



**CuO NANOPARÇACIK
YEŞİL SENTEZİ VE PVA
MATRİSLİ KOMPOZİT FİLM ÜRETİMİ**

Yüksek Lisans Tezi

Fatma AYDENİZ

Eskişehir 2021

**CuO NANOPARÇACIK YEŞİL SENTEZİ VE PVA MATRİSLİ KOMPOZİT
FİLM ÜRETİMİ**

Fatma AYDENİZ

Yüksek Lisans Tezi

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Temel İşlemler ve Termodinamik Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hasan Ferdi GERÇEL

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ağustos, 2021

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Fatma AYDENCİ'nin -CuO NANOPARÇACIK YEGİL SENTEZİ VE PVA MATRİSİLE KOMPOZİT FİLM ÜRETİMİ bağımlı çalışması 24/08/2021 tarihinde ağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek -Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca, Kimya Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı) : Prof. Dr. Hasan Ferdi GERÇEL

Üye : Doç. Dr. Belgin KARABACAKOĞLU

Üye : Doç. Dr. Sema AKYALÇIN

Prof. Dr. Murat TANIĞLI

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ÖZET

CuO NANOPARÇACIK YEĞİL SENTEZİ VE PVA MATRİSLİ KOMPOZİT FİLM ÜRETİMİ

Fatma AYDENİZ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Temel Kimyalar ve Termodinamik Bilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ağustos 2021

Danışman: Prof. Dr. Hasan Ferdi GERÇEL

Son yıllarda çeşitli nanoparçacıkların sentezi için bitki kök, gövde, yaprak ve saplarının sulu ekstraktlarında bulunan ikincil metabolitlerin kullanımı yeni bir çevre dostu teknoloji olarak dikkat çekmektedir. Bakır (II) oksit (CuO) nanoparçacıklar, kristal boyutun azalmasıyla birlikte mikro boyuttaki özelliklerinden üstün özellikler sergilemelerinden dolayı, güneş enerjisi sistemleri, yarı iletkenler, katalizörler ve gaz sensörleri gibi birçok endüstriyel alanda kullanım alanı bulmaktadır. Bu çalışmada, CuO nanoparçacıklarının sentezi için indirgeyici olarak enginar sapı (*Cynara Scolymus L.*) sulu ekstraktı kullanılarak toksik olmayan, çevre dostu ve düşük maliyetli bir yeşil sentez yöntemi geliştirilmiştir. Sentezlenen nanoparçacıklar, UV-Görünür bölge (UV-Vis) spektroskopisi, Fourier dönüştürülmüş infrared (FTIR) spektroskopisi, X-ışınları kırınım (XRD) yöntemi ve taramalı elektron mikroskopisi (SEM) ile karakterize edilerek, geliştirilen yöntem sonucunda küresel CuO nanoparçacıkların (<25 nm) sentezlendiği doğrulanmıştır. Çalışma kapsamında, polivinil alkol (PVA) matrisine farklı oranlarda polietilen glikol (PEG), gliserin ve akasya sakızı polimerleri ile sentezlenen CuO nanoparçacıklar eklenerek farklı kompozit ve nanokompozit filmler hazırlanmıştır. Eklenen katkıların kompozit ve nanokompozit filmlerin kimyasal yapısı, morfolojik özellikleri, termal bozunma davranışları, mekanik ve elektriksel özellikleri üzerindeki etkileri; sırasıyla FTIR spektroskopisi, SEM, termogravimetrik analiz (TGA), çekme testi ve dielektrik sabiti ölçümleri ile incelenmiştir. FTIR analizi sonucunda PVA zincirleri ile PEG molekülleri yapısında yer alan hidroksil grupları arasında yeni hidrojen bağları oluştuğu belirlenmiştir. TGA ve dielektrik sabiti ölçümlerinden elde edilen veriler, çalışma sonucunda saf PVA filme kıyasla 600°C'deki

kalıntı yüzdesinin %81 ve dielektrik sabitinin %30 arttırıldığını göstermiştir. Çekme testi sonucunda, saf PVA filmin çekme mukavemetinin (38,85 MPa), %20 PEG ve %3 CuO nanoparçacık katkısı ile %503 artırarak 234,34 MPa'a yükseldiği belirlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Yeşil sentez, Bakır oksit nanoparçacık, Polivinil alkol, Polietilen glikol, Nanokompozit film.



ABSTRACT

CuO NANOPARTICLE GREEN SYNTHESIS AND COMPOSITE FILM PRODUCTION WITH PVA MATRIX

Fatma AYDENİZ

Department of Chemical Engineering

Program in Unit Operations and Thermodynamics

Eskisehir Technical University, Institute of Graduate Programs, August, 2021

Supervisor: Prof. Dr. H. Ferdi GERÇEL

In recent years, the use of secondary metabolites in aqueous extracts of plant roots, stems, leaves and stalks for the synthesis of various nanoparticles has attracted attention as a new environmentally friendly technology. Copper (II) oxide (CuO) nanoparticles find use in many industrial areas such as solar energy systems, semiconductors, catalysts and gas sensors, due to their superior properties in micro-scale with the reduction of crystal size. In this study, a non-toxic, environmentally friendly and low-cost green synthesis method was developed for the synthesis of CuO nanoparticles using the aqueous extract of artichoke stem (*Cynara Scolymus L.*) as a reducing agent. The synthesized nanoparticles were characterized by UV-Vis spectroscopy (UV-Vis), Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy, X-ray diffraction (XRD) method and scanning electron microscopy (SEM), and as a result of the developed method, spherical CuO nanoparticles (<25 nm) was confirmed to be synthesized. Within the scope of the study, different composite and nanocomposite films were prepared by adding the synthesized CuO nanoparticles, polyethylene glycol (PEG), glycerine and gum acacia polymers in different ratios to the polyvinyl alcohol (PVA) matrix. The effects of the additives on the chemical structure, morphological properties, thermal degradation behaviors, mechanical and electrical properties of composite and nanocomposite films were investigated by FTIR spectroscopy, SEM, thermogravimetric analysis (TGA), tensile tests and dielectric constant measurements, respectively. As a result of the FTIR analysis, it was determined that new hydrogen

bonds were formed between PVA chains and hydroxyl groups in the structure of PEG molecules. The data obtained from TGA and dielectric constant measurements showed that the percentage of residue at 600°C was increased by 81% and the dielectric constant by 30% compared to pure PVA film as a result of the study. As a result of the tensile tests, it was determined that the tensile strength (38.85 MPa) of the pure PVA film increased by 503% to 234.34 MPa with the addition of 20% PEG and 3% CuO nanoparticles.

Key words: Green synthesis, Copper oxide nanoparticle, Polyvinyl alcohol, Polyethylene glycol, Nanocomposite film.



TEŞEKKÜR

Lisansüstü çalışmalarım boyunca, bilgi ve tecrübeleriyle tüm çalışmalarına büyük bir özveriyle 10k tutan, her türlü laboratuvar imkânı ve desteğini sağlayan, danışmanım kıymetli hocam, Prof. Dr. Hasan Ferdi GERÇEL'e,

Kimi zaman arkadaş kimi zaman içten gelen tebessümüyle bir dost, kimi zaman pes etme aşamasına gelip yorulduğumuzu hissettiğimiz bu zorlu süreçte, konular ve davranışlarıyla her şeyin daha iyisini yapabileceğimize bizleri inandıran ve her koşulda yanımızda olan çok değerli hocam, Arç Gör. Dr. Çağla Gül GÜLDÜKEN'e,

Çekme testlerini yapmamda laboratuvar imkânlarını esirgemeyen çok değerli hocam Prof. Dr. Abdullah Tuğrul SEYHAN'a, güler yüzü ve sempatik tavırlarıyla çekme testlerinde destek olan çok değerli arkadaşım Özge KURT'a,

Ham maddeleri öğütme işlemlerim sırasında yardımını esirgemeyen Eskişehir Teknik Üniversitesi Seramik Araştırma Merkezi'nin Proses Laboratuvar sorumlusu Sayın Göksel YILMAZ'a,

Dielektriksel testlerini yapmam için yardımlarını esirgemeyen Sayın Elektrik-Elektronik Mühendisi Metin ÇAM'a,

Tüm samimiyeti ve tüm içtenliğiyle her koşulda yanımda olan manevi desteğini her zaman varlığıyla hissettiren çok değerli lisans bitirme tez danışmanı hocam, Dr. Öğr. Üyesi Nagihan KARAASLAN AYHAN'a,

Laboratuvar çalışmalarım her zaman yanımda olup en içten samimiyetiyle deneyimlerini benimle paylaşan çok değerli arkadaşım sevgili Merve GÜNER'e,

En değerlim, acısıyla tatlısıyla her fırsatta birbirimize destek olarak, yarınlara dair hep güzel umutlar biriktirerek yaşamaya devam ettiğimiz canım kardeşim Mehmet AYDENCİ'e,

Maddi ve manevi desteğini esirgemeyen çok ama çok değerli aile büyüklerime,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Fatma AYDENCİ

24/08/2021

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 ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmamın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Fatma AYDENİZ

*Annem “Sara AYDENİZ” hanımefendi ve babam “Hüseyin AYDENİZ”
beyefendinin anısına,*

Rahmetle ve özlemle,

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI.....	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vii
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	viii
İÇİNDEKİLER	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
GÖRSELLER DİZİNİ	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xix
1. GİRİŞ	1
2. NANOTEKNOLOJİ.....	4
2.1. Nanokompozit Malzemeler	5
2.1.1. Polimer matrisli nanokompozit malzemelerin kullanım alanları	6
2.1.2. Nanoparçacık katkılı polimer matrisli nanokompozit malzemelerin üretim yöntemleri	7
2.2.1. Nanoparçacıkların sınıflandırılması	7
2.2.2. Nanoteknolojinin avantajları	8
2.2.3. Nanoteknolojinin uygulama alanları	8
2.3. Metal Nanoparçacık.....	9
2.3.1. Metal nanoparçacık sentez yöntemleri	9
2.4. Nanoparçacık Yeşil Sentezi (Biyosentez).....	11
2.4.1. Yeşil sentez.....	11
2.4.2. Nanoparçacıkların bitkiler aracılığı ile sentezi.....	13
2.4.2.1. Bitki ekstraktlarıyla nanoparçacık sentezini etkileyen faktörler	16
2.4.2.2. Nanoparçacık sentezinde indirgeyici ajan olarak doğal ürünler	16
2.5. Neden CuO?	17
2.6. Bakır Nanoparçacıklarının Özellikleri ve Kullanım Alanları	17

2.7. Bakır Oksit Nanoparçacıklarının Özellikleri ve Kullanım Alanları	18
2.8. Nanoparçacıklar ve Çevre	19
2.8.1. Bakır (Cu) nanoparçacıklarının sağlık ve çevre üzerindeki etkileri.....	20
2.8.2. Bakır oksit (CuO) nanoparçacıklarının sağlık ve çevre üzerindeki etkileri.....	20
3. KOMPOZİT MALZEMELER	21
3.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	22
3.2. Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler.....	23
3.3. Polimer Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri	23
4. POLİMER MALZEMELER	25
4.1. PVA'nın Özellikleri.....	25
4.2. PVA'nın Uygulama Alanları	26
4.3. PEG'in Özellikleri.....	27
4.4. PEG'in Uygulama Alanları.....	28
4.5. Gliserinin Özellikleri.....	28
4.6. Gliserinin Uygulama Alanları	29
4.7. Akasya Sakızı (Gum Arabic) Özellikleri.....	29
4.8. Akasya Sakızının Uygulama Alanları	29
5. KONUS İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR	32
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	38
6.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler	38
6.2. Nanoparçacık Sentezi.....	38
6.2.1. Bitki ekstraktının hazırlanması.....	38
6.2.2. CuO nanoparçacıklarının yeşil sentezi	38
6.3. Kompozit Filmlerin Hazırlanması.....	39
6.4. CuO Nanoparçacık Katkılı PVA/PEG Nanokompozit Filmlerin Hazırlanması.....	40
6.5. Hazırlanan Kompozit Filmlerin Karakterizasyonu.....	42
6.5.1. FTIR spektroskopisi	42

6.5.2. Ekstraktların UV-görünür bölge spektroskopisi.....	43
6.5.3. XRD analizi.....	43
6.5.4. TGA.....	43
6.5.5. Çekme testi.....	43
6.5.6. Dielektrik sabiti ölçümleri.....	44
6.5.7. Taramalı elektron mikroskopisi (SEM).....	45
7. DENEYSEL ÇALIŞMALARDAN ELDE EDİLEN SONUÇLAR.....	46
7.1. Sentezlenen Nanoparçacıkların UV-Görünür Bölge Spektroskopisi (UV-VIS) ile Analizi.....	46
7.2. Sentezlenen Nanoparçacıkların FTIR Spektrumu	47
7.3. Sentezlenen Nanoparçacıkların XRD Analizi	47
7.4. Sentezlenen Nanoparçacıkların Morfolojik Analizi	49
7.5. Hazırlanan Filmlerin FTIR Spektrumu	52
7.6. Hazırlanan Filmlerin Termogravimetrik Analizleri.....	56
7.7. Kompozit ve Nanokompozit Filmlerin Dielektrik Sabiti.....	58
7.8. Kompozit ve Nanokompozit Filmlerin Morfolojik Analizi.....	64
7.9. Kompozit ve Nanokompozit Filmlerin Mekanik Testi	65
8. TARTIŞMA VE ÖNERİLER	76
KAYNAKÇA	78
ÖZGEÇMİŞ	

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 6.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasal malzemelerin isimleri, formülleri ve üretici firmaları	36
Çizelge 6.2. Hazırlanan saf PVA film ve farklı oranlarda PEG katkısı içeren PVA/PEG kompozit filmlerin kütlece yüzde bileşimleri	38
Çizelge 6.3. Farklı oranlarda gliserin katkısı içeren PVA/Gliserin kompozit filmlerin kütlece yüzde bileşimleri	39
Çizelge 6.4. Farklı oranlarda akasya sakız katkısı içeren PVA/Akasya sakız kompozit filmlerin kütlece yüzde bileşimleri	39
Çizelge 6.5. Farklı oranlarda CuO nanoparçacık katkısı içeren PVA/PEG nanokompozit filmlerin kütlece yüzde bileşimi.....	40
Çizelge 7.1. PVA filmi ve PVA/PEG kompozit filmlerinin termal bozunma verileri ...	55
Çizelge 7.2. Saf PVA film ve PVA/Gliserin kompozit filmlerinin termal bozunma verileri	55
Çizelge 7.3. Saf PVA film ve PVA/Akasya sakız kompozit filmlerin termal bozunma verileri	56
Çizelge 7.4. Saf PVA film, PVA%20PEG kompozit film ve farklı oranlarda CuO nanoparçacık katkısı içeren PVA%20PEG nanokompozit filmlerin termal bozunma verileri	57
Çizelge 7.5. PVA/PEG kompozit filmlerin dielektrik özellikleri	58
Çizelge 7.6. PVA/Gliserin kompozit filmlerin dielektrik özellikleri	59
Çizelge 7.7. PVA/Akasya sakız kompozit filmlerin dielektrik özellikleri	60
Çizelge 7.8. CuO nanoparçacık katkılı PVA%20PEG nanokompozit filmlerin dielektrik özellikleri	61
Çizelge 7.9. Saf PVA film ve PVA/PEG kompozit filmlerin ortalama film kalınlıkları ve çekme testi sonuçları	64
Çizelge 7.10. Saf PVA film ve PVA/Gliserin kompozit filmlerin ortalama film kalınlıkları ve çekme testi sonuçları	66
Çizelge 7.11. Saf PVA film ve PVA/ Akasya sakız kompozit filmlerin ortalama film kalınlıkları ve çekme testi sonuçları	69
Çizelge 7.12. Saf PVA film, PVA%20PEG kompozit film, PVA%1CuO nanokompozit film ve farklı oranlarda CuO nanoparçacık katkısı içeren PVA%20PEG	

nanokompozit filmlerin ortalama film kalınlıkları ve çekme testi sonuçları.	71
---	----



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Bazı moleküllerin ve nano boyuttaki yapıların büyüklüklerinin karşılaştırılması...	4
Şekil 2.2.	Nanoteknoloji kullanım alanları	5
Şekil 2.3.	Kullanılan malzemelerin türüne göre nanokompozitlerin sınıflandırılması...	6
Şekil 2.4.	Nanoparçacık üretiminde kullanılan yöntemler	10
Şekil 2.5.	Nanoparçacık oluşumunun temel mekanizması	11
Şekil 2.6.	Nanoparçacıkların biyolojik aracılı sentezinin olası mekanizması. M metal tuzu, M ⁺ metal iyonu, M ^o nötr atomu	13
Şekil 2.7.	Nanoparçacıkların bitki aracılı yeşil sentezi ve karakterizasyonu sürecinin şematik gösterimi	15
Şekil 3.1.	Nanoparçacıkların bitki aracılı yeşil sentezi ve karakterizasyonu sürecinin şematik gösterimi	22
Şekil 3.2.	Çözelti döküm yöntemi ile nanoparçacık katkılı nanokompozit film üretiminin şematik gösterimi	23
Şekil 4.1.	PVA'nın molekül yapısı	24
Şekil 4.2.	Polietilen glikol kimyasal yapısı	26
Şekil 4.3.	Gliserinin molekül yapısı	27
Şekil 4.4.	Akasya sakızının kimyasal yapısı	29
Şekil 7.1.	CuO nanoparçacıklarının sentez sürecinde farklı zaman aralıklarında alınan çözelti örneklerinin UV-Görünür bölge absorpsiyon spektrumları: 0sa (a), 5sa (b), 11sa (c), 19sa (d), 24sa (e) ve 28sa (f).....	45
Şekil 7.2.	Enginar sapı ekstraktının FTIR spektrumu	46
Şekil 7.3.	Kalsinasyon öncesi CuO nanoparçacıklarının FTIR spektrumu	47
Şekil 7.4.	Kalsinasyon sonrası CuO nanoparçacıklarının FTIR spektrumu	47
Şekil 7.5.	Kalsinasyon öncesi CuO nanoparçacıklarının XRD difraktogramı	48
Şekil 7.6.	Kalsinasyon sonrası CuO nanoparçacıklarının XRD difraktogramı	48
Şekil 7.7.	Kalsinasyon öncesi CuO nanoparçacıklarının 2kX (a) ve 10kX (b) büyütmelelerdeki SEM mikrofotografikleri	49
Şekil 7.8.	Kalsinasyon sonrası CuO nanoparçacıklarının 50kX (a) ve 200kX (b) büyütmelelerdeki SEM mikrofotografikleri	50
Şekil 7.9.	Saf PVA filmin FTIR spektrumu	50

Şekil 7.10. Saf PVA filmin (a) ve farklı oranlarda PEG katkısı içeren PVA/PEG kompozit filmlerin FTIR spektrumları; PVA%5PEG (b), PVA%10PEG (c), PVA%15PEG (d), PVA%20PEG (e), PVA%30PEG (f) ve PVA%40PEG (g)	51
Şekil 7.11. Saf PVA filmin (a) ve farklı oranlarda gliserin katkısı içeren PVA/Gliserin kompozit filmlerin FTIR spektrumları; PVA%10Gliserin (b), PVA%20Gliserin (c) ve PVA%30Gliserin (d)	52
Şekil 7.12. Saf PVA filmin (a) ve farklı oranlarda Akasya sakızı (gum arabic) katkısı içeren PVA/Akasya sakızı kompozit filmlerin FTIR spektrumları; PVA%10Akasya sakızı (b), PVA%20Akasya sakızı (c) ve PVA%30Akasya sakızı (d)	53
Şekil 7.13. PVA%1CuO nanokompozit film (a) ve farklı oranlarda CuO nanoparçacık katkısı içeren PVA%20PEG nanokompozit filmlerin FTIR spektrumları; PVA%20PEG%1CuO (b), PVA%20PEG%3CuO (c) ve PVA%20PEG%5CuO (d).....	54
Şekil 7.14. Saf PVA film ve PVA/PEG kompozit filmlerin TGA termogramları	55
Şekil 7.15. Saf PVA film ve PVA/Gliserin kompozit filmlerin TGA termogramları ...	56
Şekil 7.16. Saf PVA film ve PVA/Akasya sakızı kompozit filmlerin TGA termogramları	57
Şekil 7.17. Saf PVA film, PVA%20PEG kompozit film ve farklı oranlarda CuO nanoparçacık katkısı içeren PVA%20PEG nanokompozit filmlerin TGA termogramları	58
Şekil 7.18. PVA/PEG kompozit filmlerin dielektrik sabiti grafiği	59
Şekil 7.19. PVA/Gliserin kompozit filmlerin dielektrik sabiti grafiği	60
Şekil 7.20. PVA/Akasya sakızı kompozit filmlerin dielektrik sabiti grafiği	61
Şekil 7.21. Farklı miktarlarda CuO nanoparçacık katkılı PVA/PEG Nanokompozit filmlerin dielektrik sabiti grafiği	62
Şekil 7.22. Saf PVA (a) ve PVA%20PEG (b) kompozit filmlerinin SEM mikrogafikleri	62
Şekil 7.23. Farklı oranlarda CuO nanoparçacık katkısı içeren PVA%20PEG nanokompozit filmlerin SEM mikrogafikleri; PVA%1CuO (a), PVA%20PEG%1CuO (b), PVA%20PEG%3CuO (c), PVA%20PEG%5CuO (d)	63

Şekil 7.24. Saf PVA film ve PVA/PEG kompozit filmlerin gerilme (MPa)-gerinim (%) eğrileri	64
Şekil 7.25. Saf PVA film ve PVA/PEG kompozit filmlerin çekme mukavemeti grafiği	65
Şekil 7.26. Saf PVA film ve PVA/PEG kompozit filmlerin Young modülü grafiği.....	65
Şekil 7.27. Saf PVA film ve PVA/PEG kompozit filmlerin kopma uzaması grafiği.....	66
Şekil 7.28. Saf PVA film ve PVA/Gliserin kompozit filmlerin gerilme (MPa)-gerinim (%) eğrileri	67
Şekil 7.29. Saf PVA film ve PVA/Gliserin kompozit filmlerin çekme mukavemeti grafiği	67
Şekil 7.30. Saf PVA film ve PVA/Gliserin kompozit filmlerin Young modülü grafiği.	67
Şekil 7.31. Saf PVA film ve PVA/Gliserin kompozit filmlerin kopma uzaması grafiği	68
Şekil 7.32. Saf PVA film ve PVA/Akasya sakızı kompozit filmlerin gerilme (MPa)-gerinim (%) eğrileri	69
Şekil 7.33. Saf PVA film ve PVA/Akasya sakızı kompozit filmlerin çekme mukavemeti grafiği	69
Şekil 7.34. Saf PVA film ve PVA/Akasya sakızı kompozit filmlerin Young modülü grafiği	70
Şekil 7.35. Saf PVA film ve PVA/Akasya sakızı kompozit filmlerin kopma uzaması grafiği.	70
Şekil 7.36. Saf PVA film, PVA%20PEG kompozit film, PVA%1CuO nanokompozit film ve farklı oranlarda CuO nanoparçacık katkısı içeren PVA%20PEG nanokompozit filmlerin gerilme (MPa)-gerinim (%) eğrileri.....	71
Şekil 7.37. Saf PVA film, PVA%20PEG kompozit film, PVA%1CuO nanokompozit film ve farklı oranlarda CuO nanoparçacık katkısı içeren PVA%20PEG nanokompozit filmlerin çekme mukavemeti grafiği	72
Şekil 7.38. Saf PVA film, PVA%20PEG kompozit film, PVA%1CuO nanokompozit film ve farklı oranlarda CuO nanoparçacık katkısı içeren PVA%20PEG nanokompozit filmlerin Young modülü grafiği.....	72
Şekil 7.39. Saf PVA film, PVA%20PEG kompozit film, PVA%1CuO nanokompozit film ve farklı oranlarda CuO nanoparçacık katkısı içeren PVA%20PEG nanokompozit filmlerin kopma uzaması grafiği.	73

GÖRSELLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Görsel 4.1. Granül halde PVA'nın görünümü	25
Görsel 4.2. PEG'in görünümü	26
Görsel 4.3. Gliserinin görünümü	28
Görsel 4.4. Akasya sakızının (Gum Arabic) ham hali (a), öğütülmüş hali (b) [29], ve toz hali(c).....	29
Görsel 6.1. Enginar sapından bitki ekstraktı eldesi aşamaları	37
Görsel 6.2. Hazırlanan saf PVA film ve farklı oranlarda PEG katkısı içeren PVA/PEG kompozit filmlerin görüntüleri: Saf PVA Filmi (a), PVA%5PEG (b), PVA%10PEG (c), PVA%15PEG (d), PVA%20PEG (e), PVA%30PEG (f) ve PVA%40PEG (g)	38
Görsel 6.3. Farklı oranlarda gliserin katkısı içeren PVA/Gliserin kompozit filmlerin görüntüleri: PVA%10Gliserin (a), PVA%20Gliserin (b) ve PVA%30Gliserin (c)	39
Görsel 6.4. Farklı oranlarda akasya sakızı katkısı içeren PVA/Akasya sakızı kompozit filmlerin görüntüleri: PVA%10Akasya sakızı (a), PVA%20Akasya sakızı (b) ve PVA%30Akasya sakızı (c)	39
Görsel 6.5. Farklı oranlarda CuO nanoparçacık katkısı içeren PVA%20PEG nanokompozit filmlerin görüntüleri: PVA%20PEG%1CuO (a), PVA%20PEG%3CuO (b) ve PVA%20PEG%5CuO (c).....	40
Görsel 6.6. Dielektrik sabiti ölçümleri için hazırlanan bobin-kapasitör rezonans devresininematik gösterimi	42
Görsel 7.1. CuO nanoparçacıklarının sentez sürecinde farklı zaman aralıklarındaki çözelti örnekleri: 0sa (a), 5sa (b), 11sa (c), 19sa (d), 24sa (e) ve 28sa (f) ...	44

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Kapasitör alanı
C	: Kapasitans
C-O	: Karbonil grubu
CuCl ₂	: Bakır (II) klorür
CuCl ₂ .2H ₂ O	: Bakır (II) klorür dihidrat
CuO	: Bakır oksit
D	: Film kalınlığı
dev/dk	: Devir/dakika
eV	: Yarı iletken
FTIR	: Fourier dönüşümlü infrared spektroskopisi
KBr	: Potasyum Bromür
L	: Bobin direnci
nm	: Nanometre
PEG	: Polietilen Glikol
pH	: Hidrojenin gücü
PVA	: Polivinil Alkol
OH	: Hidroksil grubu
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
TGA	: Termal gravimetrik analiz
T _{onset}	: İlk kütle kaybının gözlemlendiği sıcaklık
V _c	: Sinyalin genliği
V _g	: Sinyal jeneratörünün frekansı
X _c	: Kapasitif reaktans
X _L	: Bobinin indüktif reaktansı
XRD	: X ışını kırınımı
f _o	: Frekans
ε _r	: Dielektrik sabiti

1. GİRİŞ

Son zamanlarda nanoteknoloji, geniş kapsamlı ve çok yönlü uygulamalar sunmaktadır. Birçok araştırma, geliştirme ve endüstriyel alanlarda geniş uygulamaları olan nanoteknoloji, son yıllarda yapılan çalışmalar ile hızla gelişmektedir. Yeni nanomalzemelerin geliştirilmesi, tüm bu çalışmaların odak noktasıdır [1,2]. Metal ve metal oksit içeren nanoparçacıklar tıp, fizik, kimya, biyoloji, elektronik, ilaç ve malzeme bilimi gibi uygulamalarda geniş yer bulmaktadır. Ayrıca geniş yüzey alanı/hacim oranlarından dolayı optik ve biyolojik uygulamalarda, gaz sensörleri ve katalizörlerde yeni ievler sağladıkları bilinmektedir [3].

Nanomalzemelerin kimyasal yöntemlerle sentezi çok maliyetlidir ve karmaşık süreçler gerektirir. Ayrıca tıbbi uygulamalarda olumsuz etkiye sahip olan ve çevreye zararlı toksik kimyasalların yüzeyde emilmesine yol açabilmektedir. Bu nedenle nanoteknolojide bitki özleri, enzimler ve mikroorganizmalar, kullanılarak daha temiz, toksik olmayan, biyoyumlu ve evre dostu yöntemlerin geliştirilmesi önem kazanmaktadır [4].

Nanoparçacıklar, insanlık ve evre için sürdürülebilir teknolojiler gelişirmede çok önemli bir role sahiptir. Bitki özleri kullanılarak gerçekleştirilen nanoparçacık sentezi, nanoteknoloji ve bitki biyoteknolojisini birbirine bağlayan bir yeğil kimya yaklaşımıdır. Bu yöntemde, bitki özleri nanoparçacıklar oluşturmak için metal iyonlarının biyo-indirgenmesinde kullanılmaktadır. ekerler, terpenoidler, polifenoller, alkaloidler, fenolik asitler ve proteinler gibi bitki metabolitlerinin metal iyonlarının nanoparçacıklara indirgenmesinde ve sonraki kararlılıklarını desteklemede önemli bir rolü olduğu bilinmektedir [5].

eğitli metal ve metal oksit nanoparçacık türlerini sentezlemek için kullanılan çok sayıda fiziksel ve kimyasal yaklaşım için önemli kısıtlamalar mevcuttur. Nanoparçacıklar toksik kimyasalların kullanımını içeren kimyasal yöntemlerle sentezlendiğinde tehlikeli kimyasallar sınıfına dahil olan yan ürünler ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle metal ve metal oksit nanoparçacıkların yeğil sentezi, sert kimyasallar kullanılmadan evre dostu, toksik olmayan ve uygun maliyetli bir yöntem olmasından dolayı son yıllarda çok fazla ilgi duyulan bir yöntem olmuğur. 1,2 eV bant aralığına sahip bir yarı iletken olan bakır oksit (CuO), iyi kimyasal ve termal kararlılığı,

düşük maliyeti, düşük toksisitesi, kullanım kolaylığı ve yüksek katalitik yeniden kullanılabilirliği nedeniyle birçok alanda ilgi odağı haline gelmiştir [6].

Polimer matrisli nanokompozit filmlerin geliştirilmesi ve araştırılması, son yıllarda oldukça ilgi görmektedir. Gelişmiş özelliklere sahip yeni bir malzeme geliştirmek için iki veya daha fazla polimerin karıştırılması, genellikle yeni polimerik yapıların geliştirilmesinden daha az zaman almaktadır. Polimer matrisli kompozit malzemelere, nano boyutlu katkı malzemelerinden oldukça az miktarlarda dahi eklenmesi sonucunda özellikleri geliştirilmiş nanokompozit malzemeler elde edilebilmektedir ve geliştirilen bu malzemeler teknolojik uygulamalarda bileşenlerine kıyasla daha geniş kullanım alanı bulmaktadır [5].

Düşük maliyeti, biyolojik olarak parçalanabilmesi, iyi film oluşturma özelliği, çevre dostu olması, suda çözünmesi ve üstün mekanik özellikleri ile çok yönlü kullanıma sahip olan polivinil alkol (PVA), birçok araştırma ve endüstriyel alanda çok çeşitli uygulamalarda tercih edilen bir polimerdir. PVA, hidrojen bağıyla polimer kompleksleri oluşturmak amacıyla diğer polimerlerle kullanılabilir. Polimerin ana zincirinde bulunan hidroksil grupları, hidrojen bağının ana kaynağı olarak kabul edilmektedir. Polietilen glikol (PEG) polimeri ise suda çözünen ve toksik olmayan bir polimerdir ve organik çözücüde çözünürlüğü oldukça yüksek seviyededir.

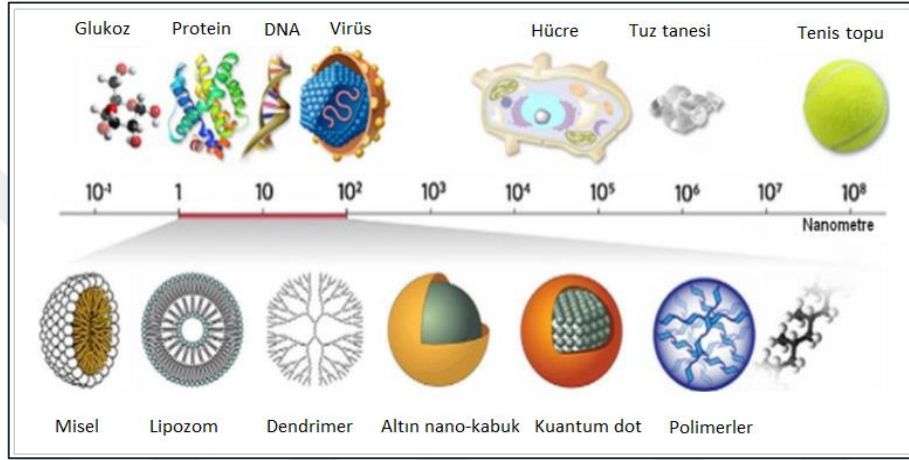
Metal oksit nanoparçacıklarının polimer matrislere eklenmesi, ortaya çıkan nanokompozit malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirmektedir. Bu değişim, kullanılan nanoparçacıkların türüne ve hazırlanma yöntemine bağlıdır [7]. Çalışmanın ilk aşamasında, enginar sapı (*Cynara Scolymus L.*) sulu ekstraktı kullanılarak yeşil sentez yöntemiyle CuO nanoparçacık sentezi gerçekleştirilmiştir. Sentezlenen CuO nanoparçacıklarının UV-Vis, FTIR, XRD ve SEM yöntemleri ile karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında, PVA matrisine farklı oranlarda PEG, gliserin ve akasya sakızı eklenerek kompozit filmler hazırlanmıştır. Hazırlanan kompozit filmlerin kimyasal yapısında gerçekleştirilen değişimler FTIR spektroskopisi ile analiz edilmiştir. Termal bozunma davranışları, mekanik ve elektriksel özellikleri incelenerek, bu özelliklerde en yüksek oranda gelişme sağlayan katkı maddesi ve katkı oranı belirlenmiştir. Belirlenen polimer bileşimi, CuO nanoparçacık katkılı nanokompozit filmlerin üretiminde matris olarak kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, PVA matrisine PEG, gliserin ve akasya sakızı gibi farklı polimerler ve yeşil sentez yoluyla elde edilen CuO nanoparçacık katkısı eklenerek dielektrik,

mekanik ve termal özellikleri geliştirilmiş kompozit ve nanokompozit filmler üretilmiştir.



2. NANOTEKNOLOJİ

Nanoteknoloji kavramı ilk olarak Richard Feynman tarafından Amerikan Teknoloji Enstitüsü'nde "Altta çok yer var" başlıklı ünlü dersiyle sunulmuştur. Nanoteknoloji kelimesi Tokyo Bilim Üniversitesi'nden Prof. Norio Taniguchi tarafından tanıtılmıştır. Nanoteknoloji, fizik, malzeme bilimi, kimya, biyoloji ve tıp gibi birçok disiplini içeren bir ileri teknoloji alanıdır. Nano kelime olarak fiziksel bir büyüklüğün milyarda biri anlamına gelmektedir [8]. Şekil 2.1'de bazı moleküllerin ve nano boyuttaki yapıların büyüklüklerinin karşılaştırılması verilmiştir [9,10].



Şekil 2.1. Bazı moleküllerin ve nano boyuttaki yapıların büyüklüklerinin karşılaştırılması [9]

Tüm maddeler ve sistemler, nano ölçekte temellerini oluşturur [11]. Nanoteknoloji, nano boyutta kimyasal, fiziksel ve biyolojik olayların anlaşılması için yeni malzemelerin, sistemlerin ve cihazların üretilmesi ve geliştirilmesi olarak açıklanabilir. Nanoteknolojinin gelişmesiyle birlikte malzemeler nano boyutlarda üretilip, nano ölçekte yeni teknolojik cihazların ve malzemelerin üretimi gerçekleştirilebilmektedir [12,13].

Nanoparçacıklar, nanoteknolojinin temel yapı taşları olarak kabul edilmektedir [3]. Nanoteknoloji, benzersiz fiziksel özelliklerin yeni uygulamaları mümkün kıldığı yaklaşık 1-100 nm boyutlarında maddenin anlaşılması ve kontrolü olarak da tanımlanmaktadır. Bu nedenle nanoparçacıklar, birden fazla boyutta 100 nm'den küçük olan maddeler olarak kabul edilir. Nanoparçacıklar, küresel, boru biçiminde veya düzensiz biçimde, kaynağı toplanmış veya toplanmış formlarda bulunabilmektedir. Birleşmiş Milletler'e göre, nanoteknoloji, gelişmekte olan ve gelişmiş ülkelerin gelişimi üzerinde olumlu etkileri olacak olan araştırma alanlarından biridir [14-16].

Yeşil nanoteknoloji, yeşil nano ürünleri üretmek için çevre dostu yöntemler kullanarak çevresel sürdürülebilirliği artıran nanoteknoloji dalı olarak bilinmektedir [17]. Yeşil veya biyo-nanoteknolojinin kullanımının önemi metalik nanoparçacıkları üretmek için biyolojik kaynakları kullanabilmesi avantajlarından kaynaklanmaktadır. Metalik nanoparçacıkların üretimi için yüksek saflıkta ve nano-yapılı malzemelerin beklenen kalitesini temin eden birçok geleneksel yöntem olmakla birlikte, bu yöntemlerin genel olarak maliyetli, zarar verici, güvensiz, sağlıksız ve çevreye zarar verici özelliklerde olduğu bilinmektedir [18].

Bu nedenle, bitki, yosun, mantar, bakteri ve virüs gibi biyolojik malzemelerle gerçekleştirilen biyolojik temelli yeşil sentez, biyoyumlu ve ekonomik bir süreç olduğundan giderek daha fazla dikkat çeken bir konu haline gelmektedir. Metalik nanoparçacıkların yeşil sentezi, ileri teknolojilerin farklı gelişmelerini kullanmak ve uygulamak için geniş bir çalışma alanıdır. Yeşil nanoteknolojinin asıl amacı, çevresel ve insan sağlığına zarar verecek tehlikeleri azaltmak ve daha fazla çevre dostu nano ürününün toksik ürünlerin yerine uygulanabilirliğini geliştirmektir [19]. Ayrıca, bu yenilikçi alan; içecekler, kozmetikler, biyomedikal uygulamalar, ilaç üretimi, tıbbi uygulamalar, çevre güvenliği, katalitik analiz, mekanik, kimya, fizik, bilgisayar, mühendislik, fen bilimleri, uzay endüstrisi gibi alanlarda kullanımı yaygınlaşmaktadır [20]. Şekil 2.2’de nanoteknolojinin kullanım alanları gösterilmiştir.

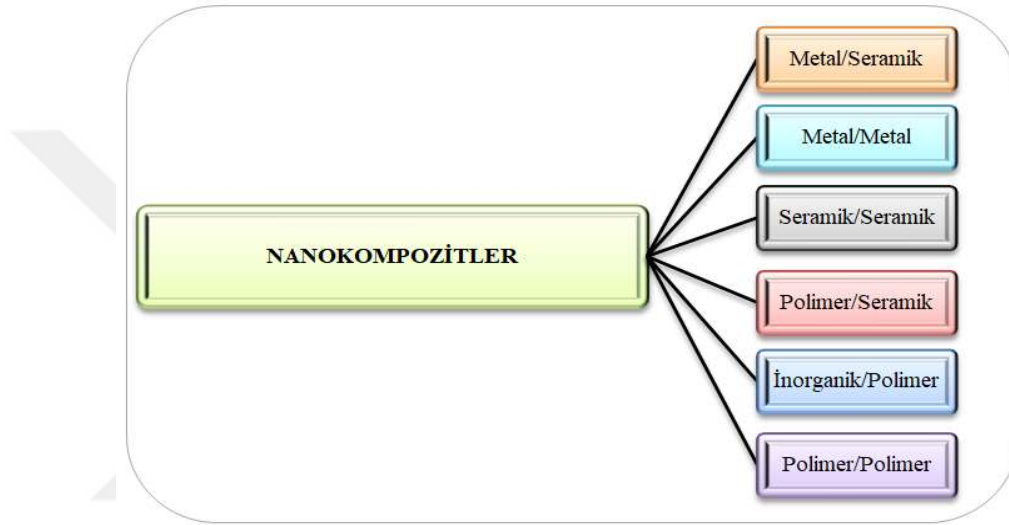


Şekil 2.2. Nanoteknoloji kullanım alanları

2.1. Nanokompozit Malzemeler

Nanokompozit malzemeler, sürekli bir matris içerisinde 100 nanometreden küçük parçacıkların, fiberlerin veya nano tabakaların dağıtılması ile oluşan malzemelerdir [21,22]. Nanoparçacıkların küçük tanecik boyutları, yüksek spesifik yüzey alanı

oluşturarak, kompozit yapının mekanik özelliklerini önemli oranda geliştirmektedir. Nanokompozit malzemelere düşük yoğunlukta nanoparçacık eklendiğinde bile fazlar arası etkileşim alanı geniş olduğundan dolayı, hem fiziksel özelliklerinde hem de mekanik özelliklerinde çok büyük iyileşmelerin olduğu görülebilmektedir. Nanokompozitlerde polimer matrisine veya kaplamaya katılmakta olan nanoparçacıklar, yüksek sürtünme dayanımı, farklı optik performans ve kolay temizlenebilme gibi özellikleri kazandırdığı bilinmektedir [22,23]. Şekil 2.3'te kullanılan malzemelerin türüne göre nanokompozitlerin sınıflandırılması gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Kullanılan malzemelerin türüne göre nanokompozitlerin sınıflandırılması [22]

2.1.1. Polimer matrisli nanokompozit malzemelerin kullanım alanları

Kaynakları her geçen gün azalmakta olan doğal malzemelere alternatif olarak kullanılan polimerler yaygın kullanım alanına sahiptirler. Polimerlerin içenebilirliği, mekanik özellikleri, düşük yoğunlukları ve esnek yapıları birçok uygulamada önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu nedenle polimer matrisli nanokompozit malzemeler birçok alanda kullanılmaktadır. Polimer matrisli nanokompozit malzemelerin sıklıkla tercih edildiği bazı uygulama alanları aşağıda verilmiştir;

- Uçak sanayii,
- Otomotiv sektörü,
- Savunma sanayii,
- Enerji sanayii,
- Elektronik sanayii,
- Biyomühendislik,
- Ağaç sanayii [22,24].

2.1.2. Nanoparçacık katkılı polimer matrisli nanokompozit malzemelerin üretim yöntemleri

Genel olarak dört farklı üretim yöntemi kullanılarak nanoparçacıklar polimer matris içerisinde dağıtılarak polimer matrisli nanokompozit malzemeler üretilir. Bu üretim yöntemleri aşağıda özetlenmiştir;

- Eriyikte birleştirme yöntemi; nanoparçacık ile polimerin doğrudan karıştırılarak ısıtılması veya nanoparçacıkların polimer eriyiğe katılması olayına dayanan eriyikte harmanlama yöntemi ucuz olması ve çevre dostu olması nedeniyle kompozit ve nanokompozit üretiminde en çok kullanılan yöntemdir.
- Çözeltide karıştırma yöntemi; polimer veya polimer çözeltisi içinde nanoparçacığın karıştırılması ve çözücünün uzaklaştırılması işlemlerinden oluşmaktadır. Çözeltide karıştırma yöntemi, nanoparçacıkların polimer matrisi içerisinde uyumlu şekilde dağılımını gerçekleştirmesine rağmen, yüksek maliyetli olduğundan dolayı çok fazla tercih edilmeyen bir yöntemdir.
- Sol-jel yöntemi; düşük sıcaklıklarda ve çözelti ortamında kimyasal tepkime yoluyla anorganik yapıların sentezlenmesi sürecidir. Bu yöntemin en önemli özelliği sıvı halden (çözelti veya kolloid) katı hale (iki veya çok fazlı jel) geçiş imkânı sağlamasıdır.
- Yerinde (in-situ) aktif polimerizasyon yöntemi; ilk önce monomerlerin uygun ortam ve şartlarda nanoparçacık tabakalarının arasına difüzyonu sağlanır. Sonrasında nanoparçacık tabakaları arasındaki monomerlerin uygun şekilde reaksiyon şartlarında kimyasallar yardımıyla polimerizasyonu gerçekleştirilir. Yerinde polimerizasyon yönteminde en önemli özellik, dolgu maddesinin monomer içerisinde dağılması olayının gerçekleşmesidir [22].

2.2.1. Nanoparçacıkların sınıflandırılması

Nanoparçacıklar boyutu 100 nm'den az olan parçacıklar olarak tanımlanmaktadır. Nanoparçacıklar aynı malzemelerin büyük parçacıkları ile karşılaştırıldığında boyuta bağlı olarak üstün ve yeni özellikler göstermektedirler. Nano ölçekli parçacık araştırması son zamanlarda malzeme biliminde çok önemli bir alan haline gelmiştir. Son zamanlarda yapılan çalışmalar, metal nanoparçacıklarının yüzey bileşenlerine, çekirdeklerine ve yüzeydeki atomlara bağlı olarak üstün elektronik, manyetik, optik ve kimyasal özelliklere sahip olduğunu göstermektedir.

Nanoteknolojide yapılan yeni keşifler nedeniyle, nanoparçacıkların sınıflandırması sürekli değişmektedir. Nanoparçacıklar temel olarak;

- 1-10 nm'lik boyutlar ve dar bir boyut dağılımı ile yarı kristal nano yapılar olarak tanımlanan nano kümeler,
- 10 ila 100 nm arasında boyutlardaki kristal olmayan nano malzemelerin topaklanmasıyla oluşan nano tozlar,
- 100 ve 1000 nm arasında boyutlara sahip monokristal nano malzemeler olan nano kristaller olmak üzere sınıflandırılmaktadır [13,25].

2.2.2. Nanoteknolojinin avantajları

Gelişen teknolojiyle birlikte sürekli iyileştirilen üretim ve karakterizasyon yöntemleri ile birlikte nanoteknolojinin avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Nanometre boyutunda olan yapıların fiziksel özelliklerinin anlaşılabilir olması,
- Nanometre ölçekli yapıların imalatının yapılabilmesi,
- Nano hassasiyetli cihazların geliştirilerek üretilmesi,
- Nano ölçekli cihazların geliştirilmesi,
- Çalışmalar doğrultusunda yöntemler bulunarak nanoskopik ve makroskopik dünya arasındaki bağın kurulması,
- Alıngıgelenden daha farklı ve üstün malzeme özellikleri / üretim süreçlerinin elde edilmesi,
- Dayanıklı ve hafif yapılar elde edilebilmesi,
- Daha az malzeme ve enerji kullanımı [26,27].

2.2.3. Nanoteknolojinin uygulama alanları

Nanomalzemeler, üstün özelliklerinden dolayı, birçok alanda yeni malzeme uygulamalarına olanak sağlamaktadır. Savunma sanayiinde, tekstilde, otomotiv sanayiinde, inşaat, elektronikte, tıbbi uygulamalarda ve ilaç sanayiinde, nanoparçacıklar çok etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca, mukavemet ve hafiflik kazandırmak için tenis raketlerinin çerçevelerine, motosiklet kasklarına nanoparçacıkların ilave edilmesi ve kumaşlarda nano ölçekte katkı maddelerinin kullanılması sonucu kırılmalara, lekelenmeye ve bakteri üremelerine karşı daha dayanıklı malzemeler elde edilmektedir. Bilgisayar, gözlük ve fotoğraf makinesi ekranlarında, pencerelerde ve diğer yüzeylerin üzerinde bulunan nano ölçekte ince filmler, onları su geçirmez, ışık yansıtmaz, kendi kendini temizleyen, ultraviyole veya

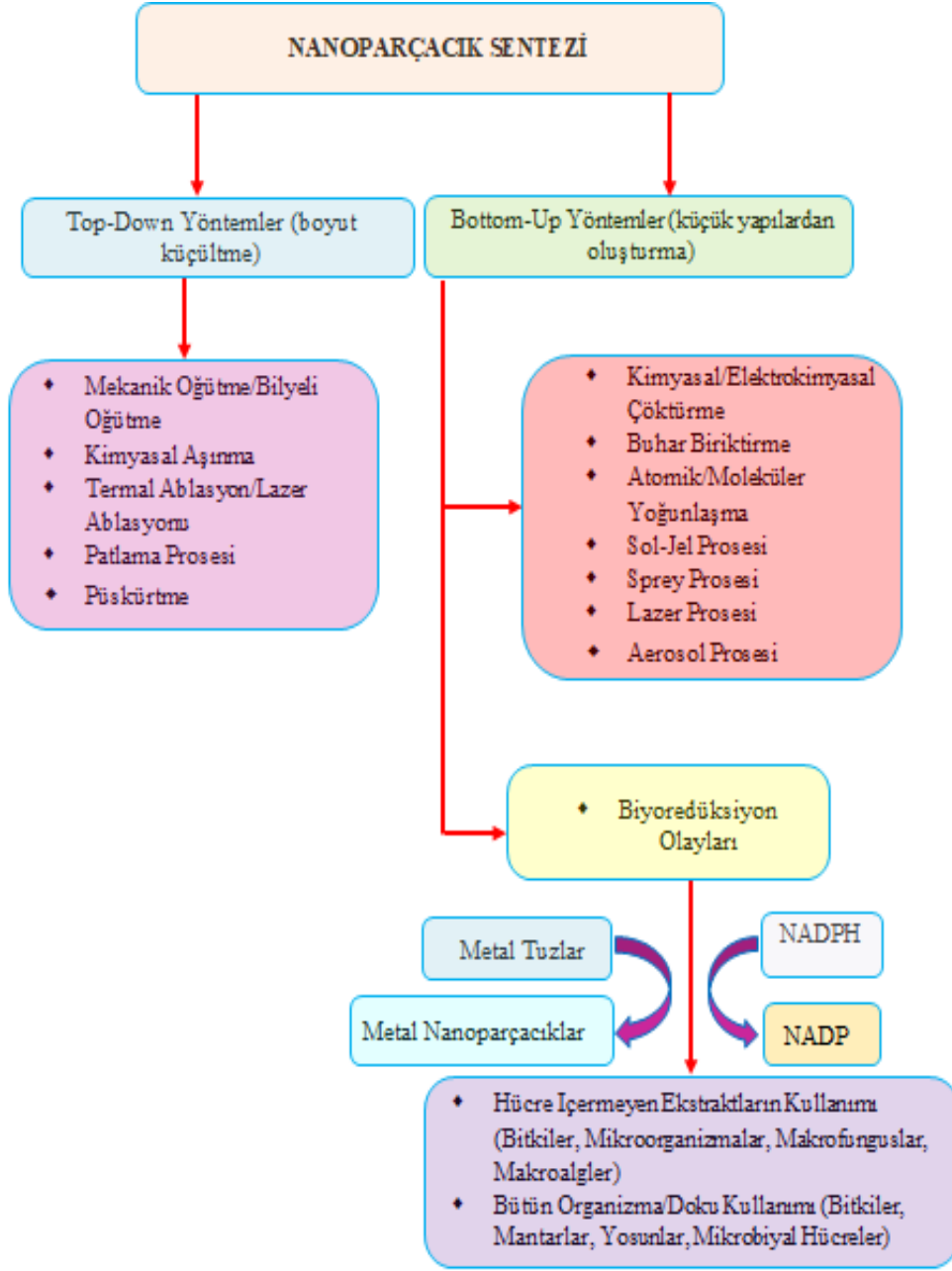
kızıl ötesi ıĖĖa dayanıklı, buğu tutmaz, antimikrobiyal veya çizilmeye karĖ direnç özellikleri kazandırmada etkin rol oynamaktadırlar [28].

2.3. Metal Nanoparçacık

2.3.1. Metal nanoparçacık sentez yöntemleri

Daha yenilikçi sentez yöntemleri ve karakterizasyon tekniklerinin geliğmesiyle birlikte nanoteknoloji alanındaki ilerleme artığ göstermiğir [29]. Nanoparçacıklar fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılarak sentezlenmektedir. Nanoparçacıkların üretimi genel olarak iki Ėekilde yapılmaktadır. Bunlar “yukarıdan ağağıya” (Top-Down) ve “ağağıdan yukarıya” (Bottom-Up) olarak adlandırılmaktadır [30]. Nanoparçacık üretiminde kullanılan yöntemler Ėekil 2.4’te verilmektedir.

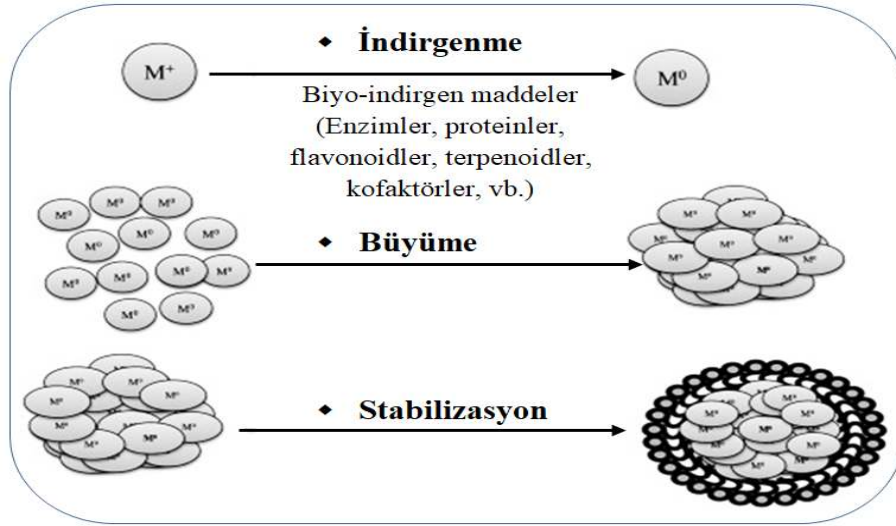




Şekil 2.4. Nanoparçacık üretiminde kullanılan yöntemler [30]

Bu iki yaklaşım, üç farklı sentez yöntemi içerir. Bunlar kimyasal, fiziksel ve biyolojik sentez yöntemleri olarak bilinmektedir. Fiziksel yöntemler yukarıdan aşağıya yaklaşımı takip eder ve diğer ikisi, aşağıdan yukarıya yaklaşımlara dayanmaktadır [31,32]. Yukarıdan aşağıya sentezde, nanoparçacıklar uygun bir başlangıç malzemesinden boyut küçültülerek üretilmektedir [33]. Boyut küçültme, çeşitli fiziksel ve kimyasal işlemlerle yapılmaktadır. Yukarıdan aşağıya üretim yöntemleri, ürünün yüzey yapısında kusurlar doğurur ve bu büyük bir sınırlamadır, çünkü yüzey kimyası ve nanoparçacıkların diğer fiziksel özellikleri, yüzey yapısına bağlı olmaktadır [34].

Aġıdan yukarıya sentezde nanoparçacıklar, örneğin atomları, molekülleri ve daha küçük parçacıkları birleştirerek sentezlenmektedir [35]. Aġıdan yukarıya doğru sentezde, öncelikle nanoparçacıkların yapı taşları oluşturulur ve daha sonra son parçacığı üretmek için birleştirilir [34]. Aġıdan yukarıya yapılan sentez, çoğunlukla kimyasal ve biyolojik üretim yöntemlerine dayanmaktadır. Güçlü indirgeyici ajanlarla gerçekleştirilen sentez iemlerinde metal nanoparçacıkların nanoparçacık boyutu, morfolojisi, dayanıklılığı, kimyasal ve fiziksel özellikleri; deneysel koşullardan ve stabilize edici ajan adsorpsiyonu iemlerinden güçlü bir şekilde etkilenmektedir [36,37]. Aġıdan yukarıya yaklamla nanoparçacık sentezinin oluşum mekanizması ekil 2.5'te verilmiir [30]. M^+ ; metal iyonunu temsil etmektedir.



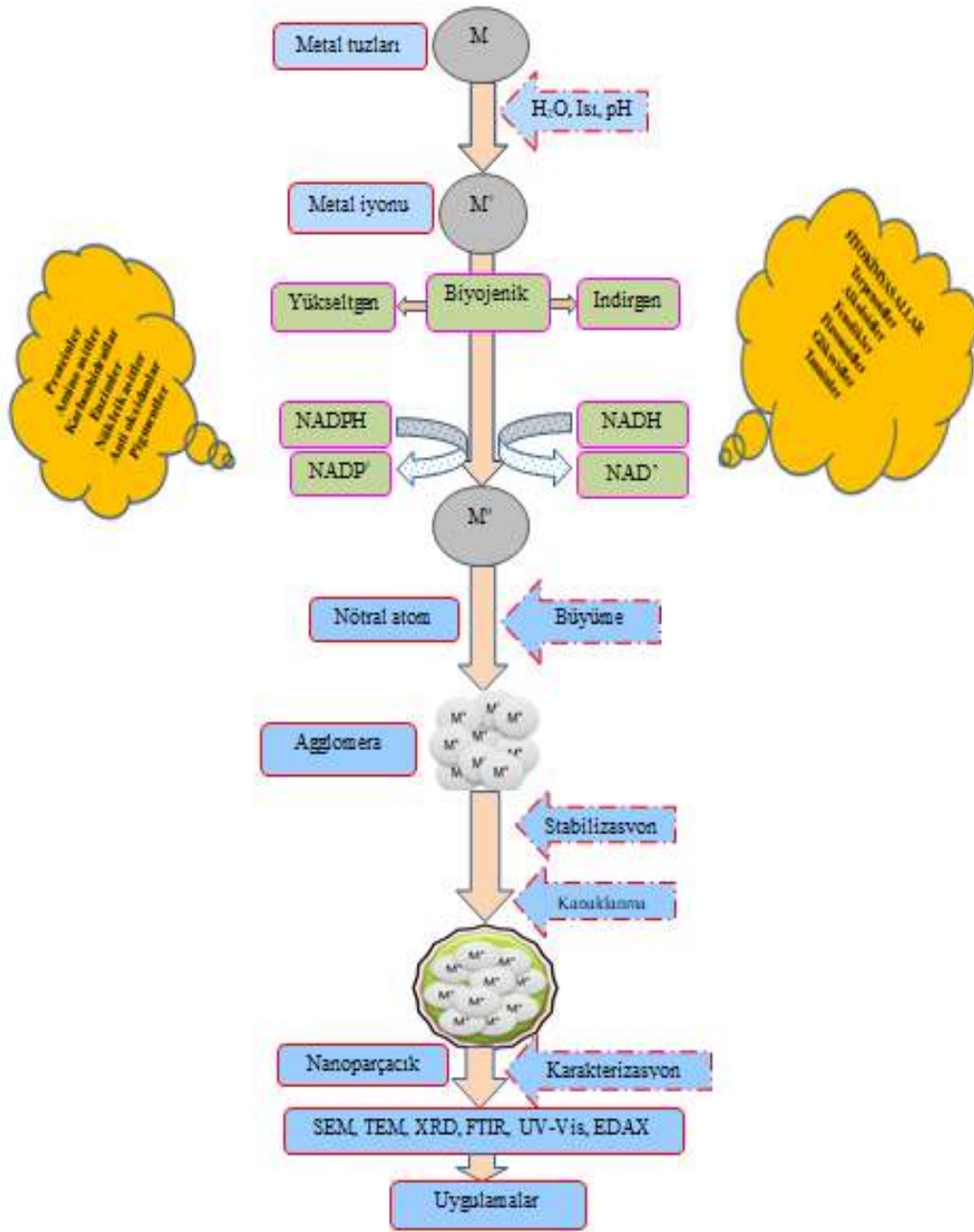
Şekil 2.5. Nanoparçacık oluşumunun temel mekanizması [30]

2.4. Nanoparçacık Yeşil Sentezi (Biyosentez)

2.4.1. Yeşil sentez

Biyoteknoloji ve nanoteknoloji son yıllarda yapılan çalışmalar kapsamında umut vadeden teknolojilerden biri haline gelmierdir. Nanoteknoloji, 1 ila 100 nanometre arasında değişen ve en az bir boyuta sahip yapıları ele almaktadır. Biyoteknoloji ise, biyolojik maddelerin metabolik ve diğer fizyolojik süreçlerini ele almaktadır. Nanobiyoteknoloji hem nanoteknolojinin hem de biyoteknolojinin bir araya getirilerek birleştirilmiğ şeklidir. Yapılan birçok araştırma ve çalışma kapsamında yeni teknolojilerin geliğtirilmesinde ve uygulanmasında önemli rol oynadığı görölmektedir [34]. Son dönemlerde, yapılan çalışmalarda fizikokimyasal nanoparçacık sentez yöntemlerine oranla zararlı (toksik) olmayan, düşük maliyetli ve çevreyle uyumlu özelliklerinden dolayı, biyolojik yöntemler kullanılarak nanoparçacık sentezi ilgi odağı

haline gelmiş [38,39]. Bütünöyle –yeğl” prensipler altında nanoparçacıkların sentezi, çevre dostu indirgeyici ve stabilize edici etkiler ile çevreye daha fazla uyumlu bir çözücü sistemi kullanılarak sağlanabilmektedir. Çğili metallerin tuzlarından nanoparçacıkların biyojenik veya biyolojik sentezi için çok farklı yollar gelişirilmiş [40,41]. Yeğl sentez yöntemi kullanılarak nanoparçacık sentezlemek üzere bitki kök, gövde, yaprak, meyve ve ekstraktları, deniz algleri ve mikroorganizmalar kullanılmaktadır [42,43]. Metal iyonlarını indirgemek için bitki ekstraktlarının kullanılması 1900’lü yıllardan itibaren bilinen ve kullanılan bir yöntemdir. Metal iyonlarını nanoparçacıklara indirgemek için bitkinin kendisi, ekstraktı ve bitki dokusunun kullanımı, son yıllarda daha fazla kullanılan bir yöntem haline gelmiş [30]. Bitki özleri, nanoparçacıkların sentezinde hem indirgeyici ajanlar hem de stabilize edici ajanlar olarak görev yapabilmektedir [44-46]. Nanoparçacıkların biyolojik aracılı sentezinin mekanizması ğekil 2.6’da verilmişir.



Şekil 2.6. Nanoparçacıkların biyolojik aracılı sentezinin olası mekanizması. M metal tuzu, M^+ metal iyonu, M^0 nötr atomu [47]

2.4.2. Nanoparçacıkların bitkiler aracılığı ile sentezi

Metal nanoparçacıkların sentezi için birçok farklı fiziksel ve kimyasal yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler indirgeyici ajanlar olarak zararlı kimyasalların kullanılmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, nanoparçacıklar görüntüleme, doku onarımı, ilaç dağıtımı, dezenfeksiyon ve metal algılama gibi tıbbi uygulamalarda kullanıldığında yeşil kimya nanoteknolojilere entegre edilmeleri son derece önem arz etmektedir.

Nanoparçacıkların sentezi için bitki dokusuna nazaran bitki ekstraktlarının kullanımının daha basit olduğu yapılan çalışmalarda görülmektedir [48]. Bitki ekstraktının türü, konsantrasyonu, metal tuzu konsantrasyonu, pH, sıcaklık ve temas süresi; nanoparçacıkların üretim hızını, miktarını ve diğer özelliklerini etkileyen değişkenlerdir [49,50].

Yeşil sentez, birçok çevre dostu yaklaşımda tercih edilen önemli bir uygulamadır. Doğa ve insan dostu nanomalzeme sentez bu yöntemle gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemin en önemli avantajı, zararlı toksik kimyasalların ya hiç kullanılmaması ya da daha az zararlı olanların kullanılmasıdır. Yeşil nanosentezdeki reaksiyon ortamı, enzimler, karbonhidratlar, lipitler ve proteinler gibi doku, hücreler, organizmalar veya bunlardan elde edilen ekstraktlardan oluşur. Yaygın olarak kullanılan üç tip reaksiyon vardır [51,52].

- Birincisi, enzimler yeşil nanosentezde kullanılmaktadır, çünkü çok çeşitli kimyasal reaktiviteye sahiplerdir.
- İkincisi, mikroorganizmalar (bakteri, maya veya küf) da yeşil sentez reaksiyonları için önemli reaktiflerdir.
- Son olarak, kullanılan diğer bileşenler bitki ekstraktlarıdır. Kısa sürede büyüme, bol miktarda depolama avantajları nedeniyle bitkiler ve bitki ekstraktları sıklıkla tercih edilmektedir.

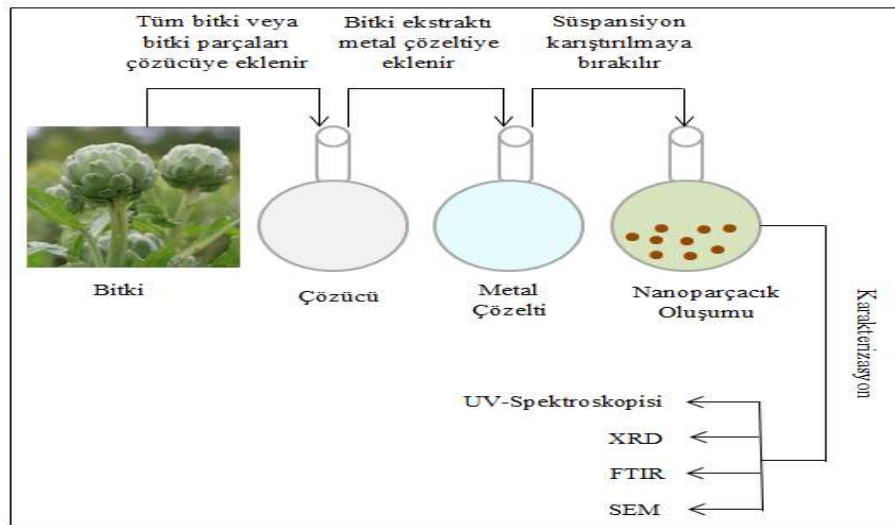
Nanoparçacıklar; enerji depolama, tekstil, boya endüstrisi ve sağlık alanı olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır. Nanoteknolojinin bu alanlardaki payının günden güne artması dikkat çekmektedir. Nano malzemeler nano olmayan boyuta göre farklı özellikler göstermektedir. Bu durum parçacık boyutuna bağlı olarak değişmektedir. Nanoparçacıklar, yakıt hücreleri, katalizörler, optoelektronik, manyetik ve fotovoltaik malzemeler, pigmentler ve sensörler gibi yüksek teknoloji alanlarında geniş kullanım alanına sahiptirler. 100 nm'nin altındaki boyutlarda metal oksit nanoparçacıkların benzersiz özellikleri (fizikokimyasal, optik, kataliz, manyetik, elektronik ve antimikrobiyal) nedeniyle, yapılan bilimsel çalışmaların sayısı da önemli ölçüde artmaktadır.

Nanoparçacık sentezi için çok sayıda yöntem olmakla birlikte, bu yöntemlerin çoğu pahalıdır ve sentez koşulları ağırdır. Ayrıca çevre için biyolojik bir tehdit oluşturabilecek birçok unsur içermektedir. Katalitik, optik ve elektriksel özellikleri nedeniyle kimya endüstrisindeki yağlayıcıları ve katalizörleri ve iletkenlik özellikleri

açısından 20. yüzyılın sonlarından beri büyük ilgi gören bakır oksit nanoparçacıkları, yarı iletken olduğundan, katalizörlerde, gaz sensörlerinde ve fotovoltaiik hücrelerde kullanılmaktadır [53,54]. Ayrıca, elektronik ve manyetik özellikleri nedeniyle süperiletken malzemelerin temel bileşenleri arasındadır [55].

Farklı biyomalzemeler arasında, bitki biyokütle/ekstraktlarının kullanımı nanoparçacıkların biyosentezi için daha güvenilir ve çevre dostu bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Şekil 2.7’de Nanoparçacıkların bitki aracılı yeşil sentezi ve karakterizasyonu sürecinin şematik gösterimi verilmiştir [56]. Bitki aracılı yeşil sentezin diğer biyomalzemelere göre avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir [57].

- Kolay ulaşılabilir olması,
- Güvenli olması,
- Ekonomik olması,
- Çözüm kolaylığı,
- Çözüngenmeye ve stabilizasyona yardımcı olabilecek çeşitli metabolitlerin reaksiyon ortamında bulunması,
- Yüksek sentez hızı,
- Çevre dostu olması,
- Daha kararlı nanoparçacıklar elde edilmesi,
- Nanoparçacıkların boyut ve şekilleri üzerinde daha iyi kontrol sağlanması,
- Büyük ölçekli sentez için uygun olması.



Şekil 2.7. Nanoparçacıkların bitki aracılı yeşil sentezi ve karakterizasyonu sürecinin şematik gösterimi [56]

2.4.2.1. Bitki ekstraktlarıyla nanoparçacık sentezini etkileyen faktörler

Bitki ekstraktları kullanılarak gerçekleştirilen yeşil sentez sürecinde nanoparçacıkların Çeklinde, boyutunda ve stabilitesinde önemli değışikliklere neden olan faktörler aşağıda listelenmiştir;

- Sıcaklık,
- pH,
- Bitki (kök, gövde, yaprak) ekstraktının konsantrasyonu.

2.4.2.2. Nanoparçacık sentezinde indirgeyici ajan olarak doğal ürünler

Birçok bitki türü, flavonoidler, kumarinler, ksantonlar, antrakınonlar ve terpenoidler gibi farklı antioksidatif bileşik türlerini (indirgeyici ajanlar) içermektedirler. Flavonoidler, sebzeler ve meyveler olarak kullanılan çeşitli bitkilerde yüksek seviyelerde bulunan; çay gibi içeceklerde yüksek miktarda var olan doğal olarak oluşan fenoliklerdir. Antioksidatif bitki fenoliklerinin farklı flavonoid türlerinin (örneğin flavon, flavanon, flavonol, flavanonol) güçlü indirgeyici ve antioksidan özelliklere sahip oldukları bilinmektedir. Bunların arasında quercetin, isorhamnetin, kaempferol ve morin güçlü antioksidan özellikler göstermektedir. İzoflavonlar ayrıca doğal olarak oluşan flavonoidlerin en önemli üyelerindendir ve nanoparçacık sentezinde de önemli bir role sahiptirler. Benzopironlar olarak da adlandırılan bir diğer doğal ürün sınıfı olan, kumarinler, çoğunlukla bitkilerde bulunmaktadır. Bitki kökenli kumarinler arasında esculetin, daphnetin ve fraeksetin en aktif maddeler olarak yer almaktadırlar. Yine benzer şekilde, doğal bir ürün olan ksantonlar sınıfı piron benzeri flavonoidlerden oluşur ve çeşitli indirgeyici özellikler sergilemektedirler. Kumarinler ve ksantonların, gümüş ya da altın gibi metal nanoparçacıkların hazırlanması için yüksek potansiyele sahip oldukları bilinmektedir [58].

Fenilpropanoidler yenilebilir olup meyve veren bitkilerde yaygın bir şekilde bulundukları bilinmektedir. Bu sınıfın çeşitli fenolik bileşikleri, özellikle fenilpropanoid glikosidler, antioksidan kapasitesi ile ön plana çıkmaktadır. Gelişmiş indirgeme aktivitesi sergilemektedirler ve antioksidatif aktivitelerinin, molekül içindeki fenolik hidroksil gruplarının sayısındaki bir artış ile güçlendiği gözlemlenmiştir. Bu sebeple, fenilpropanoid bileşiklerin nanoparçacıkların yeşil sentezinde (biyosentez) verimli sonuçlar ortaya çıkardığı bilinmektedir. Terpenoidler de çeşitli bitkilerde yaygın olarak bulunmaktadır. Hidrofilik flavonoidlere kıyasla, lipofilik terpenoidlerin güçlü antioksidatif etkilere sahip oldukları ve oksidatif streslere karşı koruyucu etkilerinin

olduğu ortaya çıkarılmıştır. Doğal ürünlerin farklı sınıflarına ait olan bu bileşiklerin güçlü indirgeyici özelliklere sahip oldukları ve nanoparçacık sentezi için elverişli bir doğal kaynak olarak kullanım potansiyeli gösterdikleri yapılan çalışmalar ile ortaya konulmuştur [59].

2.5. Neden CuO?

Son zamanlarda, CuO nanoparçacıklar gibi geçişmetali oksit nanoyapılar, üstün özellikleri nedeniyle birçok araştırmacının ilgi odağı haline gelmektedir. CuO nanoparçacıkları bakır tuzu ailesinin üyeleri arasında yer almaktadır. Geni yüzey alanı ve yüksek termal iletkenlik, fotovoltaiik özellikler, yüksek stabilite ve antimikrobiyal aktivite gibi birçok önemli özelliğe sahip monoklinik kristal yapıdaki CuO nanoparçacıklar birçok alanda tercih edilmektedir [60,61].

2.6. Bakır Nanoparçacıklarının Özellikleri ve Kullanım Alanları

Bilinen en eski metallerden biri olan bakır, periyodik cetvelde 1B grubunda yer almaktadır. Bakırın atom numarası 29, atomik kütlesi 63,546 g/mol, ergime sıcaklığı 1083°C, kaynama sıcaklığı 2595°C ve yoğunluğu 8,96 g/cm³'tür. Kırmızımsı bir renge sahiptir. Bakır metalinin elektrik iletkenliği çok yüksektir. Bilinen bütün metaller arasında gümüşten sonra ikinci sırada yer almaktadır. Geçişmetali olan bakır yüzey merkez kübik kristal yapısına sahiptir [62,63].

Son dönemde yapılan çalışmalar metal nanoparçacıklara olan ilgiyi oldukça arttırmıştır. Metal nanoparçacıklar arasında bakır nanoparçacıklar, sahip oldukları üstün katalitik, optik ve elektronik özelliklerden dolayı farklı alanlarda potansiyel kullanım alanlarına sahip olmaları nedeniyle çok yoğun şekilde ilgi görmektedirler [64,65]. Modern teknolojilerde sıkça kullanılan metallerden birinin bakır olması da bakıra olan ilginin artmasında neden olmuştur. Ayrıca, bakır diğer metallerle karşılaştırıldığında ucuz olması, kolay bulunabilir olması ve kullanım alanlarının geniş olması gibi avantajlarından dolayı nanoboyutlu bakır parçacıkları daha fazla ilgi çeker hale gelmektedir [64,66].

Son yıllarda yapılan çalışmalarda nanoparçacıkların aşınma ve sürtünme üzerindeki etkileri ve yağlayıcı katkı maddesi olarak kullanılması üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda, nanoparçacıklar sürtünme yüzeyi üzerinde kimyasal veya mekanik olarak ince film üretmek için yağlayıcılara eklenmiştir. Sonuç olarak malzeme aşınmasının azaldığı ve yağlayıcıların yük taşıma kapasitelerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bakır nanoparçacıklarının yağlayıcı malzemeler endüstrisinde

yeni ve daha iyi özellikli yağlayıcıların geliştirilmesinde katkı maddesi olarak kullanılması üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların başlıca nedenleri ise bakır parçacıklarının yağlayıcı içindeki yeterli kararlılıkları ve iyi dağılma özelliğine sahip olmaları ve düşük üretim maliyetleri gibi özelliklerinin bulunmasıdır [67,68].

Mikron altı ve mikron bakır parçacıkları günümüzde endüstriyel olarak ya elektrolitik geri kazanım ile bakır sülfat çözeltilerinden ya da yüksek basınç altında bir otoklavda hidrojen azalmasından üretilmektedir [68-70].

2.7. Bakır Oksit Nanoparçacıklarının Özellikleri ve Kullanım Alanları

CuO, atom ağırlığı 79,57 g/mol, yoğunluğu 6,40g/cm³, ergime sıcaklığı 1026°C olan bir metal oksittir. CuO'nun kristal yapısı monoklinik kristal sistemindedir. Geçiş metal oksidi olan CuO dar bant aralığına (E_g=1,21 eV) sahip P-tipi yarı iletken özelliğe sahip bir malzemedir. Su içinde çözünmeyen CuO, mineral asitlerinde, sıcak formik asitte veya asetik asitte hızlıca çözünürken amonyak çözeltilerinde daha yavaş çözünmektedir [71,72].

Kristal boyutundaki azalmayla, nano boyutlu bakır oksitler, makro ölçekteki muadillerinden önemli ölçüde farklı ve üstün özellikler göstermektedir. Geniş yüzey alanları, yüksek derecede reaktif yüzeyleri, olağan dışı optik, elektrik, elektronik ve katalitik özellikleri bu parçacıkları ilgi odağı haline getirmiştir. Pratik uygulamalarda beklenti, CuO nanoparçacıklarının morfolojisinin ve boyutunun ayarlanarak kimyasal ve fiziksel özelliklerinin kontrol altına alınmasıdır [73].

Bakır oksit P-tipi yarı iletken, katalizörler, fotovoltaiik hücreler ve gaz sensörleri için kullanılan önemli bir fonksiyonel malzemedir. CuO elektronik ve manyetik özelliklerinden dolayı yüksek sıcaklık ve süper iletken malzemelerinin temel bileşenlerinden biridir. Bu nedenle oldukça ilgi çekmektedir. Son zamanlarda yapılan çalışmalar, CuO'nun boyutu nanoboyutlara düürüldüğünde beklenenden farklı manyetik davranışsergilediğini göstermiştir [74].

Bakır oksit gibi geçiş metal oksit nanomalzemelerin, kuantum boyut etkisi ve yüksek spesifik yüzey alanlarından dolayı özel fiziko-kimyasal özelliklere sahip olduğu bilinmektedir [75].

CuO seramiklerde pigment olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, NO_x ve dizel kurumunun (islerinin) azaltılmasında katalizör olarak kullanılmaktadır [76]. CuO'nun temel bir endüstriyel malzeme olduğu, cam ve boya üretiminde de yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir [77].

Bakır oksit nanoparçacıkları silah ve roket tetikleyicilerinde de kullanılmaktadırlar. Bu itici gaz bileşimleri genellikle patlayıcı veya oksitleyici parçacıklar ve alüminyum gibi metal yakıtlardan oluşmaktadır. Bunlar polimerik kauçuksu bir matris içine gömülmüştür. Tetikleyici bileşimlerinde kullanılan katalizör parçacıklarının boyutlarının mikron mertebelerinden nano mertebelerine azaltılmasıyla balistik, polimer sertleştirme ve mekanik gibi özelliklerde iyileşme meydana gelmektedir [78,79].

CuO nanoparçacıkları gaz sensörleri alanında da kullanıma potansiyeline sahiptirler. Yapılan çalışmalarda yarı iletken SnO₂ içinde dağıtılmış CuO nanoparçacıklarının, H₂S gaz detektörlerinin hassasiyetini artırılabilceği belirtilmiştir. Ayrıca, çalışmalar CuO'nun foto iletken bir malzeme olarak kullanılabilirliğini göstermektedir [80,81].

Nano boyutlu CuO'nun lityum iyon pil üretiminde potansiyel bir uygulamaya sahip olduğu bilinmektedir [82,83]. CuO ayrıca hidrokarbonları tamamen karbondioksit ve suya dönüştürebilen etkili bir heterojen katalizördür. Bütün bu uygulamalar için CuO parçacıkların boyutu, spesifik yüzey alanı, aglomerasyon durumu ve morfolojisi gibi parametreler çok önemli rol oynamaktadır.

2.8. Nanoparçacıklar ve Çevre

Nanoteknolojinin gelişmesiyle birlikte nanoparçacıkların sağlık üzerindeki etkisinin önemi de paralel şekilde giderek artmış göstermektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda nanomalzemelerin göstermiş olduğu beklenmedik özellikler umut verici gelişmeler yaratmakla birlikte kaygı verici durumlar oluşmuştur. Nano boyuttaki parçacıklar yüksek kimyasal aktivite, yüksek yüzey alanı ve kuantum etkileri nedeniyle sahip oldukları üstün fiziksel, kimyasal, manyetik ve elektronik özellikler, çevreye ve insan sağlığına duyarlı nanomalzemelerin üretilmesine imkân vermektedir. Üretilen bu malzemelere örnek olarak kendi kendini temizleyen yüzeyler ve çevre kirliliğini azaltmaya yardımcı nanokatalizör çalışmaları verilebilir. Buna karşın yine aynı özellikler çevreyi ve insan sağlığını son derece etkileyebilecek toksik etkilere de yol açabilmektedir. Nanomalzemeler doğrudan su, gıda, kozmetik, ilaçlar ve ilaç taşıyıcı sistemleri aracılığıyla vb. vücut içerisine alınabilmektedir. Vücut içerisine giren nano boyutlu parçacıklar ve türevleri insan sağlığına büyük ölçüde tehdit edici unsurlara dönüşebilmektedir [84-87].

2.8.1. Bakır (Cu) nanoparçacıklarının sağlık ve çevre üzerindeki etkileri

Nano boyutlu bakır parçacıkları hem endüstriyel olarak üretilmekte hem de ticari olarak temin edilebilmektedir. Diğer nanomalzemelerde olduğu gibi bakır nanoparçacıkları da atık su ve tüketici ürünleri gibi farklı yollarla çevreye ve insan vücuduna girebilmektedir. İnsan vücudunda bakır normal şartlar altında belirli bir denge aralığında bulunmaktadır. Bakır alımı insan vücuduna gereken aralıktan fazla alınması durumunda, hemoliz, sarılık ve hatta ölüm gibi çok ciddi etkilere neden olabilmektedir [84].

2.8.2. Bakır oksit (CuO) nanoparçacıklarının sağlık ve çevre üzerindeki etkileri

Bakır oksit nanoparçacıkları da tıpkı bakır nanoparçacıklarının gösterdiği üstün özellikleri göstermesi nedeniyle uygulama alanlarının günden güne hızla artmaktadır. Malzeme bilimi ve endüstriyel olarak uygun karşılansa da canlıların sağlığı açısından istenmeyen zararlı etkilere neden olma ihtimalleri kaygı verici bir durumdur [85].

Yapılan çalışmalar neticesinde CuO nanoparçacıklarının ağır zehirli etkilerinin olduğu ortaya çıkmıştır. Bu çalışmalarda parçacıkların gösterdiği zehirli etkilere, çözülebilir bakır iyonlarının neden olduğu bildirilmektedir [86].

Yapılan bu çalışmaların dışında bu parçacıkların çevreye bir hayli faydalı etkilerinin olduğu da ortaya konulmuştur. Örneğin; çevreye zarar verici, kirletici gazların yok edilmesinde veya azaltılmasında katalizör olarak kullanılan metal oksit nanoparçacıklarından biri de bakır oksittir [87].

3. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemeler, iki veya daha fazla sayıda aynı veya farklı gruplarda bulunan malzemelerin birbiri içerisinde çözünmeden, atomsal bir geçiş gerçekleştirilmeden, gözle görülebilir seviyelerde bir araya getirilerek, bileşenlerindeki malzemelerin üstün özelliklerinin tek bir malzemeyle toplanmasıyla üretilen yeni malzemeler olarak tanımlanmaktadır [88-90].

Kompozit malzemelerin diğer malzemelere oranla sergiledikleri üstün özellikler aşağıda maddeler halinde sıralanmaktadır;

- Yüksek korozyon dayanımı özelliği,
- Yüksek rijitlik/yoğunluk oranı,
- Yüksek mukavemet/yoğunluk oranı,
- İyi termal ve ısı iletkenliği,
- İyi elektriksel ve termal yalıtım özellikleri,
- Yüksek aşınma direncinin olması,
- Hava kirliliği ve UV ışınlarına karşı dayanım,
- Titreşim sönümlenme,
- Yüksek sıcaklık dayanımı,
- Yüksek kimyasal direnç [88,90-92].

Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri ve kullanılan malzemelere bağlı avantajlara sahip olmasının yanı sıra bazı dezavantajlarının olduğu da bilinmektedir. Bu dezavantajlar aşağıda özetlenmiştir;

• Kompozit malzemelerin imalatında kullanılan üretim yöntemlerinin kalitesiyle ilgili olarak her zaman aynı ideal özelliklerin elde edilmesi mümkün değildir. Aynı kompozit malzeme için dahi olsa farklı mukavemet özelliklerinin oluştuğu gözlenmektedir,

- Çekme gücünün olması,
- Yüksek maliyete sahip olması,
- Geri dönüşüm özelliğinin olmaması,
- Üretiminin çok daha zor olması [91,93].

3.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler; matris malzemesine göre kompozitler ve malzeme yapısına göre kompozitler olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmaktadırlar.

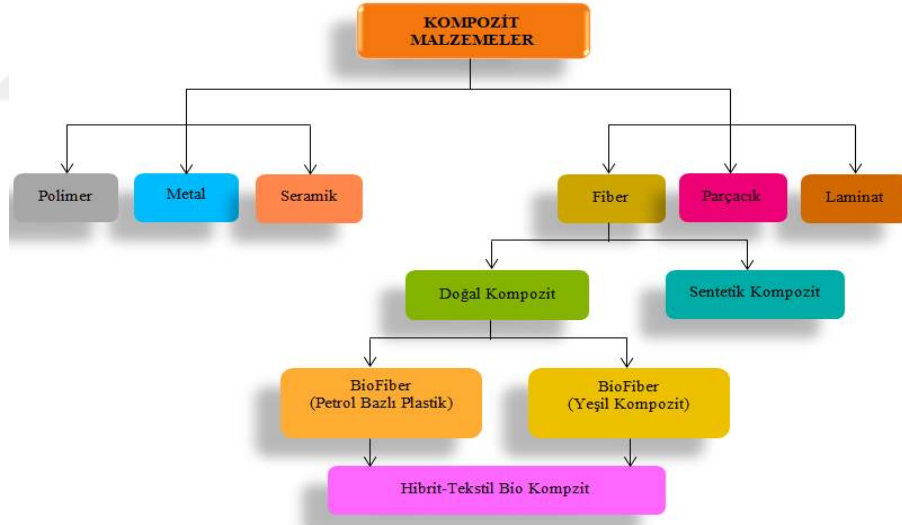
Matris malzemesine göre kompozitler malzemeler;

- Polimer matrisli kompozit malzemeler (PMC),
- Metal matrisli kompozit malzemeler (MMC),
- Seramik matris kompozit malzemeler (CMC)'den oluşmaktadır.

Malzeme yapısına göre kompozit malzemeler;

- Laminat kompozit malzemeler
- Fiber kompozit malzemeler
- Parçacık kompozit malzemeler olmak üzere gruplandırılmaktadır.

Lifli kompozit malzemeler kendi aralarında doğal biyofiber veya sentetik fiber malzemeler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Doğal-biyofiber malzemeler ise, yeşil kompozit malzemeler sınıfında yer almaktadır. Yeşil kompozit malzemeler; hibrit kompozit malzemeler ve tekstil kompozit malzemeler olmak üzere iki alt bölüme ayrılmaktadır. Hibrit (karma) kompozit malzemeler ise, iki veya daha fazla türde fiberin bileşimlerini içermektedir [94,95]. Şekil 3.1'de kompozit malzemelerin sınıflandırılması verilmiştir.



Şekil 3.1. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

3.2. Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler

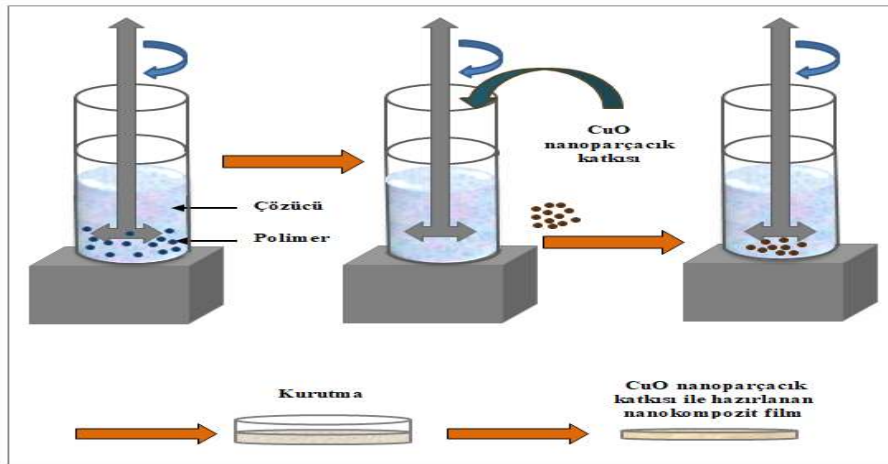
Günlük yaşamımız başta olmak üzere endüstrinin neredeyse tüm alanlarında ve birçok alanda polimer malzemeler çok fazla talep görmeye başlamıştır. Mekanik özellikler açısından polimerler yeterli özelliğe sahip olmadıklarından dolayı yüksek ısıl kapasitesine ve mekanik dayanıklılığı yüksek polimer malzemeler geliştirilmiştir. Düşük maliyetli üretimleri, korozyona karşı dirençli olmaları, kolay işlenebilmeleri, birim kütle başına yük kapasitelerinin yüksek olması, düşük yoğunlukları ve uzun süreli

kullanımlara uygun olmalarından dolayı en fazla tercih edilen polimer malzemeler, polimer matrisli kompozit malzemelerdir [96-98].

3.3. Polimer Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

İki ve ikiden fazla sayıda farklı çeşitteki malzemenin, özelliklerini geliştirmek ya da yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla, makro, mikro ve nano boyutta birleştirilerek üretilen malzemeler kompozit malzemeler olarak bilinmektedir [99]. Kompozit malzemelerin üretimi sonucunda korozyona karşı dayanım, kırılma tokluğu, aşınma dayanımı, ısı iletkenlik, akustik iletkenlik, elektrik iletkenliği, rijitlik ve estetik görünüm gibi özelliklerin geliştirilmesi amaçlanmaktadır [99,100]. Şekil 3.2’de çözelti döküm yöntemi ile nanoparçacık katkılı nanokompozit film üretiminin şematik gösterimi verilmiştir. Yaygın olarak kullanılan polimer matrisli kompozit malzeme üretim yöntemleri ise şunlardır:

- Püskürtme yöntemi pres kalıplama,
- Transfer kalıplama,
- El yatırma yöntemi,
- Enjeksiyon yöntemi,
- Vakum kalıplama,
- Filament sarma,
- Pultrüzyon yöntemi,
- Santrifüj yöntemi,
- Çözelti döküm yöntemi [101].



Şekil 3.2. Çözelti döküm yöntemi ile nanoparçacık katkılı nanokompozit film üretiminin şematik gösterimi

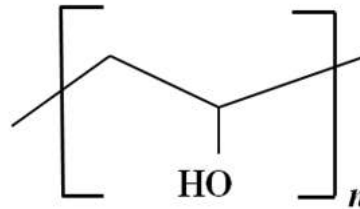
4. POLİMER MALZEMELER

Polimerler, çok sayıda tekrarlanan mer veya monomer denilen basit birimlerin bir araya gelerek oluşturdukları moleküllerdir. Polimer malzemeler kaynaklarına göre doğal ve sentetik polimerler olarak ikiye ayrılmaktadır. Niçasta, protein, kauçuk ve selüloz doğal polimerlere örnek olarak gösterilebilir. Sentetik polimerler ise, ticari olarak çok yüksek üretim kapasiteleriyle üretilerek günlük yaşamımızda çok geniş kullanım alanlarına sahiptirler. Polimerlerin karakteristik özellikleri arasında düşük yoğunlukları ve gelişmiş mekanik özellikleri gösterilebilir [102-104].

4.1. PVA'nın Özellikleri

PVA, kokusuz, tatsız, saydam görünümlü beyaz renkli granül bir yapıya sahiptir. Su içerisinde kolaylıkla çözünebilen bir polimerdir [105]. Organik çözücüler içerisinde çözünememesine rağmen etil alkol içerisinde yavaş bir şekilde çözünebildiği bilinmektedir. PVA, kimyasal ve termal kararlılığa sahip yarı kristal hidrofilik özellikte, kolay içenebilen, toksik (zararlı) olmayan bir polimerdir. Polivinil alkol, bünyesinde bulunan hidroksil grupları sayesinde çapraz bağlanabilme özelliğine sahip olmakla beraber biyouyumlu ve biyobozunur sentetik bir polimerdir [106,107]. PVA, polivinil asetatın (PVAc) hidrolizi neticesinde endüstriyel olarak üretilmektedir [107]. Şekil 4.1'de PVA'nın molekül yapısı ve Görsel 4.1'de ise granül halde PVA'nın görünümü verilmiştir. PVA'nın özellikleri aşağıda özetlenmiştir;

- Özgül ağırlığı: 1,19-1,31 g/cm³ arasında bulunmaktadır.
- Erime noktası: 200°C'dir.
- Kaynama noktası: 228°C'dir.
- Camsı geçiş sıcaklığı: 85°C'dir.
- Kimyasal formülü: [-CH₂CHOH-]_n'dir.



Şekil 4.1. PVA'nın molekül yapısı



Görsel 4.1. Granül halde PVA'nın görünümü

- Zararlı ve çevreyi kirletici değildir.
- Su içinde çözünabilen reçinedir.
- İyi bir kimyasal kararlılık özelliğine sahiptir.
- Film oluşturma, yalıtım, yağ direnci, aşınma direnci ve gaz bariyeri gibi özelliklere sahiptir.

Yüksek biyouyumluluk, yüksek biyobozunurluk ve gelişmiş mekanik özelliklere sahip olan PVA iyi derecede film oluşturma özelliğine sahiptir [108].

4.2. PVA'nın Uygulama Alanları

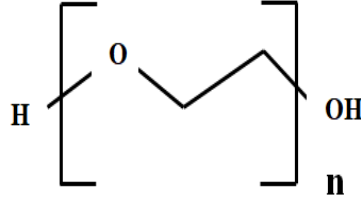
Oldukça geniş kullanım alanına sahip bir polimer olan PVA'nın bazı kullanım alanları aşağıda listelenmiştir. PVA;

- Tekstil endüstrisinde, kaplama ve boyutlandırma malzemesi olarak,
- Çiğir endüstrisinde, boya katkı maddesi olarak,
- Kimya endüstrisinde, diğer reçinelerin hazırlığı için bir bağlayıcı maddesi olarak,
- Kozmetik sektöründe,
- Sağlık ve eczacılık alanında, kalp kapakçıkları, kıkırdak doku implantları, kornea implantlarında,
- Seramik alanında,
- Baskı, elektrik ve elektronik kaplama alanlarında,
- Oksijen dirençli filmlerde,
- Gıda sektöründe, ambalajlama alanlarında,
- Doku mühendisliğinde,
- Atık su arıtımında,
- Yapıdırıcı, kâğıt ve tekstil tutkallama gibi birçok alanda polivinil alkol kullanılmaktadır [109-112].

4.3. PEG'in Özellikleri

PEG, etilen ve oksijenin birbirine sıralı olacak şekilde bağlanmalarıyla oluşan halkasal yapıda olmayan polimerdir. PEG, toksik olmaması, antijenisite ve immünojenisite göstermemesi nedeniyle medikal kullanımlarda en çok tercih edilen polimerler arasındadır [113]. Polietilen glikolün mekanik özellikleri, hidrofilik özelliği ve biyobozunurluğu geliştirilebildiğinden dolayı çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Özellikle, biyomedikal alanında ve ilaç endüstrisinde çok fazla kullanılmakta olan bir polimerdir [114-116].

PEG'in insan vücudunda güvenilir şekilde kullanılabileceği US Food and Drug Administration tarafından onaylanmıştır. PEG kimyasal modifikasyon ile bir başka moleküle ve yüzeye bağlanma eğilimi gösterebilmektedir. Bağlandığı molekülün büyüklüğünü artırır ve çözünürlüğünü değiştirir [115,117]. Şekil 4.2'de PEG'in molekül yapısı ve Görsel 4.2'de ise PEG'in görünümü verilmiştir.



Şekil 4.2. Polietilen glikol kimyasal yapısı



Görsel 4.2. PEG'in görünümü

4.4. PEG'in Uygulama Alanları

PEG çok yaygın kullanım alanına sahip bir polimerdir. Aşağıda PEG'in bazı kullanım alanları listelenmiştir. PEG;

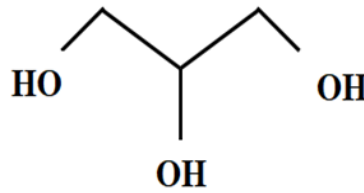
- Biyomedikal uygulamalarda,
- İlaç sanayiinde,
- Gıda sanayiinde,
- Petrol geri kazanımlarında,

- Kaplama alanında,
- Metalurji endüstrisinde,
- Kâğıt sanayiinde,
- Tekstil ve giyim endüstrisinde,
- Kozmetik sanayiinde,
- Boya sanayiinde,
- Tutkal yapımında,
- Deterjanlarda kullanılmaktadır [118,119].

4.5. Gliserinin Özellikleri

Gliserin, kimyasal adı "Gliserol" olan doğal olarak ve aynı zamanda petrokimyasal hammaddelerden elde edilen kokusuz, renksiz ve tatlı yapışkan bir sıvı olarak bilinmektedir. Gliserin, suda çözünbilmektedir. Hayvansal ve bitkisel yağ maddelerinin içinde bulunmaktadır. Yağlı maddelerin sabunla yıkanmasıyla elde edilen gliserin, bir trihidrik alkoldür; yani her biri farklı bir karbon atomuna bağlı üç hidroksil (OH) grubu içermektedir. Gliserin; gliserol, propan-1,2,3- triol, 1,2,3- propanetriol, 1,2,3-trihidroksipropan ve glikol alkol olarak da adlandırılmaktadır [120,121].

Antik Yunan dilinde, tatlı anlamına gelen –glykys” sözcüğünden türetilmiştir. Gliserin insanoğlunun bildiği çok yönlü kullanımı bulunan en değerli kimyasallar arasında yer almaktadır. 1779 yılında Alman farmasötik kimyacı Carl Wilhelm Scheele tarafından zeytinyağı ile doğal kurur oksit karışımının ısıtılması ve su ile ekstraktlanması sonucunda keşfedilmiştir [120-124]. Şekil 4.3'te gliserinin molekül yapısı ve Görsel 4.3'te ise gliserinin görünümü verilmiştir.



Şekil 4.3. Gliserinin molekül yapısı



Görsel 4.3. Gliserinin görünümü

4.6. Gliserinin Uygulama Alanları

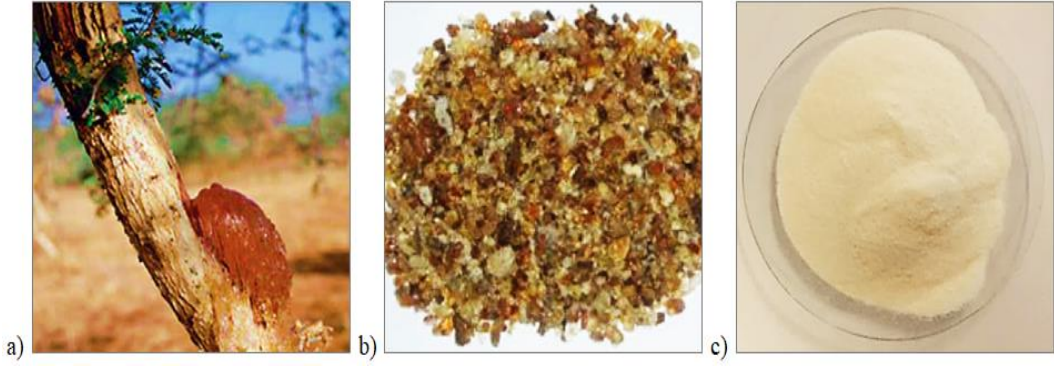
Aşağıda gliserinin bazı kullanım alanları listelenmiştir. Gliserin;

- Çay üretiminde; nemlilik ve kayganlık özelliklerinin sağlanması için kullanılmakta, medikal ve farmasötik uygulamalarda ise pürüzsüzlüğün artırılması amacıyla,
- Kozmetik sanayiinde; yumuşatıcı, nemlendirici, çözücü ve yağlandırıcı özelliklerinden dolayı,
- Kâğıt sanayiinde,
- Besin ve içecek sanayiinde; tatlandırıcı, çözücü ve koruyucu olarak,
- Tekstil endüstrisinde,
- Mum ve sabun yapımında,
- Reçine sanayiinde,
- Düşük yağlı gıdalarda dolgunlaştırıcı olarak,
- Nargile tütünlerinde nem tutucu olarak,
- Kapasitör yapımında,
- Dinamit ve patlayıcı madde yapımında kullanılmaktadır [120,125].

4.7. Akasya Sakızı (Gum Arabic) Özellikleri

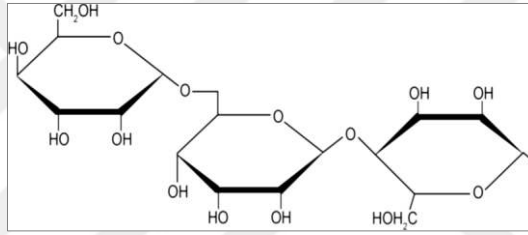
Akasya sakızı (Gum Arabic) veya akasya zamkı, (*Leguminosae*) ailesine ait *Acacia senegal* ve *Acacia seyal* ağaçlarının doğal bir sızıntısı olarak bilinmektedir. Bu bitkilerin coğrafi dağılımı Afrika'nın batısından Hint yarımadasına kadar uzanmaktadır.

Bu ağaçlardan toplanan doğal sızıntılar kurutularak üzerlerindeki yabancı maddelerden arındırılır, Çekilendirilerek öğütülür veya toz haline getirilerek diğer ülkelere ihraç edilmek üzere kullanıma hazır hale getirilir. Görsel 4.4'te akasya sakızının (Gum Arabic), ham hali, öğütülmüş hali ve toz hali verilmiştir.



Görsel 4.4. Akasya sakızının (*Gum Arabic*) ham hali (a), öğütülmüş hali (b) [126], ve toz hali(c)

Nötr veya hafif asidik ve 1,3-bağlı β -d-galaktopiranozil birimlerinden oluşan karmaşık, dallı bir heteropolisakkarittir. L-arabinoz, L-ramnoz ve D-glukuronik asit de bu polimerin bileşenleri arasındadır [126]. Şekil 4.4'te akasya sakızının kimyasal yapısı verilmiştir.



Şekil 4.4. Akasya sakızının kimyasal yapısı [126]

4.8. Akasya Sakızının Uygulama Alanları

Akasya sakızı çok geniş kullanım alanına sahip bir malzemedir. Aşağıda akasya sakızının bazı kullanım alanları listelenmiştir. Akasya sakızı;

- Çiğ endüstrisinde, cerrahi müdahale esnasında gelişen kanamalı durumlarda oluşan düşük kan basıncının tedavisinde,
- Kâğıt endüstrisinde, yapıştırıcı özelliğinden dolayı,
- Mürekkep üretiminde, kolloid koruyucu özelliği nedeniyle,
- Kozmetik sanayisinde, emülsiyon dengeleyici ve kıvamlaştırıcı özelliğinden dolayı,
- İçeceklerde köpük stabilizatörü olarak,
- Süt ürünlerinde, su tutma özelliğinden dolayı stabilizatör olarak,
- Şekerleme ürünlerinde, şekerin kristalleşmesini önlemek amacıyla kullanılmaktadır [127,128].

5. KONU İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Sharma vd. yaptıkları çalışmada, yeşil sentezlenmiş bakır oksit (CuO) nanoparçacıkları boyaya duyarlı güneş pillerinde karışık elektrot üretimi için elektrokatalitik malzemeler olarak kullanılmışlardır. CuO nanoparçacıklarının, *Calotropis gigantea* bitkisinin yaprak ekstraktı ile sulu ortam içinde yeşil sentez yoluyla sentezlediklerini bildirmişlerdir. Sentezledikleri CuO nanoparçacıkları, çeşitli deneysel çalışmalarda kullanılarak morfoloji, kristal yapı, elektrokimyasal ve fotovoltaiik özellikler açısından kapsamlı bir şekilde karakterize etmişlerdir. Sentezledikleri CuO nanoparçacıklarının, yüksek oranda kristal yapıya sahip olduğunu bildirmişlerdir [129].

Nethravathi vd. çalışmalarında, CuO nanoparçacıkları, ıhlamur yaprağının sulu ekstraktı kullanarak çözelti yanma yöntemi ile sentezlemiştir. Oluşturulan nanoparçacıkları karakterize etmek için XRD, SEM, TEM ve UV-görünür yöntemlerini kullanmışlardır. XRD analizi ile CuO nanoparçacıklarının saf monoklinik kristalit yapılarının oluştuğunu bildirmişlerdir. SEM ve TEM görüntüleri ile nanoparçacıkların geniş yüzey alanına sahip sünger benzeri yapılara sahip olduğunu bildirmişlerdir. Ortalama kristalit boyutlarının 6-8 nm aralığında olduğunu rapor etmişlerdir. Bu çalışma neticesinde, metilen mavisi kanserojen boyanın UV varlığında CuO nanoparçacıkları tarafından çok etkili bir şekilde bozulduğunu bildirmişlerdir [130].

Velsankar vd. yaptıkları çalışmada, CuO nanoparçacıkları, 5 mM kuprik sülfatın *Carica papaya* yaprak ekstraktı ile sentezlemiştir. Reaksiyon kinetiğini, UV-Vis spektroskopisi ile incelemiştir. UV-Vis spektrumunda 250-300 nm arasındaki yoğun yüzey plasmon rezonansının bakır oksit nanoparçacıklarının oluşumunu ortaya koyduğunu göstermiştir. SEM ve dinamik ışık saçılımının sonuçları ile yeşil sentezlenmiş bakır oksit nanoparçacıklarının çubuk şeklinde olduğunu ve ortalama 140 nm'lik bir parçacık boyutuna sahip olduğunu rapor etmişlerdir. FTIR spektroskopisi ile, bakır iyonlarının indirgenmesi için gerekli biyoaktif fonksiyonel grupların oluşumunu incelemiştir. XRD spektrumları ile bakır oksit nanoparçacıklarının kristal yapısını doğrulamışlardır [131].

Arunkumar vd. yaptıkları çalışmada, CuO nanoparçacıkları, $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ve NaOH.CuO karışımı olarak *Lantana camara* (ağaç mines) ekstraktı kullanarak sol-jel yöntemi ile sentezlemiştir. Sentezledikleri CuO nanoparçacıklarının ortalama parçacık boyutunun 17 nm olduğunu bildirmişlerdir. CuO nanoparçacıklarının fotokatalitik performansını metilen mavisi boya kullanılarak değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak,

CuO nanoparçacıklarının parçacık boyutuna bağlı olarak fotokatalitik performansın % 94,07 olduğunu bildirmiştir [132].

Sivaraj vd. yaptıkları çalışmada, küresel bakır oksit nanoparçacıkları, kütlege %50 konsantrasyonda *Tabernae montanus* (fırıldak çiçeği, krep yasemin) yaprak ekstraktı kullanarak sentezlemiştir. Bakır oksit nanoparçacıkların oluşumunu, UV-Vis spektroskopisi, XRD, FTIR spektroskopisi ve SEM ile doğrulamıştır. Sentezledikleri CuO nanoparçacık boyutlarının 48 ± 4 nm olduğunu bildirmiştir [133].

Nasrollahzadeh vd. çalışmalarında, CuO nanoparçacıkları, indirgeyici madde olarak *Thymus vulgaris* L. yapraklarının sulu ekstraktını kullanarak yeşil sentez yöntemiyle sentezlemiştir. Yeşil sentezlenmiş CuO nanoparçacıkların indollerin ve aminlerin ligand içermeyen N-arilasyonu için mükemmel bir heterojen katalizör olduğunu bildirmiştir. N-açılınmış ürünlerin yüksek verimle elde edilebildiğini, katalizörün geri kazanılabilir olduğunu ve neredeyse hiçbir aktivite kaybı olmadan başka katalitik reaksiyonlar için tekrar kullanılabilir olduğunu ortaya koymuştur [134].

Maruthupandy vd. yaptıkları çalışmada, CuO ve çinko oksit (ZnO) nanoparçacıkları, indirgeyici ve stabilize edici ajan olarak *Camellia japonica* yaprak ekstraktı kullanılarak sentezlemiştir. Sentezledikleri CuO ve ZnO nanoparçacıkları, Li^+ ve Ag^+ gibi metal iyonlarının optik olarak algılanması için test etmiştir. CuO ve ZnO nanoparçacıkların, deniz suyu örneklerinden oluşan Li^+ ve Ag^+ iyonları kontaminasyonunu algılamak için temel optik sensör cihazlarda kullanım potansiyeli olduğunu bildirmiştir [135].

Tahir, K.R., CuO nanoparçacıkları *Calotropis procera* yaprağı ekstraktı kullanılarak bakır asetat öncüsü ile çevresel olarak uyumlu özellikler gösteren yeşil sentez yoluyla sentezlenmiştir. Sentezledikleri CuO nanoparçacıklarının yerel atomik düzenlemelerini ve titreşimlerini incelemek için Raman spektroskopisi yöntemini kullanmıştır. Çalışma sonucunda, CuO nanoparçacıklarının yüzeyindeki yüzey aktif moleküllerinin adsorpsiyonunu ve CuO bağının varlığını doğrulamıştır [136].

Singh vd. çalışmalarında, CuO nanoparçacıkları, yaprak ekstraktı ve bakır asetat monohidrat kullanarak sentezlemiştir. Sentezledikleri CuO nanoparçacıkları, fotokatalitik aktivite açısından NB ve RY160 boya üzerine test etmiştir. Çalışma sonucunda, biyogenik CuO nanoparçacıklarının, yeşil bir fotokatalizör olarak etkinliğini bildirmiştir [137].

Rafique vd. yaptıkları çalışmada, *Citrofortunella microcarpa* yaprakları ekstraktı, bakır oksit nanoparçacıklarının indirgeyicileri olarak yeşil ve çevre dostu bir sentez için kullanılmıştır. Sentezledikleri CuO nanoparçacıkların optik, yapısal ve morfolojik özelliklerini UV-vis spektroskopisi, XRD, SEM ve FTIR spektroskopisi ile incelemiştir. Sentezledikleri CuO nanoparçacıkların, 54-68 nm boyut aralığına sahip olduğunu ve küresel şekilde olduğunu bildirmiştir. Yaptıkları sentezi, 270-300 nm'de yüzey plazmonik rezonans sergileyen UV-vis spektroskopisi ile teyit etmiştir [138].

Mohamed E.A., fenolik ve flavonoid içeriği yüksek bir indirgeme maddesi olarak çekirdeksiz hurma özü kullanarak yeşil sentez yöntemi ile Cu/Cu₂O nanoparçacık sentezlemiştir. TEM analizi sonuçları ile küresel parçacıkların sentezlendiği göstermiştir. XRD analizinde Cu varlığının karakteristik kırınımını rapor etmiştir. FTIR spektrumları ile Cu/Cu₂ yüzeyine adsorbe edilen karbon iyonları ve hidroksil bağlarını rapor ederek bakır iyonlarının bakır nanoparçacıklarına indirilmesinden sorumlu olan fenolik bileşiklerin varlığını bildirmiştir [139].

Prakash vd. yürüttükleri çalışma kapsamında, CuO nanoparçacıkları, *Cordia sebestena* (*C. sebestena*) çiçeğinin sulu ekstraktını kullanılarak yeşil sentez yöntemiyle sentezlemiştir. Nanoparçacıkları katalitik verimleri açısından değerlendirmiştir. 267 nm'de tepe noktası sergileyen UV-Vis spektrumu ve 431 ve 542 cm⁻¹'de CuO bağlarının varlığına işaret eden FTIR spektrumları ile CuO sentezini doğrulamıştır. SEM analizi sonucunda sentezdikleri CuO nanoparçacıklarının toplanmış küresel bir morfolojiye sahip olduğunu ve TEM analizi sonucunda 20 ila 35 nm arasında parçacık boyutu sergilediklerini bildirmiştir [140].

Gunalan vd. yaptıkları çalışmada, monodispers CuO nanoparçacıklarının hem kimyasal hem de biyolojik yöntemlerle sentezini rapor etmiştir. Kristal, çok yönlü ve oldukça kararlı CuO nanoparçacıkları sentezlediklerini bildirmiştir. Parçacık boyutlarının *Aloe vera* yaprağı suyu konsantrasyonları değiştirilerek kontrol edilebildiğini rapor etmiştir [141].

Yallappa vd. gerçekleştirdikleri çalışmada, mikrodalga destekli kararlı Cu nanoparçacıkların *Terminalia arjuna* kabuğu ekstraktı kullanılarak hızlı sentezini gerçekleştirdiklerini bildirmiştir. pH ve redoks potansiyel değerlerinin, Cu²⁺ iyonlarının indirgeme mekanizmasını etkilediğini rapor etmiştir. Cu nanoparçacıkların oluşumunu UV-Vis. spektrumları ve XRD analizleriyle

doğrulanmıştır. Sentezledikleri nanoparçacıkların gelişmiş antioksidan özellik gösterdiğini bildirmiştir [142].

Singh vd. çalışmalarında, CuO nanoparçacıkları *Carica papaya* yaprakları ekstraktı kullanarak oda sıcaklığında yeşil sentez yöntemi ile sentezlemiştir. Sentezledikleri CuO nanoparçacıkları UV-Vis. spektroskopisi, SEM, FTIR spektroskopisi ve XRD analizleri ile karakterize etmiştir. CuO nanoparçacıklar tarafından Commassie parlak mavi R-250'nin fotokatalitik bozunmasını bildirmiştir [143].

Akintelu ve arkadaşları yapmış oldukları bu çalışmada, biyomedikal uygulama ve çevresel iyileştirme için bakır oksit nanoparçacıklarının yeşil sentez şekli ve aktiviteleri nedeniyle tıbbi kurumlara ve endüstrilere çok büyük fırsat sunan bitkilerden CuO nanoparçacık sentezlemenin biyolojik yöntemini yapılan çalışma aracılığıyla gerçekleştirmiştir. Yapılan bu çalışmada, bitki kaynakları kullanılarak sentezlenen CuO nanoparçacıkların sentez yöntemi, karakterizasyon teknikleri ve bazı uygulamaları hakkındaki son bulgulardan CuO nanoparçacıkların hem fiziksel hem de kimyasal yönteminin eksikliklerinin sınırlandırılmasına yardımcı olabilecek bilimsel sonuçlara ulaşılabileceğini bildirmiştir. CuO nanoparçacıkların biyomedikal ve atık arıtmadaki temel uygulaması morfolojik özelliklere bağlı olan antimikrobiyal etkinlikleri tarafından gerçekleştirildiğini rapor etmiştir [144].

Devatha, C. P., vd. yaptıkları çalışmada, demir (Fe) nanoparçacık sentezini *Azadirachta Indica* bitki ekstraktı kullanarak gerçekleştirmiştir. HPLC çalışmaları ile 0,280 mg/g, 0,278 mg/g ve 0.532 mg/g olarak önemli polifenol konsantrasyonlarını (gallik asit, kafeik asit ve kateşin) elde ettiklerini rapor etmiştir [145].

Fazlzadeh ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, üç farklı bitki özütü kullanılarak sıfır değerlikli demir nanoparçacıkların yeşil sentezini ve bunların sulu çözeltilerden Cr (VI) çıkarılması için verimli uygulamalarını gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak *Rosa*, *Thymus* ve *Urtica dioica* bitki ekstraktlarının sıfır değerlikli demir nanoparçacıkların sentezi için uygun indirgeyici ajanlar olduğunu bildirmiştir [146].

Afsheen, S., vd. çalışmalarında, farklı ekstraktlar kullanarak demir nanoparçacıklarının yeşil sentezini gerçekleştirdiklerini bildirmiştir. Fe mikro/nanoparçacıkları, mango, gül ve neem yaprağı ekstraktları, karanfil tohumları ve karanfil tomurcuklarının ekstraktıyla üretmiştir. Polivinilpirolidonu (PVP), Fe nanoparçacıkların sentezinde stabilize edici ajan olarak kullandıklarını bildirmiştir.

PVA yerine PVP kullanıldığında Fe nanoparçacıklarının boyutunda değışiklik olduğunu rapor etmiştir. Fe nanoparçacıkları SEM, XRD, FTIR spektroskopisi ve UV-Vis spektroskopisi ile karakterize ettiklerini bildirmiştir [147].

Mehr, E.S., vd. tarafından gerçekleştirilen çalışmada, hafif ve zararlı olmayan bir indirgeyici ajan olarak *ferulago angulata* (schlecht) boiss ekstraktı kullanılarak ZnO ve CuO nanoparçacıklarının sentezi için uygun maliyetli ve çevre dostu bir yağ sentez yöntemi geliştirilmiştir. Yöntemde herhangi bir yüzey aktif madde eklemenden verimli bir sentez gerçekleştirildiğini bildirmiştir. Bitkilerde bulunan ikincil metabolitlerin, nanoparçacıkların sentezinde önemli bir görev üstlendiğini rapor etmiştir. Sentezledikleri metal oksit nanoparçacıkları, XRD, FTIR spektroskopisi ve SEM ile karakterize etmiştir [148].

Sebeia, vd. çalışmalarında, CuO nanoparçacıkları, *Azadirachta indica*, *Hibiscus rosa-sinensis*, *Murraya koenigii*, *Moringa oleifera* ve *Tamarindus indica* yapraklarından elde edilen farklı bitki özleri kullanılarak yağ kimya yaklaşımı ile sentezlediklerini bildirmiştir. Verimliliklerini karşılaştırmak için, CuO nanoparçacıkları da kimyasal yöntemle sentezlenmiştir. Yaprak ekstraktlarının fitokimyasal taraması ile karbonhidratların, flavonoidlerin, glikozitlerin, fenolik bileşiklerin, saponinlerin, tanenlerin varlığını bildirmiştir. FTIR spektrumları ile CuO nanoparçacıklarının oluşumundan sorumlu olası biyomoleküllerin varlığını doğrulamıştır [149].

Sackey, J., vd. yaptıkları çalışmada, yağ sentez yöntemiyle CuO nanoparçacıkları, *Euphorbia pulcherrima* bitkisinin kırmızı çiçek ekstraktlarından sentezlemiştir. Yağ sentezin, uygun maliyetli bir yöntem olduğunu yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırma yaparak desteklemiştir. *Euphorbia pulcherrima* aracılı bakır oksit nanoparçacıkların elektrokimyasal enerji depolama uygulaması için umut verici bir malzeme olduğunu bildirmiştir [150].

Chowdhuri ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, farklı morfoloji ve kristalografik yapıya sahip bakır oksit nanorodların sentezi için basit ve verimli bir yaklaşım geliştirmiştir. Bakırın hidratın kostik soda çözeltisi ile oda sıcaklığında ve 100°C'de reaksiyonlarından 10-20 nm boyutlarında ve birkaç yüz nanometre uzunluğunda polikristalin ince çubuklar, 60-100 nm kalınlığında ve 1 µm uzunluğa kadar tek kristalin kalın çubuklar elde ettiklerini bildirmiştir [151].

Rai vd. gerçekleşirdikleri çalışmada, CuO nanoparçacıkların fotovoltatik özelliklerini incelemişerdir. Bununla birlikte, yüksek sıcaklıkta termal oksidasyon, düşük sıcaklıkta termal oksidasyon, elektro biriktirme, anodik oksidasyon, kimyasal oksidasyon ve reaktif püskürtme gibi farklı yöntemlerle hazırlanan CuO nanoparçacıkların özelliklerini incelemişerdir. Elde ettikleri çalışmalar sonucunda ve literatür karşılaştırmalarıyla, bakır oksidin fotovoltatik malzeme olarak da kullanılabileceğini bildirmişerdir [152].

Siddiqui, vd. yaptıkları çalışmada, *Punica granatum* ekstraktının indirgeme ve stabilize etme amaçlı CuO nanoparçacık sentezinde kullanımının, zararlı ve tehlikeli indirgeyici kimyasallardan daha yeşil bir alternatif sağladığını bildirmişerdir. XRD ve FTIR analiz sonuçlarının CuO nanoparçacık sentezini doğruladığını bildirmişerdir. Sonuç olarak, CuO nanoparçacıkların yüzey kaplamalarında antibakteriyel ajanlar olarak önemli bir kapasiteye sahip olduğunu bildirmişerdir [153].

Vishveshvar, vd. *Ixiro coccinea* bitki yaprakları ekstraktını, CuO nanoparçacık yeşil sentezinde kullanarak CuO nanoparçacıklarının sentezi için biyolojik olarak güvenilir süreçler kullanan yeşil bir yöntem gelişirmişerdir. Sentezledikleri CuO nanoparçacıkları UV-Vis, FTIR spektroskopisi, SEM ve TEM analizleriyle karakterize etmişerdir. Sonuç olarak *Ixiro coccinea* bitki yaprakları ekstraktının, CuO nanoparçacık yeşil sentezinde indirgeyici ajan olarak uygun bir alternatif olduğunu bildirmişerdir [154].

Waris ve arkadaşarı, CuO nanoparçacıkların, çeşitli biyo-kaynaklardan (bitkiler, mikroorganizmalar, algler ve diğer biyolojik moleküller) biyo aracılıklı olarak sentezlenebildiğini gerekleşirdikleri çalışmayla gstermişerdir. Yeşil sentezlenmiş CuO nanoparçacıkların çeşitli biyomedikal uygulamalarda kullanılmasının uygun olduğunu yapmış oldukları çalışma ve analizlerle (XRD, UV-Vis spektroskopisi, FTIR spektroskopisi ve SEM) bildirmişerdir [155].

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler

Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasal malzemelerin isimleri, formülleri ve üretici firmaları Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasal malzemelerin isimleri, formülleri ve üretici firmaları

Kimyasal	Formül	Üretici Firma
Bakır (II) Klorür Dihidrat (MA=170,48 g/mol)	$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Carlo Erba
Polivinil Alkol (MW=89,000-98,000)	$(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n$	Aldrich, 99+%
Polietilen Glikol (MW=8500-11500)	$(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n \cdot \text{H}_2\text{O}$	Sigma - Aldrich
Gliserin (Gliserol) (MW=92,09382)	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$	Fisher Scientific, 99,5 %
Akasya Sakızı (Gum Arabic) (MW=250,000)	-	Sigma – Aldrich
Potasyum Bromür (MW=119,002)	KBr	Sigma – Aldrich

6.2. Nanoparçacık Sentezi

6.2.1. Bitki ekstraktının hazırlanması

Bakır oksit nanoparçacıklarının yeşil sentezi sürecinde kullanılan enginar sapları (*Cynara Scolymus L.*) Eskişehir ilinden toplanmıştır. Enginar sapları, tozlarından arındırılmış ve küçük parçalar halinde kesildikten sonra 60°C’lik etüvde 48 saat boyunca kurumaya bırakılmıştır. Kurutulan enginar sapları halkalı öğütücüde (Retsch) toz haline getirilmiştir. Öğütülen enginar sapları 300 mesh (0,050mm) elekten geçirilmiş ve 24 saat 50°C’de kurutulmuştur ve deiyonize su içerisinde (0,08 g/mL) 75°C’de, 700 dev/dk karıştırma hızında 30 dakika karıştırılmıştır. Son olarak enginar tozları filtre edilerek ayrılmış ve hazırlanan bitki ekstraktı örnekleri 4°C’de saklanmıştır. Görsel 6.1’de enginar sapından bitki ekstraktı eldesi aşamaları görülmektedir.



Görsel 6.1. Enginar sapından bitki ekstraktı eldesi aşamaları

6.2.2. CuO nanoparçacıklarının yeşil sentezi

Bakır nanoparçacıklar yeşil indirgenme yöntemiyle sentezlenmiştir. $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ deiyonize su içerisine eklenmiş ve 50°C 'de ve 500 dev/dk karıştırma hızında 24 saat karıştırılarak $1,5 \times 10^{-3}\text{M}$ çözelti hazırlanmıştır. Elde edilen çözelti 100°C 'ye kadar ısıtılmış ve indirgeyici olarak kullanılmak amacıyla hazırlanan bitki ekstraktı büret yardımıyla damlatılarak çöktürme işlemi başlatılmıştır. Çöktürme sürecinde, dağılım renginin yeşil, sarı, turuncu, kırmızı-kahverengi, kahverengi ve sonunda koyu kahverengiye döndüğü gözlenmiştir. Koyu kahverengi renkteki çözeltiye 15 dakika boyunca 8000 dev/dk hızla santrifüj işlemi uygulanmıştır. Santrifüj sonucunda ayrılan sıvı 4°C 'de saklanmış ve CuO nanoparçacıkları 50°C 'de kurutulmuştur. Sentezlenen nanoparçacıklardan bir miktar alınarak, $8^\circ\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızında 500°C 'ye kadar ısıtılmış ve 4 saat kalsinasyon işlemi uygulanmıştır.

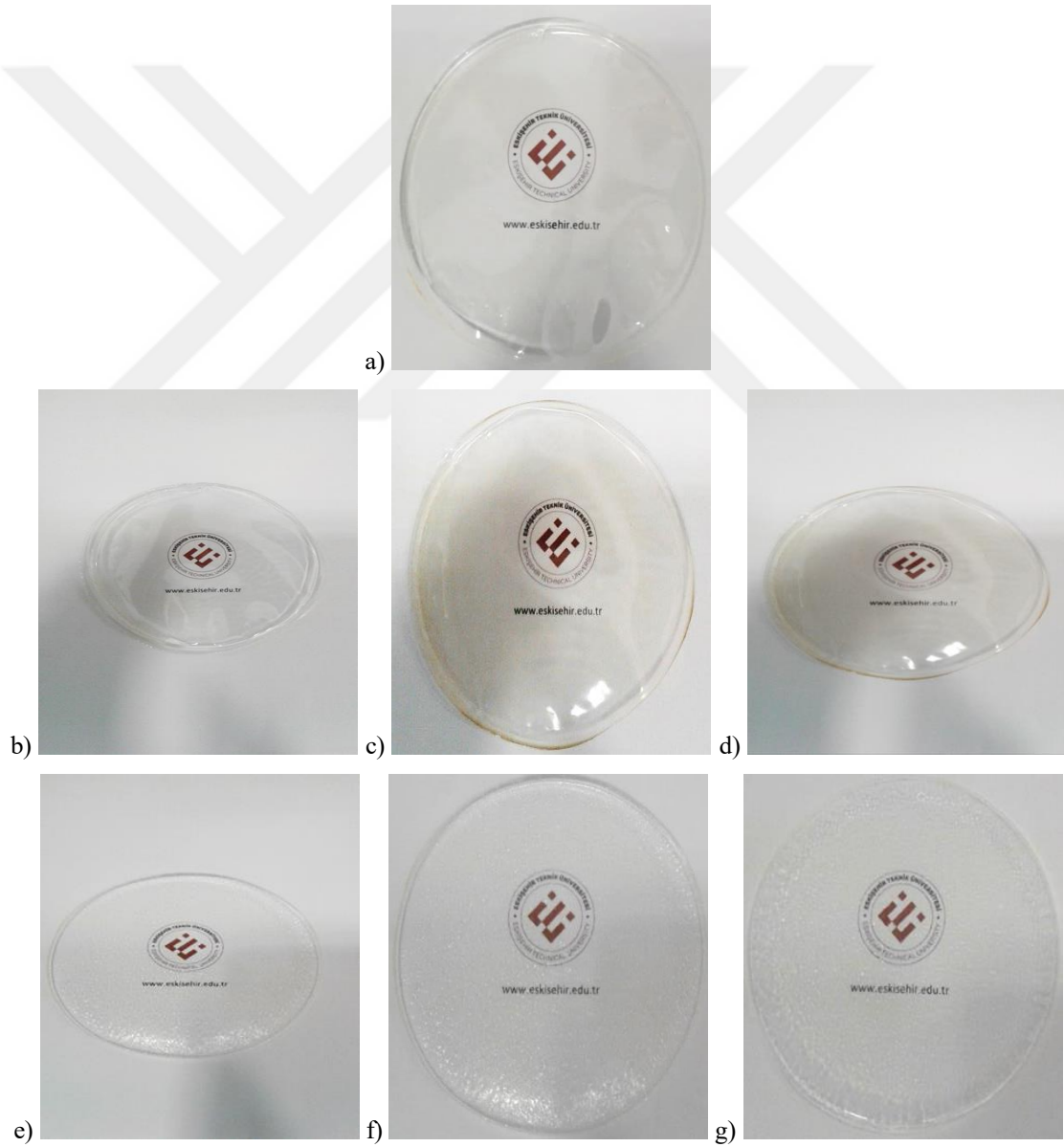
6.3. Kompozit Filmlerin Hazırlanması

PVA polimeri saf su içerisine eklenmiş ve 100°C 'de 24 saat 300 dev/dk hızında karıştırılarak %10 derişimde PVA çözeltisi hazırlanmıştır. Hazırlanan çözelti su terazisi yardımıyla düz bir zemin üzerinde petri kabına dökülerek çözeltinin homojen yayılımı sağlanmıştır. Elde edilen çözelti 50°C 'de 24 saat kurutulmuş ve kontrol grubu olarak hazırlanan saf PVA filmi petri kabından ayrılmıştır. Kompozit filmlerin hazırlanma sürecinde katkı malzemesi olarak kullanılan PEG, gliserin ve akasya sakızı %10 PVA çözeltisine farklı oranlarda eklenmiştir. Katkı malzemelerinin karışımlar içerisinde homojen dağılımı sağlamak amacıyla ultrasonik homojenizatör ile 30 dk karıştırma işlemi uygulanmıştır. Elde edilen karışımlar petri kaplarına dökülmüş ve 50°C 'de 24 saat kurutularak çözücülerini uzaklaştırılmıştır. Hazırlanan saf PVA film ve farklı

oranlarda PEG katkısı içeren PVA/PEG kompozit filmlerin kütlece yüzde bileşimleri Çizelge 6.2’de ve görüntüleri Görsel 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Hazırlanan saf PVA film ve farklı oranlarda PEG katkısı içeren PVA/PEG kompozit filmlerin kütlece yüzde bileşimleri

Film Örneği	PVA (%)	PEG (%)
PVA	100	—
PVA %5PEG	95	5
PVA %10PEG	90	10
PVA %15PEG	85	15
PVA %20PEG	80	20
PVA %30PEG	70	30
PVA %40PEG	60	40

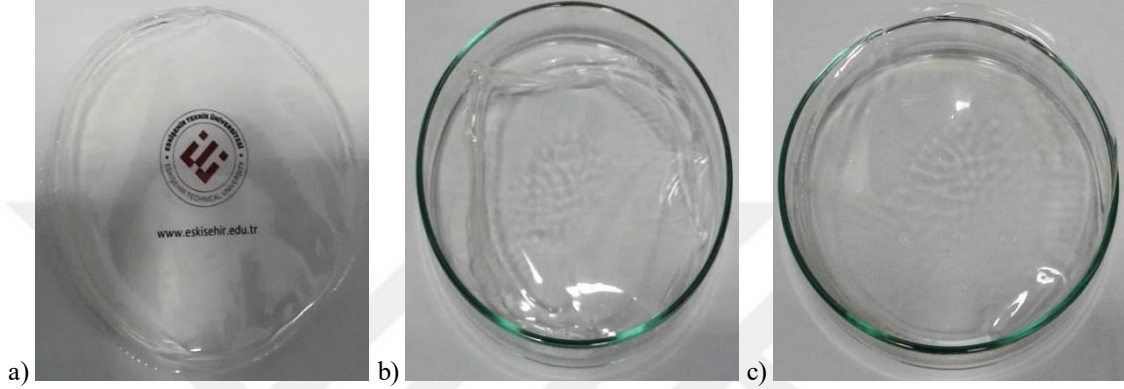


Görsel 6.2. Hazırlanan saf PVA film ve farklı oranlarda PEG katkısı içeren PVA/PEG kompozit filmlerin görüntüleri: Saf PVA Filmi (a), PVA%5PEG (b), PVA%10PEG (c), PVA%15PEG (d), PVA%20PEG (e), PVA%30PEG (f) ve PVA%40PEG (g)

Farklı oranlarda gliserin katkısı içeren PVA/Gliserin kompozit filmlerin kütlece yüzde bileşimleri ve görüntüleri sırasıyla Çizelge 6.3 ve Görsel 6.3'te verilmiştir.

Çizelge 6.3. Farklı oranlarda gliserin katkısı içeren PVA/Gliserin kompozit filmlerin kütlece yüzde bileşimleri

Film Örneği	PVA (%)	Gliserin (%)
PVA %10Gliserin	90	10
PVA %20Gliserin	80	20
PVA %30Gliserin	70	30

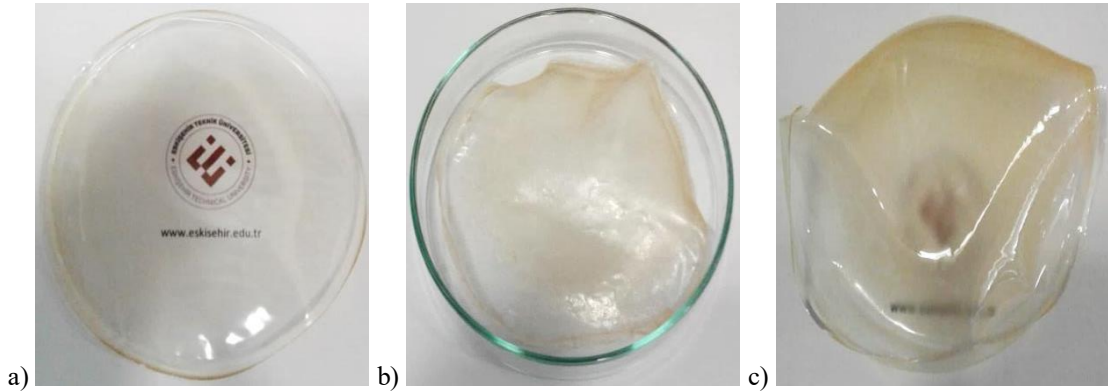


Görsel 6.3. Farklı oranlarda gliserin katkısı içeren PVA/Gliserin kompozit filmlerin görüntüleri: PVA%10Gliserin (a), PVA%20Gliserin (b) ve PVA%30Gliserin (c)

Farklı oranlarda akasya sakızı katkısı içeren PVA/Akasya sakızı kompozit filmlerin kütlece yüzde bileşimleri ve görüntüleri sırasıyla Çizelge 6.4 ve Görsel 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.4. Farklı oranlarda akasya sakızı katkısı içeren PVA/Akasya sakızı kompozit filmlerin kütlece yüzde bileşimleri

Film Örneği	PVA (%)	Akasya sakızı (%)
PVA%10Akasya sakızı	90	10
PVA%20Akasya sakızı	80	20
PVA%30Akasya sakızı	70	30



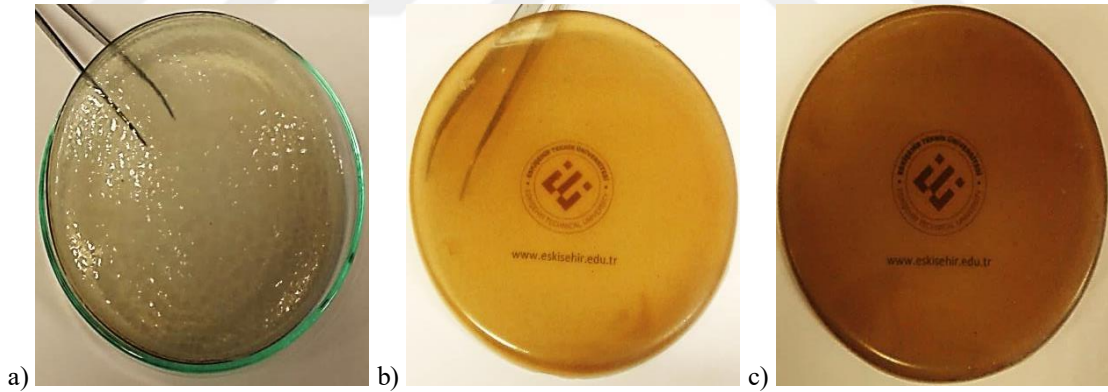
Görsel 6.4. Farklı oranlarda akasya sakızı katkısı içeren PVA/Akasya sakızı kompozit filmlerin görüntüleri: PVA%10Akasya sakızı (a), PVA%20Akasya sakızı (b) ve PVA%30Akasya sakızı (c)

6.4. CuO Nanoparçacık Katkılı PVA/PEG Nanokompozit Filmlerin Hazırlanması

CuO nanoparçacık katkılı PVA/PEG nanokompozit filmlerin hazırlanması sürecinde, öncelikle CuO nanoparçacıkları deiyonize su içerisine eklenmiş ve homojen dağılımlarını sağlamak amacıyla 1 saat ultrasonik homojenizatörde karıştırılmıştır. Elde edilen homojen nanoparçacık süspansiyonu, %80 PVA ve %20 PEG içeren polimer kompozit çözeltiye sürekli karıştırma altında damla damla eklenmiştir. Daha sonra hazırlanan karışımlar petri kaplarına dökülmüş ve 50°C'de çözücü uzaklaştırılmıştır. Farklı oranlarda CuO nanoparçacık katkısı içeren PVA/PEG nanokompozit filmlerin kütlece yüzde bileşimi Çizelge 6.5'te ve görüntüleri Görsel 6.5'te verilmiştir. Ayrıca, nanokompozit filmlerin kimyasal yapı, termal, mekanik ve elektrik özellikleri analizlerinde kontrol grubu olarak kullanılmak üzere %1 CuO nanoparçacık katkısı içeren PVA nanokompozit film (PVA%1CuO) üretilmiştir.

Çizelge 6.5. Farklı oranlarda CuO nanoparçacık katkısı içeren PVA/PEG nanokompozit filmlerin kütlece yüzde bileşimi

Film Örneği	PVA+PEG(%)	CuO (%)
PVA %20PEG %1CuO	99	1
PVA %20PEG %3CuO	97	3
PVA %20PEG %5CuO	95	5



Görsel 6.5. Farklı oranlarda CuO nanoparçacık katkısı içeren PVA%20PEG nanokompozit filmlerin görüntüleri: PVA%20PEG%1CuO (a), PVA%20PEG%3CuO (b) ve PVA%20PEG%5CuO (c)

6.5. Hazırlanan Kompozit Filmlerin Karakterizasyonu

6.5.1. FTIR spektroskopisi

FTIR spektrumları, Eskişehir Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü Polimerik ve Karbonlu Malzemeler Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan, Perkin Elmer Frontier spektrometre cihazında kaydedilmiştir. Bitki ekstraktının FTIR spektrumu, KBr pencereler arasında örnek sıkıştırılarak alınmıştır. Bitki ekstraktının ve sentezlenen CuO nanoparçacıklarının FTIR spektrumları, transmisyon yöntemiyle 4000-400 cm^{-1} dalga

sayısı aralığında kaydedilmiştir. Çalışma kapsamında hazırlanan filmlerin FTIR spektrumları ise 50°C'de 24 saat kurutulduktan sonra azaltılmış toplam yansıma (ATR-attenuated total reflectance) tekniği ile 4000-400 cm⁻¹ dalga sayısı aralığında kaydedilmiştir.

6.5.2. Ekstraktların UV-görünür bölge spektroskopisi

CuO nano parçacıklarının çöktürme sürecinde farklı zaman aralıklarında farklı renklerde dağılım rengi (yeşil, sarı, turuncu, kırmızı-kahverengi, kahverengi ve koyu kahverengi) sergileyen bitki ekstraktı örnekleri kuvars küvetlerin içerisine alınmıştır. Alınan bitki ekstraktı örneklerinin absorpsiyon spektrumları, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Aletli Analiz Laboratuvarı'nda bulunan, Shimadzu UV-2600 spektrofotometre cihazında, 1 nm çözünürlükte ve 150-750 nm dalga boyu aralığında kaydedilmiştir.

6.5.3. XRD analizi

Sentezlenen CuO nanoparçacıklarının kristal yapısı, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, X-Işıkları Laboratuvarı'nda bulunan Rigaku Miniflex 600 X-ışını difraktometre cihazında 40 kV'ta analiz edilmiştir. XRD difraktogramları 2°C/dk tarama hızıyla 10-90° arasında kaydedilmiştir.

6.5.4. TGA

Film örneklerinin termal bozunma davranışları, Eskişehir Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü Aletli Analiz Laboratuvarı'nda bulunan, Perkin Elmer STA6000 TGA cihazı ile 10°C/dk ısıtma hızında, 30-600°C sıcaklık aralığında ve azot gazı akışı (50 mL/dk) altında analiz edilmiştir.

6.5.5. Çekme testi

Çalışma kapsamında hazırlanan film örneklerinin çekme testleri, Eskişehir Teknik Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü Polimer Kompozit Süreçler Laboratuvarı'nda bulunan Instron 5944 evrensel test makinasında, ASTM D882 standartına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Çekme testleri her film örneği için en az üç kez tekrarlanmıştır. Çekme dayanımı, kopma uzaması ve elastik modül değerleri testlerden elde edilen sonuçların ortalaması alınarak kaydedilmiştir. Ortalama film kalınlıkları, dijital kumpas ile her film örneği için farklı bölgelerden en az 5 ölçüm alınarak belirlenmiştir.

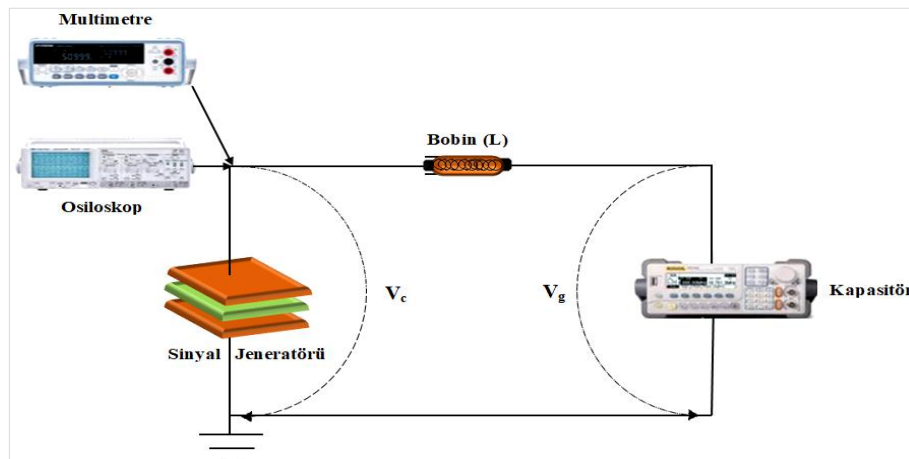
6.5.6. Dielektrik sabiti ölçümleri

Hazırlanan filmlerin dielektrik sabiti ölçümleri, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ölçme-Dijital Elektrik Devreleri-Elektronik Laboratuvarı'nda bulunan Jeneratör (Tektronix CFG250, 2 MHz), Multimetre (HP Agilent 33120A 15 MHz Function/Arbitrary Waveform Generator), Osiloskop (Tektronix 2205, 20 MHz), direnç, bobin ve kapasitörden hazırlanan bobin-kapasitör rezonans devresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dielektrik sabiti ölçümleri için hazırlanan bobin-kapasitör rezonans devresinin şematik gösterimi Görsel 6.6'da verilmiştir. Hazırlanan film örnekleri 2x2 cm bakır plakalar arasına yerleştirilip kapasitörler hazırlanmıştır. Sinyal jeneratörünün frekansı değiştirilerek, kapasitör ucundaki sinyalin genliğinin maksimum olduğu rezonans frekansı (f_o) değerine ayarlanmıştır. Rezonans anında bobinin endüktif reaktansı ve kapasitif reaktans eşit olduğundan Eşlik 6.1'den kapasitans değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen kapasitans değerleri Eşlik 6.2'de kullanılarak dielektrik sabitleri hesaplanmıştır.

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (6.1)$$

$$C = \epsilon_r \epsilon_o \frac{A}{d} \quad (6.2)$$

Eşliklerde f_o ; rezonans frekansını (Hz), L; bobin endüktansını (H), C; kapasitansı (F), A; kapasitör yüzey alanını (m^2), d; film kalınlığını (mm), ϵ_o ; boşluğun elektrik geçirgenliğini (F/m) ve ϵ_r ; dielektrik sabitini ifade etmektedir.



Görsel 6.6. Dielektrik sabiti ölçümleri için hazırlanan bobin-kapasitör rezonans devresinin şematik gösterimi

6.5.7. Taramalı elektron mikroskopisi (SEM)

Sentezlenen nanoparçacıkların ve hazırlanan filmlerin yüzey morfolojisi analizinden önce her örnek AGAR Sputter Coater kaplama cihazında 60 saniye altın/paladyum ile kaplanmıştır. Kaplama işlemi tamamlanan örneklerin SEM mikrografikleri, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi bünyesindeki Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan Hitachi Regulus 8230 markalı taramalı elektron mikroskopunda, 5-10 kV arasında 2-200 kX büyütme ölçeklerinde alınmıştır.



7. DENEYSEL ÇALIŞMALARDAN ELDE EDİLEN SONUÇLAR

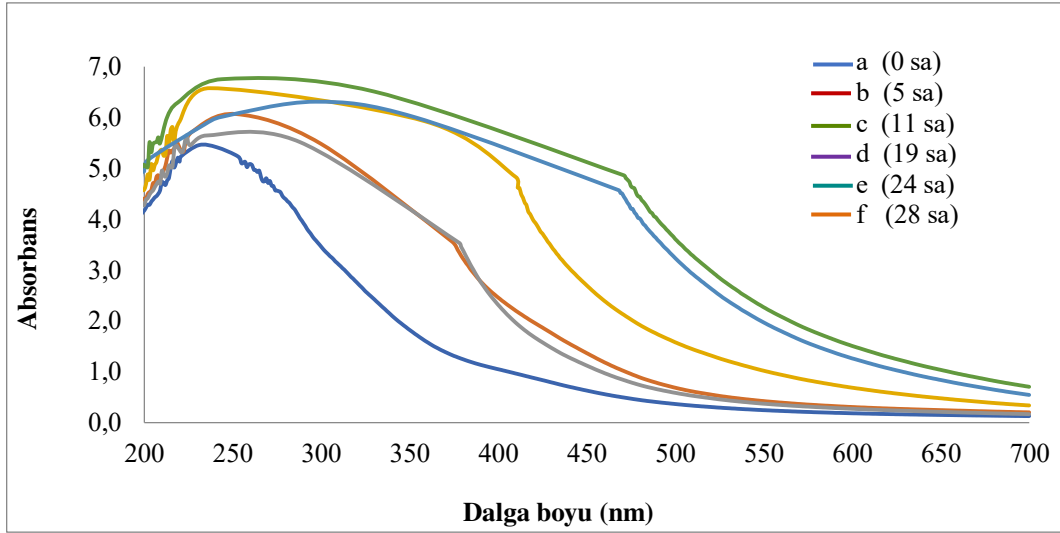
7.1. Sentezlenen Nanoparçacıkların UV-Görünür Bölge Spektroskopisi (UV-VIS) ile Analizi

UV-görünür bölge spektrumlarının tepe noktası ve Çekli parçacık cinsi ve boyutuna duyarlı olduğundan, UV-görünür bölge spektroskopisi metalik nanoparçacıkların tayini için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Bu nedenle, çalışmada enginar sapı ekstraktı kullanılarak gerçekleştirilen yeşil sentez sonucunda elde edilen CuO nanoparçacıklarının tayini için UV-görünür bölge spektroskopisi kullanılmıştır. Enginar sapı ekstraktı, CuCl_2 çözeltisine eklendikçe çözelti renginin açık maviden yeşile değiştiği gözlenmiştir. Son olarak çözelti renginin koyu kahverengiye dönüşümüyle bakır nanoparçacıkların oluştuğu gözlenmiştir. Görsel 7.1(a-f)'de CuO nanoparçacıklarının çöktürme sürecinde farklı zaman aralıklarında farklı renklerde dağılım rengi gösteren çözeltiler görülmektedir.



Görsel 7.1. CuO nanoparçacıklarının sentez sürecinde farklı zaman aralıklarındaki çözelti örnekleri: 0sa (a), 5sa (b), 11sa (c), 19sa (d), 24sa (e) ve 28sa (f)

Şekil 7.1'de CuO nanoparçacıklarının sentez sürecinde farklı zaman aralıklarında alınan çözelti örneklerinin UV-Görünür bölge absorpsiyon spektrumları görülmektedir. Spektrumlar incelendiğinde, çözelti absorbansının sentez süresince arttığı görülmektedir. Bu durum, bakır iyonlarının sentez sürecinde sürekli azaldığını göstermektedir [156]. Çözelti absorbanslarının 213-471 nm aralığında olduğu görülmektedir. Bu sonuç, yeşil sentez sonucunda CuO nanoparçacık oluşumunu doğrulamaktadır [143].

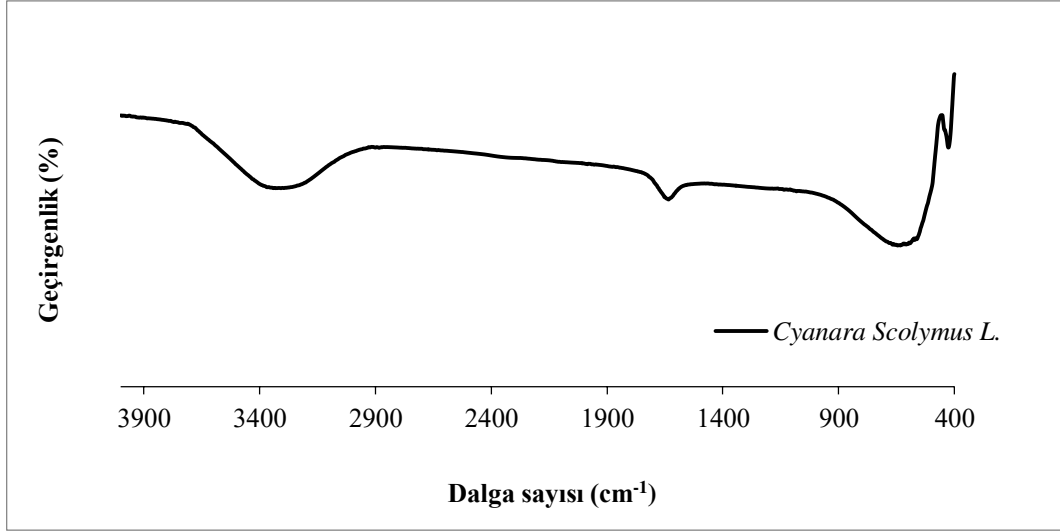


Şekil 7.1. *CuO nanoparçacıklarının sentez sürecinde farklı zaman aralıklarında alınan çözelti örneklerinin UV-Görünür bölge absorpsiyon spektrumları: 0sa (a), 5sa (b), 11sa (c), 19sa (d), 24sa (e) ve 28sa (f)*

7.2. Sentezlenen Nanoparçacıkların FTIR Spektrumu

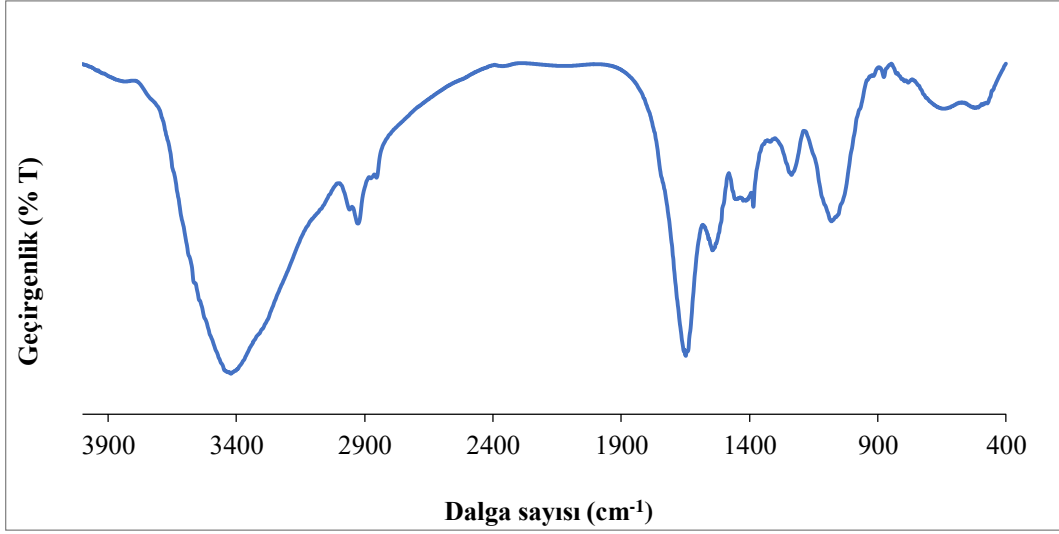
FTIR spektroskopisi bakır katyonlarının enginar ekstraktı ile biyo-indirgenmesi ile elde edilen metal nanoparçacıkların kimyasal yapısını ve nanoparçacık yapısında kalan biyofonksiyonel grupları belirlemek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu çalışmada sentezlenen nanoparçacıkların yapısında yer alan fonksiyonel grupları incelemek için FTIR spektroskopisi kullanılmıştır. Şekil 7.2’de enginar sapı ekstraktının, Şekil 7.3’te kalsinasyon öncesi CuO nanoparçacıklarının ve Şekil 7.4’te kalsinasyon sonrası CuO nanoparçacıklarının FTIR spektrumları verilmiştir.

Enginar sapı ekstraktının FTIR spektrumu (Şekil 7.2) incelendiğinde, 3452 cm^{-1} ’de O-H (hidroksil) gruplarına karşılık gelen geniş bir bant görülmektedir. 1676 cm^{-1} ’de C=O (karbonil) gruplarının varlığını gösteren pik yer almaktadır. 680 cm^{-1} ve 481 cm^{-1} ’de görülen bantlar düzlem dışı C-H gerilme titreşimlerine karşılık gelmektedir [157].



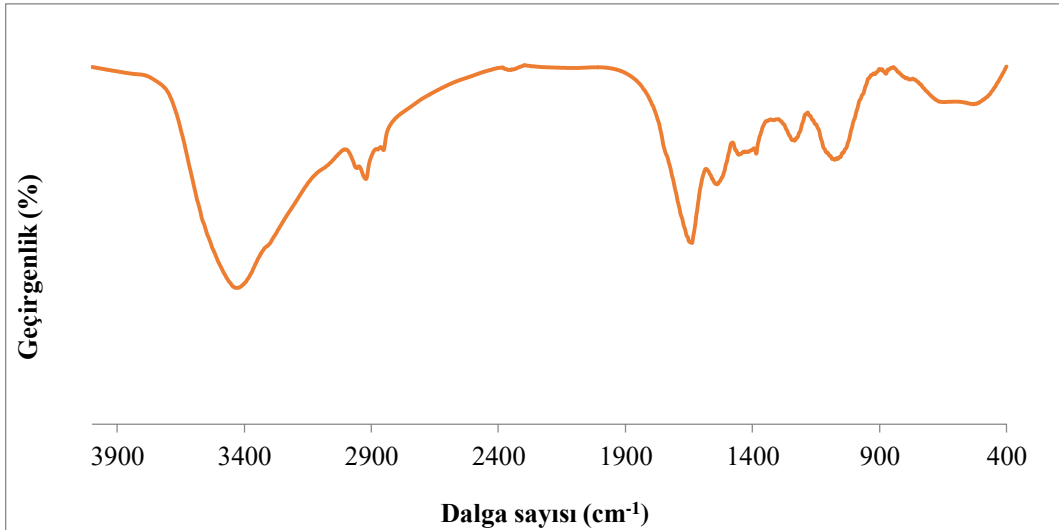
Şekil 7.2. Enginar sapı ekstraktının FTIR spektrumu

Kalsinasyon öncesi CuO nanoparçacıklarının FTIR spektrumu (Şekil 7.3), 3465 cm^{-1} 'de O-H gerilme titreşimlerine işaret eden geniş bir absorpsiyon bandı göstermektedir. Bu sinyal, CuO nanoparçacıkların yüzeyinde kalan polifenollerin yapısında yer alan hidroksil gruplarına işaret etmektedir. 2938 cm^{-1} 'de görülen bant, fenol grubunun aromatik C-H gerilme titreşimini temsil etmektedir. 1664 cm^{-1} ve 1611 cm^{-1} 'de görülen bantlar karakteristik amid-I ve amid-II bantlarıdır. Amid I ve amid II bantları, proteinlerin IR spektrumundaki ana bantlardır. Dolayısıyla proteinlerin biyoindirgenmiş CuO nanoparçacıkların yapısında kaldığı anlaşılmaktadır. 2904 cm^{-1} 'de tespit edilen bant, amino asit yapısında yer alan aromatik C-H gerilme titreşimlerine karşılık gelmektedir. 708 cm^{-1} 'de görülen bant aromatik grupların varlığını göstermektedir. 1541 cm^{-1} ve 1453 cm^{-1} 'de görülen pikler sırasıyla C=C ve aldehit yapısında yer alan C-H gruplarına karşılık gelmektedir. 1082 cm^{-1} 'de gözlemlenen bant, eter fonksiyonel grubunun karakteristik C-O gerilme titreşiminden kaynaklanmaktadır [158,159].



Şekil 7.3. Kalsinasyon öncesi CuO nanoparçacıklarının FTIR spektrumu

Şekil 7.4 incelendiğinde kalsinasyon işlemi sonrasında nanoparçacık bünyesinde biyokütleden kalan aromatik yapılara işaret eden sinyallerin dalga sayılarında kaymalar olduğu ve şiddetlerinin azaldığı görülmektedir. Sonuç olarak sentezlenen nanoparçacıkların FTIR spektrumunda, enginar sapı ekstraktı içerisinde yer alan ve indirgeme ile stabilizasyon işlemlerinden sorumlu olan flavonoidlerin, terpenoidlerin ve polifenollerin varlığına işaret eden sinyaller görülmektedir. Bu sonuç, enginar ekstraktı ile CuO nanoparçacık yeşil sentezi sonucunda elde edilen nanoparçacıkların yüzeyine bağlı bitkisel kaynaklı biyomoleküllerin bulunduğunu göstermektedir [158].

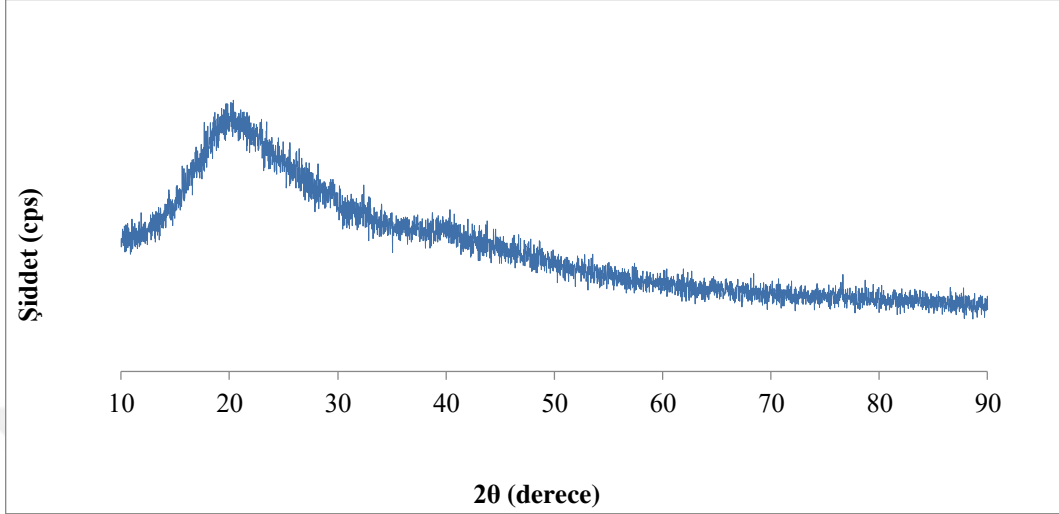


Şekil 7.4. Kalsinasyon sonrası CuO nanoparçacıklarının FTIR spektrumu

7.3. Sentezlenen Nanoparçacıkların XRD Analizi

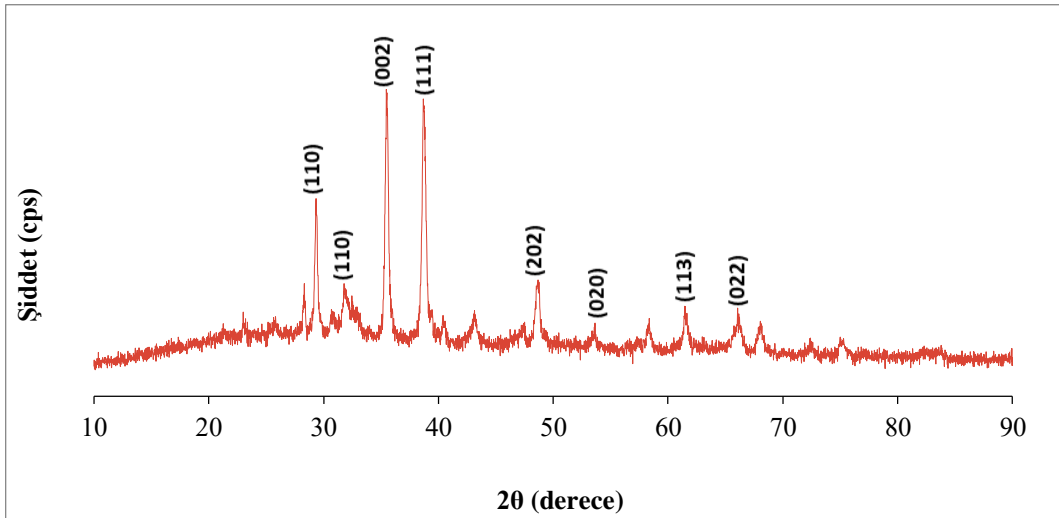
Sentezlenen CuO nanoparçacıklarının kristal yapıları ve fazları XRD yöntemi ile analiz edilmiştir. Şekil 7.5'te kalsinasyon öncesi CuO nanoparçacıklarının XRD

difraktogramı görülmektedir. Difraktogram incelendiğinde, kalsinasyon işlemi öncesinde CuO nanoparçacıklarının herhangi bir kristal yansıma sergilemediği görülmektedir.



Şekil 7.5. Kalsinasyon öncesi CuO nanoparçacıklarının XRD difraktogramı

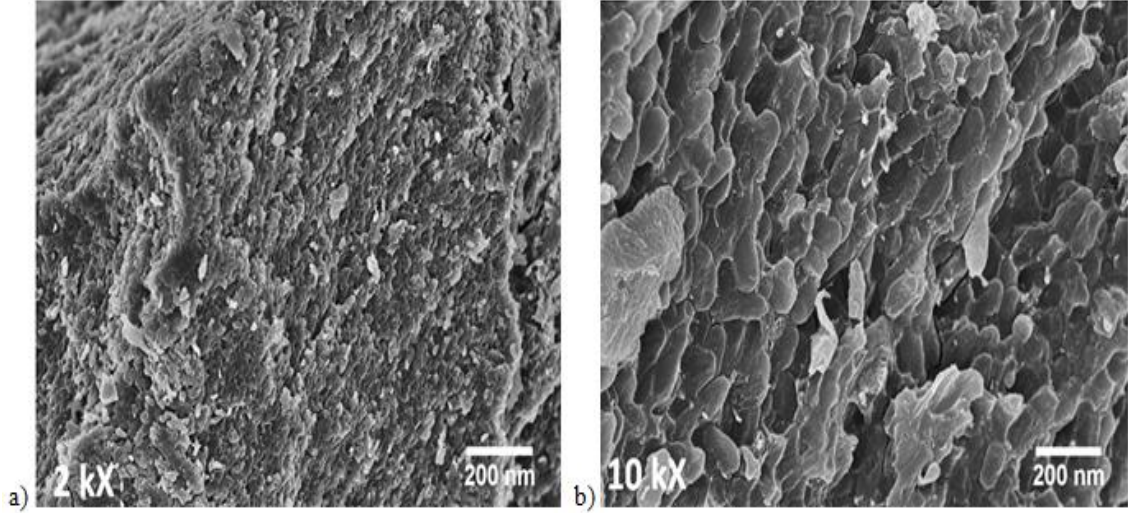
Kalsinasyon sonrası CuO nanoparçacıklarının XRD difraktogramı (Şekil 7.6) incelendiğinde ise, nanoparçacıkların güçlü kristal yansımalar sergilediği görülmektedir. CuO nanoparçacıklarının (110), (002), (111), (202), (020), (113) ve (022) *hkl* yansımalarına karşılık gelen karakteristik difraksiyon pikleri sırasıyla $2\theta=29,3^\circ$, $31,58^\circ$, $35,46^\circ$, $38,68^\circ$, $48,4^\circ$, $52,16^\circ$, $61,13^\circ$ ve $64,78^\circ$ değerlerinde görülmektedir. Bu sonuç literatürde yer alan monoklinik CuO XRD difraktogramları ile uyum göstermektedir [159]. Sonuç olarak, XRD difraktogramında görülen kristal yansımalar ve FTIR spektrumlarında CuO titreşim modlarını gösteren pikler sentezlenen nanoparçacıkların CuO olduğunu doğrulamaktadır.



Şekil 7.6. Kalsinasyon sonrası CuO nanoparçacıklarının XRD difraktogramı

7.4. Sentezlenen Nanoparçacıkların Morfolojik Analizi

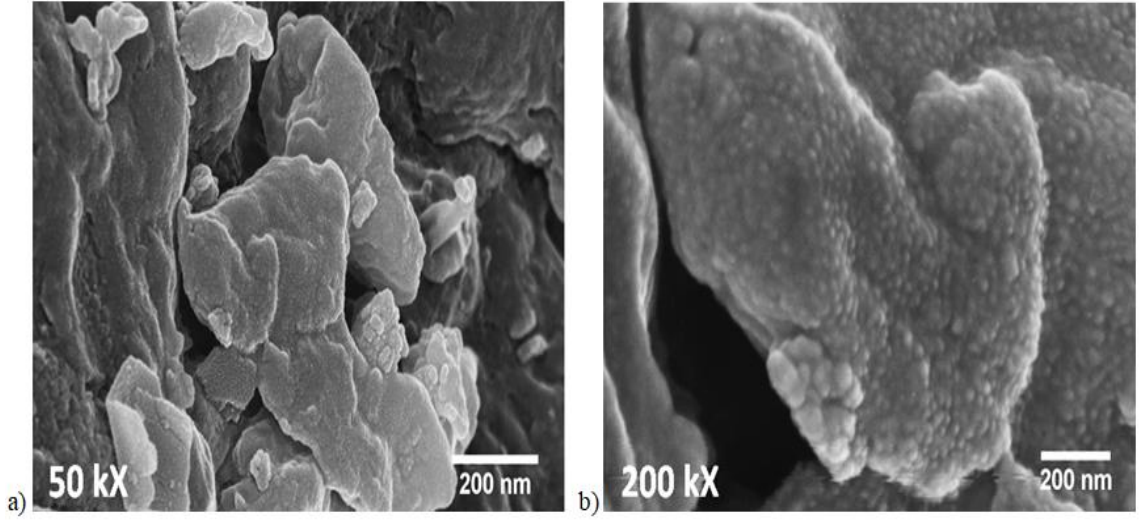
Şekil 7.7(a,b)'de kalsinasyon öncesi CuO nanoparçacıklarının 2kX ve 10kX büyütmelerdeki SEM mikrografikleri verilmiştir. SEM mikrografikleri incelendiğinde, yüksek aglomerasyon eğilimine sahip nanoparçacıkların birleşerek çubuk benzeri pürüzlü yapılar oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 7.7. Kalsinasyon öncesi CuO nanoparçacıklarının 2kX (a) ve 10kX (b) büyütmelerdeki SEM mikrografikleri

Şekil 7.8(a,b)'de kalsinasyon sonrası CuO nanoparçacıklarının 50kX ve 200kX büyütmelerdeki SEM mikrografikleri verilmiştir. Kalsinasyon öncesi ve sonrası CuO nanoparçacıklarının SEM mikrografikleri karşılaştırıldığında, kalsinasyon öncesinde mikrografiklerin topaklanmış çubuk şeklinde bir morfoloji sergilediği, kalsinasyon sonrasında ise küresel nanoparçacıkların (<25 nm) oluştuğu görülmektedir.

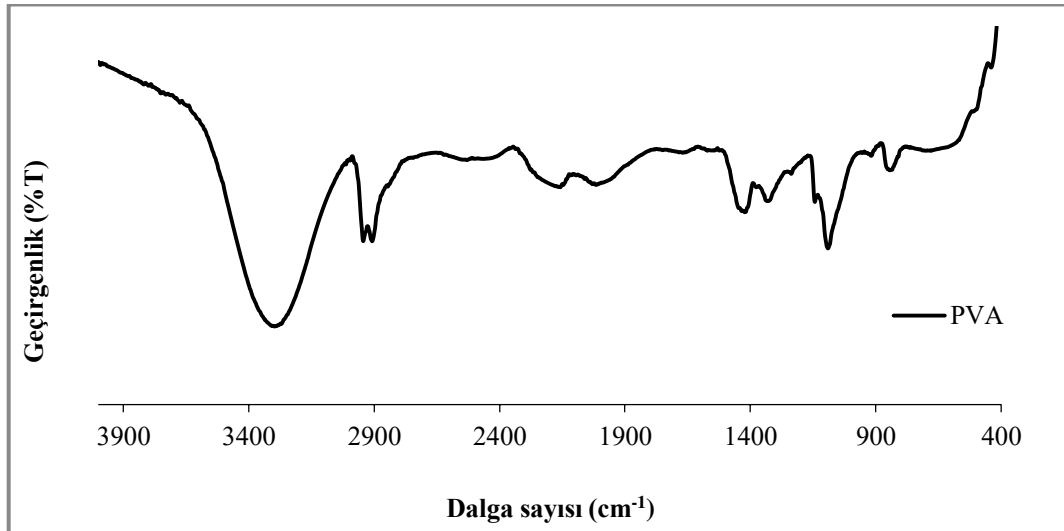
Kalsinasyon öncesi SEM mikrografiklerinde boyut veya şeklinin belirlenmesi mümkün olmayan parçacık kümeleri (100-200 nm) görülmekte ve nanoparçacık morfolojisi net bir şekilde ayırt edilememektedir. Kalsinasyon sonrasında ise küresel yapıdaki nanoparçacıkların boyutlarının 7-25 nm arasında değiştiği belirlenmiştir. Oluşan bu küresel nanoparçacık morfolojisinin literatür ile uyumlu olduğu görülmüştür [160-162].



Şekil 7.8. Kalsinasyon sonrası CuO nanoparçacıklarının 50kX (a) ve 200kX (b) büyütmelerdeki SEM mikrografikleri

7.5. Hazırlanan Filmlerin FTIR Spektrumu

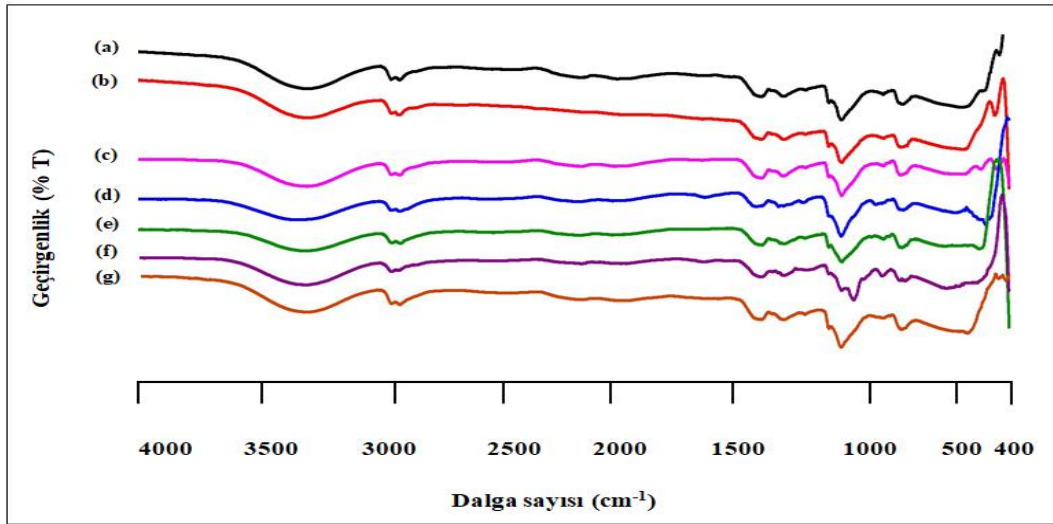
Kompozit filmlerin yapısındaki fonksiyonel grupların tayini ve PVA matrisine eklenen polietilen glikol, akasya sakızı (gum arabic) polimerleri ve CuO nanoparçacıkları arasında oluşan etkileşimleri incelemek amacıyla FTIR spektroskopisi kullanılmıştır. Şekil 7.9’da saf PVA filmin FTIR spektrumu verilmiştir. PVA’nın FTIR spektrumunda 3290 cm^{-1} ’de görülen geniş bant hidroksil (O-H) gruplarının gerilme titreşimlerine karşılık gelmektedir [163,164]. 2014 cm^{-1} ve 1617 cm^{-1} ’de sırasıyla asetil ve karbonil gruplarının gerilme titreşimlerine karşılık gelen pikler görülmektedir [164-166].



Şekil 7.9. Saf PVA filmin FTIR spektrumu

PVA/PEG kompozit filmlerin yapısındaki moleküller arası etkileşimleri incelemek amacıyla FTIR spektroskopisi kullanılmıştır. Şekil 7.10(a-g)’de Saf PVA

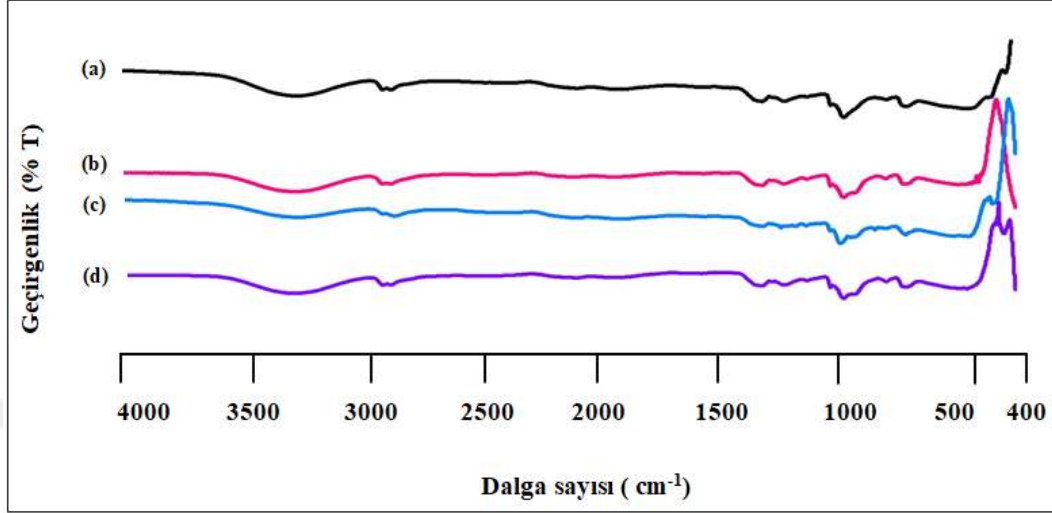
filmin ve farklı oranlarda PEG katkısı içeren PVA/PEG kompozit filmlerin FTIR spektrumları verilmiştir. Saf PVA filminin FTIR spektrumunda 3290 cm^{-1} 'de sinyal veren OH gerilme titreşim bandı frekansının artan PEG katkısıyla kaydığı ve %40 PEG katkısıyla 3361 cm^{-1} 'e ulaştığı görülmektedir. Saf PVA filminin FTIR spektrumunda (Şekil 7.10) 1085 cm^{-1} 'de bulunan ve PVA'nın karboksil grubuna karşılık gelen bandın, PEG katkısındaki artışla birlikte 1103 cm^{-1} 'e kaydığı ve şiddetinin de arttığı, asetil grubunun karakteristik bandının ise 2014 cm^{-1} 'den 2158 cm^{-1} 'e kaydığı görülmektedir. PVA yapısındaki hidroksil gruplarının hem moleküller arası hem de molekül içi hidrojen bağı oluştuğu bilinmektedir. Saf PVA filme kıyasla PVA/PEG kompozit filmlerinde görülen bu yüksek seviyedeki frekans kayması, PVA zincirleri ile PEG molekülleri yapısında yer alan hidroksil grupları arasında oluşan yeni hidrojen bağı etkileşimleri ile açıklanabilir. Bu güçlü etkileşimler nedeniyle hidrojen bağı OH grubu sinyal şiddeti artışının, hidroksil ve asetil grubu frekanslarındaki kaymaların ortaya çıkmasında etkili olduğu düşünülmektedir [167,168].



Şekil 7.10. Saf PVA filmin (a) ve farklı oranlarda PEG katkısı içeren PVA/PEG kompozit filmlerin FTIR spektrumları; PVA%5PEG (b), PVA%10PEG (c), PVA%15PEG (d), PVA%20PEG (e), PVA%30PEG (f) ve PVA%40PEG (g)

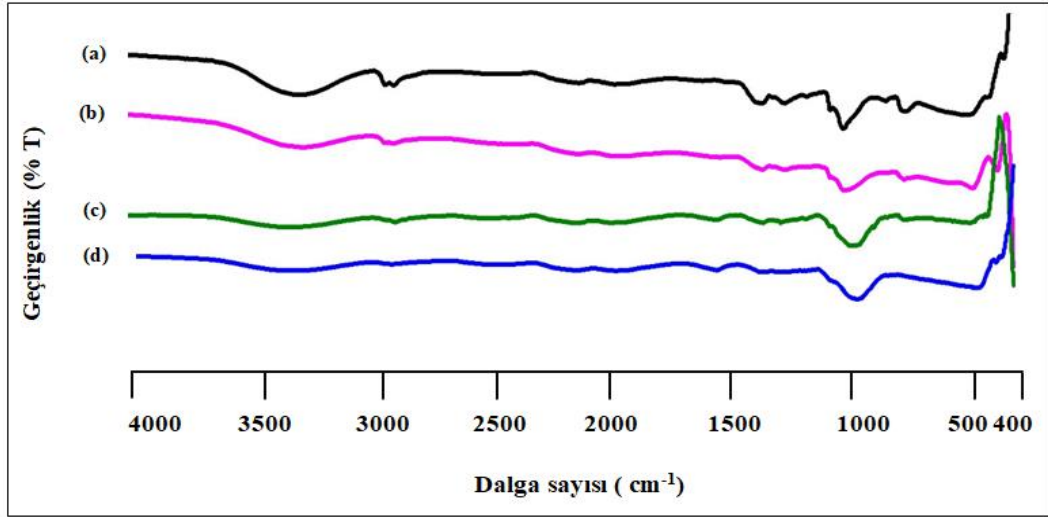
Şekil 7.11'de saf PVA filmin ve farklı oranlarda gliserin katkısı içeren PVA/Gliserin kompozit filmlerin FTIR spektrumları verilmiştir. Saf PVA filminin FTIR spektrumunda 3290 cm^{-1} 'de görülen hidroksil grubu gerilme titreşimlerinin, gliserin katkısıyla 3394 cm^{-1} 'e kaydığı görülmektedir. Hidrojen bağı OH gruplarının yoğunlaşımını gösteren bu sonucun PVA ile gliserin arasında oluşan yeni hidrojen bağlarından kaynaklandığı düşünülmektedir [169,170]. Saf PVA filminin FTIR spektrumunda 2902 cm^{-1} 'de bulunan ve C-H gerilme titreşimlerine karşılık gelen

bantların, gliserin katkısıyla 2907 cm^{-1} 'e kaydığı görülmektedir. Bu frekans kaymasının, gliserin varlığında artan alkil grupları dolayısıyla yoğunlaşan alifatik C–H gerilme titreşimlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir [171].



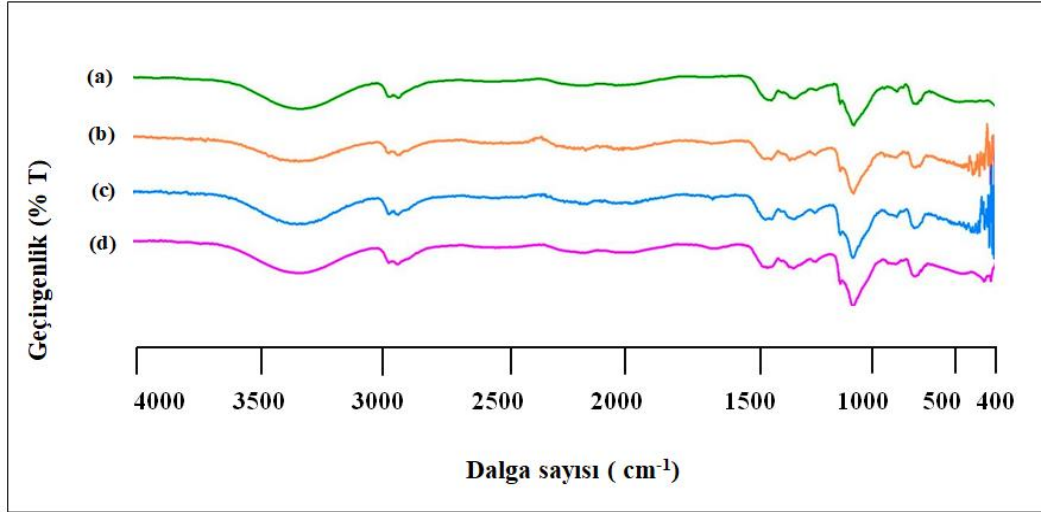
Şekil 7.11. Saf PVA filmin (a) ve farklı oranlarda gliserin katkısı içeren PVA/Gliserin kompozit filmlerin FTIR spektrumları; PVA%10Gliserin (b), PVA%20Gliserin (c) ve PVA%30Gliserin (d)

Şekil 7.12(a-d)'de saf PVA filminin ve farklı oranlarda akasya sakızı katkısı içeren PVA/Akasya sakızı kompozit filmlerin FTIR spektrumları verilmiştir. PVA/Akasya sakızı kompozit filmlerin FTIR spektrumları, saf PVA filminin FTIR spektrumu ile karşılaştırıldığında, fonksiyonel grup frekanslarında kaymalar görülmektedir. En yüksek frekans kayması akasya sakızı katkısı sonucunda 3290 cm^{-1} 'den 3423 cm^{-1} 'e kayan OH gerilme bandında görülmüştür. Bu sonuç, akasya sakızı katkısı ile kompozit yapıda serbest hidroksil gruplarının azalırken hidrojen bağlı OH gruplarının arttığını göstermekte ve PVA ile akasya sakızı arasında oluşan yeni hidrojen bağlarını işaret etmektedir [172,173].



Şekil 7.12. Saf PVA filmin (a) ve farklı oranlarda Akasya sakızı (gum arabic) katkısı içeren PVA/Akasya sakızı kompozit filmlerin FTIR spektrumları; PVA%10Akasya sakızı (b), PVA%20Akasya sakızı (c) ve PVA%30Akasya sakızı (d)

Şekil 7.13'te PVA%1CuO nanokompozit film ve farklı oranlarda CuO nanoparçacık katkısı içeren PVA%20PEG nanokompozit filmlerin FTIR spektrumları verilmiştir. PVA%1CuO nanokompozit filmin FTIR spektrumunda 3305 cm^{-1} 'de görülen geniş hidroksil bandının, CuO nanoparçacık katkılı PVA%20PEG nanokompozit filmlerin spektrumlarında 3294 cm^{-1} 'e kaydığı görülmektedir. PVA/PEG kompozit filmlerin FTIR spektrumlarında 2158 cm^{-1} 'de bulunan asetil grubunun karakteristik bandının CuO nanoparçacık katkısı ile 2167 cm^{-1} 'e kaydığı görülmektedir. PVA/PEG kompozit filmlerin FTIR spektrumlarında bulunmayan ve CuO nanoparçacık katkısı sonucunda spektruma yansıyan 569 cm^{-1} ve 847 cm^{-1} 'deki pikler, Cu-O bağ titreşim frekanslarının varlığını göstermektedir. PVA/PEG kompozit filmlerin FTIR spektrumlarında 1103 cm^{-1} 'de görülen karboksil grubuna ait pikin CuO nanoparçacık katkısı sonucunda 1090 cm^{-1} 'e kaydığı belirlenmiştir [174-177]. CuO nanoparçacık katkısı sonucunda hidroksil, asetil ve karboksil gruplarında görülen frekans kaymalarının, CuO nanoparçacıklar ile bu fonksiyonel gruplar arasında oluşan elektrostatik etkileşimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.



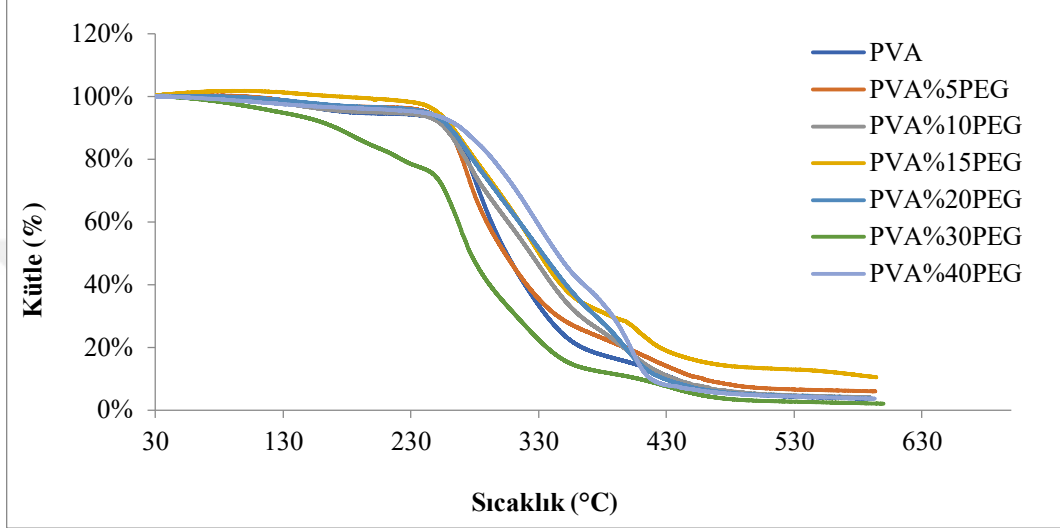
Şekil 7.13. PVA%1CuO nanokompozit film (a) ve farklı oranlarda CuO nanoparçacık katkısı içeren PVA%20PEG nanokompozit filmlerin FTIR spektrumları; PVA%20PEG%1CuO (b), PVA%20PEG%3CuO (c) ve PVA%20PEG%5CuO (d)

7.6. Hazırlanan Filmlerin Termogravimetrik Analizleri

Saf PVA film ve PVA/PEG kompozit filmlerin TGA termogramları Şekil 7.14'te, termal bozunma verileri Çizelge 7.1'de verilmiştir. TGA termogramları incelendiğinde saf PVA filmin ve PVA/PEG kompozit filmlerin benzer termal bozunma davranış sergilediği görülmektedir. PVA/PEG kompozit filmlerin termal bozunma sürecindeki benzerlik FTIR spektrumlarında görülen yeni bağ etkileşimlerinden kaynaklanmakta ve polimerler arasındaki uyumu göstermektedir. Fiziksel olarak adsorbe edilen su moleküllerinin ayrılmasına bağlı ilk kütle kaybından sonra, PVA'nın ana zincirinin bozunması 248°C-353°C aralığında gerçekleşmektedir [95,178]. 353°C-430°C civarında gerçekleşen ikinci termal bozunma aşamasında ise, polimer matrisin karbonatlaşması gerçekleşmektedir. PEG, PVA'dan daha yüksek termal kararlılığa sahiptir ve termal ayrışması 330°C'nin üzerinde başlamaktadır. PEG'in termal bozunmasından kaynaklanan ürünlerin aldehitleri, ketonları ve eterleri içerdiği bilinmektedir. PVA'dan elde edilen termal bozunma ürünleri 240°C'ye kadar su, aldehitler ve ketonlar; 240°C'nin üzerinde alkanlar, alkenler ve aromatik veya doymamış hidrokarbonlardır. Son aşamada polimer iskeletinde C-C bağlarının bozunması (karbonatlaşma) nedeniyle polimer ana zincir yapısı ayrılmaktadır [95,178-184]. Saf PVA film ile PVA/PEG kompozit filmlerinin termogramları karşılaştırıldığında 600°C'deki kalıntı içeriğinin saf PVA film için %3,66 iken %15 PEG katkısı sonucunda %10,85'e yükseldiği, daha fazla katkı içeriği ile düğümü belirlenmiştir.

Çizelge 7.1. PVA filmi ve PVA/PEG kompozit filmlerinin termal bozunma verileri

Film Örneği	T _{onset} (°C)	Kalıntı İçeriği (%)
PVA	248,57	3,66
PVA %5PEG	250,89	6,06
PVA %10PEG	248,41	4,16
PVA %15PEG	249,88	10,85
PVA %20PEG	248,91	3,82
PVA %30PEG	248,78	2,15
PVA %40PEG	250,05	3,80

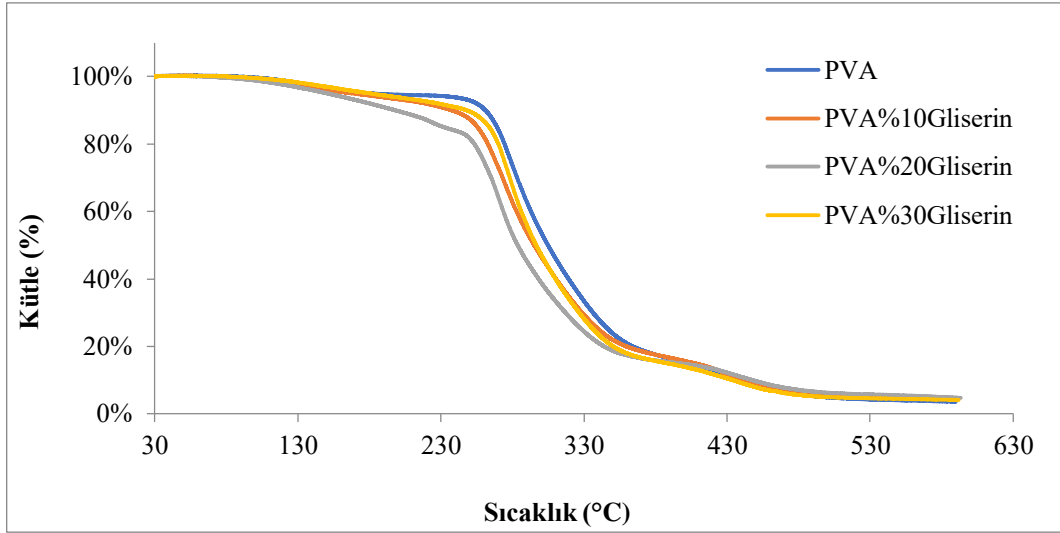


Şekil 7.14. Saf PVA film ve PVA/PEG kompozit filmlerin TGA termogramları

Saf PVA film ve PVA/Gliserin kompozit filmlerin termal bozunma verileri ve TGA termogramları sırasıyla Çizelge 7.2 ve şekil 7.15'te verilmektedir. 250°C'nin altında, hidroksil yan grubunun bozunması ile ayrılan ana bozunma ürünü adsorbe edilen sudur [98,182]. şekil 7.15 incelendiğinde saf PVA film ve PVA/Gliserin kompozit filmlerin TGA termogramlarının benzer şekilde iki aşamalı termal bozunma profili sergiledikleri görülmektedir. Saf PVA filmin termal bozunma sürecine PVA/Gliserin kompozit filmlerin sıcaklığından daha düşük sıcaklıkta başladığı gözlemlenmektedir. Ayrıca, saf PVA filmin 600°C'deki kalıntı içeriği %3,66 iken %20 gliserin katkısı ile %4,93'e yükseldiği belirlenmiştir. Termal kararlılıktaki bu artış FTIR spektrumları ile belirlenen yeni oluşan hidrojen bağlarının bir sonucu olan gliserinin plastikleştirici etkisiyle doğrudan ilişkilidir [185].

Çizelge 7.2. Saf PVA film ve PVA/Gliserin kompozit filmlerinin termal bozunma verileri

Film Örneği	T _{onset} (°C)	Kalıntı İçeriği (%)
PVA	248,57	3,66
PVA %10Gliserin	249,87	4,53
PVA %20Gliserin	252,91	4,93
PVA %30Gliserin	249,68	4,21

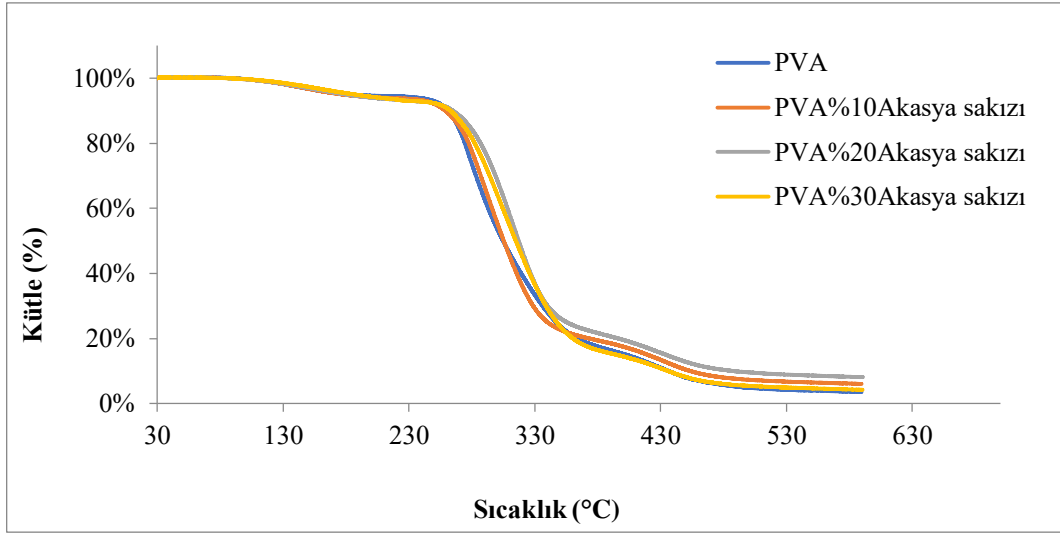


Şekil 7.15. Saf PVA film ve PVA/Gliserin kompozit filmlerin TGA termogramları

Saf PVA film ve PVA/Akasya sakızı kompozit filmlerin termal bozunma verileri Çizelge 7.3'te ve TGA termogramları Şekil 7.16'de verilmiştir. PVA/Akasya sakızı kompozit filmlerin TGA termogramları, saf PVA film ile kıyaslandığında, aralarında oluşan bağ etkileşimlerinin termal bozunma profillerine yansıdığı ve benzer bozunma profilleri sergiledikleri görülmektedir. Çizelge 7.3 incelendiğinde, PVA matrisine eklenen %20 akasya sakızı katkısı ile 600°C'deki kalıntı içeriğinin %3,66'dan %8,22'ye yükseldiği belirlenmiştir. Termal kararlılıkta görülen bu belirgin artışı, PVA ile akasya sakızı arasında oluşan güçlü hidrojen bağı etkileşimlerinin bir sonucu olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 7.3. Saf PVA film ve PVA/Akasya sakızı kompozit filmlerin termal bozunma verileri

Film Örneği	T _{onset} (°C)	Kalıntı İçeriği (%)
PVA	248,57	3,66
PVA%10Akasya sakızı	248,76	6,16
PVA%20Akasya sakızı	249,98	8,22
PVA%30Akasya sakızı	249,01	4,34

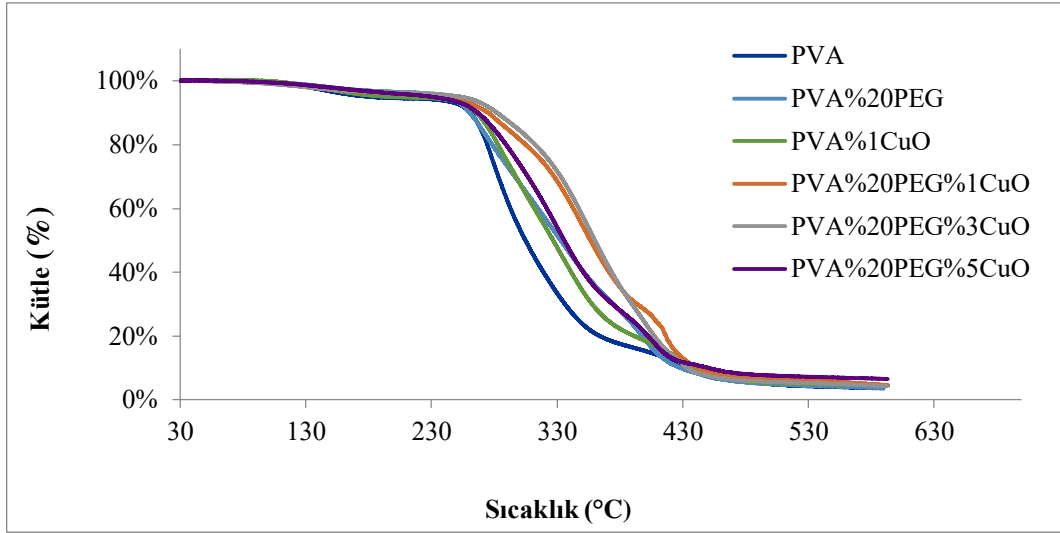


Şekil 7.16. Saf PVA film ve PVA/Akasya sakızı kompozit filmlerin TGA termogramları

Saf PVA film, PVA%20PEG kompozit film ve farklı oranlarda CuO nanoparçacık katkısı içeren PVA%20PEG nanokompozit filmlerin termal bozunma verileri Çizelge 7.4'te ve TGA termogramları şekil 7.17'de verilmektedir. Şekil 7.17 ve Çizelge 7.4 incelendiğinde PVA/PEG kompozit filmlerin yapısına %1, %3 ve %5 oranlarında CuO nanoparçacık eklenmesiyle hazırlanan nanokompozit filmlerin termal bozunma başlangıç sıcaklıklarının belirgin şekilde yükseldiği gözle çarpıcıdır. %5 CuO nanoparçacık katkısı ile hazırlanan PVA%20PEG%5CuO nanokompozit filmin termal bozunma başlangıç sıcaklığının saf PVA filme kıyasla 22,34°C ve PVA%20PEG kompozit filme kıyasla 20,02°C arttığı belirlenmiştir. Ayrıca 600°C'deki kalıntı yüzdesi saf PVA film ve PVA%20PEG için sırasıyla %3,66 ve %3,82 iken, PVA%20PEG%5CuO nanokompozit film için %6,63'e yükseldiği görülmektedir. Oldukça düşük oranda CuO nanoparçacık katkısı sonucunda termal kararlılıkta meydana gelen bu belirgin iyileşmenin, FTIR spektroskopisi ile belirlenen CuO nanoparçacıklar ile PVA/PEG kompozit film yapısındaki hidroksil, asetil ve karboksil grupları arasında oluşan elektrostatik etkileşimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 7.4. Saf PVA film, PVA%20PEG kompozit film ve farklı oranlarda CuO nanoparçacık katkısı içeren PVA%20PEG nanokompozit filmlerin termal bozunma verileri

Film Örneği	T _{onset} (°C)	Kalıntı İçeriği (%)
PVA	248,57	3,66
PVA % 20PEG	250,89	3,82
PVA % 1CuO	250,94	4,51
PVA % 20PEG % 1CuO	270,71	4,82
PVA % 20PEG % 3CuO	270,76	4,43
PVA % 20PEG % 5CuO	270,91	6,63



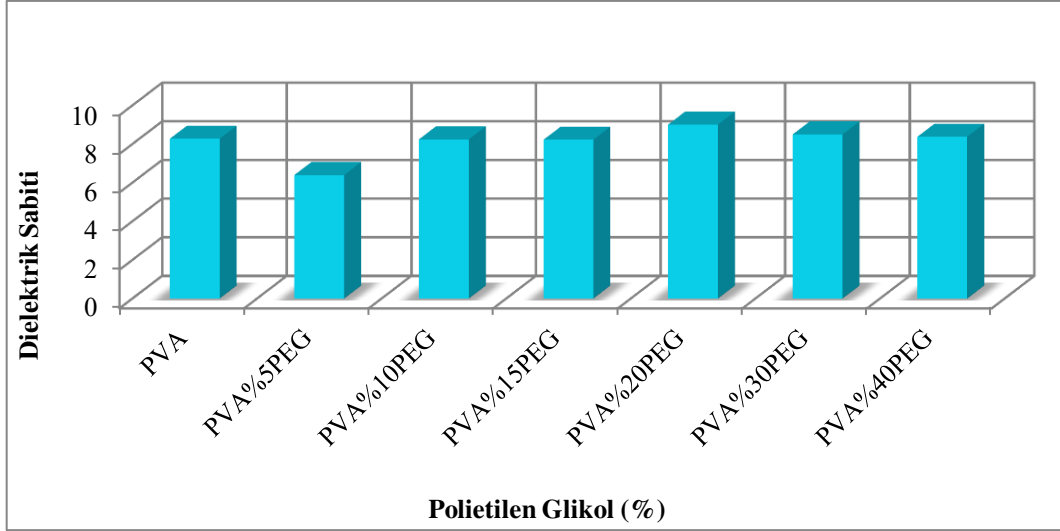
Şekil 7.17. Saf PVA film, PVA%20PEG kompozit film ve farklı oranlarda CuO nanoparçacık katkısı içeren PVA%20PEG nanokompozit filmlerin TGA termogramları

7.7. Kompozit ve Nanokompozit Filmlerin Dielektrik Sabiti

PVA/PEG kompozit filmlerin dielektrik özellikleri Çizelge 7.5'te ve dielektrik sabiti grafiği şekil 7.18'de verilmiştir. Artan PEG katkı oranının PVA/PEG kompozit filmlerin dielektrik kapasitesine etkisi, dielektrik sabiti ölçümü ile belirlenmiştir. Çizelge 7.5 incelendiğinde, kütlece %20 PEG katkı oranında dielektrik sabitin en yüksek değere ulaştığı görülmektedir. Saf PVA filminin dielektrik sabiti 8,27 iken PVA%20PEG kompozit filminin dielektrik sabiti 9,00 olarak ölçülmüştür. Bu noktadan sonra PEG katkı oranı arttırıldığında dielektrik sabitin düştüğü belirlenmiştir. Bu sonucun, farklı dielektrik sabitlerine sahip polimerlerden (PVA/PEG) oluşan kompozit yapılarda görülen ara yüzey polarizasyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir [186].

Çizelge 7.5. PVA/PEG kompozit filmlerin dielektrik özellikleri

Film Örneği	f_0 (Hz)	C (F)	D (mm)	ϵ_r
PVA	171524	$8,87 \cdot 10^{-11}$	0,33	8,27
PVA %5PEG	166319	$9,44 \cdot 10^{-11}$	0,24	6,39
PVA %10PEG	179438	$8,11 \cdot 10^{-11}$	0,36	8,24
PVA %15PEG	186984	$7,46 \cdot 10^{-11}$	0,39	8,22
PVA %20PEG	164345	$9,66 \cdot 10^{-11}$	0,33	9,00
PVA %30PEG	176734	$8,26 \cdot 10^{-11}$	0,36	8,49
PVA %40PEG	182895	$7,33 \cdot 10^{-11}$	0,38	8,37

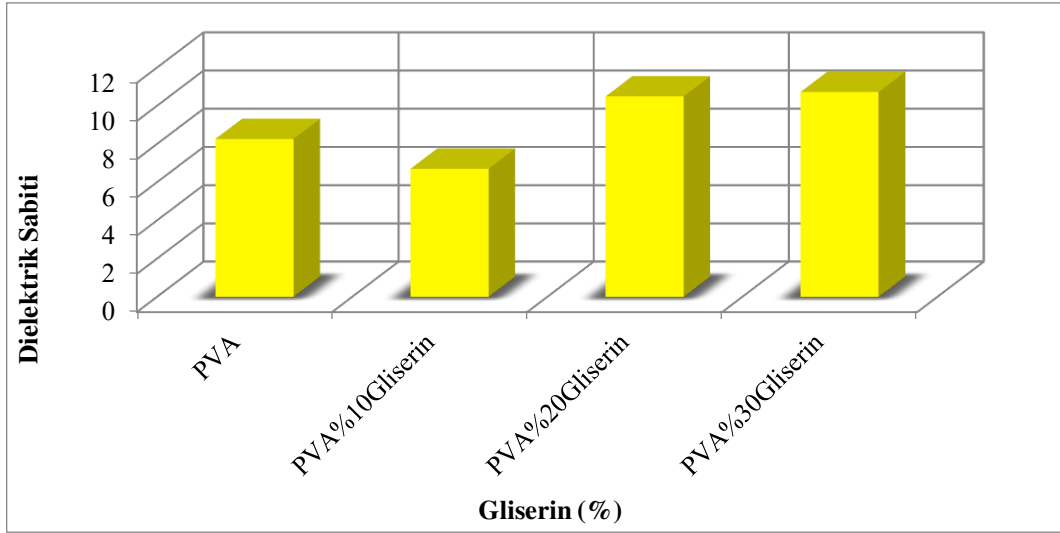


Şekil 7.18. PVA/PEG kompozit filmlerin dielektrik sabiti grafiği

PVA/Gliserin kompozit filmlerin dielektrik özellikleri Çizelge 7.6'da verilmiştir. Şekil 7.19'da ise PVA/Gliserin kompozit filmlerin dielektrik sabiti grafiği verilmiştir. Dielektrik sabiti, farklı polariteye sahip polimerler için farklılık göstermektedir. Gliserin polar organik bir trihidroksi alkoldür. Zayıf polar bağlı polimerlerin dielektrik sabiti, içerisinde polar molekül bulunduran polimerlere oranla daha düşüktür [187]. Çizelge 7.6 incelendiğinde, dielektrik sabiti değerinin saf PVA film için 8,27 iken, kütlece %10, %20 ve %30 oranlarında katkısı içeren PVA/Gliserin kompozit filmler için sırasıyla 6,71, 10,4 ve 10,7 olduğu görülmektedir. Kütlece %20 gliserin katkısından sonra dielektrik sabitinde görülen artış katkı oranının artması dolayısıyla kompozit yapının polaritesinin artmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 7.6. PVA/Gliserin kompozit filmlerin dielektrik özellikleri

Film Örneği	f_0 (Hz)	C(F)	D (mm)	ϵ_r
PVA	171524	$8,87 \cdot 10^{-11}$	0,33	8,27
PVA %10Gliserin	172214	$8,80 \cdot 10^{-11}$	0,37	6,71
PVA %20Gliserin	179753	$8,08 \cdot 10^{-11}$	0,46	10,4
PVA %30Gliserin	173891	$8,63 \cdot 10^{-11}$	0,44	10,7

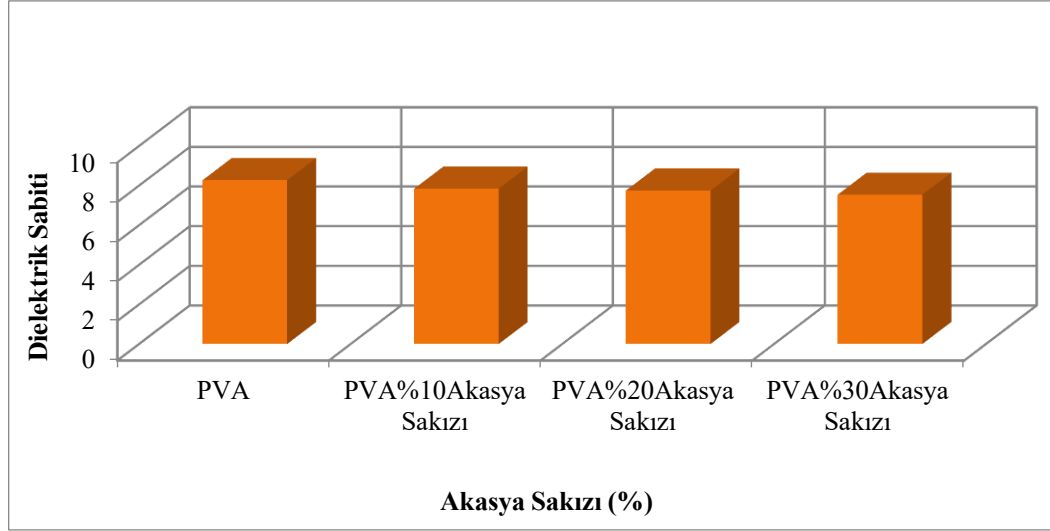


Şekil 7.19. PVA/Gliserin kompozit filmlerin dielektrik sabiti grafiği

PVA/Akasya sakızı kompozit filmlerin dielektrik özellikleri Çizelge 7.7’de verilmiştir. Şekil 7.20’de ise PVA/Akasya sakızı kompozit filmlerin dielektrik sabiti grafiği verilmiştir. Çizelge 7.7 incelendiğinde, saf PVA filminin dielektrik sabitinin 8,27, kütlece %10, %20 ve %30 akasya sakızı katkısı içeren PVA/Akasya sakızı kompozit filmlerin dielektrik sabitlerinin ise sırasıyla 7,83, 7,74 ve 7,53 olarak ölçülmüştür. Akasya sakızı katkı oranı arttıkça polimer karışımının kapasitans ve dielektrik sabiti değerlerinin azaldığı görülmektedir. Akasya sakızı, negatif yüklü grupları (karboksilat ve amin grupları), bünyesinde bulunduran zayıf bir polielektrolittir [188]. Dolayısıyla, akasya sakızı katkı oranı arttıkça, kompozit yapıda yük taşıyıcı iyon varlığının artması dolayısıyla dielektrik kaybın gerçekleştiği sonucuna varılmıştır.

Çizelge 7.7. PVA/Akasya sakızı kompozit filmlerin dielektrik özellikleri

Film Örneği	f_0 (Hz)	C (F)	D (mm)	ϵ_r
PVA	171524	$8,87 \cdot 10^{-11}$	0,33	8,27
PVA%10Akasya sakızı	173521	$8,67 \cdot 10^{-11}$	0,32	7,83
PVA%20Akasya sakızı	197623	$6,68 \cdot 10^{-11}$	0,41	7,74
PVA%30Akasya sakızı	197847	$6,67 \cdot 10^{-11}$	0,40	7,53

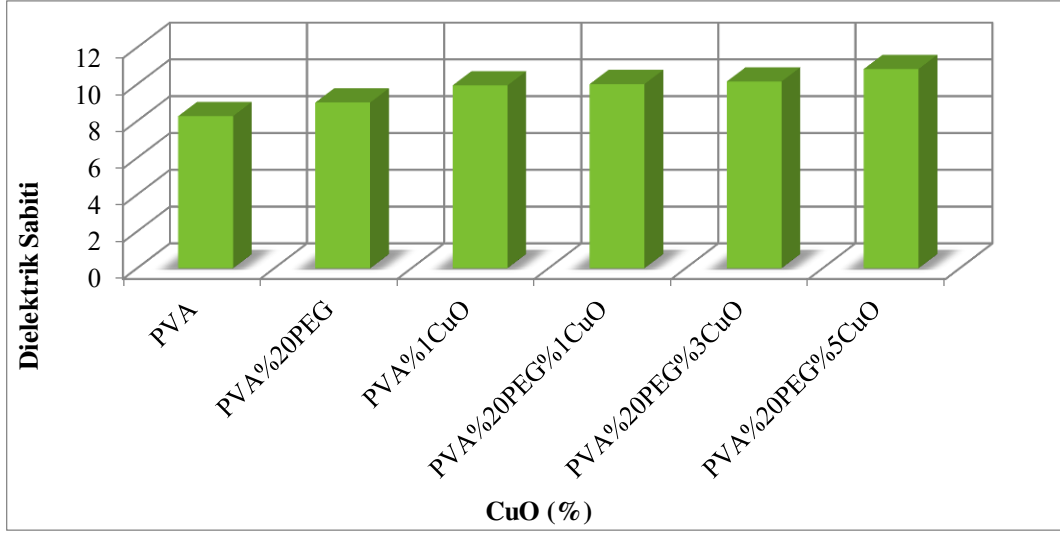


Şekil 7.20. PVA/Akasya sakızı kompozit filmlerin dielektrik sabiti grafiği

CuO nanoparçacık katkılı PVA%20PEG nanokompozit filmlerin dielektrik özellikleri Çizelge 7.8’de verilmiştir. Şekil 7.21’de ise farklı oranlarda CuO nanoparçacık katkılı PVA/PEG kompozit filmlerin dielektrik sabiti grafiği verilmiştir. %1, %3 ve %5 CuO nanoparçacık katkı oranlarında hazırlanan nanokompozit filmlerin dielektrik özellikleri incelendiğinde, CuO nanoparçacık katkı oranı arttıkça dielektrik sabitinin arttığı ve kapasitans değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Bu sonuç, CuO nanoparçacık katkısı ile saf PVA film ve PVA%20PEG kompozit filme kıyasla dielektrik kapasitesi geliştirilmiş nanokompozit malzeme elde edildiğini göstermektedir. CuO, geliştirilmiş dielektrik özellikleri nedeniyle elektriksel uygulamalar ve ince filmler için katkı maddesi olarak sıklıkla kullanılmaktadır [189]. Sonuç olarak bu çalışmada geliştirilmiş dielektrik özelliğe ve yüksek yüzey alanı/hacim oranı sahip CuO nanoparçacıkların kompozit polimer matrisinde dağıtılması sonucunda dielektrik polarizasyonu geliştirilmiş nanokompozit ince filmler üretilmiştir.

Çizelge 7.8. CuO nanoparçacık katkılı PVA%20PEG nanokompozit filmlerin dielektrik özellikleri

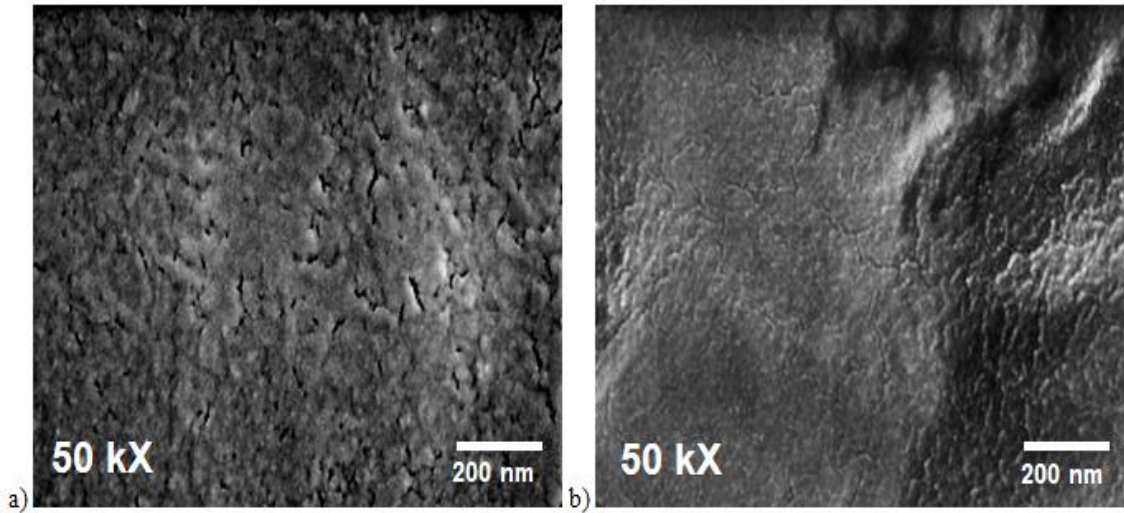
Film Örneği	f_0 (Hz)	C (F)	D (mm)	ϵ_r
PVA	171524	$8,87 \cdot 10^{-11}$	0,33	8,27
PVA % 20PEG	164345	$9,66 \cdot 10^{-11}$	0,33	9,00
PVA % 1CuO	172292	$8,79 \cdot 10^{-11}$	0,40	9,93
PVA % 20PEG1% CuO	173792	$8,64 \cdot 10^{-11}$	0,41	10,0
PVA % 20PEG3% CuO	174695	$8,55 \cdot 10^{-11}$	0,42	10,1
PVA % 20PEG5% CuO	176984	$8,33 \cdot 10^{-11}$	0,46	10,8



Şekil 7.21. Farklı miktarlarda CuO nanoparçacık katkı PVA/PEG nanokompozit filmlerin dielektrik sabiti grafiği

7.8. Kompozit ve Nanokompozit Filmlerin Morfolojik Analizi

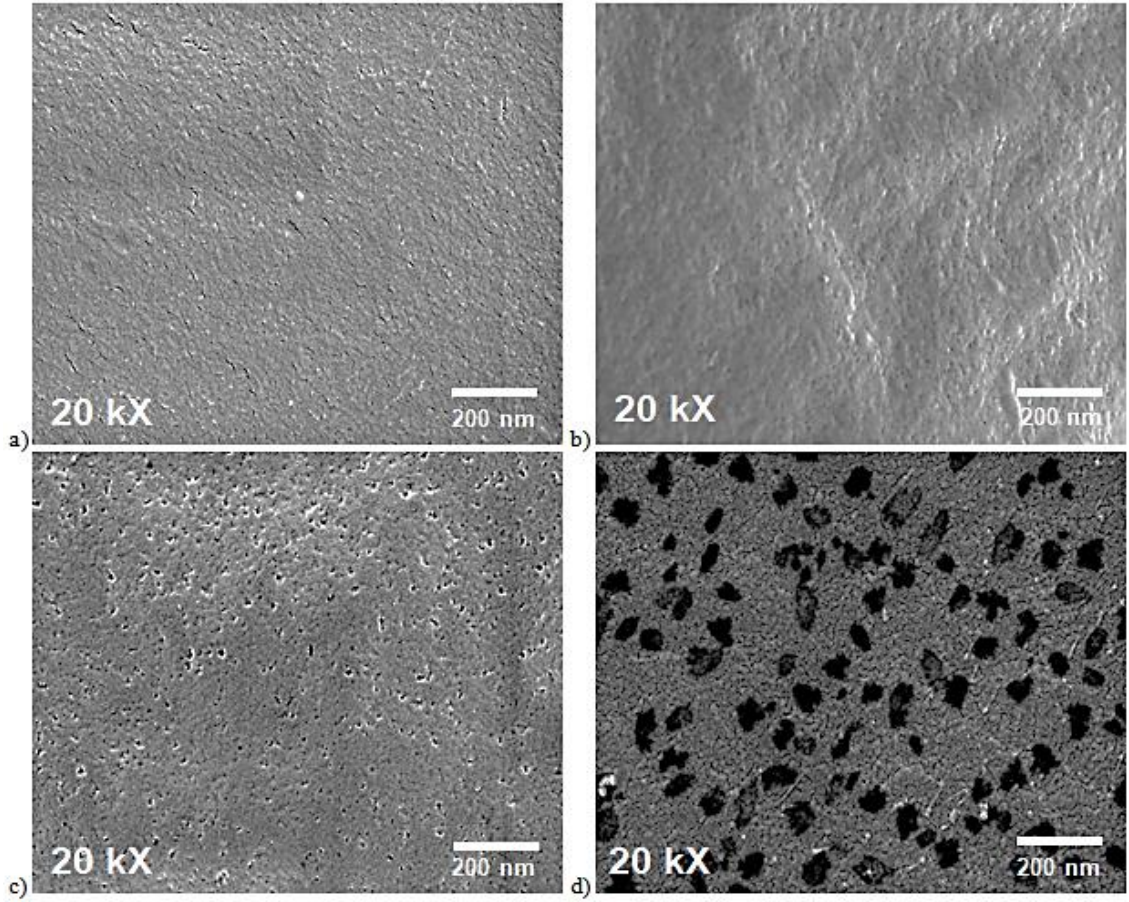
Şekil 7.22(a,b)'de saf PVA ve PVA%20PEG kompozit filminin 50000X büyütme ölçeğindeki SEM mikrografikleri verilmiştir. PEG polimerinin yapıya katılmasıyla morfolojik yapıda değişim meydana geldiği görülmektedir. Şekil 7.22(a,b) incelendiğinde, kompozit yapıda PVA ve PEG polimerlerinin herhangi bir faz ayrımı olmaksızın homojen yüzey morfolojisi sergilediği görülmektedir. Bu durum, PVA ile PEG arasında oluştuğu FTIR spektroskopisi ile belirlenen yeni bağ etkileşimlerini desteklemektedir.



Şekil 7.22. Saf PVA (a) ve PVA%20PEG (b) kompozit filmlerinin SEM mikrografikleri

Şekil 7.23(a-d)'de ise farklı oranlarda CuO nanoparçacık katkısı içeren PVA/PEG nanokompozit filmlerin 20000 X büyütme ölçeğindeki SEM mikrografikleri verilmiştir. Şekil 7.23(a-d) incelendiğinde kompozit yapıya farklı oranlarda CuO nanoparçacığının

dahil edilmesiyle nanoparçacık dağılım morfolojisinin değişimi görülmektedir. Saf PVA filme ve PVA%20PEG kompozit bileşimine yapılan %1 CuO nanoparçacık katkısının matriste homojen dağılım sergilediği görülmektedir. %3 CuO nanoparçacık katkısında ise bazı bölgelerde nanoparçacık topaklanmaları görülsede genel olarak matris içinde homojen bir dağılım olduğu görülmektedir. CuO nanoparçacık katkısı %5'e yükseltildiğinde ise nanoparçacıkların yoğun şekilde topaklanarak kompozit matristen ayrı fazlar oluştuğu görülmektedir.



Şekil 7.23. Farklı oranlarda CuO nanoparçacık katkısı içeren PVA%20PEG nanokompozit filmlerin SEM mikrogafikleri; PVA%1CuO (a), PVA%20PEG%1CuO (b), PVA%20PEG%3CuO (c), PVA%20PEG%5CuO (d)

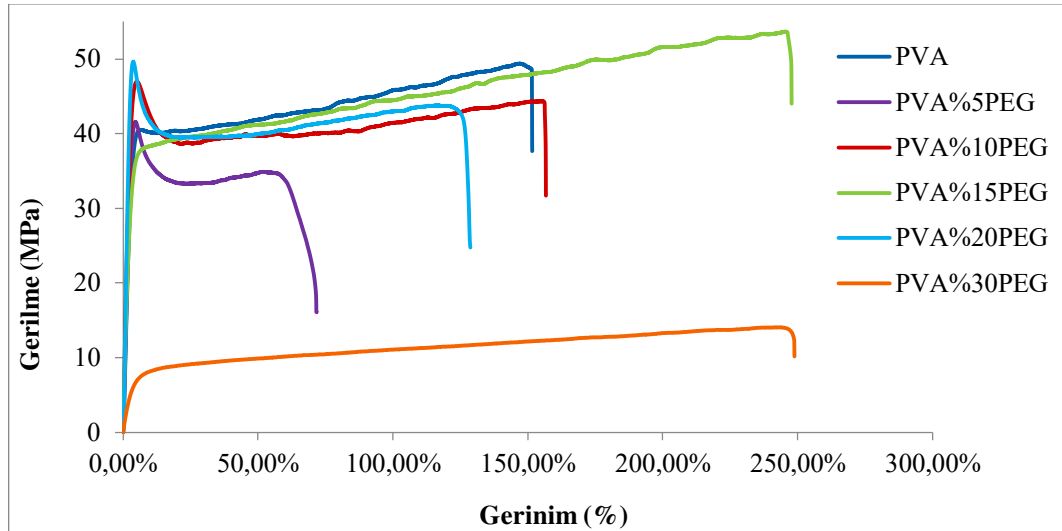
7.9. Kompozit ve Nanokompozit Filmlerin Mekanik Testi

Esnek yapıya ve iyi ara yüzey mukavemetine sahip PVA polimeri, mekanik performansı iyileştirmek için kompozitlerin imalatında tercih edilen kolay ulaşılabilir polimerlerden biridir. Filmlerin özellikle mekanik özellikleri arasında çekme mukavemeti ve kopma uzaması uygulanabilirliklerinin en önemli göstergeleridir [125]. Saf PVA film ve PVA/PEG kompozit filmlerin ortalama film kalınlıkları ve çekme testi sonuçları Çizelge 7.9'da verilmiştir. Şekil 7.24'te saf PVA ve PVA/PEG kompozit

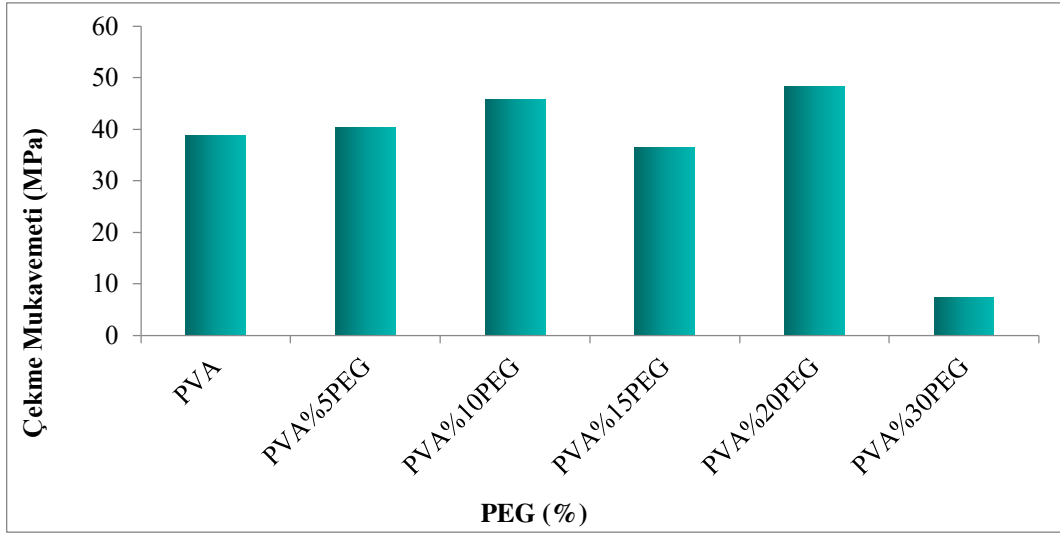
filmlerin gerilme (MPa)-gerinim (%) eğrileri görülmektedir. Şekil 7.25, Şekil 7.26 ve Şekil 7.27’de ise sırasıyla saf PVA film ve PVA/PEG kompozit filmlerin çekme mukavemeti, Young modülü ve kopma uzaması grafikleri verilmiştir. PVA matrisi içerisinde farklı oranlarda PEG katkısı ile hazırlanan PVA/PEG kompozit filmlerin çekme mukavemeti değerleri, saf PVA filmin çekme mukavemeti ile karşılaştırıldığında, artan katkı oranıyla çekme mukavemetinin arttığı, %20 katkı oranında en yüksek seviyeye ulaştığı ve son olarak %30 katkı oranında çekme mukavemetinin zayıflamaya başladığı görülmektedir. Çekme mukavemetindeki artış PVA ve PEG arasında oluşan güçlü bağ etkileşimlerine bağlanmıştır. Katkı oranı %30’a ulaştığında çekme mukavemetinde görülen belirgin azalış kompozit filmlerin yapısında görülen (Görsel 6.2 (e,f)) polimerler arasındaki faz ayrımına bağlanmıştır.

Çizelge 7.9. Saf PVA film ve PVA/PEG kompozit filmlerin ortalama film kalınlıkları ve çekme testi sonuçları

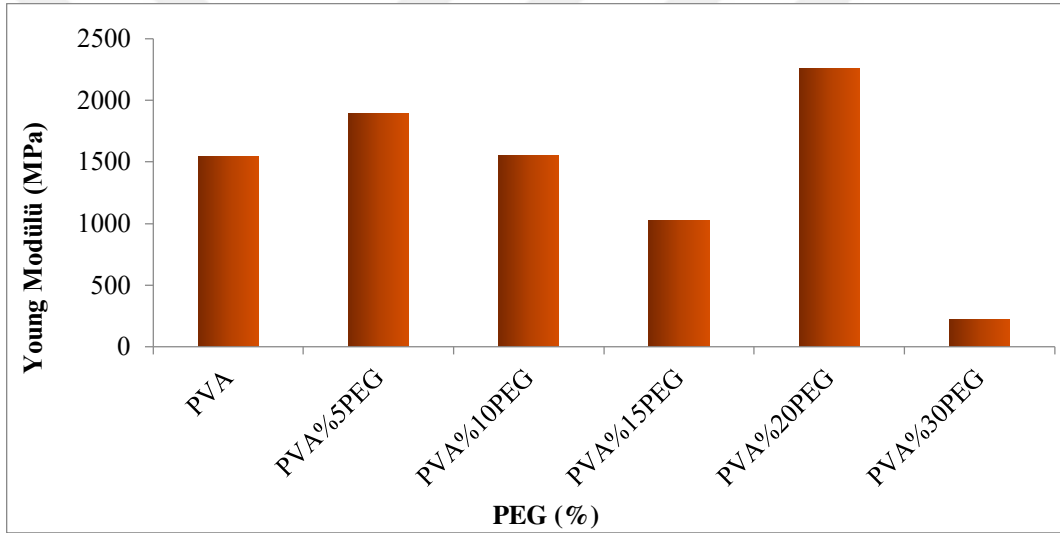
Kompozit Film Örnekleri	Ortalama Film Kalınlıkları (mm)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Young Modülü (MPa)	Kopma Uzaması (%)
PVA	0,33	38,85	1543,66	151,60
PVA %5PEG	0,24	40,46	1895,72	156,70
PVA %10PEG	0,36	45,89	1553,86	71,62
PVA %15PEG	0,39	36,51	1025,16	247,72
PVA %20PEG	0,33	48,31	2258,97	128,49
PVA %30PEG	0,36	7,32	220,093	248,82



Şekil 7.24. Saf PVA film ve PVA/PEG kompozit filmlerin gerilme (MPa)-gerinim (%) eğrileri

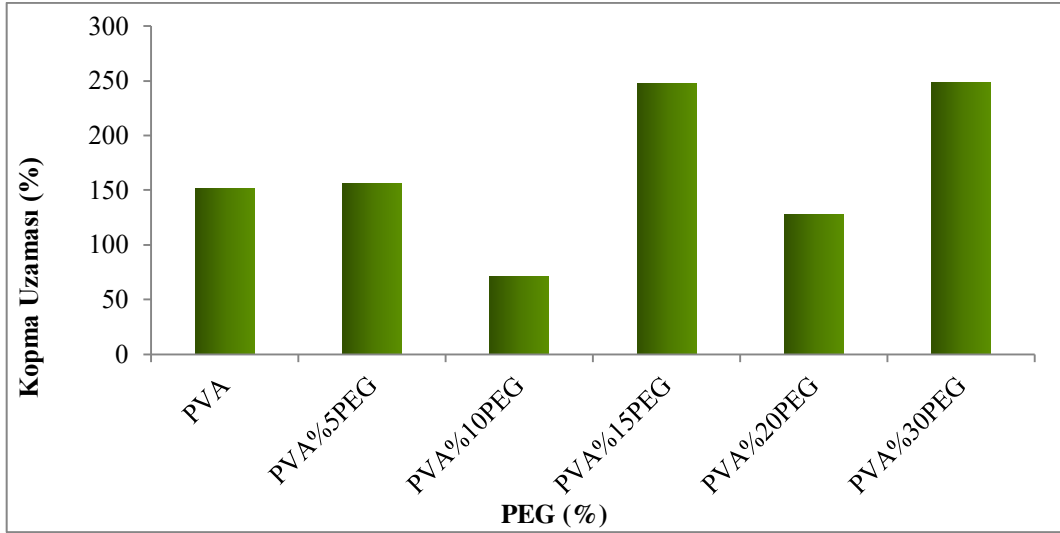


Şekil 7.25. Saf PVA film ve PVA/PEG kompozit filmlerin çekme mukavemeti grafiği



Şekil 7.26. Saf PVA film ve PVA/PEG kompozit filmlerin Young modülü grafiği

Çekme testi sonucunda, nanoparçacık katkılı polimer matrisli kompozit filmlerin üretiminde; çalışma kapsamında PVA matrisine yapılan PEG katkı oranlarından (%5-30), %20 PEG katkısı ile çekme mukavemeti ve Young modülü değerlerinde en yüksek oranda iyileşme sağlayan PVA%20PEG kompozit filmlerinin sahip olduğu bileşim polimer matris olarak kullanılmıştır.

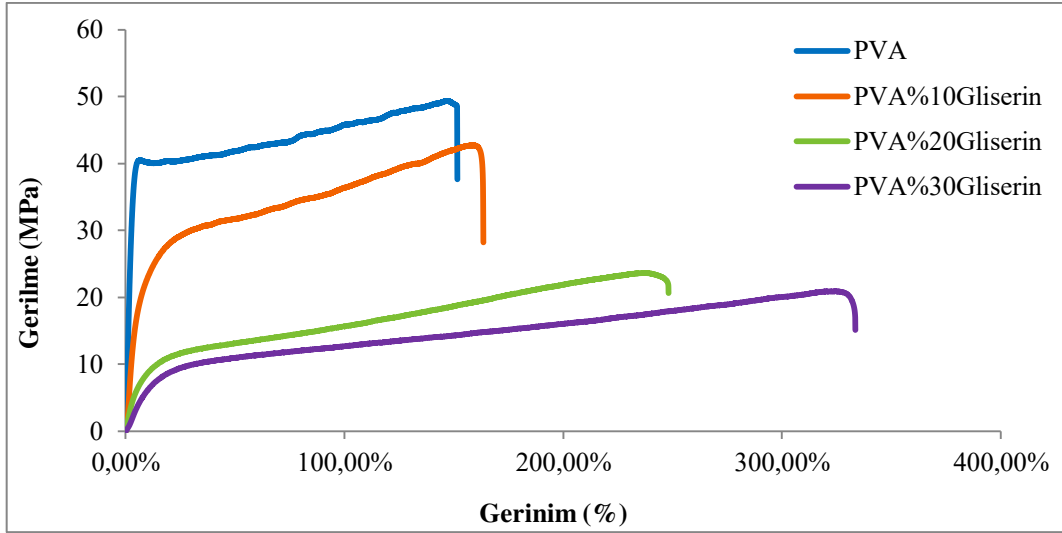


Şekil 7.27. Saf PVA film ve PVA/PEG kompozit filmlerin kopma uzaması grafiği

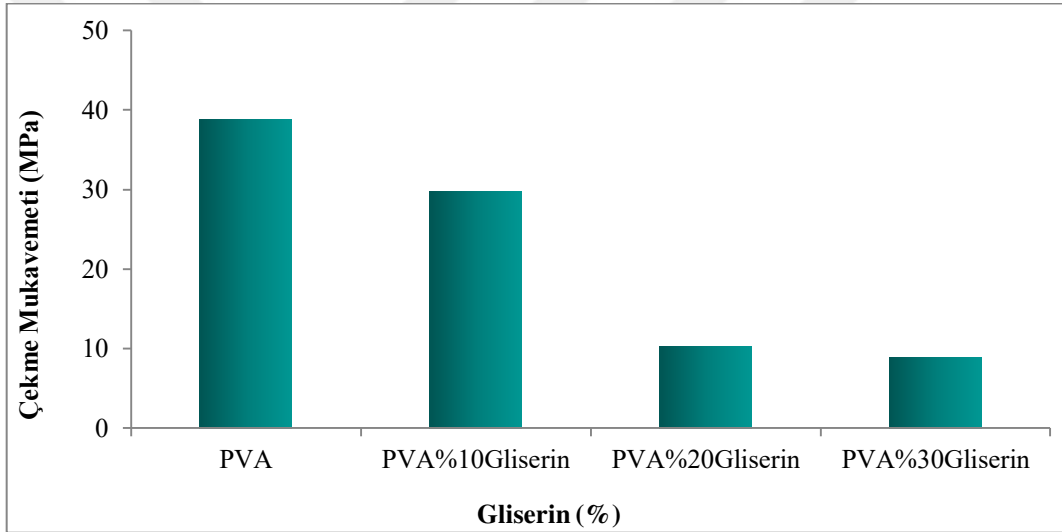
Saf PVA film ve PVA/Gliserin kompozit filmlerin ortalama film kalınlıkları ve çekme testi sonuçları Çizelge 7.10'da verilmiştir. Şekil 7.28'de saf PVA film ve PVA/Gliserin kompozit filmlerin gerilme (MPa)-gerinim (%) eğrileri görülmektedir. Saf PVA film ve PVA/Gliserin kompozit filmlerin çekme mukavemeti, Young modülü ve kopma uzaması grafikleri sırasıyla Şekil 7.29, Şekil 7.30 ve Şekil 7.31'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, PVA matrisine yapılan gliserin katkısı sonucunda çekme mukavemeti ve Young modülü değerlerinin düştüğü, kopma uzaması değerlerinin ise yükseldiği görülmektedir.

Çizelge 7.10. Saf PVA film ve PVA/Gliserin kompozit filmlerin ortalama film kalınlıkları ve çekme testi sonuçları

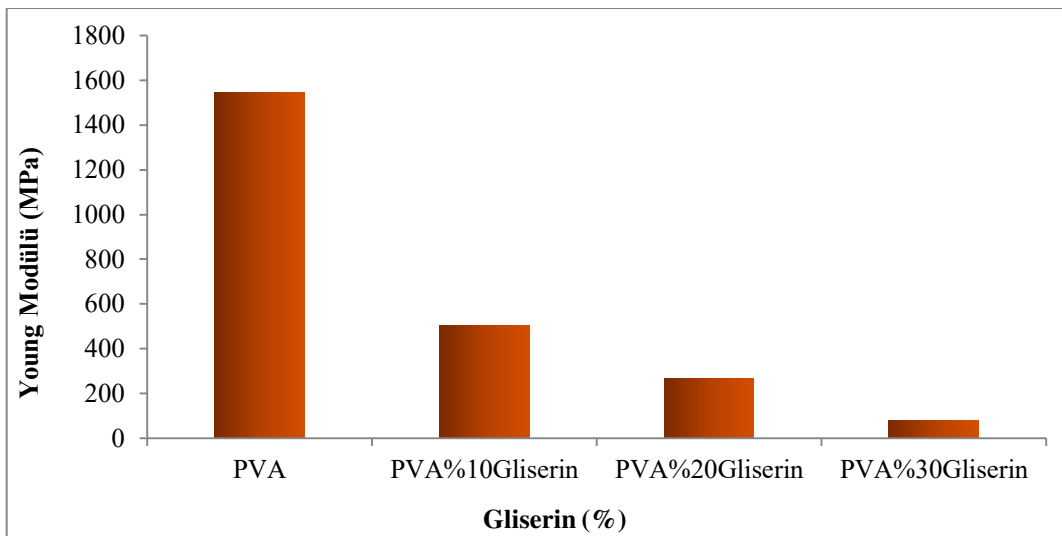
Kompozit Film Örnekleri	Ortalama Film Kalınlıkları (mm)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Young Modülü (MPa)	Kopma Uzaması (%)
PVA	0,33	38,85	1543,66	151,60
PVA % 10Gliserin	0,37	29,75	504,654	163,50
PVA % 20Gliserin	0,46	10,32	263,871	248,13
PVA % 30Gliserin	0,44	8,958	76,7382	333,52



Şekil 7.28. Saf PVA film ve PVA/Gliserin kompozit filmlerin gerilme (MPa)-gerinim (%) eğrileri

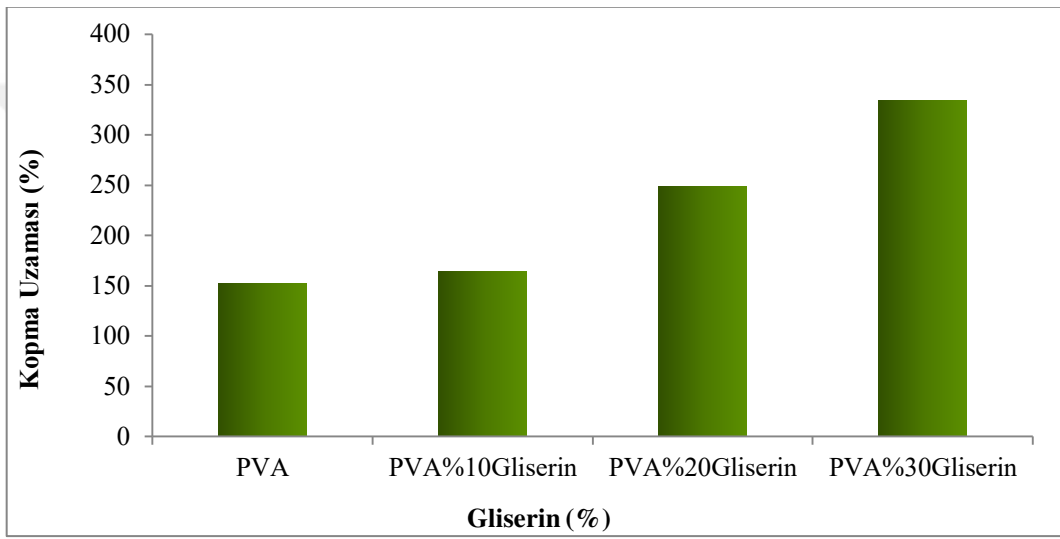


Şekil 7.29. Saf PVA film ve PVA/Gliserin kompozit filmlerin çekme mukavemeti grafiği



Şekil 7.30. Saf PVA film ve PVA/Gliserin kompozit filmlerin Young modülü grafiği

Saf PVA matrisinde katkı maddesi olarak kullanılan gliserinin artışı, kompozit filmlerin çekme mukavemeti ve Young modülü değerlerinde belirgin gerilemeye ve kopma uzaması değerlerinde artışa neden olması, plastikleştirici olarak kullanılan gliserinin yapısında yoğun şekilde bulunan alkil gruplarından alifatik C–H uzamasını arttırmasına bağlanmıştır [171]. Bu sonuç, saf PVA filme kıyasla daha yüksek alifatik grup sinyalleri sergileyen FTIR spektrumları ile desteklenmektedir. Gliserinin yüksek konsantrasyonlarda çekme gerilime karşı direnç üzerinde görülen yıkıcı etkisi nedeniyle, nanoparçacık katkılı polimer matrisli kompozit filmlerin üretiminde farklı oranlarda hazırlanan gliserin katkılı polimer matris kullanılmamıştır.

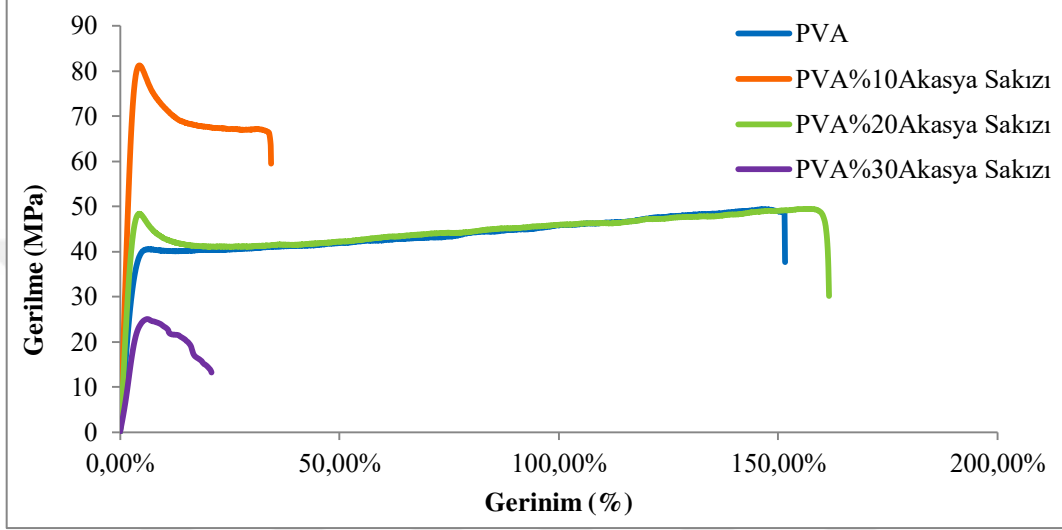


Şekil 7.31. Saf PVA film ve PVA/Gliserin kompozit filmlerin kopma uzaması grafiği

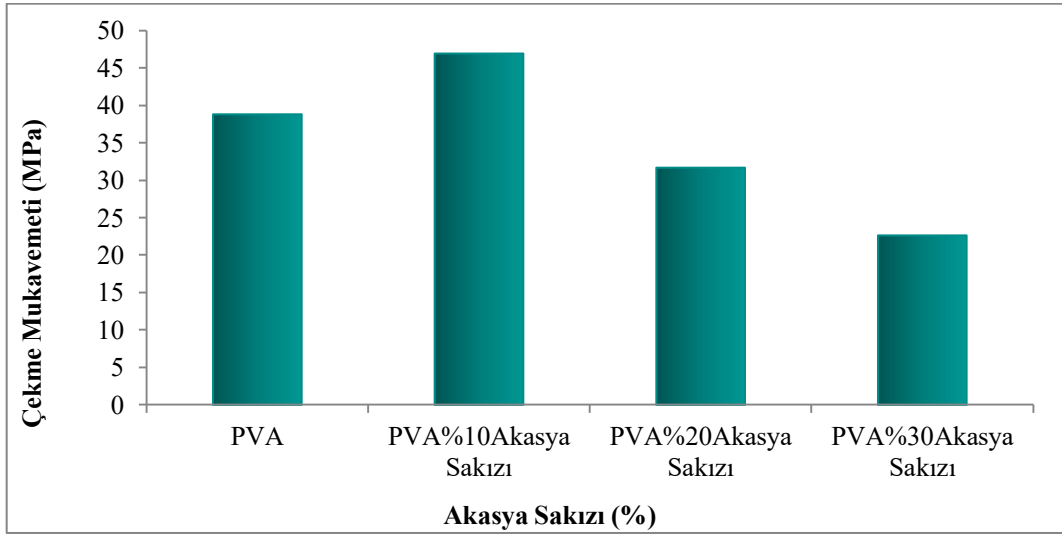
Saf PVA film ve PVA/Akasya sakızı kompozit filmlerin ortalama film kalınlıkları ve çekme testi sonuçları Çizelge 7.11’de verilmiştir. Şekil 7.32’de saf PVA film ve PVA/ Akasya sakızı kompozit filmlerin gerilme (MPa)-gerinim (%) eğrileri görülmektedir. Şekil 7.33, Şekil 7.34 ve Şekil 7.35’te sırasıyla saf PVA film ve PVA/Akasya sakızı kompozit filmlerin çekme mukavemeti, Young modülü ve kopma uzaması grafikleri verilmiştir. Şekil 7.33 incelendiğinde, PVA matrisine %10 akasya sakızı katkısı sonucunda çekme mukavemeti ve Young modülü değerlerinde iyileşme olduğu, daha yüksek katkı miktarı oranlarında ise mekanik özelliklerin zayıfladığı görülmektedir. Bu sonuç, katkı miktarı arttıkça PVA ve polisakkaritler arasında oluşan çapraz bağların yoğunlaşmasından dolayı [190], kompozit filmlerin daha sert ve kırılğan bir yapıya dönüşmesine bağlanmıştır.

Çizelge 7.11. Saf PVA film ve PVA/ Akasya sakızı kompozit filmlerin ortalama film kalınlıkları ve çekme testi sonuçları

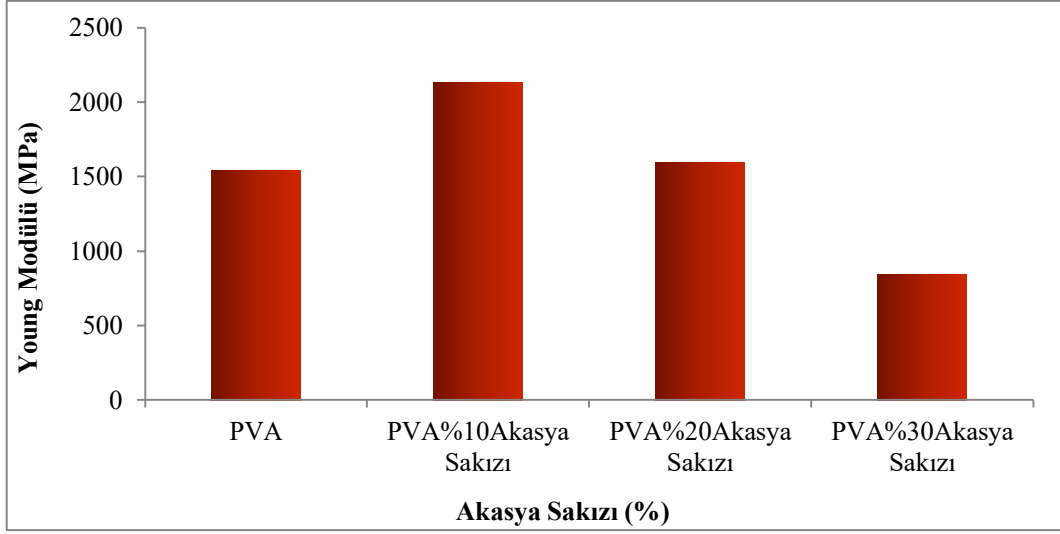
Kompozit Film Örnekleri	Ortalama Film Kalınlıkları (mm)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Young Modülü (MPa)	Kopma Uzunluğu (%)
PVA	0,33	38,85	1543,66	151,60
PVA%10Akasya sakızı	0,32	79,17	2133,40	161,61
PVA%20Akasya sakızı	0,41	50,79	1598,29	34,39
PVA%30Akasya sakızı	0,40	22,51	846,006	19,26



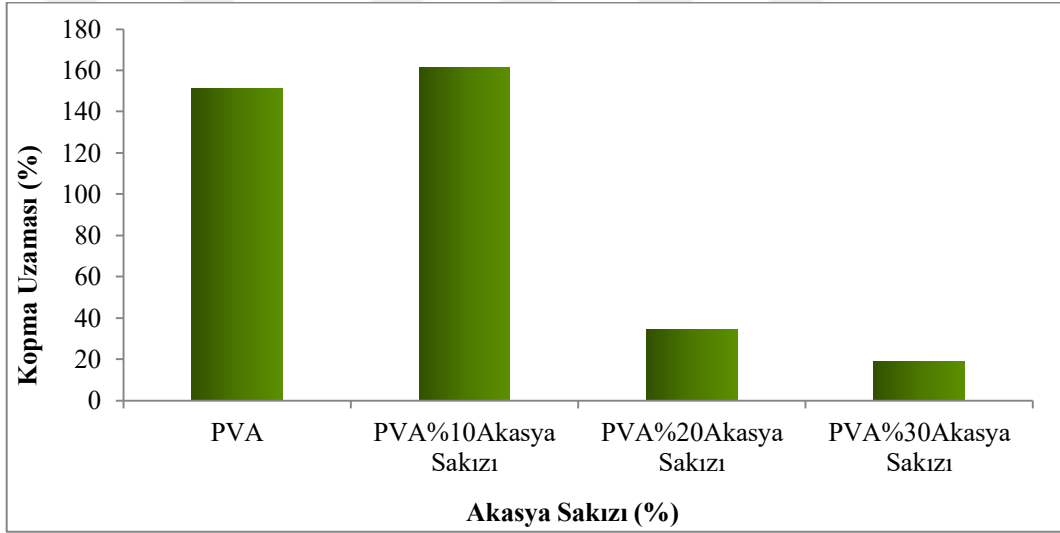
Şekil 7.32. Saf PVA film ve PVA/Akasya sakızı kompozit filmlerin gerilme (MPa)-gerinim (%) eğrileri



Şekil 7.33. Saf PVA film ve PVA/Akasya sakızı kompozit filmlerin çekme mukavemeti grafiği



Şekil 7.34. Saf PVA film ve PVA/Akasya sakızı kompozit filmlerin Young modülü grafiği



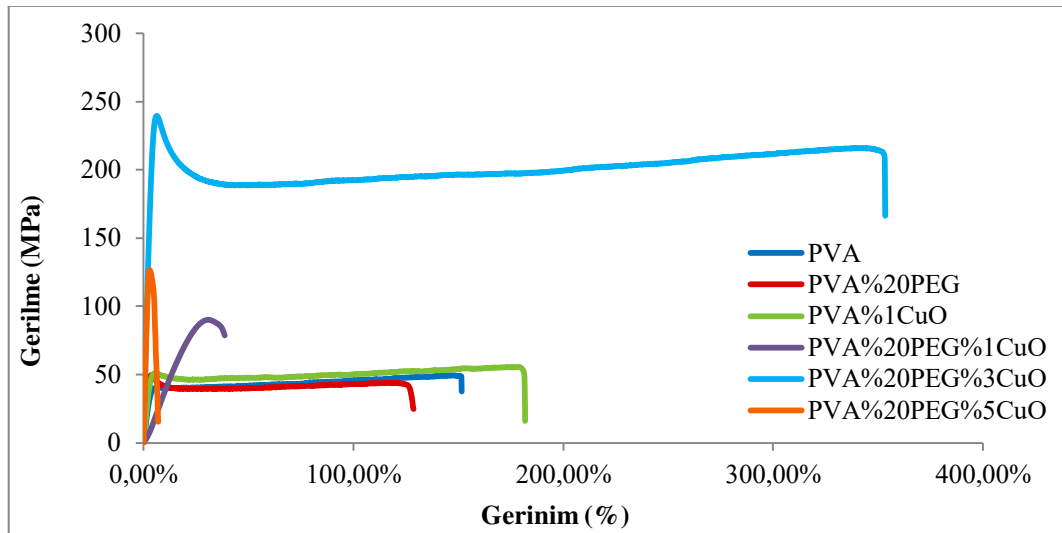
Şekil 7.35. Saf PVA film ve PVA/Akasya sakızı kompozit filmlerin kopma uzaması grafiği

Saf PVA film, PVA%20PEG kompozit film, PVA%1CuO nanokompozit film ve farklı oranlarda CuO nanoparçacık katkısı içeren PVA%20PEG nanokompozit filmlerin ortalama film kalınlıkları ve çekme testi sonuçları ile gerilme (MPa)-gerinim (%) eğrileri sırasıyla Çizelge 7.12 ve şekil 7.36'da; çekme mukavemeti, Young modülü ve kopma uzaması grafikleri ise sırasıyla şekil 7.37, şekil 7.38 ve şekil 7.39'da verilmiştir. Saf PVA matris ve PVA%20PEG polimer kompozit matrisine yapılan %1 CuO nanoparçacık katkısı sonucunda elde edilen nanokompozit filmlerin çekme testi sonuçları karşılaştırıldığında, PVA%20PEG polimer kompozit matrisine yapılan nanoparçacık katkısının mekanik özelliklerde oldukça belirgin bir iyileşme sağladığı görülmektedir. Bu nedenle artan oranlarda CuO nanoparçacık katkısı PVA%20PEG

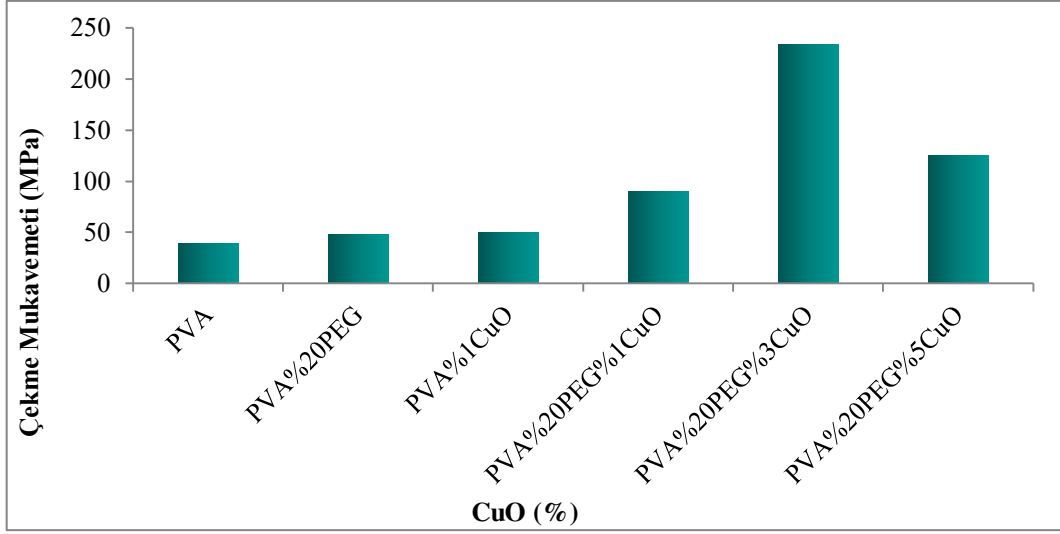
polimer kompozit matrisinde dağıtılmıştır. Sonuçlar, %1 ve %3 CuO nanoparçacık katkısı sonucunda nanokompozit filmlerin çekme mukavemeti, Young modülü değerlerinde belirgin bir artış olduğunu, %5 katkı oranında ise mekanik özelliklerin zayıfladığını göstermektedir. Bu sonuç, %1 ve %3 CuO nanoparçacık katkısı içeren PVA%20PEG nanokompozit filmlerin SEM mikrogafiklerinde görülen matris içerisinde dağılmış nanoparçacık morfolojisi ve %5 katkı oranında görülen nanoparçacık topaklanmaları ile açıklanabilir. Oluşan topaklanmaların homojen yük dağılımına engel oluşturarak mekanik özelliklerde zayıflamaya neden olduğu düşünülmektedir. Çalışma kapsamında, çekme mukavemetinde saf PVA filme kıyasla en yüksek %503 ve polimer kompozit filmler arasında en yüksek mukavemeti sergileyen PVA%20PEG kompozit filme kıyasla en yüksek %385 gelişme sağlanmıştır.

Çizelge 7.12. Saf PVA film, PVA%20PEG kompozit film, PVA%1CuO nanokompozit film ve farklı oranlarda CuO nanoparçacık katkısı içeren PVA%20PEG nanokompozit filmlerin ortalama film kalınlıkları ve çekme testi sonuçları

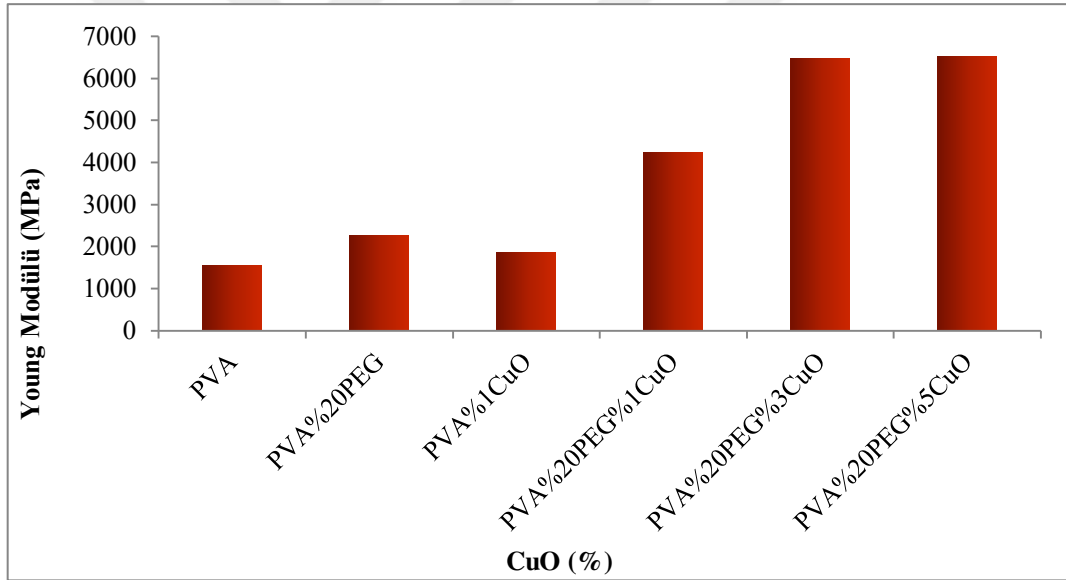
Nanokompozit Film Örnekleri	Ortalama Film Kalınlıkları (mm)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Young Modülü (MPa)	Kopma Uzaması (%)
PVA	0,33	38,85	1543,66	151,60
PVA % 20PEG	0,33	48,31	2258,97	128,49
PVA % 1CuO	0,40	49,62	1855,33	181,84
PVA % 20PEG % 1CuO	0,41	90,08	4250,50	38,68
PVA % 20PEG % 3CuO	0,42	234,34	6466,23	353,48
PVA % 20PEG % 5CuO	0,46	125,56	6532,24	6,87



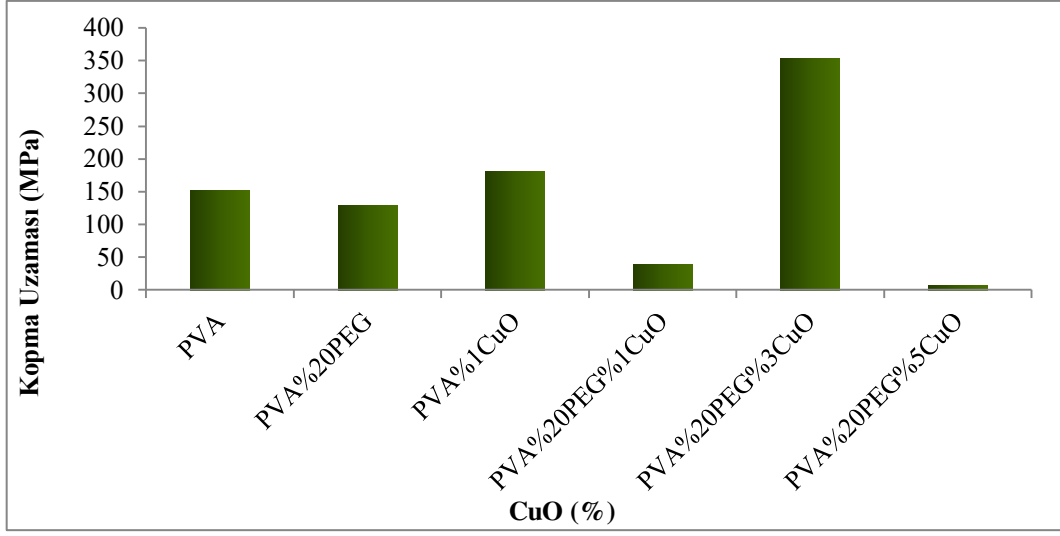
Şekil 7.36. Saf PVA film, PVA%20PEG kompozit film, PVA%1CuO nanokompozit film ve farklı oranlarda CuO nanoparçacık katkısı içeren PVA%20PEG nanokompozit filmlerin gerilme (MPa)-gerinim (%) eğrileri



Şekil 7.37. Saf PVA film, PVA%20PEG kompozit film, PVA%1CuO nanokompozit film ve farklı oranlarda CuO nanoparçacık katkısı içeren PVA%20PEG nanokompozit filmlerin çekme mukavemeti grafiği



Şekil 7.38. Saf PVA film, PVA%20PEG kompozit film, PVA%1CuO nanokompozit film ve farklı oranlarda CuO nanoparçacık katkısı içeren PVA%20PEG nanokompozit filmlerin Young modülü grafiği



Şekil 7.39. Saf PVA film, PVA%20PEG kompozit film, PVA%1CuO nanokompozit film ve farklı oranlarda CuO nanoparçacık katkısı içeren PVA%20PEG nanokompozit filmlerin kopma uzaması grafiği

8. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı, yeşil sentez yöntemi kullanılarak insan sağlığına zarar vermeyen çevre ile uyumlu CuO nanoparçacık sentezi geliştirmek ve sentezlenen CuO nanoparçacıkları toksik olmayan polimerik matrislerde farklı oranlarda katkı malzemesi olarak kullanarak mekanik, termal ve elektrik özellikleri iyileştirilmiş nanokompozit filmler üretmektir. Çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. Çalışmanın ilk aşamasında, biyo-indirgeyici ajan olarak enginar sapı (*Cynara Scolymus L.*) sulu ekstraktı kullanılarak yeşil sentez yöntemi ile bakır oksit nanoparçacıklar sentezlenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında, PVA matrisine PEG, gliserin ve akasya sakızı (Gum Arabic) gibi farklı polimerler ve yeşil sentez yoluyla elde edilen CuO nanoparçacık katkısı eklenerek dielektrik, mekanik ve termal özellikleri geliştirilmiş kompozit ve nanokompozit filmler üretilmiştir.

Sentezlenen CuO nanoparçacıklarının UV-Vis, FTIR, XRD ve SEM yöntemleri ile karakterizasyonu gerçekleştirilmiş ve literatür ile uyumu incelenmiştir. Yeşil sentez sonucunda CuO nanoparçacık oluşumu, 213-471 nm aralığında çözelti absorbansları sergileyen UV-görünür bölge spektrumları ile desteklenmiştir. Sentezlenen nanoparçacıkların kimyasal yapısını doğrulamak amacıyla gerçekleştirilen FTIR analizi sonucunda CuO nanoparçacık yapısına ve nanoparçacıkların yüzeyine bağlı bitkisel kaynaklı biyofonksiyonel grupların varlığına işaret eden bulgular elde edilmiştir. FTIR spektrumlarından elde edilen veriler, XRD difraktogramında görülen kristal yansımalar ve literatür ile desteklenerek sentezlenen nanoparçacıkların CuO olduğu doğrulanmıştır. Sentezlenen CuO nanoparçacıkların kalsinasyon öncesi ve sonrası morfolojik yapıları SEM mikrogafiklerinin analizi ile incelenmiştir. Kalsinasyon öncesinde mikrogafiklerin topaklanmış çubuk şeklinde bir morfoloji sergilediği görülmüştür. Kalsinasyon sonrasında ise küresel nanoparçacıkların (<25 nm) oluştuğu görülmüş ve dolayısıyla nanokompozit film üretiminde kalsinasyon sonrası elde edilen CuO nanoparçacıklar katkı maddesi olarak kullanılmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında, PVA matrisine farklı oranlarda PEG, gliserin ve akasya sakızı (gum arabic) eklenerek kompozit filmler hazırlanmıştır. Hazırlanan kompozit filmlerin kimyasal yapısında gerçekleştirilen değişimler FTIR spektroskopisi ile incelenmiştir. Termal bozunma davranışları, mekanik ve elektriksel özellikleri incelenerek, bu özelliklerde en yüksek oranda gelişme sağlayan katkı maddesi ve katkı oranı belirlenmiştir. Belirtilen özellikler arasında mekanik özelliklerde en yüksek

oranda gelişme gösteren PVA%20PEG kompozit filmi, CuO nanoparçacık katkılı nanokompozit filmlerin üretiminde matris olarak kullanılmıştır. FTIR spektroskopisi ile PVA zincirleri ile PEG molekülleri yapısında yer alan hidroksil grupları arasında oluşan yeni hidrojen bağı etkileşimleri tespit edilmiştir. Ayrıca, CuO nanoparçacık katkısı sonucunda hidroksil, asetil ve karboksil gruplarında frekans kaymaları belirlenmiş ve bu durum CuO nanoparçacıklar ile bu fonksiyonel gruplar arasında oluşan elektrostatik etkileşimler ile ilişkilendirilmiştir.

Üretilen filmlerin termal bozunma davranışları incelendiğinde ve saf PVA film ile PVA/PEG kompozit filmlerinin termogramları karşılaştırıldığında 600°C'deki kalıntı içeriğinin saf PVA film için %3,66 iken PEG katkısı sonucunda %10,85'e, gliserin katkısı ile %4,93'e ve akasya sakızı katkısı ile %8,22'ye kadar yükseldiği belirlenmiştir. Ayrıca 600°C'deki kalıntı yüzdesi PVA%20PEG için sırasıyla %3,66 iken, PVA%20PEG%5CuO nanokompozit film için %6,63'e yükseldiği belirlenmiştir. Oldukça düşük oranda CuO nanoparçacık katkısı sonucunda termal kararlılıkta meydana gelen bu belirgin iyileşme, FTIR spektroskopisi ile belirlenen CuO nanoparçacıklar ile PVA/PEG kompozit film yapısındaki hidroksil, asetil ve karboksil grupları arasında oluşan yeni elektrostatik etkileşimler ile ilişkilendirilmiştir.

Kompozit ve nanokompozit filmlerin dielektrik sabiti incelendiğinde, kütlece %20 PEG katkı oranında dielektrik sabitinin en yüksek değere ulaştığı görülmüştür. Artan PEG katkı oranının PVA/PEG kompozit filmlerin dielektrik kapasitesine etkisi, dielektrik sabiti ölçümü ile belirlenmiştir. Saf PVA filminin dielektrik sabiti 8,27, PVA%20PEG kompozit filminin dielektrik sabiti ise, 9,00 olarak ölçülmüştür. Farklı oranlarda hazırlanan PVA/Gliserin kompozit filmlerin dielektrik sabiti incelendiğinde, kütlece %10, %20 ve %30 oranlarında katkısı içeren PVA/Gliserin kompozit filmler için sırasıyla 6,71, 10,4 ve 10,7 olduğu belirlenmiş ve dielektrik sabitinde görülen artış katkı oranının artması dolayısıyla kompozit yapının polaritesinin artmasına bağlanmıştır. PVA/Akasya sakızı kompozit filmlerin dielektrik sabiti değerleri incelendiğinde, akasya sakızı katkı oranı arttıkça dielektrik sabitinin düştüğü belirlenmiş ve bu durum akasya sakızının yapısında yer alan negatif yüklü gruplar dolayısıyla kompozit yapıda yük taşıyıcı iyon varlığının artmasına bağlanmıştır.

Farklı oranlarda hazırlanan CuO nanoparçacık katkılı nanokompozit filmlerin dielektrik özellikleri incelendiğinde, CuO nanoparçacık katkı oranı arttıkça dielektrik sabitinin arttığı görülmüştür. Bu sonuç, çalışma kapsamında yüksek dielektrik

kapasiteye ve yüksek yüzey alanı/hacim oranı sahip CuO nanoparçacıkların kompozit polimer matrisinde dağıtılması sonucunda dielektrik polarizasyonu geliştirilmiş nanokompozit ince filmler üretildiğini göstermektedir.

SEM mikrogafikleri incelendiğinde, kompozit yapıda PVA ve PEG polimerlerinin herhangi bir faz ayrımı olmaksızın homojen yüzey morfolojisi sergilediği görülmüştür. Bu durumun, PVA ile PEG arasında olduğu FTIR spektroskopisi ile belirlenen yeni bağ etkileşimlerinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Farklı oranlarda hazırlanan CuO nanoparçacık katkılı PVA%20PEG nanokompozit filmlerin SEM mikrogafikleri incelendiğinde, kompozit yapıya farklı oranlarda CuO nanoparçacığın dahil edilmesiyle nanoparçacık dağılım morfolojisinin değişim sergilediği görülmüştür. Saf PVA filme ve PVA%20PEG kompozit bileşimine yapılan %1 CuO nanoparçacık katkısının matriste homojen dağılım sergilediği görülmektedir. %3 CuO nanoparçacık katkısında ise bazı bölgelerde nanoparçacık topaklanmaları görölse de genel olarak matris içinde homojen bir dağılım olduğu görülmektedir. CuO nanoparçacık katkısı %5'e yükseltildiğinde ise nanoparçacıkların yoğun şekilde topaklanarak kompozit matristen ayrı fazlar oluştuğu görülmüştür.

Çekme testi sonucunda, PVA matrisi içerisinde farklı oranlarda PEG katkısı ile hazırlanan PVA/PEG kompozit filmlerin çekme mukavemeti değerleri, saf PVA filmin çekme mukavemeti ile karşılaştırıldığında, artan katkı oranıyla çekme mukavemetinin arttığı, %20 katkı oranında en yüksek seviyeye ulaştığı ve son olarak %30 katkı oranında çekme mukavemetinin zayıflamaya başladığı belirlenmiştir. Çekme mukavemetindeki artış PVA ve PEG arasında oluşan güçlü bağ etkileşimleri ile ilişkilendirilmiştir. Katkı oranı %30'a ulaştığında çekme mukavemetinde görülen belirgin azalış ise kompozit filmlerin yapısında görülen polimerler arasındaki faz ayrımına bağlanmıştır. PVA matrisine yapılan gliserin katkısı sonucunda çekme mukavemeti ve Young modülü değerlerinin düştüğü, kopma uzaması değerlerinin ise yükseldiği tespit edilmiş ve bu sonuç plastikleştirici olarak kullanılan gliserinin yapısında yoğun şekilde bulunan alkil gruplarından alifatik C-H uzamasını arttırmasına bağlanmıştır. PVA matrisine %10 akasya sakızı katkısı sonucunda çekme mukavemeti ve Young modülü değerlerinde iyileşme olduğu, daha yüksek katkı miktarı oranlarında ise mekanik özelliklerin zayıfladığı belirlenmiştir ve bu durum katkı miktarı arttıkça PVA ve polisakkaritler arasında oluşan çapraz bağların yoğunlaşmasından dolayı kompozit filmlerin daha sert ve kırılğan bir yapıya dönüşmesi ile ilişkilendirilmiştir. CuO

nanoparçacık katkısı içeren PVA%20PEG nanokompozit filmlerin çekme testi sonuçları incelendiğinde, %1 ve %3 CuO nanoparçacık katkısı sonucunda nanokompozit filmlerin çekme mukavemeti ve Young modülü değerlerinde belirgin bir artış olduğunu, %5 katkı oranında ise mekanik özelliklerin zayıfladığı belirlenmiştir. Bu sonuç, %1 ve %3 CuO nanoparçacık katkısı içeren PVA%20PEG nanokompozit filmlerin SEM mikrografiklerinde görülen matris içerisinde dağılmış nanoparçacık morfolojisi ve %5 katkı oranında görülen nanoparçacık topaklanmaları ile açıklanmıştır. Çalışma sonucunda, çekme mukavemetinde saf PVA filme kıyasla en yüksek %503 ve polimer kompozit filmler arasında en yüksek mukavemeti sergileyen PVA%20PEG kompozit filme kıyasla en yüksek %385 gelişme sağlanmıştır. CuO'nun sahip olduğu antibakteriyel özellikleri ve biyouyumlu yapısı [153] ve ayrıca kullanılan PVA ve PEG polimerlerinin biyouyumlu polimerler olması [106,107,114,116,117,169,170] dolayısıyla, ileriki çalışmalarda bu çalışma kapsamında özellikleri geliştirilen CuO nanoparçacık katkılı PVA/PEG nanokompozit filmlerin, kontrollü ilaç salınımı sistemi, doku iskelesi veya yara iyileştirici filmler olarak biyomedikal ve doku mühendisliği alanlarında uygulanabilirliği araştırılabilir.

KAYNAKÇA

- [1] Prakash, S., Elavarasan, N., Venkatesan, A., Subashini, K., Sowndharya, M., & Sujatha, V. (2018). Green synthesis of copper oxide nanoparticles and its effective applications in Biginelli reaction, BTB photodegradation and antibacterial activity. *Advanced Powder Technology*, 29(12), 3315-3326.
- [2] Manjunath, A., Irfan, M., Anushree, K. P., Vinutha, K. M., & Yamunarani, N. (2016). Synthesis and characterization of CuO nanoparticles and CuO doped PVA nanocomposites. *Advances in Materials Physics and Chemistry*, 6(10), 263.
- [3] Nagar, N., & Devra, V. (2018). Green synthesis and characterization of copper nanoparticles using *Azadirachta indica* leaves. *Materials Chemistry and Physics*, 213, 44-51.
- [4] Rehana, D., Mahendiran, D., Kumar, R. S., & Rahiman, A. K. (2017). Evaluation of antioxidant and anticancer activity of copper oxide nanoparticles synthesized using medicinally important plant extracts. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 89, 1067-1077.
- [5] Parveen, K., Banse, V., & Ledwani, L. (2016, April). Green synthesis of nanoparticles: their advantages and disadvantages. In *AIP conference proceedings* (Vol. 1724, No. 1, p. 020048). AIP Publishing LLC.
- [6] Sankar, R., Manikandan, P., Malarvizhi, V., Fathima, T., Shivashangari, K. S., & Ravikumar, V. (2014). Green synthesis of colloidal copper oxide nanoparticles using *Carica papaya* and its application in photocatalytic dye degradation. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 121, 746-750.
- [7] Alhazime, A. A. (2020). Effect of nano CuO doping on structural, thermal and optical properties of PVA/PEG blend. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 30, 4459-4467.
- [8] Özer, Yusuf Hv. 3th. Yzb. (2008) T.C. Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü Teknoloji Yönetimi Ana Bilim Dalı Nanobilim Ve Nanoteknoloji: *Ülke Güvenliği / Etkinliği Açısından Doğru Modelin Belirlenmesi Yüksek Lisans Tezi*.
- [9] Hulkoti, N. I., & Taranath, T. C. (2014). Biosynthesis of nanoparticles using microbes—a review. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 121, 474-483.

- [10] D.G. Rickerby, D. G. and Morrison, M., 2007. Nanotechnology and the environment: A European perspective, *Science and Technology of Advanced Materials*, 8, 19-24
- [11] Atabas, Umran. (2012). A Study for Training and Raising Awareness of Elementary School Students About nanotechnology and Biotechnology Subjects. Fatih University *The Graduate School of Sciences and Engineering Master of Science in Biology*.
- [12] Gençer, Ö. (2009). *Bakır Ve Bakır Oksit Nanopartiküllerinin Ultrasonik Sprey Piroliz (usp) Yöntemi İle Üretimi* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [13] Enderby, J. and Dowling, A., 2004, Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties *The Royal Society & The Royal Academy of Engineering Report* , London.
- [14] Novack, B. and Bucheli, T.D., (2007). —*Occurrence, behavior and effects of nanoparticles in the environment*ll, *Environ. Pollut.*, 150: 5-22.
- [15] Derviğ Hamid. (2014). *Türkiye’de nanoteknoloji yayılımının değerlendirilmesi: Bir sosyal ağ analizi yaklaşımı. Doktora tezi, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Bilge ve Belge Yönetimi Bölümü*.
- [16] Vanaja, M., Paulkumar, K., Baburaja, M., Rajeshkumar, S., Gnanajobitha, G., Malarkodi, C., ... & Annadurai, G. (2014). Degradation of methylene blue using biologically synthesized silver nanoparticles. *Bioinorganic chemistry and applications*, 2014.
- [17] Salam, H.A., Rajiv, P., Kamaraj, M., Jagadeeswaran, P., Gunalan, S. and Sivaraj, R., (2012). —*Plants: green route for nanoparticle synthesis*ll, *I. Res. J. Biological Sci.*, 1: 85-90.
- [18] Kerour, A., Boudjadar, S., Bourzami, R., & Allouche, B. (2018). Eco-friendly synthesis of cuprous oxide (Cu₂O) nanoparticles and improvement of their solar photocatalytic activities. *Journal of Solid State Chemistry*, 263, 79-83.
- [19] Jahan, Israt. (2019) Green Synthesis Of Metal Nanoparticles, Their Chemical And Biochemical Characterizations. Republic Of Turkey Yıldız Technical University *Graduate School Of Natural And Applied Sciences Phd Thesis Department Of Bioengineering Program Of Bioengineering*.

- [20] Wang, Y. and Herron, N., (1991). —Nanometer-sized semiconductor clusters: materials synthesis, quantum size effects, and photophysical properties, *J. Phys. Chem. A*, 95: 525-532.
- [21] Yetgin, S. H. (2007). Nanoteknoloji ve Nanokompozitler. *Sakarya Üniversitesi-Metal Eğitimi Bölümü*.
- [22] Kılıç, H. (2016). Nanopartikül Takviyeli Geri Dönüşüm Pet (Rpet) Polimeri Esaslı Cips Ve Lif Formuna Sahip Nanokompozit Üretimi Ve Karakterizasyonu. *T.C. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta*.
- [23] Sen, F., Palancıoğlu, H., & Aldas, K. (2010). Polimerik Nanokompozitler ve Kullanım Alanları. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(1), 111-118.
- [24] ERDEM, N., ERDOĞAN, Ü. H., & AKGİT, A. (2008). Nano-kompozit polipropilen filamentlerin üretimi ve özellikleri. *Tekstil*, 3, 4.
- [25] Nath, D. ve Banerjee, P., (2013). "Green nanotechnology—a new hope for medical biology", *Environmental toxicology and pharmacology*, 36: 997-1014.
- [26] Celep, ğ., 2007. Nanoteknoloji ve Tekstilde Uygulama Alanları. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [27] Söylemez, E. (2016). Polivinil alkol/polietilenimin (PVA/PEI) kompozit nanoliflerinin elektrospindle yöntemi ile üretimi, karakterizasyonu ve çeşitli kullanım alanlarına uygulanması.
- [28] Mehmet, A. T. E. ğ., DEMİR, V., & ÖMAMOĞLU, H. Nanoparçacıkların Özellikleri ve Akutik Çevreye Etkisi. *Ziraat Mühendisliği*, (360), 52-59.
- [29] Rajesh, S. Raja, D.P. Rathi, J. ve Sahayaraj, K., (2012). "Biosynthesis of silver nanoparticles using *Ulva fasciata*(Delile) ethyl acetate extract and its activity against *Xanthomonas campestris* pv. *malvacearum*", *Journal of Biopesticides*, 5: 2012.
- [30] Mittal, A.K. Chisti, Y. ve Banerjee, U.C., (2013). "Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts", *Biotechnology advances*, 31: 346-356.
- [31] Mali, S. C., Raj, S., & Trivedi, R. (2019). Biosynthesis of copper oxide nanoparticles using *Enicostemma axillare* (Lam.) leaf extract. *Biochemistry and biophysics reports*, 20, 100699.
- [32] Rajendran, K., & Sen, S. (2016). Optimization of process parameters for the rapid biosynthesis of hematite nanoparticles. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 159, 82-87.

- [33] Meyers, M. A., Mishra, A., & Benson, D. J. (2006). Mechanical properties of nanocrystalline materials. *Progress in materials science*, 51(4), 427-556.
- [34] Thakkar, K.N. Mhatre, S.S. ve Parikh, R.Y., (2010). "Biological synthesis of metallic nanoparticles", *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 6: 257-262.
- [35] Sepeur, S. (2008). *Nanoteknoloji: teknik temeller ve uygulamalar*. Vincentz Network GmbH ve Çarlığı KG.
- [36] Knoll, B., & Keilmann, F. (2000). Enhanced dielectric contrast in scattering-type scanning near-field optical microscopy. *Optics communications*, 182(4-6), 321-328.
- [37] Sengupta, S., Eavarone, D., Capila, I., Zhao, G., Watson, N., Kiziltepe, T., & Sasisekharan, R. (2005). Temporal targeting of tumour cells and neovasculature with a nanoscale delivery system. *Nature*, 436(7050), 568.
- [38] Hernández-Pinero, J. L., Terrón-Rebolledo, M., Foroughbakhch, R., Moreno-Limón, S., Melendrez, M. F., Solís-Pomar, F., & Pérez-Tijerina, E. (2016). Effect of heating rate and plant species on the size and uniformity of silver nanoparticles synthesized using aromatic plant extracts. *Applied Nanoscience*, 6(8), 1183-1190.
- [39] Piçkin, E., Kaitian, X., Denkbaç E. B., & Küçükyavuz, Z. (1996). Novel PDLA/PEG copolymer micelles as drug carriers. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 7(4), 359-373.
- [40] Bar, H., Bhui, D. K., Sahoo, G. P., Sarkar, P., De, S. P., & Misra, A. (2009). Green synthesis of silver nanoparticles using latex of *Jatropha curcas*. *Colloids and surfaces A: Physicochemical and engineering aspects*, 339(1-3), 134-139.
- [41] Parsons, J. G., Peralta-Videa, J. R., & Gardea-Torresdey, J. L. (2007). Use of plants in biotechnology: synthesis of metal nanoparticles by inactivated plant tissues, plant extracts, and living plants. *Developments in environmental science*, 5, 463-485.
- [42] Luangpipat, T. Beattie, I.R. Chisti, Y. ve Haverkamp, R.G., (2011). "Gold nanoparticles produced in a microalga", *Journal of Nanoparticle Research*, 13: 6439-6445.
- [43] Singaravelu, G. Arockiamary, J. Kumar, V.G. ve Govindaraju, K., (2007). "A novel extracellular synthesis of monodisperse gold nanoparticles using marine

- alga, *Sargassum wightii* Greville", *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*, 57: 97-101.
- [44] Ankamwar, B. (2010). Biosynthesis of gold nanoparticles (green-gold) using leaf extract of *Terminalia catappa*. *E-Journal of Chemistry*, 7(4), 1334-1339.
- [45] Beattie, I. R., & Haverkamp, R. G. (2011). Silver and gold nanoparticles in plants: sites for the reduction to metal. *Metallomics*, 3(6), 628-632.
- [46] Patra, J. K., & Baek, K. H. (2014). Green nanobiotechnology: factors affecting synthesis and characterization techniques. *Journal of Nanomaterials*, 2014.
- [47] Hussain, I. Singh, N. Singh, A. Singh, H. ve Singh, S., (2016). "Green synthesis of nanoparticles and its potential application", *Biotechnology letters*, 38: 545-560.
- [48] Li, X., Xu, H., Chen, ZS, & Chen, G. (2011). Biosynthesis and applications of nanoparticles by microorganisms. *Journal of Nanomaterials*, 2011.
- [49] Armendariz, V., Herrera, I., Jose-yacaman, M., Troiani, H., Santiago, P., & Gardea-Torresdey, J. L. (2004). Size controlled gold nanoparticle formation by *Avena sativa* biomass: use of plants in nanobiotechnology. *Journal of nanoparticle research*, 6(4), 377-382.
- [50] Dwivedi, A. D., & Gopal, K. (2010). Biosynthesis of silver and gold nanoparticles using *Chenopodium album* leaf extract. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 369(1-3), 27-33.
- [51] Bhusan, S. H., Kumar, A. A., Ashish, T. F., & Lal, K. M. (2012). *Evaluation of Polyherbal formulation for diuretic activity in albino rats. Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 2, S442-S445.
- [52] Ismail, E. H., Khalil, M. M., Al Seif, F. A., & El-Magdoub, F. (2014). *Biosynthesis of gold nanoparticles using extract of grape (Vitis vinifera) leaves and seeds. Prog Nanotechnol Nanomater*, 3, 1-12.
- [53] Park, B. K., Jeong, S., Kim, D., Moon, J., Lim, S., & Kim, J. S. (2007). Synthesis and size control of monodisperse copper nanoparticles by polyol method. *Journal of colloid and interface science*, 311(2), 417-424.
- [54] Han, W. K., Choi, J. W., Hwang, G. H., Hong, S. J., Lee, J. S., & Kang, S. G. (2006). *Fabrication of Cu nano particles by direct electrochemical reduction from CuO nano particles. Applied Surface Science*, 252(8), 2832-2838.
- [55] Zhu, H. T., Zhang, C. Y., & Yin, Y. S. (2004). Rapid synthesis of copper nanoparticles by sodium hypophosphite reduction in ethylene glycol under microwave irradiation. *Journal of Crystal Growth*, 270(3), 722-728.

- [56] Vijayaraghavan, K. ve Ashokkumar, T., (2017). "Plant-mediated biosynthesis of metallic nanoparticles: A review of literature, factors affecting synthesis, characterization techniques and applications", *Journal of environmental chemical engineering*.
- [57] Shankar, S. S., Rai, A., Ahmad, A., & Sastry, M. (2004). Rapid synthesis of Au, Ag, and bimetallic Au core–Ag shell nanoparticles using Neem (*Azadirachta indica*) leaf broth. *Journal of colloid and interface science*, 275(2), 496-502.
- [58] Tringali, C., (2003). Bioactive compounds from natural sources: isolation, Characterization and biological properties: CRC Press.
- [59] Rai, M. ve Posten, C., (2013). Green Biosynthesis of Nanoparticles: Mechanisms and Applications: CABI.
- [60] Reddy, K. R. (2017). Green synthesis, morphological and optical studies of CuO nanoparticles. *Journal of Molecular Structure*, 1150, 553-557.
- [61] Tran, T. H., & Nguyen, V. T. (2014). Copper oxide nanomaterials prepared by solution methods, some properties, and potential applications: a brief review. *International scholarly research notices*, 2014.
- [62] Gençer, Ö. (2009). *Bakır ve bakır oksit nanopartiküllerinin ultrasonik sprey piroliz (usp) yöntemi ile üretimi* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [63] Hostynek, J. J. and Maibach, H. I., 2006. Copper and the Skin, Informa Healthcare, New York.
- [64] Khanna, P. K., Gaikwad, S., Adhyapak, P. V., Singh, N., & Marimuthu, R. (2007). Synthesis and characterization of copper nanoparticles. *Materials Letters*, 61(25), 4711-4714.
- [65] Vitulli, G., Bernini, M., Bertozzi, S., Pitzalis, E., Salvadori, P., Coluccia, S., & Martra, G. (2002). Nanoscale copper particles derived from solvated Cu atoms in the activation of molecular oxygen. *Chemistry of materials*, 14(3), 1183-1186.
- [66] Dadgostar, N., Ferdous, S., & Henneke, D. (2010). Colloidal synthesis of copper nanoparticles in a two-phase liquid–liquid system. *Materials Letters*, 64(1), 45-48.
- [67] Tarasov, S., Kolubaev, A., Belyaev, S., Lerner, M., & Tepper, F. (2002). Study of friction reduction by nanocopper additives to motor oil. *Wear*, 252(1-2), 63-69.
- [68] Stopić, S., Dvorak, P., & Friedrich, B. (2005). Synthesis of spherical nanosized copper powder by ultrasonic spray pyrolysis. *World Metall*, 58, 195-201.

- [69] Owais, A., & Friedrich, B. (2003). Packed Bed Electrolysis for Production of Copper Powder. *Erzmetall*, 56(11), 668-677.
- [70] Huang, H. H., Yan, F. Q., Kek, Y. M., Chew, C. H., Xu, G. Q., Ji, W., ... & Tang, S. H. (1997). Synthesis, characterization, and nonlinear optical properties of copper nanoparticles. *Langmuir*, 13(2), 172-175.
- [71] Perry, R. H., Green, D. W. and Maloney, J. O., 1997. Perry's Chemical Engineers' Handbook Seventh Edition, McGraw-Hill, New York.
- [72] Othmer, D. F., Kroschwitz, J. I. and Grant, M. H., 1993. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Vol. 7, 4th Ed., Composite Materials to Detergency, John Wiley and Sons, New York.
- [73] Hong, Z. S., Cao, Y., & Deng, J. F. (2002). A convenient alcohothermal approach for low temperature synthesis of CuO nanoparticles. *Materials letters*, 52(1-2), 34-38.
- [74] Tetsuya Kida et al., 2007. Synthesis and Application of Stable Copper Oxide Nanoparticle Suspensions for Nanoparticulate Film Fabrication, *J. Am. Ceram. Soc.*, 90, 107-110.
- [75] Borgohain, K., Singh, J. B., Rao, M. V. R., Shripathi, T., Mahamuni, S., 2000. Quantum size effects in CuO nanoparticles, *Physical Review B*, 61, 11093-11096.
- [76] Hwang, Y., Park, H. S., Lee, J. K., & Jung, W. H. (2006). Thermal conductivity and lubrication characteristics of nanofluids. *Current Applied Physics*, 6, e67-e71.
- [77] Yuan, G. Q., Jiang, H. F., Lin, C., & Liao, S. J. (2007). Shape-and size-controlled electrochemical synthesis of cupric oxide nanocrystals. *Journal of Crystal Growth*, 303(2), 400-406.
- [78] Camp, A. T., & Csanady, E. R. (1983). *U.S. Patent No. 4,420,350*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [79] Marino, E., Huijser, T., Creighton, Y., & van der Heijden, A. E. D. M. (2007). Synthesis and coating of copper oxide nanoparticles using atmospheric pressure plasmas. *Surface and Coatings Technology*, 201(22-23), 9205-9208.
- [80] M.K. Wu, J.R. Ashburn, C.J. Torng, P.H. Hor, R.L. Meng, L. Gao, Z.J. Huang, Y.Q. Wang, C.W. Chu, *Phys. Rev. Lett.* 58 (1987) 908.
- [81] A.E. Rakhshani, (1986). Preparation, characteristics and photovoltaic properties of cuprous oxide-a review. *Solid-state Electronics*, 29(1), 7-17.

- [82] Poizot, P. L. S. G., Laruelle, S., Grugeon, S., Dupont, L., & Tarascon, J. M. (2000). Nano-sized transition-metal oxides as negative-electrode materials for lithium-ion batteries. *Nature*, 407(6803), 496-499.
- [83] Gao, X. P., Bao, J. L., Pan, G. L., Zhu, H. Y., Huang, P. X., Wu, F., & Song, D. Y. (2004). Preparation and electrochemical performance of polycrystalline and single crystalline CuO nanorods as anode materials for Li ion battery. *The Journal of Physical Chemistry B*, 108(18), 5547-5551.
- [84] Zhen Chen et al., 2006. Acute toxicological effects of copper nanoparticles in vivo, *Toxicology Letters* 163, 109–120.
- [85] Griffitt, R. J., Weil, R., Hyndman, K. A., Denslow, N. D., Powers, K., Taylor, D. and Barber, D. S., 2007. Exposure to Copper Nanoparticles Causes Gill Injury and Acute Lethality in Zebrafish (*Danio rerio*), *Environ. Sci. Technol*, 41, 8178-8186.
- [86] Lenders, JJ, Mirabello, G., & Sommerdijk, NA (2016). Bio-inspired synthesis of magnetite by means of solid precursor phases. *Chemical science*, 7 (9), 5624-5634.
- [87] de Toledo, L. D. A. S., Rosseto, H. C., & Bruschi, M. L. (2018). Iron oxide magnetic nanoparticles as antimicrobials for therapeutics. *Pharmaceutical development and technology*, 23(4), 316-323.
- [88] Karlsson, H. L., Cronholm, P., Gustafsson, J. and Möller, L., 2008. Copper Oxide Nanoparticles Are Highly Toxic: A Comparison between Metal Oxide Nanoparticles and Carbon Nanotubes, *Chem. Res. Toxicol*, 21, 1726-1732.
- [89] Heinlaan, M., Ivask, A., Blinova, I., Dubourguier, H. C., & Kahru, A. (2008). Toxicity of nanosized and bulk ZnO, CuO and TiO₂ to bacteria *Vibrio fischeri* and crustaceans *Daphnia magna* and *Thamnocephalus platyurus*. *Chemosphere*, 71(7), 1308-1316.
- [90] Gervasini, A., Manzoli, M., Martra, G., Ponti, A., Ravasio, N., Srdelli, L. and Zaccheria, F., 2006. Dependence of Copper Species on the Nature of the Support for Dispersed CuO Catalysts, *J. Phys. Chem. B*, 110, 7851-7861.
- [91] Strong, A. B. (2008). *Fundamentals of composites manufacturing: materials, methods and applications*. Society of Manufacturing Engineers.
- [92] Fidan, S., 2011, "Polimer matrisli kompozitlerin darbe davranışlarının incelenmesi ve oluşan hasarların mikro tomografi yöntemiyle incelenmesi", Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 4-12.

- [93] Türkmen, Ğ, 2012, –Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerde elyaf tabaka sayısına bağı mekanik özelliklerin ve darbe dayanımının incelenmesi”,Yüksek Lisans Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa, 6-9, 23-24.
- [94] Bunsell, A. R. & Harris, B. (1974). Hybrid carbon and glass fibre composites. *Composites*, 5(4), 157-164.
- [95] Devangamath, S. S., Lobo, B., Masti, S. P., & Narasagoudr, S. (2020). Thermal, mechanical, and AC electrical studies of PVA–PEG–Ag 2 S polymer hybrid material. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31(4), 2904-2917.
- [96] Vasiliev, V.V. & Morozov, E.V. (2001). *Mechanics and analysis of composite materials*. (Second edition). Netherlands: Elsevier
- [97] CANBAY, C. A., & Nihan, Ü. N. L. Ü. PVA/GO ve PVA/rGO Polimerik Nanokompozit Malzemelerin Üretimi ve Karakterizasyonu. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 32(2), 53-60.
- [98] Krumova, M., Flores, A., Calleja, F. B., & Fakirov, S. (2002). Elastic properties of oriented polymers, blends and reinforced composites using the microindentation technique. *Colloid and Polymer Science*, 280(7), 591-598.
- [99] Durmaz, Ekrem (2016). T.C. Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstriliği Ana Bilim Dalı: *Farklı Doğal Lif Kaynaklarından Mikrokristalinselüloz (MCC) Eldesi ve Bunlardan Kompozit Film Üretim İmkânlarının Araştırılması Yüksek Lisans Tezi*.
- [100] Ulcay, Y., Akyol, M., & Gemci, R. (2002). Polimer esaslı lif takviyeli kompozit malzemelerin arabirim mukavemeti üzerine farklı kür metotlarının etkisinin incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi*, 7(1), 93-116.
- [101] Deep A., Bhatt D., Shrivastav V., Sanjeev K. Bhardwaj & Malik P. (2019). Synthesis, Characterization and Applications of Polyolefin Based Eco-Friendly Polymer Composites. Thomas, S., Mishra, R. K., & Asiri, A. M. (Ed.). *Sustainable polymer composites and nanocomposites* içinde (65-103). Berlin: Springer.
- [102] El Sayed, A. M., El-Gamal, S., Morsi, W. M., & Mohammed, G. (2015). Effect of PVA and copper oxide nanoparticles on the structural, optical, and electrical properties of carboxymethyl cellulose films. *Journal of Materials Science*, 50(13), 4717-4728.

- [103] Saçak, M. (2002). *Polimer kimyası*. Gazi Kitabevi.
- [104] Baysal, B. (1981). *Polimer kimyası: polimerizasyon reaksiyonları*. ODTÜ.
- [105] Serag, E., El Nemr, A., & El-Maghraby, A. (2017). Synthesis of highly effective novel graphene oxide-polyethylene glycol-polyvinyl alcohol nanocomposite hydrogel for copper removal. *Journal of Water and Environmental Nanotechnology*, 2(4), 223-234.
- [106] Berber, E., 2016, *Glucose Biosensor Application of Eşletrospun Polyvinyl alcohol(PVA) Fibers*, Yüksek Lisans, Graduate School of Engineering and Sciences of Çmir Institute of Technology
- [107] Taçkın, N., “Yakıt Pillerinde Kullanılmak Üzere Polivinil Alkol Bazlı Kompozit Membran Sentezi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2008) 1-118
- [108] Zhou, W.Y., Guo, B., Liu, M., Liao, R., Rabie, A.B.M., Jia, D., 2009, Poly(vinylalcohol)/halloysite nanotubes bionanocomposite films: properties and in vitro osteoblasts and fibroblasts response, *Journal of Biomedical Materials Research*, 93A, 1574-1587
- [109] Hassan, M. C., Peppas, A. N., “Structure and Applications of Poly(vinyl alcohol) Hydrogels Produced by Conventional Crosslinking or by Freezing/Thawing Methods“, *Polymer Science and Engineering Laboratories*, IN 47907-1283, USA 12-15 (1999).
- [110] Părpăriță, E., Cheaburu, N. C., Pațachia, S. F., and Vasile, C., 2014, Polyvinyl alcohol/chitosan/montmorillonite nanocomposites preparation by freeze/thaw cycles and characterization, *Acta Chemica Iasi*, 22(2), 75-96
- [111] Öztürk, B., 2011, *Preparation and Characterization of Crosslinked Chitosan Based Hydrogels*, Master Thesis, Dokuz Eylül University Graduate School of Natural and Applied Sciences
- [112] Pivovar, B. S., Wang, Y., Cussler, E. L., “Pervaporation membranes in Direct Methanol Fuel Cells“, *Journal of Membrane Science*, 154: 155-162 (1999).
- [113] Gopi, S., Amalraj, A., Kalarikkal, N., Zhang, J., Thomas, S., & Guo, Q. (2019). Preparation and characterization of nanocomposite films based on gum arabic, maltodextrin and polyethylene glycol reinforced with turmeric nanofiber isolated from turmeric spent. *Materials Science and Engineering: C*, 97, 723-729.

- [114] Barsbay, M., & Güner, A. (2006). Miscibility of dextran and poly (ethylene glycol) in dilute aqueous solutions. II. Effect of temperature and composition. *Journal of applied polymer science*, 100(6), 4587-4594.
- [115] Tuğlu, T. (2013). *Enzimatik Polikaprolakton-polietilenglikol Kopolimerizasyonu Ve Reaksiyon Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [116] Chen, J. (2008). Molecular recognition in terms of a dimensionless index. 2. Thermodynamic patterns of intermolecular interactions of PEG and its alcohol substrates. *The Journal of Physical Chemistry B*, 112(6), 1706-1711.
- [117] Lee, J. W., Hua, F. J., & Lee, D. S. (2001). Thermoreversible gelation of biodegradable poly (ϵ -caprolactone) and poly (ethylene glycol) multiblock copolymers in aqueous solutions. *Journal of Controlled Release*, 73(2-3), 315-327.
- [118] Albay, N.Z. (2005). Polietilen Glikol-Tuz-Su Sistemlerinde Viskozite Tayini. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.*
- [119] Striolo, A., & Prausnitz, J. M. (2000). Vapor-liquid equilibria for some concentrated aqueous polymer solutions. *Polymer*, 41(3), 1109-1117.
- [120] Kölgelir, S. (2020). *Biyodizel Üretim Atığından Gliserin Eldesi* (Master's thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [121] Piçkin, E., Kaitian, X., Denkbağ E. B., & Küçükyavuz, Z. (1996). Novel PDLLA/PEG copolymer micelles as drug carriers. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 7(4), 359-373.
- [122] Fabra, M. J., Talens, P., & Chiralt, A. (2008). Tensile properties and water vapor permeability of sodium caseinate films containing oleic acid-beeswax mixtures. *Journal of Food Engineering*, 85(3), 393-400.
- [123] Lourdin, D., Bizot, H., & Colonna, P. (1997). "Antiplasticization" in starch-glycerol films?. *Journal of Applied Polymer Science*, 63(8), 1047-1053.
- [124] Deveci, ğ. T. (2008). *Atık gliserinlerden çeşitli polimerlerin sentezi* (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [125] Fabra, M. J., Talens, P., & Chiralt, A. (2008). Tensile properties and water vapor permeability of sodium caseinate films containing oleic acid-beeswax mixtures. *Journal of Food Engineering*, 85(3), 393-400.

- [126] Shirwaikar, A., Shirwaikar, A., Prabu, S. L., & Kumar, G. A. (2008). Herbal excipients in novel drug delivery systems. *Indian journal of pharmaceutical sciences*, 70(4), 415.
- [127] Girgin, B. (2017). *Melatonin yüklü aljinat/gam arabik kürelerin üretimi ve ilaç salım özelliklerinin araştırılması* (Master's thesis, Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [128] Kalia, S., & Averous, L. (2011). *Biopolymers: biomedical and environmental applications* (Vol. 70). John Wiley & Sons.
- [129] Sharma, J. K., Akhtar, M. S., Ameen, S., Srivastava, P., & Singh, G. (2015). Green synthesis of CuO nanoparticles with leaf extract of *Calotropis gigantea* and its dye-sensitized solar cells applications. *Journal of Alloys and Compounds*, 632, 321-325.
- [130] Nethravathi, P. C., Kumar, M. P., Suresh, D., Lingaraju, K., Rajanaika, H., Nagabhushana, H., & Sharma, S. C. (2015). *Tinospora cordifolia* mediated facile green synthesis of cupric oxide nanoparticles and their photocatalytic, antioxidant and antibacterial properties. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 33, 81-88.
- [131] Velsankar, K., RM, A. K., Preethi, R., Muthulakshmi, V., & Sudhahar, S. (2020). Green synthesis of CuO nanoparticles via *Allium sativum* extract and its characterizations on antimicrobial, antioxidant, antilarvicidal activities. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104123.
- [132] Arunkumar, B., Jeyakumar, S. J., & Jothibas, M. (2019). A sol-gel approach to the synthesis of CuO nanoparticles using *Lantana camara* leaf extract and their photo catalytic activity. *Optik*, 183, 698-705.
- [133] Sivaraj, R., Rahman, P., Rajiv, P., & Venckatesh, R. (2014, October). Biogenic zinc oxide nanoparticles synthesis using *Tabernaemontana Divaricate* leaf extract and its anticancer activity against MCF-7 breast cancer cell Lines. In *International Conference on Advances in Agricultural, Biological & Environmental Sciences 2014*.
- [134] Nasrollahzadeh, M., Sajadi, S. M., Rostami-Vartooni, A., & Hussin, S. M. (2016). Green synthesis of CuO nanoparticles using aqueous extract of *Thymus vulgaris* L. leaves and their catalytic performance for N-arylation of indoles and amines. *Journal of colloid and interface science*, 466, 113-119.

- [135] Maruthupandy, M., Zuo, Y., Chen, J.-S., Song, J.-M., Niu, H.-L., Mao, C.-J., ... Shen, Y.-H. (2017). Synthesis of metal oxide nanoparticles (CuO and ZnO NPs) via biological template and their optical sensor applications. *Applied Surface Science*, 397, 167–174.
- [136] Tahir, K., Nazir, S., Li, B., Khan, A. U., Khan, Z. U. H., Gong, P. Y., ... & Ahmad, A. (2015). Nerium oleander leaves extract mediated synthesis of gold nanoparticles and its antioxidant activity. *Materials Letters*, 156, 198-201.
- [137] Singh, J., Kumar, V., Kim, K. H., & Rawat, M. (2019). Biogenic synthesis of copper oxide nanoparticles using plant extract and its prodigious potential for photocatalytic degradation of dyes. *Environmental research*, 177, 108569.
- [138] Rafique, M., Shafiq, F., Gillani, S. S. A., Shakil, M., Tahir, M. B., & Sadaf, I. (2020). Eco-friendly green and biosynthesis of copper oxide nanoparticles using Citrofortunella microcarpa leaves extract for efficient photocatalytic degradation of Rhodamin B dye form textile wastewater. *Optik*, 208, 164053.
- [139] Mohamed, E. A. (2020). Green synthesis of copper & copper oxide nanoparticles using the extract of seedless dates. *Heliyon*, 6(1), e03123.
- [140] Zhang, W., Guo, F., Wang, F., Zhao, N., Liu, L., Li, J., & Wang, Z. (2014). Synthesis of quinazolines via CuO nanoparticles catalyzed aerobic oxidative coupling of aromatic alcohols and amidines. *Organic & biomolecular chemistry*, 12(30), 5752-5756.
- [141] Gunalan, S., Sivaraj, R., & Venckatesh, R. (2012). Aloe barbadensis Miller mediated green synthesis of mono-disperse copper oxide nanoparticles: optical properties. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 97, 1140-1144.
- [142] Yallappa, S., Manjanna, J., Sindhe, M. A., Satyanarayan, N. D., Pramod, S. N., & Nagaraja, K. (2013). Microwave assisted rapid synthesis and biological evaluation of stable copper nanoparticles using T. arjuna bark extract. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 110, 108-115.
- [143] Singh, J., Kumar, V., Kim, K. H., & Rawat, M. (2019). Biogenic synthesis of copper oxide nanoparticles using plant extract and its prodigious potential for photocatalytic degradation of dyes. *Environmental research*, 177, 108569. [144] Akintelu, S. A., Folorunso, A. S., Folorunso, F. A., & Oyebamiji, A. K. (2020).

- Green synthesis of copper oxide nanoparticles for biomedical application and environmental remediation. *Heliyon*, 6(7), e04508.
- [145] Devatha, C. P., Jagadeesh, K., & Patil, M. (2018). Effect of Green synthesized iron nanoparticles by *Azadirachta Indica* in different proportions on antibacterial activity. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 9, 85-94.
- [146] Fazlzadeh, M., Rahmani, K., Zarei, A., Abdoallahzadeh, H., Nasiri, F., & Khosravi, R. (2017). A novel green synthesis of zero valent iron nanoparticles (NZVI) using three plant extracts and their efficient application for removal of Cr (VI) from aqueous solutions. *Advanced Powder Technology*, 28(1), 122-130.
- [147] Afsheen, S., Tahir, M. B., Iqbal, T., Liaqat, A., & Abrar, M. (2018). Green synthesis and characterization of novel iron particles by using different extracts. *Journal of Alloys and Compounds*, 732, 935-944.
- [148] Mehr, E. S., Sorbiun, M., Ramazani, A., & Fardood, S. T. (2018). Plant-mediated synthesis of zinc oxide and copper oxide nanoparticles by using *ferulago angulata* (schlecht) boiss extract and comparison of their photocatalytic degradation of Rhodamine B (RhB) under visible light irradiation. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29(2), 1333-1340.
- [149] Sebeia, N., Jabli, M., & Ghith, A. (2019). Biological synthesis of copper nanoparticles, using *Nerium oleander* leaves extract: characterization and study of their interaction with organic dyes. *Inorganic Chemistry Communications*, 105, 36-46.
- [150] Sackey, J., Nwanya, A., Bashir, A. K. H., Matinise, N., Ngilirabanga, J. B., Ameh, A. E., ... & Maaza, M. (2020). Electrochemical properties of *Euphorbia pulcherrima* mediated copper oxide nanoparticles. *Materials Chemistry and Physics*, 244, 122714.
- [151] Chowdhuri, A., Gupta, V., Sreenivas, K., Kumar, R., Mozumdar, S., & Patanjali, P. K. (2004). Response speed of SnO₂-based H₂S gas sensors with CuO nanoparticles. *Applied Physics Letters*, 84(7), 1180-1182.
- [152] Rai, B. P. (1988). Cu₂O solar cells: a review. *Solar cells*, 25(3), 265-272.
- [153] Siddiqui, V. U., Ansari, A., Chauhan, R., & Siddiqui, W. A. (2021). Green synthesis of copper oxide (CuO) nanoparticles by *Punica granatum* peel extract. *Materials Today: Proceedings*, 36, 751-755.

- [154] Vishveshvar, K., Krishnan, M. A., Haribabu, K., & Vishnuprasad, S. (2018). Green synthesis of copper oxide nanoparticles using *Ixiro coccinea* plant leaves and its characterization. *BioNanoScience*, 8(2), 554-558.
- [155] Waris, A., Din, M., Ali, A., Ali, M., Afridi, S., Baset, A., & Khan, A. U. (2020). A comprehensive review of green synthesis of copper oxide nanoparticles and their diverse biomedical applications. *Inorganic Chemistry Communications*, 123(2021), 108369.
- [156] Jain, S., Jain, A., & Devra, V. (2014). Experimental investigation on the synthesis of copper nanoparticles by chemical reduction method. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5.
- [157] Buazar, F., Sweidi, S., Badri, M., & Kroushawi, F. (2019). Biofabrication of highly pure copper oxide nanoparticles using wheat seed extract and their catalytic activity: A mechanistic approach. *Green Processing and Synthesis*, 8(1), 691-702.
- [158] Rajesh, K. M., Ajitha, B., Reddy, Y. A. K., Suneetha, Y., & Reddy, P. S. (2018). Assisted green synthesis of copper nanoparticles using *Syzygium aromaticum* bud extract: Physical, optical and antimicrobial properties. *Optik*, 154, 593-600.
- [159] Ghareib, M., Abdallah, W., Tahon, M., & Tallima, A. (2019). Biosynthesis Of Copper Oxide Nanoparticles Using The Preformed Biomass Of *Aspergillus Fumigatus* And Their Antibacterial And Photocatalytic Activities. *Digest Journal of Nanomaterials & Biostructures (DJNB)*, 14(2).
- [160] Sharma, S., Virk, K., Sharma, K., Bose, S. K., Kumar, V., Sharma, V., ... & Kalia, S. (2020). Preparation of gum acacia-poly (acrylamide-IPN-acrylic acid) based nanocomposite hydrogels via polymerization methods for antimicrobial applications. *Journal of Molecular Structure*, 1215, 128298.
- [161] Sovová, T., Kocí, V., & Kochánková, L. (2009, October). Ecotoxicity of nano and bulk forms of metal oxides. In *Proceedings, NANOCON Conference, Roznov pod Radhostem. Czech Republic* (pp. 62-71).
- [162] Jacob, P. J., Masarudin, M. J., Hussein, M. Z., & Rahim, R. A. (2019). Optimization of process parameters influencing the sustainable construction of iron oxide nanoparticles by a novel tropical wetlands *Streptomyces* spp. *Journal of Cleaner Production*, 232, 193-202.

- [163] Han, Z., Jin, J., Wang, Y., Zhang, Z., Gu, J., Ou, M., & Xu, X. (2019). Encapsulating TiO₂ into polyvinyl alcohol coated polyacrylonitrile composite beads for the effective removal of methylene blue. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 30(2), 211-223.
- [164] Kharazmi, A., Faraji, N., Hussin, R. M., Saion, E., Yunus, W. M. M., & Behzad, K. (2015). Structural, optical, opto-thermal and thermal properties of ZnS–PVA nanofluids synthesized through a radiolytic approach. *Beilstein journal of nanotechnology*, 6(1), 529-536.
- [165] Kharazmi, A., Saion, E., Faraji, N., Hussin, R. M., & Yunus, W. M. M. (2014). Structural, optical and thermal properties of PVA/CdS nanocomposites synthesized by radiolytic method. *Radiation Physics and Chemistry*, 97, 212-216.
- [166] Omkaram, I., Chakradhar, R. S., & Rao, J. L. (2007). EPR, optical, infrared and Raman studies of VO₂⁺ ions in polyvinylalcohol films. *Physica B: Condensed Matter*, 388(1-2), 318-325.
- [167] Karthikeyan, B., Hariharan, S., Sasidharan, A., Gayathri, V., Arun, T., Akbari-Fakhrabadi, A., & Madhumitha, C. (2019). Optical, vibrational and fluorescence recombination pathway properties of nano SiO₂-PVA composite films. *Optical Materials*, 90, 139-144.
- [168] Rao, T. R., Omkaram, I., Sumalatha, B., Brahmam, K. V., & Raju, C. L. (2012). Electron paramagnetic resonance and optical absorption studies of manganese ions doped in polyvinyl (alcohol) complexed with polyethylene glycol polymer films. *Ionics*, 18(7), 695-701.
- [169] Liu, P., Chen, W., Liu, C., Tian, M., & Liu, P. (2019). A novel poly (vinyl alcohol)/poly (ethylene glycol) scaffold for tissue engineering with a unique bimodal open-celled structure fabricated using supercritical fluid foaming. *Scientific reports*, 9(1), 1-12.
- [170] Das, A., Uppaluri, R., & Das, C. (2019). Feasibility of poly-vinyl alcohol/starch/glycerol/citric acid composite films for wound dressing applications. *International journal of biological macromolecules*, 131, 998-1007.
- [171] Acharya, S., Hu, Y., Moussa, H., & Abidi, N. (2017). Preparation and characterization of transparent cellulose films using an improved cellulose dissolution process. *Journal of Applied Polymer Science*, 134(21).

- [172] Xiao, C., Zhang, Z., Zhang, J., Lu, Y., & Zhang, L. (2003). Properties of regenerated cellulose films plasticized with α -monoglycerides. *Journal of applied polymer science*, 89(13), 3500-3505.
- [173] Gulão, E. D. S., de Souza, C. J., da Silva, F. A., Coimbra, J. S., & Garcia-Rojas, E. E. (2014). Complex coacervates obtained from lactoferrin and gum arabic: Formation and characterization. *Food research international*, 65, 367-374.
- [174] Zhang, Y., Chen, L., Hu, G. Q., Zhang, N., Zhu, X. D., Yang, K. Y., ... & Ma, J. (2019). Gemcitabine and cisplatin induction chemotherapy in nasopharyngeal carcinoma. *New England Journal of Medicine*, 381(12), 1124-1135.
- [175] Zhang, Y. C., Tang, J. Y., Wang, G. L., Zhang, M., & Hu, X. Y. (2006). Facile synthesis of submicron Cu₂O and CuO crystallites from a solid metallorganic molecular precursor. *Journal of crystal growth*, 294(2), 278-282.
- [176] Verma, R., & Mahmood, N. (2021). Bioinspired synthesis of inorganic nanomaterials. In *Green Sustainable Process for Chemical and Environmental Engineering and Science* (pp. 171-200). Elsevier.
- [177] Yugandhar, P., Vasavi, T., Rao, Y. J., Devi, P. U. M., Narasimha, G., & Savithramma, N. (2018). Cost effective, green synthesis of copper oxide nanoparticles using fruit extract of *Syzygium alternifolium* (Wt.) Walp., characterization and evaluation of antiviral activity. *Journal of Cluster Science*, 29(4), 743-755.
- [178] Ghalia, M. A., & Dahman, Y. (2015). Radiation crosslinking polymerization of poly (vinyl alcohol) and poly (ethylene glycol) with controlled drug release. *Journal of Polymer Research*, 22(11), 1-9.
- [179] Wang, C., Feng, L., Yang, H., Xin, G., Li, W., Zheng, J., ... & Li, X. (2012). Graphene oxide stabilized polyethylene glycol for heat storage. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 14(38), 13233-13238.
- [180] Tsuchiya, Y., & Sumi, K. (1969). Thermal decomposition products of poly (vinyl alcohol). *Journal of Polymer Science Part A-1: Polymer Chemistry*, 7(11), 3151-3158.
- [181] Ballistreri, A., Foti, S., Montaudo, G., & Scamporrino, E. (1980). Evolution of aromatic compounds in the thermal decomposition of vinyl polymers. *Journal of Polymer Science: Polymer Chemistry Edition*, 18(4), 1147-1153.

- [182] Jose, J., Shehzad, F., & Al-Harthi, M. A. (2014). Preparation method and physical, mechanical, thermal characterization of poly (vinyl alcohol)/poly (acrylic acid) blends. *Polymer bulletin*, 71(11), 2787-2802.
- [183] Falqi, F. H., Bin-Dahman, O. A., Hussain, M., & Al-Harthi, M. A. (2018). Preparation of miscible PVA/PEG blends and effect of graphene concentration on thermal, crystallization, morphological, and mechanical properties of PVA/PEG (10 wt%) blend. *International Journal of Polymer Science*, 2018.
- [184] Shehap, A. M. (2008). Thermal and spectroscopic studies of polyvinyl alcohol/sodium carboxy methyl cellulose blends. *Egypt. J. Solids*, 31(1), 75-91.
- [185] Mohsin, M., Hossin, A., & Haik, Y. (2011). Thermal and mechanical properties of poly (vinyl alcohol) plasticized with glycerol. *Journal of Applied Polymer Science*, 122(5), 3102-3109.
- [186] Thomson, J. J. (1893). *Notes on recent researches in electricity and magnetism: intended as a sequel to Professor Clerk-Maxwell's Treatise on electricity and magnetism*. Clarendon Press.
- [187] Lorentz, H. A. (1892). *La théorie électromagnétique de Maxwell et son application aux corps mouvants* (Vol. 25). EJ Brill.
- [188] Rao, V., Ashokan, P. V., & Shridhar, M. H. (2000). Studies of dielectric relaxation and ac conductivity in cellulose acetate hydrogen phthalate–poly (methyl methacrylate) blends. *Materials Science and Engineering: A*, 281 (1-2), 213-220.
- [189] Barik, P., Bhattacharjee, A., & Roy, M. (2015). Preparation, characterization and electrical study of gum arabic/ZnO nanocomposites. *Bulletin of Materials Science*, 38(6), 1609-1616.
- [190] Menazea, A. A. (2020). One-Pot Pulsed Laser Ablation route assisted copper oxide nanoparticles doped in PEO/PVP blend for the electrical conductivity enhancement. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(2), 2412-2422.

ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı : Fatma AYDENİZ

Yabancı Diller : İngilizce, Korece

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2021, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Temel Kimyalar ve Termodinamik Bilim Dalı Tezli Yüksek Lisans
- 2017, Munzur Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü
- 2014, Diyarbakır Özel Bağlar Hastanesi
- 2012, Siirt Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, Kimya Teknolojisi