait FTIR spektrumu

Şekil 4.23’de Alg/Tur₇₅/ZnO₂₅ filmlerine ait FTIR spektrumu görülmektedir. Burada, Alg pikleri ile birlikte, parmak izi bölgesinde hem 525 cm⁻¹ civarında Zn-O-Zn titreşimine ait pik (Varaprasad vd., 2016) hem de 1270 cm⁻¹ civarında Boronil grubuna ait pik (Hu, Chen ve Li., 2016) tespit edilmiştir. Ancak Alg/Tur₅₀/ZnO₅₀ ile kıyaslandığında, ZnO ve Tur miktarlarındaki değişimle paralel olarak ZnO pik şiddetinin azaldığı, Tur pik şiddetinin nispeten azaldığı görülmüştür. Kompozit film yapıda matris görevi gören Alg ve takviye görevi gören ZnO ve Tur spesifik piklerine ilgili FTIR spektrumunda rastlandığından Alg/Tur₇₅/ZnO₂₅ kompozit film üretiminin başarılı şekilde gerçekleştiğini söylemek mümkündür.

4.8. Antibakteriyel Etkinlik Testi

Üretilen kompozit filmlerin seçilen gram negatif (*Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853) ve gram pozitif (*Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212) bakterilere karşı antibakteriyel etkinliği incelenmiştir. Yapılan üretimler sonucunda ilk etapta katkı oranı %1 olacak şekilde üretilen filmler antibakteriyel testlere tabi tutulmuştur. Ancak yapılan değerlendirmede, üretilen film yapıların seçilen gram negatif (*Escherichia coli* ATCC 25922 ve gram pozitif *Staphylococcus aureus* ATCC 29213) bakterilere karşı ölçülebilecek bir seviyede bakteri free-zone oluşturmadığı gözlemlenmiş olup ilgili görseller Şekil 4.24 ve Şekil 4.25’de paylaşılmıştır.



Şekil 4.24 %1 Tur ve ZnO katkılı filmlerin E. Coli 'ye karşı inhibisyon zonları



Şekil 4.25 %1 Tur ve ZnO katkılı filmlerin S. Aureus' a karşı inhibisyon zonları

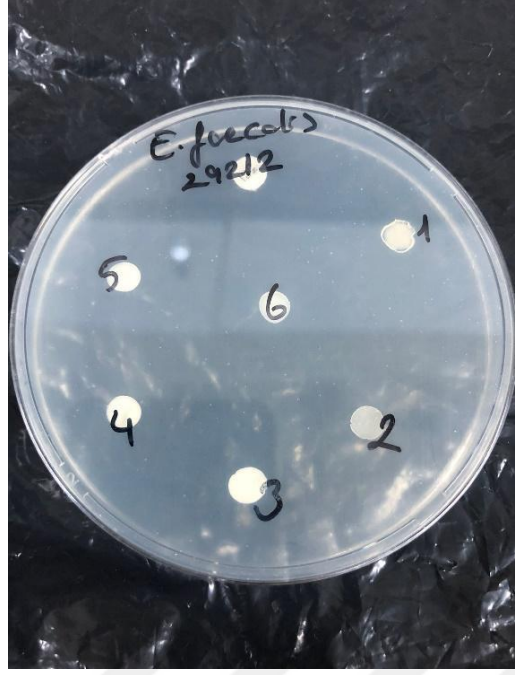
Katkı oranı %1 olan filmlerde ölçülebilecek bir seviyede inhibisyon alanının gözlenmemesi nedeniyle Tur ve ZnO miktarları artırılarak %2 katkılı filmler yeniden üretilmiş ve inhibisyon zonları incelenmiştir. Üretilen film yapıların seçilen gram negatif (*Escherichia coli* ATCC 25922 ve gram pozitif (*Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212) bakterilere karşı ölçülebilecek bir seviyede bakteri free-zone oluşturmadığı gözlemlenmiş olup Şekil 4.26, Şekil 4.27 ve Şekil 4.28'de paylaşılmıştır.



Şekil 4.26 %2 Tur ve ZnO katkılı filmlerin E. Coli'ye karşı inhibisyon zonları



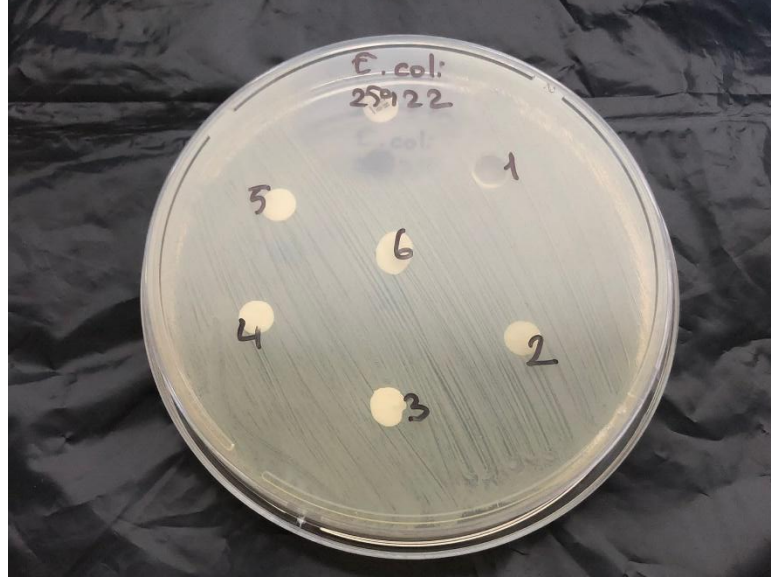
Şekil 4.27 %2 Tur ve ZnO katkılı filmlerin S. Aureus' a karşı inhibisyon zonları



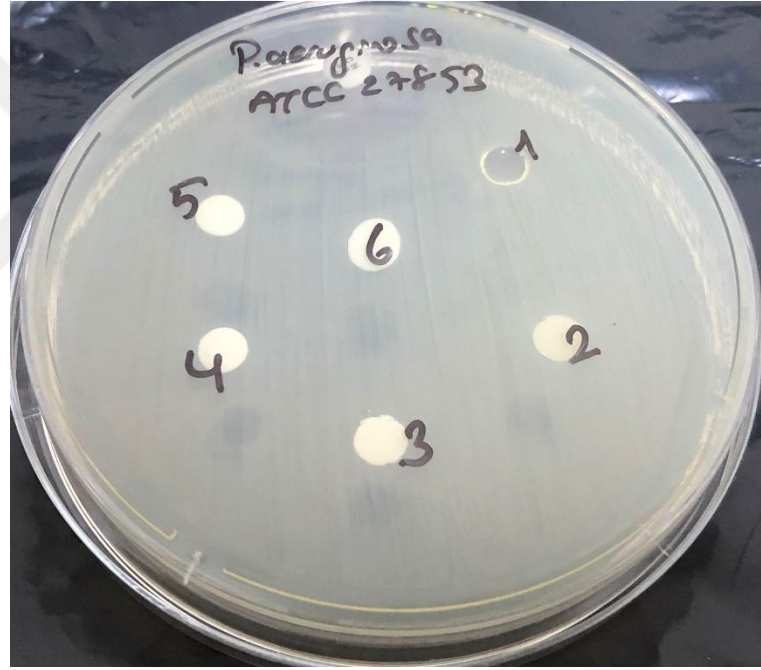
Şekil 4.28 %2 Tur ve ZnO katkılı filmlerin *E. Faecalis*' a karşı inhibisyon zonları

Bir taraftan üretimler ve analizler sürdürülürken diğer taraftan bu durumun nedenini bulmak için literatürde yapılan çalışmalar tekrar gözden geçirilmiştir. Bu esnada, Tur'in *E. coli*'nin hücre zarı üzerindeki biyolojik etkisinin mikrokalorimetri, floresan polarizasyonu, iyon analizi ve fourier transform infrared ile incelendiği bir çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmada, literatürde bulunan birçok çalışmadan farklı olarak, düşük konsantrasyondaki Tur'in bakterinin büyümesini destekleyebildiği, yüksek konsantrasyondaki Tur'in ise *E. coli* üzerinde inhibe edici etkileri olduğu ifade edilmiştir (Qiu vd., 2011).

Bu nedenle %1 ve %2 Turmalin ve ZnO katkılı filmlerde ölçülebilecek bir seviyede inhibisyon alanının gözlenmemesi nedeniyle Tur ve ZnO miktarları daha fazla artırılarak %6 katkılı filmler yeniden üretilmiş ve inhibisyon zonları incelenmiştir. Üretilen film yapıların seçilen gram negatif (*Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853) ve gram pozitif (*Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212) bakterilere karşı antibakteriyel etkinliği incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda seçilen gram negatif ve gram pozitif bakterilerine karşı ölçülebilecek bir seviyede bakteri free-zone oluşmadığı yeniden gözlemlenmiştir. İlgili görseller Şekil 4.29, Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'de paylaşılmıştır.



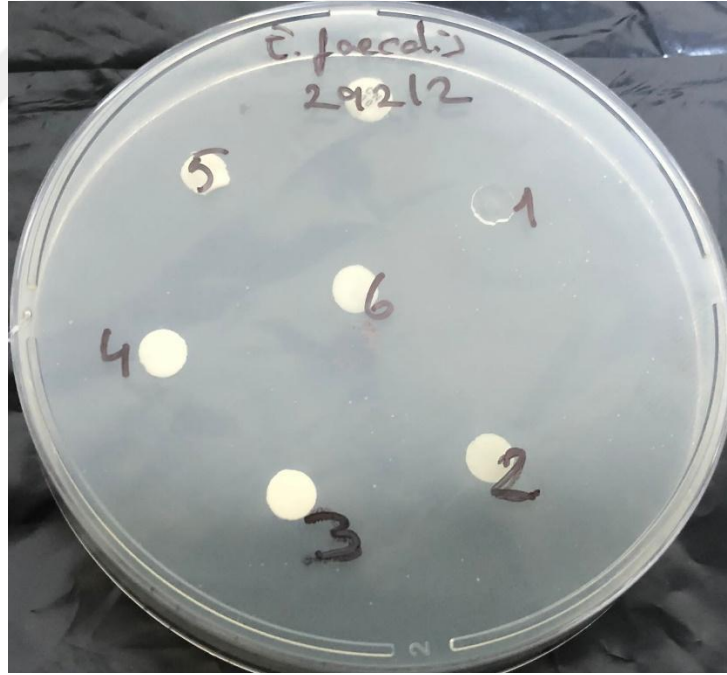
Şekil 4.29 %6 Tur ve ZnO katkılı filmlerin E. Coli'ye karşı inhibisyon zonları



Şekil 4.30 %6 Tur ve ZnO katkılı filmlerin P. Aeruginosa 'ya karşı inhibisyon zonları



Şekil 4.31 %6 Tur ve ZnO katkılı filmlerin *S. Aureus* 'a karşı inhibisyon zonları



Şekil 4.32 %6 Tur ve ZnO katkılı filmlerin *E. Faecalis* 'e karşı inhibisyon zonları

Son üretimdeki katkı oranının %6 seçilmesinin nedeni, Ruan vd., tarafından yapılan çalışmada en iyi antibakteriyel etkinin Tur'in selüloz içinde %4 ila %8 aralığında bulunduğu durum olduğunu ifade eden çalışma olmuştur (Ruan vd., 2004). Ancak %6

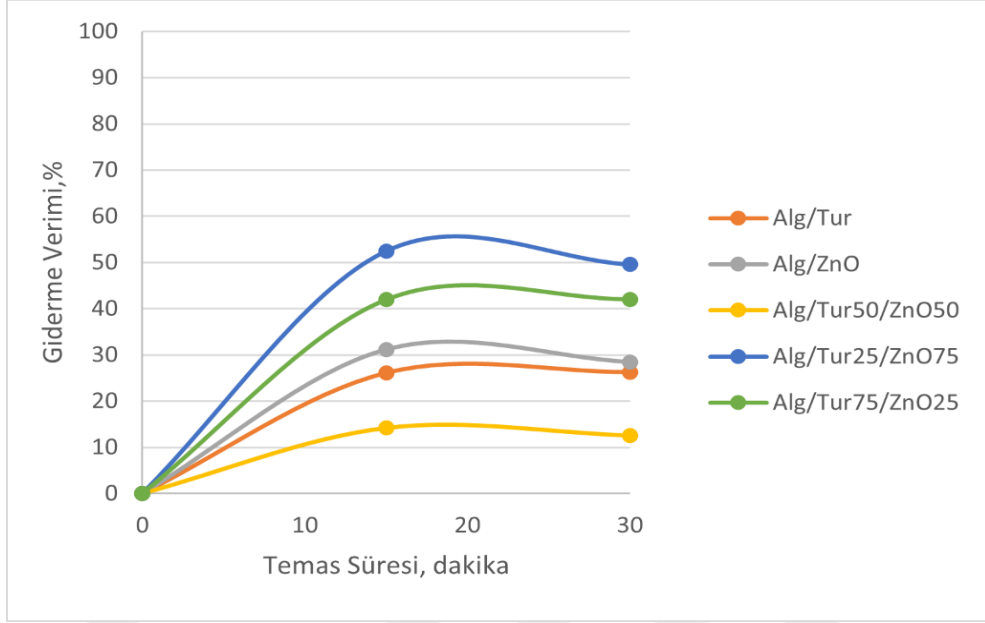
oranında katkı bulunduran film yapılarında da bakteri inhibisyon çapı çok çok küçük olup değerlendirmeye almak için uygun bulunmamıştır.

4.9. Fotokatalitik Etkinlik Testi

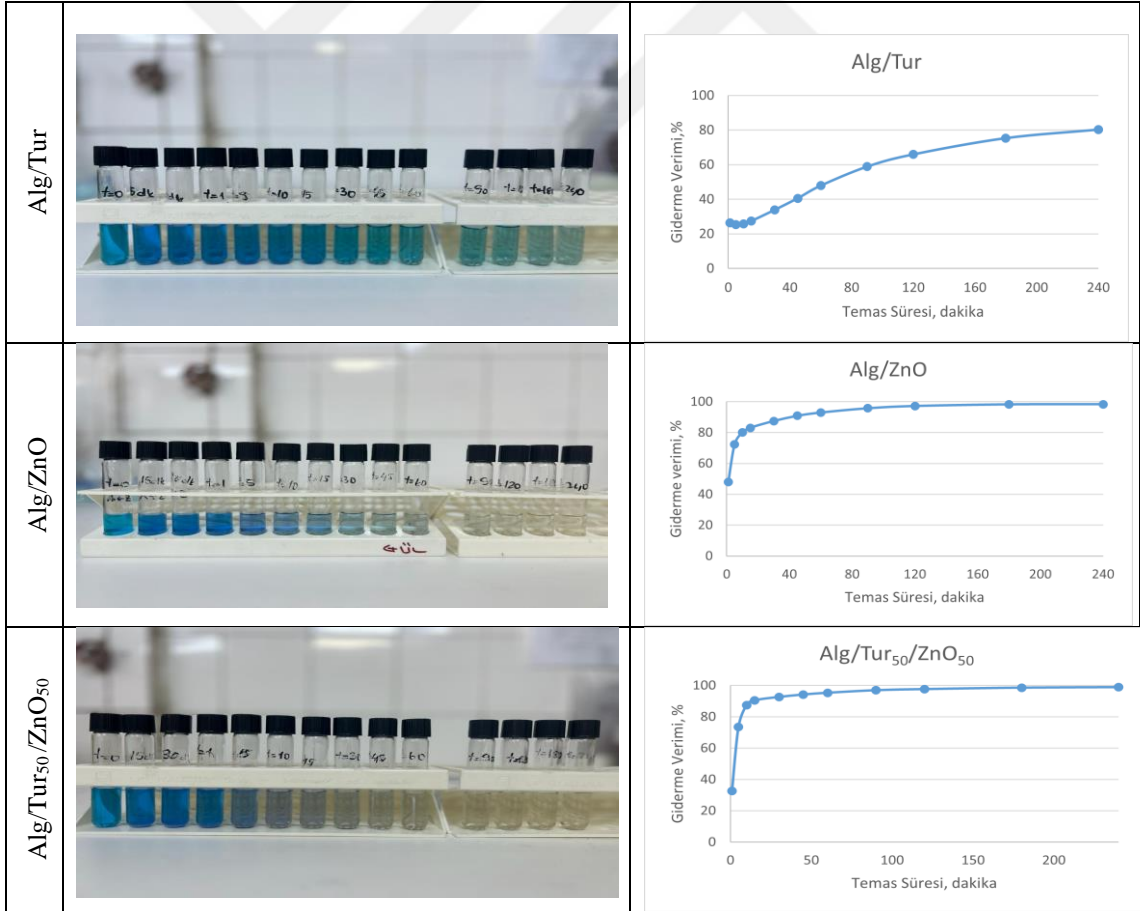
Tablo 4.3 Fotokatalitik oksidasyon denemelerinde MB giderme verimleri (250 mL, 10 mg/L MB çözeltisi, 0,25 g katalizör, doğal pH:5,2, 670 nm)

Temas Süresi t, dakika	Giderme Verimleri, %					
	Alg/Tur	Alg/ZnO	Alg/Tur ₁₅₀ /ZnO ₅₀	Alg/Tur ₂₅ /ZnO ₇₅	Alg/Tur ₇₅ /ZnO ₂₅	UVC
Adsorpsiyon-Desorpsiyon						
15	26,1	31,2	14,2	52,5	41,9	-
30	26,2	28,5	12,5	49,6	42,0	-
UV-C						
1	26,4	47,9	32,7	58,4	60,7	0
5	25,4	72,4	73,5	82,5	81,6	0,4
10	25,8	80,1	87,5	89,8	91,0	0,9
15	27,4	83,1	90,5	91,7	94,2	6,8
30	33,8	87,5	92,7	93,7	95,9	9,5
45	40,6	90,9	94,2	95,5	96,6	19,4
60	47,9	93,0	95,3	96,4	97,2	30,7
90	58,8	95,8	96,9	97,7	98,0	48,4
120	65,9	97,2	97,7	98,2	98,4	62,8
180	75,3	98,3	98,6	98,5	98,8	81,0
240	80,2	98,4	98,9	98,7	98,9	90,4

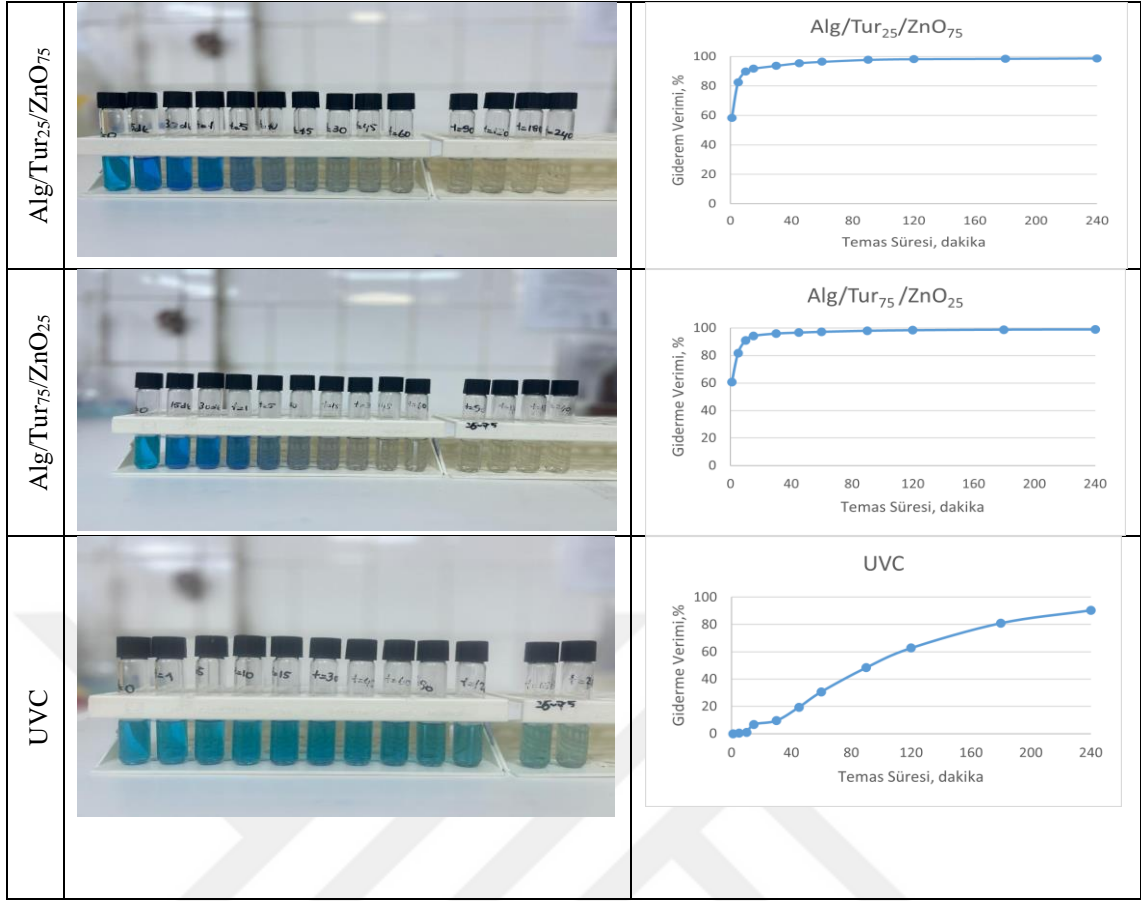
UV-C ışık uygulamadan katalizör eklenmesi sonucunda ilk 30 dakikada elde edilen giderme verimleri yukarıdaki Tablo 4.3’de verilmiş olup, Şekil 4.33’de de gösterilmiştir.



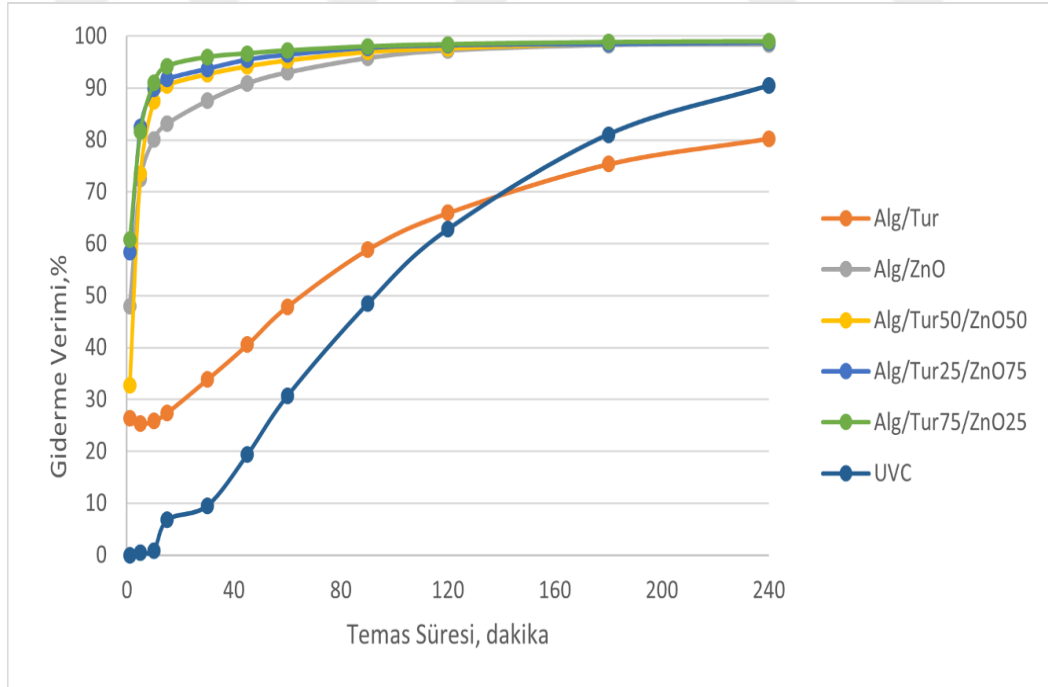
Şekil 4.33 UV-C uygulanmaksızın eklenen katalizörlerin giderme verimine etkileri



Şekil 4.34 Zamana bağlı olarak alınan numuneler ve giderme verimleri



Şekil 4.34 Zamana bağlı olarak alınan numuneler ve giderme verimleri (Devam)



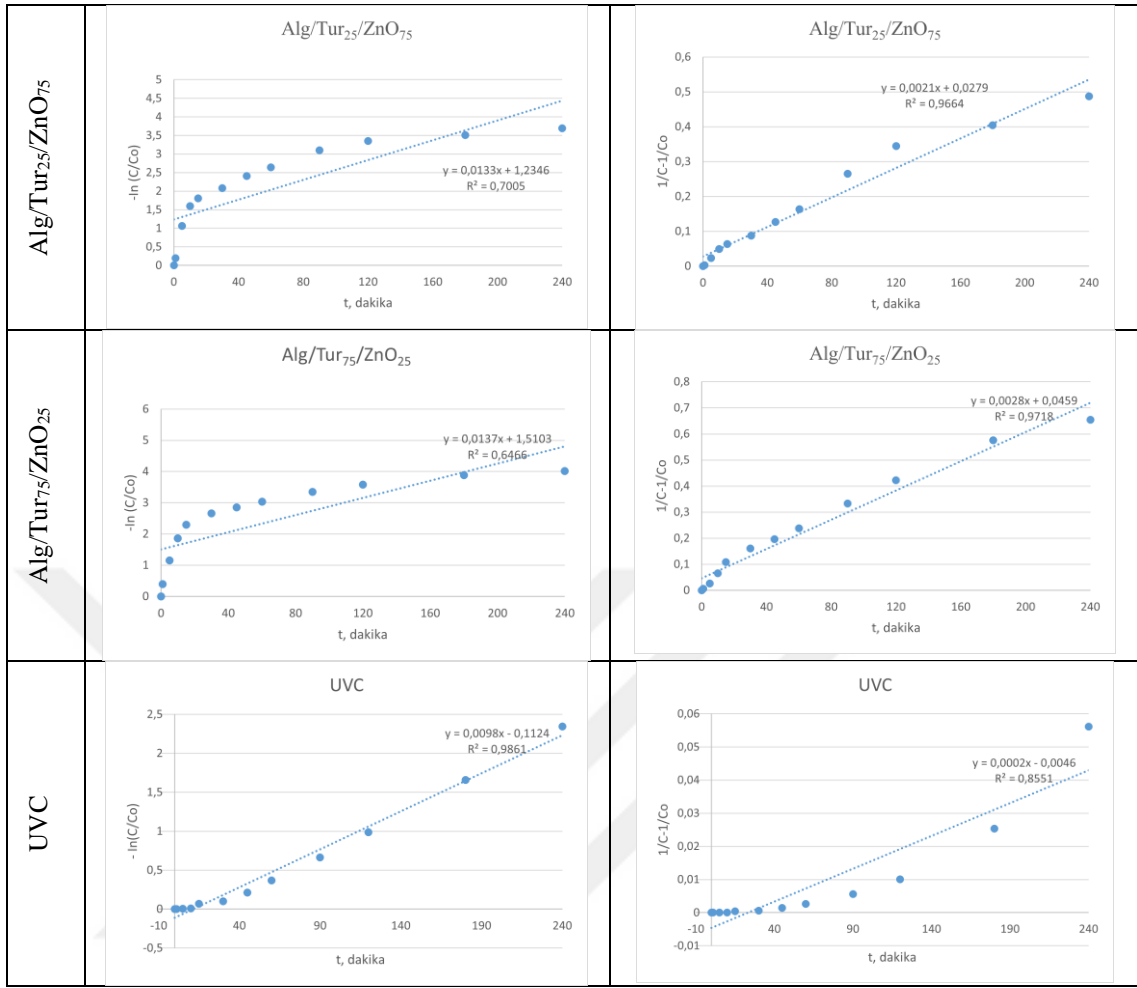
Şekil 4.35 30 dakikalık adsorpsiyon desorpsiyon uygulaması ve ardından UV-C sonrasında giderim verimlerinin karşılaştırılması

Alg/Tur her iki kinetik modele de uyumlu olarak belirlenmiştir. R^2 değerleri yalancı birinci derece kinetik model için 0,9875, ikinci derece kinetik model için 0,9868 bulunmuştur. Diğer katalizörler ikinci derece kinetik modele uyumlu olarak belirlenmiştir. Yalnızca UV-C uygulaması durumunda birinci derece kinetik model için R^2 değeri ikinci derece kinetik model R^2 değerinden daha yüksek (0,9861) bulunmuştur.

Kinetik belirme çalışması için çizilen grafiklerin eğiminden reaksiyon hız katsayısı (k) değerine ulaşılabilmekte ve reaksiyonun hızı hakkında da değerlendirme yapılabilmektedir. Reaksiyon hız katsayıları Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4 Kinetik değerlendirme

	Pseudo First Order Kinetic Model	Pseudo Second Order Kinetic Model
Alg/Tur		
Alg/ZnO		
Alg/Tur ₅₀ /ZnO ₅₀		

Tablo 4.4 Kinetik değerlendirme (Devam)**Tablo 4.5** Kinetik değerlendirme ve reaksiyon hız katsayıları

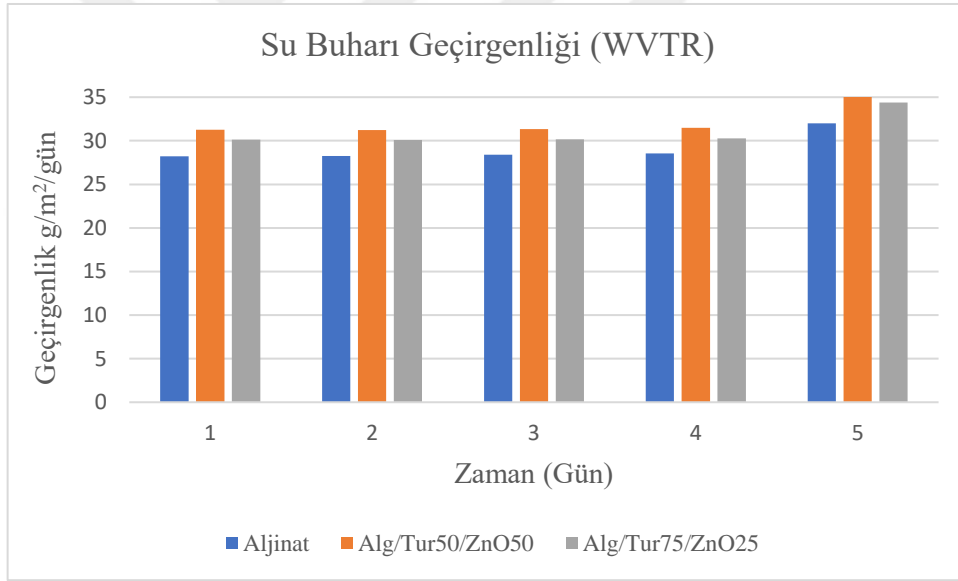
Katalizörler	Pseudo First Order Kinetic Model		Pseudo Second Order Kinetic Model	
	k (1/dakika)	R ²	k (L/g.dakika)	R ²
Alg/Tur	0,006	0,9875	0,0001	0,9868
Alg/ZnO	0,0146	0,8232	0,0022	0,9752
Alg/Tur ₅₀ /ZnO ₅₀	0,0153	0,7216	0,0037	0,995
Alg/Tur ₂₅ /ZnO ₇₅	0,0133	0,7005	0,0021	0,9664
Alg/Tur ₇₅ /ZnO ₂₅	0,0137	0,6466	0,0028	0,9718
UVC	0,0098	0,9861	0,0002	0,8551

Reaksiyon hız katsayıları incelendiğinde; Alg/Tur in 0,0001 L/g.dak ile en düşük hızla sahip olduğu, bundan sonra artan hızda sırasıyla Alg/Tur₂₅/ZnO₇₅ (0,0021 L/g.dak), Alg/ZnO (0,0022 L/g.dak), Alg/Tur₇₅/ZnO₂₅ (0,0028 L/g.dak) olduğu görülmektedir. En yüksek reaksiyon hızına sahip katalizör Alg/Tur₅₀/ZnO₅₀ olarak belirlenmiş olup, reaksiyon hız katsayısı k değeri 0,0037 L/g.dak bulunmuştur. Bu değer Alg/Tur'in neredeyse 4 katı, diğer katalizörlerin ise yaklaşık iki katı kadardır. Bu durum da aynı giderme verimini elde edebilmek için daha düşük hacim ihtiyacı anlamına gelmektedir.

4.10. Su Buharı İletim Hızı (WVTR)

Sünger ve türevi yara örtüleri, yüksek gözenekli mikro yapılarından ve yüzey alanından dolayı daha yüksek su buharı penetrasyonu ve daha fazla yara eksüdası emilimi özellikleri gibi diğer yara örtülerine göre avantajlı konumdadır. 2020 yılında yapılan bir çalışmada Aljinat/Kitosan/Fucoiden kompozit süngerler hazırlanmış ve 8 mm kalınlığındaki ilgili süngerlerin su buharı iletim hızı aralığı 2100-2500 g/m²/gün olduğu tespit edilmiştir.

Tang vd., tarafından yapılan bir diğer çalışmada Kitosan/Sodyum Selüloz Sülfat/Gümüş nanopartikülleri içeren 3 mm kalınlığında kompozit filmler hazırlanmış ve karakterize edilmiştir. İlgili kompozitlerin su buharı iletim hızları 25 °C ve %37 bağıl nemde incelendiğinde 974-1008 g/m²/gün iletim hızı aralığı tespit edilmiştir. Sünger ve kompozit filmlerin arasında bu iletim hızı farkları başlıca üretilen kompozitlerin gözenek boyutu ve kompozitlerin kalınlığı ile ilgilidir (Tang vd., 2022).



Şekil 4.36 Üretilen kompozit filmlerin su buharı iletim hızları

Bu tez çalışmasında üretilen kompozit filmlerden fotokatalitik etkinliği en yüksek olan iki kompozit ((Alg/Tur₅₀/ZnO₅₀), (Alg/Tur₇₅/ZnO₂₅)) ve matris malzeme (Aljinat) olmak üzere toplamda üç filmin su buharı iletim hızı ölçülmüştür. Şekil 4.36’da görüldüğü gibi Alg/Tur₅₀/ZnO₅₀ kompoziti en yüksek WVTR sahiptir. Genel olarak filmlerin WVTR’si beş gün boyunca dengeli bir şekilde artmıştır. İkinci günde filmlerin WVTR’sinde bir miktar azalma görülmüştür ancak bu fark anlamlı değildir. Bu sonuç gözenek boyutu ile ilgili olabilir.

5. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, bir biyopolimer olan Aljinat polimeri içerisine Tur ve ZnO partikülleri ilave edilerek, Alg, Alg/ZnO, Alg/Tur, Alg/ZnO₅₀/Tur₅₀, Alg/ZnO₂₅/Tur₇₅, Alg/ZnO₇₅/Tur₂₅ olmak üzere, çözelti döküm (solvent cast) tekniğinde çözücü buharlaştırma yerine koagülasyon çözeltisi ilave edilerek film yüzeylerin üretimi sağlanmıştır. Üretilen Alg ve kompozit film yapıların yüzey morfolojileri, elementel analizleri, kristal yapıları gibi karakterizasyona yönelik analizlerin yanında film kalınlığı, çekme testi, şişme testi, su buharı geçirgenliği ve in vitro düzeyde antibakteriyel ve fotokatalitik özellikleri incelenmiştir. Ek olarak kullanılan Tur ve ZnO'ya ait tane boyut analizi ve XRD analizleri yapılmıştır. Yapılan test ve analizler sonucunda, film yapıların başarılı şekilde üretildiği tespit edilmiştir.

Tez çalışması sürecince belirlenen hedeflerin gerçekleşme durumları değerlendirildiğinde, ZnO ve Tur partikül boyutlarının <10 µm olması; Alg çözeltilerin hazırlanması ve içerisine sadece Tur, sadece ZnO ve Tur/ZnO partiküllerinin farklı oranlarda (25/75; 50/50; 75/25) ilave edilmesi; hazırlanan çözeltilerin cam bir yüzey üzerine dökülmesi ve ortama %1'lik CaCl₂ çözeltisi verilerek film yüzeylerin oluşumunun sağlanması; elde edilen filmlerin kalınlıklarının mikrometre ile ölçülmesi; elde edilen filmlerin tuzlu su (%1 w/v'lik NaCl₂) ile temas ettiğinde > %1 şişme davranışı sergilemesi; elde edilen filmlerin fotokatalitik etkiye sahip olması; elde edilen filmlerin mekanik (çekme testi) dayanımlarının test edilmesi ve sonuçların > 2.5 MPa olması; elde edilen filmlerin FTIR spektrumlarında ve XRD paternlerinde Alg, Tur ve ZnO'ya ait piklerin görülmesi; elde edilen filmlerin SEM-EDS karakterizasyonlarının gerçekleştirilmesi, EDS analizinde ZnO ve Tur'e ait elementlerin yapıda tespit edilmesi hedeflerine ulaşılmış olup ulaşılamayan tek hedef elde edilen film yapıların seçilen gram negatif (*Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853) ve gram pozitif (*Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212) bakterilere karşı antibakteriyel etki sergilemesi olmuştur.

Bu kapsamda, anti bakteriyel aktivite testleri için B planı olarak Tur ve ZnO katkı oranı önce %1'den %2'ye çıkarılarak film üretimleri ve antibakteriyel analizler tekrarlanmıştır. Sonuçlar yine olumlu olmayınca katkı malzemesi oranı bu kez %6'ya çıkarılarak film yapılar üretilmiş ve antibakteriyel aktivite testleri gerçekleştirilmiştir. Ne yazık ki inhibasyon zonu çok küçük olmakla birlikte hesaplanamamıştır. Tur

mineralinin antibakteriyel aktivite sergilediğine dair hatrı sayılır çalışmanın yanında antibakteriyel olmadığına ilişkin hatta düşük konsantrasyonlardaki Tur'un bakteri üremesini desteklediğine yönelik birkaç çalışma tespit edilmiştir.

Durumun daha iyi analiz edilebilmesi için Tur ve antibakteriyel durumuna yönelik daha ileri araştırma ve çalışma yapılması gerekmektedir. Ancak tekrarlı üretimler sonrasında gerek zaman gerek bütçe limitleri nedeniyle daha yüksek konsantrasyonlarda deneme yapma fırsatı olmamıştır.

Ancak, üretilen kompozit filmlerin fotokatalitik etki sergilediği tespit edilmiş olup literatürde yer alan ZnO'in fotokatalitik etkisinin Tur tarafından olumlu desteklenerek artış gösterdiği çalışmalar ile örtüşmektedir.



6. KAYNAKLAR

- Abasalizadeh, F., Moghaddam, S. V., Alizadeh, E., Akbari, E., Kashani, E., Fazljou, S. M. B., ... & Akbarzadeh, A. (2020). Alginate-based hydrogels as drug delivery vehicles in cancer treatment and their applications in wound dressing and 3D bioprinting. *Journal of biological engineering*, *14*, 1-22. doi:10.1186/s13036-020-0227-7.
- Abdo, J. M., Sopko, N. A., & Milner, S. M. (2020). The applied anatomy of human skin: A model for regeneration. *Wound Medicine*, *28*, 100179. doi:10.1016/J.WNDM.2020.100179.
- Abou-Okeil, A., Fahmy, H. M., El-Bisi, M. K., & Ahmed-Farid, O. A. (2018). Hyaluronic acid/Na-alginate films as topical bioactive wound dressings. *European Polymer Journal*, *109*, 101-109. doi:10.1016/J.EURPOLYMJ.2018.09.003.
- Ahmad, H., Tariq, A., Shehzad, A., Faheem, M. S., Shafiq, M., Rashid, I. A., ... & Khaliq, Z. (2019). Stealth technology: Methods and composite materials—A review. *Polymer Composites*, *40*(12), 4457-4472. doi:10.1002/pc.25311.
- Ajmal, S., Hashmi, F. A., & Imran, I. (2022). Recent progress in development and applications of biomaterials. *Materials Today: Proceedings*, *62*, 385-391. doi:10.1016/j.matpr.2022.04.233.
- Al-Musawi, T. J., Alghamdi, M. I., Alhachami, F. R., Zaidan, H., Mengelizadeh, N., Asghar, A., & Balarak, D. (2023). The application of a new recyclable photocatalyst γ -Fe₂O₃@ SiO₂@ ZIF8-Ag in the photocatalytic degradation of amoxicillin in aqueous solutions. *Environmental Monitoring and Assessment*, *195*(3), 372. doi:10.1007/s10661-023-10974-8.
- Alven, S., Peter, S., Mbese, Z., & Aderibigbe, B. A. (2022). Polymer-based wound dressing materials loaded with bioactive agents: Potential materials for the treatment of diabetic wounds. *Polymers*, *14*(4), 724. doi:10.3390/polym14040724.
- Ambrogio, V., Pietrella, D., Donnadio, A., Latterini, L., Di Michele, A., Luffarelli, I., & Ricci, M. (2020). Biocompatible alginate silica supported silver nanoparticles composite films for wound dressing with antibiofilm activity. *Materials Science and Engineering: C*, *112*, 110863. doi:10.1016/J.MSEC.2020.110863.
- Subagia, I. A., Tijjing, L. D., Kim, Y., Kim, C. S., Vista IV, F. P., & Shon, H. K. (2014). Mechanical performance of multiscale basalt fiber-epoxy laminates containing tourmaline micro/nano particles. *Composites Part B: Engineering*, *58*, 611-617. doi:10.1016/J.COMPOSITESB.2013.10.034.
- Avci, H., & Gergeroglu, H. (2019). Synergistic effects of plant extracts and polymers on structural and antibacterial properties for wound healing. *Polymer Bulletin*, *76*, 3709-3731. doi:10.1007/s00289-018-2578-5.
- Azeredo, H. M., Magalhães, U. S., Oliveira, S. A., Ribeiro, H. L., Brito, E. S., & De Moura, M. R. (2012). Tensile and water vapour properties of calcium-crosslinked alginate-cashew tree gum films. *International journal of food science & technology*, *47*(4), 710-715. doi:10.1111/j.1365-2621.2011.02897.x.
- Bagheri, M., Validi, M., Gholipour, A., Makvandi, P., & Sharifi, E. (2022). Chitosan nanofiber biocomposites for potential wound healing applications: Antioxidant activity

with synergic antibacterial effect. *Bioengineering & translational medicine*, 7(1), e10254. doi:10.1002/btm2.10254.

Baktır, G. (2019). Wound repair and experimental wound models. *Experimed*, 9(3), 130-137. doi:10.26650/experimed.2019.19023.

Besra, S., Belakroum, K., Iaiche, S., Aouf, D., Rahmani, Y., Belkhalifa, H., & Henni, A. (2023). Facile synthesis and characterization of ZnO: Al/ZnS/NiO heterojunction thin films with enhanced photocatalytic activities. *Solid State Sciences*, 143, 107282. doi:10.1016/J.SOLIDSTATESCIENCES.2023.107282.

Cao, Y. Q., Zi, T. Q., Zhao, X. R., Liu, C., Ren, Q., Fang, J. B., ... & Li, A. D. (2020). Enhanced visible light photocatalytic activity of Fe₂O₃ modified TiO₂ prepared by atomic layer deposition. *Scientific Reports*, 10(1), 13437. doi:10.1038/s41598-020-70352-z.

Dutta, V., Sharma, S., Raizada, P., Thakur, V. K., Khan, A. A. P., Saini, V., ... & Singh, P. (2021). An overview on WO₃ based photocatalyst for environmental remediation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(1), 105018. doi:10.1016/J.JECE.2020.105018.

Fu, L. X., Guo, Y., Zhang, Q. H., Huang, J., & Wang, L. J. (2018). Tourmaline@ ZnO core-shell structural composites: fabrication, characterization, and optical properties. *Journal of Electronic Materials*, 47, 4289-4295. doi:10.1007/s11664-018-6223-8.

Gong, C. P., Luo, Y., & Pan, Y. Y. (2019). Novel synthesized zinc oxide nanoparticles loaded alginate-chitosan biofilm to enhanced wound site activity and anti-septic abilities for the management of complicated abdominal wound dehiscence. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 192, 124-130. doi:10.1016/J.JPHOTOBIO.2019.01.019.

Gudkov, S. V., Burmistrov, D. E., Serov, D. A., Rebezov, M. B., Semenova, A. A., & Lisitsyn, A. B. (2021). A mini review of antibacterial properties of ZnO nanoparticles. *Frontiers in Physics*, 9, 641481. doi:10.3389/fphy.2021.641481.

Guo, Y., Zhang, Q. H., Wang, L. R., Lu, W. Z., & Wang, L. J. (2015, February). Preparation and Characterization of Tourmaline/ZnO Composite Thin Films by a Facile Wet-Chemical Route. In *Materials Science Forum* (Vol. 809, pp. 649-653). Trans Tech Publications Ltd. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.809-810.649.

Homaeigohar, S., & Boccaccini, A. R. (2020). Antibacterial biohybrid nanofibers for wound dressings. *Acta biomaterialia*, 107, 25-49. doi:10.1016/j.actbio.2020.02.022.

<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/wound-care-market-371.html>
(Erişim Tarihi 28.12.2023).

Hu, Y., Chen, X., & Li, Y. (2016). The Synthesis and Characterization of Poly (methyl methacrylate-tourmaline acrylate). *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016. doi:10.1155/2016/9480451.

Hu, Y., & Yang, X. (2012). The surface organic modification of tourmaline powder by span-60 and its composite. *Applied Surface Science*, 258(19), 7540-7545. doi:10.1016/J.APSUSC.2012.04.082.

- Huang, M. H., & Yang, M. C. (2010). Swelling and biocompatibility of sodium alginate/poly (γ -glutamic acid) hydrogels. *Polymers for Advanced Technologies*, 21(8), 561-567. doi:10.1002/pat.1466.
- Bombin, A. D. J., Dunne, N. J., & McCarthy, H. O. (2020). Electrospinning of natural polymers for the production of nanofibres for wound healing applications. *Materials Science and Engineering: C*, 114, 110994. doi:10.1016/j.msec.2020.110994.
- Kang, S. J., Tijing, L. D., Hwang, B. S., Jiang, Z., Kim, H. Y., & Kim, C. S. (2013). Fabrication and photocatalytic activity of electrospun nylon-6 nanofibers containing tourmaline and titanium dioxide nanoparticles. *CERAMICS international*, 39(6), 7143-7148. doi:10.1016/J.CERAMINT.2013.02.057.
- Seçil, K. A. Y. A., & DERMAN, S. (2023). PROPERTIES OF IDEAL WOUND DRESSING. *Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara University*, 47(3), 5-5. doi:10.33483/jfpau.1253376.
- Güner, E. K. (2023). Kobalt Ferrit Nanoparçacıkların Sentezi, Karakterizasyonu ve Fotokataliz Uygulamaları: Farklı Çöktürücü Maddelerin ve Yöntemlerin Etkisi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(1), 432-447. doi:10.21597/jist.1219411.
- Koga, A. Y., Felix, J. C., Silvestre, R. G. M., Lipinski, L. C., Carletto, B., Kawahara, F. A., & Pereira, A. V. (2020). Evaluation of wound healing effect of alginate film containing Aloe vera gel and cross-linked with zinc chloride. *Acta cirurgica brasileira*, 35, e202000507. doi:10.1590/s0102-865020200050000007.
- Li, N., Zhang, J., Wang, C., & Sun, H. (2017). Enhanced photocatalytic degradation of tetrabromobisphenol A by tourmaline–TiO₂ composite catalyst. *Journal of Materials Science*, 52, 6937-6949. doi:10.1007/s10853-017-0926-8.
- Liu, R., Ye, H., Xiong, X., & Liu, H. (2010). Fabrication of TiO₂/ZnO composite nanofibers by electrospinning and their photocatalytic property. *Materials Chemistry and Physics*, 121(3), 432-439. doi:10.1016/J.MATCHEMPHYS.2010.02.002.
- Lu, Z., Gao, J., He, Q., Wu, J., Liang, D., Yang, H., & Chen, R. (2017). Enhanced antibacterial and wound healing activities of microporous chitosan-Ag/ZnO composite dressing. *Carbohydrate polymers*, 156, 460-469. doi:10.1016/J.CARBPOL.2016.09.051.
- Luo, H., Huang, T., Li, X., Wang, J., Lv, T., Tan, W., ... & Zhou, B. (2022). Synergistic antibacterial and wound-healing applications of an imidazole-based porous organic polymer encapsulated silver nanoparticles composite. *Microporous and Mesoporous Materials*, 337, 111925. doi:10.1016/J.MICROMESO.2022.111925.
- Makarova, A. O., Derkach, S. R., Khair, T., Kazantseva, M. A., Zuev, Y. F., & Zueva, O. S. (2023). Ion-induced polysaccharide gelation: Peculiarities of alginate egg-box association with different divalent cations. *Polymers*, 15(5), 1243. doi:10.3390/polym15051243.
- Mansouri, S., Sheikholeslami, T. F., & Behzadmehr, A. (2019). Investigation on the electrospun PVDF/NP-ZnO nanofibers for application in environmental energy harvesting. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(2), 1608-1615. doi:10.1016/J.JMRT.2018.07.024.

- Mateu-Sanz, M., Fuenteslópez, C. V., Uribe-Gomez, J., Haugen, H. J., Pandit, A., Ginebra, M. P., ... & Samara, A. (2023). Redefining biomaterial biocompatibility: challenges for artificial intelligence and text mining. *Trends in biotechnology*. doi:10.1016/j.tibtech.2023.09.015.
- Mirzaei, H., & Darroudi, M. (2017). Zinc oxide nanoparticles: Biological synthesis and biomedical applications. *Ceramics International*, 43(1), 907-914. doi:10.1016/J.CERAMINT.2016.10.051.
- Motelica, L., Ficai, D., Oprea, O., Ficai, A., Trusca, R. D., Andronescu, E., & Holban, A. M. (2021). Biodegradable alginate films with ZnO nanoparticles and citronella essential oil—A novel antimicrobial structure. *Pharmaceutics*, 13(7), 1020. doi:10.3390/pharmaceutics13071020.
- Norouzi, M. A., Montazer, M., Harifi, T., & Karimi, P. (2021). Flower buds like PVA/ZnO composite nanofibers assembly: Antibacterial, in vivo wound healing, cytotoxicity and histological studies. *Polymer testing*, 93, 106914. doi:10.1016/J.POLYMERTESTING.2020.106914.
- Nozari, M., Gholizadeh, M., Oghani, F. Z., & Tahvildari, K. (2021). Studies on novel chitosan/alginate and chitosan/bentonite flexible films incorporated with ZnO nanoparticles for accelerating dermal burn healing: In vivo and in vitro evaluation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 184, 235-249. doi:10.1016/j.ijbiomac.2021.06.066.
- Özkan, E. (2023). TiO₂ Esaslı Fotokatalitik Yüzeyler: Mekanizma ve Uygulama Alanları. *İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi*, 4(1), 29-37.
- Öztaş, P. (2021). Yara İyileşmesi, Bakımı ve Tedavisi. *Ankara Eğitim ve Araştırma Hastanesi Tıp Dergisi*, 54(2), 341-351. doi:10.20492/aeahtd.931499.
- Pawar, S. N., & Edgar, K. J. (2012). Alginate derivatization: A review of chemistry, properties and applications. *Biomaterials*, 33(11), 3279-3305. doi:10.1016/J.BIOMATERIALS.2012.01.007.
- Pitpisutkul, V., & Prachayawarakorn, J. (2022). Hydroxypropyl methylcellulose/carboxymethyl starch/zinc oxide porous nanocomposite films for wound dressing application. *Carbohydrate Polymers*, 298, 120082. doi:10.1016/j.carbpol.2022.120082.
- Qi, K., Cheng, B., Yu, J., & Ho, W. (2017). Review on the improvement of the photocatalytic and antibacterial activities of ZnO. *Journal of Alloys and Compounds*, 727, 792-820. doi:10.1016/J.JALLCOM.2017.08.142.
- Qin, R., Meng, F., Khan, M. W., Yu, B., Li, H., Fan, Z., & Gong, J. (2019). Fabrication and enhanced photocatalytic property of TiO₂-ZnO composite photocatalysts. *Materials Letters*, 240, 84-87. doi:10.1016/J.MATLET.2018.12.139.
- Qiu, S., Ma, F., Wo, Y., & Xu, S. (2011). Study on the biological effect of tourmaline on the cell membrane of E. coli. *Surface and interface analysis*, 43(7), 1069-1073. doi:10.1002/sia.3694.
- Rajivgandhi, G., Gnanamangai, B. M., Prabha, T. H., Poornima, S., Maruthupandy, M., Alharbi, N. S., ... & Li, W. J. (2022). Biosynthesized zinc oxide nanoparticles (ZnO NPs)

- using actinomycetes enhance the anti-bacterial efficacy against *K. Pneumoniae*. *Journal of King Saud University-Science*, 34(1), 101731. doi:10.1016/J.JKSUS.2021.101731.
- Rouzhahong, Y., Wushuer, M., Mamat, M., Wang, Q., & Wang, Q. (2020). First principles calculation for photocatalytic Activity of GaAs Monolayer. *Scientific reports*, 10(1), 9597. doi:10.1038/s41598-020-66575-9.
- Ruan, D., Zhang, L., Zhang, Z., & Xia, X. (2004). Structure and properties of regenerated cellulose/tourmaline nanocrystal composite films. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 42(3), 367-373. doi:10.1002/polb.10664.
- Sathiyaseelan, A., Naveen, K. V., Zhang, X., Han, K., & Wang, M. H. (2023). Research progress on chitosan-zinc oxide nanocomposites fabrication, characterization, biomedical and environmental applications. *Coordination Chemistry Reviews*, 496, 215398. doi:10.1016/J.CCR.2023.215398.
- Sikareepaisan, P., Ruktanonchai, U., & Supaphol, P. (2011). Preparation and characterization of asiaticoside-loaded alginate films and their potential for use as effectual wound dressings. *Carbohydrate Polymers*, 83(4), 1457-1469. doi:10.1016/J.CARBPOL.2010.09.048.
- Song, L., Shu, L., Wang, Y., Zhang, X. F., Wang, Z., Feng, Y., & Yao, J. (2020). Metal nanoparticle-embedded bacterial cellulose aerogels via swelling-induced adsorption for nitrophenol reduction. *International journal of biological macromolecules*, 143, 922-927. doi:10.1016/J.IJBIOMAC.2019.09.152.
- Summa, M., Russo, D., Penna, I., Margaroli, N., Bayer, I. S., Bandiera, T., ... & Bertorelli, R. (2018). A biocompatible sodium alginate/povidone iodine film enhances wound healing. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 122, 17-24. doi:10.1016/J.EJPB.2017.10.004.
- Sun, L., Guo, Y., Fu, L., Hu, Y., Pan, S., Huang, J., & Zhen, Q. (2021). Construction of the Core-Shell Tourmaline@ ZnO Micro-nano Structure Towards the Highly Efficient Degradation of Organic Pollutants. *Journal of Electronic Materials*, 50, 3885-3896. doi:10.1007/s11664-021-08894-9.
- Tang, C., Zhao, B., Zhu, J., Lu, X., & Jiang, G. (2022). Preparation and characterization of chitosan/sodium cellulose sulfate/silver nanoparticles composite films for wound dressing. *Materials Today Communications*, 33, 104192. doi:10.1016/J.MTCOMM.2022.104192.
- Tezcan, F. (2008). Aljinat/kil biyopolimer nanokompozit filmlerin eldesi ve karakterizasyonu (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Thomas, D., Nath, M. S., Mathew, N., Reshmy, R., Philip, E., & Latha, M. S. (2020). Alginate film modified with aloe vera gel and cellulose nanocrystals for wound dressing application: Preparation, characterization and in vitro evaluation. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 59, 101894. doi:10.1016/j.jddst.2020.101894.
- Tijing, L. D., Ruelo, M. T. G., Amarjargal, A., Pant, H. R., Park, C. H., Kim, D. W., & Kim, C. S. (2012). Antibacterial and superhydrophilic electrospun polyurethane nanocomposite fibers containing tourmaline nanoparticles. *Chemical Engineering Journal*, 197, 41-48. doi:10.1016/J.CEJ.2012.05.005.

- Türe, H. (2019). Characterization of hydroxyapatite-containing alginate–gelatin composite films as a potential wound dressing. *International journal of biological macromolecules*, *123*, 878-888. doi:10.1016/J.IJBIOMAC.2018.11.143.
- Unnikrishnan, G., Joy, A., Megha, M., Thomas, J., Haris, M., Kolanthai, E., & Muthuswamy, S. (2024). Preparation and characterizations of antibacterial and electroactive polymeric composites for wound healing applications. *Polymer Composites*, *45*(1), 267-285. doi:10.1002/pc.27775.
- Varaprasad, K., Jayaramudu, T., Kanikireddy, V., Toro, C., & Sadiku, E. R. (2020). Alginate-based composite materials for wound dressing application: A mini review. *Carbohydrate polymers*, *236*, 116025. doi:10.1016/J.CARBPOL.2020.116025.
- Varaprasad, K., Raghavendra, G. M., Jayaramudu, T., & Seo, J. (2016). Nano zinc oxide–sodium alginate antibacterial cellulose fibres. *Carbohydrate polymers*, *135*, 349-355. doi:10.1016/J.CARBPOL.2015.08.078.
- Vatansever Bayramol, D., Ağırhan, A. Ö., & Yıldız, A. (2019). Tourmaline nanoparticles doped polyvinylidene fluoride (PVDF) nanofibers. *Medziagotyra*. doi:10.5755/j01.ms.26.3.22335.
- Visha, M. G., & Karunakaran, M. (2019). A review on wound healing. *International Journal of Clinicopathological Correlation*, *3*(2), 50. doi:10.4103/ijcpc.ijcpc_13_19.
- Wang, L., Khor, E., Wee, A., & Lim, L. Y. (2002). Chitosan-alginate PEC membrane as a wound dressing: Assessment of incisional wound healing. *Journal of Biomedical Materials Research: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*, *63*(5), 610-618. doi:10.1002/jbm.10382.
- Wang, S., Liu, X., Lei, M., Sun, J., Qu, X., & Liu, C. (2021). Continuous and controllable electro-fabrication of antimicrobial copper-alginate dressing for infected wounds treatment. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, *32*, 1-14. doi:10.1007/s10856-021-06619-2.
- Widiyandari, H., Ketut Umiati, N. A., & Dwi Herdianti, R. (2018, May). Synthesis and photocatalytic property of Zinc Oxide (ZnO) fine particle using flame spray pyrolysis method. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1025, p. 012004). IOP Publishing. doi:10.1088/1742-6596/1025/1/012004.
- Wilkinson, H. N., & Hardman, M. J. (2020). Wound healing: cellular mechanisms and pathological outcomes. *Open biology*, *10*(9), 200223. doi:10.1098/rsob.200223.
- Winter, G. D. (1962). Formation of the scab and the rate of epithelization of superficial wounds in the skin of the young domestic pig. *Nature*, *193*(4812), 293-294.
- Winter, G. D., & Scales, J. T. (1963). Effect of air drying and dressings on the surface of a wound. *Nature*, *197*(4862), 91-92.
- Xia, M., & Kang, L. (2022). Tourmaline with ultraviolet optical nonlinearity: Emergent material discovery from mineral. *Journal of Alloys and Compounds*, *892*, 162235. doi:10.1016/J.JALLCOM.2021.162235.

- Xu, J., Chang, Y., Zhang, Y., Ma, S., Qu, Y., & Xu, C. (2008). Effect of silver ions on the structure of ZnO and photocatalytic performance of Ag/ZnO composites. *Applied Surface Science*, 255(5), 1996-1999. doi:10.1016/J.APSUSC.2008.06.130.
- Xu, Y., Qian, Y. S., Qiao, J. L., Huang, D. Y., & Cui, S. B. (2022). Preparation and electrochemical study of Ag nanoparticles decorated on gallium arsenide as photocatalyst for methyl orange degradation under visible light. *International Journal of Electrochemical Science*, 17(2), 22024. doi:10.20964/2022.02.11.
- Xue, B., & Zou, Y. (2018). High photocatalytic activity of ZnO–graphene composite. *Journal of colloid and interface science*, 529, 306-313. doi:10.1016/J.JCIS.2018.04.040.
- Yu, C., Tong, Z., Li, S., & Yin, Y. (2019). Enhancing the photocatalytic activity of ZnO by using tourmaline. *Materials Letters*, 240, 161-164. doi:10.1016/J.MATLET.2018.12.109.
- Yuan, N., Shao, K., Huang, S., & Chen, C. (2023). Chitosan, alginate, hyaluronic acid and other novel multifunctional hydrogel dressings for wound healing: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 124321. doi:10.1016/J.IJBIOMAC.2023.124321.
- Zarei, N., & Hassanzadeh-Tabrizi, S. A. (2023). Alginate/hyaluronic acid-based systems as a new generation of wound dressings: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 127249. doi:10.1016/J.IJBIOMAC.2023.127249.
- Emami-Karvani, Z., & Chehrazi, P. (2011). Antibacterial activity of ZnO nanoparticle on gram-positive and gram-negative bacteria. *Afr J Microbiol Res*, 5(12), 1368-1373. doi:10.5897/ajmr10.159.
- Zhang, M., Wang, G., Wang, D., Zheng, Y., Li, Y., Meng, W., ... & Lee, S. (2021). Ag@MOF-loaded chitosan nanoparticle and polyvinyl alcohol/sodium alginate/chitosan bilayer dressing for wound healing applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 175, 481-494. doi:10.1016/J.IJBIOMAC.2021.02.045.
- Zhang, X., Huang, C., Mahmud, S., Guo, X., Hu, X., Jing, Y., ... & Zhu, J. (2021). Sodium alginate fasten cellulose nanocrystal Ag@AgCl ternary nanocomposites for the synthesis of antibacterial hydrogels. *Composites Communications*, 25, 100717. doi:10.1016/J.COCO.2021.100717.
- Zhao, K., Li, J. F., Li, Y. B., Tang, X., & Zou, Q. (2015, January). Potential of Tourmaline/Chitosan Fiber for Wound Dressing. In *Materials Science Forum* (Vol. 804, pp. 235-238). Trans Tech Publications Ltd. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.804.235.
- Zheng, F., Dong, F., Lv, Z., Li, H., Zhou, L., Chen, Y., ... & Luo, X. (2021). A novel g-C₃N₄/tourmaline composites equipped with plasmonic MoO_{3-x} to boost photocatalytic activity. *Colloid and Interface Science Communications*, 43, 100434. doi:10.1016/J.COLCOM.2021.100434.
- Zou, Q., Cai, B., Li, J., Li, J., & Li, Y. (2017). In vitro and in vivo evaluation of the chitosan/Tur composite film for wound healing applications. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 28(7), 601-615. doi:10.1080/09205063.2017.1289036.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hasan Kamil KOYUNCU

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2023, TÜBİTAK 1002 Projesi, Bursiyer
- 2018-2021, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü (Lisans)
- 2020, Alptürk Kumlama, Stajyer Mühendis
- 2016, Maurer Söhne Genleşme Derzleri San. Tic. Ltd. Şti., Stajyer
- 2015, Maurer Söhne Genleşme Derzleri San. Tic. Ltd. Şti., Stajyer
- 2014-2016, Ege Üniversitesi Ege Meslek Yüksekokulu, Makine Bölümü (Önlisans)

Yabancı Dil Bilgisi:

İngilizce