



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ ANABİLİM DALI
Protetik Diş Tedavisi

Doktora Tezi

**YEŞİL SENTEZ GÜMÜŞ NANOPARTİKÜL KATKILI NANOFİBER İLE
GÜÇLENDİRİLMİŞ POLİMETİLMETAKRİLAT (PMMA) REZİN
KOMPOZİTLERİN ÜRETİLMESİ VE ANTİMİKROBİYAL VE MEKANİK
AKTİVİTELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Meryem ERDOĞDU
ORCID: 0000-0002-2430-0687

Danışman
Prof. Dr. Ali Rıza TUNÇDEMİR
ORCID: 0000-0002-6114-3369

Bu tez çalışması, Necmettin Erbakan Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından
23DR24002 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Konya – 2024

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Doktora tez yolculuğum süresince engin bilgi ve deneyimi ile bu yolda ilerlememde yardımcı olan çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Ali Rıza TUNÇDEMİR'e sonsuz saygı ve şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmanın yerine getirilmesine imkan sağlayan Necmettin Erbakan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı akademik ve teknik personeline,

Deneyisel çalışmalarım ve tez yazım sürecim boyunca benden yardımlarını esirgemeyen ve desteklerini unutamayacağım Doç Dr. Fatih Erci, Dr. Ahmet Burçin Batıbay, Dr. Öğr. Üyesi Vildan Erci'ye

Ayrıca yaşadığım her türlü zorluğa rağmen hiçbir desteği benden esirgemeyen sevgili aileme,

Çalışkanlık, düzenlilik, kendine güvende bana örnek olan ve bu süreçteki şüphesiz en büyük destekçim olan değerli eşim Dr. Behiç Selman Erdoğan'ya, her anımda sarsılmaz desteği ve empatisiyle bana sürekli güç kaynağı olan oğlum Kasım Erdoğan'ya da en derin şükranlarımı sunarım.

Meryem ERDOĞDU

Eylül 2024

İÇİNDEKİLER

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TEZ ONAY SAYFASI.....	vi
TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU	vii
BİLİMSEL ETİK BEYANNAMESİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT	xv
1.GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
2.GENEL BİLGİLER	3
2.1. Dental Protez Kaideleri	3
2.1.1. Dental protez kaidelerinin tarihçesi.....	3
2.1.2. Dental protez kaide materyalleri	4
2.1.3. Dental protez kaide materyallerinin yapısı.....	5
2.1.4. Dental protez kaide materyallerinin sınırlamaları	6
2.1.5. Güncel dental protez kaide üretim yöntemleri	7
2.1.6. Dental kaide materyallerini güçlendirme yöntemleri	12
2.2. Nanoteknoloji	14
2.2.1. Nanofiberler	16
2.2.2. Nanopartiküller.....	18
2.2.3. Gümüş nanopartiküller	19
2.2.4. Gümüş nanopartiküllerinin sentez yöntemleri	20
2.2.5. Gümüş nanopartikül katkılı nanofiber içerikli PMMA	21
2.3. Çalışmada Kullanılan Renk Ölçüm Metodu	22
2.4. Çalışmada Kullanılan Mekanik Test Yöntemi	24
2.5. Çalışmada Kullanılan Nanofiberlerin Üretim Metodu.....	25
2.6. Çalışmada Kullanılan Nanomalzemelerin Karakterizasyon Metotları.....	26
2.6.1. X-ışını difraktometresi analizi (XRD).....	26
2.6.2. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometresi (FT-IR)	27
2.6.3. Termogravimetrik analiz (TGA)	28
2.6.4. Zeta potansiyel ölçümü	29
2.6.5. Temas açısı ölçümü	30
2.6.6. FE-SEM görüntüleme – EDS analizi	31
3.GEREÇ VE YÖNTEM	33
3.1. Gereçler	33

3.1.1. Ekipman	33
3.1.2. Kimyasallar	33
3.2. Yöntem	34
3.2.1. Yeşil sentezde kullanılacak bitkilerin temini ve ekstraktlarının elde edilmesi	34
3.2.2. AgNP sentezi.....	35
3.2.3. PVP nanofiberlerin elde edilmesi.....	36
3.2.4. Sentezlenen nanomalzemelerin ve nanofiberlerin karakterizasyonu	37
3.2.5. AgNP katkılı PVP içerikli PMMA rezin kompozitlerinin üretilmesi	39
3.2.6. Üretilen AgNP katkılı PVP içerikli PMMA rezin kompozitlerinin renk analizi.....	40
3.2.7. Üretilen AgNP katkılı PVP içerikli PMMA rezin kompozitlerinin mekanik analizi	40
3.2.8. Sentezlenen nanomalzemelerin antibakteriyel aktiviteleri	40
4.BULGULAR	43
4.1. AgNP’lerin Karakterizasyonu	43
4.2. AgNP Yüklü PVP Nanofiberlerin Üretimi ve Karakterizasyonu.....	49
4.3. AgNP Yüklü PVP Nanofiber İçerikli PMMA Rezin Üretimi ve Karakterizasyonu	54
4.4. Nanofiberlerin ve Üretilen Rezin Yapılarının Antimikrobiyal Aktivitelerinin Ölçülmesi	59
5.TARTIŞMA	63
5.1. AgNP’lerin Karakterizasyonu	63
5.2. AgNP Yüklü PVP’lerin Üretimi ve Karakterizasyonu	65
5.3. AgNP Yüklü PVP Nanofiber İçerikli PMMA Rezin Üretimi ve Karakterizasyonu	67
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	75
7. KAYNAKLAR.....	77
8. EKLER.....	97
8.1. EK 1 Etik Kurul Kararı	97

TEZ ONAY SAYFASI

Necmettin Erbakan Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı Doktora Öğrencisi **MERYEM ERDOĞDU**'nun “Yeşil sentez gümüş nanopartikül katkılı nanofiber ile güçlendirilmiş Polimetilmetakrilat (PMMA) rezin kompozitlerin üretilmesi ve antimikrobiyal ve mekanik aktivitelerinin değerlendirilmesi” başlıklı tezi tarafımızdan incelenmiş; amaç, kapsam ve kalite yönünden Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Konya / 3 Eylül 2024

Tez Danışmanı	Prof. Dr. Ali Rıza Tunçdemir Necmettin Erbakan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı	İmzası
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Dilek Menziletoğlu Necmettin Erbakan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Cerrahi Anabilim Dalı	İmzası
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Mehmet Gökberkkaan Demirel Necmettin Erbakan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı	İmzası
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Necla Demir Selcuk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı	İmzası
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Serhan Akman Selcuk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı	İmzası

Yukarıdaki tez, Necmettin Erbakan Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 04/09/2024 tarih ve 20/08 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hasibe VURAL

Enstitü Müdürü

TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Yeşil Sentez Gümüş Nanopartikül Katkılı Nanofiber İle Güçlendirilmiş Polimetilmetakrilat (PMMA) Rezin Kompozitlerin Üretilmesi Ve Antimikrobiyal Ve Mekanik Aktivitelerinin Değerlendirilmesi başlıklı tez çalışmamın toplam 75 sayfalık kısmına ilişkin, 03.09.2024 tarihinde tez danışmanım tarafından **Turnitin** adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı **%4** olarak belirlenmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

1. Tez kabul sayfası hariç
2. Tez çalışması orijinallik raporu sayfası hariç
3. Bilimsel etik beyannamesi sayfası hariç
4. Ön söz hariç
5. İçindekiler hariç
6. Simgeler ve kısaltmalar hariç
7. Materyal ve metot hariç
8. Kaynaklar hariç
9. Alıntılar dahil
10. 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Necmettin Erbakan Üniversitesi Tez Çalışması Orijinallik Raporu Uygulama Esaslarını inceledim ve tez çalışmamın, bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranının (%20) altında olduğunu ve intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Tarih: 03.09.2024

İmza

Meryem ERDOĞDU

İmza

Prof. Dr. Ali Rıza TUNÇDEMİR

BİLİMSEL ETİK BEYANNAMESİ

Bu tezin tamamının kendi çalışmam olduğunu, planlanmasından yazımına kadar tüm aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini, tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez hazırlama kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel kurallara uygun olarak atıf yapıldığını ve bu kaynakların kaynaklar listesine eklendiğini beyan ederim.

03.09.2024

İmza

Meryem ERDOĞDU

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

%: Yüzde

°C: Santigrat derece

°C/dk: Santigrat derece/dakika

Δ : Delta

cm: Santimetre

g: Gram

keV: Kiloelektron volt

kV : Kilovolt

mg: Miligram

mL: Mililitre

mL/s: Mililitre/saat

mm: Milimetre

mM: Milimolar

nm: Nanometre

rpm: Dakikadaki devir sayısı

θ : Theta

μm : Mikrometre

KISALTMALAR

3D: 3 boyutlu

PMMA: PoliMetilMetAkrilat

PVP: Polyvinylpyrrolidone

MMA: MetilMetAkrilat

NP: Nanopartikül

CAD/CAM: Bilgisayar Destekli Tasarım/Bilgisayar Destekli Üretim

SLA: Stereolitografi

DLP: Dijital Işık İşleme

DMD: Mikromirror cihazı

ZrO₂: Zirkonyum Oksit

TiO₂: Titanyum Oksit

Ag: Gümüş

CaCO₃: Kalsiyum Karbonat

AgNP: Gümüş Nanopartikül

XRD: X-ışını kırınımı

FT-IR: Fourier dönüşümlü kızılötesi

TGA: Termogravimetrik analiz

FE-SEM: Alan Emisyon Taramalı Elektron Mikroskopisi

AgNO₃: Gümüş Nitrat

Cu K- α : Bakır K-alfa

DLS: Dinamik Işık Saçılması

PDI: Polidispersite İndeksi

EDS: Enerji Dağıtıcı Spektrometre

SDB: Sabouraud Dekstroz Broth

SDA: Sabouraud Dekstroz Agar

UV-Vis: Morötesi-Görünür

SD: Standart sapma

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo No	Sayfa No
Tablo 3.1. Çalışmada oluşturulan grupların özellikleri.....	34
Tablo 4.1. Rezin/PVP-AgNP'lerin eğilme dayanımı sonuçları.....	56
Tablo 4.2. Rezin/PVP-AgNP kompozitlerinin ortalama ΔE_{00} değerleri.....	57

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil No	Sayfa No
Şekil 3.1. Elde edilen bitki ekstraktı.....	35
Şekil 3.2. Sentezlenen AgNP.....	36
Şekil 3.3. Elektroeğirme cihazı ile nanofiber üretimi.....	37
Şekil 3.4. Üretilmiş boş PVP ve PVP-AgNP'ler.....	37
Şekil 4.1. Nanopartikül sentezi sırasındaki renk değişimi.....	43
Şekil 4.2. AgNP'lerin absorbands spektrumu grafiği.....	44
Şekil 4.3. Nanopartiküllerin XRD analizi.....	45
Şekil 4.4. Nanopartiküllerin FTIR analizi.....	46
Şekil 4.5. Nanopartiküllerin FESEM analizleri ve ortalama çaplarının dağılımı.....	47
Şekil 4.6. Nanopartiküllerin EDS analizi.....	48
Şekil 4.7. Nanopartiküllerin zeta potansiyeli.....	49
Şekil 4.8. PVP ve PVP-AgNP fiberlerin XRD analizleri.....	49
Şekil 4.9. PVP ve PVP-AgNP fiberlerin FTIR analizleri.....	50
Şekil 4.10. PVP ve PVP-AgNP fiberlerin TGA analizleri.....	51
Şekil 4.11. PVP ve PVP-AgNP fiberlerin FESEM analizleri ve boyut ölçümleri.....	52
Şekil 4.12. PVP ve PVP-AgNP fiberlerin FESEM EDS analizleri.....	53
Şekil 4.13. PVP-AgNP nanlif yüklü PMMA rezinlerin FESEM analizleri.....	54
Şekil 4.14. PVP-AgNP nanlif yüklü PMMA rezinlerin mekanik analizleri değerleri.....	55
Şekil 4.15. Resin/PVP-AgNP'lerin eğilme dayanımı.....	56
Şekil 4.16. Kontrol grubuna göre Resin/PVP-AgNP kompozitlerinin renk değişim grafiği.....	58
Şekil 4.17. Kontrol grubuna göre Resin/PVP-AgNP kompozitlerinin renk değişimleri.....	58
Şekil 4.18. VP-AgNP nanlif yüklü PMMA rezinlerin ısılatma açısı.....	59
Şekil 4.19. Resin/PVP-AgNP'lerin antimikrobiyal sonuçları.....	60
Şekil 4.20. Katkılanmış resin örneklerinin kontrol grubuna oranla % <i>C.albicans</i> inhibisyon grafiği.....	61

ÖZET

Necmettin Erbakan Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü
Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı
Protetik Diş Tedavisi

Doktora Tezi

YEŞİL SENTEZ GÜMÜŞ NANOPARTİKÜL KATKILI NANOFİBER İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ POLİMETİLMETAKRİLAT (PMMA) REZİN KOMPOZİTLERİN ÜRETİLMESİ VE ANTIMİKROBİYAL VE MEKANİK AKTİVİTELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Meryem ERDOĞDU

Konya-2024

3D üretim tekniği, dental protez kaideleri de dahil olmak üzere çeşitli dental bileşenlerinin üretimindeki potansiyel uygulamaları nedeniyle diş hekimliğinde büyük ilgi görmektedir. 3D ile üretilen protez kaide rezinlerinin geleneksel ve CAD-CAM PMMA polimerlerine kıyasla daha düşük mekanik dayanım gösterdiği bilinmektedir. Ayrıca, 3D yazdırılmış protez kaide rezinlerinde diğer malzemelere kıyasla *C.albicans* adezyonunun artma potansiyeli bilinmektedir ve bu da biyofilm oluşumu konusunda endişe yaratmaktadır. 3D yazdırılmış PMMA protez kaide malzemeleri diş hekimliğinde yenilikçi olanaklar sunarken, mekanik özellikler ve biyofilm oluşumu gibi sınırlamaları ele alınarak klinik uygulamaya başarılı bir şekilde entegre olmalarını sağlamak büyük önem arz etmektedir. 3D baskıyı da içeren eklemeli üretim tekniği, diş hekimliğinde geleneksel çıkarmalı üretim yöntemlerine bir alternatif sunarak, gelişmiş özelleştirme ve hızlı geri dönüş sürelerine sahip hasta özelinde cihazların üretilmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca, dental protez kaidelerine nanofiber veya nanogümüş gibi materyallerin eklenmesine yönelik gelişmeler, protez kaide malzemelerine dahil edilmesini sağlayarak materyalin mekanik ve antibakteriyel olarak desteklenmesi açısından potansiyel faydalar sunmaktadır. 3D yazıcı ile üretilen PMMA protez kaide materyalleri üzerine yapılan araştırma bulgularının sentezi sonucunda, klinik uygulamada protez kaidelerinin performansını ve uzun ömürlülüğünü artırmak için nanofiber ve nanogümüş maddelerinin dahil edilme potansiyelinin dikkate alınmasının önemini vurgulanmaktadır. Gümüş nanopartiküller (AgNP), üstün antibakteriyel aktiviteleri sebebiyle yaygın olarak kullanım alanı bulmaktadır. Bununla birlikte, AgNP'lerin yüksek biyoyumluluğa sahip Polyvinylpyrrolidon (PVP) nanofiberlere katılanması ve bu kompleksin de PMMA protez kaidelerine eklenmeleri, rezinin mekanik ve antibakteriyel özelliklerini desteklemesi açısından umut vadetmektedir. Gümüş nanopartiküller için yeşil sentez yöntemlerinin kullanımı, çevre dostu yapıları nedeniyle dikkat çekmektedir. Yeşil sentez gümüş nanopartiküllerin nanofiberlere katılanması ile PMMA rezin kompozitlerinin sentezi, geliştirilmiş antimikrobiyal ve mekanik aktivitelere sahip malzemeler oluşturmak için umut verici bir yaklaşım sunmaktadır. Bu çalışma, bitki ekstraktları kullanılarak sentezlenen gümüş nanopartiküllerin, elektroçerme yöntemi ile üretilen nanofiberlere yüklenmesi ve bu nanofiberlerin 3D PMMA rezinlerine katılanması ile elde edilen yeni bir malzemenin antimikrobiyal ve mekanik özelliklerini incelemeyi amaçlamaktadır.

Yapılan tez çalışması kapsamında; bitki ekstraktları kullanılarak AgNP sentezinin ve karakterizasyonunun gerçekleştirilmesi, AgNP yüklü Polyvinylpyrrolidone (PVP) nanofiberlerin elektroçerme yöntemi ile sentezi, AgNP katkı PVP ile güçlendirilmiş PMMA rezin kompozitlerin üretilmesi, karakterizasyonu, mekanik ve antimikrobiyal testlerin yapılması temel hedef olarak belirlendi. Bu amaç doğrultusunda, AgNP'ler *Thymus* sp. (kekik) bitki ekstraktları kullanılarak oda sıcaklığında yeşil sentez ile elde edildi. PVP ve farklı konsantrasyonlarda AgNP katkı PVP nanofiberleri elektroçerme yöntemiyle üretildi. Farklı oranlarda PVP/AgNP nanofiber katkı 3D PMMA dental protez kaidesi üretildi. Elde edilen numuneler farklı analiz yöntemleri kullanılarak karakterize edildi. 3 nokta eğilme testi ile numunelerin eğilme dayanımı hesaplandı. Malzemelerin renk bakımından klinik olarak kabul edilebilirliği, CIEDE2000 formülüyle hesaplandı. Numunelerin *C. albicans*'a karşı sergilemiş olduğu antimikrobiyal aktiviteleri belirlendi. Sonuç olarak; AgNP'lerin sentez sırasında oluşumları UV-Vis analizi ile doğrulandı. XRD analizi ile nanopartiküllerin kristal yapıları ortaya çıkarıldı. Ayrıca AgNP içeriğinin artmasıyla birlikte geniş piklerin azaldığı tespit edildi. Sentezlenen AgNP'ler

FTIR spektroskopisi kullanılarak analiz edildi. Sentezlenen AgNP'lerin FTIR spektrum analizi, kekik ekstraktının aktif biyomoleküller içerdiğini ve bunların AgNP sentezi sırasında Ag^+ iyonlarının biyo-indirgenmesini kolaylaştırdığını gösterdi. Nanofiberli kompozitlerde PVP matrisi ile AgNP'ler arasında moleküler etkileşimlerin varlığı ortaya kondu. AgNP'lerin genel olarak küresel formda ve homojen bir dağılım gösterdiği FESEM analizi ile tespit edildi. AgNP oranı arttıkça nanofiber ortalama çaplarının küçüldüğü belirlendi. Ayrıca, nanofiberlerin eşit uzunluklarda parçalanarak homojen bir şekilde rezin içerisinde dağıtıldığı ortaya çıkarıldı. EDS spektrum analizi ile AgNP'lerde elementer gümüş sinyallerinin varlığı tespit edildi. Ayrıca, AgNP'lerin nanofiberlere katkılanmaları doğrulanmış olup aynı zamanda nanofiberler içerisinde AgNP'lerin homojen bir dağılım gösterdiği ortaya çıktı. Zeta potansiyel analizi ile AgNP'lerin kolloidal olarak stabil oldukları ortaya koyuldu. TGA analizleri ile, PVP nanofiberlerinde AgNP konsantrasyonu arttıkça termal bozunma miktarının arttığı gözlemlendi. 3 nokta eğilme testi sonucunda maksimum kuvvet uzama değerleri elde edildi. Buna göre AgNP'lerin rezinde esneme miktarını arttırdığını gösterdi. Yeşil sentezlenmiş AgNP'lerin maksimum kuvvette bir düşüşe sebebiyet verdikleri görüldü, AgNP katkılı PVP nanofiberlerin ise tam tersi olarak maksimum kuvvette rezin örneğine göre önemli bir artışa sebep olduğu gözlemlendi. 3 nokta eğilme testi ile, yeşil sentezlenmiş AgNP'lerin eğilme dayanımında bir düşüşe sebebiyet verdiği diğer yandan AgNP katkılı PVP nanofiberlerin ise eğilme dayanımını rezin örneğine göre istatistiksel olarak önemli bir oranda arttırdığı tespit edildi. Renk analizi ile, PVP ve AgNP konsantrasyonları arttıkça, klinik olarak kabul edilebilir renk değişim eşiğinin geçildiği görüldü. Temas açısı ölçümü ile, AgNP konsantrasyonunun artması ile rezin temas açısının küçüldüğü tespit edildi. Ayrıca, antimikrobiyal aktivitenin AgNP konsantrasyonu ile arttığı görüldü. Numunelerin *C. albicans* inhibisyon değerleri sonucunda, modifiye edilen rezin örneklerinin *C. albicans*'a karşı değişen derecelerde inhibisyon sergilediği gösterildi. AgNP ve PVP'nin PMMA rezin matrisine dahil edilmesinin, modifiye edilmemiş PMMA rezine kıyasla, antifungal özelliklerini geliştirdiği görüldü.

Anahtar Kelimeler: 3D PMMA dental protez kaidesi, *C. albicans*, PVP nanofiber, yeşil sentez AgNP.

ABSTRACT

Necmettin Erbakan University, Graduate School of Health Sciences
Department of Prosthetic Dentistry Therapy
Prosthetic Dentistry Therapy

Doctoral Thesis

PRODUCTION OF POLYMETHYLMETHACRYLATE (PMMA) RESIN COMPOSITES WITH GREEN SYNTHESIS SILVER NANOPARTICLES DOPED NANOFIBER AND EVALUATION OF THEIR ANTIMICROBIAL AND MECHANICAL ACTIVITIES

Meryem ERDOĞDU

Konya-2024

The 3D manufacturing technique is of great interest in dentistry due to its potential applications in the production of various dental components, including dental prosthetic bases. 3D-produced denture base resins are known to exhibit lower mechanical strength compared to conventional and CAD-CAM PMMA polymers. Furthermore, 3D printed denture base resins are known to have the potential for increased *C. albicans* adhesion compared to other materials, which raises concerns about biofilm formation. While 3D printed PMMA denture base materials offer innovative possibilities in dentistry, it is important to address limitations such as mechanical properties and biofilm formation to ensure their successful integration into clinical practice. Additive manufacturing, including 3D printing, offers an alternative to traditional subtractive manufacturing methods in dentistry, enabling the production of patient-specific devices with enhanced customization and fast turnaround times. Furthermore, advances in the incorporation of materials such as nanofibers or nanosilver into dental prosthetic bases offer potential benefits in terms of mechanical and antibacterial support of the material, enabling its incorporation into prosthetic base materials. The synthesis of research findings on 3D printed PMMA prosthetic base materials highlights the importance of considering the potential of incorporating nanofiber and nanosilver materials to improve the performance and longevity of prosthetic bases in clinical practice. Silver nanoparticles (AgNPs) are widely used due to their superior antibacterial activity. However, the doping of AgNPs into highly biocompatible Polyvinylpyrrolidone (PVP) nanofibers and the addition of this complex to PMMA denture bases is promising in terms of supporting the mechanical and antibacterial properties of the resin. The use of green synthesis methods for silver nanoparticles has attracted attention due to their environmentally friendly nature. The synthesis of PMMA resin composites with nanofiber doped with green synthesis silver nanoparticles offers a promising approach to create materials with improved antimicrobial and mechanical activities. This study aims to investigate the antimicrobial and mechanical properties of a new material obtained by loading silver nanoparticles synthesized using plant extracts into nanofibers produced by electrospinning and doping these nanofibers into 3D PMMA resins.

Within the scope of the thesis study, the main objectives of the study were the synthesis and characterization of AgNP using plant extracts, synthesis of AgNP loaded Polyvinylpyrrolidone (PVP) nanofibers by electrospinning method, production, characterization, mechanical and antimicrobial tests of AgNP doped PVP reinforced PMMA resin composites. For this purpose, AgNP was obtained by green synthesis at room temperature using *Thymus* sp. (thyme) plant extracts. PVP and PVP doped with different concentrations of AgNP were produced by electrospinning method. PVP/AgNP doped 3D PMMA dental prosthesis base with different ratios was produced. The obtained samples were characterized using different analysis methods. 3-point bending test was used to calculate the bending strength of the specimens. The clinical acceptability of the materials in terms of color was calculated with the CIEDE2000 formula. The antimicrobial activity of the samples against *C. albicans* was determined. In conclusion; the formation of AgNPs during synthesis was confirmed by UV-Vis analysis. XRD analysis revealed the crystal structures of the nanoparticles. It was also found that the broad peaks decreased with increasing AgNP content, indicating the success of mixed spinning of AgNP and PVP. The synthesized AgNPs were analyzed using FTIR spectroscopy. FTIR spectrum analysis of the synthesized AgNPs showed that thyme extract contained active biomolecules, which facilitated the bio-reduction of Ag^+ ions during AgNP synthesis. The

existence of molecular interactions between the PVP matrix and AgNPs in nanofiber composites was revealed. It was determined by FESEM analysis that AgNPs generally showed a spherical form and homogeneous distribution. It was determined that the average diameter of the nanofibers decreased as the AgNP ratio increased. It was also revealed that the nanofibers were homogeneously distributed in the resin by fragmenting in equal lengths. EDS spectrum analysis revealed the presence of elemental silver signals in AgNPs. Furthermore, the doping of AgNPs into nanofibers was confirmed and it was also revealed that AgNPs were homogeneously distributed in the nanofibers. Zeta potential analysis revealed that AgNPs were colloidally stable. TGA analysis showed that the amount of thermal degradation increased with increasing AgNP concentration in PVP nanofibers. As a result of 3-point bending test, maximum force elongation values were obtained. According to this, AgNPs increased the amount of flexing in the resin. Green synthesized AgNPs caused a decrease in the maximum force, while AgNP doped PVP nanofibers caused a significant increase in the maximum force compared to the resin sample. The 3-point flexural test showed that the green synthesized AgNPs caused a decrease in flexural strength, while the AgNP-doped PVP nanofibers statistically significantly increased the flexural strength compared to the resin sample. Color analysis showed that as PVP and AgNP concentrations increased, the clinically acceptable color change threshold was exceeded. By contact angle measurement, it was determined that the resin contact angle decreased with increasing AgNP concentration. Measurement of antimicrobial activity showed that antimicrobial activity increased with AgNP concentration. The *C.albicans* inhibition values of the samples showed that the modified resin samples exhibited varying degrees of inhibition against *C.albicans*. Incorporation of AgNP and PVP into the PMMA resin matrix was found to improve the antifungal properties compared to unmodified PMMA resin.

Keywords: 3D PMMA dental prosthesis base, *C.albicans*, PVP nanofiber, green synthesis AgNP.

1.GİRİŞ VE AMAÇ

3 boyutlu (3D) yazıcı ile üretilen dental protez kaideleri, sayısız avantajları nedeniyle modern diş hekimliğinde giderek daha önemli hale gelmektedir. Diş hekimliğinde 3D baskı teknolojisinin kullanılması, son derece hassas ve özelleştirilmiş dental protezlerinin üretilmesini sağlayarak bu alanda devrim yaratmıştır (Dhull, 2023). Bu teknoloji, protezlerin oluşturulmasında üstün hassasiyet sağlamaktadır. Ayrıca hastaya özel bakım sunmaktadır ve kılavuzların geliştirilmesi yoluyla cerrahi planlamayı geliştirmektedir (Dhull, 2023). 3D dental protez kaidelerinin en önemli avantajlarından biri, geleneksel üretim tekniklerini ortadan kaldırarak, hastalara sağlanan genel bakım kalitesini artırarak bireyselleştirilmiş dental protezleri oluşturma yeteneğidir (None ve Domysche, 2024). 3D baskı teknolojisinin sunduğu özelleştirme, dental implantların, protezlerin ve ortodontik cihazların benzersiz bir hassasiyet ve doğrulukla üretilmesine olanak tanır (Haidar, 2023). 3D baskının kullanımı, rekonstrüktif diş hekimliğinde kişiselleştirilmiş iş akışlarının geliştirilmesine de uzanmakta ve 3D baskılı dental biyomateryaller kullanılarak aslına uygun protez rehabilitasyonuna olanak sağlamaktadır (Joda ve Zitzmann, 2022). 3D dental protez kaideleri çok sayıda avantaj sunarken, dikkate alınması gereken sınırlamalar da vardır. 3D baskıyı diş hekimliği pratiğine entegre ederken standartlaştırılmış üretim teknikleri, biyoyumlu malzemeler ve düzenleyici hususlara duyulan ihtiyaç gibi zorluklar mevcuttur (Palanisamy, 2024). Ayrıca, diş hekimliği alanında yaygın olarak benimsenmesini sağlamak için teknolojinin malzeme biyoyumluluğu, uzun vadeli dayanıklılık ve maliyet etkinliği ile ilgili sorunları ele almak için daha fazla iyileştirilmesi gerekebilir. Yeşil sentez gümüş nanopartikül katkılı Nanofiberler (PVP) ile güçlendirilmiş PMMA dental bazların geliştirilmesi, dental materyallerin hem antimikrobiyal hem de mekanik özelliklerini geliştirmek için diş hekimliğinde yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. Protetik diş tedavisinde yaygın olarak kullanılan bir biyomateryal olan PMMA (Zafar, 2020), çeşitli dolgu maddeleri, lifler ve nano dolgu maddelerinin dahil edilmesiyle iyileştirme için kapsamlı bir şekilde incelenmiştir (Gad, Fouda, ve ark., 2017). Gümüş nanopartiküllerin antibakteriyel ve antifungal etkilere sahip olduğu kanıtlanmıştır, bu da ağız enfeksiyonlarını önlemeye ve protez kullanıcılarında ağız sağlığını iyileştirmeye yardımcı olabilmektedir (Flores-Arriaga ve ark., 2020; Jiao ve ark., 2017). Gümüş nanopartikül yüklü selüloz nanokristalleri ile modifiye edilmiş PMMA kompozit rezinleri üzerine yapılan araştırmalar, gelişmiş mekanik özelliklere, antibakteriyel aktivitelere ve biyoyumluluklara sahip malzemeler oluşturmayı amaçlamaktadır (Chen ve ark., 2018). Benzer şekilde, PMMA protez kaide rezinlerinin grafen ile güçlendirilmesinin fiziko-mekanik özellikleri geliştirdiği bulunmuştur ve bu da grafenin

dental materyalleri iyileştirme potansiyelini ortaya koymaktadır (Bacali, Badea, ve ark., 2019). Ayrıca, PMMA kompozitlerinde bakteriyel selüloz nanofiber ağlarının kullanılması, kırılma direncinin ve darbe dayanımının arttığını göstererek nanofiberlerin dental malzemelerin mekanik özelliklerini geliştirmedeki rolünün altını çizmiştir (Santmartí ve ark., 2019). Sonuç olarak, yeşil sentez gümüş nanopartikül katkılı nanofiberlerin PMMA dental kaidelerine entegrasyonu, dental uygulamalarda antimikrobiyal etkinlik ve mekanik mukavemet gibi ikili gereksinimleri karşılayarak dental malzeme biliminde önemli bir ilerlemeyi temsil etmektedir. Nanofiberler, nanopartiküller ve nanokompozitler üzerine yapılan çeşitli çalışmalardan elde edilen bilgiler ışığında bu araştırma, yenilikçi ve yüksek performanslı dental materyallerin geliştirilmesine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

Araştırmanın Soruları ya da Araştırmanın Hipotezleri

Tezin Amacı

- Bitki ekstraktı kullanarak gümüş nanopartiküllerin sentezinin gerçekleştirilmesi ve karakterizasyonu
- Gümüş nanopartikül yüklü nanofiberlerin elektroegirme yöntemi ile sentezi ve karakterizasyonu
- Gümüş nanopartikül katkılı nanofiber ile güçlendirilmiş PMMA rezin kompozitlerin üretilmesi
- Elde edilen rezin kompozitlerin mekanik ve antimikrobiyal özellik yönünden incelenmesi

Elde edilen rezin kompozitlerin yalnız fiber ve nano içerikli rezinlere göre mekanik, renk ve antimikrobiyal yönünden değerlendirilerek karşılaştırılması tezin amaçlarındandır.

Tezin Hipotezi

Yeşil sentez yolu ile çevre dostu sentez sisteminde sentezlenen gümüş nanopartiküller ile katkılanmış daha ince ve homojen üretilen nanofiberlerin PMMA rezinine katkılanması sonucunda uluslararası renk standardına uygun, gelişmiş antimikrobiyal etkiye ve mekanik etkiye sahip PMMA dental kaide materyallerinin elde edilmesi çalışmamızın hipotezini oluşturmaktadır.

2.GENEL BİLGİLER

2.1. Dental Protez Kaideleri

Dental protez kaideleri, yarı veya tam dişsiz hastalara uygulanan hareketli protezlerin yumuşak doku üzerine oturan, kaybedilen yumuşak dokunun yerini alan ve yapay dişlerin bağlandığı bir parça olarak tanımlanmaktadır. Bu kaideler, hastanın ağız yapısına ve diş eksikliğinin durumuna göre özel olarak tasarlanır ve üretilir. Dental protez kaideleri, hem estetik hem de fonksiyonel amaçlarla kullanılır ve hastanın çiğneme, konuşma ve gülümseme gibi günlük aktivitelerini gerçekleştirmesine yardımcı olur. Dental protez kaideleri, hareketli protezler ve sabit protezler olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır. Hareketli protezler, ağızda tutunmak için diş etlerine veya diğer dişlere dayanır ve çıkarılabilir özelliktedir. Sabit protezler ise dişlere sabitlenir ve çıkarılamaz. Her iki tür protez kaideleri de hastanın ihtiyaçlarına ve tercihlerine göre seçilir. Dental protez kaideleri, çeşitli materyallerden yapılmaktadır. Bu materyaller arasında akrilik reçine, porselen ve metal alaşımlar bulunur. Her materyalin kendine özgü avantajları ve dezavantajları vardır. Örneğin, akrilik rezin protezler uygun maliyetli ve hafif olmaları nedeniyle tercih edilirken, porselen protezler daha estetik bir görünüm sağlar. Metal alaşımlar ise dayanıklılık ve uzun ömürleri nedeniyle tercih edilir. Dental protez kaidelerinin hijyenine dikkat etmek de önemlidir. Hareketli protez kullanan hastaların protez hijyen alışkanlıklarına özen göstermeleri gerekmektedir. Protezlerin düzenli olarak temizlenmesi ve hijyenik bir şekilde saklanması, protez stomatiti gibi sorunların önlenmesine yardımcı olur (Zor ve ark., 2020). Dental protez kaideleri, diş hekimleri tarafından özenle tasarlanmalı ve uygulanmalıdır. Hastanın ağız yapısı, diş eksikliği durumu ve kişisel tercihler göz önünde bulundurularak en uygun protez kaideleri seçilmelidir. Ayrıca, protezlerin düzenli olarak kontrol edilmesi ve gerekli bakımların yapılması da önemlidir (Akkaya ve ark., 2018).

2.1.1. Dental protez kaidelerinin tarihçesi

Dental protez kaidelerinin tarihçesi, diş hekimliği alanındaki ilerlemelerle birlikte gelişmiştir. İlk protez kaideleri, antik Mısır dönemine kadar uzanmaktadır. Bu dönemde, insan ve hayvan dişlerinden yapılan protezler kullanılmaktaydı (Zor ve ark., 2020). Daha sonra, 18. yüzyılda diş protezleri için daha gelişmiş malzemeler ve teknikler kullanılmaya başlandı. Örneğin, porselen ve altın gibi malzemelerin kullanımı yaygınlaştı. Bu dönemde, protez kaideleri daha estetik ve dayanıklı hale getirilmeye çalışıldı (Yeşilova ve ark., 2018). 20. yüzyılda ise dental protezlerin üretiminde önemli ilerlemeler kaydedildi. Özellikle, PMMA gibi sentetik rezinlerin kullanımıyla protez kaideleri daha hafif ve kullanımı daha kolay hale

gelmektedir. Ayrıca, dijital teknolojilerin gelişmesiyle birlikte, protez kaidelerinin üretimi daha hassas ve özelleştirilebilir hale gelmiştir (Ayaz ve ark., 2017). Günümüzde, dental protez kaideleri çeşitli malzemelerden üretilmektedir. PMMA, titanyum, seramik ve zirkonyum gibi malzemeler sıklıkla kullanılan seçenekler arasındadır. Protez kaideleri, diş hekimlerinin hastalarına daha iyi bir estetik ve fonksiyonel çözüm sunabilmeleri için sürekli olarak geliştirilmektedir (Ayaz ve ark., 2016). Dental protez kaidelerinin tarihçesi, diş hekimliği alanındaki ilerlemelerle birlikte şekillenmiştir. Antik dönemlerden günümüze kadar geçen süreçte, malzemelerin ve tekniklerin gelişimiyle birlikte protez kaideleri daha estetik, dayanıklı ve kullanımı kolay hale gelmiştir. Günümüzde, dijital teknolojilerin kullanımıyla birlikte protez kaideleri daha hassas ve özelleştirilebilir hale getirilmektedir.

2.1.2. Dental protez kaide materyalleri

Dental protez kaidesi olarak kullanılan materyaller, geçmişten günümüze çeşitli gelişmeler göstermiştir. Bu materyallerin özellikleri, mekanik dayanıklılık, estetik görünüm, biyouyumluluk ve kolay temizlenebilirlik gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Geçmişte bugüne en sık kullanılan dental protez kaide materyalinin başında akrilik rezinler gelmektedir. Akrilik rezinlerin tercih edilme nedenleri arasında hafiflik, uygulama kolaylığı, estetik görünüm ve uygun fiyat gibi avantajlar bulunmaktadır. Bununla birlikte, akrilik rezinlerin darbe ve yorulmalara karşı direnci düşüktür ve düşük ısı iletkenlik özelliğine sahip olmaktadır (Kul ve Aladağ, 2016). Bu nedenle, bazı durumlarda metal alaşımlarından elde edilen kaide plakları tercih edilebilmektedir. Ayrıca, akrilik rezinlerin yüzey pürüzlülüğü ve bakteriyel kolonizasyon potansiyelinin de yüksek olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, akrilik rezinlerin yüzey pürüzlülüğünü azaltmak için farklı polisaj yöntemleri kullanılmıştır (Akşit ve ark., 2015). Daha sonraki dönemlerde, metal destekli protez kaide materyalleri geliştirilmiştir. Metal destekli protez kaide materyalleri, daha yüksek mekanik dayanıklılığa sahip olabilir ve daha ince tasarımlar için uygun olabilir. Ancak, metal destekli protez kaide materyalleri estetik açıdan sınırlamaları bulunabilir ve bazı hastalarda alerjik reaksiyonlara neden olabilir (Akşit ve ark., 2015). Son yıllarda, polimer bazlı kompozit materyallerin kullanımı artmıştır. Bu materyaller, akrilik reçinelerin mekanik özelliklerini iyileştirmek ve estetik gereksinimleri karşılamak için geliştirilmiştir. Polimer bazlı kompozit materyaller, daha iyi dayanıklılık, daha düşük ağırlık ve daha iyi renk stabilitesi gibi avantajlara sahip olabilir (Akşit ve ark., 2015). Dental protez kaide materyallerinin özellikleri, kullanım amacına ve hastanın ihtiyaçlarına bağlı olarak değişebilir. Bu nedenle, protez kaide materyali seçimi, bir diş hekimi tarafından hastanın durumu ve

tercihleri göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Ayrıca, protez kaide materyallerinin temizlenmesi ve dezenfeksiyonu için uygun ürünlerin seçimi de önemlidir.

Akrilik rezin protez kaidesi, günümüzde protez üretiminde hala yaygın olarak kullanılan bir malzemedir. Yapay dişlere destek ve stabilite sağlayan bir tür protez kaide malzemesidir. Akrilik rezin protez kaideleri tipik olarak bir akrilik rezin türü olan PMMA'dan yapılmaktadır (Gad, Fouda, ve ark., 2017). Akrilik rezin protez kaidelerinin önemli bir yönü fiziksel özellikleridir. Akrilik rezinin eğilme dayanımı protez kaidesinin kırılma direncini etkileyebilir. Eğilme mukavemetindeki bir azalma, darbe veya oklüzal kuvvetler nedeniyle daha yüksek bir kırık insidansına yol açabilir (Davi ve ark., 2009). Bu nedenle, protez kaideleri üretilirken akrilik rezinin fiziksel özelliklerinin dikkate alınması çok önemlidir. Bir diğer önemli husus da akrilik rezin protez kaidelerinin renk stabilitesidir. Protez kaide malzemelerinin renk stabilitesi çay, kahve ve nikotin gibi maddelere maruz kalma gibi faktörlerden etkilenebilir. Akrilik rezinde kullanılan monomerin kimyasal bileşimi de renk stabilitesini etkileyebilir (Imirzalioglu ve ark., 2010). İyi bir renk stabilitesi sağlamak, protezin estetik görünümünü korumak için önemlidir. Yüzey pürüzlülüğü, akrilik rezin protez kaidelerini değerlendirirken göz önünde bulundurulması gereken bir diğer faktördür. Protez kaidesinin yüzey pürüzlülüğü, kullanılan protez temizleyicilerinin türü gibi faktörlerden etkilenebilir. Bazı protez temizleyicileri akrilik rezinin yüzey pürüzlülüğünü artırabilir ve bu da protezin uyumunu ve konforunu etkileyebilir (Cakan ve ark., 2015). Akrilik rezin protez kaidelerinin üretim süreci de özelliklerini etkileyebilir. Geleneksel basınçlı üretim ve enjeksiyon kalıplama gibi farklı işleme yöntemleri, protez tabanının mikro sertliğini, yüzey pürüzlülüğünü ve su emilimini etkileyebilir (Moslehifard ve ark., 2022). Bu nedenle, protez kaidesinin optimum özelliklerini sağlamak için işleme yönteminin seçimi dikkatle değerlendirilmelidir. Özet olarak, akrilik rezin protez kaideleri protez üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Akrilik rezinin fiziksel özellikleri, renk stabilitesi, yüzey pürüzlülüğü ve üretim süreci protezin performansını ve estetiğini etkileyebilir. Hastalar için en iyi sonuçları elde etmek amacıyla akrilik rezin protez kaidelerini seçerken ve imal ederken bu faktörleri göz önünde bulundurmak önemlidir.

2.1.3. Dental protez kaide materyallerinin yapısı

Dental akrilik rezinin toz bileşeni polimetil metakrilattır (PMMA). Dental akrilik rezinin sıvı bileşeni ise metil metakrilat (MMA) monomeridir (Ha ve ark., 2022). PMMA, sıvı MMA monomerinin toz haline getirilmiş PMMA ko-polimeri ile karıştırılmasıyla şekillendirilebilmektedir. Sıvı MMA monomeri, hamur benzeri bir kıvam oluşturmak için

PMMA tozu ile karıştırılır ve daha sonra katı akrilik rezini oluşturmak için polimerize edilmektedir. Sıvı MMA monomeri, PMMA rezininin polimerizasyon sürecinde önemli bir bileşendir (Ha ve ark., 2022).

2.1.4. Dental protez kaide materyallerinin sınırlamaları

Protez kaide materyallerinin sınırlamaları mekanik, estetik, biyouyumluluk ve bakım dahil olmak üzere çeşitli alanlarda kategorize edilebilmektedir. Protez kaide malzemelerinin sınırlamalarından biri mekanik özellikleridir. En yaygın kullanılan protez kaide malzemesi olan PMMA sınırlı kırılma direncine sahiptir (Nejatian ve ark., 2015). Bu durum, protezin kırılma riskine ve sık sık onarım veya değiştirme ihtiyacına yol açabilmektedir (Maragliano-Muniz ve Kukucka, 2021). Ek olarak, PMMA zayıf dayanıklılığa sahiptir ve bu da protez kaide malzemesinin tekrar tekrar kırılmasına neden olabilmektedir (Kürkçüoğlu ve ark., 2012). Protez kaide materyallerinin sertliği de performanslarını etkileyebilmektedir. Esnek protez kaide malzemeleri geleneksel akrilik protez kaide malzemelerine alternatif olarak sunulmuştur, ancak sertlikleri tüm hastalar için uygun olmayabilir (Singh ve ark., 2011).

Estetik, protez kaide materyallerinin sınırlamalara sahip olduğu bir diğer alandır. Protez kaide malzemelerinin renk stabilitesi, kahve ve çay gibi içeceklerle maruz kalma gibi çeşitli faktörlerden etkilenebilmektedir (Chouksey ve ark., 2015). Protez kaide malzemelerinin renginin bozulması protezlerin estetik görünümünü etkileyebilir ve orijinal renklerine kavuşmaları için ek bakım gerektirebilir (Banu ve ark., 2020). Ek olarak, protez kaide malzemelerinin adaptasyon doğruluğu protezlerin estetiğini etkileyebilir. Kötü adaptasyon, protez tabanı ile ağız dokuları arasında boşluklara neden olarak rahatsızlığa ve estetikten ödün verilmesine yol açabilmektedir (C.-J. Lee ve ark., 2010).

Biyouyumluluk, protez kaide malzemeleri için önemli bir husustur. Protezin altındaki ağız mukozasının iltihaplanmasıyla karakterize edilen protez stomatiti, protez kaide malzemeleriyle ilişkili yaygın bir sorundur (Budalã ve ark., 2021). Candida kolonizasyonu ve protez stomatiti, protez kaide materyalleri modifiye edilerek ve antimikrobiyal ajanlar eklenerek en aza indirilebilir (Budalã ve ark., 2021). Bununla birlikte, protez kaide malzemesi seçimi yine de protez stomatitinin oluşumunu ve hastanın genel ağız sağlığını etkileyebilmektedir (Lakshmi ve Ramani, 2021).

Bakım, protez kaide malzemelerinin bir diğer sınırlamasıdır. Protezlerin kullanıma başlanmasından sonraki bakımı, özellikle geleneksel akrilik protez kaide materyallerinde zor

olabilir (Singh ve ark., 2011). Bu materyaller, kırılma ve aşınmaya yatkınlıkları nedeniyle sık sık ayarlama, onarım ve temizleme gerektirebilir (Singh ve ark., 2011). Protez kaide malzemelerinin temizlenebilirliği değişkenlik göstermektedir, bazı materyaller lekelenmeye ve renk bozulmasına daha yatkındır ve buna bağlı olarak planlamalarda materyallerin genel özelliği göz önünde bulundurarak tercih yapılmalıdır (Banu ve ark., 2020).

Sonuç olarak, protez kaide malzemeleri mekanik özellikleri, estetiği, biyouyumluluğu ve bakımı açısından çeşitli sınırlamalara sahiptir. Bu sınırlamalar; protezlerin performansını, konforunu ve estetiğini etkileyebilmenin yanı sıra kısıtlamaların üstesinden gelebilecek yeni malzemelerin araştırılması ve geliştirilmesi ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır.

2.1.5. Güncel dental protez kaide üretim yöntemleri

CAD/CAM (bilgisayar destekli tasarım/bilgisayar destekli üretim) teknolojisinin diş hekimliğine girmesi, protez ve hareketli protez üretimi alanında devrim yaratmıştır (Bilgin ve ark., 2016).

CAD/CAM kaide üretim yöntemi

CAD/CAM sistemleri, özellikle protez alanında olmak üzere klinik diş hekimliğine yaygın bir şekilde entegre edilmiştir (Ohara ve ark., 2022). Bu teknoloji, hareketli protezlerin baştan sona dijital olarak planlanmasını ve üretilmesini sağlar (Bilgin ve ark., 2016). CAD/CAM teknolojisinin diş hekimliğinde kullanımı 1980'lerin başına kadar uzanmaktadır (Mohamed ve Shaheen, 2019). O zamandan beri, CAD/CAM sistemleri restoratif diş hekimliği ve maksillofasiyal teknolojiye başarıyla dahil edilmiştir (Kanazawa ve ark., 2011). CAD/CAM teknolojisinin diş hekimliğindeki uygulaması, hareketli protezlerin dijital olarak planlanmasına ve üretilmesine olanak tanıyan yenilikler ve teknolojik gelişmelerle birlikte hızla genişlemiştir (Nassani ve ark., 2021). CAD/CAM protezlerin, geleneksel olarak işlenen protezlere kıyasla daha iyi uyum sağladığı gösterilmiştir (Steinmassl ve ark., 2018). Protez üretiminde CAD/CAM teknolojisinin kullanılması, klinik protokollerin değiştirilmesine ve kısaltılmasına, dijital veri arşivlemesine ve protez tabanlarının otomatik olarak üretilmesine yol açmıştır (Janeva ve ark., 2018). Buna ek olarak, CAD/CAM protezleri gelişmiş fiziksel ve mekanik özelliklere sahiptir ve bu da kalitenin artmasına yol açmaktadır (Janeva ve ark., 2018). CAD/CAM teknolojisinin hasta memnuniyeti açısından da avantajları olduğu gösterilmiştir. Geleneksel protezler ile CAD/CAM kullanılarak üretilen dijital protezlerin karşılaştırıldığı randomize bir çapraz çalışma, hastaların dijital protezlerden daha memnun olduğunu ortaya koymuştur (Ohara ve ark., 2022). CAD/CAM teknolojisi parsiyel protezlerin üretimine de uygulanmıştır. Bir

çalışmada, CAD/CAM teknolojisi kullanılarak tasarlanan ve üretilen polioksimetilen parsiyel protezlerin klinik performansı değerlendirilmiş ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir (İsmail ve ark., 2019). Genel olarak, CAD/CAM teknolojinin diş hekimliğine girmesi protez ve hareketli protez üretimi alanında büyük yenilikçiliğe sebep olmuştur. Protezlerin dijital olarak planlanmasına ve üretilmesine olanak tanıyarak daha iyi uyum, hasta memnuniyeti ve gelişmiş fiziksel ve mekanik özellikler sağlar. CAD/CAM teknolojinin diş hekimliğinde kullanımı, yazılım ve malzemelerdeki sürekli gelişmelerle birlikte genişlemeye ve gelişmeye devam etmektedir (Bencharit ve ark., 2021).

3D baskılı kaide üretim yöntemi

Diş hekimliğinde 3D baskının kullanılmaya başlanması, protez kaidelerinin üretim sürecinde yine büyük bir farkındalık yaratmıştır. Diş hekimliğinde, eklemeli üretim tekniği olan 3D baskı teknolojinin kullanımı 2000'li yılların başında dikkat çekmeye başlamıştır (Mohamed ve Shaheen, 2019). Bu teknoloji, bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımı ve bilgisayar destekli üretim (CAM) teknikleri kullanılarak protez kaidelerinin üretilmesine olanak sağlamaktadır. 3D baskılı protez kaidesi malzemelerinin kullanılmaya başlanması, dijital diş hekimliği alanında da ilerlemelere yol açmıştır. Ağız içi tarama ve CAD/CAM sistemleri gibi dijital iş akışlarının ve teknolojilerin kullanımı, protez üretim sürecini kolaylaştırmış ve tedavinin genel verimliliğini artırmıştır. Geleneksel olarak protez kaideleri, akrilik rezinlerinin ısıyla polimerize edilmesi ve otopolimerize edilmesi gibi geleneksel yöntemler kullanılarak üretilmekteydi (Perea-Lowery ve ark., 2021). Ancak, 3D baskı teknolojinin ortaya çıkmasıyla birlikte, protez kaideleri artık eklemeli üretim teknikleri kullanılarak oluşturulabilmektedir (Perea-Lowery ve ark., 2021). Protez kaidelerinin 3D baskı süreci birkaç adımdan oluşmaktadır. İlk olarak, 3D tarama teknolojisi kullanılarak hastanın ağız boşluğunun dijital bir taraması alınır (Javaid ve ark., 2019). Bu tarama daha sonra bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımı kullanılarak protez kaidesinin dijital bir modelini oluşturmak için kullanılır (Mendonça ve ark., 2021). Dijital model daha sonra, fiziksel protez kaidesini oluşturmak için katman katman eklemeli üretim sürecini kullanan bir 3D yazıcıya gönderilir (Mendonça ve ark., 2021). 3D baskılı protez kaidesi daha sonra hasta için pürüzsüz, estetik ve rahat bir uyum sağlamak için tamamlanır ve parlatılır (Mendonça ve ark., 2021). 3D baskı protez kaidelerinin avantajlarından biri, son derece özelleştirilmiş ve hassas protezler oluşturma yeteneğidir. Dijital tasarım süreci, protez kaidesinin şekli, boyutu ve uyumu üzerinde hassas kontrol sağlayarak hasta konforunu ve memnuniyetini artırır (Kalberer ve ark., 2019). Ek olarak, 3D baskı, geleneksel yöntemlerle elde edilmesi zor veya imkansız olan karmaşık geometrilere sahip

protez kaidelerinin üretilmesine olanak tanır (Kalberer ve ark., 2019). Protez kaidelerinin 3D baskısı için kullanılabilecek farklı malzemeler de vardır. PMMA rezinleri ve diğer biyouyumlu polimerler dahil olmak üzere 3D baskı protez kaideleri için kullanılabilecek çeşitli malzemeler bulunmaktadır. Bu malzemeler yüksek mukavemet, dayanıklılık ve biyouyumluluk gibi avantajlar sunmaktadır. Malzeme seçimi protez kaidesinin gücünü, dayanıklılığını ve renk stabilitesini etkileyebilir (H.-E. Lee ve ark., 2023). 3D baskı teknolojisi protez kaidelerinin üretiminde umut vaat etse de, hala üstesinden gelinmesi gereken bazı sınırlamalar ve zorluklar vardır. 3D baskılı protez kaidelerinin uzun vadeli performansını ve klinik sonuçlarını doğrulamak için daha fazla klinik çalışmaya ihtiyaç vardır (Anadioti ve ark., 2020). Ayrıca, 3D baskı ekipmanlarının ve malzemelerinin maliyeti, diş hekimliği uygulamalarında yaygın olarak benimsenmesinin önünde bir engel oluşturabilmektedir (Alhallak ve ark., 2022). Sonuç olarak, diş hekimliğinde 3D baskılı protez kaide malzemelerinin kullanımı protez tedavisi için yeni fırsatlar sağlamıştır. Bu teknolojinin geliştirilmesi, daha iyi uyum, konfor ve estetiğe sahip protez kaidelerinin üretilmesine olanak sağlamıştır. Ayrıca karmaşık geometriler oluşturma becerisiyle son derece özelleştirilmiş ve hassas protezlere de olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte, 3D baskılı protez kaidelerinin uzun vadeli performansını ve klinik sonuçlarını doğrulamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır ve maliyet hususları yaygın olarak benimsenmesini etkileyebilmektedir. Teknoloji gelişmeye devam ettikçe, 3D baskılı protez kaide malzemelerinde daha fazla ilerleme beklenebilir ve bu da hastalar için daha da iyi sonuçlara yol açabilmektedir.

Stereolitografi (SLA) ve Dijital Işık İşleme (DLP), 3D baskı alanında öne çıkan iki teknolojidir. SLA yazıcılar, x-y çözünürlüğünden bağımsız olarak rezini sertleştirmek için bir lazer ışını kullanırken, DLP yazıcılar resin katmanını katman katman polimerize etmek için bir dijital mikromirror cihazı (DMD) kullanır ve potansiyel olarak katman kenarlarında pikseli aydınlatma nedeniyle “merdiven basamaklarına” benzeyen ince eserlere yol açar (Grassia ve ark., 2023; Lai ve ark., 2022). Hem SLA hem de DLP, polimerizasyon için enerji kaynağı olarak bir lazer kullanan SLA ve dijital bir mikromirror cihazı kullanan DLP ile tekne fotopolimerizasyonu kategorisine girer (Bahati ve ark., 2022). Bu teknolojiler, basılı parçalarda yüksek çözünürlük ve iyi yüzey kalitesi sağlayan hassasiyetleri ve çok yönlülükleriyle bilinmektedir (Sedush ve ark., 2022). Doğruluk ve verimlilik açısından, DLP teknolojisi genellikle işlem süresinde SLA'dan daha iyi performans gösterir; DLP yazıcılar genellikle SLA ve PolyJet teknolojilerine kıyasla daha kısa işlem sürelerine sahiptir (Anunmana ve ark., 2020). Ek olarak, DLP yazıcılar yüksek doğrulukları ve klinik olarak kabul edilebilir sonuçları ile

dikkat çekmiş ve 100 µm'den daha az hata ölçümlerine sahip büyük boyutlu 3D baskılı modeller üretmiştir (Morón-Conejo ve ark., 2022). DLP 3D yazıcılar, SLA 3D yazıcılara göre çeşitli avantajlar sunar. DLP yazıcıların en önemli avantajlarından biri nispeten yüksek hassasiyet ve mükemmel yüzey kalitesidir (Kang ve ark., 2019; Y. J. Lee ve Lee, 2023). DLP teknolojisi, hızlı ışıqla sertleşen 3D baskıya olanak tanıyarak yüksek hassasiyet sağlar (J. H. Kim ve ark., 2022). Noktasal lazer taraması kullanan SLA'nın aksine DLP, 3D yapıları katman katman üretmek için düzlemsel dijital ışık modellerinin projeksiyonuna dayanır ve bu da süreci önemli ölçüde daha hızlı hale getirir (W. Li ve ark., 2021; Rade, 2024). Ayrıca, DLP yazıcıların SLA yazıcılara kıyasla dental model baskısı açısından daha doğru olduğu bulunmuştur (Costa ve ark., 2021; Tsolakis ve ark., 2022). Çalışmalar, DLP yazıcıların aynı rezin malzemeyi kullanırken SLA yazıcılara kıyasla daha yüksek doğruluk ve gerçeklik sergilediğini göstermiştir (Banjar ve ark., 2021; J. Lee ve ark., 2023). Ayrıca, DLP yazıcıların SLA yazıcılarla birlikte geleneksel yazıcılardan daha yüksek eğilme mukavemetine sahip olduğu bildirilmiştir (S.-M. Park ve ark., 2020).

Güncel kaide üretim yöntemleri arasındaki farklılıklar

3D baskı olarak bilinen eklemeli üretim ve bilgisayar destekli tasarım/bilgisayar destekli üretim (CAD/CAM) teknikleri aracılığıyla eksiltmeli üretim diş hekimliğini önemli ölçüde etkilemiştir. Her iki yöntem de bu alanda benzersiz avantajlar sunmaktadır. Eklemeli üretim, polimerler ve metaller gibi malzemeler kullanarak diş bileşenleri üretmek için değerli bir teknik olarak ortaya çıkmıştır (Khanlar ve ark., 2021). Bu yöntem, karmaşık geometrilerin hassas bir şekilde oluşturulmasını sağlayarak özelleştirilmiş dental implantlar ve protezler için çok uygundur. Ayrıca, Barazanchi ve arkadaşları (2016) tarafından yapılan bir inceleme, biyouyumlulukları ve estetik özellikleriyle bilinen zirkonya gibi seramikler de dahil olmak üzere diş hekimliğinde eklemeli üretim için mevcut olan çeşitli malzemelerin altını çizmektedir. CAD/CAM protez kaide malzemeleri ve 3D baskı protez kaide malzemeleri, geleneksel olarak üretilen kaide materyallerine göre potansiyel avantajları nedeniyle diş hekimliği alanında uzun zamandır dikkat odağı haline gelmiştir. CAD/CAM protezlerin, geleneksel olarak üretilen protezlere kıyasla daha iyi uyum ve protez kaide uyumu sergilediği bilinmektedir (Steinmassl ve ark., 2018). Öte yandan, CAD/CAM ile üretilen 3D baskı protez kaide malzemelerinin mekanik özellikleri hala tam olarak bilinmemektedir (Chung ve ark., 2018). Bir çalışma, yaygın bir mantar patojeni olan *Candida albicans*'ın CAD/CAM ve geleneksel olarak üretilen tam protez kaidelerinin yüzeylerine adezyonunu karşılaştırmıştır. *Candida albicans*'ın CAD/CAM protez kaidelerine adezyonunun, geleneksel olarak üretilen protez kaideleri ile karşılaştırılabilir

olduğu tespit edilmiştir (Alfouzan ve ark., 2017). Bir diğer araştırmada CAD/CAM ile frezelenmiş protez kaidelerinin doku yüzey adaptasyonu, geleneksel implant destekli mandibular overdenture'lar ile karşılaştırılmıştır. Dijital süperimpozisyon, CAD/CAM ile frezelenmiş protez kaidelerinin, enjeksiyon ve sıkıştırma kalıbı teknikleri gibi diğer tekniklere kıyasla daha yüksek uyum yüzeyi doğruluğu sergilediğini ortaya koymuştur (El-Shaheed ve ark., 2022). Mekanik özellikler açısından, piyasada bulunan CAD/CAM protez kaide rezinlerinin geleneksel olarak işlenen protez kaide rezinlerine kıyasla daha olumlu özelliklere sahip olduğu bulunmuştur (Steinmaßl ve ark., 2018). Ayrıca, CAD/CAM ile frezelenmiş ve 3D baskılı protez kaide rezinlerinin fiziksel, mekanik ve biyofilm oluşumunu önleyici özellikleri analiz edilmiş ve geleneksel ısıyla polimerize edilen materyallerle karşılaştırmalar yapılmıştır (Freitas ve ark., 2022). Çalışmalar ayrıca Candida albicans'ın CAD/CAM ile frezelenmiş, 3D baskılı ve ısıyla sertleştirilmiş PMMA rezin protez kaide malzemelerine yapışmasını ve farklı dezenfeksiyon tekniklerinin etkinliğini araştırmıştır (Koujan ve ark., 2022). CAD/CAM protezlerin uyum doğruluğu 3D baskılı protezlerle karşılaştırılmış ve CAD/CAM protezlerin protez kaidesinin çeşitli bölgelerinde önemli ölçüde daha iyi uyum gösterdiği görülmüştür (Charoenphol ve Peampring, 2022). Geleneksel olarak üretilen tam protezler ile 3D baskılı tam protezler arasında retansiyon ve protez kaidesi adaptasyonu değerlendirilmiş ve 3D baskılı protezlerin protez kaidesi adaptasyonu ve retansiyonu için tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir (Emera ve ark., 2022). CAD ile frezelenmiş ve basılmış protez kaide rezinlerinin bağlı protez dişleri ile kesme gerilimi analiz edilmiş ve farklı malzemeler arasında farklılıklar gözlemlenmiştir (Kane ve Shah, 2022).

3D baskılı protez kaideleri ile CAD/CAM protez kaideleri arasındaki temel farklar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Üretim Süreci: 3D baskılı protez kaideleri, nihai ürünü oluşturmak için malzeme katmanlarının biriktirildiği ve birbirine kaynaştırıldığı eklemeli üretim ile oluşturulur (Chung ve ark., 2018). Öte yandan, CAD/CAM protez kaideleri, bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli üretim teknolojisi kullanılarak üretilir. Dijital tasarım, önceden polimerize edilmiş bir malzemeden protez kaidesini frezelemek veya 3D yazdırmak için kullanılır (Baba ve ark., 2021).

2. Malzeme Özellikleri: CAD/CAM protez kaidelerinin, geleneksel olarak üretilen protezlere kıyasla daha düşük metakrilat monomer salınımı (Steinmassl ve ark., 2018), daha iyi protez kaidesi uyumu (Steinmassl ve ark., 2018) ve daha yüksek kırılma direnci

(Krishnamurthy ve ark., 2021) gibi daha olumlu malzeme özelliklerine sahip olduğu varsayılmaktadır. CAD/CAM protez kaidesi rezinleri oldukça yoğundur ve daha az mikro gözenekliliğe sahiptir, bu da gelişmiş özelliklerine katkıda bulunur (Steinmaßl ve ark., 2018). Öte yandan, 3D baskılı protez kaideleri, geleneksel protezlere kıyasla daha yüksek kırılma direncine ve daha yüksek aşınma direncine sahip olabilir (Krishnamurthy ve ark., 2021).

3. Doğruluk ve Uyum: CAD/CAM protezlerin 3D baskılı protezlere kıyasla genellikle daha iyi uyum ve doğruluğa sahip olduğu bildirilmektedir (Charoenphol ve Peampring, 2022). CAD/CAM teknolojisiyle frezelenmiş protez kaidelerinin genel olarak ve birincil stres taşıyan alanlarda daha iyi oturduğu görülürken, 3D baskılı protezler periferik sızdırmazlık alanında daha doğru olabilir (Charoenphol ve Peampring, 2022). CAD/CAM protezleri ayrıca daha iyi oklüzal kuvvet dağılımı modelleri sağlayabilir (Metwally, 2019).

4. Klinik Değerlendirmeler: CAD/CAM protezler, klinik uygulamada daha az koltuk süresi ve ziyaret sayısı, dijital arşivleme, daha yüksek retansiyon ve daha olumlu klinik ve hasta merkezli sonuçlar gibi çeşitli avantajlar sunar (Janeva ve ark., 2018). Bununla birlikte, CAD/CAM protezleri genellikle daha pahalıdır ve 3D baskılı protezlere kıyasla daha fazla malzeme israfına neden olabilir (Alhallak ve ark., 2022). Sonuç olarak, 3D baskılı protez kaideleri ile CAD/CAM protez kaideleri arasındaki temel farklar fabrikasyon süreci, malzeme özellikleri, doğruluk ve uyum ve klinik değerlendirmelerde yatmaktadır. CAD/CAM protezleri daha iyi malzeme özellikleri, uyum ve klinik sonuçlar sunar, ancak 3D baskılı protezlere kıyasla daha pahalı olabilir ve daha fazla malzeme israfına neden olabilir.

2.1.6. Dental kaide materyallerini güçlendirme yöntemleri

Dental kaide materyalleri, çeşitli dental restorasyonlar için bir temel sağlayarak restoratif diş hekimliğinde çok önemli bir rol oynar. Bu malzemeler dolgular, kronlar ve implantlar gibi restorasyonları desteklemek ve stabilize etmek için tasarlanmıştır. Boşlukları doldurmak, yapısal destek sağlamak ve restoratif materyallerin yerleştirilmesi için pürüzsüz bir yüzey oluşturmak için kullanılırlar. Yaygın olarak kullanılan bir dental kaide malzemesi rezin bazlı kompozittir. Resin bazlı kompozitler, ağızdaki yüksek basınç kuvvetlerine dayanma kabiliyetleri ve estetik özellikleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır (Pratap ve ark., 2019). Bu materyaller, restorasyona güç ve stabilite sağlayan resin matriks ve doldurucu partiküllerin karışımından oluşur. Resin bazlı materyallerin mukavemet ve aşınma direnci gibi mekanik özellikleri, klinik performanslarında önemli faktörlerdir (Suryawanshi, 2022).

Dental kaide malzemelere önemli katkı maddelerinden biri zirkonyadır. Zirkonya, mükemmel mekanik özellikleri nedeniyle diş hekimliğinde giderek daha fazla kullanılan güçlü bir seramik malzemedir. Genellikle çeşitli klinik uygulamalar için monolitik formda kullanılır (Zhang ve Lawn, 2017). Zirkonya bazlı malzemeler yüksek mukavemet, dayanıklılık ve biyouyumluluk sunarak diş hekimliğinde temel malzeme olarak kullanım için uygun hale gelir. Zeolit, dental malzemelerdeki antimikrobiyal ve mekanik etkileri için çalışılan bir başka katkı maddesidir. Zeolit, kompozit rezin, bonding ajanları, simanlar ve kavite baz materyalleri dahil olmak üzere çeşitli dental materyallere dahil edilmiştir. Antimikrobiyal özelliklere sahip olduğu ve dental materyallerin mekanik özelliklerini artırabildiği bulunmuştur (Hao ve ark., 2021). Bu katkılara ek olarak, Paris alçısı ve nanopartiküller gibi diğer malzemeler de dental temel malzemeler üzerindeki etkileri açısından araştırılmıştır. PoP, uzun vadeli stabilitelerinden ödün vermeden Portland siman bazlı dental materyallerin sertleşme süresini hızlandırmak için bir katkı maddesi olarak kullanılmıştır (O’Beirne ve ark., 2011). Nanopartiküller ise diş hekimliğinde, dental materyallerin mekanik özelliklerini ve antimikrobiyal aktivitesini iyileştirmek de dahil olmak üzere çeşitli amaçlarla kullanılmıştır (Priyadarsini ve ark., 2018).

Nanofiberlerin ve nanopartiküllerin protez kaide malzemesine dahil edilmesinin amacı, malzemenin özelliklerini ve performansını arttırmaktır (Monteiro ve ark., 2011). Gümüş gibi nanopartiküller, protez kullanıcılarında oral mukozal dokuları içeren enfeksiyonları kontrol etmeye yardımcı olan etkili bir antimikrobiyal malzeme oluşturmak için protez kaide rezinine eklenir (Monteiro ve ark., 2011). Nanopartiküller diğer materyallere kıyasla çeşitli avantajlar sunar ve koruyucu diş hekimliği, endodonti, restorasyon ve periodontal hastalıklar dahil olmak üzere çeşitli dental uygulamalarda kullanılabilir (Vasiliu ve ark., 2021). Protez kaide malzemelerine nanopartiküllerin eklenmesi, gelişmiş özelliklere sahip nanokompozitler üretmeyi amaçlamaktadır (Azmy ve ark., 2021). Bu nanokompozitler, protez kaide malzemelerinin renk stabilitesini artırabilir (Azmy ve ark., 2021). Protez kaide rezinine zirkonyum oksit nanopartiküllerinin eklenmesi, malzemenin farklı kalınlıklarda eğilme özelliklerini iyileştirebilir (Albasarah ve ark., 2021). Titanyum oksit, silikon oksit ve alümina gibi nanopartiküllerin eklenmesi, protez kaidesi ile silikon yumuşak astar arasındaki adezyonu da etkileyebilir (Borg, 2021). Özelliklerin iyileştirilmesine ek olarak, nanopartiküllerin protez kaide rezinlerine dahil edilmesi antimikrobiyal etkilere sahip olabilir. Oral Kandidiyazın önlenmesine yardımcı olabilir ve dental materyallerin mikroorganizmalar tarafından kolonizasyonunu azaltabilir (Gligorijević ve ark., 2022; Yudaev ve ark., 2022). Bakır (II) oksit nanopartiküller ve halloysit nanotüpler gibi nanopartiküller, dental protez alanında

antimikrobiyal malzemeler olarak umut vaat etmektedir (Yudaev ve ark., 2022). Ayrıca, protez kaide malzemelerinin nanopartiküllerle güçlendirilmesi mekanik özelliklerini iyileştirebilir. Örneğin, PMMA protez kaide rezinine çinko oksit nanopartiküllerinin eklenmesinin fiziksel özelliklerde iyileşmeye neden olduğu bildirilmiştir (Aboshama ve ark., 2022). Benzer şekilde, PMMA dental kaide polimer rezinine kalsiyum karbonat nanopartiküllerinin eklenmesi, malzemenin radyopasitesini ve renk stabilitesini artırabilir (Mikael ve ark., 2018). Özetle, protez kaide malzemesine nanofiber ve nanopartiküllerin eklenmesi, antimikrobiyal özelliklerini, renk stabilitesini, adezyon ve mekanik özelliklerini iyileştirmeyi ve sonuçta protez kullanıcıları için daha iyi ağız sağlığı ve genel yaşam kalitesine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

2.2. Nanoteknoloji

Nanoteknoloji, malzemelerin ve cihazların nanometre ölçeğinde tasarlanması, üretilmesi ve kullanılmasıyla ilgilenen bir bilim dalıdır (Verma ve Chauhan, 2014). Nanoteknoloji, çok sayıda uygulama ve potansiyel fayda ile diş hekimliğinde umut verici bir alan olarak ortaya çıkmıştır. Geçmişten bugüne; koruma, prognoz, bakım, doku rejenerasyonu, restorasyon ve ortodonti dahil olmak üzere diş hekimliğinin çeşitli alanlarında yaygın olarak çalışılmış ve uygulanmıştır (Carrouel ve ark., 2020; George, 2017; Stefani ve ark., 2020). Nanoteknolojinin umut vaat ettiği önemli alanlardan biri de dental materyallerin geliştirilmesidir. Nanopartiküllerin, ağız bakım kozmetiklerinde antimikrobiyal, anti-enflamatuar ve remineralize edici ajanlar olarak kullanıldığı bilinmektedir (Carrouel ve ark., 2020). Örneğin, gümüş nanopartiküller antibakteriyel özellikleri ve dental materyallerde potansiyel kullanımları açısından araştırılmıştır (Fernandéz ve ark., 2021; Suhani ve ark., 2018). Karbon nanofiberler de rezin simanları ve ilaç taşıyıcıları gibi dental malzemelerdeki uygulamaları için araştırılmıştır (Castro-Rojas ve ark., 2021). Nanoteknoloji ağız sağlığı bakımı alanında da kullanılmaktadır. Nanorobotik diş macunu, diş aşırı duyarlılığı ve ortodontik bakım için potansiyel bir tedavi olarak önerilmiştir (Suhani ve ark., 2018). Ayrıca nanoteknoloji, ilaçların etkinliğini, tolere edilebilirliğini, özgüllüğünü ve terapötik indeksini artırarak oral ilaç dağıtımını da dahil olmak üzere ilaç dağıtım sistemlerini iyileştirme potansiyeline sahiptir (Sharma ve ark., 2015).

Nanoteknoloji, protetik diş tedavisinde de önemli bir rol oynamaktadır. Protetik diş tedavisinde nanoteknoloji, çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Protezlerin yapımında ve uygulanmasında çeşitli nanomateryaller kullanılmaktadır. Nanomateryaller, nanoskala

boyutlarda yapılan malzemelerdir ve özellikle dental protezlerde birçok avantaj sunmaktadır. Nanomateryaller, diş protezlerinin dayanıklılığını artırmak ve doğal diş dokusuyla daha uyumlu hale getirmek için kullanılmaktadır (Verma ve Chauhan, 2014). Bu materyaller, protezlerin estetik görünümünü iyileştirebilir ve ağız içinde daha uzun süre dayanıklılık sağlayabilmektedir. Ayrıca nanoteknoloji, lokal anestezi uygulamalarında da kullanılmaktadır. Nanoteknoloji sayesinde, anestezi maddelerin etkinliği artırılabilir ve ağrı hissi azaltılabilmektedir (Verma ve Chauhan, 2014). Bu, protetik diş tedavisi sırasında hastaların daha konforlu bir deneyim yaşamasına da olanak sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, nanoteknoloji, dişlerin onarımı ve renaturalizasyonu alanında da kullanılmaktadır. Nanomateryaller, diş minesinin yeniden mineralizasyonunu teşvik edebilir ve dişlerin doğal beyazlığını geri kazanmalarına yardımcı olabilir. Bu, dişlerin sağlığını ve estetiğini iyileştirmek için kullanılan yenilikçi bir yaklaşımdır. Son olarak, nanoteknoloji, dental implantlar ve ağız kanserlerinin teşhis ve tedavisi alanında da kullanılmaktadır. Nanoteknoloji sayesinde, implantların yüzey özellikleri iyileştirilebilir ve implantların kemikle daha iyi entegrasyonu sağlanabilir. Ayrıca, nanoteknoloji, ağız kanserlerinin erken teşhisini ve tedavisini kolaylaştırmak için kullanılan yenilikçi görüntüleme ve ilaç taşıma sistemleri geliştirmektedir. Nanoteknolojinin protetik diş tedavisindeki bu faydaları, diş hekimlerine daha etkili ve hasta dostu tedavi seçenekleri sunmaktadır.

Bir çalışmada, hareketli protez kullanan hastaların protez hijyen alışkanlıkları ve protez stomatiti görülme sıklığı değerlendirilmiştir (Zor ve ark., 2020). Bu çalışma, dental protezlerin hijyeninin önemini vurgulamaktadır. Hijyenik olmayan protezler, ağızda enfeksiyonlara ve diğer sorunlara neden olabilir. Bu nedenle, nanomateryallerin antibakteriyel özellikleri ve kolay temizlenebilirlik sağlaması, protez hijyenini artırmak için kullanılan bir avantajdır. Bir başka çalışmada, dental protez verilerinin adli tıpta kullanılmasıyla ilgili sınırlı çalışmalardan bahsedilmektedir (Basmacı ve ark., 2019). Bu çalışma, dental protezlerin tanı ve kimliklendirme amaçlarıyla kullanılabileceğini göstermektedir. Nanomateryaller, protezlerin üzerine yerleştirilebilen benzersiz işaretler veya etiketler şeklinde kullanılarak, protezlerin tanınmasını ve izlenmesini kolaylaştırabilir. Biyoaktif camlar, dental protezlerde kullanılan bir başka nanomateryaldir. Bu camlar, restoratif materyallerin fonksiyon ve estetiğini karşılayabilirken aynı zamanda biyoaktif özelliklere de sahiptir. Biyoaktif camlar, ağızda mineralizasyon sürecini uyararak diş dokularının yeniden oluşumunu teşvik edebilir. Bu özellikleri sayesinde, biyoaktif camlar dental protezlerin uzun ömürlülüğünü ve ağız sağlığını artırabilir. Akrilik rezin protez kaide malzemelerinin güçlendirilmesi için kopolimerizasyon

yöntemi kullanılmaktadır (Ayaz ve ark., 2017). Kopolimerizasyon, protez kaide rezinlerinin dayanıklılığını artırmak için kullanılan bir tekniktir. Bu yöntemde, nanomateriyallerin polimer matrisine entegre edilmesiyle protezlerin mekanik özellikleri iyileştirilebilir. Son olarak, yapıştırıcı ajanlar, sabit protezlerin simantasyonunda kullanılan nanomateriyallerdir (Asar ve Kirman, 2018). Bu ajanlar, protezlerin geçici veya kalıcı olarak yerinde tutulmasını sağlar. Nanomateriyallerin yapıştırıcı özellikleri, protezlerin güvenli bir şekilde yerleştirilmesini ve uzun süre dayanmasını sağlar. Dental protezlerde kullanılan nanomateriyaller, protezlerin dayanıklılığını artırabilir, hijyenik olmalarını sağlayabilir, ağız sağlığını iyileştirebilir ve estetik bir görünüm sağlayabilir. Bu nedenle, nanomateriyaller dental protezlerin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Genel olarak, nanoteknoloji diş hekimliği alanında önemli ilerlemeler ve iyileştirmeler sunmaktadır. Dental materyallerin etkinliğini artırma, ağız sağlığı bakımını geliştirme ve çeşitli dental durumlar için yenilikçi çözümler sağlama potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte, diş hekimliğinde nanoteknolojinin potansiyelini tam olarak keşfetmek ve kullanmak için daha fazla araştırma ve geliştirmeye ihtiyaç duyulmaktadır (Alkahtani, 2018; George, 2017; Khurshid ve ark., 2015).

2.2.1. Nanofiberler

Polimetil metakrilat (PMMA), protez kaidelerinin imalatı da dahil olmak üzere çeşitli dental uygulamalar için yaygın olarak kullanılan bir malzemedir (Zafar, 2020). PMMA gibi protez kaide rezinleri; fiziksel, mekanik ve estetik özellikleri nedeniyle günümüzde sıkça tercih edilmektedir. Bununla birlikte, PMMA protez kaide rezininin tek başına yeterli mukavemete ve mikrobiyal adezyona karşı dirence sahip olmadığı da bilinmektedir (Aldegheishem ve ark., 2021). Araştırmacılar, özelliklerini iyileştirmek için PMMA'ya farklı materyallerin dahil edilmesini araştırmışlardır. Dental protezlerde kullanılan nanofiberler, protezlerin dayanıklılığını ve performansını artırmak için potansiyel bir malzeme olarak araştırılmaktadır (X. Li ve ark., 2014). Nanofiberler, küçük çapları ve yüksek yüzey alanları sayesinde protezlerin mekanik özelliklerini iyileştirebilir ve biyolojik uyumluluğunu artırabilir (X. Li ve ark., 2014). Dental protezlerde nanofiber kullanımının asıl amaçlarının başında, protez kaide rezinlerinin güçlendirilmesi gelmektedir (Ayaz ve ark., 2017).

PMMA protez kaide malzemesini desteklemek için kullanılan çeşitli nanofiber türleri bulunmaktadır. Bunlar arasında karbon nanofiberle, polimer nanofiberler (polivinil alkol, polikaprolakton ve poliüretan gibi), seramik nanofiber (hidroksiapatit gibi) ve kompozit

nanofiber (karbon nanotüp destekli PMMA gibi) bulunmaktadır. Her bir nanofiber türü, mekanik güçlendirme ve antimikrobiyal aktivite açısından benzersiz özellikler ve faydalar sunmuştur. Karbon nanofiberler mükemmel mekanik özellikleri, yüksek en-boy oranları ve elektrik iletkenlikleri nedeniyle yaygın olarak incelenmiştir. Polivinil alkol gibi polimer nanofiberler, PMMA protez kaide malzemesinin esnekliğini ve tokluğunu artırmak için kullanılmıştır. Seramik nanofiberler, özellikle hidroksiapatit, biyoaktiviteleri ve osseointegrasyonu teşvik etme yetenekleri açısından araştırılmıştır. Karbon nanotüp takviyeli PMMA gibi kompozit nanofiberler, gelişmiş mekanik mukavemet ve antimikrobiyal özellikler açısından umut verici sonuçlar göstermiştir. Sonuç olarak, tarih boyunca PMMA protez kaide malzemesini desteklemek için çeşitli nanofiber türleri kullanılmıştır. Bu nanofiberler PMMA'nın mekanik gücünü, esnekliğini ve antimikrobiyal aktivitesini artıran benzersiz özellikler sunmaktadır.

Bir çalışmada, PMMA protez kaide rezinine zirkonyum oksit nanofiberlerin eklenmesinin etkisi araştırılmıştır. Sonuçlar, zirkonyum oksit ilavesinin malzemenin eğilme mukavemetini, kırılma tokluğunu ve sertliğini artırdığını ve protez kaidesi üretimi için potansiyel bir seçenek haline getirdiğini göstermiştir (Ashour ve Ebrahim, 2014). Bir diğer çalışmada, polimetilmetakrilat içerisine ilave edilen doldurucuların ısı iletkenlik ve eğme dayanımı üzerine etkileri değerlendirilmiştir (Kul ve Aladağ, 2016). Bu çalışmanın sonucunda ise, polimetilmetakrilat protez kaide materyalinin güçlendirilmesi için doldurucuların kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Süleyman ve diğerlerinin yaptığı bir çalışmada, polimetilmetakrilat protez kaide materyaline ilave edilen güçlendirme materyallerinin mikroorganizma tutulumuna etkisi incelenmiştir (Süleyman ve ark., 2020). Bu çalışma ile, polimetilmetakrilat protez kaide materyalinin mikroorganizma tutulumunu azaltmak için farklı güçlendirme materyallerinin kullanılabileceği sonucu desteklenmiştir. Protez kaide malzemesini güçlendirmek için PMMA'nın karbon fiberler, cam fiberler ve ultra yüksek modüllü polietilen fiberler gibi çeşitli malzemelerle takviye edilmesi önerilmiştir. Bu takviye maddeleri PMMA protez kaide rezininin mekanik özelliklerini iyileştirmeyi amaçlamaktadır.

Polyvinylpyrrolidone (PVP), öncül nanofiberler için destekleyici bir malzeme olarak kullanılmıştır (Nie ve ark., 2016). PVP nanofiberleri ilaç dağıtımı ve doku mühendisliği gibi çeşitli uygulamalarda kullanım alanı bulmuştur (Z. Li ve ark., 2020)(McClellan ve Landis, 2016). PVP'nin biyouyumlu olduğu sonucuna varıldıktan sonra tıbbi uygulamalar için biyomalzeme tasarımında kullanılmaya başlanmıştır (Teodorescu ve Bercea, 2015). PMMA'ya

polivinilpirolidon (PVP) nanofiberlerinin eklenmesi, PMMA protez kaide malzemesinin mekanik özelliklerini ve performansını iyileştirme konusunda umut vaat etmektedir. PVP nanofiberlerinin PMMA'nın eğilme mukavemetini, darbe mukavemetini ve kırılma tokluğunu arttırdığı bulunmuştur (Gad, Fouda, ve ark., 2017). PVP nanofiberlerinin PMMA'ya dahil edilmesi, malzemenin yüzey sertliğini ve aşınma direncini de artırabilmektedir (Moslehifard ve ark., 2022). Ayrıca, PMMA protez kaide malzemesinde PVP nanofiberlerinin kullanımının antimikrobiyal özelliklere sahip olduğu bildirilmiştir. Nanofiberler bakteri üremesini engelleyebilir ve protez yüzeyinde mikrobiyal adezyon riskini azaltabilmektedir (Gad, Fouda, ve ark., 2017). PVP nanofiberlerin eklenmesi mekanik mukavemet, aşınma direnci ve antimikrobiyal özelliklerde iyileşmeler gösterdiği söylenebilmektedir.

Sonuç olarak, dental protezlerde nanofiberlerin, protezlerin dayanıklılığını ve performansını artırmak amacıyla kullanımı önerilmektedir fakat gelişmekte olan nanofiber malzemelerin potansiyelini keşfetmek ve daha iyi klinik sonuçlar elde edebilmek amacıyla PMMA protez kaide malzemesine dahil edilmelerini optimize etmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

2.2.2. Nanopartiküller

Protez kaide malzemelerine nanopartiküllerin eklenmesi kapsamlı bir şekilde incelenmiş ve protez kaidesinin çeşitli özelliklerini iyileştirmede umut verici sonuçlar göstermiştir. Zirkonyum oksit (ZrO_2), titanyum oksit (TiO_2), gümüş (Ag) ve kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) nanopartikülleri de dahil olmak üzere farklı nanopartikül türleri, protez kaide malzemeleri üzerindeki etkileri açısından araştırılmıştır (Alrahlah ve ark., 2018; Gad, Al-Thobity, ve ark., 2017; Köroğlu ve ark., 2016).

Bir çalışmada, akrilik rezine ZrO_2 nanopartiküllerinin eklenmesinin, protezlere Candida yapışmasını etkili bir şekilde azalttığı bulunmuştur (Gad, Al-Thobity, ve ark., 2017). Bir başka çalışmada, TiO_2 nanopartikülleri ile modifiye edilmiş PMMA protez kaidesi nanokompozitlerinin mekanik, viskoelastik ve antibakteriyel davranışları değerlendirilmiş ve nanokompozitlerin gelişmiş mekanik özellikler ve antibakteriyel aktivite sergilediği bulunmuştur (Alrahlah ve ark., 2018). Benzer şekilde, gümüş nanopartiküllerin protez kaidesi akrilik rezinlerine dahil edilmesinin mekanik ve termal özelliklerini geliştirdiği bulunmuştur (Köroğlu ve ark., 2016). Mekanik özelliklerin yanı sıra, protez kaide malzemelerinin renk stabilitesi ve yüzey özellikleri de araştırılmıştır. Bu amaçla ZrO_2 nanopartikülleri içeren PMMA protez kaide malzemesi olarak önerilmiştir, ancak protez temizleyicilerinin bu

malzemeler üzerindeki etkilerini anlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır (Gad, Abualsaud, ve ark., 2021). Başka bir çalışma, PMMA protez kaide malzemesine ZrO₂ nanopartiküllerinin eklenmesinin, numunenin kalınlığı azaltıldığında bile eğilme mukavemetini önemli ölçüde artırdığını göstermiştir (Albasarah ve ark., 2021). Ayrıca, ısı ile polimerize edilmiş akrilik protez kaide malzemesine ZrO₂ nanopartiküllerinin eklenmesinin eğilme dayanımını artırdığı bulunmuştur (Al-Thobity ve Gad, 2021). Nanopartiküllerin antimikrobiyal ve antifungal etkileri de araştırılmıştır. PMMA protez kaide malzemelerine eklenen nanodoldurucuların, *Candida albicans* ile ilişkili protez stomatitinin tedavisinde faydalı olabilecek antimikrobiyal ve antifungal etkilere sahip olduğu bildirilmiştir (Gad ve Fouda, 2020). Ayrıca, ZnO, CaO ve TiO₂ gibi metalik oksit nanopartiküllerinin protez kaide rezinlerine dahil edilmesinin, modifiye edilmiş protez kaide rezinlerinin yüzeyinde mikrobiyal çoğalmayı engellediği gösterilmiştir (Anwander ve ark., 2017).

2.2.3. Gümüş nanopartiküller

Gümüş nanopartiküllerin diş protez kaidelerine dahil edilmesi, çeşitli çalışmalarla desteklenen çeşitli faydalar sunmaktadır. Gümüş nanopartiküllerin protez kaide malzemelerinin mekanik özelliklerini geliştirdiği gösterilmiştir. Çalışmalar, protez kaide rezinlerine gümüş nanopartiküllerin eklenmesinin eğilme mukavemetini, kırılma tokluğunu, darbe mukavemetini, basınç mukavemetini ve sertliği artırabileceğini göstermiştir (AAIsukhayri ve ark., 2019). Ayrıca, gümüş nanopartiküllerin antimikrobiyal özellikleri protezle ilişkili kandidiyazis ve protez stomatitinin önlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Z. Li ve ark., 2014; Nam ve ark., 2012; Peralta, 2022; Sarkar ve ark., 2021; Yin ve ark., 2020; Zhang ve ark., 2017). Gümüş nanopartiküllerin kullanılmasının *Candida albicans* ve diğer mikroorganizmaların protez yüzeylerine yapışmasını azalttığı ve böylece ağız sağlığının korunmasına yardımcı olduğu bulunmuştur (Z. Li ve ark., 2014; Mukai ve ark., 2023). Ayrıca, gümüş nanopartiküllerin protez kaidelerinin tamir edilebilirliğini artırarak diş protezlerinin uzun ömürlülüğünü ve kullanılabilirliğini daha da artırdığı gösterilmiştir (Samman ve ark., 2018). Ayrıca, gümüş nanopartiküllerin antimikrobiyal etkileri protez yüzeylerinde biyofilm oluşumunu önleyerek genel ağız sağlığına katkıda bulunur (Chladek ve ark., 2011; Zhang ve ark., 2017). Protez materyallerinde gümüş nanopartiküllerin kullanımı, yumuşak astarlar ve protez kaide rezinleri arasındaki gerilme bağlanma mukavemetinin artmasıyla da ilişkilendirilmiştir (Habibzadeh ve ark., 2020). Ayrıca, gümüş nanopartiküllerin protez yapıştırıcısına eklenmesi, protez stomatitini önlemede umut vaat ettiğini göstermiş ve oral lezyonlar için yenilikçi bir önleyici yaklaşım sunmuştur (Peralta, 2022).

Genel olarak, protez kaide malzemelerine nanopartiküllerin eklenmesi, mekanik özelliklerini, renk stabilitesini, antimikrobiyal aktiviteyi ve antifungal etkileri iyileştirme konusunda umut vaat etmektedir. Ancak, farklı tip ve konsantrasyonlardaki nanopartiküllerin protez kaide malzemeleri ve uzun vadeli performansları üzerindeki etkilerini tam olarak anlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

2.2.4. Gümüş nanopartiküllerinin sentez yöntemleri

Gümüş nanopartiküllerin sentezi hem kimyasal hem de yeşil sentez yöntemleriyle gerçekleştirilebilmektedir. Biyolojik olarak türetilmiş materyallerin kullanımı gibi yeşil sentez teknikleri, kimyasal olarak sentezlenen gümüş nanopartiküllere kıyasla canlı organizmalar üzerindeki olumlu etkileri nedeniyle dikkat çekmiştir (Nartop ve ark., 2023). Biyolojik olarak sentezlenen bu gümüş nanopartiküller, diş hekimliği de dahil olmak üzere çeşitli uygulamalarda umut vaat etmektedir. Gümüş nanopartiküllerin yeşil sentezi, bu nanopartikülleri üretmek için çevre dostu ve sürdürülebilir yöntemlerin kullanılmasını içerir. Nanopartiküllerin yeşil sentezi, geleneksel kimyasal ve fiziksel yöntemlere kıyasla çeşitli avantajlar sunmaktadır. Başlıca avantajlarından biri, genellikle yeşil kimya olarak adlandırılan çevre dostu bir yaklaşım olmasıdır (Iravani, 2011). Yeşil sentez yöntemleri, bitkileri, mantarları, bakterileri, algleri ve diğer doğal malzemeleri indirgeyici ve stabilize edici ajanlar olarak kullanarak sert, toksik ve pahalı kimyasallara olan ihtiyacı ortadan kaldırır (Kalpana ve Rajeswari, 2018). Bu, geleneksel sentez yöntemleriyle ilişkili çevresel etkiyi ve atık üretimini azaltır (Din ve Rani, 2016). Yeşil sentezin bir diğer avantajı da maliyet etkinliğidir. Yeşil protokoller genellikle hızlıdır ve daha az adım gerektirir, bu da daha düşük üretim maliyetleri ile sonuçlanır (Din ve Rani, 2016). Ayrıca, bitki özleri ve meyve kabukları gibi yenilenebilir doğal kaynakların kullanılması, yenilenemeyen kaynaklara olan bağımlılığı azaltır (X. Han ve ark., 2019). Bu da yeşil sentezi nanopartikül üretimi için sürdürülebilir ve ekonomik olarak uygulanabilir bir seçenek haline getirmektedir (Kumar ve ark., 2020). Ayrıca, yeşil sentez yöntemleri gelişmiş güvenlik ve biyouyumluluk sunar. Yeşil sentezde toksik olmayan çözücülerin ve reaktiflerin kullanılması insan sağlığı ve çevre üzerindeki zararlı etki riskini azaltır (Raveendran ve ark., 2003). Bu durum, nanopartiküllerin biyouyumluluğunun çok önemli olduğu biyomedikal uygulamalarda özellikle önemlidir (Y. Park ve ark., 2011). Yeşil sentezlenmiş nanopartiküller, ilaç dağıtımı, görüntüleme ve kanser tedavisi dahil olmak üzere çeşitli biyomedikal uygulamalarda umut vaat etmektedir (Kalpana ve Rajeswari, 2018).

Heydari ve Rashidipour (2015) tarafından yapılan bir çalışmada meşe meyvesi kabuğu özütü kullanılarak gümüş nanopartiküllerin yeşil sentezine odaklanılmıştır. Araştırmacılar sentez sürecini optimize etmiş ve nanopartiküllerin MCF-7 hücreleri üzerindeki sitotoksik etkisini değerlendirmişlerdir. Çalışma, meşe meyvesi kabuğu özütünün gümüş nanopartiküllerin sentezi için yeşil ve etkili bir indirgeyici ajan olarak potansiyelini göstermiştir. Marimuthu ve arkadaşları (Marimuthu ve ark., 2010) indirgeyici ve kapatıcı ajanlar olarak bitki özleri kullanarak gümüş nanopartiküllerin yeşil sentezini araştırmıştır. Çalışma, nanopartiküllerin sentezi için çevresel olarak kabul edilebilir bitki özlerinin ve çevre dostu ajanların kullanımını vurgulamıştır. Bu yaklaşım, geleneksel yöntemlere sürdürülebilir ve toksik olmayan bir alternatif sunmaktadır. Sowmya (Sowmya, 2022) gümüş nanopartiküllerin sentezi için *Lagenaria siceraria* kabuğu atığı sulu ekstraktının kullanımını araştırmıştır. Çalışma, nanopartikül sentezi için biyolojik olarak parçalanabilen mutfak atıklarını kullanarak yeşil kimya ve çevresel sürdürülebilirlik ilkelerine bağlılığı vurgulamıştır. Kumar ve arkadaşları (Kumar ve ark., 2020), yeşil indirgeyici ajan olarak bal kullanılarak sentezlenen gümüş nanopartiküllerin optik ve antimikrobiyal özelliklerini araştırmıştır. Çalışma, yeşil olarak sentezlenen bu gümüş nanopartiküllerin antibiyotiklere alternatif olarak düşünülebileceğini öne sürmüştür. Selvakumar ve arkadaşları (Selvakumar ve ark., 2015) limon meyvesi özütü kullanarak gümüş nanopartiküllerin yeşil sentezini gerçekleştirmiştir. Çalışma, gümüş nanopartiküllerin sentezi için basit ve çevreye zararsız bir yöntem olduğunu göstermiştir.

2.2.5. Gümüş nanopartikül katkılı nanofiber içerikli PMMA

Son yıllarda, diş hekimliğinde çeşitli uygulamalar için dental materyallerin gümüş nanopartikül eklenmiş nanofiberlerle geliştirilmesine yönelik artan bir ilgi vardır. Dental materyallerde gümüş nanopartiküller ve nanofiberlerin kombinasyonu, antimikrobiyal ve biyouyumlu dental ürünlerin geliştirilmesinde yeni bir yaklaşım sunmaktadır. Gümüş nanopartiküllerin nanofiberlerle kombinasyonu, potansiyel faydaları nedeniyle büyük ilgi görmektedir. Gümüş nanopartiküller antimikrobiyal özellikleriyle iyi bilinmektedir ve bu da onları çeşitli malzemelere değerli katkılar haline getirmektedir. Gümüş nanopartiküllerin nanofiberlere dahil edilmesinin antibakteriyel performans, yara iyileşmesi, mekanik dayanım ve genel malzeme işlevselliği gibi özellikleri geliştirdiği gösterilmiştir. Çalışmalar, gümüş nanopartiküllü poliviniliden florür (PVF2) kompozit nanofiberlerin elektrospinning yoluyla üretilbileceğini göstermiştir (Shi ve ark., 2012). Bu yöntem, gelişmiş dielektrik performansa sahip nanofiberlerin oluşturulmasını sağlar. Ayrıca, statik yüklü polimerik nanofiberlere gümüş

nanopartiküller ve balık kolajeni eklenmesinin anjiyogenezi, fibroblast hücre proliferasyonunu ve antibakteriyel özellikleri geliştirdiği kanıtlanmıştır; bu da yara iyileştirme uygulamaları için avantajlı olabilmektedir (Pamu ve ark., 2024). Gümüş nanopartikül gömülü nanofiberlerin sentezi, gümüş çeşitli yöntemler kullanılarak araştırılmıştır (Kong ve Jang, 2008b). Bu nanofiberler antimikrobiyal özellikler sergilemektedir ve dental restoratif materyallerinde, endodontik simanlarda ve implantlarda kullanılması düşünülmektedir (García-Contreras ve ark., 2011). Gümüş nanopartiküllerin elektrospun nanofiberlere dahil edilmesinin antibakteriyel performansı artırdığı bulunmuş ve bu tür kompozit malzemelerin antibakteriyel uygulamalar için potansiyeli vurgulanmıştır (Annur ve ark., 2015; Lim ve ark., 2006). Genel olarak, gümüş nanopartiküllerin nanofiberlere kombinasyonu, gelişmiş antimikrobiyal özelliklere ve diğer faydalı işlevlere sahip gelişmiş dental materyallerin geliştirilmesi için umut verici bir yol sunmaktadır. Polimerik nanofiberlerin ve gümüş nanopartiküllerin PMMA rezinin mekanik davranışını geliştirdiği gösterilmiştir. Araştırmalar, yüzeyi modifiye nanofiberlerin dahil edilmesinin dental materyallerin sıkıştırma mukavemetini, eğilme mukavemetini, eğilme modülünü ve kopma işini önemli ölçüde iyileştirebileceğini göstermiştir (Amiri ve ark., 2021). Benzer şekilde, karbon nanofiberlerin polyester rezin içerisindeki dağılımının rezinin mekanik özelliklerini geliştirdiği kanıtlanmıştır (Hossain ve ark., 2013). Ayrıca, çalışmalar PMMA rezinine gümüş nanopartiküllerin eklenmesinin eğilme mukavemetini, darbe mukavemetini ve antibakteriyel özelliklerini artırabileceğini göstermiştir (Köroğlu ve ark., 2016). Ayrıca, polimerik nanofiber membranlarının mekanik davranışı kapsamlı bir şekilde incelenmiş ve fiber yönelimlerinin mekanik özellikler üzerindeki etkisi vurgulanmıştır (Verschatse ve ark., 2023). Nanofiberler, çok yönlülükleri ve olağanüstü özellikleriyle tanınmakta ve gelişmiş mekanik performansa katkıda bulunmaktadır (Maccaferri ve ark., 2021). Ayrıca araştırmalar, polimerik elektrospun nanofiberlerin kompozit yapılara serpiştirilmesinin yorulma davranışını ve interlaminar özellikleri geliştirebileceğini göstermiştir (Brugo ve ark., 2017).

Sonuç olarak bu çalışma, nanofiberlerin ve gümüş nanopartiküllerin PMMA rezin ile kombinasyonu, mekanik özelliklerin, antibakteriyel özelliklerin ve genel performansın iyileştirilmesine yol açarak, onları özellikle dişhekimliği alanında değerli katkı maddeleri haline getirmeyi amaçlamaktadır.

2.3. Çalışmada Kullanılan Renk Ölçüm Metodu

Diş hekimliğinde renk, restorasyonlar için renk tonu eşleştirmesi, diş renk değişiminin değerlendirilmesi ve malzemelerin renk stabilitesinin değerlendirilmesi gibi çeşitli açılardan

çok önemli bir rol oynar. Diş hekimliğinde kullanılan renk sistemleri, doğru renk üretimi ve eşleştirmesini sağlamak için çok önemlidir. Kullanılan önde gelen renk sistemlerinden biri, doğal insan dişlerinin renk aralığını tanımlayan Munsell renk sistemidir (J. Huang ve ark., 2022). Bu sistem görsel ölçümler, renk eşleştirme ve dental malzemelerde renk stabilitesinin değerlendirilmesi için yaygın olarak benimsenmiştir (Sherif, 2017). Munsell renk sisteminin tutarlılık, esneklik ve kullanım kolaylığı sunması, onu diş hekimliğinde tercih edilen bir seçenek haline getirmektedir (Schmeling ve ark., 2011). Diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılan bir diğer renk sistemi de kantitatif bir renk temsili sağlayan CIELAB renk sistemidir (Albayrak ve ark., 2022). CIELAB sistemi rengi üç boyutta tanımlar: açıklık, renk tonu ve yoğunluk, bu da onu diş hekimliğinde renk ölçümleri için uygun hale getirir (Şişmanoğlu ve Sengez, 2021). Ayrıca, CIELAB renk sistemi, CIELAB ve CIEDE2000 gibi toplam renk farkı formülleri ile birlikte dental yapıların ve materyallerin kolorimetrik değerlendirmelerinde kullanılmaktadır (Pop-Ciutrla ve ark., 2021). Ayrıca, CIE Lab renk sistemi, algısal bir renk uzayında L^* , a^* ve b^* 'nin eşit dağılımı nedeniyle diş hekimliğinde sıklıkla kullanılır ve doğru renk değerlendirmesine olanak tanır (Güler ve ark., 2009). CIE Lab renk sistemi, CIEDE2000 sistemi ile birlikte, renk farklılıklarını tutarlı bir şekilde değerlendirmek için diş hekimliği araştırmalarında tercih edilmektedir (Karaman ve ark., 2018). Ayrıca Amerikan Diş Hekimleri Birliği, diş hekimliğinde rengin belirlenmesi için CIELAB renk farklılığı sisteminin kullanılmasını önermektedir (Sayed ve Etemadi, 2013).

CIEDE2000 formülü, 2001 yılında CIE 1976 renk farkı formülünün (CIE76) bir uzantısı olarak geliştirilen CIELAB formülünün güncellenmiş ve geliştirilmiş bir versiyonudur (X. J. Hu ve ark., 2010; B. Xu ve ark., 2012). CIELAB formülü, CIELAB renk uzayındaki iki renk koordinatı arasındaki Öklid mesafesine dayalı olarak renk farklılıklarını hesaplar, CIEDE2000 formülü, aydınlatma ve görüntüleme koşullarını dikkate alan ağırlıklandırma fonksiyonları (S_L , S_C , S_H) ve parametrik faktörler (K_L , K_C , K_H) aracılığıyla renk uzayındaki tekdüzellik için düzeltmeler getirmektedir (Suliman ve ark., 2019). CIEDE2000 formülündeki bu ayarlamalar, parlaklık, yoğunluk, ton ve yoğunluk-ton etkileşimleri gibi faktörleri dahil ederek renk farklılıklarının daha doğru ve algısal olarak ilgili bir değerlendirmesini sağlamayı amaçlamaktadır (M. Huang ve ark., 2022; S.-H. Kim ve ark., 2004). CIEDE2000 formülü mevcut ISO/CIE tarafından önerilen formül olarak kabul edilmiştir ve renk tonu eşleştirme, renk kararlılığı değerlendirmeleri ve renk farkı değerlendirmeleri gibi görevler için çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Becerir, 2011; Huertas ve ark., 2006). Renk değerlendirmeleri için doğruluk ve güvenilirlik açısından geleneksel CIELAB

formülüne kıyasla üstün performans göstermiş ve hassas renk farkı hesaplamaları gerektiren uygulamalar için tercih edilen bir seçenek haline gelmiştir. CIEDE2000 formülü aşağıdaki gibidir:

$$\Delta E_{00}^* = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2 + R_T \frac{\Delta C'}{k_C S_C} \frac{\Delta H'}{k_H S_H}}$$

CIEDE2000 formülü mevcut ISO/CIE tarafından önerilen formül olarak kabul edilmiştir ve renk tonu eşleştirme, renk kararlılığı değerlendirmeleri ve renk farkı değerlendirmeleri gibi görevler için çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Becerir, 2011; Huertas ve ark., 2006). Renk değerlendirmeleri için doğruluk ve güvenilirlik açısından geleneksel CIELAB formülüne kıyasla üstün performans göstermiş ve hassas renk farkı hesaplamaları gerektiren uygulamalar için tercih edilen bir seçenek haline gelmiştir.

2.4. Çalışmada Kullanılan Mekanik Test Yöntemi

Üç noktalı bükme yöntemi, diş hekimliğinde kompozit rezin blokları, dental preslenmiş seramikler, dental sert rezinler ve dental yapıştırıcılar dahil olmak üzere çeşitli dental malzemelerin eğilme dayanımını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde numune üzerinde iki noktaya yük uygulanırken ortadaki üçüncü bir nokta destek görevi görerek bükülme etkisi yaratır. Çalışmalar, dental malzemelerin mekanik özelliklerini değerlendirmek için değerli veriler sağlamada üç nokta eğme testinin güvenilirliğini göstermiştir (Jahromi ve ark., 2014; Lauvahutanon ve ark., 2014; Miura ve ark., 2017, 2020). Araştırmacılar, dental uygulamalarda üç nokta eğme testinin numune hazırlama kolaylığı, basit test kurulumu ve minimum veri işleme sonrası gibi avantajlarını da vurgulamıştır (Robertson ve ark., 2014). Bu yöntem, in vitro dental materyallerin davranışı üzerinde termodöngü, su depolama ve uzun süreli yükleme gibi klinik faktörlerin araştırılmasında büyük önem arz etmektedir (Elkholy ve ark., 2019). Ayrıca, üç nokta eğme testi, basitliği, kolaylığı ve malzeme özelliklerini belirlemede daha yüksek hassasiyeti nedeniyle diğer eğme testi yöntemlerine göre daha sık tercih edilmektedir (Zeng ve ark., 2014). Bir çalışmada, ortodontik cihazlarda kullanılan polimerik malzemelerin bükülme davranışını değerlendirmek için kullanılmış ve mekanik özellikleri hakkında fikir vermiştir (Domagała ve ark., 2020). Çıkarılabilir tam protezlerin eklemeli üretimi için dental malzeme seçimi bağlamında, üç noktalı eğilme verileri, malzemelerin dental uygulamalar için uygunluğunu değerlendirmedeki bilgilendiriciliği nedeniyle özellikle önemi vurgulanmıştır (Grachev ve ark., 2023). Üç nokta eğme testi, kırılma

ve deformasyon direncini değerlendirmek için kritik bir mekanik özellik olan rezin kompozitlerin eğilme mukavemetini belirlemek için de kullanılmıştır (H. Li ve Imazato, 2023).

Üç nokta eğme yönteminin adımları tipik olarak aşağıdakileri içerir:

1. Numunenin hazırlanması: Malzeme numunesi, bükme testine uygun standart bir şekil ve boyutta hazırlanır.
2. Numunenin monte edilmesi: Numune, yük numunenin merkezine uygulanacak şekilde iki destek üzerine yerleştirilir.
3. Yük uygulaması: Numunenin orta noktasına, bükülene kadar kademeli olarak bir kuvvet uygulanır ve malzemenin uzunluğu boyunca bir gerilim dağılımı oluşturulur.
4. Sapma ölçümü: Yük arttıkça numunenin sapması kaydedilir ve malzemenin eğilme mukavemetinin belirlenmesine olanak tanır.
5. Eğilme özelliklerinin hesaplanması: Eğilme dayanımı, elastisite modülü ve kırılma tokluğu gibi parametreler, testten elde edilen yük-sapma eğrisine göre hesaplanabilir.

2.5. Çalışmada Kullanılan Nanofiberlerin Üretim Metodu

Elektroeğirme, nanoteknolojide çeşitli uygulamalara sahip nanofiberlerin üretimi için kullanılan çok yönlü ve verimli bir tekniktir. Süreç, bir polimer çözeltisinden veya karışımdan nano ölçekli lifler çekmek için elektrostatik kuvvetler kullanan bir elektroeğirme makinesinin kullanılmasını içerir. Bu nano fiberler, benzersiz özellikleri ve malzeme bilimi, doku mühendisliği, ilaç dağıtım sistemleri, hava filtreleme ve rejeneratif tıp gibi alanlardaki geniş uygulama yelpazesi nedeniyle büyük ilgi görmüştür. Araştırmacılar, çeşitli uygulamalar için nanofiber bazlı malzemeler üretmede elektroeğirmenin önemini vurgulamışlardır (Xue ve ark., 2019). Elektroeğirme işlemi, kontrollü çap, morfoloji, kompozisyon ve hizalamaya sahip nanofiberlerin üretilmesine izin vererek nanoteknolojide değerli bir araç haline getirmektedir (D. Li ve Xia, 2004). Elektroeğirme, özel özelliklere sahip nanofiberlerin üretilmesini sağlayan uygun maliyetli bir yöntem olarak kabul edilmiştir (Leung ve Ko, 2010). Araştırmacılar, üretilen nanofiberlerin kalitesini ve özelliklerini artırmak için elektroeğirme sistemlerinin kontrolünü ve verimliliğini geliştirmeye odaklanmıştır (Belino, 2023; Ieracitano ve ark., 2021). Elektroeğirme teknolojisindeki sürekli yenilik, tıbbi, farmasötik ve rejeneratif alanlardaki uygulamalarla yeni nanofiberlerin yaratılmasına yol açmıştır (Meghana ve ark., 2020).

Bir elektro  irme makinesinde yer alan adımlar, nanofiberlerin hassas üretimi için çok önemlidir. Tipik bir elektro  irme makinesi dört ana bileşenden oluşur (Sabouri ve ark., 2021). İlk olarak, bir şırınga pompası elektro  irilecek polimer çözeltisinin akış hızını kontrol eder. İkinci olarak, bir nozül veya iğne polimer çözeltisini güçlü bir elektrik alanına yönlendirir.     nc   olarak, yüksek voltajlı bir kaynak, polimer çözeltisini elektrostatik kuvvetler aracılığıyla çok ince fiberlere dönüştürür. Son olarak, bir fiber toplayıcı elektro  irme fiberleri statik veya dinamik olarak toplar. Elektroğirme süreci birkaç aşamadan oluşmaktadır (Z. Xu ve ark., 2022). Başlangıçta, polimerler ve diğer bileşenleri içeren homojen dağılımlı, eğirme cihazına uygun bir çözelti hazırlanır. Daha sonra, hazırlanan çözelti elektro  irme makinesine aktarılır. Elektroğirme makinesi daha sonra polimer çözeltisinin yüklü bir p     rtmesini olu  urtmak için yüksek voltaj kullanır, bu da ekstrüzyon üzerine katılaşarak nanofiberler oluşturur.

2.6. Çalışmada Kullanılan Nanomalzemelerin Karakterizasyon Metotları

2.6.1. X-ışını difraktometresi analizi (XRD)

X-ışını kırınımı (XRD) nanoteknoloji alanında çok sayıda fayda sağlayan önemli bir yöntemdir. XRD, nanomalzemeleri karakterize etmek için yaygın olarak kullanılır ve yapısal özellikleri hakkında değerli bilgiler sağlar. Nanopartikül boyutlarının, element bileşimlerinin, faz,   ekil ve yüzey morfolojilerinin belirlenmesini sağlar (Subhan ve ark., 2021). Ek olarak, XRD, mikrokristalitlerin boyutları ve dislokasyon yapıları gibi malzemelerin alt yapısı hakkında bilgi verdiği için nanoyapıların analizinde etkilidir (Ali, 2020). Bu yöntem, nanoteknolojideki uygulamalar için gerekli olan kristal özelliklerini incelemek için özellikle değerlidir (Ladisa ve ark., 2007). Ayrıca, XRD nanomalzemelerin sentezinde ve karakterizasyonunda çok önemli bir rol oynamaktadır. Nanopartiküllerin kristal yapısını doğrular ve ortalama kristalit boyutu hakkında bilgi sağlar (Manjunath ve ark., 2016). Nanoteknoloji bağlamında, XRD yeni ürünlerin geliştirilmesi ve sentezi için vazgeçilmezdir ve bilim ve tıbbın ilerlemesi için çok çeşitli olası sonuçlar sunar (Mubeen ve ark., 2022). Ayrıca, bitkilerin temel besin maddelerini alımını artırma ve böylece tarımsal verimliliği artırma potansiyeline sahip olduğu için tarımın ilerlemesi için de çok önemlidir (Sohail ve ark., 2018). Özetle, XRD nanoteknolojide temel bir yöntemdir ve nanomalzemelerin yapısal özellikleri hakkında temel bilgiler sağlar, kristal yapılarını doğrular ve bileşenlerini karakterize eder. Uygulamaları tarım, tıp ve malzeme bilimi de dahil olmak üzere çeşitli alanlara uzanır ve nanoteknolojinin ilerlemesi için vazgeçilmez bir araç haline getirir.

Tipik bir XRD analizinin adımları birkaç temel prosedür içerir. İlk olarak, numune hazırlanır ve difraktometre aşamasına monte edilir. Daha sonra X-ışını demeti numuneye yönlendirilir ve kırılan X-ışınları bir dedektör tarafından toplanır. Elde edilen kırınım deseni daha sonra numunenin kristalografik yapısını ve faz bileşimini belirlemek için analiz edilir. Bu analiz genellikle mevcut fazları tanımlamak için kırınım deseninin bilinen desenlerden oluşan bir veri tabanı ile karşılaştırılmasını içerir. Ayrıca, kırınım pikleri numunenin kristalit boyutunu ve örgü parametrelerini hesaplamak için kullanılır. Son olarak, kırınım deseninden elde edilen veriler, numunenin yapısal özellikleri hakkında sonuçlar çıkarmak için yorumlanır.

2.6.2. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometresi (FT-IR)

Fourier dönüşümlü kızılötesi (FT-IR) yöntemi nanoteknoloji alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. FT-IR mikrospektroskopisi, nematodlar da dahil olmak üzere karmaşık biyolojik sistemlerdeki proteinlerin ikincil yapısı hakkında bilgi edinmek için kullanılmıştır (Zanni ve ark., 2012). Ayrıca faz geçişlerinin ve mikron boyutundaki partiküllerin higroskopik büyümesinin araştırılmasında da etkili olmuştur (Y. Liu ve ark., 2008). FT-IR spektroskopisi, mikrobiyolojide uygulanabilirliğini göstererek hücre bileşenlerinin tespiti ve bakterilerin sınıflandırılması ve tanımlanması için kullanılmıştır (Helm ve Naumann, 1995; Kirschner ve ark., 2001). Nanoteknoloji alanında FT-IR spektroskopisi, manyetik nanopartiküllerin yüzey modifikasyonlarının doğrulanmasında ve nanokatalizörlerin hazırlanmasında etkili olmuştur (S. M ve ark., 2021; Saadati-Moshtaghin ve Zonoz, 2017). Ayrıca FT-IR, moleküler düzeyde çeşitli hidrojen bağı etkileşimlerini izlemek için kullanılmış ve nano ölçekli sistemlerde moleküler etkileşimlerin araştırılmasındaki faydasını göstermiştir (Anilkumar ve Jayakannan, 2008). Ayrıca FT-IR spektroskopisi, bitki özleri kullanılarak nanomalzemelerin hızlı sentezinde kullanılmış ve yeşil sentez yaklaşımlarındaki potansiyelini ortaya koymuştur (S. M ve ark., 2021). Ayrıca, mikroorganizmaların karakterizasyonunda da kullanılmış ve mikroorganizmaların hızlı bir şekilde ayırt edilmesini ve tanımlanmasını sağlamıştır (Ferreira ve ark., 2016). Ayrıca FT-IR, çelik yüzeylerdeki bakterilerin analizinde kullanılmış olup numune hazırlama gerekmemesi ve bozulmamış numunelerin analiz edilebilmesi gibi avantajlar sağlamaktadır (Ojeda ve ark., 2009). Özetle, FT-IR yöntemi nanoteknoloji alanında çok önemli bir araç olarak ortaya çıkmıştır ve nanomalzemelerin karakterizasyonundan nano ölçekte moleküler etkileşimlerin araştırılmasına kadar çeşitli uygulamalar sunmaktadır. Bunun yanı sıra nanomalzemelerin yapısal ve kimyasal özellikleri hakkında değerli bilgiler sağlama kabiliyetinin yanı sıra biyolojik sistemleri moleküler düzeyde incelemadaki faydası, nanoteknolojide araştırma ve geliştirmeyi ilerletmedeki öneminin altını çizmektedir.

FT-IR analizinin adımları birkaç temel işlemi içerir. İlk olarak numune hazırlanır ve spektrometreye yerleştirilir. Ardından cihaz, bir dizi frekansta numune tarafından kızılötesi ışığın emilimini ölçer. Bu ölçüm tipik olarak bir interferogram oluşturulmasını sağlayan interferometri kullanılarak gerçekleştirilir. İnterferogram daha sonra, frekansın bir fonksiyonu olarak kızılötesi ışığın numune tarafından emilimini temsil eden bir spektrum üretmek için bir Fourier dönüşümüne tabi tutulur. Bu spektrum daha sonra numunede bulunan fonksiyonel grupları tanımlamak ve numunenin bileşimi hakkında nitel ve nicel belirlemeler yapmak için analiz edilir (T. Hu ve ark., 2011). FT-IR analizi gerçekleştirme süreci çeşitli teknik hususları içermektedir. Uzaysal kalibrasyon ve faz düzeltme gibi teknik hususlar önem arz etmektedir ve tekniğin çeşitli alanlarda farklı uygulamaları bulunmaktadır. Örneğin, statik Fourier dönüşüm spektrometreleri, özellikle kızılötesi aralıkta uzaysal kalibrasyon gerektirir (Kattnig, 2019). Faz düzeltmesi ise, kaydedilen interferogramlardan spektrumların hesaplanmasında çok önemli bir adımdır (Z. Liu ve Hua, 2015).

2.6.3. Termogravimetrik analiz (TGA)

Termogravimetrik analiz (TGA), polimerler, kompozitler ve nanofiberler de dahil olmak üzere çeşitli malzemelerin termal kararlılığını ve bozunma özelliklerini araştırmak için kullanılan güçlü bir deneysel tekniktir (Bücheler ve ark., 2016; Chand ve ark., 2009; Muthirulan ve ark., 2013; N. Sun ve ark., 2013). TGA, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak bir malzemenin kütlesindeki değişimi ölçerek termal davranışı ve bozunma kinetiği hakkında değerli bilgiler sağlar. Bu teknik, malzemelerin termal bozunma mekanizmalarını ve kararlılıklarını kapsamlı bir şekilde karakterize etmek için genellikle diferansiyel taramalı kalorimetri ve FT-IR gibi diğer analitik yöntemlerle birleştirilir (Muthirulan ve ark., 2013).

Bir termogravimetrik analizin (TGA) adımları tipik olarak birkaç temel prosedür içerir. İlk olarak numune hazırlanır ve genellikle kurutmanın ötesinde özel bir numune hazırlığı gerekmemektedir (Mansfield ve ark., 2014). Analiz daha sonra, nitrojen gibi belirli bir gazla belirli bir sıcaklıkta bir ön işlem adımı ve ardından izotermal olmayan veya izotermal olabilen termal analiz içeren bir termogravimetrik analizörde gerçekleştirilir (Domenico ve ark., 2019). Analiz sırasında numunenin termal davranışı, sıcaklık veya zamanın bir fonksiyonu olarak ağırlık değişimleri izlenerek değerlendirilir (Miranda ve ark., 2008). Bu, termal ayrışma reaksiyonlarının kinetiğinin belirlenmesine ve farklı ayrışma adımları ile malzemenin bileşimi arasındaki ilişkinin incelenmesine olanak tanır (Mijas ve ark., 2021).

2.6.4. Zeta potansiyel ölçümü

Zeta potansiyel ölçümü, nanoteknolojide çeşitli amaçlar için kullanılan önemli bir tekniktir. Zeta potansiyeli ölçümü, nanopartiküllerin yüzey yükü hakkında değerli bilgiler sağlar. Bu, nanopartikül süspansiyonlarının kararlılığının yanı sıra bir sistemdeki diğer bileşenlerle potansiyel etkileşimlerini anlamak için çok önemlidir (Quiñones-Méndez ve ark., 2014). Zeta potansiyeli nanopartiküllerin dağılımını, toplanmasını ve kararlılığını etkileyebilir, bu da onu ilaç dağıtım sistemleri ve çevresel iyileştirme gibi çeşitli uygulamalarda kritik bir parametre haline getirir (Quiñones-Méndez ve ark., 2014). Ayrıca, bu teknik nanopartikül maruziyeti ile ilişkili potansiyel risklerin değerlendirilmesi için de gereklidir. Örneğin, çevresel izleme alanında, zeta potansiyel ölçümü, farklı çevresel matrislerdeki nanopartiküllerin davranışı ve akıbeti hakkında bilgi sağlayarak risk değerlendirmesi ve yönetimine yardımcı olabilir. Zeta potansiyel ölçümü, fiziko-kimyasal özelliklerin karakterize edilmesinden potansiyel risklerin değerlendirilmesine ve çeşitli nanoteknoloji tabanlı ürün ve uygulamaların geliştirilmesine kadar çeşitli amaçlara hizmet eden nanoteknolojide vazgeçilmez bir araçtır.

Zeta potansiyeli ölçümü süreci çeşitli teknikler ve hususlar içermektedir. İlk olarak, nanopartiküllerin sentezi ve karakterizasyonu, özelliklerinin anlaşılmasında çok önemli bir rol oynamaktadır. Hidrotermal sentez gibi teknikler nanopartiküllerin zeta potansiyelini etkileyebilmektedir (Patil ve ark., 2007). Ayrıca, nanopartiküllerin yüzeyinde L-lizin veya PVP gibi spesifik kaplamaların varlığı, FT-IR spektroskopisi ve zeta potansiyeli ölçümleri ile doğrulanabilir ve bu da sulu ortamdaki kararlılığı göstermektedir (Malaeru ve ark., 2019, 2020). Zeta potansiyeli ölçümü bağlamında, zeta potansiyellerini doğru bir şekilde belirlemek için akım izleme tekniği ve kapalı elektrokinetik hücre tekniği gibi çeşitli yöntemler geliştirilmiştir (Hiratsuka ve ark., 2018). Bu yöntemler nanopartiküllerin yüzey yükünü ve ıslanabilirliğini anlamak için gereklidir (Bassioni ve Taqvi, 2015). Dahası, zeta potansiyeli, sodyum klorür ile karşılaştırıldığında yapay kompleks çözeltilerle yapılan deneylerde gözlemlendiği gibi, belirli iyonların varlığından etkilenebilmektedir (Vinogradov ve ark., 2021). Zeta potansiyelinin analizinde, zeta potansiyeli değerlerinin gösterdiği gibi nanopartiküllerin kararlılığını ve farklı çözeltilerdeki davranışlarını dikkate almak çok önemlidir (Tamer ve ark., 2016). Ek olarak, yüzey aktif maddelerin nanopartiküller üzerindeki adsorpsiyonu, zeta potansiyellerini etkileyebilir ve nanopartiküller ile çevresindeki moleküller arasındaki etkileşimleri anlamının önemini vurgulamaktadır (Lo ve ark., 2008). Genel olarak, zeta potansiyeli ölçümü adımları, sentez, karakterizasyon ve nanopartiküllerin özelliklerini ve davranışlarını anlamak için çeşitli ölçüm tekniklerinin uygulanmasını içermektedir.

2.6.5. Temas açısı ölçümü

Temas açısı ölçümü, nanoteknoloji alanında çok önemli bir yöntemdir, çünkü katı yüzeylerin bir sıvı tarafından ıslatılabilirliği hakkında değerli bilgiler sağlar ve bu da çeşitli uygulamalarda nanomalzemelerin davranışını anlamak için gereklidir (Wen ve ark., 2018). Temas açısı ölçüm yöntemi, katı-sıvı ve buhar-katı fazları arasındaki arayüzey gerilimlerini belirlemek için kullanılır ve farklı yüzeyler arasındaki bağlanma ilişkisi hakkında bilgi sağlar (S.M, 2021). Bu, nanomalzemeler ve sıvılar arasındaki etkileşimin kılcallık, mikroakışkanlar ve kaplama teknolojisi gibi süreçlerde önemli bir rol oynadığı nanoteknolojide özellikle önemlidir (Wen ve ark., 2018). Ayrıca, temas açısı ölçümleri karbon nanotüp bazlı malzemelerin ıslanabilirliğini incelemek için kullanılmış ve bu nanomalzemelerin yüzey özelliklerini anlamak için değerli bilgiler sağlamıştır (Pavese ve ark., 2008). Ayrıca, temas açısı ölçüm yöntemi, su geçirmezlik gerektiren uygulamalar için gerekli olan statik su temas açısını belirleyerek ultrahidrofobik tekstiller gibi yüzeylerin hidrofobikliğini değerlendirmek için kullanılabilmektedir (Ramaratnam ve ark., 2008). Temas açısı ölçümü nanoteknolojide nanomalzemelerin ıslanabilirliğini ve yüzey özelliklerini anlamak için değerli bir yöntemdir ve çeşitli uygulamalardaki davranışları hakkında içgörü sağlar. Bu yöntemin çok çeşitli nanomalzemeleri ve yüzeyleri incelemek için yaygın olarak kullanıldığı ve nanoteknolojinin ilerlemesine katkıda bulunduğu açıktır.

Temas açısı ölçümlerinin analizi, doğru ve güvenilir sonuçlar elde etmek için birkaç adım içermektedir. İlk olarak, temas açılarını ölçmeye yönelik deneysel protokoller, çözeltilerin ıslanma davranışını ve arayüzey bölgesinde bulunan reaktif grupları dikkate almalıdır. Temas açısının ölçümü, sıvıların ıslanma davranışını ve yüzey gerilimini anlamak için çok önemlidir (Achebe ve ark., 2018; C. Sun ve ark., 2020). Temas açısı ölçümleri için eksenel simetrik damla şekli analizi ve gonyometre sapsız damla tekniği gibi uygun yöntemlerin kullanılması önemlidir (Kennedy ve ark., 2019; Kwok ve ark., 1997). Ayrıca, yüzeylerin karakterizasyonu, morfolojik özellikleri ve kimyasal bileşimi anlamak için taramalı elektron mikroskobu, X-ışını fotoelektron spektroskopisi ve su temas açısı ölçümleri gibi teknikler kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca, mikro-odaklı X-ışını bilgisayarlı tomografi ve görüntü işleme teknikleri gibi gelişmiş teknolojilerin kullanımı, gözenekli ortamlardaki gözenek boyutları ölçeğinde temas açılarının ölçülmesini mümkün kılmaktadır (Lv ve ark., 2016, 2017; Noormohammed ve ark., 2010). Ayrıca analiz, tahminleri doğrulamak için teorik modellerin deneysel temas açısı ölçümleriyle karşılaştırılmasını da içermektedir (Shahraz ve ark., 2012). Temas açısı ölçümü, ıslanabilirliği belirlemek için çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilebilen

evrensel ve etkili bir nicel yöntemdir. Yüzey heterojenliği ve dinamik etkiler nedeniyle mikroskobik temas açısı değişimlerini ve temas açısı histerezisini dikkate almak da önemlidir (Mohammed-Ziegler ve ark., 2006). Ek olarak, temas açılarının belirlenmesi, iletken bir damlacık ile bir yüzey altı karşı elektrot arasındaki kapasitansın ölçülmesiyle elde edilebilir (Link ve Schlünder, 1996). Ayrıca, küresel bir geometri kullanılarak dinamik temas açılarının ve bir sıvının yüzey geriliminin ölçülmesi yeni bir prosedür olarak önerilmiştir (C. Sun ve ark., 2020). Yüzey modifikasyonunun ilerlemesi, farklı test sıvılarının temas açısı ölçümleri ile izlenebilir. Son olarak, optik temas açısı ölçüm sistemlerinin kullanımı, çözeltideki nanomalzemelerin temas açısını ve yüzey gerilimini belirlemek için genel bir rehberlik sağlayabilmektedir (Champmartin ve ark., 2016).

2.6.6. FE-SEM görüntüleme – EDS analizi

Alan Emisyon Taramalı Elektron Mikroskopisi (FE-SEM), yüksek çözünürlüklü görüntüleme yetenekleri ve benzersiz faydaları nedeniyle nanoteknolojide yaygın olarak kullanılan güçlü bir tekniktir. FE-SEM, geleneksel SEM'e kıyasla daha yüksek çözünürlüklü görüntüler sağlayarak nano ölçekli olayların gözlemlenmesi için önemli bir araç haline gelmektedir (Kitamura ve ark., 2019). Bu yöntem, selüloz nanofiberler (Fukuzumi ve ark., 2008), şeyl malzemeler (Y. Wang ve ark., 2016), metal nanopartiküller (Woehl ve ark., 2012) ve polimer filmler (Qu ve ark., 2008) dahil olmak üzere çok çeşitli malzemeleri incelemek için kullanılmıştır. FE-SEM'in en önemli avantajlarından biri, nano ölçekli yapıların yüksek çözünürlüklü görüntülenmesini sağlayarak ince ayrıntıların ve yüzey özelliklerinin görselleştirilmesine olanak vermesidir. Bu yetenek, elektron ışını ışınlaması sırasında nanoparçacıkların gerçek zamanlı büyümesinin aydınlatılmasında (Pereira ve ark., 2015) ve manyetik kompozitler (R. Wang ve ark., 2012) ve lotus yaprağı benzeri yapılandırılmış filmler (Qu ve ark., 2008) gibi malzemelerin morfolojisi ve yapısının karakterize edilmesinde büyük katkı sağlamıştır. Ayrıca, koruyucu NanoSuit teknolojisinin geliştirilmesi sayesinde FE-SEM, yüksek vakum koşullarında canlı organizmaları gözlemlemek de mümkün hale gelmiştir (Ohta ve ark., 2014; Takaku ve ark., 2017; Takehara ve ark., 2020).

FE-SEM analizi, numunelerin doğru ve ayrıntılı görüntülenmesini sağlamak için birkaç temel adımı içermektedir. İlk olarak, numuneler bir iyon püskürtme kaplayıcıda platin kaplanarak hazırlanmaktadır (Abe ve ark., 2007). Bu adım, yüksek çözünürlüklü görüntüleme için gerekli olan numunenin iletkenliğini arttırmak için çok önemlidir. Daha sonra, hazırlanan numuneler Zeiss ultra FE-SEM gibi gelişmiş cihazlar kullanılarak FE-SEM görüntülemesine

tabi tutulmaktadır (Nithiyantham ve ark., 2014). FE-SEM, nano ölçekli olayların yerinde görüntülenmesi ve kontrolü için benzersiz yetenekler sağlamaktadır (Pereira ve ark., 2015). FE-SEM analizi, numunelerin yüzey yapısının ve morfolojisinin daha yüksek bir çözünürlükte görselleştirilmesine olanak tanıyarak nano ölçekli özellikler hakkında ayrıntılı bilgiler sağlamaktadır (Hasan ve ark., 2023). Ayrıca FE-SEM, podositler gibi biyolojik örnekler de dahil olmak üzere çeşitli malzemelerin yüzey yapısını gözlemlemek için güçlü bir yaklaşım olarak kabul görmektedir (Miyaki ve ark., 2019).

3.GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Gereçler

3.1.1. Ekipman

- Mikrosantrifüj tüpü (Biologix)
- Cam saklama şişesi, amber (IsoLab)
- Konik tabanlı santrifüj tüpü, 50 mL (Micrucult)
- Tartım kabı (LP Italiana)
- Sterilizasyon İndikatör Bandı (Star)
- Drigalski spatülü (Saha)
- Steril tek kullanımlık öze (Micrucult)
- Plastik steril petri kutusu (3K Plastik)
- Borosilikat otoklav şişesi, 500 ve 1000 mL (Micrucult)
- PTFE teflon kaplamalı manyetik balık (Isolab)
- Parafilm (Isolab)
- Bunzen beki (SH444)
- Mikropipetseti (Brand)
- Manyetik karıştırıcı (IKA C MAG HS 7)
- Asiga Max Build Tray (Asiga)

3.1.2. Kimyasallar

- Polyvinylpyrrolidone (Cas Numarası: 9003-39-8, Sigma)
- Gümüş Nitrat (Isolab)
- Glasiyal Asetik Asit (Cas numarası: 64-19-7, Tekkim)
- Etanol (Cas numarası: 64-17-5, Merck)
- Nutrient Broth (Isolab)
- Müller Hinton Agar (HKMBIO HCM106)
- Mikrobiyolojik Agar Agar (Conda 1802)
- Triptik Soy Broth (Conda 1224)
- 3D Printing Resin for Denture Base (Asiga)

3.2. Yöntem

Bu çalışma, bitki ekstraktları kullanılarak sentezlenen gümüş nanopartiküllerin, elektroğirme yöntemi ile üretilen nanofiberlere yüklenmesi ve bu nanofiberlerin PMMA rezinlerine katkılanması ile elde edilen yeni bir malzemenin antimikrobiyal ve mekanik özelliklerini incelemeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla oluşturulan gruplar Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Çalışmada oluşturulan grupların özellikleri

Grup Adı	Açıklama
Rezin	Kontrol grubu (boş PMMA)
AgNP	Yeşil sentez gümüş nanopartikül
Rezin/%2PVP	%2 PVP içerikli PMMA
Rezin/%1PVP	%1 PVP içerikli PMMA
Rezin/%0.5PVP	%0.5 PVP içerikli PMMA
Rezin/%0.25PVP	%0.25 PVP içerikli PMMA
PVP-AgNP1	%0.25 yeşil sentez AgNP içeren PVP
Rezin/PVP-AgNP1	%0.125 yeşil sentez AgNP içerikli PVP katkılı PMMA
Rezin/PVP-AgNP2	%0.25 yeşil sentez AgNP içerikli PVP katkılı PMMA
Rezin/PVP-AgNP3	%0.5 yeşil sentez AgNP içerikli PVP katkılı PMMA

3.2.1. Yeşil sentezde kullanılacak bitkilerin temini ve ekstraktlarının elde edilmesi

Çalışmamızda kullandığımız kekik (*Thymus* sp.) bitkisi, Konya İl Tarım ve Orman Müdürlüğü tarafından onaylanmış ürünlerin satışını gerçekleştiren yerel bir aktardan kuru olarak temin edildi. Bitki örnekleri, ince toz haline gelene kadar öğütüldükten sonra hassas terazide tartıldı. 10 g kekik tozu, sızdırmaz kapaklı borosilikat cam şişelere alındıktan sonra üzerine 100 mL saf su eklendi. Şişenin ağzı sıkıca kapatılarak hafifçe çalkalandıktan sonra 80°C’de 1 saat karıştırılarak ekstraksiyon işlemi gerçekleştirildi.. Daha sonra Whatman filtre kağıdı No:1 ile karışım temiz bir cam şişe içerisine süzülerek katı partiküller uzaklaştırıldı. Elde edilen berrak bitki ekstraktı, daha sonra kullanılmak üzere buzdolabında (+4°C) saklandı (Şekil 3.1). Deneylerde tüm cam kapları deiyonize suyla iyice yıkandı ve fırında kurutuldu.



Şekil 3.1. Elde edilen bitki ekstraktı.

3.2.2. AgNP sentezi

AgNP boyut ve morfolojisinin istenilen düzeyde elde edilebilmesi amacıyla sentez metodu öncelikle optimize edildi. Optimizasyon işlemi için, 10 mM, 5 mM ve 1 mM olmak üzere üç farklı konsantrasyonda AgNO_3 çözeltileri hazırlandı. Daha sonra, bu çözeltilerden 9'ar mL alınarak temiz deney tüplerine aktarıldı. Her bir deney tüpünün üzerine 1'er mL bitki ekstraktı damla damla ilave edilerek oda sıcaklığında inkübe edildi. Tüpteki çözeltilerin renginin koyulaşarak kahverengiye dönmesi, gümüş iyonlarının AgNP'lere dönüştüğünün bir indikatörü olarak kabul edildi. İnkübasyon süresince, tüplerden 10'ar dakikalık aralıklarla örnekler alınarak 200-800 nm arasında spektrofotometrik ölçümleri gerçekleştirildi. Spektrum analizi sonucunda 450 nm absorbans pikinin en iyi 5 mM AgNO_3 içeren tüpte olduğunun tespit edilmesinin ardından, büyük ölçekli AgNP sentezi gerçekleştirildi. İşlem sonunda, sentezlenen nanopartikülleri içeren koloidal süspansiyon, santrifüj tüplerine aktararak $+4^\circ\text{C}$ 'de 10.000 rpm hızla 15 dk. santrifüj edildi (Şekil 3.2). Süpernatant dikkatli bir şekilde alınarak, gümüş iyonlarına bağlanmayan diğer bileşenlerin giderilmesi amacıyla 3 kez ultra saf su ile nanopartiküllerin yıkaması gerçekleştirildi. Saf olarak elde edilen AgNP'ler, vakum altında liyofilizatörde kurutulduktan sonra ileri düzeydeki kullanımlar için amber şişelere aktararak buzdolabında ($+4^\circ\text{C}$) saklandı.



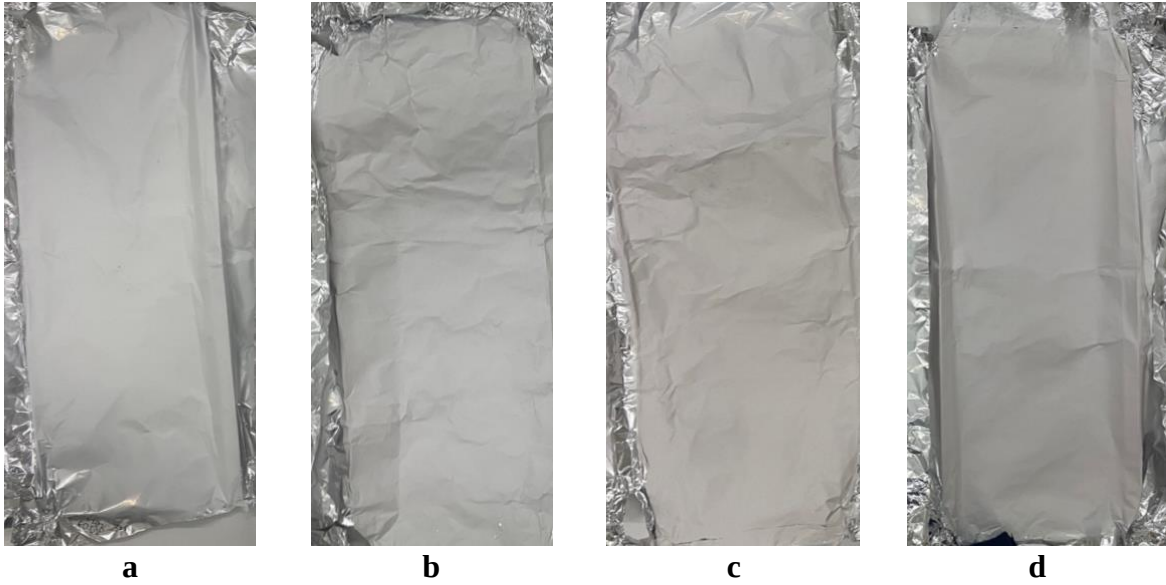
Şekil 3.2. Sentezlenen AgNP

3.2.3. PVP nanofiberlerin elde edilmesi

8.56 mL etil alkol ve 2.143 mL asetik asit, kapaklı cam bir şişede karıştırıldı. Bu karışımın üzerine hassas terazide tartılmış 1 g PVP ilave edildi. Cam şişenin ağzı kapatılarak manyetik karıştırıcıda en az 5 saat karışmaya bırakıldı. Tamamen homojenize olan polimer enjektöre alınarak elektrospin cihazının enjektör pompasına yerleştirildi. Nanofiberlerin toplanacağı metal plaka alüminyum folyo ile kaplanarak cihaza takıldı. Enjektör tablasının yüksekliği, atış mesafesi 12-14 cm arasında olacak şekilde ayarlandıktan sonra 0.5 mL/s hızla 12 kV elektromanyetik alan kuvveti ile nanofiberler elde edildi (Şekil 3.3-4). Elde edilen nanofiberler, oda sıcaklığında korunaklı bir şekilde 1 hafta süreyle kurutulduktan sonra, altına 1 M 50 mL sitrik asit çözeltisi yerleştirilmiş vakumlu desikatöre alınıp vakum altında sitrik asitle muamele edildi. Bu işlemin ardından, alüminyum folyodan dikkatli bir şekilde ayrılan nanofiberlerin tartımları alınarak çalışmanın ilerleyen aşamalarında kullanılmak üzere oda sıcaklığında saklandı.



Şekil 3.3. Elektroğirme cihazı ile nanofiber üretimi.



Şekil 3.4. Üretilmiş boş PVP ve PVP-AgNP'ler. Sırasıyla; a) boş PVP, b) PVP-AgNP1, c) PVP-AgNP2 ve d) PVP-AgNP3.

3.2.4. Sentezlenen nanomalzemelerin ve nanofiberlerin karakterizasyonu

UV-Vis Analizi

Sentezlenen AgNP'ler kuvars küvet içine alınarak, çözünürlüğü 1 nm'ye ayarlanan spektrofotometre (Cary 60 UV-Vis, Agilent Technologies, ABD) ile 200-800 nm dalga boyları arasında absorbans spektrumu ölçüldü.

XRD Analizi

Elde edilen NP tozu, Cu K- α radyasyonu ($k = 1.54 \text{ \AA}$) ile bir ADP PRO 2000 X-ışını kırınım sistemi kullanılarak analiz edildi. XRD paterni 10° ile 80° arasında 2θ aralığında $0,02$ adım büyüklüğü ile çalışılmıştır.

NP'lerin Zeta Potansiyelinin Ölçülmesi

Elde edilen NP'lerin zeta potansiyel ölçümleri; Nanoplus Zetasizer Nano-ZS kullanılarak, 633 nm dalga boyunda ışık ve 173° geri yansıma açısı ile ortam sıcaklığı 25°C ye ayarlanarak gerçekleştirildi. Tek kullanımlık zeta potansiyeli hücreleri (ışık yolu 1 cm), önce etil alkol daha sonra ise deiyonize su ile yıkanarak AgNP'ler yüklendi.

NP'lerin yüzey durumunun anlaşılması, stabiliteyi hakkında öngörü sunması bakımından önemlidir. Zeta potansiyel analizi ise, solüsyonda kolloidal yapıda yer alan NP'lerin yüzey yüklerini tespit etmede kullanılan önemli bir tekniktir.

FT-IR Analizi

FT-IR; yeşil sentez ile elde edilen nanopartiküller için olası bir stabilizatör olarak kabul edilen ve ilgili nanopartikülle ilişkili olan biyoorganik bileşenlerin varlığını göstermekte olan bir ölçüm tekniğidir. Yeşil sentez ile elde edilen nanopartiküller, kurutularak toz haline getirildikten sonra hassas terazi ile tartılarak miktarları tayin edildi. Bir miktar toz nanopartikül örneği FT-IR cihazının probuna yerleştirilerek, iyi bir sinyal/gürültü oranı elde edebilmek amacıyla $400\text{-}4000 \text{ cm}^{-1}$ aralığında kızılötesi spektrum ile analiz edildi. Nanopartiküllerin üzerinde bulunan ve çeşitli titreşim modları ile tanımlanmış farklı fonksiyonel gruplar belirlendi.

FE-SEM ve EDS Analizi

FE-SEM ve bu mikroskoba entegre bir Enerji Dağıtıcı Spektrometre (EDS) kullanılarak, yeşil sentez ile elde edilen nanopartiküllerin kimyasal bileşimleri ve morfolojileri analiz edildi. Çok az miktarda nanopartikül tozu karbon kaplı bir bakır ızgara üzerine aktarıldıktan sonra püskürtmeli tabanca yardımıyla iridyum ile kaplanarak mikroskoba yerleştirildi, daha sonra FE-SEM ve EDS analizleri gerçekleştirildi.

TGA Analizi

Çalışmada kullanılan PVP nanofiberler, PMMA rezin ve PVP katkılı PMMA rezinlerin termal stabiliteleri, TGA ile belirlendi. Platinyum bir panele yerleştirilen örnekler, üzerinden

sürekli nitrojen akışı geçirilerek 20°C/dk ısı artışı ile 15 dk boyunca analiz edildi. Oda sıcaklığı ile 500°C arasındaki sıcaklık değişimlerine bağlı olarak numunelerdeki kütle farkı ölçüldü.

TGA analizi; bir numunenin sıcaklığı zaman içinde değişirken kütlesindeki değişimin sürekli olarak ölçüldüğü bir analiz tekniği olup, kütle, sıcaklık ve zaman değişkenleri TGA'nın temel bileşenleri olarak kabul edilir ve çok sayıda ölçüm bu üç temel ölçümden üretilebilir.

Islatma açısı

Fiberlerin hidrofilik ve hidrofobik yapısını ortaya çıkarmak için fiberlerin ıslatma açıları belirlendi. Nanofiberlerin ve PMMA rezinlerin ıslanma özellikleri, oda sıcaklığında Dijital Su Temas Açısı Ölçer kullanılarak belirlendi. Her bir örnek, 20 mm'lik karelere bölünmüş ve ardından düzeneğin üzerine yerleştirilmiştir. Temas açısını ölçmek için her bir yüzeye oda sıcaklığında 5 µL hacminde su damlacıkları bırakılmıştır. Her numune için altı ölçümün ortalaması kullanılmıştır.

3.2.5. AgNp katkılı PVP içerikli PMMA rezin kompozitlerinin üretilmesi

Sadece PVP Nanofiberler, ağırlıkça %2, %1, %0.5 ve %0.25 gibi farklı oranlarda 3D baskılı yöntemle uygun fotopolimerizan rezine eklenmesiyle elde edildi.

Gümüş nanopartikül katkılı nanofiberler ise %0.25 PVP nanofibere ağırlıkça 20 mg, 10 mg ve 5 mg olarak 3D baskılı rezine eklendi.

Mekanik testler için; her bir grup için üçer örnek olmak kaydıyla, ISO 20795-1:2013 standartlarına uygun olacak şekilde 100 × 10 × 4 mm ebadındaki çubuklar 3D yazıcı kullanılarak üretilti. Karakterizasyon ve antibakteriyel aktivite için ise 10 mm çapında ve 4 mm kalınlığında diskler hazırlandı. Ayrıca renk analizi için, spektrofotometrenin çap aralığına uygun olacak şekilde 13 x 2 mm ebadında diskler hazırlandı. Bunun için, hassas terazi ile oranları belirlenmiş gümüş nanopartikül katkılı nanofiberler tartıldı. Ardından 100 ml rezin içerisine nanogümüş katkılı nanofiberler ilave edilerek homojenizatör (Isolab/ Ultra turrax) ile 15 dakika boyunca homojenize edildi. Resin karışımı, numunelerin katman başına 100 µm kalınlığında basıldığı bir 3D yazıcısına (Asiga 3D Yazıcı Sistemi, Avustralya) nazikçe aktarıldı. Baskı işleminin ardından örnekler yazıcıdan çıkarılıp üreticinin yönergelerine göre sonikasyon yoluyla izopropil alkol ile temizlendi. Daha sonra, örnekler 390-540 nm dalga boyu aralığında ışık yayan yüksek performanslı bir kütleme ünitesi (NOVA3D) kullanılarak 20 dakikalık kütleme işlemine tabi tutuldu.

3.2.6. Üretilen AgNp katkılı PVP içerikli PMMA rezin kompozitlerinin renk analizi

Üretilen örnekler numaralandırılarak, herhangi bir kimyasal ya da çevresel kontaminasyonunun önüne geçmek amacıyla analiz edilecekleri zamana kadar kapalı kutularda muhafaza edildi. Renk değişiminin değerlendirilmesi, bir Spektrofotometre cihazı (Lovibond RT 300) kullanılarak gerçekleştirildi. Her bir ana gruptan alınan 3 diskin, merkezinden 3'er defa ölçülerek CIEDE2000 koordinat değerleri elde edildi. Örnekler arasındaki renk farkı aşağıda belirtilen formüle göre hesaplandı.

$$\Delta E_{00}^* = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2 + R_T \frac{\Delta C'}{k_C S_C} \frac{\Delta H'}{k_H S_H}}$$

Daha önce elde edilen çalışmalar sonucunda ΔE_{00} değerinin 1.30'un algılanabilir renk değişikliği eşiği olarak kabul görmüştür. Değerin 2.25'in altında olması ise klinik olarak kabul edilebilir renk değişikliği olarak belirlenmiştir (Sahin ve ark., 2016).

3.2.7. Üretilen AgNp katkılı PVP içerikli PMMA rezin kompozitlerinin mekanik analizi

Hazırlanan tüm numuneler üniversal test makinesinde (Shimadzu) piston başlığı 1 mm/dak hızında 3 nokta eğme testine tabi tutulmuştur. Eğilme dayanımı için, $100 \times 10 \times 4$ mm boyutlarında numuneler hazırlandı (ISO, 2013).. Eğilme dayanımı, uygulanan maksimum yükün sonucu olarak MPa cinsinden ölçüldü ve aşağıdaki formül kullanılarak hesaplandı.

$$3FL \sigma = 2bh^2$$

Burada, F newton cinsinden numuneye uygulanan maksimum yük, L numunenin uzunluğu, b numunenin genişliği ve h numunenin yüksekliğidir (Aati ve ark., 2022).

3.2.8. Sentezlenen nanomalzemelerin antibakteriyel aktiviteleri

Antimikrobiyal Aktivite

Sentezlenen AgNP, nanofiberler ve AgNP katkılı nanofiber içeren PMMA disklerin antimikrobiyal etkinliğinin değerlendirilmesi amacıyla *C. albicans* (ATCC 140536) mikroorganizması kullanıldı. Çalışmada mikroorganizmaların kültürlenmesi Sabouraud Dekstroz Broth (SDB) ve Sabouraud Dekstroz Agar (SDA) besiyerleri kullanıldı. Ticari olarak satın alınan besiyerleri, üzerinde belirtilen reçete doğrultusunda tartılarak üzerine distile su eklendi ve manyetik karıştırıcıda tamamen çözününceye kadar karıştırıldı. Çözünen SDB, ağzı kapaklı mikrobiyolojik deney tüplerine 9'ar mL olacak şekilde aktarıldı. SDB içeren kapaklı tüpler ve SDA besiyeri otoklava aktararak 121°C'de 15 dakika boyunca sterilize edildi.

Sterilizasyon işlemi tamamlanan besiyerlerinden SDA, yaklaşık 45-50 °C 'ye kadar soğutulduktan sonra, petrilere yaklaşık 20 mL olacak şekilde biyogüvenlik kabini içerisinde döküldü ve katılaşmaya bırakıldı. Katılaşan SDA, SDB ile deneyin gerçekleştirileceği zamana kadar +4°C'de muhafaza edildi.

Koloni Sayım Metodu

Antimikrobiyal analiz için *C. albicans* mikroorganizmaları çalkalayıcı inkübatörde 37°C'de 150 rpm'de 16 saat aktifleştirildi. Bakteri kültürleri, 0.5 McFarland standardına uygun optik yoğunluğa ayarlandı. Nanofiberler, 10 mm'lik kareler şeklinde kesilerek boş petrilere yerleştirildi ve 1 saat biyoüvenlik kabininde UV lamba altında sterilize edildi. Sterilize edilen diskler, 0.5 McFarland standardına ayarlanan konsantrasyondaki bakteri süspansiyonu ile inoküle edilerek 37°C'de 24 saat boyunca inkübe edildi. İnkübasyon süresi sonunda, *C. albicans* içeren örnekler 1 mL SDB besiyeri ile yıkandı ve 1/10 oranında seri dilüsyonlar hazırlandı. Hazırlanan dilüsyonlar, SDA besiyeri bulunan petrilere 100 µL hacimde eklenerek Drigalski spatülü ile yayıldı. Petriler, 37°C'de 24 saat boyunca inkübasyona bırakıldı.

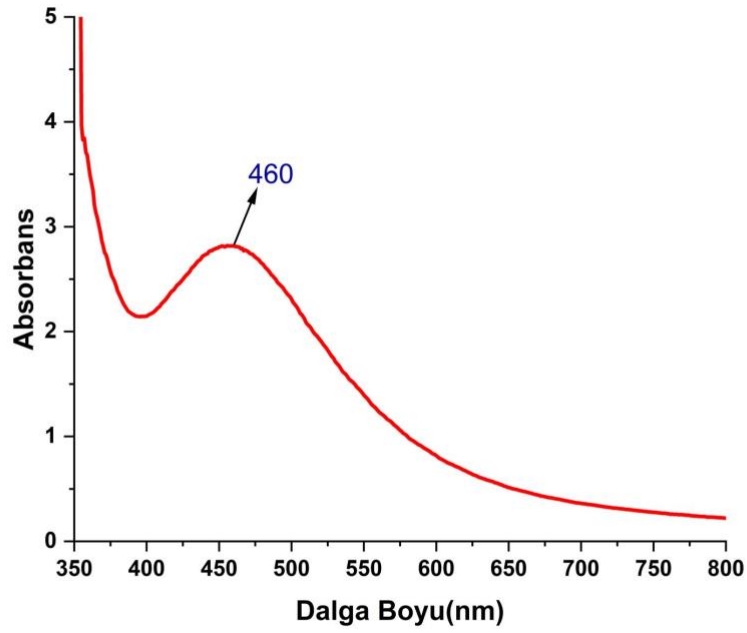
4.BULGULAR

4.1. AgNP'lerin Karakterizasyonu

Bu çalışmada, AgNP'ler yeşil sentez yaklaşımı ile sentezlendi. Kekik (*Thymus sp.*) yaprakları, nanoparçacıkların (AgNP'ler) hazırlanması için kullanıldı. AgNP'lerin sentez sırasında oluşumları UV-Vis analizi ile doğrulandı (Şekil 4.1). Nanopartikül içeren solüsyon kuvars küvet içerisine alınarak, çözünürlüğü 1 nm'ye ayarlanmış UV-Vis spektrofotometrede 200-800 nm aralığında absorbans spektrum ölçümü gerçekleştirildi (Şekil 4.1). Elde edilen AgNP'lerin 460 nm'de maksimum absorbans verdikleri tespit edildi. Elde edilen bulguların literatür ile tutarlı olduğu gözlemlendi (Erci ve Torlak, 2019).

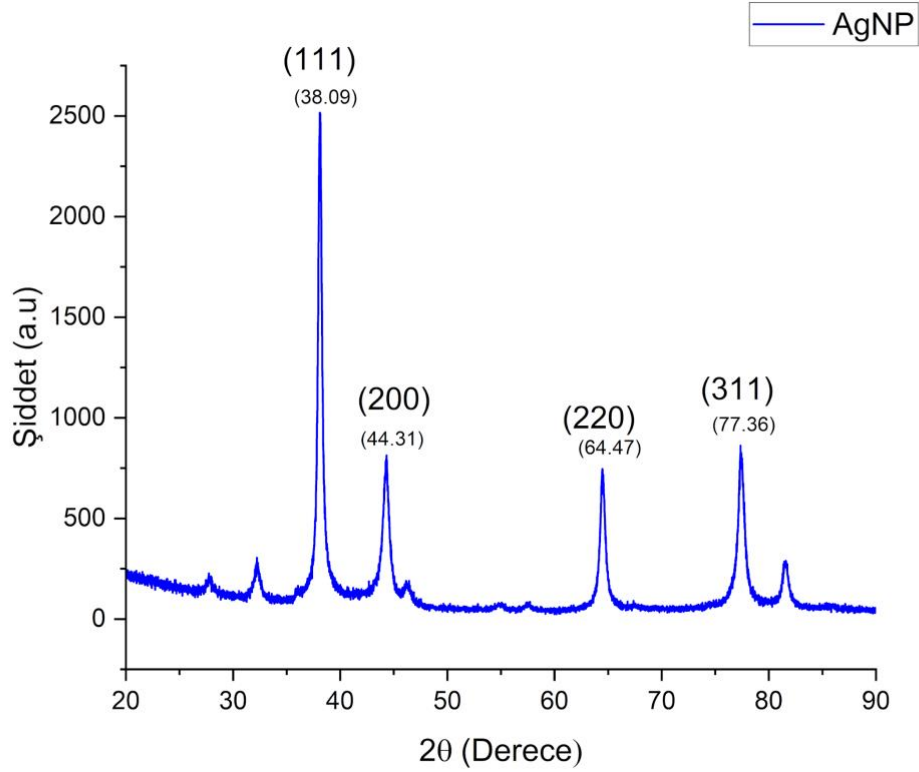


Şekil 4.1. Nanopartikül sentezi sırasındaki renk değişimi



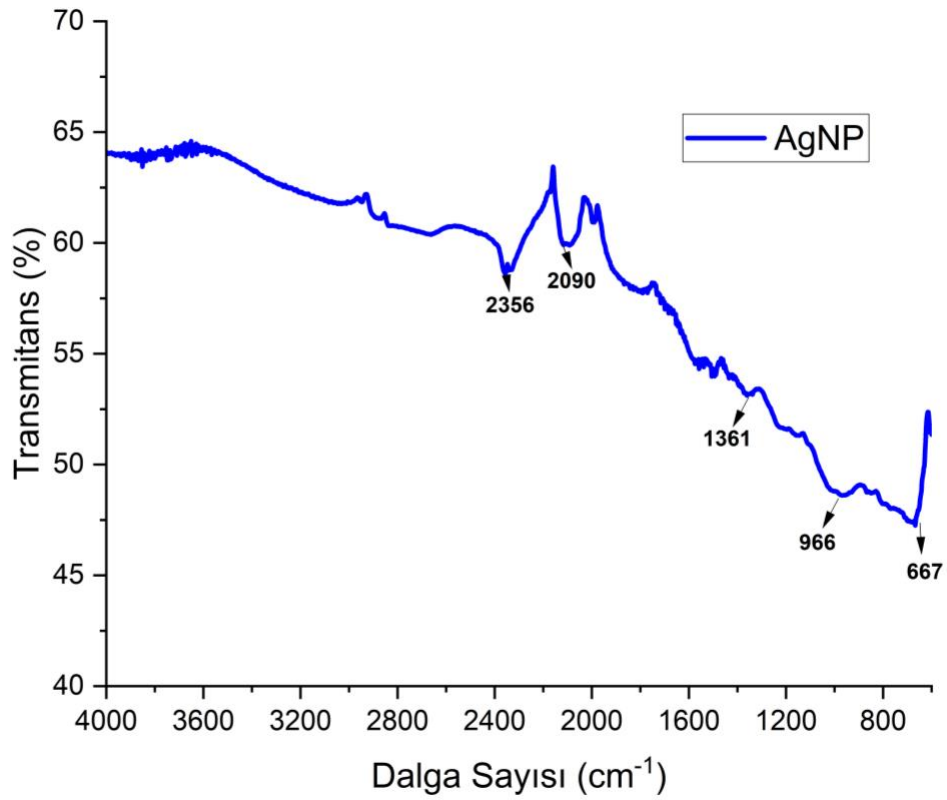
Şekil 4.2. AgNP'lerin absorbans spektrumu grafiği

X-ışını kırınımı (XRD), nanopartiküllerin yapısal özelliklerini anlamak için kritik bir tekniktir. XRD, nanopartiküllerin kristal fazını ve kristallliğini belirlemek için kullanılmaktadır (Dao ve ark., 2015). XRD analizi ile nanopartiküllerin kristal yapıları ortaya çıkarıldı. Elde edilen AgNP'lerin XRD grafiği Şekil 4.3'de verildi. Hazırlanan gümüş nanoparçacıkların XRD spektrumu, sırasıyla gümüşün yüz merkezli kübik kristal yapısının karakteristik Bragg'ın kırınım düzlemleri (111), (200), (220) ve (310) olan $2\theta = 38.09^\circ$, 44.31° , 64.47° ve 77.36° 'da dört kırınım bandını gösterdi.



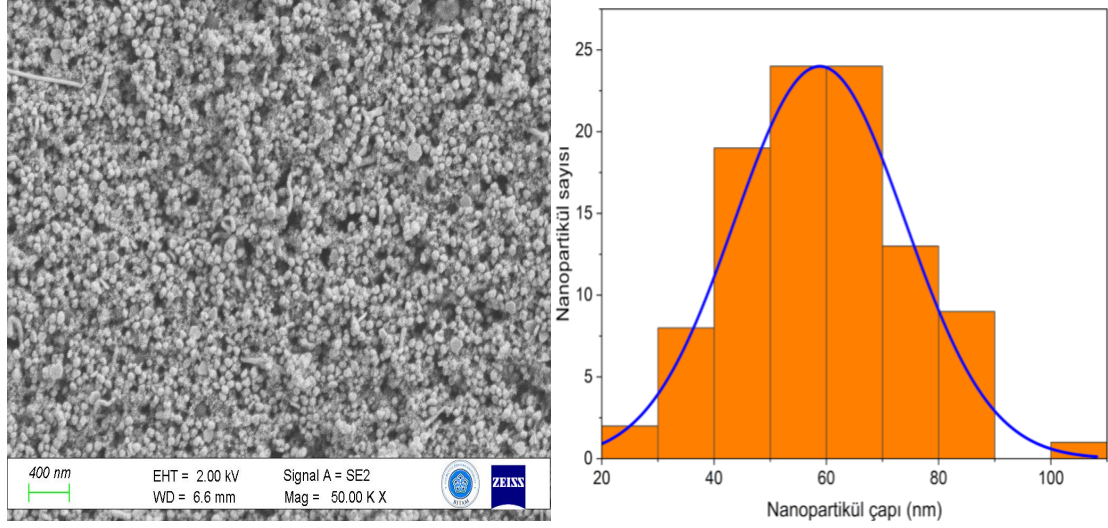
Şekil 4.3. Nanopartiküllerin XRD analizi

Sentezlenen AgNP'ler FTIR spektroskopisi kullanılarak 4000-500 cm^{-1} tarama aralığında analiz edildi. AgNP'lerin FTIR spektrumları Şekil 4.4'de gösterildiği gibi 2356, 2090, 1361, 966 ve 667 cm^{-1} 'de piklerin ortaya çıktığı görüldü. 2356'deki pik amidlerin N-H gerilme titreşimlerini gösterdiği belirlenirken, gözlenen diğer pikler, 2090, 1361, 966 ve 667 cm^{-1} 'de , alkol ve fenollerdeki C-H bağı, bitki ekstraktında bulunan karbonil ile ilişkilendirilebilir (Gholami ve ark., 2018). Literatürün çoğunluğu, gümüş tuzunun indirgenmesi sürecinde stabilize edici ve kapatıcı maddeler olarak hareket eden biyolojik bileşiklerin önemli rolünü vurgulamıştır (Wiley ve ark., 2007). Sentezlenen AgNP'lerin FTIR spektrum analizi, kekik ekstraktının aktif biyomoleküller içerdiğini ve bunların AgNP sentezi sırasında Ag^+ iyonlarının biyo-indirgenmesini kolaylaştırdığını gösterdi (Heidari ve ark., 2018).



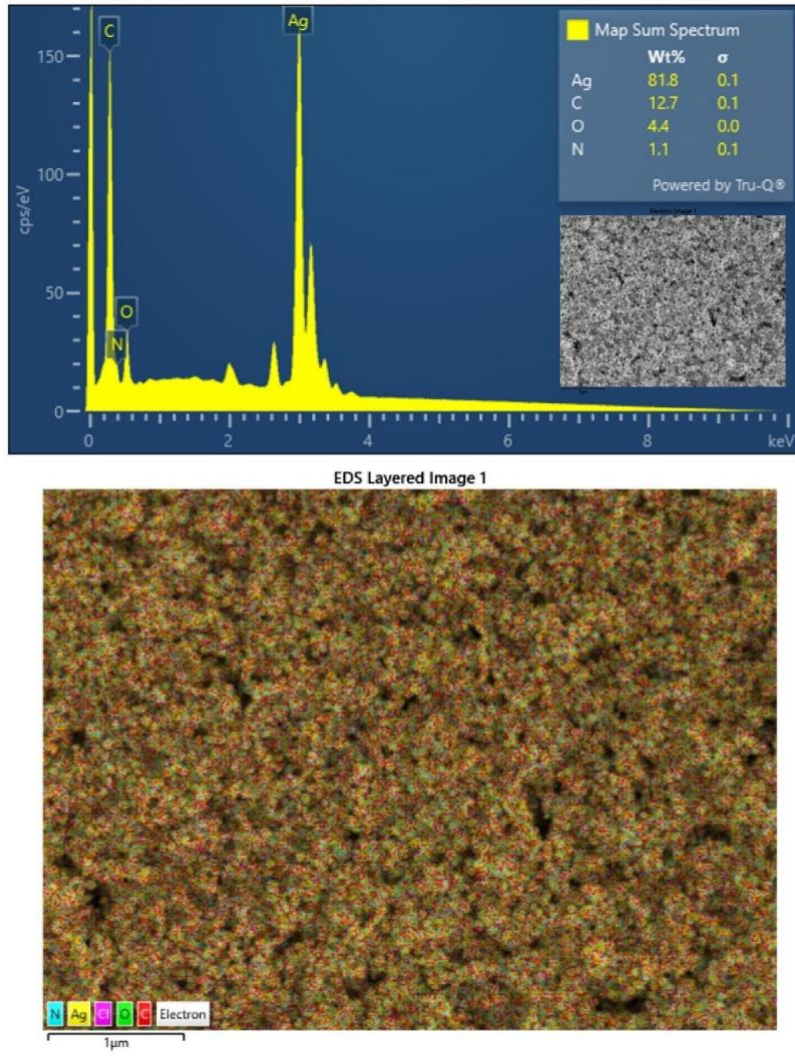
Şekil 4.4. Nanopartiküllerin FTIR analizi

Şekil 4.5'te sentezlenen AgNP'lerin şekil ve boyut analizleri FESEM cihazı ile alınan görüntülerle analizi gösterilmektedir. Boyut dağılımları toplamda 100 örneğin çapları Image J programı aracılığı ile ölçülerek büyüklük dağılımları belirlendi. Sentezlenen AgNP'lerin genel olarak küresel formda ve homojen bir dağılım gösterdiği tespit edildi. Elde edilen nanopartiküllerin ortalama çapının 58.84 ± 15.17 nm olarak ortaya çıktığı nanopartiküllerin 26.32 ile 108.50 nm arasında büyüklük yönünden dağılım gösterdiği belirlendi.



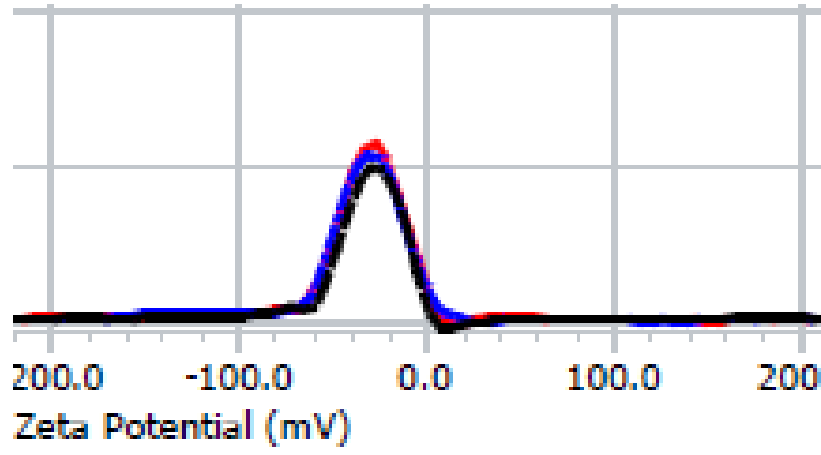
Şekil 4.5. Nanopartiküllerin FESEM analizleri ve ortalama çaplarının dağılımı

EDS spektrumunun analizi, Şekil 4.6'da gösterildiği gibi, sentezlenen nanopartiküllerde elementel gümüş sinyallerinin varlığını tespit etmek için yapıldı. Şekil 4.6'nın altındaki tabloda ayrıntıları verilen elementel bileşim profili, en yüksek sinyalin gümüşe (%81.80) karşılık geldiğini ve diğer elementlerin bunu takip ettiğini gösterdi. Özellikle, yaklaşık 3 keV'de gözlemlenen belirgin pik, gümüş nanoyapıların yüzey plazmon rezonansını işaret etmektedir (M. Li ve ark., 2015).



Şekil 4.6. Nanopartiküllerin EDS analizi

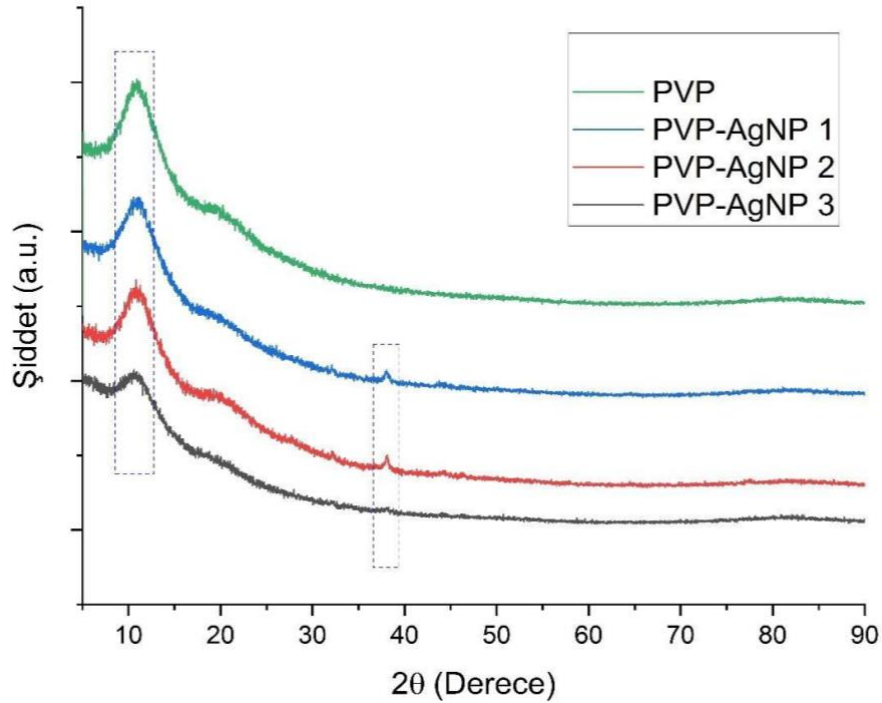
Şekil 4.7’de; AgNP’lerin zeta potansiyelinin -29.05 mV bulunması, kolloidal olarak stabil olduklarını ortaya koydu.



Şekil 4.7. Nanopartiküllerin zeta potansiyeli

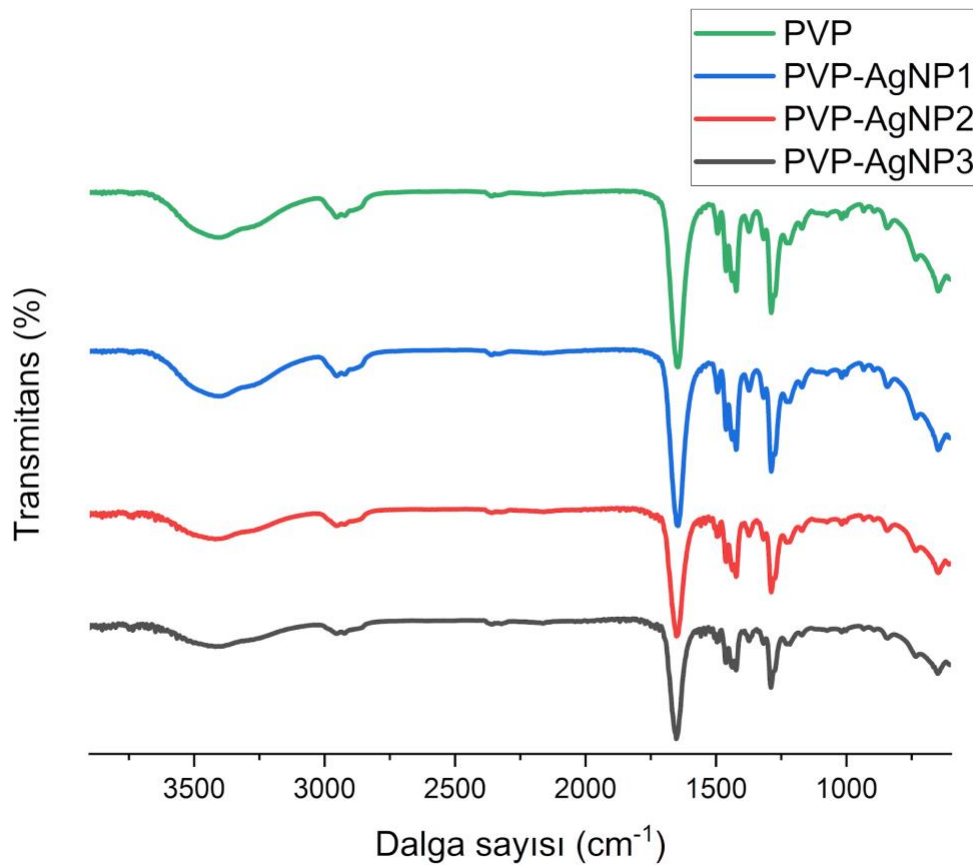
4.2. AgNP Yüklü PVP Nanofiberlerin Üretimi ve Karakterizasyonu

Şekil 4.8’de PVP nanofilm deseninde $2\theta=10.93^\circ$ ’de geniş bir pik gözlemlendi (Cao ve ark., 2022). AgNP içeriğinin artmasıyla birlikte geniş pik azalmış, bu da AgNP ve PVP’nin karışık eğrilmesinin başarısını gösterdi.



Şekil 4.8. PVP ve PVP-AgNP fiberlerin XRD analizleri

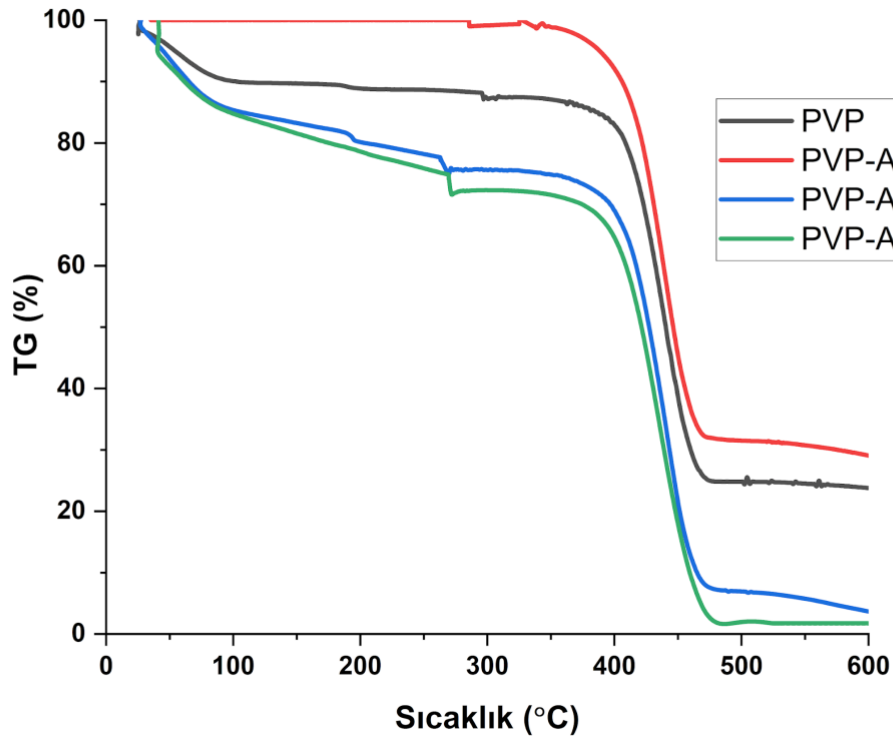
PVP nanofiberlerin FTIR karakteristik absorpsiyon pikleri sırasıyla karbonil grubunun ($C=O$) titreşimine, $O-H$ bükülmesine, lakton yapısına ve $-C-N$ gerilmesine atfedilen 1640, 1420, 1370 ve 1290 cm^{-1} 'de gözlemlendi (Deniz ve ark., 2011). 3750-3000 cm^{-1} 'deki geniş gerilme bandı $O-H$ ve $N-H$ gerilme titreşimlerine karşılık geldi (Kowalonek ve Kaczmarek, 2010). PVP nanofiberleri için 1660 cm^{-1} 'deki absorpsiyon bandı PVP/AgNP nanofiberleri durumunda hafifçe 1650 cm^{-1} 'e kaydı ve bu da PVP/AgNP nanofiberli kompozitlerde PVP ve AgNP'nin $C=O$ grupları arasındaki etkileşimin varlığını gösterdi (Dong ve ark., 2010). Kısacası, FTIR çalışması nanofiberli kompozitlerde PVP matrisi ile AgNP'ler arasında moleküler etkileşimlerin varlığını ortaya koymuştur.



Şekil 4.9. PVP ve PVP-AgNP fiberlerin FTIR analizleri

Şekil 4.10'da nanofiberlerin termogramları verildi. PVP, hidrofilik yapısı nedeniyle 100°C'ye kadar %9,94 kütle kaybetti, 380 °C ile 478 °C arasında bozundu. Bu derecede toplam %76,14 kütle kaybı gerçekleşti. 100 °C'den önceki ilk bozunma çözücüler ve bağlı suyun buharlaşmasıyla ilişkilidir (Contardi ve ark., 2021). Nanofiberlerin termogramları

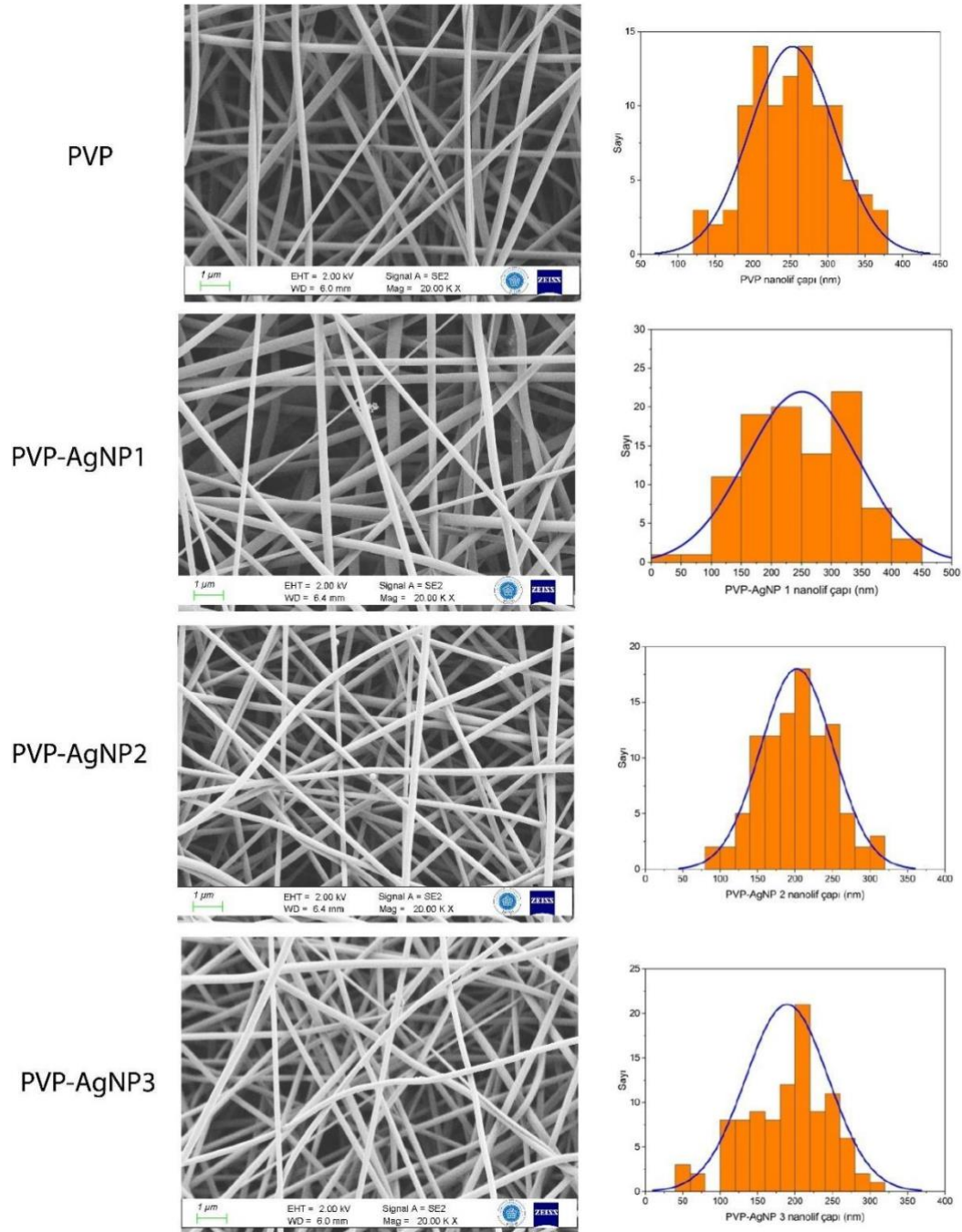
incelendiğinde PVP-AgNP1 nanofiberlerin PVP nanofiberine benzer bir termal davranış gösterdiği tespit edildi. AgNP miktarı arttıkça PVP bazlı nanofiberler iki aşamalı bir bozunma daha belirgin gösterdi. PVP-AgNP2 nanofiberler 100°C'ye kadar % 14,65 kütle kaybı gösterirken . PVP-AgNP3 nanofiberler 100°C'ye kadar % 15,24 kütle kaybı gösterdi. İki örnekte 360 ve 470°C arasında ikincil bozunma gösterdi. PVP-AgNP2 nanofiberler 470 °C'de % 8.33 kalıntı gösterirken, PVP-AgNP3 nanofiberler 470 °C'de % 4.15 kalıntı gösterdi. PVP nanofiberlerinde AgNP konsantrasyonu arttıkça termal bozunma miktarının arttığı gözlemlendi. PVP-AgNP1 nanofiberlerin ise PVP nanofiberlere benzer bozunma davranışı gösterdiği ortaya çıktı.



Şekil 4.10. PVP ve PVP-AgNP fiberlerin TGA analizleri

Şekil 4.11'de elde edilen PVP ve AgNP katkılı PVP nanofiberlerin FESEM görüntüleri ve bu görüntülerden ortalama 100 nanofiber çap ölçümü ile oluşturulan nanofiber çaplarının büyüklük dağılımı gösterildi. Ortalama nanofiber çapları PVP 252.58, PVP-AgNP1 250.88, PVP-AgNP2 202.41 ve PVP-AgNP3 189.29 olarak bulundu. AgNP oranı arttıkça nanofiber ortalama çaplarının küçüldüğü belirlendi. Bu sonuçlar literatürle uyumluluk gösterdi (He ve

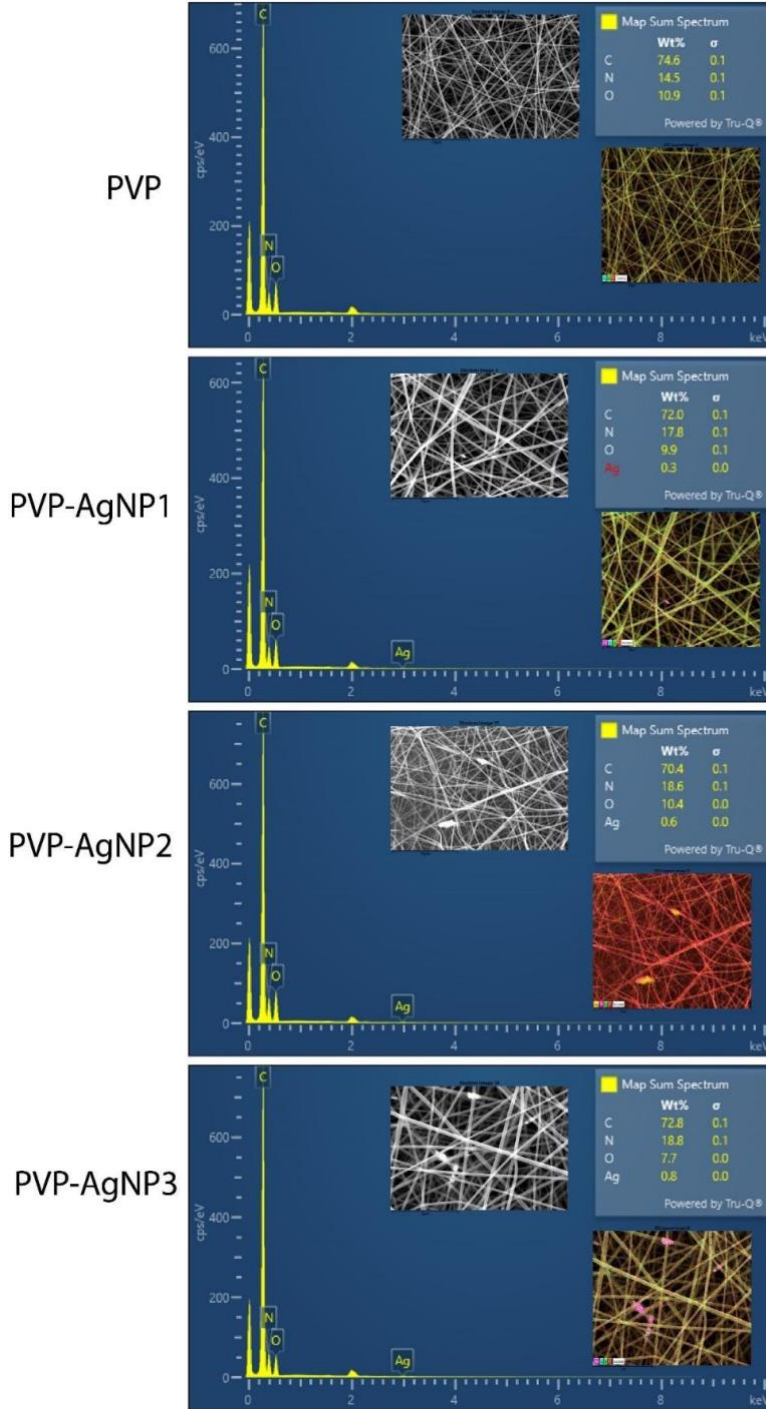
ark., 2020). AgNPs içeren nanofiberlerin çap ve boyut dağılımında gözlenen değişiklikler, AgNPs ilavesiyle elektroegirme çözeltilerinin iletkenliğindeki artışa bağlanabilmektedir.



Şekil 4.11. PVP ve PVP-AgNP fiberlerin FESEM analizleri ve boyut ölçümleri

Şekil 4.12’de elde edilen PVP ve AgNP katkılı PVP nanofiberlerin FESEM-EDS analiz sonuçları ve elementel haritalama görüntüleri verildi. PVP nanofiberinin EDS spektrumu,

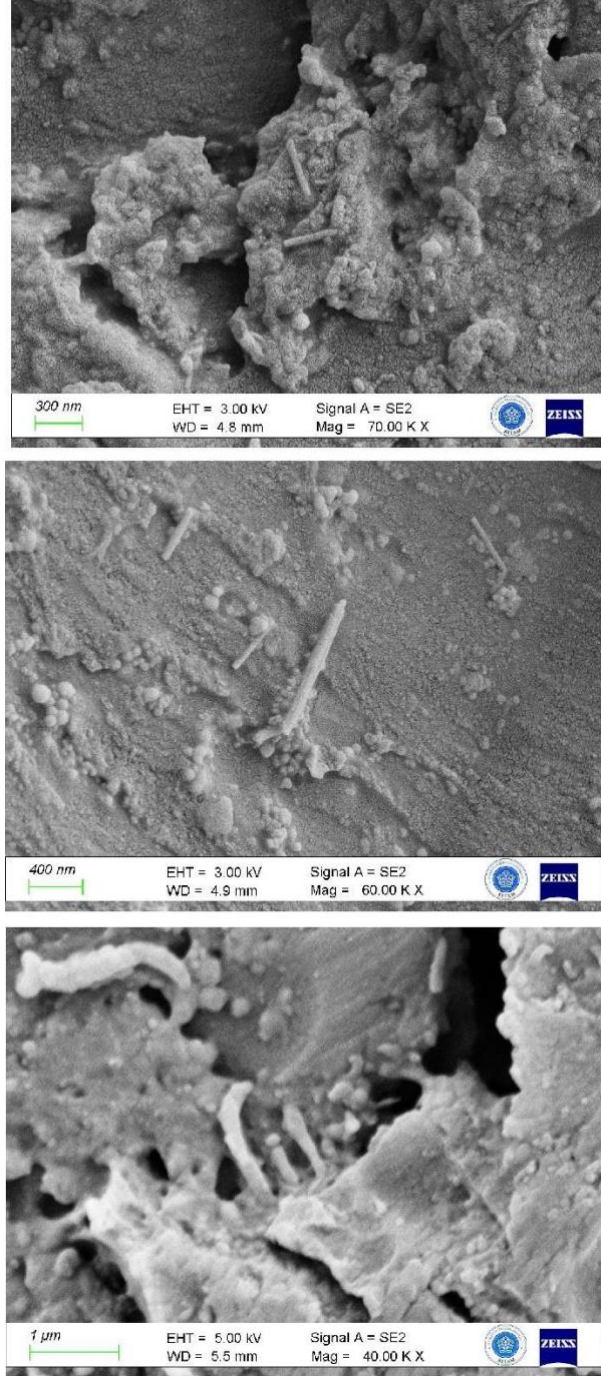
PVP'nin moleküler yapısıyla ilgili karbon (C), oksijen (O) ve nitrojen (N) dahil olmak üzere pirolidon grubunun temel elementlerinin varlığını açıkça doğruladı. PVP-AgNP1 de ise bu elementlere ilaveten Ag oranı % 0.3 olurken PVP-AgNP 2 ve PVP-AgNP3 için bu değerler % 0.6 ve 0.8 olarak ortaya çıktı. Bu analiz ile nanopartiküllerin nanofiberlere katkılanmaları doğrulanmış olup aynı zamanda nanofiberler içerisinde AgNP'lerin homojen bir dağılım gösterdiği ortaya çıktı.



Şekil 4.12. PVP ve PVP-AgNP fiberlerin FESEM EDS analizleri

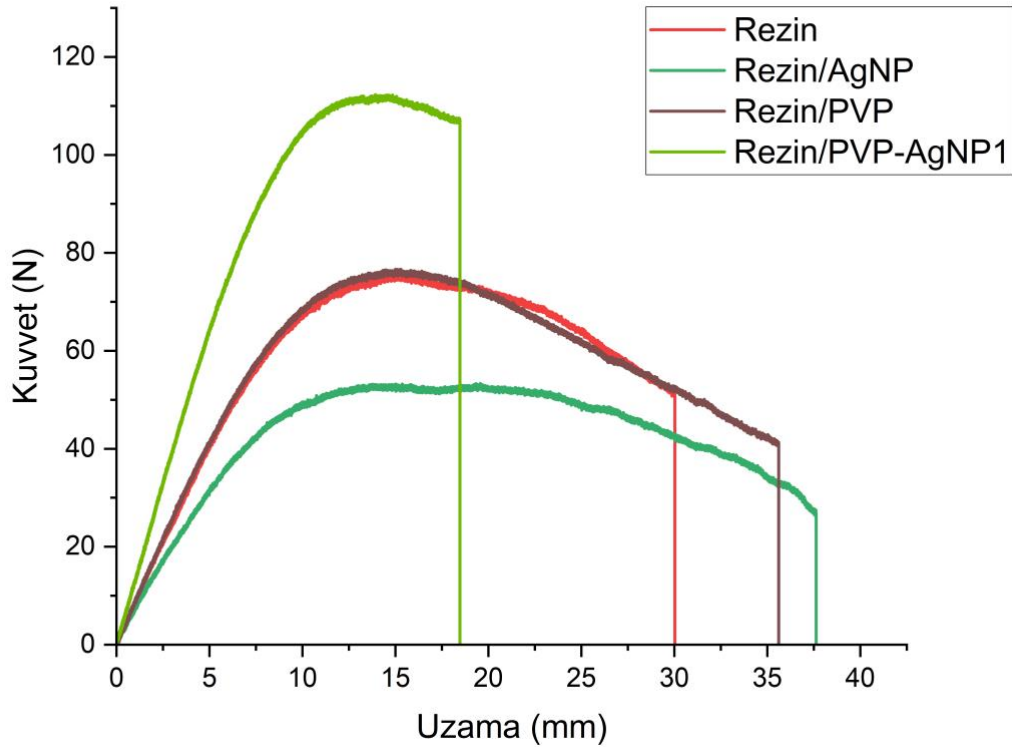
4.3. AgNP Yüklü PVP Nanofiber İçerikli PMMA Rezin Üretimi ve Karakterizasyonu

Şekil 4.13’de rezin örnekleri içerisinde nanofiberlerin dağılımı görülmektedir. Sitrik asit ile crosslink yapılan PVP nanofiberlerinin, PMMA rezin içerisinde homojen bir şekilde dağıtılan parçaları FESEM görüntülerinden görülmektedir. Burada nanofiberlerin eşit uzunluklarda parçalanarak homojen bir şekilde rezin içerisinde dağıtıldığı ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.13. PVP-AgNP nanlif yüklü PMMA rezinlerin FESEM analizleri

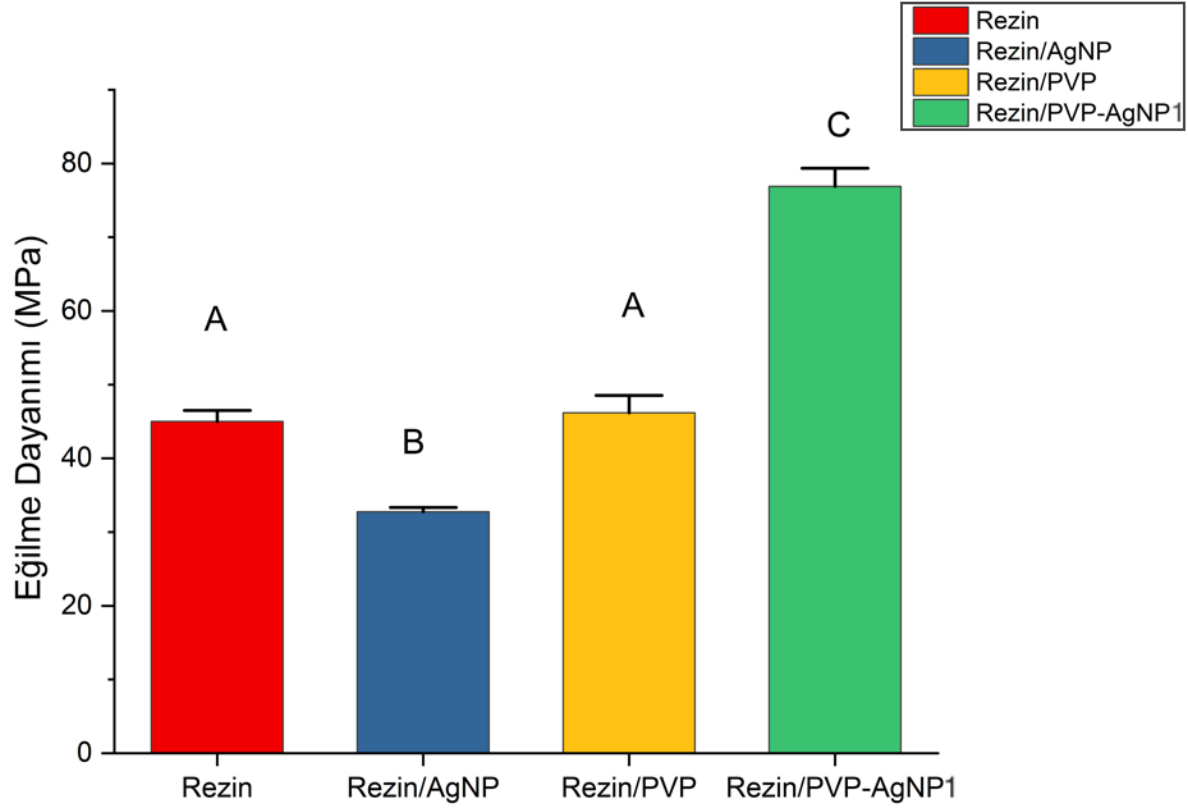
Şekil 4.14'te örneklerin 3 nokta eğilme testi sonucunda maksimum kuvvet uzama grafikleri verildi. Rezin ortalama 75.93 ± 2.43 ortalama maksimum kuvvet gösterirken bu değer Rezin/AgNP için 52.84 ± 1.26 'ya düştüğü gözlemlendi. Fakat en yüksek uzamayı Rezin/AgNP örneği gösterdi. Bu sonuçlar AgNP'lerin rezinde esneme miktarını arttırdığını gösterdi. En yüksek kuvvet değeri ise Rezin/PVP-AgNP örneği için 113.02 ± 3.33 olarak belirlendi. Bu sonuçlarda yeşil sentezlenmiş AgNP'lerin maksimum kuvvette bir düşüşe sebebiyet verdikleri gözlemlenirken, AgNP katkılı PVP nanofiberlerin ise tam tersi olarak maksimum kuvvette rezin örneğine göre istatistiksel olarak önemli bir artışa sebep olduğu gözlemlendi ($p < 0.05$). Rezin ve Rezin/PVP örneği arasında istatistiksel önemli bir fark olmadığı tespit edildi ($p = 0.823$).



Şekil 4.14. PVP-AgNP nanlif yüklü PMMA rezinlerin mekanik analizleri değerleri

Şekil 4.15 ve Tablo 4.1'de örneklerin 3 nokta eğilme testi sonucunda eğilme dayanımı verileri gösterildi. Rezin ortalama 45.00 ± 1.44 MPa ortalama eğilme dayanımı gösterirken bu değer Rezin/AgNP için 32.75 ± 0.78 MPa'ye düştüğü gözlemlendi. En yüksek değer ise Rezin/PVP-AgNP örneği için 76.89 ± 2.27 MPa olarak belirlendi. Bu sonuçlar yeşil

sentezlenmiş AgNP'lerin eğilme dayanımında da bir düşüşe sebebiyet verdiği diğer yandan AgNP katkılı PVP nanofiberlerin ise eğilme dayanımını rezin örneğine göre istatistiksel olarak önemli bir oranda arttırdığı tespit edildi ($p < 0.05$). Rezin ve Rezin/PVP örneği arasında istatistiksel önemli bir fark olmadığı tespit edildi ($p = 0.845$).



Şekil 4.15. Rezin/PVP-AgNP'lerin eğilme dayanımı

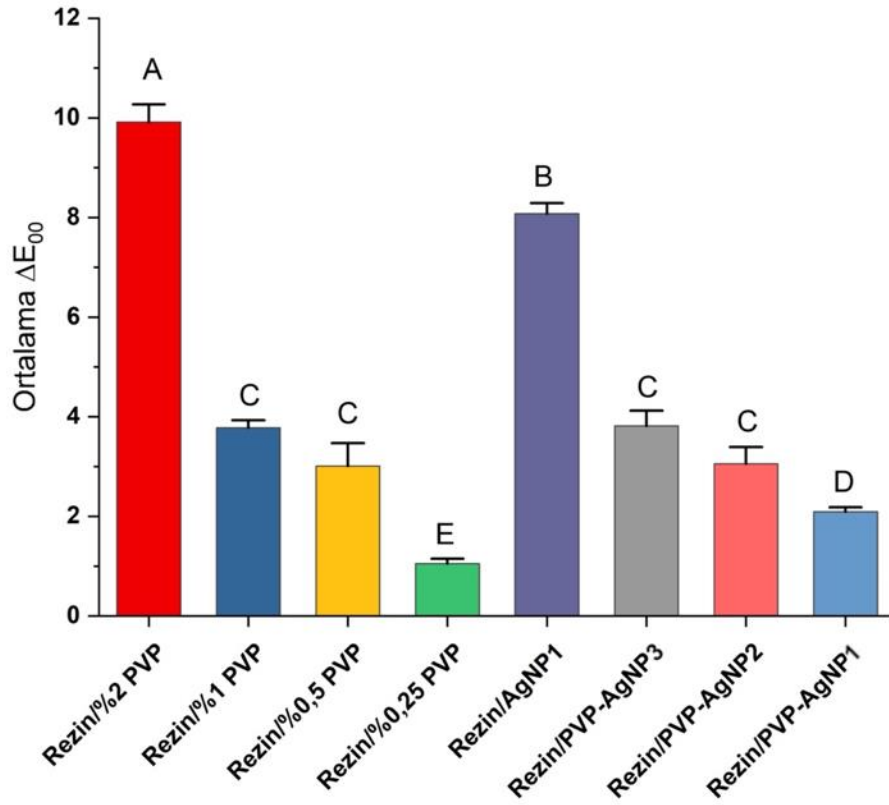
Tablo 4.1. Rezin/PVP-AgNP'lerin eğilme dayanımı sonuçları

	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	Minimum	Medyan	Maksimum
Rezin	44.99773	1.4371	0.82971	43.6383	44.8533	46.5016
Rezin/AgNP	32.75463	0.7783	0.44935	31.8712	33.0535	33.3392
Rezin/PVP	46.1657	2.11007	1.21825	44.5236	45.4279	48.5456
Rezin/PVP-AgNP	76.88503	2.26633	1.30846	74.8991	76.4021	79.3539

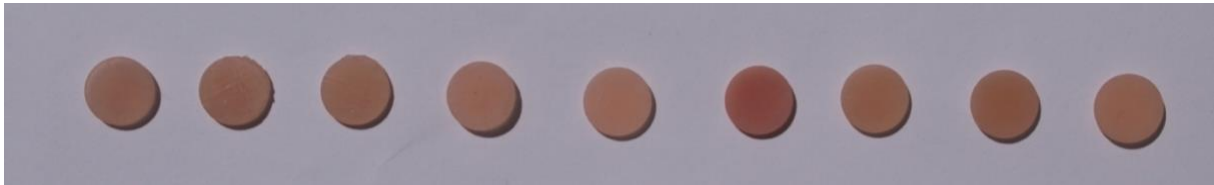
AgNP, PVP ve PVP-AgNP nanofiber ile modifiye edilmiş PMMA gruplarının renk değişimindeki standart sapma (SD) ve ortalama değerler (ΔE^{00}) Tablo 4.2'de gösterildi. Tek Yönlü ANOVA testi sonucunda, test edilen farklı gruplar arasında anlamlı bir fark olduğu tespit edildi, ayrıca Tukey'in post hoc testi kullanılarak yapılan ikili karşılaştırmalar da test edilen gruplar arasında anlamlı farklılıklar olduğu belirlendi. Nanomateryallerin dahil edilmesinin 3D PMMA numunelerinin renk değişimi üzerinde önemli etkilere sebep olduğu tespit edildi. Daha önce yapılan çalışmalarda ΔE^{00} değerinin algılanabilir renk değişikliği 1.30 olarak kabul edilirken, klinik olarak kabul edilebilir renk değişiklik eşiği 2.25 olarak belirlendi (Sahin ve ark., 2016). Buna göre, PMMA/%0,25PVP'nin ΔE_{00} 1.05 ± 0.095 değerleri ile algılanabilir renk değişikliği eşiğinin altında kalan tek grup olduğu tespit edildi. PMMA/PVP-AgNP1 ise klinik olarak kabul edilebilir renk değişim eşiğinin altında kalırken (ΔE_{00} 2.09 ± 0.08), PMMA/PVP-AgNP2 (ΔE_{00} 3.06 ± 0.33) ve PMMA/PVP-AgNP3 (ΔE_{00} 3.82 ± 0.27) klinik olarak kabul edilebilir renk değişim eşiğinin üstünde sonuç verdi. PMMA/%2PVP ΔE_{00} 9.92 ± 0.53 değerleri ile en yüksek ortalama değerini verirken, PMMA/AgNP1 ise ΔE_{00} 8.08 ± 0.34 ile bu değeri takip etti. PMMA/%1PVP ΔE_{00} 3.78 ± 0.13 ve PMMA/%0,5PVP ΔE_{00} 3.01 ± 0.40 ile birbirlerine yakın ortalama değeri gösterdi. Kontrol grubuna göre renk değişimleri Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de görülmektedir.

Tablo 4.2. Rezin/PVP-AgNP kompozitlerinin ortalama ΔE_{00} değerleri.

	N total	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	Minimum	Medyan	Maksimum
Rezin/%2 PVP	3	9.91667	0.52776	29.75	9.31	10.17	10.27
Rezin/%1 PVP	3	3.78	0.13077	11.34	3.69	3.72	3.93
Rezin/%0,5 PVP	3	3.01	0.3985	9.03	2.77	2.79	3.47
Rezin/%0,25 PVP	3	1.05	0.09539	3.15	0.96	1.04	1.15
Rezin/AgNP1	3	8.07667	0.33546	24.23	7.69	8.25	8.29
Rezin/PVP-AgNP3	3	3.81667	0.27319	11.45	3.59	3.74	4.12
Rezin/PVP-AgNP2	3	3.05667	0.32532	9.17	2.74	3.04	3.39
Rezin/PVP-AgNP1	3	2.09	0.07937	6.27	2.03	2.06	2.18

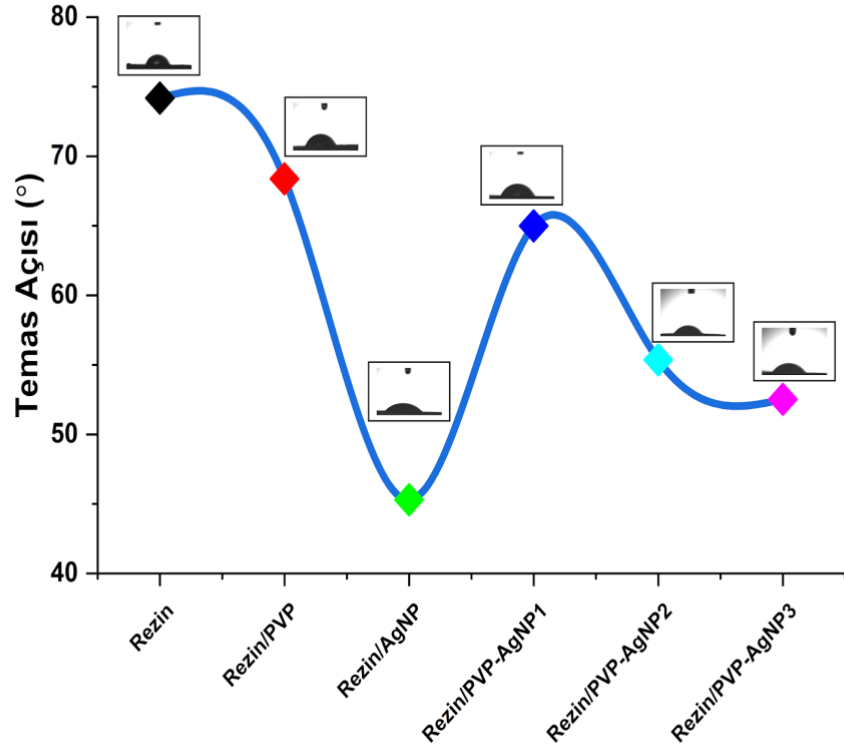


Şekil 4.16. Kontrol grubuna göre Resin/PVP-AgNP kompozitlerinin renk değişim grafiği.



Şekil 4.17. Kontrol grubuna göre Resin/PVP-AgNP kompozitlerinin renk değişimleri. Soldan sağa: Resin (Kontrol grubu), Resin/%2PVP, Resin/%1PVP, Resin/%0,5PVP, Resin/%0,25PVP, Resin/AgNP1, Resin/PVP-AgNP3, Resin/PVP-AgNP2 ve Resin/PVP-AgNP1

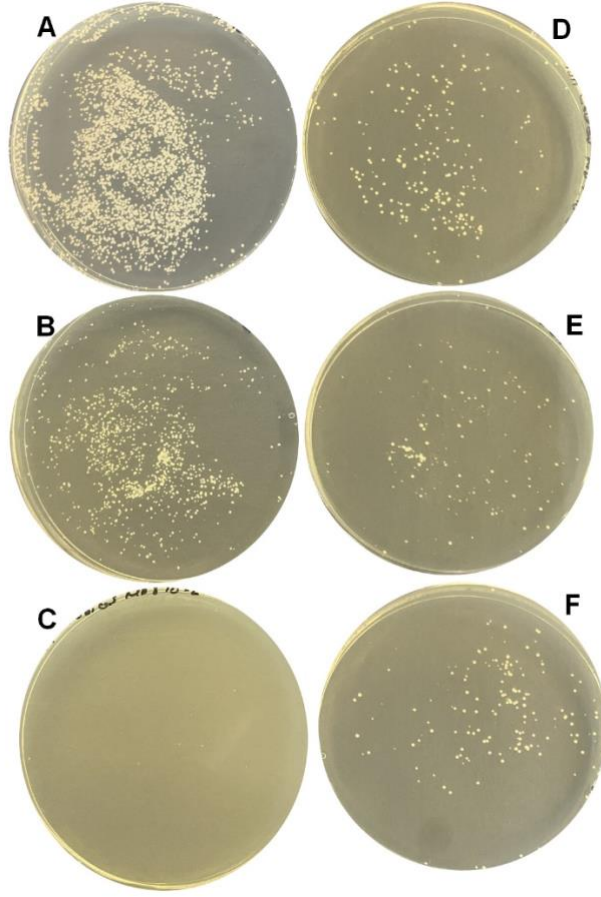
Şekil 4.18’de resin örneklerinin yüzey ıslanabilirliğini karakterize etmek amacıyla temas açısı ölçümünün sonuçları verildi. Resinin temas açısı ölçümü 74.18 olarak ortaya çıktı. PVP’nin eklenmesinden sonra akrilik resin yüzeyindeki temas açısı azaldı (68.38) ve sonuç olarak daha hidrofilik bir yüzey belirlendi. AgNP’lerin eklenmesi ile temas açısı 45.30’a kadar düştü. Resin/PVP-AgNP1, Resin/PVP-AgNP2 ve Resin/PVP-AgNP3 örneklerinde temas açıları sırası ile 64.99, 55.36 ve 52.53 olarak belirlendi. AgNP konsantrasyonunun artması ile resin temas açısının küçüldüğü tespit edildi.



Şekil 4.18. VP-AgNP nanlif yüklü PMMA rezinlerin ıslatma açısı

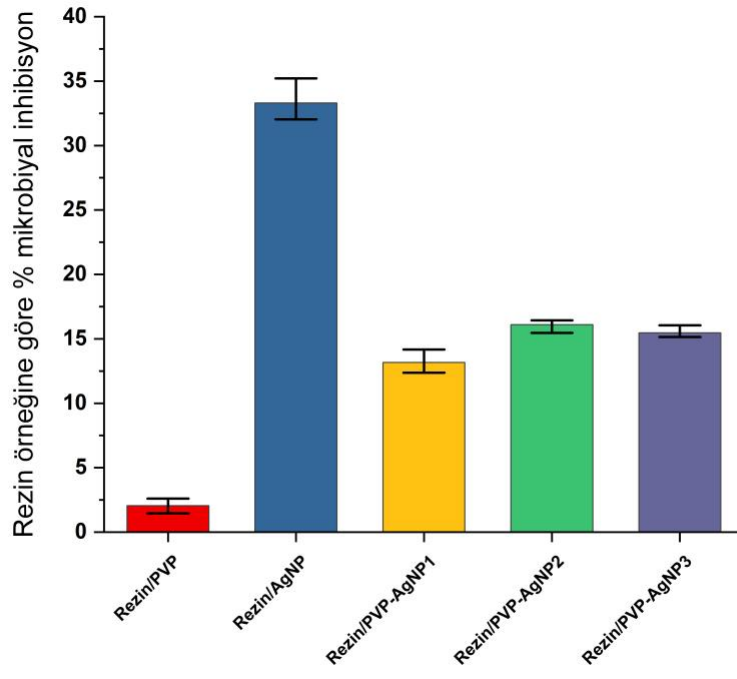
4.4. Nanofiberlerin ve Üretilen Rezin Yapılarının Antimikrobiyal Aktivitelerinin Ölçülmesi

Şekil 4.19 Rezin, Rezin/PVP, Rezin/AgNP, Rezin/PVP-AgNP1, Rezin/PVP-AgNP2 ve Rezin/PVP-AgNP3 örneklerinin *C.albicans*'a karşı sergilemiş olduğu antimikrobiyal aktiviteyi göstermektedir. Sonuçlar antimikrobiyal aktivitenin AgNP konsantrasyonu ile arttığını gösterdi.



Şekil 4.19. Resin/PVP-AgNP'lerin antimikrobiyal sonuçları. A=Resin, B=Resin/PVP, C=Resin/AgNP, D=Resin/PVP-AgNP1, E= E=Resin/PVP-AgNP2 ve F=Resin/PVP-AgNP3

Şekil 4.20, boş PMMA rezinine kıyasla çeşitli resin örnekleri için *C.albicans* inhibisyon değerlerini sunmaktadır. Farklı resin türleri için ortalama inhibisyon değerleri Resin/PVP (% 2.04), Resin/AgNP (%33.30), Resin/PVP-AgNP1 (%13.17), Resin/PVP-AgNP2 (%16.10) ve Resin/PVP-AgNP3 (%15.46) olarak bulundu. Sonuçlar PVP, AgNP ve PVP-AgNP kombinasyonlarıyla modifiye edilen resin örneklerinin *C.albicans*'a karşı değişen derecelerde inhibisyon sergilediğini göstermektedir. Spesifik olarak, Resin/AgNP örneği en yüksek inhibisyon değerini gösterirken, bunu sırasıyla resin/PVP-AgNP1, resin/PVP-AgNP2 ve resin/PVP-AgNP3 izlemektedir. Bu bulgular, AgNP ve PVP'nin PMMA resin matrisine dahil edilmesinin, modifiye edilmemiş PMMA rezine kıyasla artan inhibisyon değerlerinden de anlaşılacağı üzere, antifungal özelliklerini geliştirdiğini göstermektedir.



Şekil 4.20. Katkılanmış rezin örneklerinin kontrol grubuna oranla % *C.albicans* inhibisyon grafiği

5.TARTIŞMA

Bu çalışma, bitki ekstraktları kullanılarak sentezlenen gümüş nanopartiküllerin, elektroğirme yöntemi ile üretilen nanofiberlere yüklenmesi ve bu nanofiberlerin PMMA rezinlerine katkılanması ile elde edilen yeni bir malzemenin antimikrobiyal ve mekanik özelliklerini incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın hipotezi olan, yeşil sentez yolu ile çevre dostu sentez sisteminde sentezlenen gümüş nanopartiküller ile katkılanmış daha ince ve homojen üretilen nanofiberlerin PMMA rezinine katkılanması ile uluslararası renk standardına uygun, gelişmiş antimikrobiyal etkiye ve mekanik etkiye sahip 3D PMMA dental kaide materyallerinin elde edilmesi, kabul edilmiştir.

5.1. AgNP'lerin Karakterizasyonu

Hazırlanan gümüş nanopartiküllerin XRD spektrumu, $2\theta = 38.09^\circ$, 44.31° , 64.47° ve 77.36° 'deki kırınım bantlarının gösterdiği gibi, gümüşün yüz merkezli kübik kristal yapısının karakteristik Bragg kırınım düzlemleri (111), (200), (220) ve (310)'a karşılık gelmektedir (Boumegnane ve ark., 2023). Bu da, çalışmada sentezlenen gümüş nanopartiküllerin kristal yapısının tanımlanmasını desteklemektedir. Ayrıca bu kristal yapı, gümüş nanopartiküllerin sentezini içeren çalışmalarda ortak bir bulgudur (Al-Khateeb ve ark., 2018). Çalışmada, *Thymus* sp kullanılarak gümüş nanopartiküllerin biyosentezinin, XRD dahil olmak üzere çeşitli tekniklerle karakterize edildiği gibi tanımlanmış özelliklere sahip nanopartiküller ürettiği gösterilmiştir.

Gümüş nanopartiküllerin sentezlenmesi süreci genellikle stabilize edici ve kapatıcı maddeler olarak çeşitli biyolojik bileşikler kullanılarak gümüş tuzlarının indirgenmesini içermektedir. Çalışmada kullanılan kekik özütünün de bu bağlamda, gümüş nanopartiküllerin sentezi sırasında Ag^+ iyonlarının biyo-indirgenmesine yardımcı olan aktif biyomoleküller içerdiği gösterilmiştir (Wiley ve ark., 2007). Bu indirgeme işlemi, gümüş nanoyapıların sentezine odaklanan çalışmalarda vurgulandığı gibi gümüş nanopartiküllerin oluşumu için çok önemlidir (Wiley ve ark., 2007) ve çalışmada *Thymus* sp seçilmesinin bir sebebi olarak gösterilebilmektedir. Gümüş tuzlarının gümüş nanopartiküllere indirgenmesi, mantar endofitleri (P. Gupta ve ark., 2022), bitki özleri (Lestari ve ark., 2018) ve uçucu yağlar (Melo ve ark., 2020) gibi farklı biyolojik varlıklar tarafından kolaylaştırılabilir. Gümüş tuzlarının biyolojik bileşikler kullanılarak indirgenmesi, kararlı gümüş nanopartiküllerinin üretilmesine yol açtığı için önemlidir. Bu nanopartiküllerin antibakteriyel özellikler sergilediği tespit edilmiştir ve bu da onları çeşitli uygulamalarda değerli kılmaktadır (Panáček ve ark., 2006).

Biyolojik bileşiklerin kullanımı sadece indirgeme sürecine yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda nanopartiküllerin stabilizasyonuna da katkıda bulunarak agregasyonu önler (Alnuaimi, ve ark., 2024) Ek olarak, biyolojik bileşiklerdeki fonksiyonel grupların varlığı, gümüş tuzlarının indirgenmesinde ve ardından nanopartikül oluşumunda önemli bir rol oynamaktadır (P. Gupta ve ark., 2022). Genel olarak, literatür gümüş tuzlarının indirgenmesinde ve gümüş nanopartiküllerin sentezinde biyolojik bileşiklerin öneminin altını çizmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda, çalışmada kullanılan *Tyhmus* sp, hem indirgeyici hem de stabilizatör olarak hareket ederek istenen özelliklere sahip gümüş nanopartiküllerin üretiminde önemli bir rol oynamaktadır.

Gümüş nanopartiküllerin ortalama çapı sentez yöntemine ve kullanılan koşullara bağlı olarak değişebilmektedir. Bitki özleri kullanılarak gümüş nanopartiküllerinin yeşil sentezi, çeşitli potansiyel uygulamalara sahip nanopartiküller üretmek için umut verici ve sürdürülebilir bir yöntem sunmaktadır. Bu nanopartiküllerin ortalama çapı, sentez sürecinde kullanılan spesifik bitki özütüne ve yöntemine bağlı olarak değişebilmektedir; bu da nanopartiküllerin dikkatli seçilmesinin ve karakterizasyonunun önemini vurgulamaktadır. Örneğin, Arokiyaraj vd (2015), *Taraxacum officinale* özütü kullanılarak sentezlenen gümüş nanopartiküller için ortalama 545 nm kristalit boyutu bildirmiştir. Öte yandan, Yi vd (2021), *Conyza canadensis* ile sentezlenen gümüş nanopartiküllerin ortalama çapının 43,9 nm olduğunu ve bunun da çok daha küçük bir partikül boyutuna işaret ettiğini bulmuştur. Benzer şekilde, Hasri vd (2019), yeşil çay yaprağı ekstraktından sentezlenen gümüş nanopartiküllerin 82,33 ila 740,89 nm arasında değişen bir boyut dağılımı ile ortalama 157,8 nm çapa sahip olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca; Njagi ve ark. (2010), sulu sorgum kepeği özütleri kullanarak ortalama çapı 10 nm olan yüksek kristalli gümüş nanopartiküllerin oluşumunu göstermiştir. Genel olarak, gümüş nanoparçacıkların ortalama çapı sentez yöntemine, öncü malzemelere ve kullanılan deneysel koşullara bağlı olarak 10 nm kadar küçük ile 545 nm kadar büyük arasında değişebilmektedir. Çalışmada elde edilen yeşil sentez AgNP'lerin çapları, literatür ile benzerlik göstermektedir.

Elemental gümüşün varlığı enerji dağılımı EDS gibi tekniklerle doğrulanabilmektedir (Paul ve Yadav, 2016; Sharif ve ark., 2022). Çalışmada da elemental gümüş varlığı bu teknikle ispatlanmıştır. Literatürde, çeşitli yeşil yöntemlerle sentezlenen gümüş nanopartiküllerin EDX spektrumlarını analiz ederken, tutarlı bir gözlem ortaya çıkmaktadır. EDX spektrumlarında yaklaşık 3 keV'de bir tepe noktasının varlığı, farklı çalışmalarda ortak bir özelliktir (Jo ve ark., 2015; Shaik ve ark., 2015). Bu tepe, metalik gümüş nanokristalitlerin emilimine atfedilmektedir

ve gümüş nanopartiküllerin başarılı bir şekilde sentezlendiğini göstermektedir (Jo ve ark., 2015; Shaik ve ark., 2015). Dahası, EDS spektrumunda 3 keV'deki keskin sinyal, elementsel gümüş nanopartiküllerin varlığının açık bir göstergesidir (Paul ve Yadav, 2016). Bu çalışma sonucunda da elde edilen 3 keV'deki tepe noktası, literatür ile örtüşmektedir. Ayrıca çalışma sonucu elde edilen AgNP'lerin küresel formu da literatür ile benzerlik göstermektedir. Çalışmalar, sentezlenen gümüş nanopartiküllerin nanoskal aralığında ortalama bir parçacık büyüklüğü olan küresel şekli olduğunu göstermiştir (Akintelu ve ark., 2019).

Zeta potansiyeli ölçümleri, gümüş nanopartiküllerin kararlılığını değerlendirmede esastır. Zeta potansiyeli değeri, nanopartiküllerin yüzey yükünü yansıtarak, bir çözeltideki dağılımlarını ve kararlılıklarını etkiler. Çalışmada elde edilen AgNP'lerin ZP'nin -29.05 mV olması, kararlılığını doğrulamaktadır. Araştırmalar, negatif bir zeta potansiyelinin nanopartiküller arasındaki itme kuvvetlerine katkıda bulunarak kararlılığı artırdığını göstermiştir (Du ve ark., 2011; Elamawi ve ark., 2018; Haqq ve ark., 2018; Nwabor ve ark., 2020; Youssef, 2023). Bununla birlikte, bazı durumlarda pozitif bir zeta potansiyelinin de kararlılığı gösterebileceği gösterilmiştir (Alazzawi, 2024; Das ve ark., 2019; Pisárcik ve ark., 2017). Zeta potansiyelinin büyüklüğü, parçacıklar arasındaki elektrostatik itme ile doğrudan ilişkilidir ve daha yüksek değerler daha fazla kararlılığı göstermektedir (Gakiya-Teruya ve ark., 2018). Örneğin, zeta potansiyeli değerleri -15,6 mV civarında olan gümüş nanopartiküllerinin kararlı olduğu bulunmuştur (Haqq ve ark., 2018).

5.2. AgNP Yüklü PVP'lerin Üretimi ve Karakterizasyonu

Çalışmada bildirildiği gibi, PVP nanofilm deseninde $2\theta=10.93^\circ$ 'de geniş bir tepe noktasının gözlemlenmesi, malzeme içinde belirli bir yapısal düzenlemenin varlığını göstermektedir. Bu tepe noktası, PVP'nin kristal fazı için bir işaretleyici görevi gördüğü için önemlidir. Dahası, AgNP içeriğindeki artışla birlikte bu geniş tepe noktasının yoğunluğundaki azalma, AgNP'nin PVP matrisine başarılı bir şekilde dahil edilmesi nedeniyle malzeme bileşiminde bir değişiklik olduğunu düşündürmektedir. Tepe noktası yoğunluğundaki bu değişiklik, kristal yapıdaki değişikliklere veya nanofilm içindeki PVP ve AgNP arasındaki etkileşimlere atfedilebilmektedir. Bu bağlamda, Balakumar ve ark. (2017) tarafından incelenen PPy-Ag-PVP nanohibritlerinin XRD desenleri de malzemede bulunan kristal fazlara ilişkin değerli bilgiler sağlamaktadır. PVP kristalin fazına karşılık gelen $2\theta = 11.9^\circ$ 'deki karakteristik kırınım tepe noktası, nanohibrit yapıda PVP'nin varlığını göstermektedir. Bu bulgu, bu

çalışmada belirtilen PVP nanofilm desenindeki gözlemlerle örtüşmekte ve kompozit malzemelerdeki kristalin fazları anlamının önemini pekiştirmektedir.

PVP nanofiberlerinde 1660 cm^{-1} 'deki emilim bandının PVP/AgNP nanofiberlerinde 1650 cm^{-1} 'e hafifçe kayması, kompozit malzemedeki PVP ve AgNP'lerin C=O grupları arasında etkileşimlerin varlığını göstermektedir. Emilim bandındaki bu kayma, nanofiber kompozitlerindeki PVP matrisi ve AgNP'ler arasında moleküler etkileşimlerin varlığını düşündürmektedir. Çalışmada elde edilen bu bulgu, benzer bir çalışmada PVP/Au-NP nanofiberlerinde gözlemlendiği ve kompozit malzemedeki PVP ve Au-NP'lerin C=O grupları arasında etkileşimleri gösterdiği çalışmasıyla örtüşmektedir (Deniz ve ark., 2011).

PVP nanofiberlerinde AgNP konsantrasyonu arttıkça termal bozunma miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Literatürde de bu bulgular elde edilmiştir. Bir çalışmada, PVP nanofiberlerinin termal bozunmasının nanofiberlere dahil edilen AgNP'lerin konsantrasyonu ile arttığı bulunmuştur (Abdollahi-Kazeminezhad ve ark., 2023). Bir diğer çalışmada da, PVP nanofiberlerindeki AgNP'lerin varlığının nanofiberlerin termal bozunma reaksiyonunu arttırdığı ve polimer bileşenlerinin bozunmasını desteklediği gözlemlenmiştir (Tang ve ark., 2021). Ek olarak, AgNP'lerin PVP nanofiberlerine dahil edilmesinin nanofiber matların bozunma oranında artışa yol açtığı da gösterilmiştir (Matos ve ark., 2023). Ayrıca bir çalışma, AgNP'lere maruz kalmanın daha düşük AgNP konsantrasyonlarında daha yüksek hayatta kalma oranlarının gözlemlenmesiyle birlikte artan tolerans fenomenine yol açtığını göstermiştir (Xiu ve ark., 2012). Bu, AgNP konsantrasyonunun nanofiberlerin termal özelliklerini ve bozunma davranışını etkilemede önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Çalışmada kullanılan üç farklı AgNP oranlarından en düşük olan PVP/AgNP1'in daha yüksek hayatta kalma oranına sahip olduğu ve böylelikle dental kaide materyallerine uygulanırken bu faktörün göz önünde bulundurulması gerektiğinin altı çizilebilmektedir. Özetle, PMMA içerikli PVP/AgNP üretiminde minimum AgNP oranının kullanılması malzemenin kararlılığı açısından büyük önem arz ettiği söylenebilmektedir.

PVP/AgNP1'e göre PVP/AgNP2 ve PVP/AgNP3 de gözlemlenen çap ve boyut dağılımındaki değişiklikler, AgNPs ilavesiyle elektroegirme çözeltilerinin iletkenliğindeki artışa bağlanabilmektedir. Elektroegirme işlemi sırasında, elektrik alanı ile eğrilen bileşenler arasındaki etkileşim, ortaya çıkan nanofiber morfolojisinin belirlenmesinde çok önemli bir rol oynar. Polimer çözeltisinde AgNP'ler gibi iletken nanopartiküllerin varlığı elektroegirme sürecini önemli ölçüde etkileyebilir. Çalışmalar, AgNP'lerin elektroegirme işlemi sırasında

Üretilen elektrik alanından polimerden daha güçlü bir Şekilde etkilendiğini ve bu nedenle polimerin AgNP'ler tarafından çekildiğini ve gerildiğini, bunun da daha ince nanofiberlerin oluŐmasına neden olduğunu bildirmiştir (imen ve ark., 2022; Hwang ve Jeong, 2011). Nanofiberlerin ortalama çapı ile AgNP oranındaki artış arasındaki iliŐki çeşitli çalışmalarda ilgi konusu olmuştur. Kompozit nanofiberlerin ortalama çaplarının AgNP miktarındaki artıŐlarla kademeli olarak azaldığı gözlemlenmiştir (He ve ark., 2020). Benzer Şekilde, başka bir çalışma da nanofiberlerin çaplarının AgNP içeriğindeki artışla azaldığını desteklemiŐtir (Lpez-Esparza ve ark., 2016). Bu bulgular, daha yüksek miktarda AgNP'nin bulunduğu PVP/AgNP2 ve PVP/AgNP3 gruplarında nanofiberlerin ortalama çapında bir azalmaya yol amasıyla tutarlı bir iliŐki göstermektedir.

Çalışma sonucunda PVP-AgNP1'de Ag oranı % 0.3, PVP-AgNP 2 ve PVP-AgNP3 ise % 0.6 ve 0.8 olarak ortaya konulmasıyla, nanopartiküllerin nanofiberlere katkılanmaları doğrulanmış olup aynı zamanda nanofiberler içerisinde AgNP'lerin homojen bir dağılım gösterdiği ortaya çıkmıştır.

5.3. AgNP Yüklü PVP Nanofiber İçerikli PMMA Rezin retimi ve Karakterizasyonu

Nanomalzemelerin PMMA içerisine dahil edilmesi, bu kompozitlerin sergileyebildiği gelişmiş özellikler nedeniyle önemli ilgi görmektedir. Son yıllarda, nanopartikül veya nanofibelerin eklenmesiyle PMMA protez kaide materyallerinin özelliklerinin geliştirilmesine yönelik artan bir ilgi olmuştur. FESEM, bu nanomalzemelerin PMMA matrisi içindeki morfolojisini ve dağılımını karakterize etmede hayati bir araçtır ve optik, elektronik ve biyomedikal gibi çeşitli alanlardaki potansiyel uygulamalarına ilişkin içgörüler sağlamaktadır. FESEM analizlerinden elde edilen temel bulgulardan biri, kompozitlerin fiziksel özelliklerini optimize etmek için çok önemli olan PMMA matrisi içindeki nanomalzemelerin düzgün dağılımıdır ((B. Chen ve Feng, 2015; El-Naggar, 2024; Krishna ve ark., 2021; Liu ve ark., 2023; Shaker ve ark., 2022). Buna göre bu çalışmada da, 3 boyutlu üretim tekniği ile elde edilen PMMA içerisine, sitrik asit ile crosslink yapılan PVP nanofiberlerin, önemli bir kümeleŐme olmadan entegrasyonunu vurgulayan FESEM görüntüleriyle, homojen bir dağılım elde edilebildiği kanıtlanmıştır. PMMA kompozitlerinin mekanik ve antimikrobiyal kararlılığı ve optik özelliklerini geliştirmek için elektro-eđrilmiŐ nanofiberlerle güçlendirilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır (Chang ve ark., 2022; Matabola ve ark., 2011; Nyangasi ve ark., 2018). Bu çalışmada da, elektroirme yöntemi kullanılarak, AgNP katkılı PVP nanofiberlerin üretilmesi ve 3D PMMA dental kaide materyaline katkılanarak rezinin mekanik ve

antimikrobiyal olarak güçlendirilmesi sağlanmıştır. Literatürde yeşil sentez AgNP katkılı PVP nanofiber ile güçlendirilmiş 3D PMMA kaide materyal çalışması araştırıldığı kadarıyla bulunmamakla birlikte, çalışmanın bu bağlamda literatüre yenilik kattığı düşünülmektedir.

Çalışmada, AgNP'lerin dental kaide materyaline eklenmesi sonucu, rezinin hidrofobisitesinde bir azalma gözlemlenmiştir. Bu çalışma sonuçlarıyla tutarlı literatürde bir çalışma, rezinin hidrofobisitesi, AgNP'lerin eklenmesiyle azaldığı sonucuna varılmıştır (Wady ve ark., 2012). Bu bulgu, protez kaidesi rezinine AgNP'lerin eklenmesiyle hidrofobisitede bir azalma olduğunu bildiren bir başka çalışma tarafından da desteklenmiştir (Sivakumar ve ark., 2013). Bunun yanı sıra rezin içerisine AgNP'nin PVP içerisine gömülerek uygulanması ise, kontrol grubuna göre düşük olmakla birlikte hidrofobisitede artışa sebep olmuştur. PMMA'nın doğal hidrofobikliği, biyolojik sıvılar ve mikroorganizmalarla etkileşimine önemli ölçüde katkıda bulunarak hem mekanik özelliklerini hem de biyofilm oluşumuna yatkınlığını etkilemektedir. Çalışmalar, PMMA'nın hidrofobik yapısının, mikrobiyal kolonizasyonu engelleyen koruyucu bir tabaka oluşturabilen tükürük proteinlerinin yapışmasını kolaylaştırdığını göstermiştir (Petrović ve ark., 2022). Bununla birlikte, aynı hidrofobik özellikler belirli koşullar altında bakteriyel yapışmanın artmasına da neden olabilir ve bu da dental materyallerin tasarımında yüzey özelliklerinin dikkatli bir şekilde dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır (Liber-Kneć ve Łagan, 2021). Hidrofobiklik ve hidrofiliklik arasındaki denge bu nedenle kritiktir; hidrofobik yüzeyler başlangıçta suyu itebilirken, uygun şekilde tasarlanmadıkları takdirde biyofilmlerin tutulmasını da teşvik edebilmektedirler. Ayrıca, PMMA'nın mekanik özellikleri de hidrofobik özelliklerinden etkilenmektedir. PMMA'nın hidrofobik yapısı, dental protezlerinin zaman içinde bütünlüğünü korumak için gerekli olan su emilimini en aza indirmektedir. Bu özellik özellikle önemlidir çünkü su emilimi boyutsal değişikliklere ve mekanik özelliklerin bozulmasına yol açarak sonuçta dental restorasyonların uzun ömürlülüğünü etkileyebilmektedir (Eswaran ve ark., 2022). Sonuç olarak; PMMA dental kaide materyallerine AgNP'nin direk olarak katkılanmasının, materyalin hidrofobikliği üzerinde olumsuz etkiye sebep olarak materyali zayıflattığı söylenebilir. Bu nedenle; AgNP'lerin önce PVP nanofiberlere katkılanıp daha sonra PMMA rezinlerine ilave edilmeleri, materyalin hidrofobik özelliğinin bozulmaması açısından önem teşkil etmektedir.

PMMA protez kaide malzemelerinin renk stabilitesi, protetik diş hekimliğinde kritik bir husustur. Çeşitli çalışmalar, protez temizleyicilere maruz kalma, yapay tükürükte yaşlanma ve dış pigmentasyon faktörleri gibi faktörler nedeniyle PMMA protez kaidelerinde renk

stabilitesinin önemini vurgulamıştır (Arslan, 2024; Jang ve ark., 2015; Bang ve Kim, 2022). Dolgu maddeleri, lifler, nano dolgular ve hibrit takviyelerin eklenmesinin PMMA protez kaidelerinin malzeme özelliklerini iyileştirdiği gösterilmiştir (Gad ve ark., 2017). Çalışmalar, özellikle nano dolgularının PMMA protez kaidelerinin renk stabilitesini etkileyebileceğini belirterek, protez kaide malzemesinin kalitesini korumak için uygun oranlarda katkıların önemini vurgulamıştır. Ek olarak, nanomalzemelerin kullanımı, oral kandidiazisi önlemede potansiyel göstermiştir, ancak malzemenin renk özellikleri üzerinde olumsuz etkilerden kaçınmak için bu malzemelerin konsantrasyonunu dikkatlice kontrol etmek çok önemlidir. Çalışma sonucunda elde edilen renk değerleri ile AgNP'lerin PVP fiberlerine mükemmel biçimde gömülebildiği ve böylelikle malzemenin genel performansını ve mekanik dayanıklılığı artırmayı başarırken, aynı zamanda AgNP'lerin renk konusundaki sıkıntılarını da aşmayı başarmıştır. PMMA protez kaide malzemelerinin renk stabilitesinin sağlanması, uygun katkı maddelerinin eklenmesi ve AgNP'lerin nanofiberlere entegrasyonu yoluyla renk stabilitesinin iyileştirilmesi, PMMA protez kaidelerinin genel performansını ve dayanıklılığını artırabileceği düşünülmektedir.

Dişsiz bireylerde çiğneme kuvvetlerinin incelenmesi, özellikle farklı tipteki dental protezlerinin çiğneme performansını nasıl etkilediğinin anlaşılması açısından son yıllarda büyük ilgi görmüştür. Araştırmalar, dişsiz hastaların aldıkları protez rehabilitasyonunun türüne bağlı olarak ısırma kuvveti ve çiğneme verimliliğinde kayda değer farklılıklar yaşadığını göstermektedir. Temel bulgulardan biri, sabit protezlerin geleneksel tam protezlere kıyasla ısırma kuvvetini önemli ölçüde artırmasıdır. Örneğin, yapılan bir çalışma, dişsiz bireylerde maksimum ısırma kuvvetinin tam protezlerle 80 N'den sabit implant destekli protezlere geçtikten sonra 240 N'ye yükseldiğini göstermiştir (Soni ve ark., 2020). Çalışmada yeşil sentezlenmiş AgNP'lerin rezin materyalinin maksimum kuvvet değerinde önemli ölçüde düşüşe sebep olduğunu tespit edilmiştir. Yukarıdaki çalışma sonuçları göz önünde bulundurulduğunda, AgNP katkılı 3D PMMA rezinlerinin hasta ağızında uzun vade başarı konusunda yetersiz oldukları, çiğneme kuvvetlerine karşı koyamayacak zayıflıkta oldukları sonucuna varılabilmektedir. Bunun yanı sıra, PVP/AgNP1 grubu, yalnızca rezin numunesine kıyasla maksimum kuvvette istatistiksel olarak anlamlı bir artışa yol açmıştır. Mekanik mukavemetteki bu artış, rezin matrisini güçlendirmeye ve genel performansını iyileştirmeye katkıda bulunan AgNP katkılı PVP nanofiberlerin benzersiz özelliklerine atfedilebilir ve AgNP'lerin PVP nanofiberlerine katkılanarak rezin materyaline ilavesinin öneminin altı çizilebilmektedir (Azhar ve ark., 2022). Yeşil sentezlenmiş AgNP'lerin direkt olarak protez

kaide materyaline dahil edilmesi, maksimum kuvvette bir azalmaya neden olmuş ve kompozit malzemenin mekanik davranışı üzerinde olumsuz bir etki göstermiştir. Çalışmalar da, AgNP'lerin eklenmesinin maksimum mukavemette bir azalmaya yol açabileceğini ve protez kaide rezinlerinin çeşitli mekanik özelliklerini etkileyebileceğini göstermiştir (Siripanth ve Wongwitthayakool, 2018). Örneğin, protez kaide malzemelerinin eğilme mukavemetinin AgNP'lerin eklenmesiyle azaldığı, azalmanın derecesinin nanopartiküllerin konsantrasyonuna bağlı olduğu, yapılan bir çalışmada bildirilmiştir (Köroğlu, Şahin, Kürkçüoğlu, Dede, Özdemir, et al., 2016; Siripanth and Wongwitthayakool, 2018). Bir diğer çalışma da, nanopartiküller PMMA'nın mekanik özelliklerini iyileştirebilirken, daha yüksek konsantrasyonların eğilme mukavemetinde bir azalmaya yol açabileceğini belirtmiştir (Karcı ve ark., 2018). Nitekim yapılan bu çalışmada da aynı sonuçlar elde edilerek, sonuçlar literatür ile örtüşmektedir. Daha az miktarda AgNP içeren PVP/AgNP1 grubunda, literatürle uyumlu olarak, daha iyi kuvvet dayanımı/daha düşük uzama miktarı elde edilmiştir. Bu sonuca göre, diş hekimliği alanında dental kaidelerin nanomalzemeler ile desteklenmesi durumunda, AgNP miktarının detaylı tayin edilmesi ve PVP'ye katkılanarak dental kaide materyaline eklenmesi, tedavinin uzun sürede başarısını artırabileceği söylenebilmektedir. Ek olarak, AgNP'lerin dahil edilmesinin, cam geçiş sıcaklığı gibi özelliklerde gözlemlenen değişikliklerle protez kaide rezinlerinin enine mukavemetini etkilediği bulunmuştur (Nayyar ve ark., 2023). AgNP'lerin dahil edilmesiyle cam geçiş sıcaklığının azaldığı gözlemlenmiştir ve bu da kaide rezinlerinin termal davranışında değişiklikler olduğunu göstermektedir (Köroğlu ve ark., 2016). Dahası, AgNP içeren protez akriliğinin termal kararlılığı, kontrol ile karşılaştırıldığında daha yüksek bir ayrışma sıcaklığı ile stabildir ve bu, AgNP'lerin kopolimerizasyon fazından ödün vermeden takviyeye katkıda bulunduğunu gösterir (Nam ve ark., 2012). Bazı çalışmalar AgNP'lerin eklenmesinin protez kaide malzemelerinin eğilme mukavemetini artırabileceğini gösterse de, etkinlik kullanılan nanopartiküllerin konsantrasyonuna göre değişmektedir (Gligorijević ve ark., 2022). Genel olarak bu çalışma sonucunda da, AgNP'lerin protez kaide rezinlerine dahil edilmesi, antifungal bir ajan olarak umut verici görünse de, mekanik özellikler üzerindeki kesin etkiler nanopartikül konsantrasyonu ve rezin bileşimi gibi faktörlere bağlı olarak değişebileceği söylenebilmektedir. Ayrıca, PVP nanofiberlerin kullanımı, çeşitli malzemelerin esnekliğini ve mekanik özelliklerini artırma kabiliyetleri nedeniyle çalışmalarda vurgulanmıştır. Bu çalışmada sadece PVP miktarının anlamlı oranda protez kaide materyalinde mekanik artışa sebep olmamış olsa da, doğru miktardaki AgNP ile desteklendiğinde mekanik dayanımı artırdığı sonucuna varılmıştır. Örneğin bir çalışmada, elektro-eğirilmiş poliakrilonitril/PVP nanofiberlerinin, kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirebilen güçlü yapılara sahip esnek, gözenekli ağlar

oluşturduğu gösterilmiştir (Yao ve ark., 2017). Bu durum çalışmadan elde edilen bilgilerle de örtüşmektedir. Çalışma sonucunda, AgNP'leri ve nanofiberleri rezin numunelerine dahil etmenin sinerjik etkileri sebebiyle, gelişmiş mekanik özelliklere, esnekliğe ve performansa sahip kompozit malzemelerle sonuçlanabileceği ve bu da onları sağlam ve diş hekimliği alanında uyarlanabilir malzemeler gerektiren çeşitli uygulamalar için umut verici adaylar haline getirebileceği söylenebilmektedir.

PMMA'da gözlemlenen pürüzlü yüzey, rezinlerin potansiyel olarak tehlikeli mikroorganizmaları çekme olasılığına sebep olmaktadır. Buna bağlı olarak, PMMA'nın yüzey özellikleri, protez kaynaklı stomatitte başlıca patojen olan *C.albicans*'ın tutunmasını artırabilmektedir (Gad, Abualsaud, ve ark., 2021). En önemli fırsatçı enfeksiyonlardan biri olan *C.albicans* bu rezinlerde kolaylıkla kolonize olabilmektedir (Suhani ve ark., 2018). *C.albicans* albicans, insanlarda enfeksiyonlara neden olduğu bilinen bir mantar patojenidir ve PMMA yüzeylerine yapışabilmektedir (Cavalheiro ve Teixeira, 2018). Çalışmalar, PMMA'dan yapılan protezlerin *C.albicans*'ı barındırabileceğini ve protezle ilişkili stomatit gibi durumlara yol açabileceğini göstermiştir (Figueiral ve ark., 2015). Dahası, PMMA protez kaide malzemelerine nanoelmasların dahil edilmesinin *C.albicans* yapışmasını ve yüzey pürüzlülüğünü azalttığı ve böylece performansı iyileştirdiği bulunmuştur (Fouda ve ark., 2019). Ek olarak, PMMA'nın gümüş nanopartiküller gibi çeşitli katkı maddeleriyle modifiye edilmesiyle *C. albicans* yapışmasının azaltılabileceği gösterilmiştir (Arf, 2024; Fouda ve ark., 2019; Gad, Ali, ve ark., 2021; Keerthivasan ve ark., 2020). Bu modifikasyonların, *C.albicans*'ın PMMA yüzeylerine yapışmasını azalttığı ve potansiyel olarak bu patojenle ilişkili enfeksiyon riskini azalttığı söylenebilmektedir. Çalışmalar, PMMA rezinine gümüş nanopartiküllerin eklenmesinin antimikrobiyal özelliklerin geliştirilmesine yol açabileceğini ve protez kullanıcılarında oral mukozal dokularla ilgili enfeksiyonların kontrolünde etkili olabileceğini göstermiştir (Monteiro ve ark., 2011). Ayrıca, gümüş/PMMA kompozitlerin antibakteriyel özellikleri hem Gram-negatif hem de Gram-pozitif bakterilere karşı gösterilmiş ve mikrobiyal büyümeyle mücadele potansiyelleri ortaya konmuştur (Kong ve Jang, 2008a). Genel olarak, literatür nanopartiküllerin PMMA dental protezi kaide malzemelerine dahil edilmesinin mekanik, fiziksel ve antimikrobiyal özelliklerini iyileştirmek için umut verici bir yol sunduğunu ileri sürmektedir. Çalışmadan elde edilen bulgular, AgNP'lerin *C.albicans*'a karşı antifungal özellikleri üzerine yapılan önceki araştırmalarla uyumludur. Çalışmalar, AgNP'lerin flukonazol gibi antifungal ajanlarla sinerjik olarak hareket edebildiğini ve *C.albicans* suşlarının, özellikle de geleneksel tedavilere dirençli olanlar üzerindeki inhibitör etkilerini artırdığını göstermiştir

(Freitas ve ark., 2022). Bu sinerji, ilaca dirençli *C.albicans* suşlarıyla mücadelede çok önemlidir ve daha etkili antifungal tedaviler geliştirmek için umut verici bir yol sunmaktadır. *C.albicans*'a karşı rezin örneklerinin inhibisyon değerleri üzerine yapılan çalışmanın sonuçları, Resin/AgNP örneğinde olduğu gibi gümüş nanopartiküllerin dahil edilmesinin dental materyallerin antifungal özelliklerini önemli ölçüde artırabileceğini göstermiştir. Bu da onları dental uygulamalarda enfeksiyonlara karşı etkili stratejiler geliştirmek için önemli kılmaktadır. Bu yönde yapılacak daha fazla araştırma, gelişmiş antifungal özelliklere sahip gelişmiş dental materyallerin geliştirilmesine yol açarak ağız sağlığı sonuçlarının iyileştirilmesine katkıda bulunabilmektedir.

Bu çalışmada, dental kaide materyaller için antibakteriyel polimerik nanofiberler ile güçlendirilmiş PMMA rezin hazırlanması amacı doğrultusunda, yeşil sentezlenmiş AgNP içeren PVP nanofiberler elektroegirme yöntemiyle başarıyla üretilmiştir. Bu bitki bazlı yöntemler, yeşil kimya ilkelerine uygun olarak geleneksel kimyasal sentez yöntemlerine sürdürülebilir bir alternatif sunmaktadır. Bitki özütleri kullanılarak çevre dostu AgNP'lerin sentezi, çevre dostu ve uygun maliyetli olması nedeniyle büyük ilgi görmüştür. Çeşitli çalışmalar, AgNP'lerin yeşil sentezi için *Thymus* sp., *Artemisia absinthium*, *Humulus lupulus* ve diğerleri gibi bitki özlerinin kullanımını vurgulamıştır (Abdellatif ve ark., 2022; Balçıünaitienė ve ark., 2021; Muhammad, 2024). Buna bağlı olarak, çalışmada Ag⁺ iyonlarının Ag⁰ atomlarına indirgenmesi için *Thymus* sp. ekstraktı kullanılarak çevre dostu AgNP sentezi gerçekleştirilmiştir. Bunun yanı sıra, yeşil sentez ile elde edilen gümüş AgNP'lerin biyoyumluluğu literatürde kapsamlı bir şekilde incelenmiş ve doğrulanmıştır. İndirgeyici ajanlar olarak biyolojik varlıkların kullanıldığı çevre dostu ve sürdürülebilir yaklaşımları içeren yeşil sentez, mükemmel biyoyumluluğa sahip AgNP'lerin üretilmesinde umut vaat ettiğini göstermiştir (Ahmad ve ark., 2019; Arif ve Uddin, 2020; Darshinidevi, 2023; L. Han ve ark., 2013; M. A. A. M, 2024; Ortiz, 2017; Pérez ve ark., 2017; Yugandhar ve Savithramma, 2015). Bu çalışmalar, *Guilandina bonduc* tohum ekstresi, *Cannabis sativa*, *Parkia speciosa* yaprak ekstresi ve diğerleri gibi çeşitli bitki ekstraktlarının biyoyumlu özelliklere sahip AgNP'lerin sentezlenmesindeki etkinliğini vurgulamaktadır. Ayrıca, yeşil yöntemlerle sentezlenen AgNP'lerin biyoyumluluğu, gelişmiş antimikrobiyal, antibakteriyel, anti-enflamatuar ve terapötik aktiviteleriyle ilişkilendirilmiştir (K. Gupta ve ark., 2014; Ortiz, 2017). Çalışmalar, yeşil yöntemler kullanılarak sentezlenen AgNP'lerin biyolojik eylemlerde gelişmiş seçicilik sergilediğini, bu da onları kanser tedavisi ve mikrobiyal enfeksiyonlarla mücadele için potansiyel adaylar haline getirdiğini göstermiştir (Ortiz, 2017). Ayrıca, yeşil sentez süreçlerinde

biyoyumlu indirgeyici ajanların kullanılmasının, gümüş nanopartiküller de dahil olmak üzere metalik nanopartiküllerin biyoyumluluğunu artırdığı gösterilmiştir (L. Han ve ark., 2013). Literatürden elde edilen sonuçlar doğrultusunda, çalışmada yeşil sentezlenmiş AgNP'ler kullanılarak, yüksek biyoyumluluğa, gelişmiş antimikrobiyal aktiviteye sahip 3D PMMA dental materyallerin geliştirildiği sonucuna ulaşılmıştır.

Literatürde, 3D baskı yoluyla üretilen PMMA'lardaki nanofiberlere doğrudan referanslar sınırlı olsa da, birkaç çalışma bu boşluğu gidermek için ilgili bilgiler sunmaktadır. Mori ve ark. (2018), doku mühendisliği uygulamalarında hücre göçü ve çoğalması için gözenekliliği ve gözenek boyutunu optimize etmek amacıyla 3D baskılı ağları biyoyumlu nanofiberlerle birleştirmenin faydalarını göstererek, gelişmiş işlevsellik için nanofiberleri 3D baskılı yapılara dahil etmenin potansiyel avantajlarını ortaya koymuştur. Başka bir çalışmada, bakteriyel selüloz nanofiber ağlarının PMMA kompozitlerinin gerilme modülünü önemli ölçüde geliştirdiğini tespit ederek, nanofiberlerin PMMA matrislerinin mekanik özelliklerini geliştirmek için etkili sertleştirici maddeler olarak hizmet edebileceğini göstermiş ve nanofiberlerin PMMA'lara dahil edilmesinin mekanik performansın artmasına yol açabileceğini öne sürmüştür (Santmartí ve ark, 2019). Ek olarak, doku mühendisliği uygulamaları için nanofiberlerle güçlendirilmiş 3D fonksiyonel hidrojel iskelelerin geliştirilmesi tartışılarak, 3D baskılı yapılarda nanofiberler kullanarak biyo-esinlenmiş malzemelerin yapısal bütünlüğünü ve işlevselliğini artırma potansiyelini vurgulayan çalışma bulunmaktadır (Kharaghani, Kaffashsaei, Haider, and Kim, 2023; Tamo, Doench, Walter, Montembault, Sudre, David, Helguera, Selig, Rolaufts, Bernstein, Hoenders, Walther, and Osorio - Madrazo, 2021). Ayrıca Li ve ark. (2021), elektroegirilmiş nanofiberlerin şeffaf PMMA kompozitlerini güçlendirmek için uygunluğunu vurgulayarak, nanofiberlerin polimer matrislerin özelliklerini iyileştirmedeki rolünün altını çizmiş ve PMMA'lara nanofiberlerin dahil edilmesinin daha fazla şeffaflık ve mekanik mukavemet sağlayabileceğini öne sürmüştür. Genel olarak, diş hekimliğinde 3D üretim yoluyla elde edilen PMMA'lardaki nanofiberlere doğrudan referanslar sınırlı olsa da, nanofiber takviyeli kompozitler, doku mühendisliği iskeleleri ve polimer matrislerdeki mekanik geliştirmeler hakkındaki mevcut literatür, nanofiberlerin 3D baskılı PMMA'lara entegre edilmesinin potansiyel faydalarını araştırmak için güçlü bir temel sağlamaktadır. Çalışma sonucunda PVP/AgNP'lerin 3D PMMA dental kaide materyaline homojen biçimde, başarıyla katkılanabilmesi bu bağlamda literatüre büyük katkı sağlayacağı söylenebilmektedir. Bunun yanı sıra, gümüş nanopartiküllü PMMA rezin kompozitlerinin üretimi ve bunların antimikrobiyal ve mekanik aktivitelerinin değerlendirilmesine ilişkin literatür, yeşil sentez

gümüş nanopartikül katkılı nanofiberlerin 3D PMMA rezini ile kombinasyonuna odaklanan araştırmalarda bir boşluk olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışmalar, gümüş nanopartiküllerin PMMA rezinine dahil edilerek mekanik ve antibakteriyel özelliklerinin geliştirilmesinin faydalarını göstermiş olsa da (Acosta-Torres ve ark., 2012; Chen ve ark., 2018; Kasraei ve ark., 2014; Kong ve Jang, 2008a; M. Li ve ark., 2022; Monteiro ve ark., 2011; Zhang ve ark., 2017), yeşil sentez gümüş nanopartikül katkılı nanofiberlerin 3D PMMA rezini ile spesifik kombinasyonu üzerine doğrudan araştırma eksikliği bulunmaktadır. Bu çalışma bu bağlamda, literatürdeki bu araştırma boşluğunu gidermeye fayda sağlayarak, bu malzemelerin 3D PMMA kompozitlerinin antimikrobiyal ve mekanik özellikleri üzerindeki sinerjik etkilerini artırdığını gösterebilmiştir. Bu çalışma, bu alanda daha fazla araştırma yapılması ve gelecekte 3D PMMA dental kaide materyalin mekanik ve antimikrobiyal stabilitesinin desteklenebilmesi için bir fırsat sunmaktadır. Sonuç olarak, mevcut çalışmalar gümüş nanopartiküllerin 3D PMMA rezinine dahil edilmesinin faydalarını ortaya koymuş olsa da, yeşil sentez gümüş nanopartikül katkılı nanofiberlerin 3D PMMA ile spesifik kombinasyonuna ilişkin açık bir literatür boşluğun bu çalışma ile giderilmesi amaçlanmıştır. Bu alanda gelecekte yapılacak araştırmalar, üstün antimikrobiyal ve mekanik özelliklere sahip gelişmiş 3D PMMA kompozitlerinin geliştirilmesine yönelik değerli bilgiler sağlayabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmanın limitasyonları arasında, tek bir bitki ekstraktı kullanılarak AgNP'nin sentezlenmesi ve biyoyumlu olan tek bir nanofiberin kullanılması sayılabilmektedir. Ayrıca, PMMA rezinine katkılanan PVP/AgNP nanofiberlerin, 3D baskının yanı sıra diğer üretim teknikleri (eksiltmeli veya ısı ile polimerizasyon yöntemi) ile üretilen PMMA rezinlere katkılanarak kıyaslanmaması da bir diğer limitasyon olarak kabul edilebilir. İleriki çalışmalarda, farklı bitkiler ile sentezlenen AgNP'ler ve biyoyumlu olduğu bilinen farklı nanofiberler ile çalışmanın güçlendirilmesi ve farklı tekniklerle üretilen PMMA rezinlere katkılanarak çalışmanın genişletilmesi tavsiye edilmektedir. Yapılan bu in-vitro çalışmadan elde edilen sonuçların doğruluğunun tespiti amacıyla, ileride klinik çalışmalar ile desteklenmesine de ihtiyaç duyulmaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yeşil sentez yoluyla üretilen AgNP katkılı PVP kompleksinin dental protez kaidesine dahil edilerek, yalnız fiber ve nano içerikli rezinlere göre mekanik, renk ve antimikrobiyal yönünden değerlendirilerek karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

AgNP'lerin 3D PMMA protez kaide rezinlerine dahil edilmesiyle, dental materyallerinin mikroorganizmalar tarafından kolonizasyonunu önlemesine veya en azından azaltılmasına, ağız sağlığı seviyesinin arttırılmasına ve genel yaşam kalitesinin iyileştirmesine yönelik olumlu katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

PVP'lerin 3D PMMA protez kaide rezinlerine dahil edilmesi ile, materyalin uzun vade mekanik başarısını artırabileceği sonucuna varılmıştır.

AgNP'lerin minimum oranda PVP'ye dahil edilerek 3D PMMA kaide materyaline katkılanmasıyla, kompleks ile sinerjim etki göstererek, başlıca dental materyallerinin eğilme mukavemetinde ve birim başı uygulanan kuvvet yükünde artışa sebep olarak, mekanik dayanımı yüksek oranda desteklediği sonucuna varılmıştır.

Dental protez kaidelerinin, klinik olarak kabul edilebilir renk değeri eşiğinin altında olması ($\Delta E_{00} > 2.25$) estetik açıdan büyük önem arz etmektedir. Yalnızca AgNP'lerin 3D PMMA rezinine katkılanması, klinik olarak kabul edilemeyecek renk değerlerine neden olsa da, AgNP katkılı PVP'lerin 3D PMMA rezin kaide materyallerine dahil edilmeleri, kontrol grubuna kıyasla klinik olarak kabul edilebilir renk değeri eşiğinin altında kalarak, renk probleminin üstesinden gelindiği sonucuna varılmıştır.

Yüksek oranda AgNP katkılı PVP ile güçlendirilmiş 3D PMMA dental kaide materyallerinde renk bozunmaların sebep olmakla birlikte, materyalde yüksek uzama miktarıyla sonuçlanarak, hasta ağızında tolere edilemeyecek düzeyde kararlılığa sebep olabilmektedir. Dolayısıyla dental kaide materyallerinin AgNP katkılı PVP kompleksleri ile desteklenmesi amaçlandığında, AgNP oranlarının hassas biçimde tayin edilerek, minimum düzeyde AgNP katkılanarak, materyalin klinik başarısına katkıda bulunulacağı tespit edilmiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen öneriler ise aşağıdaki gibidir:

Farklı bitkiler ile sentezlenen AgNP'ler ve biyouyumlu olduğu bilinen farklı nanofiberler ile çalışmanın güçlendirilmesi ve farklı tekniklerle üretilen PMMA dental kaide materyallerine katkılanarak çalışmanın genişletilmesi,

Farklı materyallere katkılanarak (çene yüz protezleri, kompozit materyaller, simanlar, uzun süreli geçiciler, tamir rezinleri, yumuşak astar materyalleri, vb.) yeşil sentez AgNP katkılı PVP'lerin etkilerinin derinlemesine incelenmesi,

Yapılan in-vitro çalışmadan elde edilen sonuçların doğruluğunun desteklenmesi amacıyla, ileride klinik çalışmalar ile desteklenmesi önerilmektedir.

7. KAYNAKLAR

- Aati, S., Aneja, S., Kassar, M., Leung, R., Nguyen, A. et al. (2022). Silver-loaded mesoporous silica nanoparticles enhanced the mechanical and antimicrobial properties of 3D printed denture base resin. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 134, 105421.
- Abdellatif, A. A. H., Alhathloul, S. S., Aljohani, A. S. M., Maswadeh, H., Abdallah, E. M. et al. (2022). Green Synthesis of Silver Nanoparticles Incorporated Aromatherapies Utilized for Their Antioxidant and Antimicrobial Activities Against Some Clinical Bacterial Isolates. *Bioinorganic Chemistry and Applications*, 2022(1). <https://doi.org/10.1155/2022/2432758>
- Abdollahi-Kazeminezhad, N., Esmaili, M., Almasi, H., & Hamishehkar, H. (2023). Fabrication and Characterization of Antimicrobial Hybrid Electrospun Polyvinylpyrrolidone/Kafirin Nanofibers Activated by Zataria Multiflora Essential Oil. *Journal of Food Measurement & Characterization*, 17(5), 4850–4863. <https://doi.org/10.1007/s11694-023-01998-2>
- Abe, K., Iwamoto, S., & Yano, H. (2007). Obtaining Cellulose Nanofibers With a Uniform Width of 15 Nm From Wood. *Biomacromolecules*. <https://doi.org/10.1021/bm700624p>
- Aboshama, M., Sayed, A., & Elhagali, A. (2022). Effect of Different Nano-Fillers Addition on the Mechanical Properties of Heat-Polymerized Acrylic Resin. *Al-Azhar Assiut Dental Journal*. <https://doi.org/10.21608/aadj.2022.267266>
- Achebe, C., Iweriolor, S. N., & Chukwuneke, J. L. (2018). Surface Energetics Study and Determination of the Combined Negative Hamaker Coefficient for Hepatitis C Virus Infected Human Blood Cells. *Journal of Biomedical Science and Engineering*. <https://doi.org/10.4236/jbise.2018.1111025>
- Acosta-Torres, L. S., Mendieta, I., Nuñez-Anita, R. E., Cajero-Juárez, M., & Castaño, V. M. (2012). Cytocompatible antifungal acrylic resin containing silver nanoparticles for dentures. *International Journal of Nanomedicine*, 4777–4786.
- Ahmad, S., Munir, S., Zeb, N., Ullah, A., Khan, B. et al. (2019). Green Nanotechnology: A Review on Green Synthesis of Silver Nanoparticles — An Ecofriendly Approach. *International Journal of Nanomedicine*, Volume 14, 5087–5107. <https://doi.org/10.2147/ijn.s200254>
- Akintelu, S. A., Folorunso, A. S., & Ademosun, O. T. (2019). Instrumental Characterization and Antibacterial Investigation of Silver Nanoparticles Synthesized From Garcinia Kola Leaf. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 9(6-s), 58–64. <https://doi.org/10.22270/jddt.v9i6-s.3749>
- Akkaya, N., Çağırnkaya, B., & Dural, S. (2018). Hareketli Protez Kullanımı İle İlişkili Oral Mukoza Lezyonları Ve Risk Faktörleri. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*. <https://doi.org/10.17567/ataunidfd.290810>
- Akşit, K. S., Nakipoğlu, Y., Mandali, G., Günel, G., & Gürler, B. (2015). Diş Protez Temizlik Ürünlerinin Bakteriyolojik Aktivitelerinin Araştırılması. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*. <https://doi.org/10.17567/dfd.46046>
- Al-Khateeb, H. M., Alzoubi, F. Y., Alqadi, M. K., & Mohammed, M. R. (2018). Stability of Colloidal Silver Nanoparticle Solutions Prepared by Chemical Reduction. *Acta Physica Polonica A*, 134(1), 217–221. <https://doi.org/10.12693/aphyspola.134.217>
- Al-Thobity, A. M., & Gad, M. M. (2021). Effect of Silicon Dioxide Nanoparticles on the Flexural Strength of Heat-Polymerized Acrylic Denture Base Material: A Systematic Review and Meta-Analysis. *The Saudi Dental Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2021.08.008>
- Alazzawi, A. H. (2024). Microwave-Assisted Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Turnip Root (Brassica Rapa Subsp. Rapa) Extract and Their Antibacterial Efficacy. *Physica Scripta*, 99(5), 55308. <https://doi.org/10.1088/1402-4896/ad3a41>
- Albasarah, S., Abdulghani, H. A., Alaseef, N., al-Qarni, F. D., Akhtar, S. et al. (2021). Impact of ZrO₂ Nanoparticles Addition on Flexural Properties of Denture Base Resin With Different Thickness. *The Journal of Advanced Prosthodontics*. <https://doi.org/10.4047/jap.2021.13.4.226>
- Albayrak, H., Eraslan, R., Temizkanli, O., Sahin, B. S., Ayata, M. et al. (2022). The Effect of Sintering Procedures on Fit and Color in Zirconia Crowns. *Journal of Advanced Oral Research*, 13(2), 245–251. <https://doi.org/10.1177/23202068221129025>

- Aldegheishem, A., AlDeeb, M., Al-Ahdal, K., Helmi, M., & Alsagob, E. I. (2021). Influence of Reinforcing Agents on the Mechanical Properties of Denture Base Resin: A Systematic Review. *Polymers*, 13(18). <https://doi.org/10.3390/polym13183083>
- Alfouzani, A. F., Almejrad, L., & Albarrag, A. (2017). Adherence Of Candida to Complete Denture Surfaces in Vitro: A Comparison of Conventional and CAD/CAM Complete Dentures. *The Journal of Advanced Prosthodontics*. <https://doi.org/10.4047/jap.2017.9.5.402>
- Alhallak, K. R., Nankali, A., & Hagi-Pavli, E. (2022). A Review on Clinical Use of CAD/CAM and 3D Printed Dentures in Dental Practices. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1801353/v1>
- Ali, A. S. (2020). Application of Nanomaterials in Environmental Improvement. <https://doi.org/10.5772/intechopen.91438>
- Alkahtani, R. (2018). The Implications and Applications of Nanotechnology in Dentistry: A Review. *The Saudi Dental Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2018.01.002>
- Alnuaimi, M. T., Aljanabi, Z. Z., Mahmood, S. I., & Ramzy, U. F. (2024). Production of Biosynthesized Silver Nanoparticles using *Metarhizium anisopliae* fungus for the Treatment of Petroleum Pollutants in Water. *Baghdad Science Journal*, 21(6), 1935.
- Alrahlah, A., Fouad, H., Hashem, M., Niazy, A. A., & Al-Badah, A. S. (2018). Titanium Oxide (TiO₂)/Polymethylmethacrylate (PMMA) Denture Base Nanocomposites: Mechanical, Viscoelastic and Antibacterial Behavior. *Materials*. <https://doi.org/10.3390/ma11071096>
- Alsukhayri, A. A., Alwagdani, A. A., Ibrahim, M. I., & Fahmi, M. K. (2019). Effect of Silver Nanoparticles Fillers Addition on Flexural Strength, Fracture Toughness, Impact Strength, Compressive Strength and Hardness of Heat-Polymerized Acrylic Resin. *International Journal of Advanced Research*, 7(9), 1419–1422. <https://doi.org/10.21474/ijar01/9798>
- Amiri, P., Talebi, Z., Semnani, D., Bagheri, R., & Fashandi, H. (2021). Improved Performance of Bis-Gma Dental Composites Reinforced With Surface-Modified PAN Nanofibers. *Journal of Materials Science Materials in Medicine*, 32(7). <https://doi.org/10.1007/s10856-021-06557-z>
- Anadioti, E., Musharbash, L., Blatz, M. B., Papavasiliou, G., & Kamposiora, P. (2020). 3D Printed Complete Removable Dental Prostheses: A Narrative Review. *BMC Oral Health*. <https://doi.org/10.1186/s12903-020-01328-8>
- Anilkumar, P., & Jayakannan, M. (2008). Hydroxyl-Functionalized Polyaniline Nanospheres: Tracing Molecular Interactions at the Nanosurface via Vitamin C Sensing. *Langmuir*. <https://doi.org/10.1021/la801128j>
- Annur, D., Wang, Z. K., Liao, J. Der, & Kuo, C.-M. (2015). Plasma-Synthesized Silver Nanoparticles on Electrospun Chitosan Nanofiber Surfaces for Antibacterial Applications. *Biomacromolecules*, 16(10), 3248–3255. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.5b00920>
- Anunmana, C., Ueawitthayasuporn, C., Kiattavorncharoen, S., & Thanasrisuebwong, P. (2020). In Vitro Comparison of Surgical Implant Placement Accuracy Using Guides Fabricated by Three Different Additive Technologies. *Applied Sciences*, 10(21), 7791. <https://doi.org/10.3390/app10217791>
- Anwander, M., Rosentritt, M., Schneider-Feyrer, S., & Hahnel, S. (2017). Biofilm Formation on Denture Base Resin Including ZnO, CaO, and TiO₂ Nanoparticles. *The Journal of Advanced Prosthodontics*. <https://doi.org/10.4047/jap.2017.9.6.482>
- Arf, A. N. (2024). Assessment of the Antifungal Activity of PMMA-MgO and PMMA-Ag Nanocomposite. *Kurdistan Journal of Applied Research*, 9(1), 66–76. <https://doi.org/10.24017/science.2024.1.6>
- Arif, R., & Uddin, R. (2020). A Review on Recent Developments in the Biosynthesis of Silver Nanoparticles and Its Biomedical Applications. *Medical Devices & Sensors*, 4(1). <https://doi.org/10.1002/mds3.10158>
- Arokiyaraj, S., Saravanan, M., & Vijayakumar, B. (2015). Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Aqueous Extract of <I>Taraxacum Officinale</I> And Its Antimicrobial Activity. *South Indian Journal of Biological Sciences*, 1(2), 115. <https://doi.org/10.22205/sijbs/2015/v1/i2/100433>
- Asar, N. V., & Kirman, E. A. (2018). İmplant Destekli Sabit Protezlerde Simantasyon. *Journal of International Dental Sciences*. <https://doi.org/10.21306/jids.2018.164>
- Ashour, M., & Ebrahim, M. (2014). Effect of Zirconium Oxide Nano-Fillers Addition on the Flexural Strength, Fracture Toughness, and Hardness of Heat-Polymerized Acrylic Resin. *World Journal of Nano Science and Engineering*, 04, 50–57. <https://doi.org/10.4236/wjnse.2014.42008>

- Ayaz, E. A., Bagis, B., & Turgut, S. (2016). Protez Cila Materyallerinin Farkli Kaide Maddelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*. <https://doi.org/10.17567/ataunidfd.290267>
- Ayaz, E. A., Durkan, R., & Bagis, B. (2017). Reinforcement of Acrylic Resin Denture Base Material by Copolymerisation Mechanism. *Journal of Ege University School of Dentistry*. <https://doi.org/10.5505/eudfd.2017.16769>
- Azhar, S., Rana, N. F., Kashif, A. S., Tanweer, T., Shafique, I. et al. (2022). DEAE-Dextran Coated AgNPs: A Highly Blendable Nanofiller Enhances Compressive Strength of Dental Resin Composites. *Polymers*, 14(15), 3143. <https://doi.org/10.3390/polym14153143>
- Azmy, E., Al-kholy, M. R. Z., Gad, M. M., Al-Thobity, A. M., Emam, A.-N. M. et al. (2021). Influence of Different Beverages on the Color Stability of Nanocomposite Denture Base Materials. *International Journal of Dentistry*. <https://doi.org/10.1155/2021/5861848>
- Baba, N. Z., Goodacre, B. J., Goodacre, C. J., Müller, F., & Wagner, S. A. (2021). CAD/CAM Complete Denture Systems and Physical Properties: A Review of the Literature. *Journal of Prosthodontics*. <https://doi.org/10.1111/jopr.13243>
- Bacali, C., Badea, M. E., Moldovan, M., Saroşi, C., Năstase, V. et al. (2019). The Influence of Graphene in Improvement of Physico-Mechanical Properties in PMMA Denture Base Resins. *Materials*, 12(14), 2335. <https://doi.org/10.3390/ma12142335>
- Bahati, D., Bricha, M., & Mabrouk, K. E. (2022). Vat Photopolymerization Additive Manufacturing Technology for Bone Tissue Engineering Applications. *Advanced Engineering Materials*, 25(1). <https://doi.org/10.1002/adem.202200859>
- Balakumar, V., Prakash, P., & Paulmony, T. (2017). Evaluation of a New Biosensor Based on in Situ Synthesized PPy-Ag-PVP Nanohybrid for Selective Detection of Dopamine. *The Journal of Physical Chemistry B*, 121(5), 1118–1127. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.6b11225>
- Balčiūnaitienė, A., Viškelis, P., Viškelis, J., Štreimikytė, P., Liaudanskas, M. et al. (2021). Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Extract of Artemisia Absinthium L., Humulus Lupulus L. And Thymus Vulgaris L., Physico-Chemical Characterization, Antimicrobial and Antioxidant Activity. *Processes*, 9(8), 1304. <https://doi.org/10.3390/pr9081304>
- Banjar, A., Chen, Y.-W., Kostagianni, A., Finkelman, M., Papathanasiou, A. et al. (2021). Accuracy of 3D Printed Implant Casts Versus Stone Casts: A Comparative Study in the Anterior Maxilla. *Journal of Prosthodontics*, 30(9), 783–788. <https://doi.org/10.1111/jopr.13335>
- Banu, F., Jeyapalan, K., Kumar, V., & Modi, K. (2020). Comparison of Colour Stability Between Various Denture Base Resins on Staining and Denture Cleansing Using Commercially Available Denture Cleansers. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.6698>
- Barazanchi, A., Li, K. C., Al-Amleh, B., Lyons, K., & Waddell, J. N. (2016). Additive Technology: Update on Current Materials and Applications in Dentistry. *Journal of Prosthodontics*, 26(2), 156–163. <https://doi.org/10.1111/jopr.12510>
- Basmaci, F., Mersin, T. Ö., & Özden, A. N. (2019). Importance of Archiving the Prosthodontic Dental Records in Identification. *Türkiye Klinikleri Journal of Dental Sciences*. <https://doi.org/10.5336/dentalsci.2018-64134>
- Bassioni, G., & Taqvi, S. T. (2015). Wettability Studies Using Zeta Potential Measurements. *Journal of Chemistry*. <https://doi.org/10.1155/2015/743179>
- Becerir, B. (2011). Assessment of the Results of Different Color Difference Formulae Under Different Illuminants by Wash Fastness Tests. *Fibers and Polymers*, 12(7), 946–956. <https://doi.org/10.1007/s12221-011-0946-y>
- Belino, N. J. R. (2023). Electrospinning Drafting System for Polyamide 6 and Polyamide 6.6 Nanofiber Production. *Textile Research Journal*. <https://doi.org/10.1177/00405175231205320>
- Bencharit, S., Clark, W. A., Stoner, L. O., Chiang, G., & Sulaiman, T. A. (2021). *Recent Advancements in CAD/CAM Same-Day Dentistry in Practice and Education*. <https://doi.org/10.20944/preprints202111.0490.v1>
- Bilgin, M. S., Baytaroglu, E. N., Erdem, A. F., & Dilber, E. (2016). A Review of Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacture Techniques for Removable Denture Fabrication. *European Journal of Dentistry*. <https://doi.org/10.4103/1305-7456.178304>
- Borg, H. (2021). One-Year Clinical Investigation of the Effect of Inclusion of Three Nanoparticles in the Heat-

- Cured Acrylic Resin Denture Base on the Adhesion With the Silicone Soft-Liner. *Egyptian Dental Journal*. <https://doi.org/10.21608/edj.2021.59178.1463>
- Boumegnane, A., Batine, A., Nadi, A., Dahrouch, A., Stambouli, A. et al. (2023). Inkjet Printing of Silver Conductive Ink on Textiles for Electronic Applications: Impact of Ink Formulation on Electrical Performances of the Ink. *Iop Conference Series Materials Science and Engineering*, 1266(1), 12006. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1266/1/012006>
- Brugo, T. M., Minak, G., Zucchelli, A., Yan, X.-T., Belcari, J. et al. (2017). Study on Mode I Fatigue Behaviour of Nylon 6,6 Nanoreinforced CFRP Laminates. *Composite Structures*, 164, 51–57. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.12.070>
- Bücheler, D., Anja, K., & Henning, F. (2016). Using Thermogravimetric Analysis to Determine Carbon Fiber Weight Percentage of Fiber-Reinforced Plastics. *Composites Part B Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.09.028>
- Budală, D. G., Baci, E. R., Virvescu, D. I., Armencia, A. O., Scutariu, M. M. et al. (2021). Quality of Life of Complete Denture Wearers—A Comparative Study Between Conventional Dentures and Acrylic Dentures With Vitamin B12 Incorporated. *Medicina*. <https://doi.org/10.3390/medicina57080820>
- Cakan, U., Kara, Ö., & Kara, H. B. (2015). Effects of Various Denture Cleansers on Surface Roughness of Hard Permanent Reline Resins. *Dental Materials Journal*. <https://doi.org/10.4012/dmj.2014-194>
- Cao, Y., Shen, C., Yang, Z., Cai, Z., Deng, Z. et al. (2022). Polycaprolactone/polyvinyl pyrrolidone nanofibers developed by solution blow spinning for encapsulation of chlorogenic acid. *Food Quality and Safety*, 6, fyac014. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyac014>
- Carrouel, F., Viennot, S., Ottolenghi, L., Gaillard, C., & Bourgeois, D. (2020). Nanoparticles as Anti-Microbial, Anti-Inflammatory, and Remineralizing Agents in Oral Care Cosmetics: A Review of the Current Situation. *Nanomaterials*. <https://doi.org/10.3390/nano10010140>
- Castro-Rojas, M. A., Vega-Cantú, Y. I., Cordell, G. A., & Rodriguez-Garcia, A. (2021). Dental Applications of Carbon Nanotubes. *Molecules*. <https://doi.org/10.3390/molecules26154423>
- Cavalheiro, M., & Teixeira, M. C. (2018). Candida Biofilms: Threats, Challenges, and Promising Strategies. *Frontiers in Medicine*, 5. <https://doi.org/10.3389/fmed.2018.00028>
- Champmartin, S., Ambari, A., & Pommelec, J. Y. L. (2016). New Procedure to Measure Simultaneously the Surface Tension and Contact Angle. *Review of Scientific Instruments*. <https://doi.org/10.1063/1.4948736>
- Chand, P., Reddy, C. V., Verkade, J. G., Wang, T., & Grewell, D. (2009). Thermogravimetric Quantification of Biodiesel Produced via Alkali Catalyzed Transesterification of Soybean Oil. *Energy & Fuels*. <https://doi.org/10.1021/ef800668u>
- Chang, K., Chen, H., Hsu, H., Kao, T.-S., Lo, T. et al. (2022). Electrospun PMMA Fibers Blended With core-shell PCM/PS Microspheres for Thermal Regulating Applications. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 69(8), 1519–1524. <https://doi.org/10.1002/jccs.202200192>
- Charoenphol, K., & Peampring, C. (2022). Fit Accuracy of Complete Denture Base Fabricated by CAD/CAM Milling and 3d-Printing Methods. *European Journal of Dentistry*. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1757211>
- Chen, B., & Feng, J. (2015). White-Light-Emitting Polymer Composite Film Based on Carbon Dots and Lanthanide Complexes. *The Journal of Physical Chemistry C*, 119(14), 7865–7872. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.5b00208>
- Chen, S., Yang, J., Jia, Y., Lu, B., & Li, R. (2018). A Study of 3d-Printable Reinforced Composite Resin: PMMA Modified With Silver Nanoparticles Loaded Cellulose Nanocrystal. *Materials*, 11(12), 2444. <https://doi.org/10.3390/ma11122444>
- Chladek, G., Mertas, A., Barszczewska-Rybarek, I., Nalewajek, T., Żmudzki, J. et al. (2011). Antifungal Activity of Denture Soft Lining Material Modified by Silver Nanoparticles—A Pilot Study. *International Journal of Molecular Sciences*, 12(7), 4735–4744. <https://doi.org/10.3390/ijms12074735>
- Chouksey, G., Kt, R., & Dayal, D. (2015). Evaluation of the Influence of Different Beverages on the Color Stability of Heat Polymerized Denture Base Acrylic Resin Materials. *International Journal of Medical Research and Review*. <https://doi.org/10.17511/ijmrr.2015.i11.247>
- Chung, Y.-J., Park, J., Kim, T.-H., Ahn, J.-S., Cha, H. et al. (2018). 3D Printing of Resin Material for Denture Artificial Teeth: Chipping and Indirect Tensile Fracture Resistance. *Materials*.

<https://doi.org/10.3390/ma11101798>

- Çimen, C. G., Dündar, M., Kars, M. D., & Avcı, A. (2022). Enhancement of PCL/PLA Electrospun Nanocomposite Fibers Comprising Silver Nanoparticles Encapsulated With *Thymus Vulgaris* L. Molecules for Antibacterial and Anticancer Activities. *Acs Biomaterials Science & Engineering*, 8(9), 3717–3732. <https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.2c00611>
- Contardi, M., Kossyvakı, D., Picone, P., Summa, M., Guo, X. et al. (2021). Electrospun polyvinylpyrrolidone (PVP) hydrogels containing hydroxycinnamic acid derivatives as potential wound dressings. *Chemical Engineering Journal*, 409, 128144. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.128144>
- Costa, L. P. G. da, Zamalloa, S. I. D., Alves, F. A., Spigolon, R., Mano, L. Y. et al. (2021). 3D Printers in Dentistry: A Review of Additive Manufacturing Techniques and Materials. *Clinical and Laboratorial Research in Dentistry*. <https://doi.org/10.11606/issn.2357-8041.clrd.2021.188502>
- Dao, A. T. N., Mott, D. M., & Maenosono, S. (2015). Characterization of metallic nanoparticles based on the abundant usages of X-ray techniques. In *Handbook of nanoparticles* (pp. 217–244). Springer International Publishing.
- Darshinidevi, T. (2023). Synthesis of Silver Nanoparticles From *Cymodocea Rotundata* Leaf Extract and Their Biological Activities. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.49316>
- Das, D., Ghosh, R., & Mandal, P. (2019). Biogenic Synthesis of Silver Nanoparticles Using S1 Genotype of *Morus Alba* Leaf Extract: Characterization, Antimicrobial and Antioxidant Potential Assessment. *Sn Applied Sciences*, 1(5). <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0527-z>
- Davi, L. R., Peracini, A., Ribeiro, N. d. Q., Soares, R. B., Silva-Lovato, C. H. et al. (2009). Effect of the Physical Properties of Acrylic Resin of Overnight Immersion in Sodium Hypochlorite Solution. *Gerodontology*. <https://doi.org/10.1111/j.1741-2358.2009.00336.x>
- Deniz, A. E., Vural, H. A., Ortaç, B., & Uyar, T. (2011). Gold nanoparticle/polymer nanofibrous composites by laser ablation and electrospinning. *Materials Letters*, 65(19), 2941–2943. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2011.06.045>
- Dhull, K. S. (2023). Revolutionary Advances: Exploring the Applications of 3D Printing in Dentistry. *Academia Journal of Medicine*, 6(1), 1–7. <https://doi.org/10.62245/ajm.v6.i1.1>
- Din, M. I., & Rani, A. (2016). Recent Advances in the Synthesis and Stabilization of Nickel and Nickel Oxide Nanoparticles: A Green Adeptness. *International Journal of Analytical Chemistry*. <https://doi.org/10.1155/2016/3512145>
- Domagała, I., Przystupa, K., Firlej, M., Pieniak, D., Niewczas, A. et al. (2020). Bending Behaviour of Polymeric Materials Used on Biomechanics Orthodontic Appliances. *Materials*, 13(23), 5579. <https://doi.org/10.3390/ma13235579>
- Domenico, M. Di, Amorim, S. M. de, Moura-Nickel, C. D., José, H. J., & Moreira, R. de F. P. M. (2019). Kinetics of the Carbonation Reaction of Lithium Orthosilicate Using a Typical CO₂ Concentration of Combustion Gases. *Materials Research*. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2018-0867>
- Dong, G., Xiao, X., Liu, X., Qian, B., Ma, Z. et al. (2010). Preparation and characterization of Ag nanoparticle-embedded polymer electrospun nanofibers. *Journal of Nanoparticle Research*, 12(4), 1319–1329. <https://doi.org/10.1007/s11051-009-9665-3>
- Du, Z., Tang, Z., Mo, R. Q., Lu, Y., Jiang, Y. et al. (2011). Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Flos Sophorae Immaturus* Extract and Bactericidal Activity. *Advanced Materials Research*, 317–319, 475–478. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.317-319.475>
- El-Naggar, A. M. (2024). An Insight Into the Impact of Nano CuCo₂O₄ Doping on the Optical and Dielectric Performance of PMMA/Carbon Nanoparticles. *Ecs Journal of Solid State Science and Technology*, 13(7), 73009. <https://doi.org/10.1149/2162-8777/ad6103>
- El-Shaheed, N. H., Lamfon, H., Salama, R. I., Faramawy, A. M. G., & Mostafa, A. Z. H. (2022). Tissue Surface Adaptation and Clinical Performance of CAD-CAM Milled Versus Conventional Implant-Assisted Mandibular Overdenture. *International Journal of Dentistry*. <https://doi.org/10.1155/2022/8220233>
- Elamawi, R. M., Al-Harbi, R. E., & Hendi, A. A. (2018). Biosynthesis and Characterization of Silver Nanoparticles Using *Trichoderma Longibrachiatum* and Their Effect on Phytopathogenic Fungi. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 28(1). <https://doi.org/10.1186/s41938-018-0028-1>

- Elkholy, F., Schmidt, S., Amirkhani, M., Schmidt, F., & Lapatki, B. G. (2019). Mechanical Characterization of Thermoplastic Aligner Materials: Recommendations for Test Parameter Standardization. *Journal of Healthcare Engineering*, 2019, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2019/8074827>
- Emera, R. M. K., Shady, M., & Alnajih, M. A. (2022). Comparison of Retention and Denture Base Adaptation Between Conventional and 3d-Printed Complete Dentures. *Journal of Dental Research Dental Clinics Dental Prospects*. <https://doi.org/10.34172/joddd.2022.030>
- Erci, F., & Torlak, E. (2019). Antimicrobial and antibiofilm activity of green synthesized silver nanoparticles by using aqueous leaf extract of *Thymus serpyllum*. *Sakarya University Journal of Science*, 23(3), 333–339. <https://doi.org/10.16984/aufenbilder.445146>
- Eswaran, M. A., A. P. A., Noureen, A. A., Lubnaz, S., Rathee, S. et al. (2022). A Review on Acceptability of Denture Polymers Having Gold and Silver Nanoparticles. *International Journal of Dental Materials*, 04(04), 82–88. <https://doi.org/10.37983/ijdm.2022.4402>
- Fernández, C. C., Sokolonski, A. R., Fonseca, M. S., Stanisić, D., Araújo, D. B. d. et al. (2021). Applications of Silver Nanoparticles in Dentistry: Advances and Technological Innovation. *International Journal of Molecular Sciences*. <https://doi.org/10.3390/ijms22052485>
- Ferreira, I., Ferreira-Strixino, J., Castilho, M. L., Campos, C. B. L. de, Tellez, C. et al. (2016). Characterization of *Paracoccidioides Brasiliensis* by FT-IR Spectroscopy and Nanotechnology. *Spectrochimica Acta Part a Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2015.07.061>
- Figueiral, M. H., Fonseca, P., Lopes, M. M., Pinto, E., Pereira-Leite, T. et al. (2015). Effect of Denture-Related Stomatitis Fluconazole Treatment on Oral *Candida Albicans* Susceptibility Profile and Genotypic Variability. *The Open Dentistry Journal*, 9(1), 46–51. <https://doi.org/10.2174/1874210601509010046>
- Flores-Arriaga, J. C., García-Contreras, R., Sánchez, F. G. V., & Acosta-Torres, L. S. (2020). Antimicrobial Poly (Methyl Methacrylate) With Silver Nanoparticles for Dentistry: A Systematic Review. *Applied Sciences*, 10(11), 4007. <https://doi.org/10.3390/app10114007>
- Fouda, S. M., Gad, M. M., Ellakany, P., Al-Thobity, A. M., Virtanen, J. I. et al. (2019). The Effect of Nanodiamonds on *Candida Albicans* Adhesion and Surface Characteristics of PMMA Denture Base Material - An in Vitro Study. *Journal of Applied Oral Science*, 27. <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2018-0779>
- Freitas, R. F. C. P. de, Duarte, S., Feitosa, S., Dutra, V., Lin, W.-S. et al. (2022). Physical, Mechanical, and Anti-Biofilm Formation Properties of CAD-CAM Milled or 3D Printed Denture Base Resins: In Vitro Analysis. *Journal of Prosthodontics*. <https://doi.org/10.1111/jopr.13554>
- Fukuzumi, H., Saito, T., Iwata, T., Kumamoto, Y., & Isogai, A. (2008). Transparent and High Gas Barrier Films of Cellulose Nanofibers Prepared by TEMPO-Mediated Oxidation. *Biomacromolecules*. <https://doi.org/10.1021/bm801065u>
- Gad, M. M., Abualsaud, R., Fouda, S. M., Rahoma, A., Khan, S. Q. et al. (2021). Color Stability and Surface Properties of PMMA/ZrO₂ Nanocomposite Denture Base Material After Using Denture Cleanser. *International Journal of Biomaterials*. <https://doi.org/10.1155/2021/6668577>
- Gad, M. M., Al-Thobity, A. M., Shahin, S. Y., Alsaqer, B. T., & Ali, A. (2017). Inhibitory Effect of Zirconium Oxide Nanoparticles on *Candida Albicans* Adhesion to Repaired Polymethyl Methacrylate Denture Bases and Interim Removable Prostheses: A New Approach for Denture Stomatitis Prevention. *International Journal of Nanomedicine*. <https://doi.org/10.2147/ijn.s142857>
- Gad, M. M., Ali, M. S., Al-Thobity, A. M., Al-Dulaijan, Y. A., Zayat, M. E. et al. (2021). Polymethylmethacrylate Incorporating Nanodiamonds for Denture Repair: In Vitro Study on the Mechanical Properties. *European Journal of Dentistry*, 16(02), 286–295. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1735792>
- Gad, M. M., & Fouda, S. M. (2020). Current Perspectives and the Future of *Candida Albicans*-Associated Denture Stomatitis Treatment. *Dental and Medical Problems*. <https://doi.org/10.17219/dmp/112861>
- Gad, M. M., Fouda, S. M., Al-Harbi, F. A., Näpänkangas, R., & Raustia, A. (2017). PMMA Denture Base Material Enhancement: A Review of Fiber, Filler, and Nanofiller Addition. *International Journal of Nanomedicine*. <https://doi.org/10.2147/ijn.s130722>
- Gakiya-Teruya, M., Palomino-Marcelo, L., & Rodríguez-Reyes, J. C. F. (2018). Synthesis of Highly Concentrated Suspensions of Silver Nanoparticles by Two Versions of the Chemical Reduction Method. *Methods and Protocols*, 2(1), 3. <https://doi.org/10.3390/mps2010003>

- García-Contreras, R., Argueta-Figueroa, L., Mejía-Rubalcava, C., Jiménez-Martínez, R., Cuevas-Guajardo, S. et al. (2011). Perspectives for the Use of Silver Nanoparticles in Dental Practice. *International Dental Journal*, 61(6), 297–301. <https://doi.org/10.1111/j.1875-595x.2011.00072.x>
- George, S. (2017). Nanotechnology in Dentistry- A Review. *Iosr Journal of Dental and Medical Sciences*. <https://doi.org/10.9790/0853-1601079095>
- Gholami, M., Shahzamani, K., Marzban, A., & Lashgarian, H. E. (2018). Evaluation of antimicrobial activity of synthesised silver nanoparticles using *Thymus kotschyianus* aqueous extract. *IET Nanobiotechnology*, 12(8), 1114–1117.
- Gligorijević, N., Mihajlov-Krstev, T., Kostić, M., Nikolić, L., Stanković, N. et al. (2022). Antimicrobial Properties of Silver-Modified Denture Base Resins. *Nanomaterials*. <https://doi.org/10.3390/nano12142453>
- Grachev, D. I., Chizhnikov, E. A., Stepanov, D. Y., Buslovich, D. G., Khulaev, I. V et al. (2023). Dental Material Selection for the Additive Manufacturing of Removable Complete Dentures (RCD). *International Journal of Molecular Sciences*, 24(7), 6432. <https://doi.org/10.3390/ijms24076432>
- Grassia, V., Ronsivalle, V., Isola, G., Nucci, L., Leonardi, R. et al. (2023). Accuracy (Trueness and Precision) of 3D Printed Orthodontic Models Finalized to Clear Aligners Production, Testing Crowded and Spaced Dentition. *BMC Oral Health*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03025-8>
- Güler, A. U., Güler, E., Yücel, A. Ç., & Ertaş, E. (2009). Effects of Polishing Procedures on Color Stability of Composite Resins. *Journal of Applied Oral Science*, 17(2), 108–112. <https://doi.org/10.1590/s1678-77572009000200007>
- Gupta, K., Barua, S., Hazarika, S. N., Manhar, A. K., Nath, D. et al. (2014). Green Silver Nanoparticles: Enhanced Antimicrobial and Antibiofilm Activity With Effects on DNA Replication and Cell Cytotoxicity. *RSC Advances*, 4(95), 52845–52855. <https://doi.org/10.1039/c4ra08791g>
- Gupta, P., Rai, N., Verma, A., Saikia, D., Singh, S. P. et al. (2022). Green-Based Approach to Synthesize Silver Nanoparticles Using the Fungal Endophyte *Penicillium Oxalicum* and Their Antimicrobial, Antioxidant, and In Vitro Anticancer Potential. *Acs Omega*, 7(50), 46653–46673. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c05605>
- Ha, M., Lee, D. N., Ahmed, S., Han, J., & Yeon, S. C. (2022). Successful Carapace Puncture Wound Repair With Polymethyl Methacrylate (PMMA) in an Amur Softshell Turtle (*Pelodiscus Maackii*). *Journal of Veterinary Clinics*. <https://doi.org/10.17555/jvc.2022.39.4.185>
- Habibzadeh, S., Omidvaran, A., Eskandarion, S., & Shamshiri, A. R. (2020). Effect of Incorporation of Silver Nanoparticles on the Tensile Bond Strength of a Long Term Soft Denture Liner. *European Journal of Dentistry*, 14(02), 268–273. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1709923>
- Haidar, Z. S. (2023). Digital Dentistry: Past, Present, and Future. *Digital Medicine and Health Technology*, 2. <https://doi.org/10.5772/dmht.17>
- Han, L., Kim, Y. S., Cho, S., & Park, Y. (2013). Invertebrate Water Extracts as Biocompatible Reducing Agents for the Green Synthesis of Gold and Silver Nanoparticles. *Natural Product Communications*, 8(8), 1934578X1300800. <https://doi.org/10.1177/1934578x1300800830>
- Han, X., Jiang, X., Guo, L., Wang, Y., Veeraraghavan, V. P. et al. (2019). Anticarcinogenic Potential of Gold Nanoparticles Synthesized From *Trichosanthes Kirilowii* in Colon Cancer Cells Through the Induction of Apoptotic Pathway. *Artificial Cells Nanomedicine and Biotechnology*. <https://doi.org/10.1080/21691401.2019.1626412>
- Hao, J., Lang, S., Mante, F. K., Pavelić, K., & Ozer, F. (2021). Antimicrobial and Mechanical Effects of Zeolite Use in Dental Materials: A Systematic Review. *Acta Stomatologica Croatica*. <https://doi.org/10.15644/asc55/1/9>
- Haqq, S. M., Pandey, H., Gerard, M., & Chattree, A. (2018). Bio-Fabrication of Silver Nanoparticles Using *Chrysanthemum Coronarium* Flower Extract and It's in Vitro Antibacterial Activity. *International Journal of Applied Pharmaceutics*, 10(5), 209. <https://doi.org/10.22159/ijap.2018v10i5.27492>
- Hasan, K., Shehadi, I. A., Joseph, R. G., Patole, S. P., & Elgamouz, A. (2023). B-Cyclodextrin-Functionalized Fe₃O₄-Supported Pd-Nanocatalyst for the Reduction of Nitroarenes in Water at Mild Conditions. *Acs Omega*. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c02332>
- Hasri, Dini, I., Negara, S. P. J., & Subaer. (2019). Biosynthesis of Silver Nanoparticles Made From Green Tea Leaf Extract (*Camellia Sinensis*). *Materials Science Forum*, 967, 161–167. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.967.161>

- He, M., Chen, M., Dou, Y., Ding, J., Yue, H. et al. (2020). Electrospun Silver Nanoparticles-Embedded Feather Keratin/Poly(vinyl Alcohol)/Poly(ethylene Oxide) Antibacterial Composite Nanofibers. *Polymers*, 12(2), 305. <https://doi.org/10.3390/polym12020305>
- Heidari, Z., Salehzadeh, A., Sadat Shandiz, S. A., & Tajdoost, S. (2018). Anti-cancer and anti-oxidant properties of ethanolic leaf extract of *Thymus vulgaris* and its bio-functionalized silver nanoparticles. *3 Biotech*, 8, 1–14.
- Helm, D., & Naumann, D. (1995). Identification of Some Bacterial Cell Components by FT-IR Spectroscopy. *Fems Microbiology Letters*. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1995.tb07393.x>
- Heydari, R., & Rashidipour, M. (2015). Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Extract of Oak Fruit Hull (Jaft): Synthesis and in Vitro Cytotoxic Effect on McF-7 Cells. *International Journal of Breast Cancer*. <https://doi.org/10.1155/2015/846743>
- Hiratsuka, K., Suzuki, T., Dziemińska, E., & Ichiyanagi, M. (2018). Accuracy Evaluation of Zeta-Potential Measurement Using Current Monitoring Technique and Closed Electrokinetic Cell Technique. *Journal of Fluid Science and Technology*. <https://doi.org/10.1299/jfst.2018jfst0014>
- Hossain, M. E., Hossain, M. K., Hosur, M., & Jeelani, S. (2013). Low-Velocity Impact Behavior of CNF-filled Glass-Reinforced Polyester Composites. *Journal of Composite Materials*, 48(7), 879–896. <https://doi.org/10.1177/0021998313480194>
- Hu, T., Jin, W., & Cheng, C. (2011). Classification of Five Kinds of Moss Plants With the Use of Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Chemometrics. *Spectroscopy an International Journal*. <https://doi.org/10.1155/2011/908150>
- Hu, X. J., Johnston, W. M., & Seghi, R. R. (2010). Measuring the Color of Maxillofacial Prosthetic Material. *Journal of Dental Research*, 89(12), 1522–1527. <https://doi.org/10.1177/0022034510378012>
- Huang, J., Ye, W., Ye, G., Jia, Q., Li, K. et al. (2022). Mechanical Properties and Accuracy Evaluation of 3D Printing Based on Value in the Munsell Color System. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2022, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2022/2713524>
- Huang, M., Gao, X., Li, X., Hemingray, C., Xiao, K. et al. (2022). Optimizing Color-Difference Formulas for 3d-Printed Objects. *Sensors*, 22(22), 8869. <https://doi.org/10.3390/s22228869>
- Huertas, R., Melgosa, M., & Oleari, C. (2006). Performance of a Color-Difference Formula Based on OSA-UCS Space Using Small-Medium Color Differences. *Journal of the Optical Society of America A*, 23(9), 2077. <https://doi.org/10.1364/josaa.23.002077>
- Hwang, S., & Jeong, S. (2011). Electrospun nano composites of poly (vinyl pyrrolidone)/nano-silver for antibacterial materials. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 11(1), 610–613.
- Ieracitano, C., Paviglianiti, A., Campolo, M., Hussain, A., Pasero, E. et al. (2021). A Novel Automatic Classification System Based on Hybrid Unsupervised and Supervised Machine Learning for Electrospun Nanofibers. *Ieee/Caa Journal of Automatica Sinica*, 8(1), 64–76. <https://doi.org/10.1109/jas.2020.1003387>
- Imirzalioglu, P., Karacaer, Ö., Yilmaz, B., & Özmen, İ. (2010). Color Stability of Denture Acrylic Resins and a Soft Lining Material Against Tea, Coffee, and Nicotine. *Journal of Prosthodontics*. <https://doi.org/10.1111/j.1532-849x.2009.00535.x>
- Iravani, S. (2011). Green Synthesis of Metal Nanoparticles Using Plants. *Green Chemistry*. <https://doi.org/10.1039/c1gc15386b>
- Ismail, H., Abbas, F. S., & Gindy, N. (2019). Clinical Evaluation of Polyoxymethylene Partial Dentures Designed and Fabricated by Using Cad/Cam Technology. *Alexandria Dental Journal*. <https://doi.org/10.21608/adjalexu.2019.57367>
- ISO, I. S. O. (2013). 20795-1: 2013 Dentistry—Base Polymers—Part 1: Denture Base Polymers. *ISO: Geneva, Switzerland*.
- Jahromi, S. F., Naimi-Jamal, M. R., & Atai, M. (2014). Preparation of Dental Polymeric Nano-Adhesives With Silica Nano-Porous (MCM-41) as Novel Fillers for Improving the Adhesive Mechanical Properties: Synthesis and Application. <https://doi.org/10.3390/ecsoc-18-d010>
- Janeva, N., Kovacevska, G., Elencevski, S., Panchevska, S., Мижоска, A. et al. (2018). Advantages of CAD/CAM Versus Conventional Complete Dentures - A Review. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2018.308>

- Javaid, M., Haleem, A., & Kumar, L. (2019). Current Status and Applications of 3D Scanning in Dentistry. *Clinical Epidemiology and Global Health*. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2018.07.005>
- Jiao, Y., Niu, L. N., Ma, S., Li, J., Tay, F. R. et al. (2017). Quaternary Ammonium-Based Biomedical Materials: State-of-the-Art, Toxicological Aspects and Antimicrobial Resistance. *Progress in Polymer Science*, 71, 53–90. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2017.03.001>
- Jo, J. H., Singh, P., Kim, Y. J., Wang, C., Mathiyalagan, R. et al. (2015). Pseudomonas Deceptionensis DC5-Mediated Synthesis of Extracellular Silver Nanoparticles. *Artificial Cells Nanomedicine and Biotechnology*, 44(6), 1576–1581. <https://doi.org/10.3109/21691401.2015.1068792>
- Joda, T., & Zitzmann, N. U. (2022). Personalized Workflows in Reconstructive Dentistry—current Possibilities and Future Opportunities. *Clinical Oral Investigations*, 26(6), 4283–4290. <https://doi.org/10.1007/s00784-022-04475-0>
- Kalberer, N., Mehl, A., Schimmel, M., Müller, F., & Srinivasan, M. (2019). CAD-CAM Milled Versus Rapidly Prototyped (3d-Printed) Complete Dentures: An In vitro Evaluation of Trueness. *Journal of Prosthetic Dentistry*. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.09.001>
- Kalpana, V. N., & Rajeswari, V. D. (2018). A Review on Green Synthesis, Biomedical Applications, and Toxicity Studies of ZnO NPs. *Bioinorganic Chemistry and Applications*. <https://doi.org/10.1155/2018/3569758>
- Kanazawa, M., Inokoshi, M., Minakuchi, S., & Ohbayashi, N. (2011). Trial of a CAD/CAM system for fabricating complete dentures. *Dental Materials Journal*, 30(1), 93–96.
- Kane, B., & Shah, K. C. (2022). In Vitro Analysis of Shear Stress: CAD Milled vs Printed Denture Base Resins With Bonded Denture Tooth. *Journal of Prosthodontics*. <https://doi.org/10.1111/jopr.13552>
- Kang, W., Kim, M., & Kim, W.-G. (2019). Assessment of Internal Fitness on Resin Crown Fabricated by Digital Light Processing 3D Printer. *Journal of Dental Hygiene Science*, 19(4), 238–244. <https://doi.org/10.17135/jdhs.2019.19.4.238>
- Karaman, T., Altintas, E., Eşer, B., Yildirim, T. T., Öztekin, F. et al. (2018). Spectrophotometric Evaluation of Anterior Maxillary Tooth Color Distribution According to Age and Gender. *Journal of Prosthodontics*, 28(1). <https://doi.org/10.1111/jopr.12783>
- Karçı, M., Demir, N., & Yazman, Ş. (2018). Evaluation of Flexural Strength of Different Denture Base Materials Reinforced With Different Nanoparticles. *Journal of Prosthodontics*, 28(5), 572–579. <https://doi.org/10.1111/jopr.12974>
- Kasraei, S., Sami, L., Hendi, S., Alikhani, M. Y., Rezaei-Soufi, L. et al. (2014). Antibacterial Properties of Composite Resins Incorporating Silver and Zinc Oxide Nanoparticles On Streptococcus Mutans and Lactobacillus. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 39(2), 109. <https://doi.org/10.5395/rde.2014.39.2.109>
- Kattnig, A. (2019). Theoretical and Practical Analysis of Spatial and Spectral Calibration of Static Fourier Transform Infrared Spectrometers. *Optics Express*. <https://doi.org/10.1364/oe.27.014819>
- Keerthivasan, A., Vidhya, S., Rajkumar, K., & Mahalaxmi, S. (2020). Applications of Nanotechnology in Interdisciplinary Dentistry. *Ijsr*, 70–72. <https://doi.org/10.36106/ijsr/1317601>
- Kennedy, A. J., Wu, Q., Kremer, K., & Gibbons, S. (2019). Determination of Contact Angle and Surface Tension of Nanomaterial Solutions by Optical Contact Angle System. <https://doi.org/10.21079/11681/33395>
- Khanlar, L. N., Rios, A. S., Tahmaseb, A., & Zandinejad, A. (2021). Additive Manufacturing of Zirconia Ceramic and Its Application in Clinical Dentistry: A Review. *Dentistry Journal*, 9(9), 104. <https://doi.org/10.3390/dj9090104>
- Kharaghani, D., Kaffashsaei, E., Haider, M. K., & Kim, I. S. (2023). The Effect of Polymeric Nanofibers Used for 3d-Printed Scaffolds on Cellular Activity in Tissue Engineering: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(11), 9464. <https://doi.org/10.3390/ijms24119464>
- Khurshid, Z., Zafar, M. S., Qasim, S. S. B., Shahab, S., Naseem, M. et al. (2015). Advances in Nanotechnology for Restorative Dentistry. *Materials*. <https://doi.org/10.3390/ma8020717>
- Kim, J. H., Pinhata-Baptista, O. H., Ayres, A. P. A., Silva, R. L. B. da, Lima, J. F. et al. (2022). Accuracy Comparison Among 3d-Printing Technologies to Produce Dental Models. *Applied Sciences*, 12(17), 8425. <https://doi.org/10.3390/app12178425>
- Kim, S.-H., Lee, Y., & Lim, B.-S. (2004). Influence of Porcine Liver Esterase on the Color of Dental Resin

- Composites by CIEDE2000 System. *Journal of Biomedical Materials Research Part B Applied Biomaterials*, 72B(2), 276–283. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.30141>
- Kirschner, C., Maquelin, K., Pina, P., Thi, N. A. N., Choo-Smith, L.-P. et al. (2001). Classification and Identification of Enterococci: A Comparative Phenotypic, Genotypic, and Vibrational Spectroscopic Study. *Journal of Clinical Microbiology*. <https://doi.org/10.1128/jcm.39.5.1763-1770.2001>
- Kitamura, A., Ishikawa, N., Kondo, K., Fujimura, Y., Yamamoto, S. et al. (2019). FE-SEM Observations of Multiple Nanohillocks on SrTiO₃ Irradiated With Swift Heavy Ions. *Transactions of the Materials Research Society of Japan*. <https://doi.org/10.14723/tmrsj.44.85>
- Kong, H., & Jang, J. (2008a). Antibacterial Properties of Novel Poly(methyl Methacrylate) Nanofiber Containing Silver Nanoparticles. *Langmuir*, 24(5), 2051–2056. <https://doi.org/10.1021/la703085e>
- Kong, H., & Jang, J. (2008b). Synthesis and Antimicrobial Properties of Novel Silver/Polyrhodanine Nanofibers. *Biomacromolecules*, 9(10), 2677–2681. <https://doi.org/10.1021/bm800574x>
- Köroğlu, A., Şahin, O., Kürkçüoğlu, I., Dede, D. Ö., Özdemir, T. et al. (2016). Silver nanoparticle incorporation effect on mechanical and thermal properties of denture base acrylic resins. *Journal of Applied Oral Science*, 24, 590–596.
- Koujan, A., Aggarwal, H., Chen, P.-H., Li, Z., Givan, D. A. et al. (2022). Evaluation of Candida Albicans Adherence to CAD-CAM Milled, 3D-Printed, and Heat-Cured PMMA Resin and Efficacy of Different Disinfection Techniques: An in Vitro Study. *Journal of Prosthodontics*. <https://doi.org/10.1111/jopr.13583>
- Kowalonek, J., & Kaczmarek, H. (2010). Studies of pectin/polyvinylpyrrolidone blends exposed to ultraviolet radiation. *European Polymer Journal*, 46(2), 345–353. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2009.09.015>
- Krishna, B. R., Chaturvedi, A., Mishra, N., & Das, K. (2021). Quasi-Static and Dynamic Nanomechanical Characterization of PMMA/ZnO Nanocomposite Thick Films Synthesized by Ultrasonication and Spin-Coating. *Polymers and Polymer Composites*, 29(9_suppl), S229–S238. <https://doi.org/10.1177/0967391121998484>
- Krishnamurthy, D. M., Singh, R., & Mistry, G. (2021). Interim Three-Dimensional Printed Overlay Prosthesis for an Adolescent Patient With Oligodontia. *The Journal of Indian Prosthodontic Society*. https://doi.org/10.4103/jips.jips_43_21
- Kul, E., & Aladağ, L. İ. (2016). Polimetilmetakrilat Protez Kaide Materyalinin Fiziksel Ve Mekanik Olarak Güçlendirilmesi. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*. <https://doi.org/10.17567/ataunidfd.277471>
- Kumar, A. S., Madhu, G., John, E., Kuttinarayanan, S. V., & Nair, S. K. (2020). Optical and Antimicrobial Properties of Silver Nanoparticles Synthesized via Green Route Using Honey. *Green Processing and Synthesis*. <https://doi.org/10.1515/gps-2020-0029>
- Kürkçüoğlu, I., Köroğlu, A., Özkir, S. E., & Özdemir, T. (2012). A Comparative Study of Polyamide and PMMA Denture Base Biomaterials: I. Thermal, Mechanical, and Dynamic Mechanical Properties. *International Journal of Polymeric Materials*. <https://doi.org/10.1080/00914037.2011.610047>
- Kwok, D. Y., Gietzelt, T., Grundke, K., Jacobasch, H. -J., & Neumann, A. W. (1997). Contact Angle Measurements and Contact Angle Interpretation. 1. Contact Angle Measurements by Axisymmetric Drop Shape Analysis and a Goniometer Sessile Drop Technique. *Langmuir*. <https://doi.org/10.1021/la9608021>
- Ladisa, M., Lamura, A., Laudadio, T., & Nico, G. (2007). Model Independent Pre-Processing of X-Ray Powder Diffraction Profiles. *Digital Signal Processing*. <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2006.02.001>
- Lai, Y. C. C., Yang, C.-C., Levon, J. A., Chu, T. M. G., Morton, D. et al. (2022). The Effects of Additive Manufacturing Technologies and Finish Line Designs on the Trueness and Dimensional Stability of 3D-printed Dies. *Journal of Prosthodontics*, 32(6), 519–526. <https://doi.org/10.1111/jopr.13588>
- Lakshmi, S., & Ramani, P. (2021). Prevalence of Denture Stomatitis Among Patients Visiting Private Dental Hospital in Chennai - An Institutional Study. *Journal of Pharmaceutical Research International*. <https://doi.org/10.9734/jpri/2021/v33i64b35724>
- Lauvahutanon, S., Takahashi, H., Shiozawa, M., Iwasaki, N., Asakawa, Y. et al. (2014). Mechanical Properties of Composite Resin Blocks for CAD/CAM. *Dental Materials Journal*, 33(5), 705–710. <https://doi.org/10.4012/dmj.2014-208>

- Lee, C.-J., Bok, S.-B., Bae, J. M., & Lee, H.-H. (2010). Comparative Adaptation Accuracy of Acrylic Denture Bases Evaluated by Two Different Methods. *Dental Materials Journal*. <https://doi.org/10.4012/dmj.2009-105>
- Lee, H.-E., Alauddin, M. S., Ghazali, M. I. M., Said, Z., & Zol, S. M. (2023). Effect of Different Vat Polymerization Techniques on Mechanical and Biological Properties of 3d-Printed Denture Base. *Polymers*. <https://doi.org/10.3390/polym15061463>
- Lee, J., Ju, S.-W., Kim, J., Hwang, S., & Ahn, J.-S. (2023). The Comparison of the Accuracy of Temporary Crowns Fabricated With Several 3D Printers and a Milling Machine. *The Journal of Advanced Prosthodontics*, 15(2), 72. <https://doi.org/10.4047/jap.2023.15.2.72>
- Lee, Y. J., & Lee, C. (2023). Evaluation of the Marginal and Internal Fit of Temporary Dental Resins According to Slice Thickness of DLP Printer. *International Journal of Clinical Preventive Dentistry*, 19(1), 13–18. <https://doi.org/10.15236/ijcpd.2023.19.1.13>
- Lestari, P., Pratiwi, I., & Juliani, A. (2018). Green Synthesis of Silver Nanoparticle Using Rambutan (*Nephelium Lappaceum* L.) Peel Extract and Its Antibacterial Activity Against *Salmonella Paratyphi* A. *Matec Web of Conferences*, 154, 1024. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815401024>
- Leung, V. C. M., & Ko, F. (2010). Biomedical Applications of Nanofibers. *Polymers for Advanced Technologies*, 22(3), 350–365. <https://doi.org/10.1002/pat.1813>
- Li, B., Wei, S., Xuan, H., Xue, Y., & Yuan, H. (2021). Tailoring Fineness and Content of Nylon-6 Nanofibers for Reinforcing Optically Transparent Poly(methyl Methacrylate) Composites. *Polymer Composites*, 42(7), 3243–3252. <https://doi.org/10.1002/pc.26054>
- Li, D., & Xia, Y. (2004). Electrospinning of Nanofibers: Reinventing the Wheel? *Advanced Materials*, 16(14), 1151–1170. <https://doi.org/10.1002/adma.200400719>
- Li, H., & Imazato, S. (2023). Materials Informatics for Developing New Restorative Dental Materials: A Narrative Review. *Frontiers in Dental Medicine*, 4. <https://doi.org/10.3389/fdmed.2023.1123976>
- Li, M., Cushing, S. K., & Wu, N. (2015). Plasmon-Enhanced Optical Sensors: A Review. *The Analyst*, 140(2), 386–406. <https://doi.org/10.1039/c4an01079e>
- Li, M., Wang, S., Li, R., Wang, Y., Fan, X. et al. (2022). The Mechanical and Antibacterial Properties of Boron Nitride/Silver Nanocomposite Enhanced Polymethyl Methacrylate Resin for Application in Oral Denture Bases. *Biomimetics*, 7(3), 138. <https://doi.org/10.3390/biomimetics7030138>
- Li, W., Wang, M., Mille, L. S., Lara, J. A. R., Huerta, V. et al. (2021). A Smartphone-Enabled Portable Digital Light Processing 3D Printer. *Advanced Materials*, 33(35). <https://doi.org/10.1002/adma.202102153>
- Li, X., Liu, W., Sun, L., Aifantis, K. E., Yu, B. et al. (2014). Resin Composites Reinforced by Nanoscaled Fibers or Tubes for Dental Regeneration. *Biomed Research International*. <https://doi.org/10.1155/2014/542958>
- Li, Z., Shunqi, M., Dong, Y., She, F., Li, Y. et al. (2020). Functional Nanofibrous Biomaterials of Tailored Structures for Drug Delivery—A Critical Review. *Pharmaceutics*. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics12060522>
- Li, Z., Sun, J., Lan, J., & Qi, Q. (2014). Effect of a Denture Base Acrylic Resin Containing Silver Nanoparticles on *Candida Albicans* Adhesion and Biofilm Formation. *Gerodontology*, 33(2), 209–216. <https://doi.org/10.1111/ger.12142>
- Liber-Kneć, A., & Łagan, S. (2021). Surface Testing of Dental Biomaterials—Determination of Contact Angle and Surface Free Energy. *Materials*, 14(11), 2716. <https://doi.org/10.3390/ma14112716>
- Lim, S. K., Lee, S.-K., Hwang, S., & Kim, H.-Y. (2006). Photocatalytic Deposition of Silver Nanoparticles Onto Organic/Inorganic Composite Nanofibers. *Macromolecular Materials and Engineering*, 291(10), 1265–1270. <https://doi.org/10.1002/mame.200600264>
- Link, K. C., & Schlünder, E. (1996). A New Method for the Characterisation of the Wettability of Powders. *Chemical Engineering & Technology*. <https://doi.org/10.1002/ceat.270190508>
- Liu, F., Dang, H., Tian, R. S., Li, J., Wang, J. et al. (2023). Sensing Performance of Ethanol Microfiber Probe Augmented by ZnO Nanosheet and UV Glue Film. *Photonics*, 10(6), 656. <https://doi.org/10.3390/photonics10060656>
- Liu, Y., Yang, Z., Desyaterik, Y., Gassman, P. L., Wang, S. et al. (2008). Hygroscopic Behavior of Substrate-Deposited Particles Studied by Micro-Ft-Ir Spectroscopy and Complementary Methods of Particle Analysis.

- Analytical Chemistry*. <https://doi.org/10.1021/ac701638r>
- Liu, Z., & Hua, L. (2015). A New Model for the Phase Correction of Interferograms. *Analytical Methods*. <https://doi.org/10.1039/c4ay02433h>
- Lo, C., Zhang, J. S., Somasundaran, P., Lu, S., Couzis, A. et al. (2008). Adsorption of Surfactants on Two Different Hydrates. *Langmuir*. <https://doi.org/10.1021/la802362m>
- López-Esparza, J., Espinosa-Cristóbal, L. F., Cornejo, A., & Reyes-López, S. Y. (2016). Antimicrobial Activity of Silver Nanoparticles in Polycaprolactone Nanofibers Against Gram-Positive and Gram-Negative Bacteria. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 55(49), 12532–12538. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.6b02300>
- Lv, P., Liu, Y., Jiang, L., Song, Y., & Huang, Q. (2016). Pore-scale Contact Angle Measurements of CO₂–Brine–glass Beads System Using Micro-focused X-ray Computed Tomography. *Micro & Nano Letters*. <https://doi.org/10.1049/mnl.2016.0215>
- Lv, P., Liu, Y., Wang, Z., Liu, S., Jiang, L. et al. (2017). In Situ Local Contact Angle Measurement in a CO₂–Brine–Sand System Using Microfocused X-Ray CT. *Langmuir*. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.6b04533>
- M, M. A. A., Vikram, R. P., Rajeshkumar, S., & Manigandan, P. (2024). Green Synthesis of Guilandina bonduc Seed Extract Mediated Silver Nanoparticles and Its Anti-Inflammatory Activity. *International Journal of Membrane Science and Technology*, 10(5), 667–672. <https://doi.org/10.15379/ijmst.v10i5.3420>
- M, S., Sasivarnam, M., Anbukumaran, A., Periakaruppan, R., Dhanasekaran, S. et al. (2021). Rapid Green Synthesis of Nano SiO₂ Using Bryophyllum Pinnatum Leaf and Evaluation of Physicochemical Quality Attributes. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1144662/v1>
- Maccaferri, E., Cocchi, D., Mazzocchi, L., Benelli, T., Brugo, T. M. et al. (2021). How Nanofibers Carry the Load: Toward a Universal and Reliable Approach for Tensile Testing of Polymeric Nanofibrous Membranes. *Macromolecular Materials and Engineering*, 306(7). <https://doi.org/10.1002/mame.202100183>
- Malaeru, T., Enescu, E., Georgescu, G., Pătroi, D., Manta, E. et al. (2019). Synthesis and Characterization of Hydrophilic Gama-Fe₂O₃ Nanoparticles for Biomedical Applications. *Revista De Chimie*. <https://doi.org/10.37358/rc.19.6.7268>
- Malaeru, T., Pătroi, D., Enescu, E., Georgescu, G., Manta, E. et al. (2020). Synthesis and Characterization of Water Dispersible Iron Oxide (γ-Fe₂O₃) Nanoparticles for Biomedical Applications. *Revista De Chimie*. <https://doi.org/10.37358/rc.20.10.8353>
- Manjunath, A. K., Irfan, M., Anushree, K. P., Vinutha, K., & Yamunarani, N. (2016). Synthesis and Characterization of CuO Nanoparticles and CuO Doped PVA Nanocomposites. *Advances in Materials Physics and Chemistry*. <https://doi.org/10.4236/ampc.2016.610026>
- Mansfield, E., Tyner, K. M., Poling, C. M., & Blacklock, J. (2014). Determination of Nanoparticle Surface Coatings and Nanoparticle Purity Using Microscale Thermogravimetric Analysis. *Analytical Chemistry*. <https://doi.org/10.1021/ac402888v>
- Maragliano-Muniz, P., & Kukucka, E. D. (2021). Incorporating Digital Dentures Into Clinical Practice: Flexible Workflows and Improved Clinical Outcomes. *Journal of Prosthodontics*. <https://doi.org/10.1111/jopr.13277>
- Marimuthu, S., Rahuman, A. A., Rajakumar, G., Santhoshkumar, T., Kirthi, A. V et al. (2010). Evaluation of Green Synthesized Silver Nanoparticles Against Parasites. *Parasitology Research*. <https://doi.org/10.1007/s00436-010-2212-4>
- Matabola, K. P., Vries, A. R. de, Luyt, A. S., & Kumar, R. (2011). Studies on Single Polymer Composites of Poly(methyl Methacrylate) Reinforced With Electrospun Nanofibers With a Focus on Their Dynamic Mechanical Properties. *Express Polymer Letters*, 5(7), 635–642. <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2011.61>
- Matos, R., Silva, J., Soares, P. I. P., & Borges, J. P. (2023). Polyvinylpyrrolidone Nanofibers Incorporating Mesoporous Bioactive Glass for Bone Tissue Engineering. *Biomimetics*, 8(2), 206. <https://doi.org/10.3390/biomimetics8020206>
- McClellan, P., & Landis, W. J. (2016). Recent Applications of Coaxial and Emulsion Electrospinning Methods in the Field of Tissue Engineering. *Bioresearch Open Access*. <https://doi.org/10.1089/biores.2016.0022>
- Meghana, B., Umesh, D., Abhay, S., & Kadam, V. (2020). Electrospinning Nanotechnology-a Robust Method for Preparation of Nanofibers for Medicinal and Pharmaceutical Application. *Asian Journal of Pharmaceutical*

- Research and Development*, 8(3), 176–184. <https://doi.org/10.22270/ajprd.v8i3.747>
- Melo, A. P. Z. de, Maciel, M. V. de O. B., Almeida, A. d. R., Armas, R. D. d., Machado, M. H. et al. (2020). Antibacterial Activity, Morphology, and Physicochemical Stability of Biosynthesized Silver Nanoparticles Using Thyme (*Thymus Vulgaris*) Essential Oil. *Materials Research Express*, 7(1), 15087. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab6c63>
- Mendonça, G., Edwards, S. P., Mayers, C. A., Meneghetti, P. C., & Liu, F. (2021). Digital Immediate Complete Denture for a Patient With Rhabdomyosarcoma: A Clinical Report. *Journal of Prosthodontics*. <https://doi.org/10.1111/jopr.13305>
- Metwally, A. F. (2019). Comparison of Patient Satisfaction & Occlusal Force Distribution Pattern in CAD/CAM and Conventional Complete Dentures Using the T-Scan III Computerized Occlusal Analysis System. (RCT). *Egyptian Dental Journal*. <https://doi.org/10.21608/edj.2019.72627>
- Mijas, G., Manich, A. M., Arias, M. J. L., Riba-Moliner, M., Algaba, I. et al. (2021). Analysis of Lignin Content in Alkaline Treated Hemp Fibers: Thermogravimetric Studies and Determination of Kinetics of Different Decomposition Steps. *Journal of Wood Chemistry and Technology*. <https://doi.org/10.1080/02773813.2021.1970185>
- Mikael, J., Al-Samarai, S., & Ikram, F. S. (2018). Evaluation of Some Properties of Acrylic Resin Denture Base Reinforced With Calcium Carbonate Nano-Particles. *Erbil Dental Journal*. <https://doi.org/10.15218/edj.2018.06>
- Miranda, M. T., Esteban, A., Rojas, S., Montero, I., & Ruiz, A. (2008). Combustion Analysis of Different Olive Residues. *International Journal of Molecular Sciences*. <https://doi.org/10.3390/ijms9040512>
- Miura, D., Ishida, Y., Miyasaka, T., Aoki, H., & Shinya, A. (2020). Reliability of Different Bending Test Methods for Dental Press Ceramics. *Materials*, 13(22), 5162. <https://doi.org/10.3390/ma13225162>
- Miura, D., Miyasaka, T., Aoki, H., Aoyagi, Y., & Ishida, Y. (2017). Correlations Among Bending Test Methods for Dental Hard Resins. *Dental Materials Journal*, 36(4), 491–496. <https://doi.org/10.4012/dmj.2016-304>
- Miyaki, T., Kawasaki, Y., Hosoyamada, Y., Amari, T., Kinoshita, M. et al. (2019). Three-Dimensional Imaging of Podocyte Ultrastructure Using FE-SEM and FIB-SEM Tomography. *Cell and Tissue Research*. <https://doi.org/10.1007/s00441-019-03118-3>
- Mohamed, M. D., & Shaheen, N. H. (2019). Comparative Evaluation of the Masticatory muscleS Activity With CAD/CAM Versus Conventional Complete Denture Using Electromyography. *Egyptian Dental Journal*. <https://doi.org/10.21608/edj.2019.76031>
- Mohammed-Ziegler, I., Hórvölgyi, Z., Tóth, A., Forsling, W., & Holmgren, A. (2006). Wettability and Spectroscopic Characterization of Silylated Wood Samples. *Polymers for Advanced Technologies*. <https://doi.org/10.1002/pat.778>
- Monteiro, D. R., Gorup, L. F., Takamiya, A. S., Camargo, E. R., Filho, A. C. R. et al. (2011). Silver Distribution and Release From an Antimicrobial Denture Base Resin Containing Silver Colloidal Nanoparticles. *Journal of Prosthodontics*. <https://doi.org/10.1111/j.1532-849x.2011.00772.x>
- Mori, A. D., Fernández, M. P., Blunn, G., Tozzi, G., & Roldo, M. (2018). 3D Printing and Electrospinning of Composite Hydrogels for Cartilage and Bone Tissue Engineering. *Polymers*, 10(3), 285. <https://doi.org/10.3390/polym10030285>
- Morón-Conejo, B., López-Vilagran, J., Cáceres, D., Berrendero, S., & Pradíes, G. (2022). Accuracy of Five Different 3D Printing Workflows for Dental Models Comparing Industrial and Dental Desktop Printers. *Clinical Oral Investigations*, 27(6), 2521–2532. <https://doi.org/10.1007/s00784-022-04809-y>
- Moslehifard, E., Ghaffari, T., Abolghasemi, H., & Dizaj, S. M. (2022). Comparison of Conventional Pressure-Packed and Injection Molding Processing Methods for an Acrylic Resin Denture Based on Microhardness, Surface Roughness, and Water Sorption. *International Journal of Dentistry*. <https://doi.org/10.1155/2022/7069507>
- Mubeen, B., Rasool, M. G., Ullah, I., Rasool, R., Imam, S. S. et al. (2022). Phytochemicals Mediated Synthesis of AuNPs From Citrullus Colocynthis and Their Characterization. *Molecules*. <https://doi.org/10.3390/molecules27041300>
- Muhammad, N. (2024). Medicinal Plants-Fabricated AgNPs and Their Role as an Antibacterial Agent Against Drug-Resistant Uro-Pathogens. *Nano Biomedicine and Engineering*, 16(1), 110–118. <https://doi.org/10.26599/nbe.2024.9290045>

- Mukai, M., Iegami, C., Cai, S., Stegun, R. C., Galhardo, A. et al. (2023). Antimicrobial Effect of Silver Nanoparticles on Polypropylene and Acrylic Resin Denture Bases. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, e38–e42. <https://doi.org/10.4317/jced.59766>
- Muthirulan, P., Kannan, N., & Meenakshisundaram, M. (2013). Synthesis and Corrosion Protection Properties of Poly(o-Phenylenediamine) Nanofibers. *Journal of Advanced Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2012.07.007>
- Nam, K.-Y., Lee, C.-H., & Lee, C.-J. (2012). Antifungal and Physical Characteristics of Modified Denture Base Acrylic Incorporated With Silver Nanoparticles. *Gerodontology*, 29(2). <https://doi.org/10.1111/j.1741-2358.2011.00489.x>
- Nartop, P., Dolapdere, D., Arslan, G., & Akın, D. (2023). Tohumların Yeşil Sterilizasyonu: Peganum Harmala Ve Rumex Acetosella Tohumlarının Yüzeysel Sterilizasyonunda Biyosentetik Gümüş Nanopartiküllerin Kullanılması. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1173521>
- Nassani, M. Z., Ibraheem, S., Shamsy, E., Darwish, M., Faden, A. et al. (2021). A Survey of Dentists' Perception of Chair-Side CAD/CAM Technology. *Healthcare*. <https://doi.org/10.3390/healthcare9010068>
- Nayyar, A., Mithran, A., Rakhra, J., Jain, S., Chikkanna, M. et al. (2023). Comparative Evaluation of Impact Strength of Mechanically Modified Heat Polymerized Polymethyl Methacrylate (PMMA) Resin With Addition of 0.5, 1, 2 Wt% of Silver Nanoparticles (AgNPs): An in-Vitro Study. *Journal of Orthodontic Science*, 12(1), 64. https://doi.org/10.4103/jos.jos_43_23
- Nejatian, T., Sefat, F., & Johnson, T. (2015). Impact of Packing and Processing Technique on Mechanical Properties of Acrylic Denture Base Materials. *Materials*. <https://doi.org/10.3390/ma8052093>
- Nie, Q., Pang, Z., Lu, H., Cai, Y., & Wei, Q. (2016). Ammonia Gas Sensors Based on In₂O₃/Pani Hetero-Nanofibers Operating at Room Temperature. *Beilstein Journal of Nanotechnology*. <https://doi.org/10.3762/bjnano.7.122>
- Nithiyanantham, U., Ede, S. R., Anantharaj, S., & Kundu, S. (2014). Self-Assembled NiWO₄ Nanoparticles Into Chain-Like Aggregates on DNA Scaffold With Pronounced Catalytic and Supercapacitor Activities. *Crystal Growth & Design*. <https://doi.org/10.1021/cg501366d>
- Njagi, E. C., Huang, H., Stafford, L., Genuino, H. C., Galindo, H. et al. (2010). Biosynthesis of Iron and Silver Nanoparticles at Room Temperature Using Aqueous Sorghum Bran Extracts. *Langmuir*, 27(1), 264–271. <https://doi.org/10.1021/la103190n>
- None, N., & Domysche, M. (2024). *The Use of 3d Printers in Dental Production Practice: Possibilities for the Manufacture of Individual Dental Prostheses and Elements (Review Article)*. 74(2), 185–194. <https://doi.org/10.62227/as/74225>
- Noormohammed, S., Sarkar, D., Paynter, R. W., & Chen, X.-G. (2010). Superhydrophobic Aluminum Alloy Surfaces by a Novel One-Step Process. *Acs Applied Materials & Interfaces*. <https://doi.org/10.1021/am100563u>
- Nwabor, O. F., Singh, S., Ontong, J. C., Vongkamjan, K., & Voravuthikunchai, S. P. (2020). Valorization of Wastepaper Through Antimicrobial Functionalization With Biogenic Silver Nanoparticles, a Sustainable Packaging Composite. *Waste and Biomass Valorization*, 12(6), 3287–3301. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01237-5>
- Nyangasi, L., Andala, D., Onindo, C. O., Wanyonyi, A. W., & Chepngetich, J. (2018). Processing Parameters for Electrospinning Poly(methyl Methacrylate) (PMMA)/titanium Isopropoxide Composite in a Pump-Free Setup. *Aas Open Research*, 1, 27. <https://doi.org/10.12688/aasopenres.12909.1>
- O'Beirne, J. L., Shelton, R. M., Lumley, P. J., & Hofmann, M. (2011). Influence of Accelerated Setting Using Plaster of Paris Addition on Long Term Properties of Portland Cement Based Dental Material. *Advances in Applied Ceramics*. <https://doi.org/10.1179/1743676110y.0000000013>
- Ohara, K., Isshiki, Y., Hoshi, N., Ohno, A., Kawanishi, N. et al. (2022). Patient Satisfaction With Conventional Dentures vs. Digital Dentures Fabricated Using 3d-Printing: A Randomized Crossover Trial. *Journal of Prosthodontic Research*. https://doi.org/10.2186/jpr.jpr_d_21_00048
- Ohta, I., Takaku, Y., Suzuki, H., Ishii, D., Muranaka, Y. et al. (2014). Dressing Living Organisms in a Thin Polymer Membrane, the NanoSuit, for High-Vacuum FE-SEM Observation. *Microscopy*. <https://doi.org/10.1093/jmicro/dfu015>

- Ojeda, J. J., Romero-González, M., & Banwart, S. A. (2009). Analysis of Bacteria on Steel Surfaces Using Reflectance Micro-Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *Analytical Chemistry*. <https://doi.org/10.1021/ac900841c>
- Ortiz, A. V. (2017). Green Silver Nanoparticles: Novel Therapeutic Potential for Cancer and Microbial Infections. *Journal of Nanomedicine Research*, 6(4). <https://doi.org/10.15406/jnmr.2017.06.00162>
- Palanisamy, S. (2024). Exploring the Horizons of Four-Dimensional Printing Technology in Dentistry. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.58572>
- Pamu, D., Garikapati, K. K., Kuppusamy, G., Krishnamurthy, P. T., Ganesan, S. et al. (2024). Electrospun Statin-loaded Nanofibers for Treating Diabetic Wounds. *Polymer Engineering & Science*, 64(4), 1715–1730. <https://doi.org/10.1002/pen.26639>
- Panáček, A., Kvítek, L., Prucek, R., Kolář, M., Večeřová, R. et al. (2006). Silver Colloid Nanoparticles: Synthesis, Characterization, and Their Antibacterial Activity. *The Journal of Physical Chemistry B*, 110(33), 16248–16253. <https://doi.org/10.1021/jp063826h>
- Park, S.-M., Park, J., Kim, S.-K., Heo, S., & Koak, J. (2020). Flexural Strength of 3d-Printing Resin Materials for Provisional Fixed Dental Prostheses. *Materials*, 13(18), 3970. <https://doi.org/10.3390/ma13183970>
- Park, Y., Hong, Y., Weyers, A., Kim, Y. S., & Linhardt, R. J. (2011). Polysaccharides and Phytochemicals: A Natural Reservoir for the Green Synthesis of Gold and Silver Nanoparticles. *Iet Nanobiotechnology*. <https://doi.org/10.1049/iet-nbt.2010.0033>
- Patil, S., Sandberg, A., Heckert, E., Self, W. T., & Seal, S. (2007). Protein Adsorption and Cellular Uptake of Cerium Oxide Nanoparticles as a Function of Zeta Potential. *Biomaterials*. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2007.07.029>
- Paul, N., & Yadav, R. P. (2016). A Simple Biogenic Method for the Synthesis of Silver Nanoparticles Using Syngonium Podophyllum, an Ornamental Plant. *MGM Journal of Medical Sciences*, 3(3), 111–115. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10036-1103>
- Pavese, M., Musso, S., Bianco, S., Giorcelli, M., & Pugno, N. (2008). An Analysis of Carbon Nanotube Structure Wettability Before and After Oxidation Treatment. *Journal of Physics Condensed Matter*. <https://doi.org/10.1088/0953-8984/20/47/474206>
- Peralta, L. C. F. (2022). *Synthesis of Silver Nanoparticles Associated With Denture Adhesive: An Antimicrobial Approach Against Candida Albicans Biofilms*. <https://doi.org/10.11606/d.25.2022.tde-01092022-101307>
- Perea-Lowery, L., Gibreel, M., Vallittu, P. K., & Lassila, L. (2021). 3d-Printed vs. Heat-Polymerizing and Autopolymerizing Denture Base Acrylic Resins. *Materials*. <https://doi.org/10.3390/ma14195781>
- Pereira, W. d. S., Andrés, J., San-Miguel, M. A., Silva, E. Z. d., Longo, E. et al. (2015). Elucidating the Real-Time Ag Nanoparticle Growth on A-Ag₂WO₄ during Electron Beam Irradiation: Experimental Evidence and Theoretical Insights. *Physical Chemistry Chemical Physics*. <https://doi.org/10.1039/c4cp05849f>
- Pérez, Z. E. J., Kim, Y.-J., Mathiyalagan, R., Seo, K.-H., Mohanan, P. et al. (2017). Assessment of Radical Scavenging, Whitening and Moisture Retention Activities of Panax Ginseng Berry Mediated Gold Nanoparticles as Safe and Efficient Novel Cosmetic Material. *Artificial Cells Nanomedicine and Biotechnology*, 46(2), 333–340. <https://doi.org/10.1080/21691401.2017.1307216>
- Petrović, M., Randelović, M., Igić, M., Arsenijevic, V. A., Ebersold, M. M. et al. (2022). Poly(methyl Methacrylate) With Oleic Acid as an Efficient Candida Albicans Biofilm Repellent. *Materials*, 15(11), 3750. <https://doi.org/10.3390/ma15113750>
- Pisárčik, M., Jampílek, J., Lukáč, M., Horáková, R., Devínsky, F. et al. (2017). Silver Nanoparticles Stabilised by Cationic Gemini Surfactants With Variable Spacer Length. *Molecules*, 22(10), 1794. <https://doi.org/10.3390/molecules22101794>
- Pop-Ciutritla, I.-S., Ghinea, R., Colosi, H. A., Ruiz-López, J., Pérez, M. M. et al. (2021). Color Compatibility Between Dental Structures and Three Different Types of Ceramic Systems. *BMC Oral Health*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-021-01404-7>
- Pratap, B., Gupta, R. K., Bhardwaj, B., & Nag, M. (2019). Resin Based Restorative Dental Materials: Characteristics and Future Perspectives. *Japanese Dental Science Review*. <https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2019.09.004>
- Priyadarsini, S., Mukherjee, S., & Mishra, M. (2018). Nanoparticles Used in Dentistry: A Review. *Journal of Oral*

- Qu, M., Zhao, G., Cao, X.-P., & Zhang, J. (2008). Biomimetic Fabrication of Lotus-Leaf-Like Structured Polyaniline Film With Stable Superhydrophobic and Conductive Properties. *Langmuir*. <https://doi.org/10.1021/la703284f>
- Quiñones-Méndez, A. M., Perales-Perez, O., & Cedeño-Mattei, Y. (2014). Size-Controlled Synthesis of Chitosan Nanoparticles and Their Structural Characterization. *Mrs Proceedings*. <https://doi.org/10.1557/opl.2014.529>
- Rade, P. (2024). Effect of Functionality of Diluents on Digital Light Processing (DLP) Based Three-dimensional (3D) Printing of UV-curable Bisphenol A-based Epoxy Acrylate Resin. *Polymer Engineering & Science*, 64(5), 2202–2213. <https://doi.org/10.1002/pen.26686>
- Ramaratnam, K., Iyer, S. K., Kinnan, M. K., Chumanov, G., Brown, P. J. et al. (2008). Ultrahydrophobic Textiles Using Nanoparticles: Lotus Approach. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. <https://doi.org/10.1177/155892500800300402>
- Raveendran, P., Fu, J., & Wallen, S. L. (2003). Completely “Green” Synthesis and Stabilization of Metal Nanoparticles. *Journal of the American Chemical Society*. <https://doi.org/10.1021/ja029267j>
- Robertson, D. J., Smith, S. L., Gardunia, B., & Cook, D. D. (2014). An Improved Method for Accurate Phenotyping of Corn Stalk Strength. *Crop Science*, 54(5), 2038–2044. <https://doi.org/10.2135/cropsci2013.11.0794>
- S.M, K. (2021). Effects of Dentifrices on Discolouration of Cad Cam Manufactured Temporary Restorative Materials. *International Journal of Dentistry and Oral Science*. <https://doi.org/10.19070/2377-8075-21000927>
- Saadati-Moshtaghin, H. R., & Zonoz, F. M. (2017). Synthesis and Characterization of Magnetically Recoverable 1-(Copperferritesiloxypopyl)-3-Methylimidazolium Heteropolytungstate Ionic Liquid as a New Nanocatalyst for the Preparation of 1h-Pyrazolo[1,2-B]phthalazine-5,10-Diones. *Journal of Nanostructure in Chemistry*. <https://doi.org/10.1007/s40097-017-0241-6>
- Sabouri, E., Rezaie, Z., Enderami, S. E., Mirahmadi, M., & Askari, M. (2021). Different Osteoconductivity of PLLA/PHB Composite Nanofibers Prepared by One- and Two-nozzle Electrospinning. *Polymers for Advanced Technologies*, 32(4), 1783–1792. <https://doi.org/10.1002/pat.5215>
- Sahin, O., Koroglu, A., Dede, D. Ö., & Yilmaz, B. (2016). Effect of surface sealant agents on the surface roughness and color stability of denture base materials. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 116(4), 610–616. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.03.007>
- Samman, M. A., Segai, A. A. E., & El-Ghazawy, S. S. (2018). Effect of Incorporation of Silver Nano-Particles on the Repairability of Conventional and Microwave Denture Bases. *Egyptian Dental Journal*, 64(2), 1825–1836. <https://doi.org/10.21608/edj.2018.78440>
- Santmartí, A., Teh, J. W., & Lee, K. (2019). Transparent Poly(methyl Methacrylate) Composites Based on Bacterial Cellulose Nanofiber Networks With Improved Fracture Resistance and Impact Strength. *Acs Omega*, 4(6), 9896–9903. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b00388>
- Sarkar, P., Garg, S., & Kalra, N. M. (2021). Effect of Incorporation of Different Concentrations of Silver Nanoparticles as an Antimicrobial Agent on the Flexural and Impact Strength of Heat-Cured Denture Base Resin. *Dental Journal of Advance Studies*, 9(02), 83–89. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1733818>
- Sayed, M. A. A. El, & Etemadi, H. (2013). Coronal Discoloration Effect of Three Endodontic Sealers: An in Vitro Spectrophotometric Analysis. *Journal of Conservative Dentistry*, 16(4), 347. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.114369>
- Schmeling, M., Andrada, M. A. C. de, Maia, H. P., & Araújo, E. (2011). Translucency of Value Resin Composites Used to Replace Enamel in Stratified Composite Restoration Techniques. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 24(1), 53–58. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8240.2011.00419.x>
- Sedush, N. G., Kalinin, K. T., Пучков, A. A., & Чвалун, C. H. (2022). Synthesis and UV Cross-Linking of Methacrylated Linear and Star-Shaped Lactide Oligomers as Potential Biodegradable Resins for Stereolithography. *Macromolecular Symposia*, 404(1). <https://doi.org/10.1002/masy.202100380>
- Selvakumar, P. M., Antonyraj, C. A., Babu, R. L., Dakhsinamurthy, A., Manikandan, N. et al. (2015). Green Synthesis and Antimicrobial Activity of Monodispersed Silver Nanoparticles Synthesized Using Lemon Extract. *Synthesis and Reactivity in Inorganic Metal-Organic and Nano-Metal Chemistry*. <https://doi.org/10.1080/15533174.2014.971810>

- Shahraz, A., Borhan, A., & Fichthorn, K. A. (2012). A Theory for the Morphological Dependence of Wetting on a Physically Patterned Solid Surface. *Langmuir*. <https://doi.org/10.1021/la3026304>
- Shaik, S., Mkize, L., Khumalo, M., & Singh, N. (2015). Green Synthesis of Nano-Silver Particles From Leaf and Stem Extracts of Iboza (*Tetradenia Riparia*). *African Journal of Traditional Complementary and Alternative Medicines*, 12(6), 33–38. <https://doi.org/10.21010/ajtcam.v12i6.5>
- Shaker, L. M., Al-Amiery, A. A., Takriff, M. S., & Isahak, W. N. R. W. (2022). Nano-Titanium Oxide in Polymeric Contact Lenses: Short Communication. *Nanomanufacturing*, 2(3), 71–81. <https://doi.org/10.3390/nanomanufacturing2030006>
- Sharif, S., Ahmad, Z., Hoskins, C., Choudhary, M. A., & Mehmood, A. (2022). Ag Nanostructure Morphologies and Physicochemical Properties Dictated by the Polyols Used in the Synthesis. *Journal of Nano Research*, 76, 93–106. <https://doi.org/10.4028/p-c41elh>
- Sharma, G., Sharma, A. R., Nam, J.-S., Doss, G. P., Lee, S.-S. et al. (2015). Nanoparticle Based Insulin Delivery System: The Next Generation Efficient Therapy for Type 1 Diabetes. *Journal of Nanobiotechnology*. <https://doi.org/10.1186/s12951-015-0136-y>
- Sherif, R. (2017). An in Vitro Study to Evaluate the Color Stability of Four Different Cad/Cam Ceramics. *Egyptian Dental Journal*, 63(4), 2721–2735. <https://doi.org/10.21608/edj.2017.76236>
- Shi, N., Duan, J., Su, J., Huang, F., Xue, W. et al. (2012). Crystal Polymorphism and Enhanced Dielectric Performance of Composite Nanofibers of Poly(vinylidene Fluoride) With Silver Nanoparticles. *Journal of Applied Polymer Science*, 128(2), 1004–1010. <https://doi.org/10.1002/app.38185>
- Singh, J., Dhiman, R. K., Bedi, R., & Girish, S. (2011). Flexible Denture Base Material: A Viable Alternative to Conventional Acrylic Denture Base Material. *Contemporary Clinical Dentistry*. <https://doi.org/10.4103/0976-237x.91795>
- Siripanth, J., & Wongwitthayakool, P. (2018). Flexural Strength and Viscoelastic Properties of Acrylic Resin Denture Base Material Containing Silver Nanoparticle Synthesized From Fingerroot Aqueous Extract. *Key Engineering Materials*, 777, 178–182. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.777.178>
- Şişmanoğlu, S., & Sengez, G. (2021). Effects of Acidic Beverages on Color Stability of Bulk-Fill Composites With Different Viscosities. *Odovtos - International Journal of Dental Sciences*, 338–347. <https://doi.org/10.15517/ijds.2022.49149>
- Sivakumar, I., Arunachalam, K. S., Sajjan, S., Ramaraju, A. V., Rao, D. B. et al. (2013). Incorporation of Antimicrobial Macromolecules in Acrylic Denture Base Resins: A Research Composition and Update. *Journal of Prosthodontics*, 23(4), 284–290. <https://doi.org/10.1111/jopr.12105>
- Sohail, Amara, U., Shad, S., Ilyas, N., Manaf, A. et al. (2018). In Vitro Germination and Biochemical Profiling Of Brassica Napus in Response to Biosynthesised Zinc Nanoparticles. *Iet Nanobiotechnology*. <https://doi.org/10.1049/iet-nbt.2018.5012>
- Soni, R., Yadav, H., Pathak, A., Bhatnagar, A., & Kumar, V. (2020). Comparative Evaluation of Biting Force and Chewing Efficiency of All-on-Four Treatment Concept With Other Treatment Modalities in Completely Edentulous Individuals. *The Journal of Indian Prosthodontic Society*, 20(3), 312. https://doi.org/10.4103/jips.jips_464_19
- Sowmya, T. (2022). Lagenaria Siceraria Peel Waste Aqueous Extract Mediated Silver Nanoparticles for Degradation of Congo Red Dye. *Journal of Physics Conference Series*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2267/1/012101>
- Stefani, A. D., Bruno, G., Preo, G., & Gracco, A. (2020). Application of Nanotechnology in Orthodontic Materials: A State-of-the-Art Review. *Dentistry Journal*. <https://doi.org/10.3390/dj8040126>
- Steinmassl, O., Dumfahrt, H., Grunert, I., & Steinmassl, P. A. (2018). CAD/CAM Produces Dentures With Improved Fit. *Clinical Oral Investigations*. <https://doi.org/10.1007/s00784-018-2369-2>
- Steinmaßl, O., Offermanns, V., Stöckl, W., Dumfahrt, H., Grunert, I. et al. (2018). In Vitro Analysis of the Fracture Resistance of CAD/CAM Denture Base Resins. *Materials*. <https://doi.org/10.3390/ma11030401>
- Subhan, A., Choudhury, K. P., & Neogi, N. (2021). Advances With Molecular Nanomaterials in Industrial Manufacturing Applications. *Nanomanufacturing*. <https://doi.org/10.3390/nanomanufacturing1020008>
- Suhani, M. F., Baciut, G., Baciut, M., Suhani, R. D., & Bran, S. (2018). Current Perspectives Regarding the Application and Incorporation of Silver Nanoparticles Into Dental Biomaterials. *Medicine and Pharmacy*

Reports. <https://doi.org/10.15386/cjmed-935>

- Süleyman, F., Yanikoğlu, N., & Duymuş, Z. Y. (2020). Akrilik Kaideye İlave Edilen Güçlendirme Materyallerinin Mikroorganizma Tutulumuna Etkisinin İncelenmesi. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*. <https://doi.org/10.17567/ataunidfd.443436>
- Suliman, S., Sulaiman, T. A., Ólafsson, V. G., Delgado, A. J., Donovan, T. E. et al. (2019). Effect of Time on Tooth Dehydration and Rehydration. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 31(2), 118–123. <https://doi.org/10.1111/jerd.12461>
- Sun, C., McClure, J. E., Mostaghimi, P., Herring, A. L., Berg, S. et al. (2020). Probing Effective Wetting in Subsurface Systems. *Geophysical Research Letters*. <https://doi.org/10.1029/2019gl086151>
- Sun, N., Liang, Y., Xu, Z., Li, H., Jiang, S. et al. (2013). The Thermal Degradation Behavior of Meta- And Para-Hetero-Amide Fibers by TGA-FTIR. *Journal of Polymer Engineering*. <https://doi.org/10.1515/polyeng-2012-0028>
- Suryawanshi, A. (2022). Dental Composite Resin: A Review of Major Mechanical Properties, Measurements and Its Influencing Factors. *Materialwissenschaft Und Werkstofftechnik*. <https://doi.org/10.1002/mawe.202100326>
- Takaku, Y., Suzuki, H., Kawasaki, H., Ohta, I., Ishii, D. et al. (2017). A Modified ‘NanoSuit®’ Preserves Wet Samples in High Vacuum: Direct Observations on Cells and Tissues in Field-Emission Scanning Electron Microscopy. *Royal Society Open Science*. <https://doi.org/10.1098/rsos.160887>
- Takehara, S., Takaku, Y., Shimomura, M., & Hariyama, T. (2020). Imaging Dataset of Fresh Hydrous Plants Obtained by Field-Emission Scanning Electron Microscopy Conducted Using a Protective NanoSuit. *Plos One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232992>
- Tamer, Y., Yamak, H. B., & Yıldırım, H. (2016). Structural and Physicochemical Properties of a Polymerizable Surfactant Synthesized From N-Methylol Acrylamide. *Journal of Surfactants and Detergents*. <https://doi.org/10.1007/s11743-015-1785-4>
- Tamo, A. K., Doench, I., Walter, L., Montembault, A., Sudre, G. et al. (2021). Development of Bioinspired Functional Chitosan/Cellulose Nanofiber 3D Hydrogel Constructs by 3D Printing for Application in the Engineering of Mechanically Demanding Tissues. *Polymers*, 13(10), 1663. <https://doi.org/10.3390/polym13101663>
- Tang, J., Liu, X., Yan, G., & Wang, F. (2021). Silver Nanoparticle-Anchored Human Hair Keratins/Peo/Pva Nanofibers for Antibacterial Application and Cell Proliferation. *Molecules*, 26(9), 2783. <https://doi.org/10.3390/molecules26092783>
- Teodorescu, M., & Bercea, M. (2015). Poly(vinylpyrrolidone) – A Versatile Polymer for Biomedical and Beyond Medical Applications. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*. <https://doi.org/10.1080/03602559.2014.979506>
- Tsolakis, I. A., Papaioannou, W., Papadopoulou, E., Dalampira, M., & Tsolakis, A. I. (2022). Comparison in Terms of Accuracy Between DLP and LCD Printing Technology for Dental Model Printing. *Dentistry Journal*, 10(10), 181. <https://doi.org/10.3390/dj10100181>
- Vasiliu, S., Racovita, S., Gugoasa, I., Lungan, M.-A., Popa, M. et al. (2021). The Benefits of Smart Nanoparticles in Dental Applications. *International Journal of Molecular Sciences*. <https://doi.org/10.3390/ijms22052585>
- Verma, S. K., & Chauhan, R. (2014). Nanorobotics in Dentistry – A Review. *Indian Journal of Dentistry*. <https://doi.org/10.1016/j.ijd.2012.12.010>
- Verschate, O., Loccufier, E., Swanckaert, B., Clerck, K. De, & Daelemans, L. (2023). Microscale and Macroscale Deformation Behavior of Electrospun Polymeric Nanofiber Membranes Using in Situ SEM During Mechanical Testing. *Polymers*, 15(7), 1630. <https://doi.org/10.3390/polym15071630>
- Vinogradov, J., Hidayat, M., Kumar, Y. V. K. R., Healy, D., & Comte, J.-C. (2021). Laboratory Measurements of Zeta Potential in Fractured Lewisian Gneiss: Implications for the Characterization of Flow in Fractured Crystalline Bedrock. *Applied Sciences*. <https://doi.org/10.3390/app12010180>
- Wady, A. F., Machado, A. L., Zucolotto, V., Zamperini, C. A., Berni, E. et al. (2012). Evaluation of Candida albicans adhesion and biofilm formation on a denture base acrylic resin containing silver nanoparticles. *Journal of Applied Microbiology*, 112(6), 1163–1172.
- Wang, R., Wang, X., Xi, X., Hu, R., & Jiang, G. (2012). Preparation and Photocatalytic Activity of Magnetic Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂Composites. *Advances in Materials Science and Engineering*.

<https://doi.org/10.1155/2012/409379>

- Wang, Y., Zhu, Y., Liu, S., & Zhang, R. (2016). Pore Characterization and Its Impact on Methane Adsorption Capacity for Organic-Rich Marine Shales. *Fuel*. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.04.082>
- Wen, B., Huang, B., Qin, Z., Wang, C., & Zhang, C. (2018). Contact Angle Measurement in Lattice Boltzmann Method. *Computers & Mathematics With Applications*. <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2018.07.021>
- Wiley, B. J., Sun, Y., & Xia, Y. (2007). Synthesis of Silver Nanostructures With Controlled Shapes and Properties. *Accounts of Chemical Research*, 40(10), 1067–1076. <https://doi.org/10.1021/ar7000974>
- Woehl, T. J., Evans, J. E., Arslan, I., Ristenpart, W. D., & Browning, N. D. (2012). Direct in Situ Determination of the Mechanisms Controlling Nanoparticle Nucleation and Growth. *Acs Nano*. <https://doi.org/10.1021/nn303371y>
- Xiu, Z., Zhang, Q., Puppala, H. L., Colvin, V. L., & Alvarez, P. J. J. (2012). Negligible Particle-Specific Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles. *Nano Letters*, 12(8), 4271–4275. <https://doi.org/10.1021/nl301934w>
- Xu, B., Zhang, B., Kang, Y.-K., Wang, Y. N., & Li, Q. (2012). Applicability of CIELAB/CIEDE2000 Formula in Visual Color Assessments of Metal Ceramic Restorations. *Journal of Dentistry*, 40, e3–e9. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2012.04.011>
- Xu, Z., Wang, F., Yin, X., Cheng, L., Yu, J. et al. (2022). Recent Advances in ZrO₂ Nanofibers: From Structural Design to Emerging Applications. *Science China Materials*, 66(2), 421–440. <https://doi.org/10.1007/s40843-022-2245-y>
- Xue, J., Wu, T., Dai, Y., & Xia, Y. (2019). Electrospinning and Electrospun Nanofibers: Methods, Materials, and Applications. *Chemical Reviews*, 119(8), 5298–5415. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00593>
- Yao, B., Zhang, J., Kou, T., Song, Y., Liu, T. et al. (2017). Paper-Based Electrodes for Flexible Energy Storage Devices. *Advanced Science*, 4(7). <https://doi.org/10.1002/advs.201700107>
- Yeşilova, E., Yaşar, F., & Bilgin, M. (2018). The Clinical Profile of Edentulous Patients: A Study on 274 Patients. *Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Lokman Hekim Tıp Tarihi Ve Folklorik Tıp Dergisi*. <https://doi.org/10.31020/mutftd.411372>
- Yi, Y., Wang, C., Cheng, X., Yi, K., Huang, W. et al. (2021). Biosynthesis of Silver Nanoparticles by *Conyza Canadensis* and Their Antifungal Activity Against *Bipolaris Maydis*. *Crystals*, 11(12), 1443. <https://doi.org/10.3390/cryst11121443>
- Yin, I. X., Zhang, J., Zhao, I. S., Mei, M. L., Li, Q. et al. (2020). The Antibacterial Mechanism of Silver Nanoparticles and Its Application in Dentistry. *International Journal of Nanomedicine*, Volume 15, 2555–2562. <https://doi.org/10.2147/ijn.s246764>
- Youssef, A. I. (2023). A New and Simple Green Synthesis of Non-Toxic, Eco-Friendly Silver Nanoparticles by Gum Rosin and Antibacterial Activity Study. *CNJ*, 1(3), 147–153. <https://doi.org/10.61186/cnj.1.2.147>
- Yudaev, P., Chuev, V. P., KLYUKIN, B. V., Kuskov, A., Mezhuev, Y. O. et al. (2022). Polymeric Dental Nanomaterials: Antimicrobial Action. *Polymers*. <https://doi.org/10.3390/polym14050864>
- Yugandhar, P., & Savithramma, N. (2015). Leaf Assisted Green Synthesis of Silver Nanoparticles From *Syzygium Alternifolium* (Wt.) Walp. Characterization and Antimicrobial Studies. *Nano Biomedicine and Engineering*, 7(2). <https://doi.org/10.5101/nbe.v7i2.p29-37>
- Zafar, M. S. (2020). Prosthodontic applications of polymethyl methacrylate (PMMA): An update. *Polymers*, 12(10), 2299.
- Zanni, E., Bellis, G. D., Bracciale, M. P., Broggi, A., Santarelli, M. L. et al. (2012). Graphite Nanoplatelets and Caenorhabditis Elegans: Insights From an in Vivo Model. *Nano Letters*. <https://doi.org/10.1021/nl204388p>
- Zeng, X., Wen, S., Li, M., & Xie, G. (2014). Estimating Young's Modulus of Materials by a New Three-Point Bending Method. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2014, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2014/189423>
- Zhang, Y., Chen, Y., Huang, L., Chai, Z., Shen, L. et al. (2017). The Antifungal Effects and Mechanical Properties of Silver Bromide/Cationic Polymer Nano-Composite-Modified Poly-Methyl Methacrylate-Based Dental Resin. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01686-4>
- Zhang, Y., & Lawn, B. R. (2017). Novel Zirconia Materials in Dentistry. *Journal of Dental Research*.

<https://doi.org/10.1177/0022034517737483>

Zor, Z. F., Biçer, A. Z. Y., & Peker, İ. (2020). Hareketli Protez Kullanan Hastaların Protez Hijyen Alışkanlıkları Ve Bu Hastalardaki Protez Stomatiti Görülme Sıklığı. *Selcuk Dental Journal*.
<https://doi.org/10.15311/selcukdentj.455397>

8. EKLER

8.1. EK 1 Etik Kurul Kararı



T.C.

NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ DİŞ HEKİMLİĞİ
İLAÇ VE TIBBİ CİHAZ DİŞİ ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU

Toplantı Sayısı: 36

Toplantı Tarihi: 28.12.2023

Karar Sayısı:2023/359: (Başvuru ID: 17340) N.E.Ü. Diş Hekimliği Fakültesi Klinik Bilimler Bölümü Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Prof. Dr. Ali Rıza TUNÇDEMİR'in "Yeşil sentez gümüş nanopartikül katkılı nanofiber ile güçlendirilmiş Polimetilmetakrilat (PMMA) rezin kompozitlerin üretilmesi ve antimikrobiyal ve mekanik aktivitelerinin değerlendirilmesi" başlıklı doktora tez çalışması ile ilgili başvurusu görüşüldü. Doktora öğrencisi Dt. Meryem ERDOĞDU'nun doktora tez çalışmasının N.E.Ü. Diş Hekimliği Fakültesi Klinik Bilimler Bölümü Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Prof. Dr. Ali Rıza TUNÇDEMİR'in sorumluluğunda yürütülmesinin uygun olduğuna oybirliği ile karar verilmiştir.

Not: Çalışma ile ilgili gerekli izin ve yasal sorumluluk araştırmacıya aittir.

Sorumlu Araştırmacı: Prof. Dr. Ali Rıza TUNÇDEMİR

Yardımcı Araştırmacılar: Doktora Öğrencisi Dt. Meryem ERDOĞDU

ASLI GİBİDİR
28.12.2023



Prof. Dr. Bozkurt Kubilay T.İK
Etik Kurulu Başkanı