



**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FARKLI BOR KATKILI AKRİLİK ORTODONTİ MALZEMELERİN (POLYMETİL
METAKRİLAT) HAZIRLANMASI VE BİYOLOJİK ÖZELLİKLERİN
ARAŞTIRILMASI**

**Rasheed ABDULKADER
KİMYA**

**ŞANLIURFA
2026**



**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FARKLI BOR KATKILI AKRİLİK ORTODONTİ MALZEMELERİN (POLYMETİL
METAKRİLAT) HAZIRLANMASI VE BİYOLOJİK ÖZELLİKLERİN
ARAŞTIRILMASI**

**Rasheed ABDULKADER
KİMYA**

DANIŞMAN: Prof. Dr. Ahmet KILIÇ

**ŞANLIURFA
2026**

TEŞEKKÜR

Günümüzde dişlerin tasarımı, obtüratör ve ortodontik tutucular ile farklı diş protezlerinin hazırlanmasında yaygın olarak kullanılan malzemelerin tez konusu olarak verilmesi, tez çalışmaları için deneysel ve teorik katkı anlamında yol gösterici olarak her türlü katkıyı veren ve elde edilen bilimsel sonuçların tartışılması ve değerlendirmesinde yardımcı olan değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Ahmet KILIÇ'a çok teşekkür ederim. Bunun yanında tüm deneysel çalışmalarında yanımda olan ve her türlü katkıyı sunan HÜBTAM uzmanı Dr. Eyyüp YAŞAR hocama da çok teşekkür ederim.

Yapılan biyolojik çalışmaların gerçekleşmesinde rol alan daha önce Harran Üniversitesi Eczacılık Fakültesi, şimdi ise Çukurova Üniversitesi Eczacılık Fakültesi'nden Doç. Dr. Metin YILDIRIM, Harran Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÇİMENTEPE ve Dr. Öğr. Üyesi Özge ÖZTÜRK ÇİMENTEPE hocalarıma da şükranlarımı sunuyorum.

Diğer taraftan, bu çalışmaları esnasında gerek maddi gerek manevi olarak her zaman yanımda olan başta eşim olmak üzere tüm aileme de ayrıca teşekkür etmek isterim.

ONAY

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	3
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÇİZELGELER DİZİNİ	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
KISALTMALAR	vi
1. GİRİŞ	1
1.1. Akrilik Malzeme Olarak Polimetil Metakrilat (PMMA)	1
1.2. Bor Bileşikler ve Sağlık.....	7
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	16
3. GEREÇ ve YÖNTEM	39
3.1. Gereç	39
3.1.1. Kullanılan araç ve gereçler	39
3.1.2. Kullanılan kimyasallar.....	39
3.1.3. Kullanılan cihazlar	40
3.2. Yöntem	40
3.2.1. Negatif kontrol grubu akrilik protez malzemenin (A) hazırlanması	40
3.2.2. Bor katkılı akrilik protez malzemelerinin (AB ₁ –AB ₅) hazırlanması	41
3.2.3. Akrilik PMMA temelli protez malzemelerinin anti-bakteriyel çalışmaları	43
3.2.4. Akrilik PMMA temelli protez malzemelerinin antioksidan çalışmaları	46
4. BULGULAR	49
4.1. PMMA (A) ve bor katkılı PMMA (AB ₁ –AB ₅) kompozitlerin karakterizasyonu ..	49
4.2. PMMA (A) ve bor katkılı PMMA (AB ₁ –AB ₅) kompozitlerin anti-bakteriyel ve antioksidan sonuçları	59
5. TARTIŞMA	62
6. SONUÇLAR	70
7. ÖNERİLER	72
KAYNAKLAR.....	73
ÖZ GEÇMİŞ	82

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI BOR KATKILI AKRİLİK ORTODONTİ MALZEMELERİN (POLYMETİL METAKRİLAT) HAZIRLANMASI VE BİYOLOJİK ÖZELLİKLERİN ARAŞTIRILMASI

Rasheed ABDULKADER

HARRAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
KİMYA

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet KILIÇ

Yıl: 2026, Sayfa: 82

Bu tez çalışmasında çok uzun zamandan beri en yaygın akrilik diş protez malzemesi olarak kullanılan polimetilmetakrilat (PMMA) yapısına farklı bor bileşiklerinin (%3 oranında) eklenmesiyle yeni malzemelerin üretilmesi ve bunların biyolojik özellikleri araştırılmıştır. Günümüzde diş hekimleri protez işlemlerinde farklı yapıda üretilen polimerleri yaygın olarak kullanmaktadırlar. Bunlar arasında polimetil metakrilat (PMMA) akrilik malzeme olarak yapay dişin tasarımı, obtüratör ve ortodontik tutucular ile farklı diş protezlerinin hazırlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmanın ilk aşamasında ticari olarak farklı markalar altında satılan PMMA ve monomer olarak metilmetakrilat karışımı sonucu negatif kontrol grubu olarak kabul edilen A maddesi üretilmiştir. Daha sonra standart kabul edilen (A) akrilik temelli malzemeye farklı bor türevleri eklenerek hedef bor katkılı akrilik protez malzemeleri (AB₁, AB₂, AB₃, AB₄ ve AB₅) üretilmiştir. Üretilen bor katkılı akrilik protez malzemelerin kimyasal analizleri ise FT-IR, XRD, SEM, SEM-EDX, TGA ve Raman teknikleri ile gerçekleştirildi. Yapısal ve morfolojik özellikleri incelenen PMMA temelli akrilik diş protez malzemelerinin farklı bor bileşiklerinin katkısı ile biyolojik özelliklerinin nasıl değiştiğini ortaya koymak için bazı analizler gerçekleştirildi. Bu çalışma kapsamında karşılaştırmayı kolaylaştırmak için, herhangi bir bor türevi eklenmemiş varsayılan malzeme, negatif kontrol grubu olarak kullanıldı. Yapısal ve morfolojik özelliklerinin incelenmesinin ardından, bor katkılı ve PMMA bazlı akrilik diş protez malzemelerinin antioksidan özellikleri (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil; DPPH) ve *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), *metisiline dirençli Staphylococcus aureus* (MRSA), *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*) ve *Escherichia coli* (*E. coli*)'ye karşı antibakteriyel aktiviteleri araştırılmış ve bazı biyolojik iyileşmeler gözlemlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Diş protezi, Polimetilmetakrilat (PMMA), Bor bileşikler, Spektroskopi, Biyolojik çalışmalar

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

PREPARATION OF DIFFERENT BORON-DOPED ACRYLIC DENTODONTIC MATERIALS (POLYMETHYL METHACRYLATE) AND INVESTIGATION OF BIOLOGICAL PROPERTIES

Rasheed ABDULKADER

HARRAN UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL
CHEMISTRY

Thesis Advisor: Prof. Ahmet KILIÇ

Year: 2026, Page: 82

This thesis investigates the production of new materials by adding various boron compounds (at a rate of 3%) to polymethylmethacrylate (PMMA), a material that has long been the most common acrylic dental prosthesis material, and examines their biological properties. Today, dentists widely use polymers of various structures in prosthetic procedures. Among these, polymethyl methacrylate (PMMA) acrylic material is commonly used in the design of artificial teeth, obturators and orthodontic retainers, and the preparation of various dental prostheses. In the first phase of this study, substance A, which is accepted as a negative control group, was produced as a mixture of PMMA and methyl methacrylate monomer sold commercially under different brand names. Subsequently, boron derivatives were doped into the standard acrylic-based material (A) to produce the target boron-doped acrylic prosthetic materials (**AB₁**, **AB₂**, **AB₃**, **AB₄**, and **AB₅**). The chemical analyses of the produced boron-doped acrylic prosthetic materials were performed using FT-IR, XRD, SEM, SEM-EDX, TGA, and Raman techniques. To determine how the biological properties of PMMA-based acrylic dental prosthesis materials, whose structural and morphological characteristics were examined, were altered by the addition of different boron compounds, some analyses were conducted. In this study, to facilitate comparison, a default material without any added boron derivatives was used as a negative control group. After examining their structural and morphological characteristics, the antioxidant properties (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl; DPPH) and antibacterial activity against *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA), *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*), and *Escherichia coli* (*E. coli*) of these boron-doped and PMMA-based acrylic dental prosthesis materials were investigated, and some biological improvements were observed.

KEYWORDS: Dental prosthetics, Polymethyl methacrylate (PMMA), Boron compounds, Spectroscopy, Biological studies

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1.	DMSO ile çözünme sonucunda elde edilen MİK ve MBK değerleri	60
Çizelge 4.2.	DMSO + ultrasonik banyo ile çözünme sonucunda elde edilen MİK ve MBK değerleri	60
Çizelge 4.3.	PMMA (A) ve bor katkılı PMMA malzemelerin in vitro ABTS ve DPPH yöntemleriyle elde edilen antioksidan kapasiteleri . .	61

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Metilmetakrilatın (MMA) polimetil metakrilatta (PMMA) polimerizasyonu	2
Şekil 1.2.	Akrilik ortodonti malzemesi olarak polimetil metakrilatın (PMMA) hazırlanma aşamaları (Zafar, 2020).	3
Şekil 1.3.	Protez uygulamalarına yönelik PMMA malzemeleri için gereken ideal özellikler (Zafar, 2020)	4
Şekil 1.4.	Bor türevlerinin yaygın kullanım alanları (Kuru ve Yarat, 2017)	7
Şekil 1.5.	Uygun koşullar altında bor bileşiklerinin geometrik değişiklikleri (Das vd., 2013; Farfán-García vd., 2023).	9
Şekil 1.6.	Sağlık alanında kullanılan bazı bor içeren kimyasal bileşikler (Yildirim vd., 2023; Farfán-García vd., 2023).	10
Şekil 1.7.	FDA tarafından onaylanmış ve piyasaya sürülmüş bazı bor bazlı ilaçlar (Grams vd., 2024; Kilic vd., 2022; Tevyashova ve Chudinov, 2021)	11
Şekil 2.1.	Yeni bir biyolojik ajan olarak bor-ellagic asit hibrit moleküller (Yildirim vd., 2025).	17
Şekil 2.2.	Bor bileşiklerinin en fazla bulunduğu besin türleri (Kuru ve Yarat, 2017).	18
Şekil 2.3.	Bor içeren bazı gıda destek ürünleri	20
Şekil 2.4.	İnorganik bileşenler olarak çinko (Zn^2) ve bakır (Cu^2) yer aldığı hibrit nano çiçekler (Yildirim vd., 2025)	21
Şekil 2.5.	A549 hücrelerine uygulanan (T_1B_1)~ve (T_1B_2)~kodlu bor bileşiklerinin sentezi	22
Şekil 2.6.	Bor bazlı jellerin diyabetik ayak ülserleriyle ilişkili mikroorganizmalar üzerindeki etkileri (Soriano-Ursúa vd., 2025).	23
Şekil 2.7.	MSN'lerin poli(metil metakrilat) (PMMA) yüklenmesi sonucu elde edilen SEM görüntüleri (Lee vd., 2016)~	25
Şekil 2.8.	PMMA kopolimerizasyonunda kullanılan yaygın ko-monomerler (Elshereksi vd., 2022).	26
Şekil 2.9.	Polimer boncukların kriyojenik kırılma yüzeyinin bazı SEM görüntüleri (Charasseangpaisarn vd., 2023).	27
Şekil 2.10.	Metil metakrilatın polimerizasyonu ile poli(metil metakrilat) (PMMA) polimerinin oluşumu (Kaur ve Thakur, 2022)	28
Şekil 2.11.	Protez taban PMMA malzemelerinin uygulamaları (Alqutaib vd., 2023)	29
Şekil 2.12.	PMMA'nın yaygın biyomedikal uygulamaları (Zafar, 2020).	31
Şekil 2.13.	Bor içermeyen (kontrol grubu) ve boraks pentahidrat içeren malzemenin yüzey mikro sertlik görüntüleri (Ucuk ve Ucuncu, 2024)	32
Şekil 2.14.	$ZnO@TiO_2$ -4A nanopartiküllerinin TEM görüntüsü (Esmailzadeh vd., 2022).	35
Şekil 2.15.	10 günlük inkübasyon süresinin sonunda deney gruplarında osteojenik farklılaşma düzeylerinin belirlenmesi (Demirci vd., 2015).	37

Şekil 2.16.	Bor içeren akrilik polimerlerin sentez mekanizması (Dizman vd., 2023).	38
Şekil 3.1.	PMMA temelli diş protez malzemesine katkılanan bor bileşikleri	42
Şekil 3.2.	Bor katkılı PMMA diş protez malzemesinin hazırlanış basamakları	43
Şekil 3.3.	PMMA temelli protez malzemelerinin DMSO içinde çözünme sonucu elde edilen sonuçları	45
Şekil 3.4.	PMMA temelli protez malzemelerinin DMSO + Ultrasonik banyo içinde çözünme sonucu elde edilen sonuçları	46
Şekil 4.1.	PMMA temelli negatif kontrol grubu olarak hazırlanan malzemenin (A) FT-IR spektrumu	49
Şekil 4.2.	Bor katkılı PMMA temelli malzemenin (AB ₁) FT-IR spektrumu	50
Şekil 4.3.	Bor katkılı PMMA temelli malzemenin (AB ₂) FT-IR spektrumu	50
Şekil 4.4.	Bor katkılı PMMA temelli malzemenin (AB ₃) FT-IR spektrumu	51
Şekil 4.5.	Bor katkılı PMMA temelli malzemenin (AB ₄) FT-IR spektrumu	51
Şekil 4.6.	Bor katkılı PMMA temelli malzemenin (AB ₅) FT-IR spektrumu	52
Şekil 4.7.	PMMA temelli diş protez malzemelerin (A, AB ₁ -AB ₅) XRD spektrumları	53
Şekil 4.8.	Hazırlanan PMMA temelli diş protez malzemelerin (A, AB ₁ -AB ₃) SEM ve EDX görüntüleri	54
Şekil 4.9.	Hazırlanan PMMA temelli diş protez malzemelerin (A, AB ₁ -AB ₃) SEM ve EDX görüntüleri	55
Şekil 4.10.	PMMA temelli negatif kontrol grubu olarak hazırlanan malzemenin (A) Raman spektrumu	56
Şekil 4.11.	Bor katkılı PMMA temelli malzemenin (AB ₁) Raman spektrumu	56
Şekil 4.12.	Bor katkılı PMMA temelli malzemenin (AB ₂) Raman spektrumu	57
Şekil 4.13.	Bor katkılı PMMA temelli malzemenin (AB ₃) Raman spektrumu	57
Şekil 4.14.	Bor katkılı PMMA temelli malzemenin (AB ₄) Raman spektrumu	58
Şekil 4.15.	Bor katkılı PMMA temelli malzemenin (AB ₅) Raman spektrumu	58
Şekil 4.16.	PMMA (A) (a) ve bor katkılı PMMA diş protez malzemesi (AB ₂) (b) TGA-DTA termogramları	59

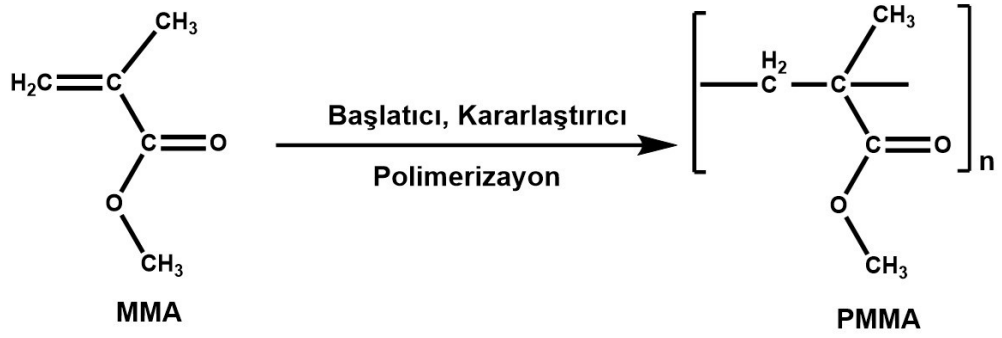
KISALTMALAR

DPPH	2,2-difenil-1-pikrilhidrazil
EDX	Enerji Dağılımlı X-Işını Analizi
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
PM- MA	Polimetil metakrilat
MMA	Metil metakrilat
FT- IR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi spektrometre
XRD	X-Işını Kırınımı cihazı
TGA	Termogravimetrik Analiz
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
AC- hE	Asetilkolinesteraz
PLA	Polilaktik asit
Ag	Gümüş
TiO₂	Titanyum dioksit
CHCl₃	Kloroform
DM- SO	Dimetil Sülfoksit
ABTS	2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiyazolin-6-sülfonik asit)
MBK	Minimal Bakterisidal Konsantrasyon
MİK	Minimal İnhibitör Konsantrasyon
ZrO₂	Zirkonyum dioksit

1. GİRİŞ

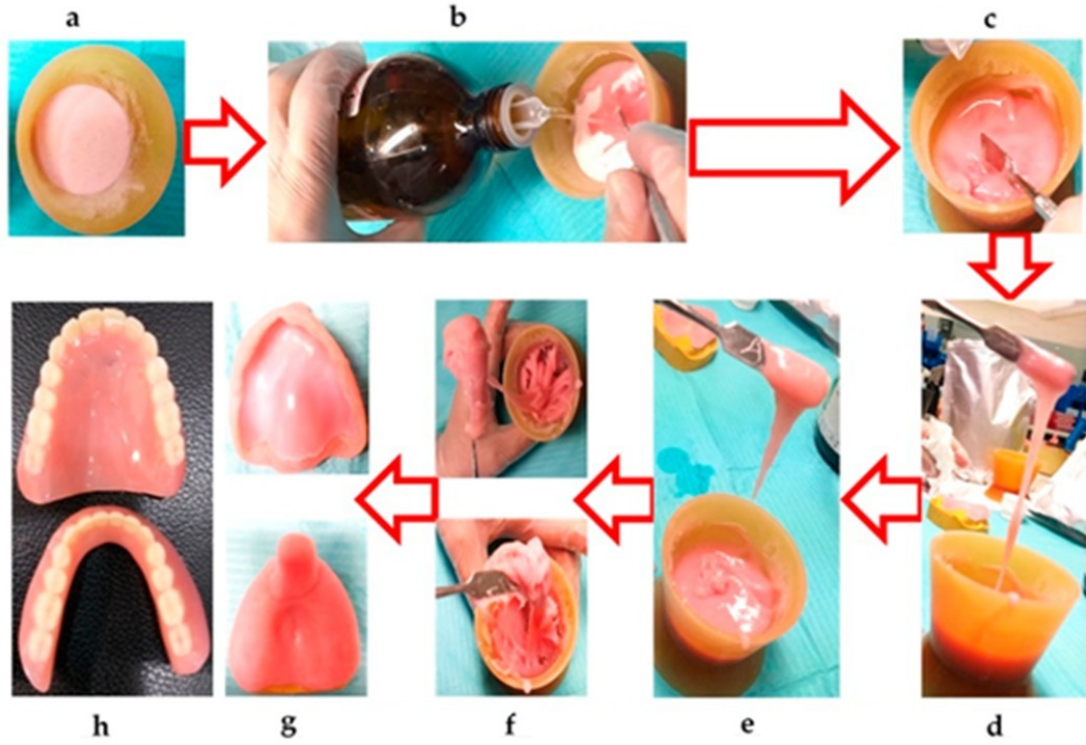
1.1. Akrilik Malzeme Olarak Polimetil Metakrilat (PMMA)

Günümüzde genel olarak diş protezlerinin tasarımı, obtüratör ve ortodontik tutucular ile farklı amaç için kullanılan protezlerin hazırlanmasında sahip oldukları düşük yoğunluk, görünüm estetiği, uygun maliyetli olması, kolay işlenebilirliği ve özelleştirilebilir fiziksel ve mekanik özellikleri gibi benzersiz özelliklerin dolayı 1937'den beri yaygın olarak polimetilmetakrilat (PMMA) (IUPAC ismi: poly [1-(methoxy carbonyl)-1-methyl ethylene]) kullanılmaktadır (Chen vd., 2001). Aslında bu malzeme 1843 yılında Redtenbacher tarafından ilk kez bildirilen, kokusuz bir akrilik asit polimeridir. Fakat PMMA'nın biyomedikal uygulamalar için hazır hâle gelmesinin onlarca yıla yayılan kademeli bir süreç olduğu bilinmektedir. Ancak 1940'lı yıllardan bu yana diş protez malzemesi olarak PMMA diş laboratuvarları ve klinikleri için vazgeçilmez bir biyomalzeme haline gelmiştir (Zafar, 2020). Metakrilik asidin metil esterleri PMMA'nın temel bileşenleridir, ancak protez diş hekimliğinde kullanılan akriliklerde birçok başka bileşen de bulunur. Isıyla polimerize olan protez akrilikleri genellikle PMMA bazlıdır, ışıkla polimerize olan ve mikrodalga ile polimerize olan ürünler ise kısmen PMMA'dan ve ayrıca üretan dimetakrilatlardan (UDMA) elde edilir. Isıyla polimerize olan malzemeler için, sıcak su banyosu veya mikrodalga enerjisiyle ısı üretilebilirken, ışıkla polimerize olan reçineler görünür ışığı enerji kaynağı olarak kullanır (Guatam vd., 2012; Çelebi vd., 2008). Bu bilgiler ışığında, hedeflenen amaca uygun diş protezlerini hazırlamak için en yaygın olarak kullanılan PMMA, geleneksel olarak toz-sıvı sistemi şeklinde ticari olarak satılmaktadır. Bunlar arasında toz olarak bulunan PMMA şeffaf bir kompozisyona sahiptir. Bununla birlikte PMMA'nın fiziksel özellikleri ve estetiği ağız dokularını (diş etleri, mukoza gibi) taklit edecek şekilde ayarlamak için pigmentler ve naylon veya akrilik sentetik elyaflar gibi katkı maddeleri ilave edilmektedir. Sıvı formu ise çapraz bağlama ajanları ve inhibitörlerle birlikte metil metakrilat monomerini içermektedir (Zafar, 2020). PMMA, metil metakrilatın ($C_5O_2H_8$) polimetil metakrilatın ($C_5O_2H_8$)_n serbest radikal ilavesi ve polimerizasyonu ile hazırlanan sentetik bir polimerdir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Metilmetakrilatın (MMA) polimetil metakrilatta (PMMA) polimerizasyonu

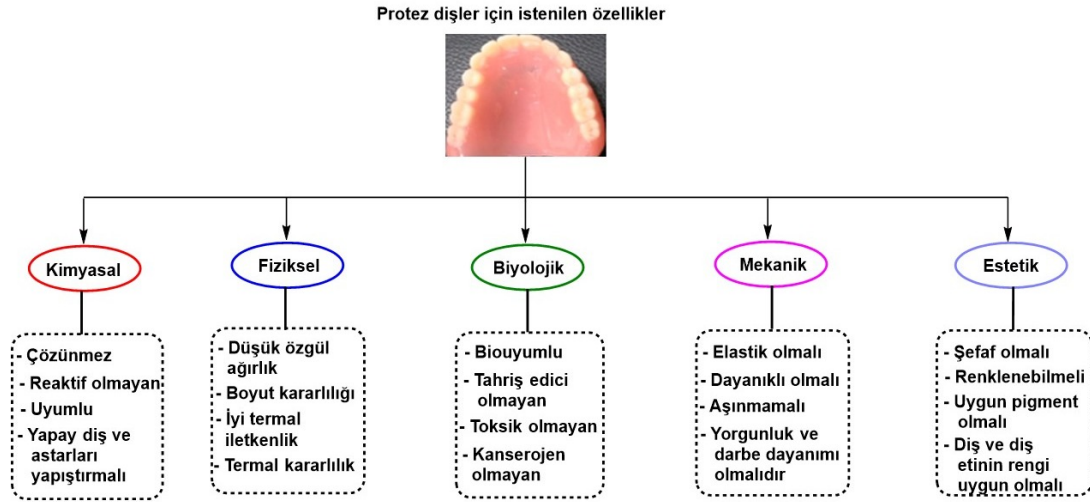
Bununla birlikte, farklı amaçlar için diş protezleri alanında oldukça sık kullanılan PMMA malzemesi ile ilgili bazı endişeler bulunmaktadır (Şekil 1.2). Bu endişeler arasında hedef malzemenin su emilimi, zayıf darbe ve eğilme mukavemeti nedeniyle protezlerin kırılması yer almaktadır. Bu noktada PMMA malzemesi ile ilgili problemleri (iletkenlik, su emilimi, çözünürlük, darbe ve eğilme mukavemeti gibi) ortadan kaldırmak için farklı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar arasında çeşitli lifler kullanılarak güçlendirilen PMMA malzemelerinin kullanılmasıdır (Zafar, 2020; Moreno-Maldonado vd., 2012; Hamouda ve Beyari, 2014; Chen vd., 2001). Bu tez çalışmasının amacı ise literatürde PMMA ile ilgili mevcut problemleri ortadan kaldırmak için bor türevlerini PMMA malzemesine ekleyerek bu endişeleri gidermektir.



Şekil 1.2. Akrilik ortodonti malzemesi olarak polimetil metakrilatın (PMMA) hazırlanma aşamaları (Zafar, 2020).

PMMA malzemesinin özellikle diş protezlerinde yaygın kullanımını sınırlayan bir diğer büyük etken ise yetersiz esneme mukavemeti göstermemesidir. Farklı şekilde tasarlanan ve endüstriyel olarak seri şekilde üretilen bu akrilik temelli protez malzemesinin esneme yorgunluğu genellikle sıkıştırma, gerilme ve kesme gerilmeleri dâhil olmak üzere çiğneme kuvvetlerinden kaynaklanır. Var olan bu problemlerin üstesinden gelmek için farklı diş protezlerinde yaygın olarak kullanılan PMMA malzemesine kırılmaya dayanıklı malzemeler eklenerek giderilmesi hedeflenmiştir (Şekil 1.3). Bu noktada, kimyasal modifikasyon veya reçineye malzeme ekleyerek PMMA'nın mekanik özelliklerinde değişiklikler yapılması hedeflenmiştir. Henüz bildiğimiz kadarıyla dişlerin tasarımı, obtüratör ve ortodontik tutucular ile farklı diş protezlerinin hazırlanmasında kullanılan PMMA'ya elastomerik malzemeler veya diğer kimyasallar eklenmesi sonucunda da alternatif olarak tatmin edici bir malzeme henüz üretilmediği görülmektedir (Hayran ve Keskin, 2019; Chen vd., 2001). Diğer çözüm önerisi olarak PMMA'yı farklı kimyasal modifikasyonlarla onu hedefe uygun bir kopolimere dönüştürmektir. Çünkü elde edilen bu kopolimerler protez tabanını güçlendirmek

için oldukça yararlı olduğu düşünülmektedir. Bu hedef için farklı monomerlerin çeşitli hacimsel oranlarda birbirleriyle işlenmesiyle daha iyi mekanik ve kimyasal özelliklere sahip yeni bir malzeme elde edilebilir. Böylece hedef malzeme eğilme mukavemeti, eğilme parçası, darbe mukavemeti, termal dayanıklılık ve yapışma özellikleri iyileştirilebilmektedir (Hayran ve Keskin, 2019; Chen vd., 2001).



Şekil 1.3. Protez uygulamalarına yönelik PMMA malzemeleri için gereken ideal özellikler (Zafar, 2020)

Özellikle diş protezlerinde sıklıkla tercih edilen PMMA'nın, insanların ağızda bulunan çok sayıda mikroorganizma nedeniyle PMMA kullanımının ağız hijyeninin korunmasını zorlaştırarak plak ve mikroorganizma birikimi olasılığını artırdığı bilinmektedir. Bu noktada potansiyel diş hastalıklarını sınırlamak ve PMMA'nın ömrünü uzatmak için, akrilik yüzeylerde biyofilm oluşumunu engelleyen yeni yöntemlere daha fazla odaklanılmalıdır. Diğer taraftan diş protezleri ve ortodontik cihazlarda gelişen bakteri yükünü sınırlamak için çeşitli geleneksel stratejiler kullanılır. Hawley tutucu gibi akrilik malzemeden yapılmış çıkarılabilir cihazlar için, hijyen ve dezenfeksiyon için bir dizi yöntem vardır. Ön plana çıkan yöntemler arasında diş macunu veya sabunla mekanik fırçalama, dezenfektan temizleme solüsyonlarında bekletme ve ultrason kullanılarak fiziksel-kimyasal yöntemler bulunmaktadır (Lai vd., 2022). Bu problemin üstesinden gelmek için bir diğer alternatif yol ise oldukça iyi antimikrobiyal özelliklere sahip olduğu bilinen bor türevlerinin PMMA'ya eklenmesiyle bu problemin üstesinden gelmek hedeflenebilir. Bu tez çalışmasında

da güçlü antimikrobiyal özelliklere sahip olduğu bilinen bor katkılı PMMA özellikleri araştırılmıştır. Diğer taraftan, tam ve çıkarılabilir kısmi protez kullanıcılarını etkileyen protez stomatiti (DS)'nin çoğunlukla *Candida albicans* kolonizasyonu ile ortaya çıktığı görülmektedir. DS'nin yüksek yaygınlığı (%11 ila %67), özellikle yaşlı veya bağışıklık sistemi zayıf olan kişilerde ciddi sağlık sorunlarına neden olduğu belirtilmektedir. Özellikle yaşlı veya bağışıklık sistemi zayıf olan hastaların patojenik mikroorganizmalar ve metabolik ürünleri kan dolaşımında bulunabilmektedir. Bu tip hastaların güncel tedavi yöntemlerine bakıldığında, daha çok etkilenen bölgelere topikal olarak antifungal ajanların uygulanması ve sistemik olarak antifungal ilaçların verilmesi görülmektedir. Bu nedenle, DIS oluşumunu azaltmak için biyosidal yüzey kaplama, soğuk plazma işlemi ve geleneksel PMMA reçinesine antimikrobiyal ajanların (doğal veya sentetik) dahil edilmesi gibi alternatif stratejiler üzerinde durulmaktadır (Sowmya vd., 2024). Bu tez çalışmasında da antimikrobiyal ve antifungal özelliklere sahip bor bileşiklerinin PMMA'ya eklenmesiyle bu sorunun üstesinden gelinmesi hedeflenmiştir.

Biyouyumluluk, bir malzemenin biyolojik bir ortamda uygun bir konakçı tepkisiyle performans gösterme yeteneği olarak tanımlanan en önemli biyolojik özelliktir. Uygun şekilde farklı amaçlar için üretilmiş ve ısı ile sertleştirilmiş PMMA protez malzemesinin biyouyumluluk sorunları oldukça sınırlı olduğu bilinmektedir (Gautam vd., 2012; Zafar, 2020). Bununla birlikte özellikle sertleştirilmiş protez tabanında sertleşmemiş veya kalıntı monomerlerin bulunmasının mukoza tahrişi, doku iltihabı ve sitotoksosite ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Braun vd., 2003; Jorge vd., 2003; Lung ve Darvell, 2005). Bu nedenle, PMMA karıştırılırken daha fazla miktarda monomer çözeltisinin yapıya eklenmesi, ortamda ve protezde kalıntı monomerler bırakması sonucu buna bağlı olarak sitotoksositeye neden olabilmektedir. Diğer taraftan, düşük monomer-polimer oranına ek olarak, uzatılmış polimerizasyon süresi, kısa kütleme döngülerine kıyasla kalıntı monomer miktarını ve sitotoksiteyi de azaltır. Bu nedenle, PMMA'nın ısı ile kürlenmesi ve önerilen ısı kütleme döngüsü kullanılarak polimerizasyon derecesi artırıldığında, PMMA temelli takma dişlerde kalıntı monomer miktarı ve sitotoksitesi kontrol edilebilir. Buna göre, düşük miktarda monomer içeren ve uygun şekilde kürlenmiş PMMA malzemeleri iyi biyouyumluluğa sahip olma eğilimindedir. Monomerlerin uçucu yapısı ve ince PMMA parçacıklarının

tozlu yapısı, bu malzemeyi kullanan diş hekimleri ve yardımcıları için mesleki tehlikelere yol açabilir. Bu bağlamda, diş kliniklerinde ve laboratuvarlarında monomer buharlarının konsantrasyonunu ve maruziyeti azaltmak için, kişisel koruyucu ekipman (maske, eldiven) ve hava geçirmez kapların kullanımı, iyi havalandırma ve dökülen maddelerin hızlı bir şekilde bertaraf edilmesi gibi uygun güvenlik önlemleri alınmalıdır. Ayrıca, diş hekimliği personeli, monomer solüsyonunun toksik ve uçucu yapısı (aleve maruz bırakılmamalıdır) ve monomer solüsyonuna maruz kalındığında cildin derhal yıkanması konusunda eğitilmelidir (Zafar 2020; Jorge vd., 2003; Leggat ve Kedjarune, 2003).

Kimyasal bakış açısından bakıldığında, protez taban malzemeleri yüksek derecede yerleştirilebilir olmalı ve ağız sıvıları ve besinlerle kimyasal olarak reaktif olmamalıdır. İşlev sırasında, protez taban malzemeleri, kimyasal yapıları, pH değerleri ve sıcaklıkları dahil olmak üzere birçok faktör açısından büyük farklılıklar gösterebilen çeşitli besin maddelerine maruz kalabilmektedir (Zafar vd., 2020). Kimyasal olarak farklı stokiometrik oranlarda tasarlanan PMMA malzemeleri suda oldukça az çözünen organik reçinelerdir. Bununla birlikte, ketonlar ve esterler gibi organik çözücülerdeki çözünürlükleri ise yüksektir. Benzer şekilde, alkollü çözeltiler plastikleştirici görevi görür ve camsı geçiş sıcaklığını düşürebilir. Bu nedenle, protezlerin alkollü çözeltilerle saklanması veya temizlenmesi önlenmelidir. PMMA kimyasal olarak suyla reaksiyona girmez, ancak suda tekrar tekrar saklanması, döngüsel su emilimi ve kuruma nedeniyle boyut değişikliklerine veya çatlamaya neden olabilmektedir (Gupta ve Kamra, 2011). Kimyasal olarak bu sorunun üstesinden gelmek için çapraz bağlama maddeleri (etilen glikol dimetakrilat ve 1,4-butilen glikol dimetakrilat gibi) genellikle PMMA'ya eklenebilmektedir. Çapraz bağlama maddeleri, PMMA'nın organik çözücülerde çözünme eğilimini azaltarak ve çatlamaya karşı direncini artırarak PMMA protez malzemesini daha kararlı hale getirmektedir (Zafar, 2020; Arima vd., 1991). Elde edilen sonuçlar üzerinde yapılan tartışmalar sonucunda, özellikle diş protez malzemesi olarak PMMA'nın iyi biyouyumluluk, fiziksel ve kimyasal özellikler de dahil olmak üzere gereksinimlerin çoğunu karşıladığı görülmektedir. Bu malzeme ile ilgili yapılan araştırmalarda en büyük sorun ise PMMA malzemelerinden salınan ve biyolojik uyumluluk da dahil olmak üzere çeşitli özellikleri tehlikeye atan artık monomerlerin varlığıdır. Bunun üstesinden gelmek için farklı çalışmaların yapılması uygun olacaktır.

1.2. Bor Bileşikler ve Sağlık

Ülkemiz dünyanın en büyük bor rezervlerine sahip olduğundan, bor ve bunların türevleri milletimiz için büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda katma değeri yüksek ürünler elde etmek amacıyla bor ve türevlerinin farklı uygulamalarda oldukça etkin malzemeler olduğu ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda günümüzde etkinliği belirgin olarak ortaya çıkarılmış olan bor içeren bileşiklerin teknolojik gelişmelere bağlı olarak yeni türevlerinin sürekli olarak sentezlenmeye devam ettiği bir gerçektir. Günümüzde endüstriyel ölçekte bor içeren bileşiklerin en çok kimya, otomotiv, sağlık, cam sanayi, enerji, tarım, ilaç, tekstil, elektronik ve iletişim sektörlerinde yaygınca kullanıldığı görülmektedir (Şekil 1.4) (Kuru ve Yarat, 2017).



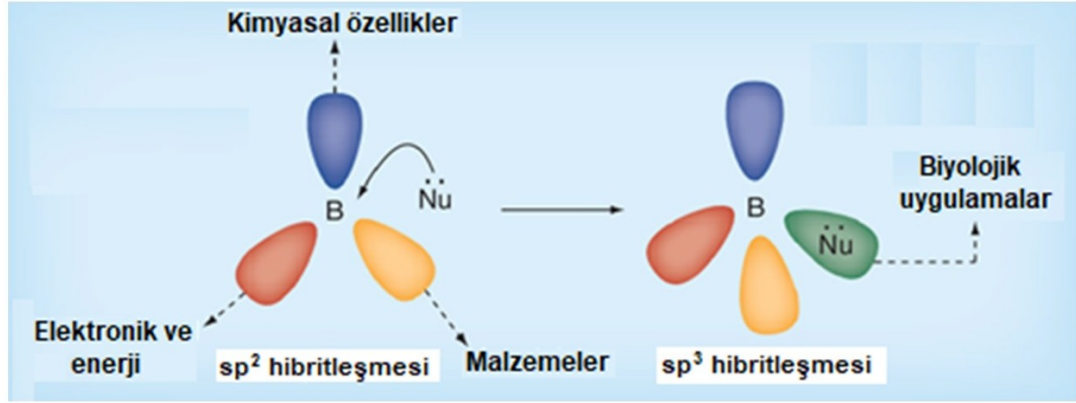
Şekil 1.4. Bor türevlerinin yaygın kullanım alanları (Kuru ve Yarat, 2017)

Bor ve bor içeren bileşikler cam endüstrisinden seramik endüstrisine, temizlik ürünlerinden geç yakıcı maddelere, tarımdan metalürjiye, nükleer uygulamalara kadar kullanıldığı her alanda önemli bir bileşik grubu olup farklı alanlardaki kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bilinen elementlerde elmasan sonra en sert element olarak kabul edilen bor, birkaç amorf ve altı polimorfik allotropi sahiptir (Werheit vd., 2010). Diğer taraftan bor içeren bileşiklerin bitkiler için de vazgeçilmez olarak kabul edilmekle birlikte, hayvan ve insan vücudu için önemi henüz net olarak aydınlatılamamıştır. Bor

içeren bileşiklerin bir kısmı doğal formda bulunurken bir kısmı da farklı bilim adamları tarafından laboratuvarlarda uygun reaksiyon koşullarında sentetik olarak sentezlenmekte olup, günümüzde bor içeren bileşiklerin sayısı giderek artmaktadır. Etki mekanizmalarının yeni anlaşılmasıyla birlikte bu bileşiklerin özellikleri araştırılmış, bu bileşiklerin yeni türleri sentezlenmiş ve yenilikçi teknolojiler ve biyomedikal alanlarındaki uygulamaları için test edilmiştir. Bu çalışmalardan sonra, borun sahip olduğu benzersiz elektronik ve yapısal özelliklerinden dolayı koordinasyon kimyasında farklı uygulamalarda kullanılmak üzere yeni bileşiklerin hazırlanmasına olanak sağlaması nedeniyle bor içeren bileşiklerin sentezi bilim dünyasında en popüler araştırma alanlarından biri haline gelmiştir. Farklı bor türevlerinin tasarımı ve farklı tekniklerle yapısal özelliklerinin organik kimyada kapsamlı bir şekilde araştırılmış olup, bunların katalitik, floresans, elektrokimyasal, farmasötik, foto ve elektrolüminesans cihazlar gibi birçok alandaki uygulamaları ortaya konulmuştur (Farfán-García vd., 2023; Yildirim vd., 2026). Bor içeren bileşikler ayrıca benzersiz elektronik ve fizikokimyasal özelliklerinden dolayı çeşitli farmasötik ve akademik uygulamalara sahip yeni bir organik molekül sınıfını temsil etmektedir. Sonuç olarak, yapılan birçok bilimsel araştırma ve endüstriyel uygulamalar incelendiğinde bor temelli bileşiklerin bu yüzyılda baştayalıtım, seramik, temizlik malzemeleri, yangın söndürücüler, tarım alanları, malzeme mühendisliği teknolojileri, sağlık, deterjan, kozmetik, inşaat sektörü, çimento gibi birçok uygulamada yaygın olarak tercih edildiği görülmüştür (Garrent, 1998).

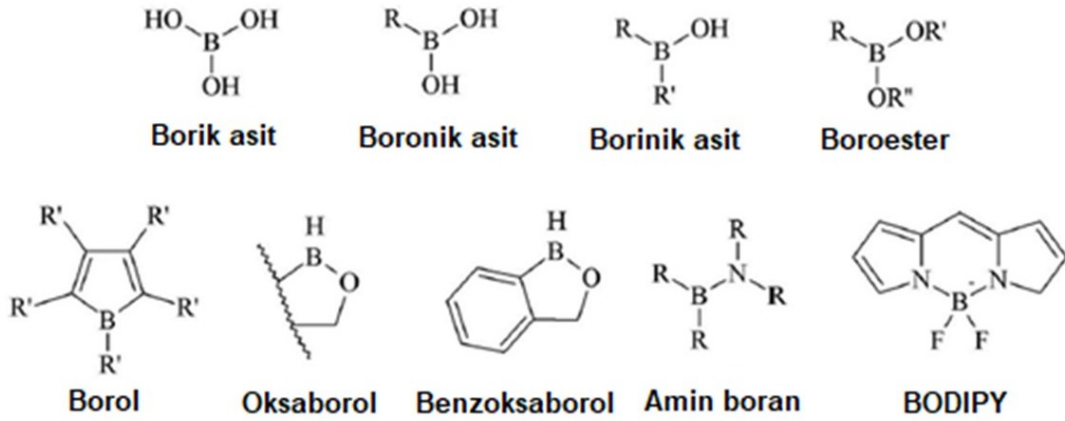
Kararlı ve biyoaktif bor içeren bileşikler yaygın olarak ya üç koordinasyonlu düzlem üçgen geometrisinde ya da dört koordinasyonlu tetrahedral geometrisinde bulunmaktadır (Degirmenci vd., 2024). Bunlar arasında üç koordineli bor temelli bileşikler, sahip oldukları boş bir p-orbitali nedeniyle güçlü Lewis asitleridir. Bu boş p orbitali ve sahip olduğu bir çift yalın elektronu nedeniyle uygun reaksiyon şartlarında dört koordineli bileşiklerini oluşturmak için nükleofiller veya N-nötral aminlerle datif bağlar (koordine kovalent bağlar) oluşturmalarına ve oktet kuralına uymalarına imkan sağlamaktadır. Diğer taraftan boş p-orbital, alkoller ve aminler dahil olmak üzere diğer nükleofillerden gelen tekli bir çift tarafından da işgal edilebilir, bu da borun, karbonhidratlar ve nükleik asitlerden gelen serin ve hidroksil grupları dahil olmak üzere enzim kalıntıları gibi biyolojik nükleofillerle datif bir bağ oluşturmalarına olanak sağlamaktadır (Farfán-García vd., 2023; Yang vd., 2018). Şekil

1.5'te gösterildiği gibi, bor içeren bileşiklerdeki bor merkezi, bazı reaksiyon koşullarında düzlem üçgen sp^2 'den tetrahedral sp^3 hibridizasyonuna kolayca dönüştürülebilir, bu da bor içeren bileşiklerin benzersiz kimyasal ve biyolojik özelliklerini ortaya çıkarır (Das vd., 2013; Yıldırım vd., 2025; Farfán-García vd., 2023; İncebay ve Kilic, 2022).



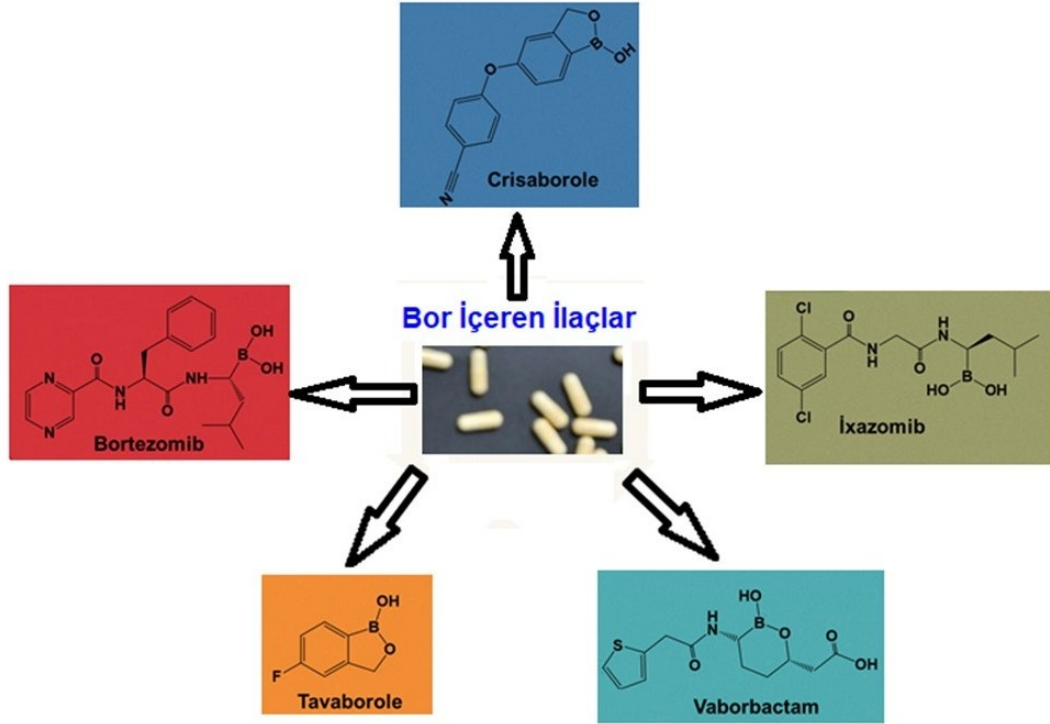
Şekil 1.5. Uygun koşullar altında bor bileşiklerinin geometrik değişiklikleri (Das vd., 2013; Farfán-García vd., 2023).

Son zamanlarda, sağlık alanında birçok hastalığa karşı ilaç adayı olarak yüksek potansiyele sahip olduğu düşünülen bor içeren bileşiklerinin (Şekil 1.6.), havaya ve neme karşı kararlı olmaları, uygun şartlarda her platformda kullanılabilmeleri ve bor içermeyen bileşiklere göre kolayca sentezlenmesi ve saflaştırılabilmeleri nedeniyle birçok tıbbi uygulamada bilim adamları için oldukça ilgi çekmektedir (Farfán-García vd., 2023; Yıldırım vd., 2025; Kilic vd., 2020).



Şekil 1.6. Sağlık alanında kullanılan bazı bor içeren kimyasal bileşikler (Yildirim vd., 2023; Farfán-García vd., 2023).

Günümüzde tek bir başlık altında toplanmasının zor olduğu ortaya çıkan bor içeren bileşiklerin sağlık alanındaki önemi her geçen gün artıyor. Bor içeren bileşiklerin sağlık alanında biraz gecikmeli olarak farklı uygulamalarda belli bir süre kesintiye uğramasının nedeni belki de bazı araştırmacıların kesin bilimsel dayanağı olmadan ortaya attıkları bor ve türevlerinin toksik olduğuna dair yanlış inanışlarıydı. Çünkü her bileşiğin normal dozundan fazla kullanılması tabii ki bazı olumsuz durumlar oluşturabilmektedir. Bor içeren bileşiklerin de oldukça fazla dozlarda kullanılmasının bazı yan etkileri olabilmektedir. Öte yandan bor içeren bileşiklerin sağlık kimyasında kullanımına ilişkin son yıllarda yapılan çalışmalar, borun potansiyel olarak toksik olmadığını, aksine çok yönlü bir atom olduğunu ve ilaç tasarımında aktif rol oynayabileceğini göstermektedir (Farfán-García vd., 2023; Kilic vd., 2020; Kilic vd., 2021). Özellikle 2000’li yılların başında bor içeren ilaçlar olarak FDA tarafından onaylanmış ve çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanılan en bilinen ilaçlar Bortezomib, Ixazomib, Tababorole, Crisaborole ve Vaborbactam’dır (Şekil 1.7) (Grams vd., 2024; Kilic vd., 2022; Tevyashova ve Chudinov, 2021).



Şekil 1.7. FDA tarafından onaylanmış ve piyasaya sürülmüş bazı bor bazlı ilaçlar (Grams vd., 2024; Kilic vd., 2022; Tevyashova ve Chudinov, 2021)

Bor içeren bileşikler sahip oldukları güçlü antimikrobiyal ve antifungal özelliklerinden dolayı farmasötik kimya alanında çalışmalar yapan araştırmacıların ilgisini çekmiş ve bunların sahip oldukları çözünürlük, yapısal kararlılık ve reseptör bağlanma özellikleri nedeniyle in vivo ve in vitro çalışmalarda yeni ilaç adayları olarak potansiyelleri ortaya konulmuştur (Kilic vd., 2020). Bu tez çalışmasında da farklı diş protezlerinde kullanılan PMMA malzemesine farklı bor türevleri eklenerek oluşan bor katkılı PMMA kompozitlerin antimikrobiyal ve antifungal özelliklerinin değişip değişmediği tartışılmıştır. Her ne kadar bor içeren ilaçların etki mekanizması tam detaylı olarak ortaya konulmamış olsa da, bazı gram-negatif patojenlerin neden olduğu ölümcül enfeksiyonların tedavisi için, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından Şubat 2024'te yayınlanan yeni tedavilere (Gonzalez-Bello vd., 2020; WHO, 2024) ve hızlı, hassas, doğru tanı ve bor bazlı bileşiklerin organizmalar üzerindeki etki mekanizmalarının ayrıntılı açıklamasına ihtiyaç duyulduğu bir gerçektir. Bu bağlamda yapılan araştırmalarda bor içeren bileşiklerin farklı bakterilere karşı β -laktamaz inhibitörleri, lösil-tRNA sentetaz inhibitörleri, LexA kendi kendini parçalama

inhibitörleri ve NorA eksitofosforoz inhibitörleri olmak üzere dört etki mekanizması üzerinde yürüdüğü düşünülmektedir (Huang vd., 2024). En yaygın olarak bilinen mekanizma, β -laktamazlar (EC 3.5.2.6) olarak bilinen bakteriyel A sınıfı enzimler tarafından β -laktam halkasının parçalanmasıdır. Bu enzimler, penisilinler, karbapenemler, monobaktamlar ve sefalosporinler gibi β -laktam antibiyotiklere karşı bakteriyel direnç gelişiminin önemli bir mekanizması olarak bilinmektedir. Diğer taraftan, antimikrobiyal ajanlara β -laktamaz inhibitörü fragmanlarının eklenmesi, bakteri suşlarının bu sınıf antibiyotiklere direnç kazanmasına neden olmuştur (Sangu vd., Gonzalez-Bello vd., 2020). Günümüzde, β -laktam antibiyotikler, birçok hastalığa neden olan virulent bakteri suşlarına karşı en sık reçete edilen ilaçlar arasındadır. Bugüne kadar, tıbbi kullanım için 73 formülasyon ve yaklaşık 40 yapısal olarak farklı β -laktam yapısının mevcut olduğu bilinmektedir. Bugüne kadar geliştirilen β -laktamaz inhibitörleri arasında, bor bazlı β -laktamaz inhibitörleri, dirençli bakterilere karşı en umut verici seçenek olarak ortaya çıkmıştır. Özellikle serin proteazların boronik asitler tarafından inhibe edilebileceği tespit edildikten sonra, bor temelli beta-laktamaz inhibitörlerinin dirençli bakterilere karşı en aktif antibiyotik adayları olarak ortaya çıktığı görülmektedir (Smoum vd., 2012; Kilic vd., 2023). Ayrıca elde edilen bilimsel bulgulara göre bor içeren bileşiklerin sahip olduğu B-O ve B-C kovalent bağlarının yanı sıra B $\rightarrow$ N koordine kovalent bağların varlığı tasarlanan yapıyı C=C çift bağlarına izosterik hale getirmektedir. Böylece, fosfolipidlere amfiliklik bağlanarak membran bozulmasına aracılık ederek Gram-pozitif patojenlere karşı umut verici bir aktivite sağladığı görülmektedir. Bununla birlikte, yapıda B $\rightarrow$ N koordinasyon bağlarının varlığı, birincil alkolün moleküler dipol momentini önemli ölçüde azaltır ve böylece amfilik özelliklerini sınırlandırdığı için bunları sağlık alanında istenilen bileşik durumuna getirmektedir (Haney vd., 2021). Bunun yanında, farklı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip bor bileşiklerinin ENR diazaborin inhibitörlerinin NAD kofaktörünün riboz biriminin uygun pozisyonundaki OH grubu ile kovalent B-O bağları oluşturarak güçlü antibakteriyel etkiler sergilediği bulunmuştur. Öte yandan, zararlı bakterileri hedef alan antibiyotik ilaçlar, hedef bakterinin aktif bölgesine bağlanır ve aktif bölgedeki serin ile kararlı asil-enzim ara maddeleri oluşturarak “intihar” substratları olarak hareket ederek hidrolitik aktiviteyi inhibe eder (Grams vd., 2024; Kilic vd., 2020). Bu noktada bazı dirençli bakteri suşlarına karşı etkili olan ve hazırlanması kolay

küçük bor moleküllerinin PMMA ile kombinasyonunun kullanılması diş protezlerinde antimikrobiyal kaynaklı problemler için yeni bir tedavi yöntemi olabilir. Ayrıca, insan diş protezlerindeki canlı hücreleri öldürmeden bakteri hücrelerini öldüren veya büyümelerini engelleyen, ucuz, toksik olmayan ve hazırlanması kolay yeni küçük moleküllerin keşfedilmesi ihtiyacı, antibiyotiklere direnç geliştiren patojenlerin sayısının artması nedeniyle kritik boyutlara ulaşmıştır. Bu bağlamda diş protez malzemesi olarak günümüzde yaygın olarak kullanılan PMMA malzemesine bor türevlerinin eklenmesi yoluyla hedeflenen bir ürünün ortaya çıkma potansiyeli bulunmaktadır.

Son zamanlarda, bor içeren biyoaktif moleküllerden biyofilm oluşturulması ile bunların patojenik bakterilerde virülans faktörü ekspresyonunun genel düzenleyicisi olduğu bilinen bir düzenleyici süreç olan kворum algılama (QS) üzerindeki rolleri olmuştur. Birçok ölümcül bakteride virülans ve biyofilm gelişimini koordine etmek için yaygın olarak kullanılan QS sistemlerinden elde edilen bulgular, bunun yeni nesil aktif antibiyotik ilaçların keşfi için umut verici bir hedef olduğunu ortaya koymuştur. Yapılan bilimsel araştırmalar sonucunda, bazı fiziksel ve kimyasal faktörlere önemli ölçüde farklı tepkiler gösteren biyofilm bakterileri, serbest bakteri formlarına göre anti-mikrobiyallere karşı 1000 kata kadar daha dirençli olduğunu açıklamışlardır (Yılmaz, 2012; Sayin vd., 2016). Bu bulgular ışığında PMMA malzemesi bor içeren biyofilmlerle kaplanması sonucu bu malzemelerin anti-bakteriyel özelliklerinin iyileştirilmesi de mümkün olacaktır. Bunun için diş ve farmasötik kimya alanında çalışan araştırmacıların ilaç geliştirme programlarında çok çeşitli hastalıkların tedavisi için değerli ajanlar ve uygulanabilir hedefler olarak, farklı kimyasal özelliklere ve antibiyotik kullanımı için yüksek potansiyele sahip yeni bor içeren bileşiklerden türetilmiş biyofilmler üzerinde giderek daha fazla çalışma yapmaları beklenmektedir. Öte yandan, birçok bor içeren ilaç adayının başarılı klinik denemeler sonucunda günlük hayatta kullanılma potansiyelinin ortaya çıkmış olması, dünya çapında birçok ilaç endüstrisi için oldukça umut vericidir. Bu ilaç adayı bor bileşiklerinin metal içermemesi, kimyasal olarak oldukça kararlı olması, sentezinin basit ve çevre dostu yöntemlerle daha kolay olması nedeniyle organik bileşik olarak bor içeren bileşik sınıfına daha yakından ilgi göstermeye başlamıştır.

Sonuç olarak, kimyasal ve fiziksel özellikleri detaylı olarak ortaya konulan bor bileşiklerinin birçok uygulama alanında aktif olarak kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu bileşiklerin sağlık alanındaki uygulamalarına baktığımızda ise bunların ilaç adayı olarak farklı klinik çalışmalarının devam ettiği görülmektedir. Günümüzde bor içeren birçok ilaç ve ilaç destek maddesi olarak birçok ürün eczanelerde yerini alırken, birçok çalışmanın in vitro ve in vivo klinik çalışmaları devam ettiği bildirilmektedir. Ayrıca yeni bor bileşiklerinin de sentezi ve farklı tekniklerle yapısal aydınlatmaları yapılarak farklı sağlık alanlarında test işlemlerinin devam ettiği de bir gerçektir. Bu bileşiklerin sadece antimikrobiyal çalışmalarda değil, yüksek organizmalar açısından, borun embriyonik gelişim, steroid hormon salınımı, beyin fonksiyonu ve insülin homeostazında rol oynadığı teorisi ortaya atılmıştır (Demirci vd., 2015). Bunun yanında, bor içeren bileşiklerin canlı metabolizması üzerindeki en belirgin ve iyi bilinen etkisi muhtemelen kemik ve diş gelişimine katkısıdır. Benzer şekilde, bor eksikliği olan bir diyetin osteoblast yüzeyini azalttığı ve periodontal alveolar kemiğin hem bukkal hem de lingual taraflarında kemik oluşumunu engellediği açıklanmıştır (Demirci vd., 2015; Gorustovich vd., 2008). Bir başka çalışmada ise insan diş germ kök hücrelerinin bor ile tedavi edildikten sonra osteojenik ve odontojenik farklılaşma kapasitelerinde artış olduğu gösterilmiştir (Taşlı vd., 2013). Bor içeren bileşiklerin her ne kadar kesin olarak etki mekanizması bilinmese de bunların trigliserid, glikoz, üre, kreatinin, steroid hormon seviyelerine ve çeşitli metabolik enzimlerin aktivitesine etki ettiği de gözlenmiştir. Bunun yanında, bu hastalıklar bağlamında bor türevlerinin kilo verme üzerindeki olası etkisini ortaya koymak üzere hayvan ve insanlar üzerinde klinik çalışmaları yapıldığı görülmektedir (Sarı ve Soysal, 2021). Yukarıda verilen bu bilgiler ışığında, bor içeren bileşiklerin her ne kadar sağlık ve diğer birçok uygulama alanı olsa da, bildiğimiz kadarıyla organik bor bileşiklerinin diş protez maddesi olarak yaygın olarak kullanılan PMMA malzemesine dop edildiği ile ilgili çalışmalara pek rastlanmamıştır. Bu tez çalışmasında PMMA referans malzemesi alınarak, bu yapıya farklı bor türevleri dop edilmiştir. Daha sonra farklı analitik tekniklerle yapının değişip değişmediği incelenmiştir. Daha sonra bunların bazı biyolojik özellikleri araştırılarak standart olarak kabul edilmiş PMMA malzemesi ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen bilimsel bulgular çerçevesinde bor katkılı PMMA kompozit malzemelerin üzerinde daha kapsamlı çalışmaların yapılmasının gerekli olduğu sonucuna varılmıştır. Çünkü yapıda giren bor

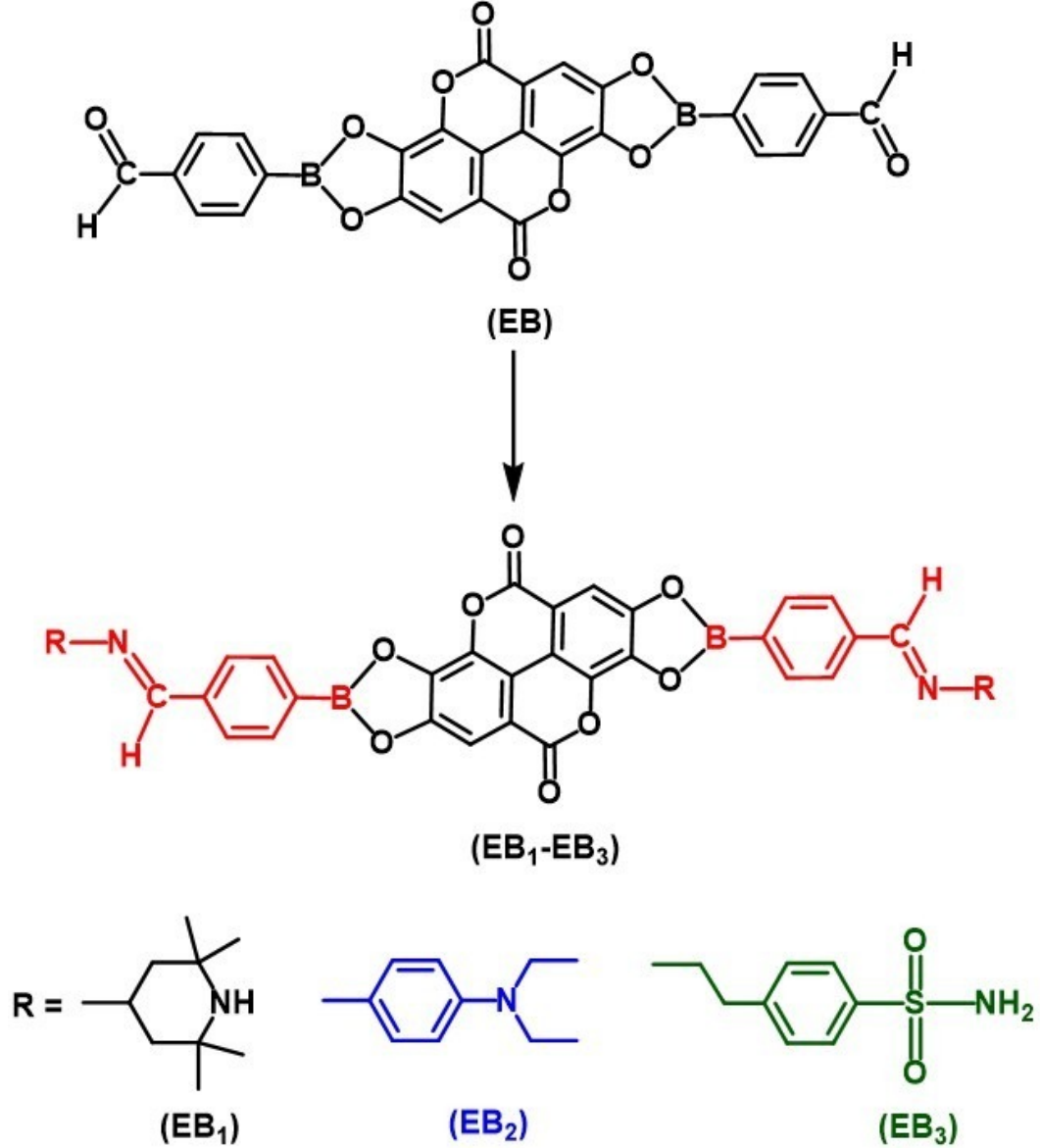
çekirdekleri sayesinde protez malzemesi olarak kullanılan PMMA yapısının daha kararlı olması ve ağızda oluşması muhtemel bazı problemlerin üstesinden gelinmesi ciddi katkıları olabileceği tahmin edilmektedir. Ülkemizin bor rezervleri bakımından dünyada birinci sırada olduğu düşünüldüğünde ve 2008 yılında bor rezervlerinin katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülmesi perspektifinde bakıldığında, bor ve türevlerinin çeşitli uygulamalarda yeni kullanım alanları bulmak daha da önemli hale gelmiştir. Bu bağlamda PMMA malzemesinin bor ile katkılanması sonucu üretilmesi hedeflenen katma değeri yüksek diş protez malzemesinin geliştirilmesi hedefi oldukça ilgi çekecektir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Hazırlanan bu tez için yapılan detaylı kaynak araştırmasında eşsiz kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip bor bileşiklerinin ilaç adayı veya biyolojik ajan olarak kullanıldığı çok sayıda çalışmanın var olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan, farklı hastalar için diş protezlerinin tasarımı, obtüratör ve ortodontik tutucular ile başka amaçlar için kullanılan protezlerin hazırlanmasında sahip oldukları düşük yoğunluk, görünüm estetiği, uygun maliyetli olması, kolay işlenebilirliği ve özelleştirilebilir fiziksel ve mekanik özellikleri gibi benzersiz özellikler nedeniyle polimetilmetakrilat (PMMA)'nın yer aldığı çalışmaların literatürde var olduğu tespit edilmiştir. Ancak diş protez malzemesi olarak yaygınca kullanılan PMMA'ya güçlü antibakteriyel ve antioksidan özelliklere sahip organik bor bileşiklerinin katkılандığı ve bunların bazı biyolojik özelliklerinin incelendiği çalışmaların olmadığı veya nadir olabileceği görülmüştür. Bu bağlamda ülkemizin bor kimyası için belirlediği stratejiye uygun yeni uygulama alanları bulmak ve var olan boşluğu doldurmak için farklı bor türevleri ile katkılandırılmış PMMA malzemeleri tasarlandı ve daha sonra bazı biyolojik özellikler incelenmiştir. Burada bor bileşikleri ve polimetil metakrilat (PMMA) içeren literatür çalışmalarının kısa bir değerlendirmesi verilmiştir.

Yıldırım ve arkadaşlarının yaptıkları bir çalışmada, bor içeren bileşiklerin terapötik ajan veya yeni ilaç adayı olarak sahip olduğu etkinlik, basit sentezleri ve ekonomik erişilebilirlikleri nedeniyle tıbbi kimya alanında aktif bir araştırma konusu olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca yapılan bu çalışma sonucunda eşsiz kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip bor bileşikleri ile biyolojik olarak oldukça aktif bir bileşik olarak bilinen ellagic asitin kombinasyonu sonucu oluşturulan yapıların farmasötik uygulamalarda ilaç adayı olma potansiyelini tartışmışlardır (Şekil 2.1). Yapıları FT-IR, ¹H NMR, ¹³C NMR, ¹¹B NMR, LC-MS/MS, UV-Vis, elementel analiz ve erime noktası analizleri ile detaylı olarak ortaya konulan bu bileşiklerin antioksidan, AChE inhibisyonu, anti-kanser, anti-bakteriyel ve anti-biyofilm aktiviteleri incelenmiştir. Her ne kadar etki mekanizması tam olarak bilinmese de, bu çalışma kapsamında sentezlenen bor-ellagic asit hibrit yapılarının biyolojik etkilerinin sinerjik etki nedeniyle önemli ölçüde arttığı tahmin edilmektedir. Bu noktada elde edilen deneysel bulgular sonucunda sentezlenen ellagic asit temelli bu bor bileşiklerinin

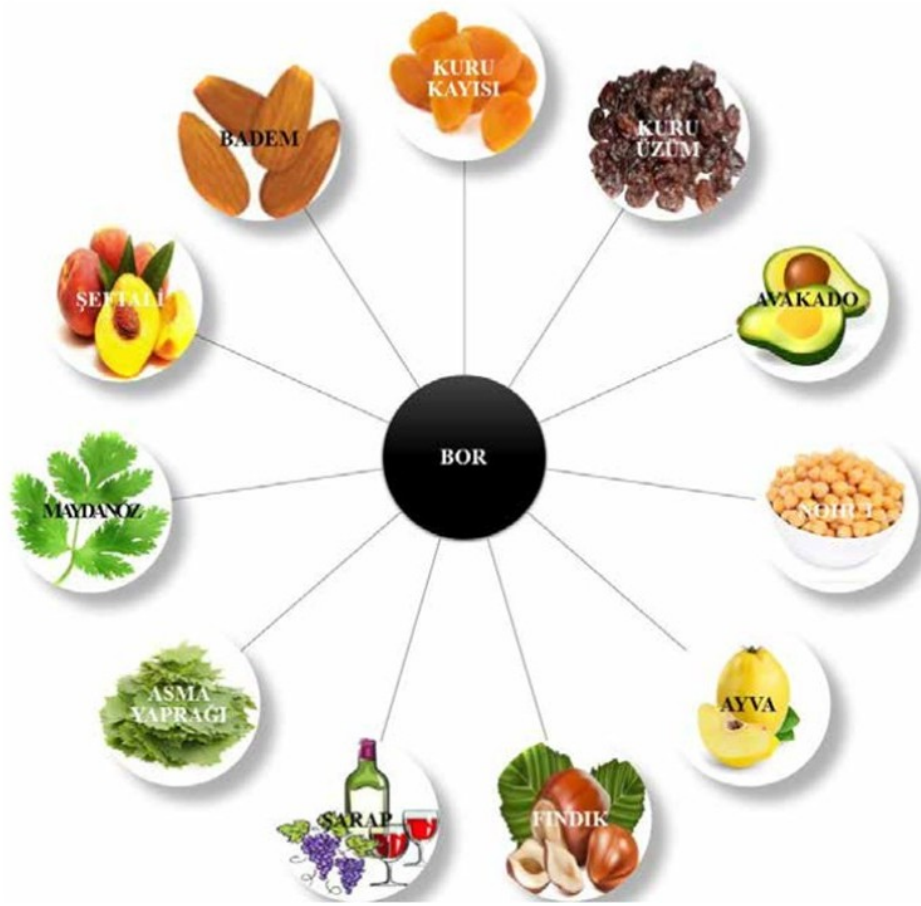
önemli ölçüde biyoaktif özellikler sergilediği tespit edilmiştir. Diğer taraftan sentezlenen bu biyoaktif bor-ellagic asit hibrit bileşikler, çeşitli biyolojik hedeflerde terapötik potansiyel gösterdiği moleküller doking çalışmaları ile desteklenmiştir (Yildirim vd., 2025).



Şekil 2.1. Yeni bir biyolojik ajan olarak bor-ellagic asit hibrit moleküller (Yildirim vd., 2025).

Kuru ve Yarat çalışmalarında bor rezervleri bakımından dünyada en zengin ülke konumunda bulunan Türkiye’de çıkarılan bu bileşiklerin çoğunun farklı bileşikler halinde bulunduğunu açıklamışlardır. Bu çalışmadan elde edilen bulgulara göz önüne alındığında,

mevcut bor bileşiklerinin genellikle cam, seramik, temizlik, beyazlatma, kozmetik, metalurji, nükleer, bilgisayar ve uçak sanayi, enerji sektörü, tarım ve sağlık alanlarında yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Bu kullanım alanları yanında son dönemlerde yapılan çalışmalarda borun biyolojik önemi ve insan sağlığı üzerinde ciddi etkileri olabileceği ortaya konulmuştur. Sağlık alanında özellikle borun mineral ve hormon metabolizmasında, kemik gelişiminde, antioksidan savunma sisteminde, yara iyileşmesinde, enerji metabolizmasında ve immün sistemde çok önemli rolü bulunduğu vurgulanmaktadır. Sağlık alanında oldukça önemli bir yere sahip olan bor ve türevlerinin besin olarak en çok badem, kuru kayısı, şeftali, kuru üzüm, avakado, nohut, ayva, fındık, şarap, asma yaprağı ve maydanozda var olduğu görülmektedir (Şekil 2.2) (Kuru ve Yarat, 2017).



Şekil 2.2. Bor bileşiklerinin en fazla bulunduğu besin türleri (Kuru ve Yarat, 2017).

Sögüt ve Acar sundukları bir çalışmada sağlıklı ve hasta olmayan tüm memelilerin metabolizmalarında önemli mikro besin olarak bor bileşiklerinin önemini ortaya koymuşlardır

(Söğüt ve Acar, 2020). Sunulan bu çalışmaya göre bor bileşiklerinin özellikle;

- Kemiklerin yapısının korunması, büyümesi ve bakımında,
- Kalsiyum, magnezyum, fosfor ve D vitamini gibi bazı vücut minerallerinin düzenlenmesinde,
- Vücudun östrojen ve testosteron kullanımını etkilediği,
- Anti-inflamatuar etki gösterdiği ve romatoid artrit ile ilişkili olduğu,
- Süperoksit dismutaz, katalaz ve glutatyon peroksidaz gibi antioksidan enzimlerin düzeylerini artırdığını,
- Elektriksel beyin aktivitesini, bilişsel performansı ve yaşlılarda kısa-dönem hafızayı geliştirdiğini,
- Yara iyileştirici ve antimikrobiyal etkileri var olduğunu,
- Prostat, akciğer, meme kanserleri, beyin tümörleri üzerinde koruyucu ve tedavi edici etkileri olduğunu bildirilmiştir.

Ayrıca bor bileşiklerinin tedavi amaçlı alınması durumunda uygun dozlarda alınmasının gerektiği, aşırı dozda bor alınması durumunda, erişkinlerde baş ağrısı, kusma, ishal, psikolojik sorunlar; çocuklarda havale ve beyin zarı tahribi yapabileceği rapor edilmiştir (Söğüt ve Acar, 2020). Bu bağlamda yapılan çalışmalar sonucunda gıda destek ürünü olarak bor içeren birçok ürün ticari olarak pazarda yerini almıştır (Şekil 2.3).

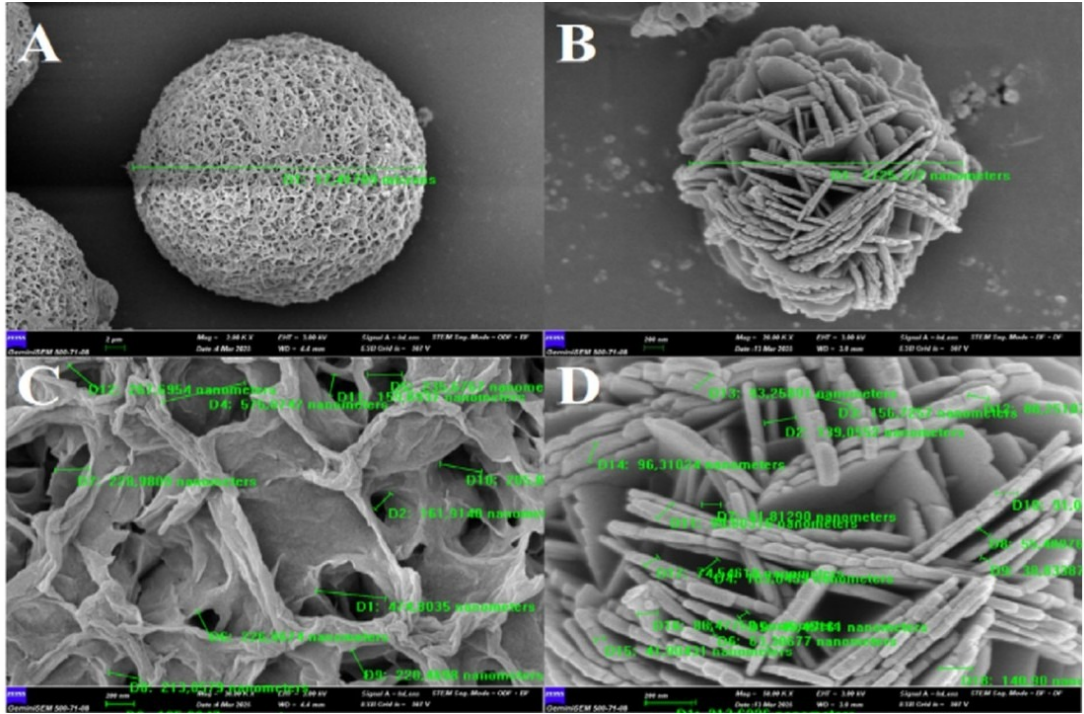


Şekil 2.3. Bor içeren bazı gıda destek ürünleri

Sarı ve Soysal bor yapılarının biyolojik sistemler üzerindeki etkisini ortaya koymak için bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada özellikle günümüzün en önemli halk sağlığı problemlerinden biri olan obezitenin önlenmesi için bor bileşiklerinin önleyici etkisinin olup olmayacağını tartışmışlardır. Bu çalışmada bor moleküllerinin canlılardaki biyolojik rolü henüz tam olarak açıklığa kavuşmadığı, ancak trigliserid, glikoz, üre, kreatinin, steroid hormon seviyelerini ve çeşitli metabolik enzimlerin aktivitesini değiştirebileceğini açıklamışlardır. Ayrıca bu çalışmada borun kilo verme üzerindeki olası etkisini ortaya koymak üzere hayvan ve insan çalışmaları yürütüldüğünü de ifade etmişlerdir (Sarı ve Soysal, 2021).

Yıldırım ve çalışma ekibi hibrit nano çiçek (hNF'ler) yapısındaki hedef bileşiklerini üretmek için organik bileşen olarak quercetin boronat ve inorganik bileşenler olarak çinko (Zn^{2+}) ve bakır (Cu^{2+}) iyonları kullanmışlardır (Şekil 2.4). Yapısal karakterizasyon için sırasıyla emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FE-SEM), enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDX), X-ışını difraksiyonu (XRD), Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR) ve element haritalama teknikleri (EDX-mapping) kullanılmıştır.

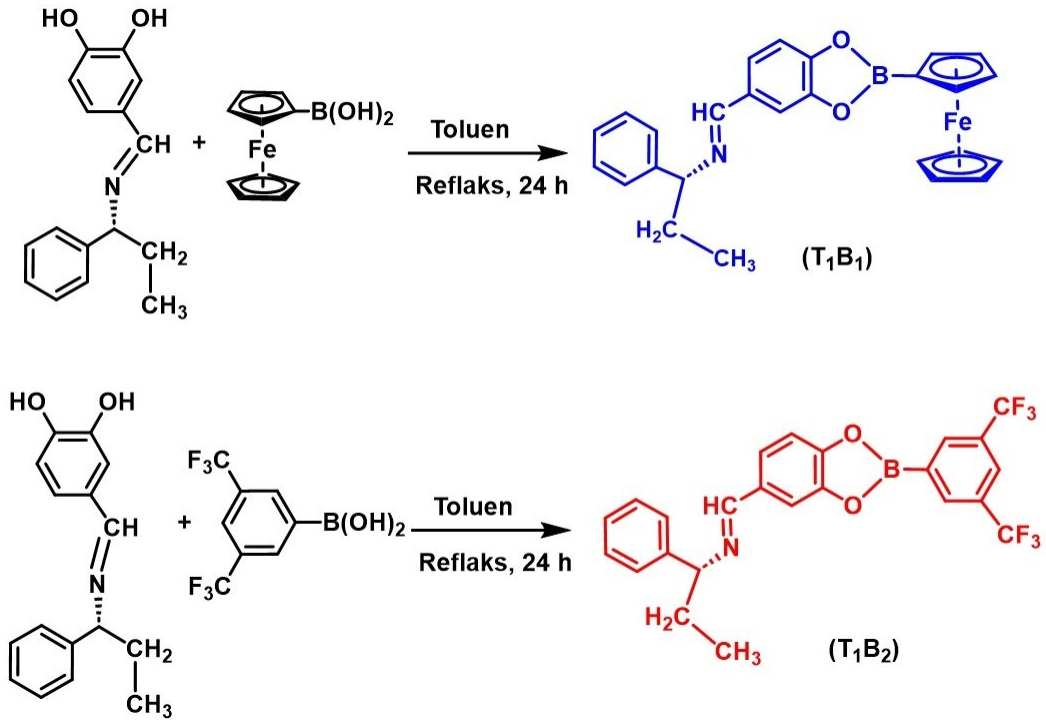
Yapıları detaylı olarak aydınlatılan bu malzemelerin biyoaktivitelerini değerlendirmek için, antioksidan özellikleri, asetilkolinesteraz (AChE) enzim inhibisyonu, insan akciğer adenokarsinomu (A549) hücre hattına karşı antikanser etkileri ve *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), *Enterococcus faecalis* (*E. faecalis*), *Escherichia coli* (*E. coli*) ve *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*) suşları ile ilaca dirençli metisiline dirençli *S. aureus* (MRSA) ve çoklu ilaca dirençli *E. coli* (MDR *E. coli*) suşları üzerinde çalışılmıştır. Diğer taraftan, hem deneysel verileri desteklemek hem de hedef ilaç adayı olarak etkinliğini ortaya koymak için sentez sırasında kullanılan ligand üzerinde moleküler docking çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında bor içeren hibrit nano çiçek (hNF) yapıların güçlü antioksidan, asetilkolinesteraz (AChE) enzim inhibisyonu ve anti-kanser etkilere sahip olduğu görülmüştür (Yildirim vd., 2025).



Şekil 2.4. İnorganik bileşenler olarak çinko (Zn^{2+}) ve bakır (Cu^{2+}) yer aldığı hibrit nano çiçekler (Yildirim vd., 2025)

Oksak ve Kilic yaptıkları çalışmada günümüzde oldukça sinsi bir şekilde ilerleyerek geç evrede teşhis edilen akciğer kanserinde hastalığın ortaya çıkması, hedef uygun ilaç direncinin gelişmesi veya klasik tedavi etkinliğinin sınırlı olmasından dolayı bu hastalığın

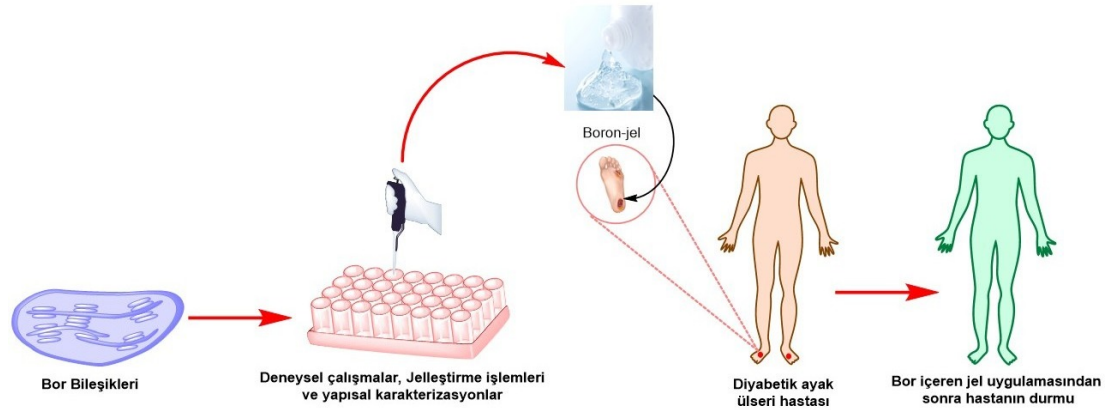
tedavisi için uygun yöntem henüz tam olarak ortaya konulmadığını açıklamışlardır. Bu noktada yeni çözüm önerileri sunmak için yeni biyoaktif ilaç adayı bileşiklerin geliştirilmesi gerekmektedir. Günümüzde sıklıkla kullanılmaya başlanan bor temelli bileşiklerin kanser türlerinde gösterdikleri sitotoksik veya genotoksik etkiden dolayı bu hedef için uygun aday olabileceği tahmin edilmektedir. Bu nedenle çalışmada ilk kez kiral grubu bor temelli bileşiklerin insan alveolar hücre adenokarsinomu olan A549 hücre hattında sitotoksik etkisi incelenmiştir. A549 akciğer kanseri hücrelerinde biyoaktif ajan olarak kiral grup içeren bor bileşiklerinin sitotoksik etkilerini incelemiştir (Şekil 2.5). Yapılan bu çalışma sonucunda A549 hücrelerine uygulanan (T_1B_1) ve (T_1B_2) kodlu bor bileşiklerinin artan zamana ve konsantrasyonlara bağlı olarak proliferasyonunu azalttığını ve sitotoksik etki oluşturduğunu ifade etmişlerdir. Elde edilen bu bulgular sonucunda yeni sentezlenmesi hedeflenen bor bileşiklerinin kanser hücrelerindeki biyokimyasal ve moleküler mekanizmalar üzerinde etki mekanizmalarının daha detaylı açıklanması, kanserle mücadelede ve tedavisinde rolünün belirlenmesi açısından önemli olduğu bildirilmiştir (Oksak ve Kilic, 2025).



Şekil 2.5. A549 hücrelerine uygulanan (T_1B_1)~ve (T_1B_2)~kodlu bor bileşiklerinin sentezi

Soriano-Ursúa ve çalışma arkadaşlarının sundukları bir çalışmada bor içeren bileşikler

diyabet ve komplikasyonlarının tedavisi için uygun aday olabileceğini tartışmışlardır. Son yapılan çalışmalar ışığında diyabet teşhisi konmuş kişilerin ayak ülserlerine uygulanan borik asit içeren farmasötik formülasyonların (genellikle jeller) tasarım ve geliştirilmesinde iyileşme olduğunu açıklamışlardır (Şekil 2.6). Bu çalışmada borik asidin önerilen etki mekanizmaları arasında antimikrobiyal etkiler, iltihaplanma ve metabolizmanın düzenlenmesi ve hücre farklılaşmasının indüksiyonu yer almaktadır. Öte yandan, son zamanlarda yapılan çalışmalardan elde edilen verilere göre, boronik asitlerin güçlü antibakteriyel ve antifungal bileşikler, etkili inflamasyon modülatörleri, vasküler rejenerasyon indükleyicileri ve iyileşme indükleyicileri olduğunu ve formülasyonlarda yapışma, etkileşim ve kompleks oluşumu gibi çekici özellikler kazandırdığını açıklamışlardır. Bu çalışmanın sonucunda borik asit temelli yeni geliştirilecek kombinasyonlar sonucunda insanlarda diyabetik ülserlerin tedavisinde ek ve tamamlayıcı bir tedavi olarak kullanılabileceği önerilmiştir. Gelecek zaman dilimlerinde yapılacak yeni çalışmalarda ayak ülserlerinde kullanılan bor içeren bileşiklerin güvenliği ve bu formülasyonların diyabetik ayak ülseri hastalarının tedavisinde mevcut protokollerde tamamlayıcı tedavi olarak rolünün de belirlenmesi gerektiği açıklanmıştır (Soriano-Ursúa vd., 2025).

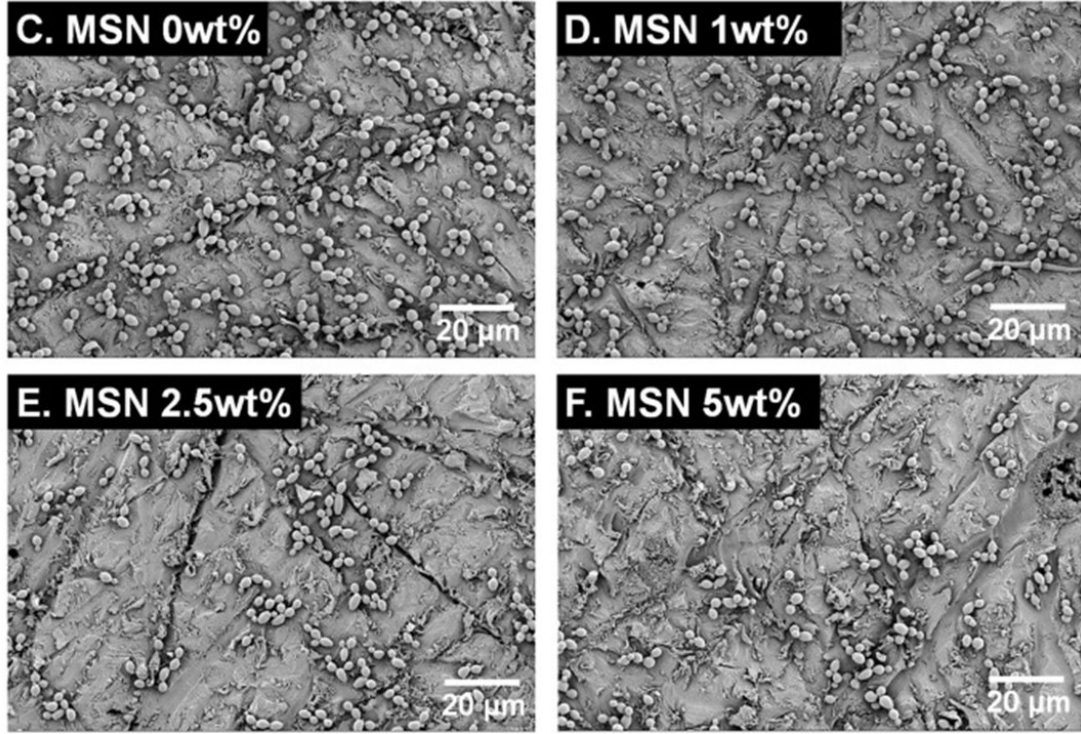


Şekil 2.6. Bor bazlı jellerin diyabetik ayak ülserleriyle ilişkili mikroorganizmalar üzerindeki etkileri (Soriano-Ursúa vd., 2025).

Rao ve arkadaşları antimikrobiyal monomerlerle kopolimerize edilmiş polimetil metakrilat (PMMA) ısı ile polimerize olan protez taban reçinesinin biyolojik uyumluluğunu araştırmışlardır. Burada zebra balıklarının embriyoları kullanılarak yapılan toksisite

ve genotoksisite çalışmalarında, monomerin PMMA'ya dahil edilmesinin toksisiteyi artırmadığını açıklamışlardır. Elde edilen bu sonuçlar bir saat sonraki dölleme ile de doğrulanmıştır. Bu çalışma sonucunda modifiye PMMA örnekleriyle işlem görmüş zebra balığı embriyoları olumlu biyolojik özellikler göstermiş ve önemli sitotoksisite ve genotoksisite sergilediği bulunmuştur. Deri altına implante edilen modifiye PMMA, Wistar albino sıçanlarında herhangi bir önemli hematolojik, biyokimyasal ve histopatolojik değişikliğe neden olmamış, böylece DHMAI ve DDMAI ile birleştirilmiş PMMA ısı ile polimerize olan protez taban reçinesinin diş uygulamaları için biyouyumluluğu doğrulanmıştır. Ayrıca, deri altına yerleştirilen modifiye PMMA'nın, Wistar sıçanlarında biyokimyasal, hematolojik veya histopatolojik değişikliklere yol açmadan biyolojik olarak uyumlu olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte, DHAMI ve DDMAI diş protezi taban malzemelerine antimikrobiyal aktivite kazandırmak ve böylece diş protezi hastalığının görülme sıklığını en aza indirmek için alternatif malzemeler olabileceği belirtilmiştir (Roa vd., 2024).

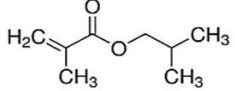
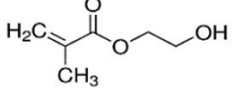
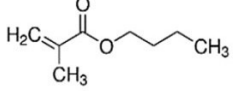
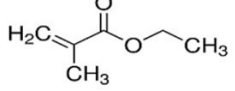
Çıkartılabilir protez tabanlarında veya ortodontik cihazlarda sıklıkla kullanılan poli(metil metakrilat) (PMMA) nispeten zayıf antimikrobiyal özelliklere sahip olmasından dolayı ağız enfeksiyonlarını hızlandırdığı ve istenmeyen kokulara neden olduğu bilinmektedir. Lee ve ekibi yayınladıkları bir çalışmada mezogözenekli silika nanot taşıyıcıların entegrasyonu yoluyla uzun süreli antimikrobiyal özellik gösterebilen poli(metil metakrilat) (PMMA) malzemesini geliştirmişlerdir (Şekil 2.7). Bu çalışmada PMMA'ya dahil edilen mezogözenekli silika nanopartiküllerin (MSN) test edilen seviyeleri (0,5, 1, 2,5 veya 5 ağırlık%) arasında olduğu ve bunlar arasında yalnızca %5'lik seviye eğilme dayanımını azalttı ($p < 0,05$), oysa eğilme modülü önemli ölçüde azalmadığı ($p > 0,05$) açıklanmıştır. Diğer taraftan, elde edilen deneysel sonuçlara göre Amfoterisin B'nin MSN içeren PMMA'ya yüklenmesinden sonra elde edilen uzun vadeli antimikrobiyal performans, MSN içeren PMMA reçinesinin potansiyel klinik kullanılabilirliğini göstermektedir. Bu çalışma sonucunda MSN içeren PMMA'nın antimikrobiyal protez reçine tabanlarında veya ortodontik cihazlarda etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir (Lee vd., 2016).



Şekil 2.7. MSN’lerin poli(metil metakrilat) (PMMA) yüklenmesi sonucu elde edilen SEM görüntüleri (Lee vd., 2016)~

Elshereksi ve çalışma arkadaşları polimetil metakrilat (PMMA) protez taban reçinesi için iyileştirme protokolleri için geniş bir derleme çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada PMMA’nın düşük maliyeti, estetiği, hafifliği, yenilenebilir ve işlenebilir özelliklerinden dolayı özellikle protez taban yapımında yaygın olarak kullanılan bir polimer olduğu detaylı olarak açıklanmıştır. Ancak PMMA protez malzemesinin diş restorasyonlarının mekanik ve fiziksel özelliklerini karşılamak için ideal olmadığı belirtilmiştir. PMMA kopolimerizasyonunda kullanılan en yaygın ko-monomerlerin ise isobutil metakrilat, 2-hidroksi metakrilat, butil metakrilat ve etil metakrilat olduğu ifade edilmiştir (Şekil 2.8). PMMA malzemesini sentezlemek için kullanılan termal polimerizasyon yöntemi her ne kadar oldukça popüler olsa da, uzun kürleme süresi gibi bazı dezavantajlarının da olduğu açıklanmıştır. Bu yüzden umut vadeden sonuçlar elde etmek için polimerizasyon döngüsünün ve polimerizasyon sonrası işlemin doğru seçilmesi gerektiği vurgulanmıştır. PMMA’nın otoklav polimerizasyonunda basınç, ilk polimerizasyonu hızlandırmanın yanı sıra gözenekleri ve kalan monomer seviyesini azaltarak eğilme dayanımını iyileştirmede

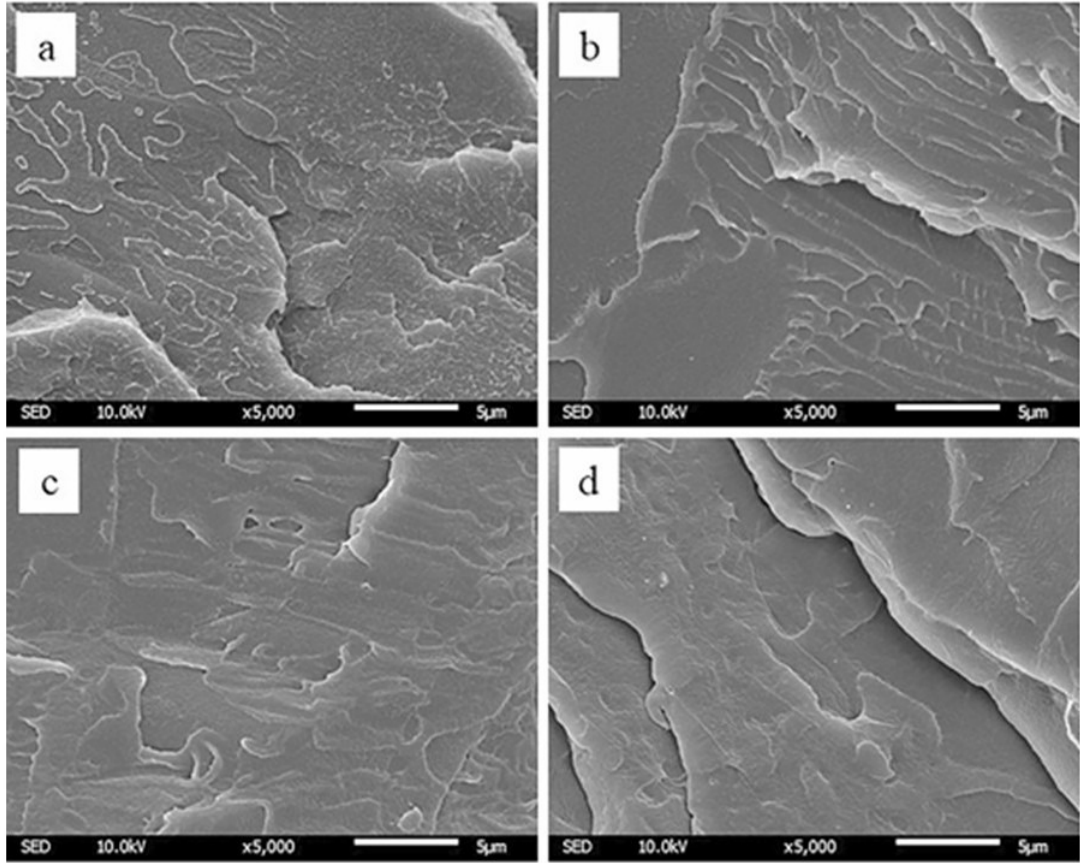
çok önemli bir rol oynadığı görülmüştür. Ayrıca ultrasonun yoğun yerel ısıtma, daha yüksek basınçlar ve çok kısa süreler oluşturarak geleneksel kimyasal reaksiyonları hızlandırabileceği de ifade edilmiştir. Diğer taraftan, polimerizasyon sonrası işlem, otoklav işlemi, ultrasonik işlem ve gama ışınlamasının PMMA performansı üzerindeki etkileri ve bu işlemlerin fonksiyonel özellikler ve klinik ömür üzerindeki olumlu etkileri de bu çalışmada ortaya konulmuştur (Elshereksi vd., 2022).

Ko-monomer	Kısaltma	Kimyasal yapılar	Molekül ağırlık (g/mol)
İsobutil metakrilat	IBMA		142.2
2-hidroksi metakrilat	HEMA		130.14
Butil metakrilat	BMA		142.1956
Etil metakrilat	EMA		114.14

Şekil 2.8. PMMA kopolimerizasyonunda kullanılan yaygın ko-monomerler (Elshereksi vd., 2022).

Charasseangpaisarn ve arkadaşları diş protez uygulamaları için sürdürülebilir bir biyomalzeme olarak poli(metil metakrilat)/poli(laktik asit) karışımının geliştirilmesi üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada, çevre kaygıları nedeniyle poli laktik asit (PLA) üretimde giderek daha popüler hale geldiği ve poli(metil metakrilat) (PMMA) ile karşılaştırıldığında, PLA'nın düşük erime ve cam geçiş sıcaklığı sergilediği açıklanmıştır. Bu nedenle bu polimerlerin özelliklerini geliştirmek için PMMA/PLA karışımı kullanıma sunulmuştur. Ayrıca burada mekanik özellikleri, fiziksel özellikleri ve biyouyumlulukları dikkate alınarak, potansiyel diş uygulamaları için en uygun PMMA/PLA karışımlarının ne olacağı üzerinde tartışılmıştır. Bu malzemeyi hazırlamak için PMMA/PLA karışımları, çift vidalı ekstrüder kullanılarak eritilip karıştırılarak üretilmiş ve daha sonra termoplastik polimer boncuklar haline getirilmiştir (Şekil 2.9). Daha sonra saf polimerler ile polimer karışımları, eğilme özellikleri, karışabilirlik,

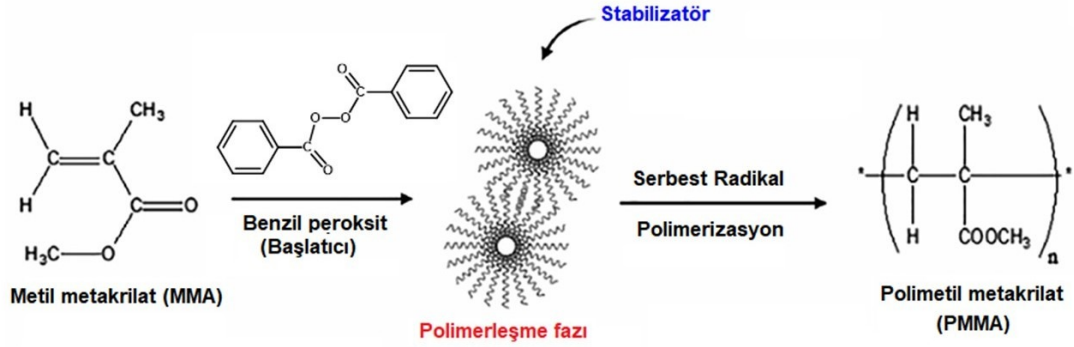
artık monomer, su emme, suda çözünürlük, bozunma ve biyoyumluluk açısından detaylı olarak incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen verilere göre PMMA içeriğinin artmasıyla PMMA/PLA karışımlarının Tg değerinin arttığı görülmüştür. Bununla birlikte, PMMA oranı azaldıkça PMMA/PLA karışımlarının diğer parametrelerinin de iyileştiği tespit edilmiştir. Bu nedenle, PMMA/PLA karışımlarının optimum oranı kapsamlı diş uygulamaları için yeni ve sürdürülebilir bir biyomalzeme olarak kullanılma potansiyeline sahip olduğu açıklanmıştır (Charasseangpaisarn vd., 2023).



Şekil 2.9. Polimer boncukların kriyojenik kırılma yüzeyinin bazı SEM görüntüleri (Charasseangpaisarn vd., 2023).

Kaur ve Thakur, diş hekimliğinde protez işlemlerinde yaygın olarak kullanılan poli(metil metakrilat) (PMMA) polimerinin geniş uygulamalarını detaylı olarak incelemişlerdir. Bu çalışmada PMMA protez malzemesinin son yıllarda oldukça ilgi çektiğini ve çeşitli uygulama alanlarında en verimli ve gelecek vadede polimerlerden biri olarak kabul edildiğini açıklamışlardır (Şekil 2. 10). Yapılan bu çalışmada PMMA ve PMMA bazlı

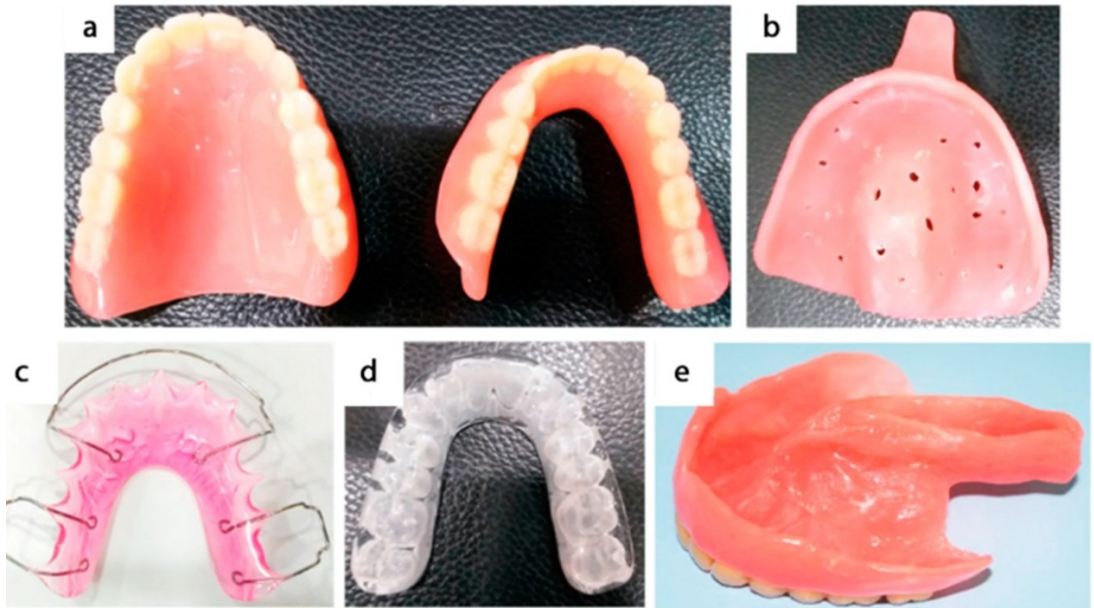
malzemelerin diş hekimliği alanındaki uygulamalarının neler olduğu ele alınmış olup, PMMA'nın kemik çimentosu, protez taban reçinesi, dolgu maddesi ve taban malzemesi olarak kullanımı ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bu derleme çalışmasında ayrıca implantlar veya uzun açıklıklı köprüler de dahil olmak üzere geçici diş restorasyonlarında poli(metil metakrilat) kullanımı da incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda bazı olumsuzluklara rağmen, PMMA polimerinin diş ortodontik uygulamalarda ve nakillerinde en uygun malzemelerden biri olduğu vurgulanmıştır. Bununla birlikte, çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanılan çok çeşitli PMMA bazlı biyokompozitler, nanokompozitler, dolgu maddeleri, protez reçineleri ve kemik çimentoları mevcut olduğu ifade edilmiştir. Sonuç olarak, bu malzemenin olağanüstü özellikleri sayesinde çok yönlü bir diş malzemesi olarak kullanım potansiyeli oldukça yüksek olduğu açıklanmıştır (Kaur ve Thakur, 2022).



Şekil 2.10. Metil metakrilatın polimerizasyonu ile poli(metil metakrilat) (PMMA) polimerinin oluşumu (Kaur ve Thakur, 2022)

Yanıkoğlu ve Alawawda protez diş hekimliğinde PMMA'nın iyileştirilmesi üzerine bir literatür incelemesi yapmışlardır. Yapılan bu incelemeye göre 1930'larda piyasaya sürülmesinden bu yana PMMA, protez dişlerin yapımında kullanılan başlıca malzeme olduğu açıklanmıştır (Şekil 2.11). Diş protezlerinde ve başka uygulamalarda PMMA'nın oldukça yaygın kullanılma gerekçesi ise bunların uygun fiyatlı, görsel olarak hoş ve tıbbi olarak uyumlu olması ile açıklanmıştır (Alqutaibi vd., 2023). Bu avantajların yanında PMMA'nın doğasında özellikle var olan düşük eğilme dayanımı ve darbe direnci gibi kusurlardan kaynaklı bu iki önemli eksikliği gidermek için yeni çözümlerin ortaya atılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda son dönemlerde gümüş (Ag), zirkonyum oksit (ZrO_2) ve

titanyum dioksit (TiO_2) nanopartiküllerinin PMMA'ya eklenmesi sonucu hedef diş protez malzemesinin eğilme dayanımı, sertlik ve aşınma direnci gibi mekanik özelliklerin daha da artırıldığı belirtilmiştir. Ayrıca, PMMA'nın darbe dayanımını ve dayanıklılığını daha da artırmak için malzemeye sentetik (polyester veya karbon gibi) veya doğal (sisal veya bambu gibi) lifler eklenmesiyle bu malzemenin daha uygulanabilir olduğunu ifade etmişlerdir. Diğer taraftan, farklı malzemelerle modifiye edilmiş PMMA'nın hem performansı iyileştirme hem de klinik ortamda kullanım ömrünü uzatma açısından diş uygulamalarında hâlâ büyük bir potansiyele sahip olduğu bu çalışma sonucunda belirtilmiştir (Yanikoğlu ve Alawawda, 2025).

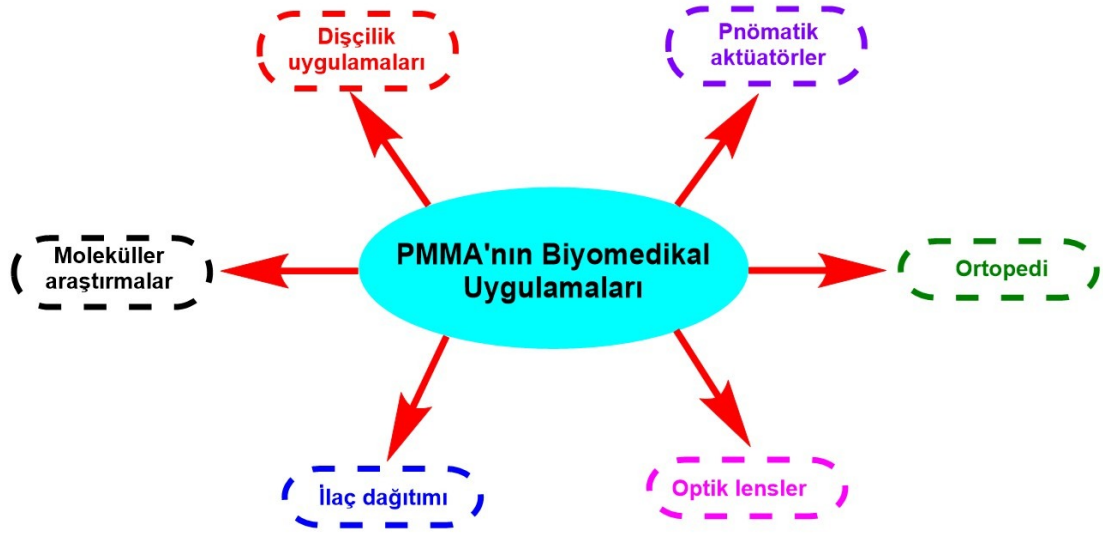


Şekil 2.11. Protez taban PMMA malzemelerinin uygulamaları (Alqutaib vd., 2023)

Chen ve araştırma grubu akrilik protez taban reçinesinin çeşitli liflerin katılmasıyla güçlendirilmesi üzerinde bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu amaç için akrilik protez taban reçinesi üç farklı elyaf türüyle takviye edildikten sonra akrilik reçinenin mekanik özelliklerindeki iyileşmeler olup olmadığı değerlendirilmiştir. BU çalışmada polyester lif (PE), kevlar lif (KF) ve cam lif (GF) 2, 4 ve 6 mm uzunluklarında kesilmiş ve %1, %2 ve %3 (ağırlık/ağırlık) konsantrasyonlarında eklenmiştir. Elde edilen sonuçlar, darbe dayanımının özellikle %3 ve 6 mm uzunluğundaki PE'nin diğer formülasyonlardan önemli ölçüde daha güçlü olmasıyla birlikte, lif uzunluğu ve konsantrasyonuyla artma eğiliminde olduğunu

göstermiştir. Buna karşın, farklı formülasyonlar kullanıldığında, lif içermeyen kontrol örneğine kıyasla eğilme dayanımında önemli bir değişiklik gözlemlendiği belirtilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlara göre daha yüksek mukavemet için akrilik reçineyi güçlendirmek üzere en uygun formülasyonun %3 oranında 6 mm uzunluğunda PE liflerinin eklenmesiyle elde edildiği belirlenmiştir (Chen vd., 2002).

Zafar hazırladığı bir derleme çalışmasında polimetil metakrilatın (PMMA) protez uygulamaları üzerinde güncel bilgileri tartışmıştır. Bu çalışma protez diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılan çok çeşitli polimerlerin olduğunu açıklamıştır. Bunlar arasında polimetil metakrilatın (PMMA), yapay dişlerin, protez tabanlarının, protezlerin ve obtüratörlerin yapımı; ortodontik tutucuların ve geçici veya provizyonel kronların üretimi; ve diş protezlerinin onarımı dahil olmak üzere protez diş uygulamalarında yaygın olarak kullanıldığını belirtilmiştir. PMMA'nın diş hekimliğindeki diğer uygulamaları arasında ise oklüzal splintler, baskılı veya frezelenmiş modeller, tedavi planlaması için kalıplar ve araştırma amaçlı diş örneklerinin gömülmesi yer aldığı belirtilmiştir. PMMA'nın düşük yoğunluğu, estetiği, maliyet açısından uygunluğu, kolay işlenebilirliği ve özelleştirilebilir fiziksel ve mekanik özellikleri gibi benzersiz özellikleri, onu bu diş uygulamaları için uygun ve popüler bir biyomalzeme haline getirdiğini açıklamıştır (Şekil 2. 12). Bu çalışma kapsamında ayrıca PMMA'nın özelliklerini (termal özellikler, su emme, çözünürlük, darbe dayanımı, eğilme dayanımı) daha da iyileştirmek için son zamanlarda çeşitli lifler, nanopartiküller ve nanotüpler kullanılarak birçok kimyasal modifikasyon ve mekanik takviye tekniği rapor edilmiştir. Bu makale, PMMA biyomalzemelerinin özelliklerini ve uygulamalarını, özellikle protez uygulamalarına odaklanarak kapsamlı bir şekilde incelemektedir. Ayrıca, PMMA'nın fiziksel ve mekanik özelliklerini geliştirmek için yapılan son güncellemeler ve modifikasyonlar da ele alınmaktadır (Zafar, 2020).

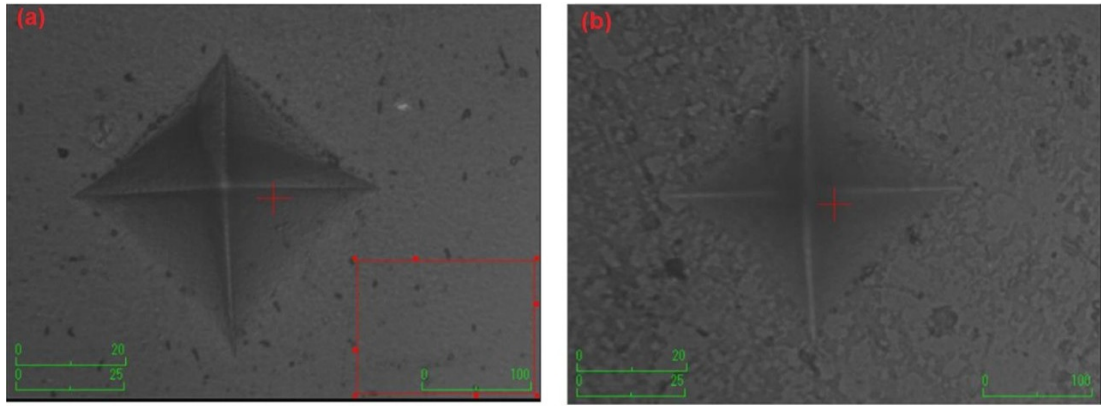


Şekil 2.12. PMMA'nın yaygın biyomedikal uygulamaları (Zafar, 2020).

Tzanakakis ve arkadaşları, geleneksel, 3D baskılı ve frezelenmiş yapay dişlerin tam protezler için reçine yüzeylere yapışması ile ilgili oldukça detaylı bir araştırma yapmışlardır. Bu çalışmanın amacı ise geleneksel ve dijital yöntemlerle üretilen protez reçine alt tabakalarına yapay dişlerin yapışması konusunda güncel bilgiler sunulması olarak verilmiştir. Bu çalışma sonucunda bazı malzemelerin uyumsuzluğu ve kopolimerizasyonun gerçekleşmemesi hedeflenen malzemelerin üretilmemesinin başlıca nedenleri olduğu açıklanmıştır. Ayrıca protez yapımında yeni tekniklerin ortaya çıkmasıyla birlikte farklı malzemeler geliştirilmiş olup, dişler ve DBR'lerin en iyi kombinasyonunu belirlemek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğu açıklanmıştır. Bu bağlamda 3D yazıcıyla üretilen diş ve DBR kombinasyonlarında daha düşük yapışma gücü ve optimum olmayan başarısızlık biçimleri gözlemlenirken, baskı teknolojilerinde daha fazla gelişme sağlanana kadar frezeleme ve geleneksel kombinasyonlar daha güvenli bir seçenek olduğu ifade edilmiştir (Tzanakakis vd., 2023).

Ucuk ve Ucuncu yaptıkları bir çalışmada farklı bor bileşiklerinin diş kompozitine eklenmesi sonucu bunların mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada tüm bor türevleri, hedeflenen bor içerikli diş kompozitlerini oluşturmak üzere karanlık bir odada eşit oranlarda (ağırlıkça %5) diş kompozit yapısına eklenmiştir. Bu

çalışma kapsamında karşılaştırmayı kolaylaştırmak için, herhangi bir bor türevi eklenmemiş varsayılan malzeme, negatif kontrol grubu olarak kullanılmıştır (Şekil 2. 13). Yapılan deneysel ölçümlerden önce, hazırlanan tüm malzemeler 37 °C’de 24 saat inkübe edilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlara göre boraks pentahidrat içeren grupta üst yüzeyde en yüksek VHN değeri gözlemlenirken, en düşük değer etifert içeren grupta görülmüştür. Bununla birlikte, deney gruplarının tamamında kontrol grubuna kıyasla alt yüzey mikro sertliğinde azalma olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.001$). Ayrıca etiketli seramik ilave edilmiş grubun pürüzlülük değerleri en düşük olmasına rağmen, bu grup diğer gruplara kıyasla önemli ölçüde daha yüksek E değerleri de sergilediği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, etifert hariç kompozitlere bor türevlerinin eklenmesinin üst yüzey mikro sertlik değerlerini artırdığı, ancak etikol-seramik hariç yüzey pürüzlülük değerlerinin de arttığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, etiko-seramik hariç, bor türevlerinin eklenmesinin renk kararlılığını sağladığı tespit edilmiştir (Ucuk ve Ucuncu, 2024).



Şekil 2.13. Bor içermeyen (kontrol grubu) ve boraks pentahidrat içeren malzemenin yüzey mikro sertlik görüntüleri (Ucuk ve Ucuncu, 2024)

PVM/MA kopolimeri içeren polimetil metakrilatın antibakteriyel ve fiziksel özelliklerini detaylı inceleyerek sonuçlarını tartışmışlardır. Bu çalışmada ortodontik cihazlarda ve hareketli protezlerde biyouyumluluğu ve estetiği nedeniyle kullanılan bir akrilik reçine olan polimetil metakrilatın (PMMA), yüzeyinde bakteri barındırabileceği açıklanmıştır. Bu çalışmada, metil vinil eter ve maleik asidin (PVM/MA) antibakteriyel kopolimeri olan Gantrez ile yeni bir PMMA formülü araştırılmıştır. Burada hazırlanan örneklerin mekanik özellikleri (yüzey sertliği, eğilme dayanımı, su emme ve suda çözünürlük) ve Streptococcus

mutans'a karşı etkileri açısından test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre PMMA'ya %5 ve %10 Gantrez eklenmesiyle S. mutans yapışmasının önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, PMMA'ya %5 Gantrez eklemek, akrilik reçinenin fiziksel özelliklerini değiştirmeden bakteri yapışmasını azaltmak için en uygun çözüm olduğu açıklanmıştır. Diğer taraftan, yapılan antibakteriyel testlerin ön sonuçları umut verici olsa da, ağız ortamının gerçek koşullarının yeni malzeme üzerindeki etkisini belirlemeden önce daha fazla araştırma yapılması gerektiği tavsiye edilmiştir. Diğer bir deyişle, ağız ortamının karmaşık yapısı nedeniyle, bu çalışmada gerçekleştirilen in vitro testlerle taklit edilemeyen çeşitli başka faktörler ve koşullar mevcut olduğu açıklanmıştır (Lai vd., 2022).

Gautam ve arkadaşları diş hekimliğinde farklı protez amaçlı yaygın olarak kullanılan polimetil metakrilat (PMMA) reçinelerinin biyolojik uyumluluğunu test etmişlerdir. Bu çalışmada biyoyumluluk veya doku uyumluluğunun bir malzemenin amaçlandığı şekilde uygulandığında uygun bir konakçı yanıtıyla performans gösterme yeteneğini tanımladığını açıklamışlardır. Bunun yanında, polimetil metakrilat (PMMA) bazlı reçinelerin diş hekimliğinde özellikle protez ve ortodontik cihazların yapımında en yaygın kullanılan reçineler olduğunu ifade etmişlerdir. Bu alanda kullanılan farklı potansiyel toksik maddelerin en yaygın olanı, kalıntı monomerin sızması nedeniyle sitotoksik olarak kabul edilir. Bunun yanında, akrilik bazlı reçineler veya bunların süzülmüş bileşenleri üzerinde yapılan çeşitli in vitro ve in vivo deneyler ve hücre bazlı çalışmalar, bunların sitotoksik etkilere sahip olduğunu açıklamışlardır. Ayrıca bu makalede PMMA reçinelerinin ve sızan bileşenlerinin biyoyumluluğu ile ilgili olarak diş hekimliği literatüründe yayınlanmış bilimsel tam makalelerden, derlemelerden veya özetlerden bilgilerin alındığı ifade edilmiştir (Gautam vd., 2012).

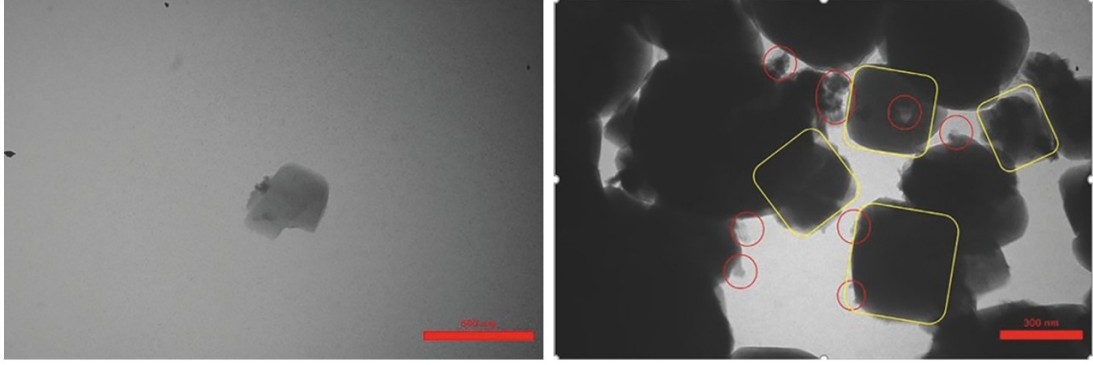
Hayran ve Keskin yaptıkları bir çalışmada dişçilikte önemli bir pozisyonda olan protez taban reçinesi olarak polimetil metakrilat kopolimerlerinin eğilme dayanımını tartışmışlardır. Burada polimetil metakrilatın (PMMA) eğilme dayanımını ve eğilme durumunu iyileştirmek için, PMMA'nın %10, %20, %30 ve %40 (hacim/hacim) oranlarında etil metakrilat (EMA), bütül metakrilat (BMA) veya izobütül metakrilat (IBMA) ile kopolimerizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada hazırlanan deney numuneleri ısı

ile sertleştirilmiş reçineden üretilmiştir. Hazırlanan malzemenin eğilme dayanımı, 3 noktalı eğilme testi kullanılarak ölçülmüştür. Daha sonra kopolimer reçinelerinin kimyasal karakterizasyonu ve kopolimerizasyon mekanizmaları $^1\text{H-NMR}$ ve FT-IR teknikleri kullanılarak açıklanmıştır. Malzemenin eğilme dayanımı verileri iki yönlü varyans analizi uygulanarak analiz edilmiştir. Diğer taraftan, PMMA'nın etil metakrilat, BMA ve IBMA kopolimerizasyonu ile güçlendirildiği ifade edilmiştir. Yapılan testler sonucunda BMA ve IBMA kopolimerlerinin eğilme dayanımlarının kontrol grubuna göre önemli ölçüde daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, tüm kopolimer gruplarının eğilme dayanımı ve durum değerlerinin kontrol grubuna göre daha yüksek olduğu tespit edilirken, BMA ve etil metakrilat gruplarının eğilme durumu ise kontrol grubununkine benzer olduğu görülmüştür (Hayran ve Keskin, 2019).

Akhavan ve çalışma grubu propolis nanoparçacıkları içeren ortodontik akrilik reçine- nin eğilme mukavemetinin değerlendirilmesi için in vitro bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma kapsamında kullanılan nanopropolisin, özellikle antimikrobiyal aktivitesi başta olmak üzere, olağanüstü özellikleri nedeniyle tıp ve diş hekimliğinde doğal bir ürün olarak ilgi odağı haline geldiği belirtilmiştir. Bu nedenle, nanopropolisin polimetil metakrilatın (PMMA) eğilme dayanımı üzerindeki etkisi bu araştırmanın konusu olmuştur. Yapılan deneysel çalışma sonunda, Acropars ve Triplex kontrol grupları kendi grupları içinde en yüksek ortalama eğilme dayanımını gösterdiler ve her ikisinin de önerilen 50 MPa'dan daha yüksek olduğu görülmüştür. %0,5 ve %1 oranında nanopropolis ile zenginleştirilmiş Triplex'in ortalama eğilme dayanımı, aynı oranda nanopropolis içeren Acropars'tan daha yüksek olduğu da görülmüştür. Sonuç olarak, hem %0,5 hem de %1 oranında nanopropolis ilave edildikten sonra Triplex'in ortalama eğilme dayanımı, önerilen 50 MPa değerinin üzerinde kaldığı, ancak Acropars'ın eğilme dayanımı bu değer altına düştüğü tespit edilmiştir (Akhavan vd., 2023).

Esmailzadeh ve çalışma arkadaşları, 4A zeolit üzerine desteklenmiş çinko oksit ve titanyum dioksit nanoparçacıkları içeren ortodontik akrilik reçinenin antimikrobiyal ve mekanik özellikleri detaylı olarak tartışmışlardır. Sunulan bu çalışmada, polimetil metakrilat (PMMA) çıkarılabilir ortodontik protezlerin üretiminde yaygın olarak kullanıldığı

ve bunların gözenekli yapısı nedeniyle soğuk kürlenmiş akrilik reçinelerin bakteri yapışmasına ve kolonizasyonuna karşı hassas olduğunu açıklamışlardır. Bu çalışmada araştırmacılar tarafından ilk olarak 4A zeolit üzerine desteklenmiş ZnO ve TiO₂ nanopartikülleri üretilmiştir. Hazırlanan bu nano yapıdaki malzemelerin özelliklerini incelemek için X-ışını kırınımı (XRD), alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FE-SEM), enerji dağılımlı X-ışını (EDX), geçirimli elektron mikroskobu (TEM) (Şekil 2.14) ve dinamik ışık saçılımı (DLS) yöntemleri kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda üretilen hedef nanopartiküllerin %2 ve %4'ünü içeren akrilik numunelerin ortalama eğilme dayanımlarının, nanopartikül içermeyen reçineye göre önemli ölçüde daha düşük olduğu ve üretilen numunelerin olumlu antibakteriyel özellikler gösterdiği, ancak eğilme dayanımının azaldığı açıklanmıştır (Esmailzadeh vd., 2022).



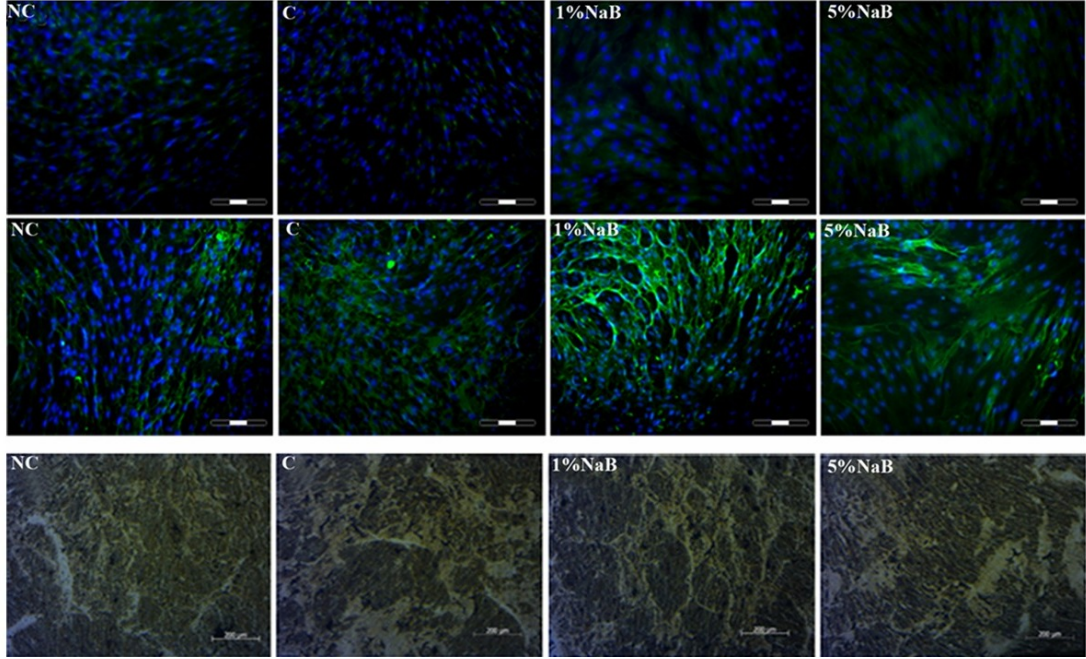
Şekil 2.14. ZnO@TiO₂-4A nanopartiküllerinin TEM görüntüsü (Esmailzadeh vd.,2022).

Pourhajibagher ve çalışma arkadaşları ortodontik akrilik reçine olarak kurkumin-Nisin-poli(l-laktik asit) nanopartikülü içeren poli(metil metakrilat)'ın mekanik özelliklerini ortaya koyarak, antimikrobiyal etkilerini in vitro olarak çalışmışlardır. Bu çalışmada akrilik ortodontik çıkarılabilir ağız aparatlarının gözenekli yüzeyi, mikrobiyal plak birikimi için uygun bir ortam oluşturduğu ve Streptococcus mutans dâhil olmak üzere çürüğe neden olan bakterileri artırarak ağız florasını değiştirdiği açıklanmıştır. Yapılan bu çalışma sonucunda %10 CurNisNps içeren akrilik reçine ($30,76 \pm 3,91$ MPa), kontrol grubu olarak kullanılan CurNisNps içermeyen akrilik reçine örneklerine ($50,67 \pm 1,82$ MPa) kıyasla eğilme kırılması gösterdiği açıklanmıştır. Bununla birlikte, CurNisNps'nin %1, %2 ve %5'ini içeren numunelerde eğilme dayanımı değerlerinde kontrol grubuna kıyasla anlamlı bir

azalma gözlenmediği tespit edilmiştir. Diğer taraftan %5 CurNisNps içeren akrilik reçine, aynı anda en yüksek CurNisNps konsantrasyonunu ve klinik olarak kabul edilebilir eğilme dayanımı değerini ($14,89 \pm 3,26$ MPa, $P < 0,05$) göstermiştir. Ayrıca, CurNisNps'nin farklı konsantrasyonlarının test mikroorganizmalarına karşı büyüme inhibisyon bölgelerindeki azalma, zamanla pozitif bir ilişki gösterdiği ve 60 gün sonra önemli ölçüde azaldığı bildirilmiştir. Bu çalışma sonucunda %5 (ağırlık/ağırlık) CurNisNps'nin, *S. mutans* ve *C. albicans* biyofilmine karşı mükemmel bir ortodontik akrilik reçine katkı maddesi olarak kullanılabilmesi ve mekanik özelliklerini olumsuz etkilemeden, çıkarılabilir ortodontik tedavide diş çürüğü, periodontal hastalıklar ve kandidiyazisin önlenmesi için potansiyel klinik uygulamalara sahip olduğu açıklanmıştır (Pourhajibagher vd., 2022).

Demirci ve arkadaşları yayınladıkları bir çalışmada bor içeren diş kompozitlerinin antibakteriyel ve sitotoksik özelliklerini ortaya koymuşlardır. 2015 yılında yayınlanan bu çalışmada ikincil diş çürüklerinin diş dolgusu değişimlerinin başlıca nedenlerinden biri olduğu açıklanmıştır. Bu araştırma grubu diş malzemelerine antimikrobiyal özellikler kazandırmanın diş çürüklerinin başlangıcını ve ilerlemesini sınırlandırabileceğini bildirmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmada, %1, %5 ve %10 (ağırlık/ağırlık) sodyum pentaborat pentahidrat içeren dental kompozitler hazırlanmış ve mekanik özellikleri, monomer dönüşüm derecesi (DC) oranı, *Streptococcus mutans*'a karşı antibakteriyel etkileri ve insan diş pulpası kök hücreleri (hDPSCs) ile biyouyumlulukları açısından analiz edilmiştir (Şekil 2. 15). Burada hazırlanan bu kompozitlere borun dâhil edilmesiyle eğilme dayanımının ve DC değerinin doza bağlı olarak önemli ölçüde azaldığı, buna karşın %1 bor içeren kompozitin değeri yine de kabul edilebilir seviyelerde kaldığı ifade edilmiştir. Bu çalışmada basınç dayanımı ve çapraz çekme dayanımı kontrol örneklerinkinden farklı bulunmadığı görülmüştür. Test edilen hiçbir malzeme için agar kuyucuk difüzyon deneyinde inhibisyon bölgesi tespit edilmemesine rağmen, bor içeren kompozitler için doğrudan temas testinde önemli bakteri büyüme inhibisyonu gözlemlendiği görülmektedir. Bu çalışma sonucunda elde edilen bulgulara göre, immünohistokimyasal ve soy hattına özgü gen ekspresyon analizi, bor içeriğine sahip kompozitlerin hDPSC'lerin osteojenik ve odontojenik kapasitesini artırdığını ortaya koymuştur. Diğer taraftan, bor içeren dental kompozitler, toksik olmayan, osteojenik ve odontojenik indükleyici özellikler sergileyerek ve *S. mutans*'a karşı dikkat

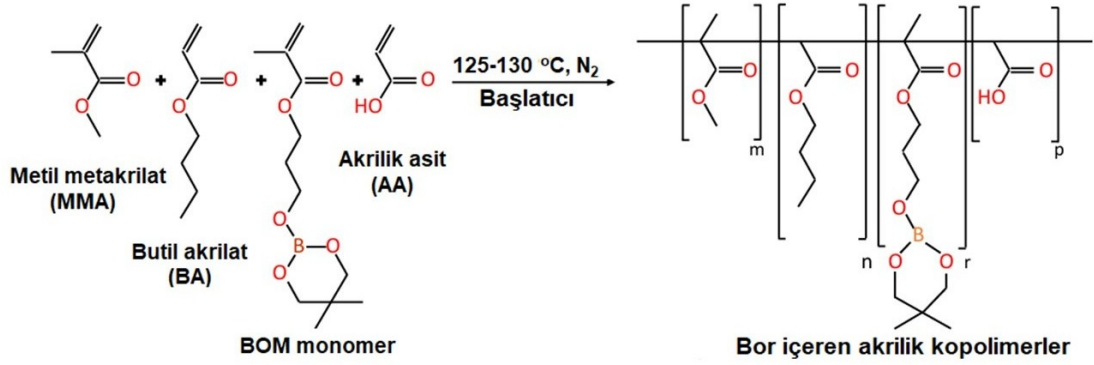
çekici antibakteriyel aktivite göstererek gelecekteki klinik uygulamalar için umut verici sonuçlar göstermiş ve bu nedenle ikincil çürükleri önleme potansiyeline sahip olduğu açıklanmıştır (Demirci vd., 2015).



Şekil 2.15. 10 günlük inkübasyon süresinin sonunda deney gruplarında osteojenik farklılaşma düzeylerinin belirlenmesi (Demirci vd., 2015).

Dizman ve arkadaşları 2023 yılında gerçekleştirdikleri bir çalışmada akrilik kopolimerlerdeki halkalı borat ester gruplarının boya ve vernik kaplamaları üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yapılan bu çalışmada halkalı borat esterli içeren metakrilik monomerler sentezlenmiş ve bu moleküller farklı bor akrilat monomer içeriklerine (5, 10 ve %20) sahip akrilik kopolimerlerin sentezlenmesinde kullanılmıştır. Bu kapsamda hazırlanan metil metakrilat, bütül akrilat, akrilik asit ve bor akrilat monomerleri, çözücü ortamda serbest radikal polimerizasyon yöntemi kullanılarak tüm polimerlerin sentezlenmesinde kullanılmıştır (Şekil 2.16). Bu çalışmada sentezlenen polimerik yapılar FT-IR spektroskopisi, DSC, GPC, ^1H ve ^{11}B NMR spektroskopisi ve HPLC teknikleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Yapısal karakterizasyondan sonra sac metal, galvanizli çelik ve alüminyum gibi metal yüzeyler, sabit kalınlıkta vernik ve boya bileşimleriyle kaplanmıştır. Daha sonra kaplamaların fiziksel özelliklerini değerlendirmek için temas açısı değeri, parlaklık,

sertlik, kuruma süresi, kullanım ömrü, sararma direnci ve UV ışınlarına maruz kalma sonrası parlaklık kaybı ölçülmüştür. Bu çalışma sonunda elde edilen bulgulara göre, sentezlenen polimerlere daha fazla borat ester grubu eklenmesinin, sertliklerini artırmanın yanı sıra kaplamaların kuruma süresini kısalttığı açıklanmıştır. Ayrıca, ticari olarak temin edilebilen boyalarda kullanılan bağlayıcılarla karşılaştırıldığında, %10 bor akrilat monomer içeren polimer, eşit veya üstün fiziksel özelliklere sahip boya ve vernikler üretmek için kullanılabileceği de belirtilmiştir (Dizman vd., 2023).



Şekil 2.16. Bor içeren akrilik polimerlerin sentez mekanizması (Dizman vd., 2023).

3. GEREÇ ve YÖNTEM

3.1. Gereç

3.1.1. Kullanılan araç ve gereçler

· Akrilik diş protez ham maddesi olarak polimetil metakrilat (PMMA) hazırlamak için farklı ebatlarda alümina krozeler, pens, spatül, cam bagetler, erlen mayer, kılcal borular ve beherler

· Polimetil metakrilat (PMMA) ve bor katkılı PMMA kompozit malzemenin kalıplama işlemi için tasarlanan aparat

· Farklı sıcaklık derecelerine ayarlanabilen etüv

· Metil metakrilat (MMA), Polimetil metakrilat (PMMA) ve eklenen bor bileşiklerinin kullanım miktarları için hassas dijital terazi

· Hazırlanan bor katkılı akrilik diş protez malzemesinin FT-IR ölçümleri için ATR sistemi

· Malzemelerin ön hazırlık işlemleri için çeker ocak sistemleri

· Farklı ebatlardaki süzgeç kâğıtları

· Manyetik ısıtıcı ve karıştırıcı

3.1.2. Kullanılan kimyasallar

- Metil metakrilat (MMA) monomeri (sıvı)
- Polimetil metakrilat (PMMA) (beyaz kristal toz)
- Borik asit (H_3BO_3)
- Trimetil borat ($B(OCH_3)_3$)
- 4-hidroksimetilfenil boronik asit ($HOCH_2C_6H_4B(OH)_2$)
- 3-Hidroksi-4-metoksifenilboronik asit ($C_7H_9BO_4$)
- 4-pridinboronik asit ($C_5H_6BNO_2$)
- DMSO
- H_2O Bu çalışma kapsamında kullanılan bor bileşikleri, negatif kontrol grubu için bor

içermeyen protez malzemesi ve bor katkılı protez malzemeleri için ticari kimyasallar Merck, Aldrich, Fluka ve Imicryl firmalarından satın alınmıştır ve herhangi bir ek kimyasal işleme gerek kalmadan olduğu gibi kullanılmıştır.

3.1.3. Kullanılan cihazlar

- Hazırlanan tüm akrilik diş protez malzemelerinin yapısındaki fonksiyonel grupların analizinde Perkin Elmer Spectrum RXI FT-IR spektroskopisi.
- Hazırlanan tüm akrilik diş protez malzemelerinin istenilen dereceye kurutulması için Termal Lab H11420BD model etüv.
- Hazırlanan tüm akrilik diş protez malzemelerinin morfolojik ve elementel analiz için LEO-EVO 40/Cambridge, İngiltere SEM ünitesi ve Bruker 125 eV (Berlin, Almanya) EDX ünitesi.
- Hazırlanan tüm akrilik diş protez malzemelerinin kristal yapı analizleri için 40 kV ve 40 mA'da çalışan, CuK α radyasyon tüpüne ($\lambda = 1,54 \text{ \AA}$) sahip Rigaku Ultimate III X-ışını difraktometresi.
- Hazırlanan standart (A) ve bor katkılı (AB₂) akrilik diş protez malzemelerinin termal özellikleri için Shimadzu DTG-60/60H-TG-DTA thermogravimetric analyzer cihazı.
- Mikro Raman spektral çalışmaları için 0 ila 3500 cm⁻¹ aralığında bir CCD dedektörlü Wltech Alpha 300R spektrometresi.
- Antioksidan özelliklerinin belirlenmesi için UV-Vis spektroskopisi.
- Antibakteriyel sonuçlar için Mueller-Hinton besiyeri (MHB) kullanılarak 96 kuyucuklu mikropipler.
- Kullanılan giriş malzemelerinin hassas ölçümleri için Precision Balance MS603TS/00 marka dijital terazi.
- Antibakteriyel analizler için mikrodilüsyon ve agar kuyu difüzyon yöntemleri için laboratuvar sistemi.
- Antibakteriyel çalışmalar için inkübatör sistemi.

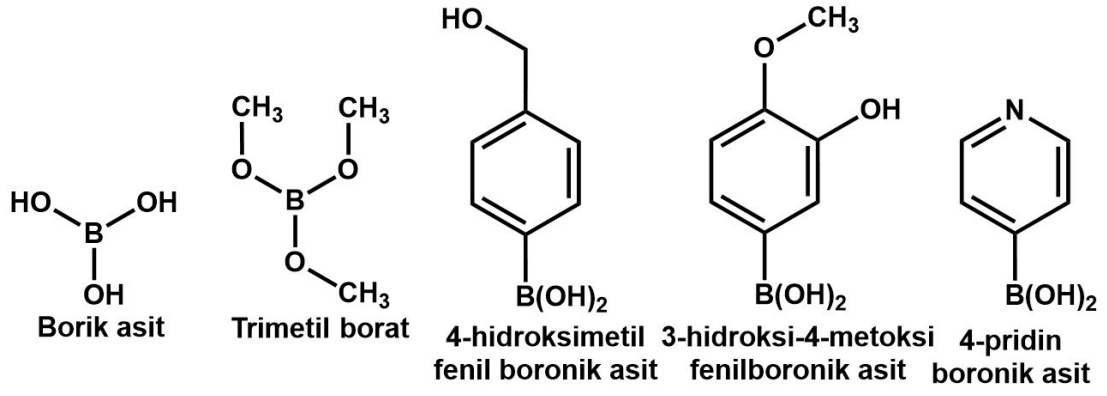
3.2. Yöntem

3.2.1. Negatif kontrol grubu akrilik protez malzemenin (A) hazırlanması

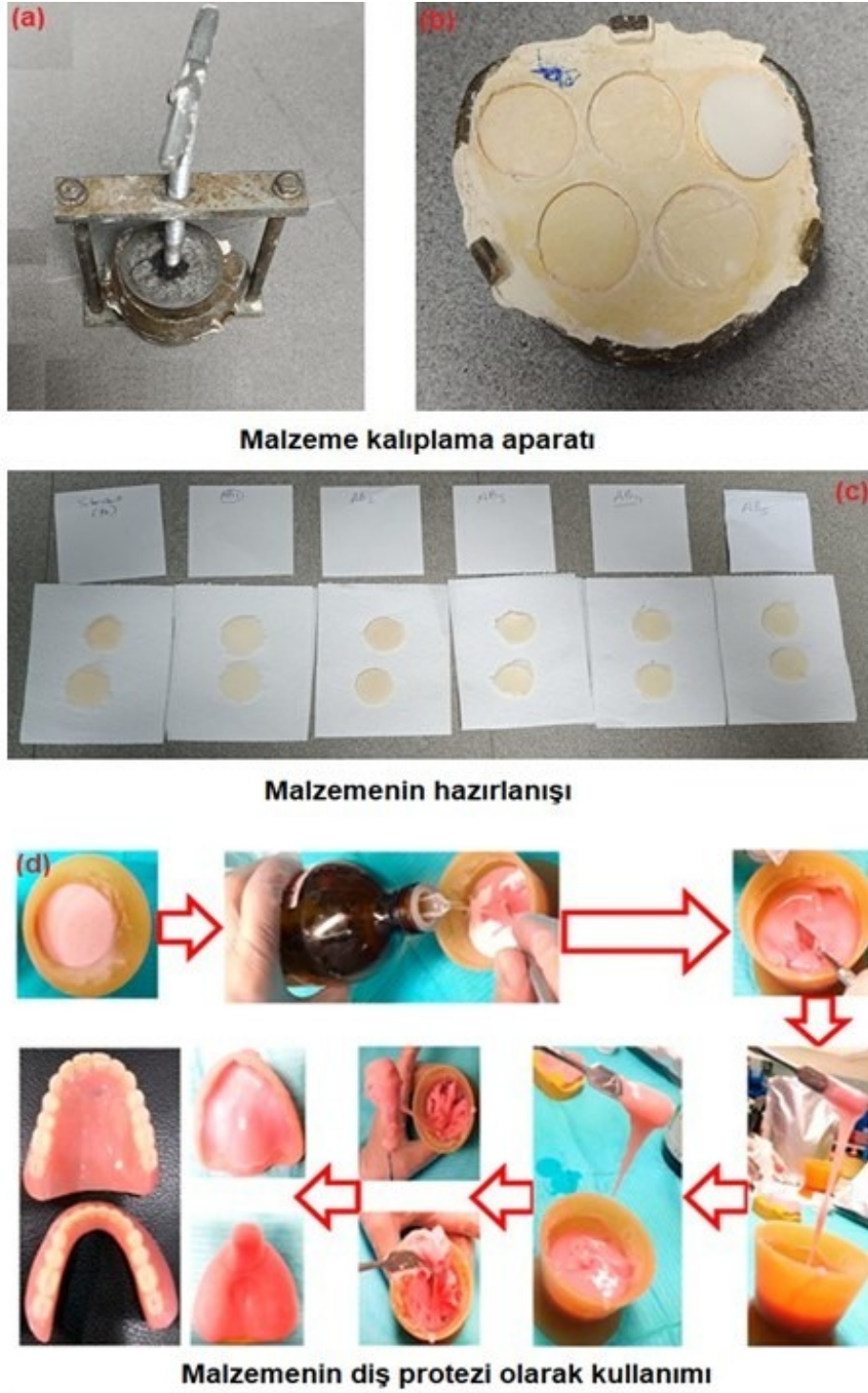
İlk önce içi iyice temizlenmiş ve etüvde kurutulmuş olan alümina kroze içerisine 2,4 gram ISO-13485 kodlu ve Imicryl firmasından ticari olarak satın alınan toz formundaki polimetil metakrilat (PMMA) konuldu. Daha sonra bunun üzerine 1,0 gram sıvı haldeki metil metakrilat monomer eklendi ve kroze içerisinde dış protez malzemenin polimerleşmesi için iyice karıştırıldı. Daha sonra hazırlanan şeffaf renkli akrilik dış malzemesi önceden hazırlanan kalıba konuldu ve etüvde 50 °C’de sertleşmesi için kurutuldu. İyice sertleşen PMMA malzemesi önce ekstrüderde, sonra havanda öğütülerek toz haline getirildi. Toz haline getirilen ve kontrol grubu için planlanan PMMA dış protez malzemesi yapısal analizler ve biyolojik çalışmalar için vakum ortamında desikatörde saklandı.

3.2.2. Bor katkılı akrilik protez malzemelerinin (AB₁–AB₅) hazırlanması

İlk önce içi iyice temizlenmiş ve etüvde kurutulmuş olan alümina krezeler içerisine 2,4 gram ISO-13485 kodlu ve Imicryl firmasından ticari olarak satın alınan toz formundaki polimetil metakrilat (PMMA) konuldu. Daha sonra her bir kroze üzerine sırasıyla borik asit (AB₁), trimetil borat (AB₂), 4-hidroksimetilfenil boronik asit (AB₃), 3-hidroksi-4-metoksifenilboronik asit (AB₄) ve 4-pridinboronik asit (AB₅) eklendi (Şekil 3.1) ve homojen olması için iyice karıştırıldı. Devamında homojen hale gelen bu malzemelerin üzerine sıvı formdaki 1,0 gram metil metakrilat monomer eklendi ve farklı renklerdeki bor katkılı dış protez malzemelerinin kroze içerisinde polimerleşmesi için iyice karıştırıldı. Üretilen bor katkılı akrilik dış protez malzemesi önceden hazırlanan kalıba konuldu ve katılaşması için etüvde 50 °C’de kurutulmaya bırakıldı (Şekil 3.2). İyice sertleşen bor katkılı PMMA malzemesi önce ekstrüderde, sonra havanda öğütülerek toz haline getirildi. Toz haline getirilen bor katkılı PMMA dış protez malzemesi yapısal analizler ve biyolojik çalışmalar için vakum ortamında desikatörde saklandı.



Şekil 3.1. PMMA temelli diş protez malzemesine katkılanan bor bileşikleri



Şekil 3.2. Bor katkılı PMMA diş protez malzemesinin hazırlanış basamakları

3.2.3. Akrilik PMMA temelli protez malzemelerinin anti-bakteriyel çalışmaları

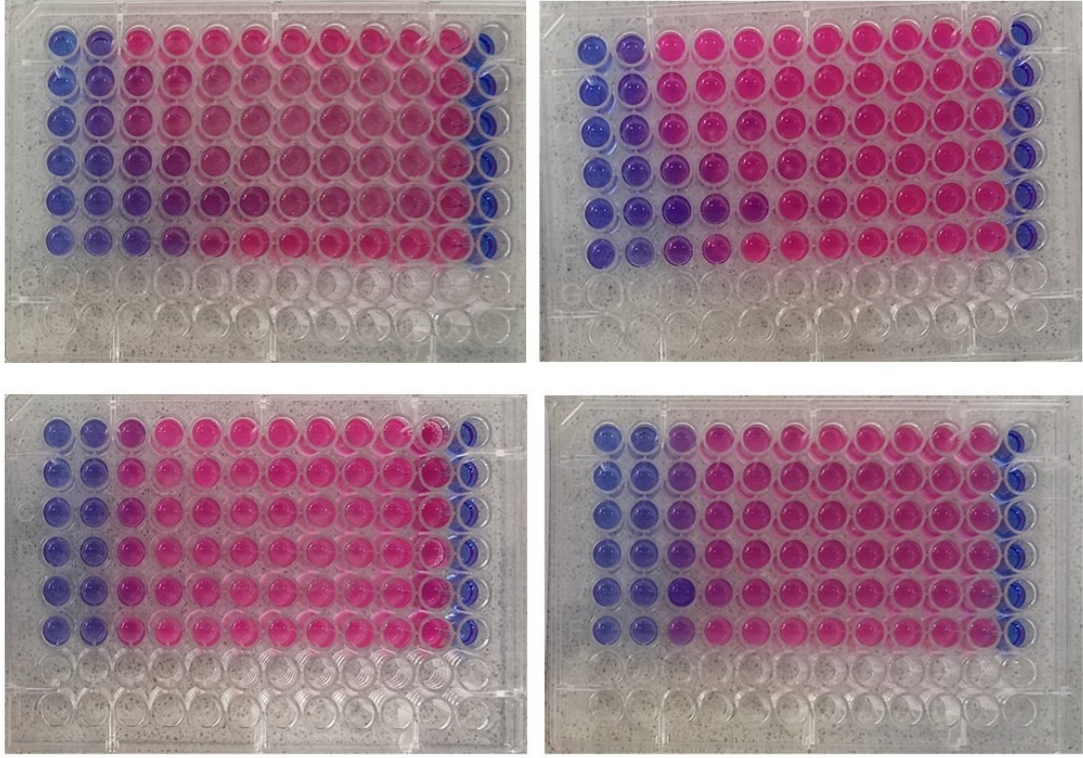
Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında PMMA temelli negatif kontrol grubu

olarak hazırlanan malzeme (A) ve bor katkılı PMMA (AB₁-AB₅) malzemeleri minimum inhibisyon konsantrasyonu (MİK) ve minimum bakterisidal konsantrasyonu (MBK) değerleri, *Staphylococcus aureus* (ATCC 29213) Metisillin dirençli *Staphylococcus aureus* (MRSA; ATCC 43300), *Escherichia coli* (ATCC 25922) ve *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853) suşlarına karşı resazurin mikrotitre testi (REMA) kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 3.3-3.4) (Yıldırım vd.,2025). Bu çalışmalar için minimum inhibisyon konsantrasyonu (MİK) ve minimum bakterisidal konsantrasyonu (MBK) değerleri belirlenmiştir.

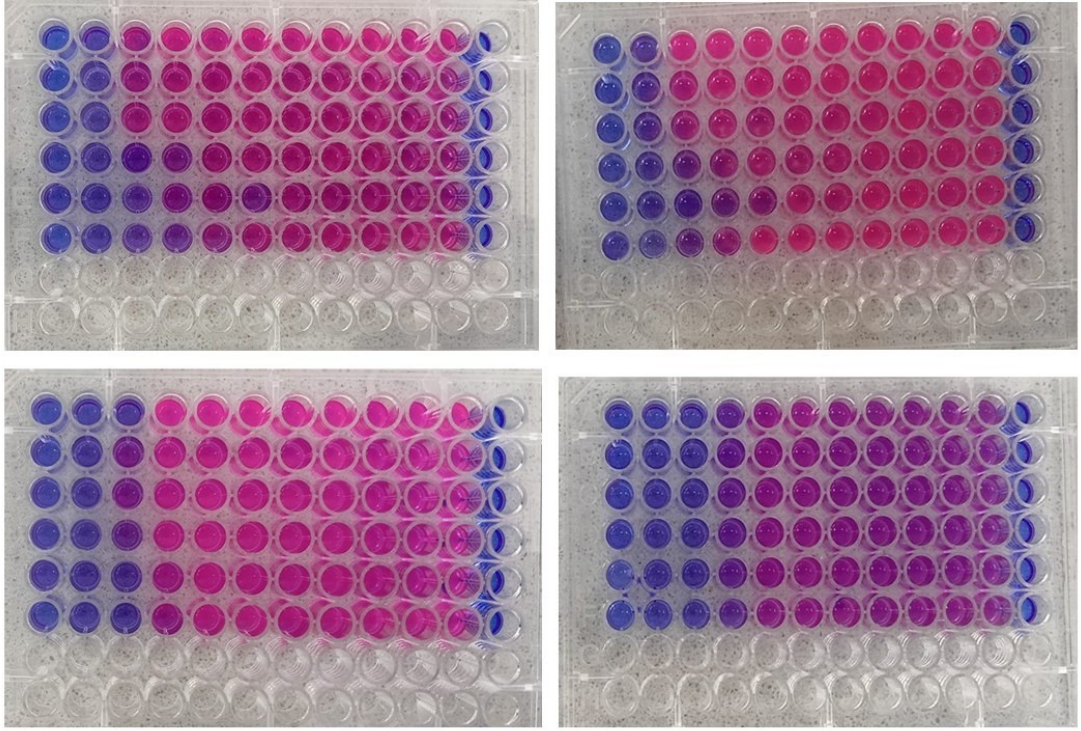
Yöntem basamakları aşağıda verilmiştir:

1. PMMA temelli negatif kontrol grubu olarak hazırlanan malzeme (A) ve bor katkılı PMMA (AB₁-AB₅) malzemeleri iki kat seri dilüsyonları, Mueller-Hinton Broth (MHB) kullanılarak 1024–2 µg/mL konsantrasyon aralığında hazırlanmış ve 96 kuyucuklu mikrotitre plaklara aktarılmıştır.
2. Bakteriyel süspansiyon, taze kültürlerden hazırlanarak 0,5 McFarland standardına ayarlanmıştır. Elde edilen süspansiyon 1/100 oranında seyreltilmiş ve her bir kuyucuğa 100 µL olacak şekilde eklenmiştir. Böylece kuyucuklardaki son bakteri yoğunluğu yaklaşık 5×10^5 CFU/mL olarak ayarlanmıştır (Patel, 2017).
3. Çalışmada pozitif kontrol ve negatif kontrol grupları kullanılmış, ayrıca ampisilin standart referans antibiyotik olarak değerlendirmeye dâhil edilmiştir.
4. Hazırlanan mikrotitre plaklar 37 °C’de 18–24 saat inkübe edilmiştir.
5. İnkübasyon sonrasında, her bir kuyucuğa %0,01 (w/v) resazurin (resazurin sodyum tuzu) çözeltisinden 10 µL eklenmiş ve plaklar 4 saat süreyle yeniden inkübe edilmiştir.
6. İnkübasyonun ardından kuyucuklardaki renk değişimi görsel olarak değerlendirilmiştir. Süspansiyonun pembe renge dönüşmesi bakteriyel çoğalmayı gösterirken, mavi rengin korunması bakteriyel büyümenin inhibe edildiğini göstermektedir. Renk değişiminin gözlenmediği (mavi kalan) en düşük konsantrasyon MİK değeri olarak kabul edilmiştir.
7. MİK değerinin belirlenmesini takiben, mikrobiyal çoğalma gözlenmeyen kuyucuklardan 10 µL alınarak Mueller Hinton Agar (MHA) yüzeyine yayılmıştır. Plaklar uygun koşullarda inkübe edilmiş ve bakterilerin %99,9’unu öldüren en düşük konsantrasyon MBK değeri olarak belirlenmiştir.

8. Tüm antibakteriyel aktivite deneyleri üç bağımsız tekrar halinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3. PMMA temelli protez malzemelerinin DMSO içinde çözünme sonucu elde edilen sonuçları



Şekil 3.4. PMMA temelli protez malzemelerinin DMSO + Ultrasonik banyo içinde çözünme sonucu elde edilen sonuçları

3.2.4. Akrilik PMMA temelli protez malzemelerinin antioksidan çalışmaları

Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında PMMA temelli negatif kontrol grubu olarak hazırlanan malzeme (A) ve bor katkılı PMMA (AB₁-AB₅) malzemeleri antioksidan kapasiteleri ABTS radikal temizleme aktivitesi yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaç için PMMA temelli negatif kontrol grubu olarak hazırlanan malzeme (A) ve bor katkılı PMMA (AB₁-AB₅) malzemelerin ABTS (2,2 -azino-bis(3-etilbenzotiyazolin-6-sülfonik asit)) radikal katyon temizleme aktiviteleri, Amangeldinova vd. tarafından tanımlanan yöntemle göre küçük modifikasyonlarla belirlenmiştir (Amangeldinova vd., 2025).

Yöntem basamakları aşağıda verilmiştir:

PMMA temelli negatif kontrol grubu olarak hazırlanan malzeme (A) ve bor katkılı PMMA (AB₁-AB₅) malzemeleri 0,1–1 mg/mL konsantrasyon aralığında hazırlanmıştır.

1. Deneysel analiz için 0,5 mL numune çözeltisi ile 2,5 mL ABTS çalışma çözeltisi karıştırılmıştır.

2. Elde edilen karışımlar vortekslenmiş ve oda sıcaklığında, karanlık ortamda 30 dakika süreyle inkübe edilmiştir.
3. İnkübasyon sonrasında absorbens değerleri, 734 nm dalga boyunda UV-Vis spektrofotometre (Shimadzu UV-1800, Japonya) kullanılarak ölçülmüştür.
4. Referans antioksidan olarak Trolox kullanılmıştır.
5. ABTS radikal temizleme aktivitesi (%) aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır:

Burada;

C: Kontrolün (örnek içermeyen ABTS çözeltisi) absorbensini,

S: Test örneğinin absorbensini ifade etmektedir.

1. Tüm ölçümler üç paralel olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.
2. Sonuçlar, ABTS radikallerinin %50'sini temizlemek için gerekli olan numune konsantrasyonunu ifade eden IC_{50} değerleri (mg/mL) olarak hesaplanmıştır. Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında PMMA temelli negatif kontrol grubu olarak hazırlanan malzeme (A) ve bor katkılı PMMA (AB₁-AB₅) malzemeleri antioksidan kapasiteleri ABTS radikal temizleme aktivitesi yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaç için PMMA temelli negatif kontrol grubu olarak hazırlanan malzeme (A) ve bor katkılı PMMA (AB₁-AB₅) malzemelerin ABTS (2,2 -azino-bis(3-etilbenzotiyazolin-6-sülfonik asit)) radikal katyon temizleme aktiviteleri, Amangeldinova vd. tarafından tanımlanan yönteme göre küçük modifikasyonlarla belirlenmiştir (Amangeldinova vd., 2025). **Yöntem basamakları aşağıda verilmiştir:**

- (a) PMMA temelli negatif kontrol grubu olarak hazırlanan malzeme (A) ve bor katkılı PMMA (AB₁-AB₅) malzemeleri 0,1–1 mg/mL konsantrasyon aralığında hazırlanmıştır.
- (b) Deneysel analiz için 0,5 mL numune çözeltisi ile 2,5 mL ABTS çalışma çözeltisi karıştırılmıştır.
- (c) Elde edilen karışımlar vortekslenmiş ve oda sıcaklığında, karanlık ortamda 30 dakika süreyle inkübe edilmiştir.
- (d) İnkübasyon sonrasında absorbens değerleri, 734 nm dalga boyunda UV-Vis spektrofotometre (Shimadzu UV-1800, Japonya) kullanılarak ölçülmüştür.

(e) Referans antioksidan olarak Trolox kullanılmıştır.

(f) ABTS radikal temizleme aktivitesi (%) aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır:

Burada; C: Kontrolün (örnek içermeyen ABTS çözeltisi) absorbansını,

S: Test örneğinin absorbansını ifade etmektedir.

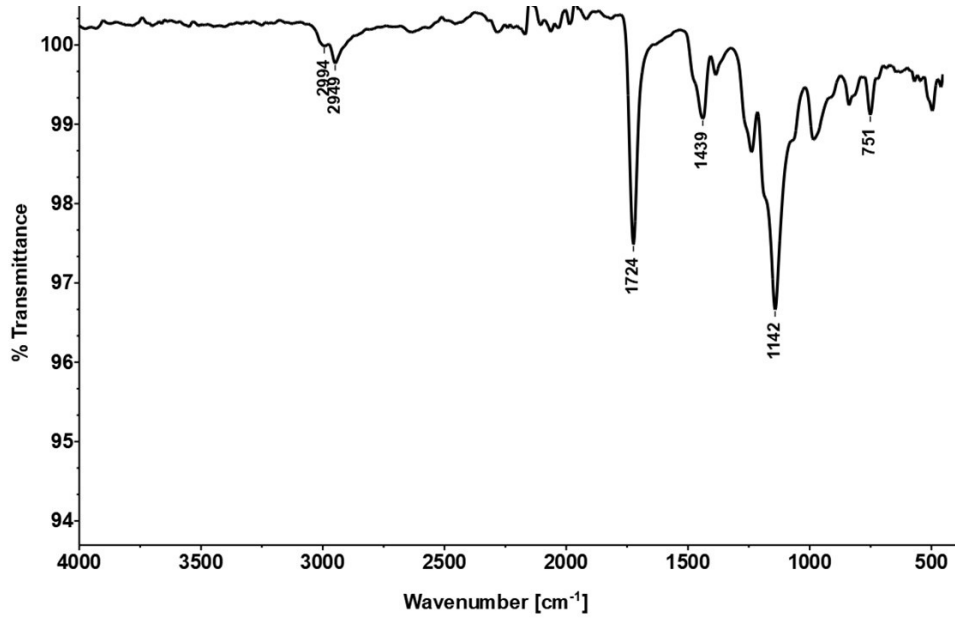
(a) Tüm ölçümler üç paralel olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

(b) Sonuçlar, ABTS radikallerinin %50'sini temizlemek için gerekli olan numune konsantrasyonunu ifade eden IC_{50} değerleri (mg/mL) olarak hesaplanmıştır.

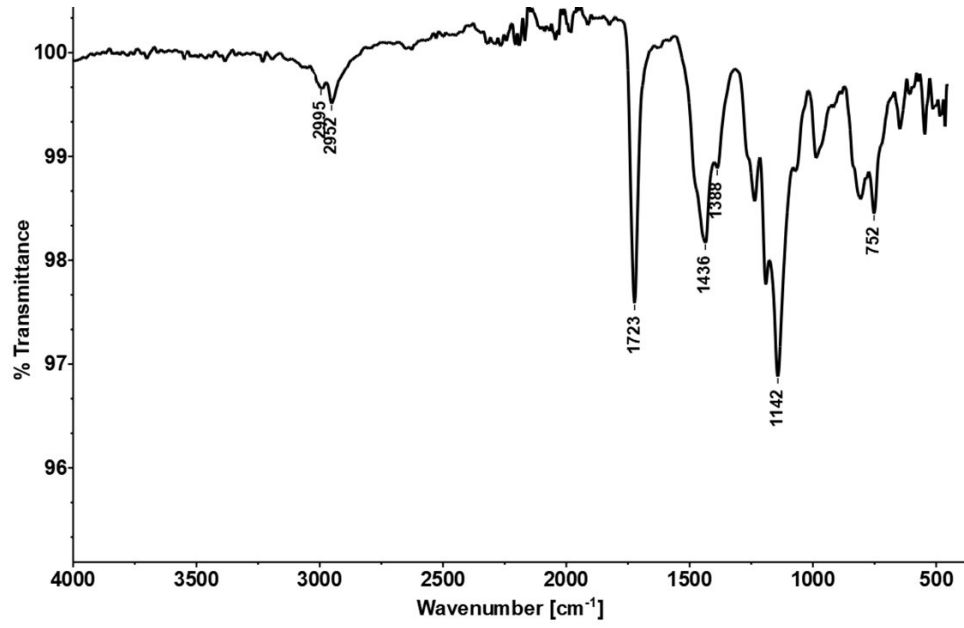
4. BULGULAR

4.1. PMMA (A) ve bor katkılı PMMA (AB₁-AB₅) kompozitlerin karakterizasyonu

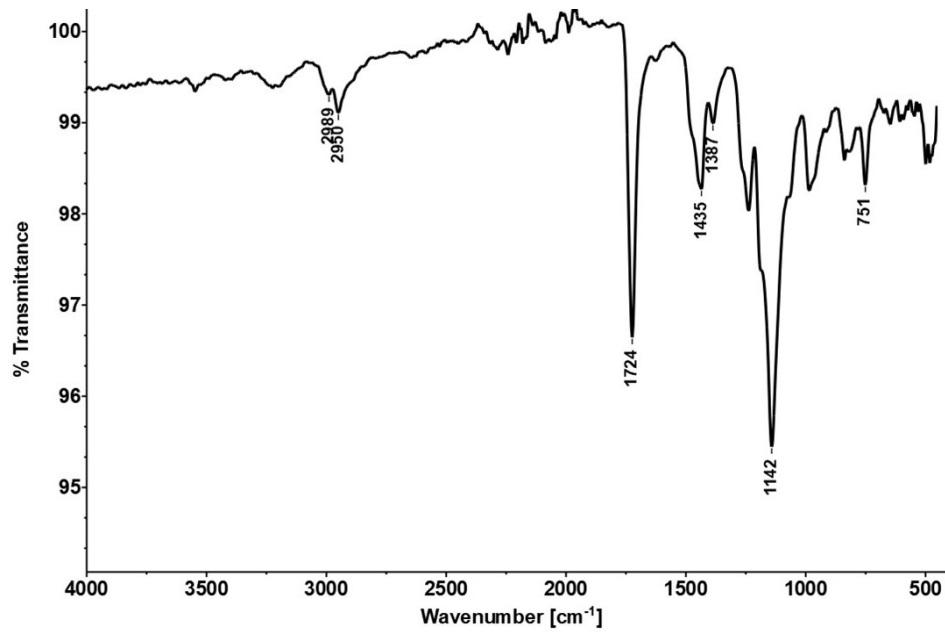
Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında PMMA temelli negatif kontrol grubu olarak hazırlanan malzeme (A) ve bor katkılı PMMA (AB₁-AB₅) malzemeleri uygun laboratuvar koşullarında üretildikten sonra, ilk önce bazı yapısal özellikleri araştırıldı. Bu yapısal çalışmalar için FT-IR, XRD, SEM, SEM-EDX ve Raman teknikleri kullanıldı. Elde edilen spektrum ve görüntüler sırasıyla aşağıda verilmiştir. İlk olarak Perkin Elmer Spectrum RXI FT-IR spektroskopisi ile 4000–500 cm⁻¹ tarama aralığında ATR tekniği kullanılarak gerçekleştirilen ölçümler sonucunda elde edilen FT-IR spektrumları Şekil 4.1–4.6 olarak verilmiştir.



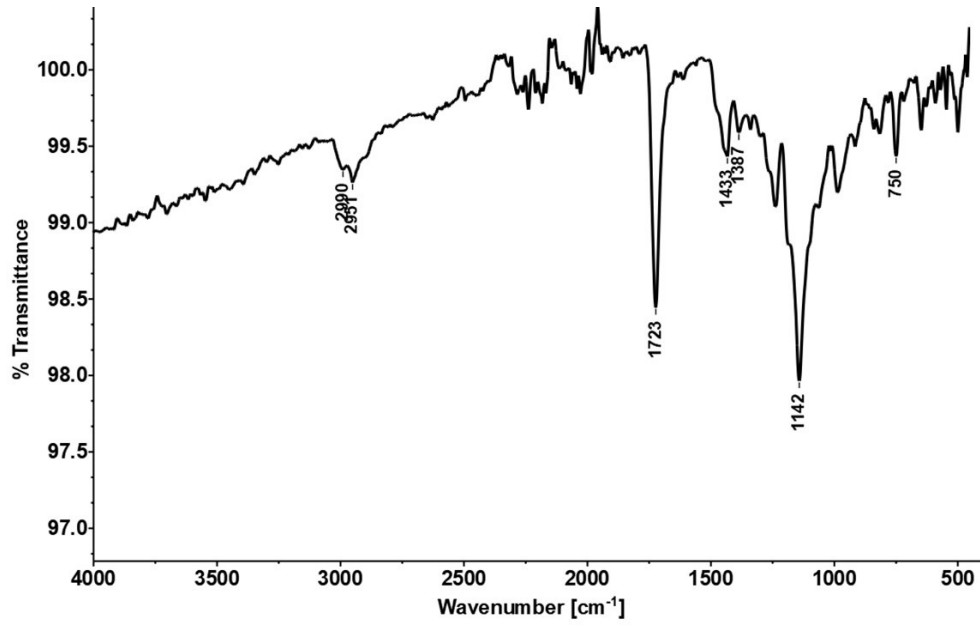
Şekil 4.1. PMMA temelli negatif kontrol grubu olarak hazırlanan malzemenin (A) FT-IR spektrumu



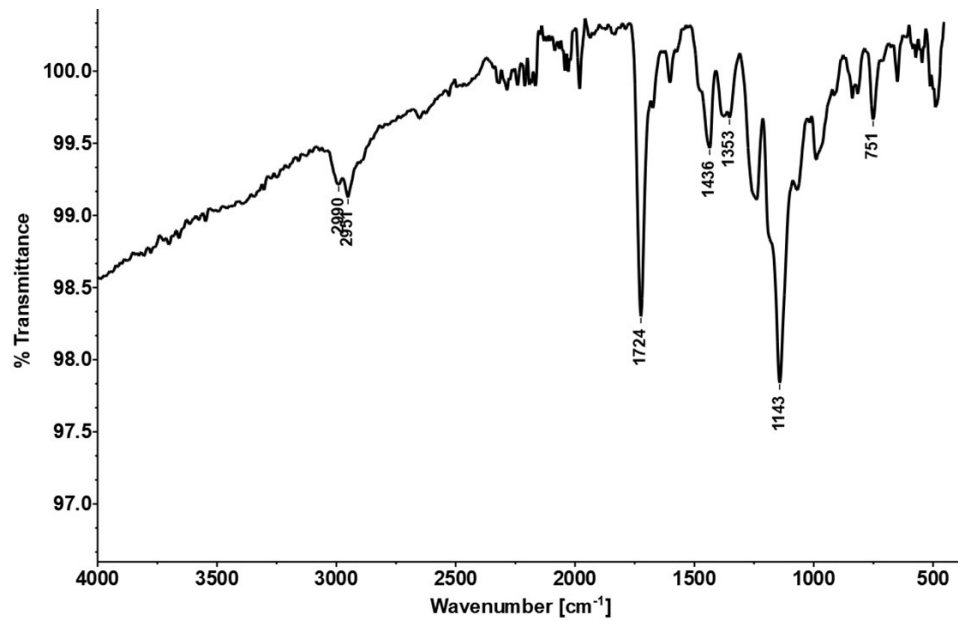
Şekil 4.2. Bor katkılı PMMA temelli malzemenin (AB₁) FT-IR spektrumu



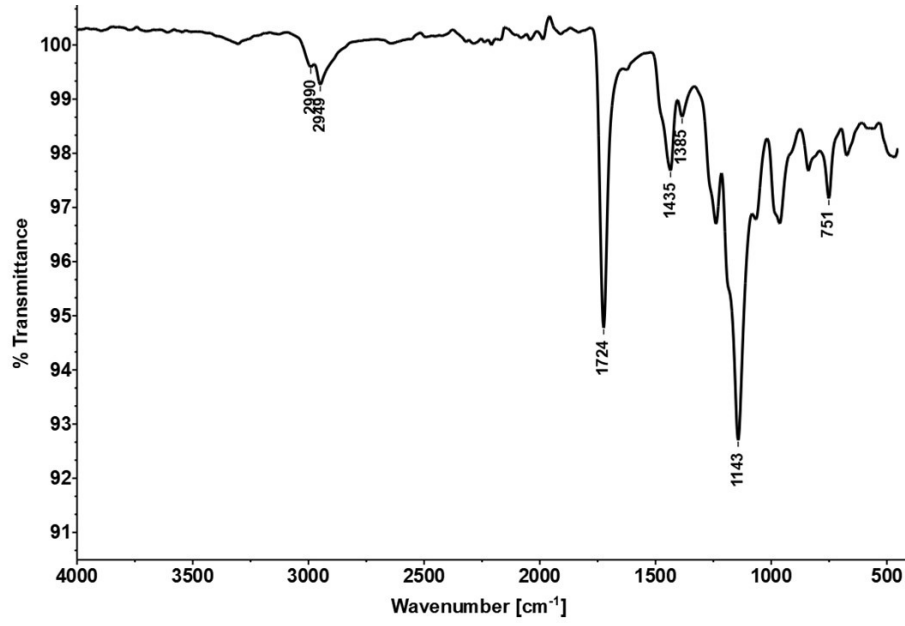
Şekil 4.3. Bor katkılı PMMA temelli malzemenin (AB₂) FT-IR spektrumu



Şekil 4.4. Bor katkılı PMMA temelli malzemenin (AB₃) FT-IR spektrumu

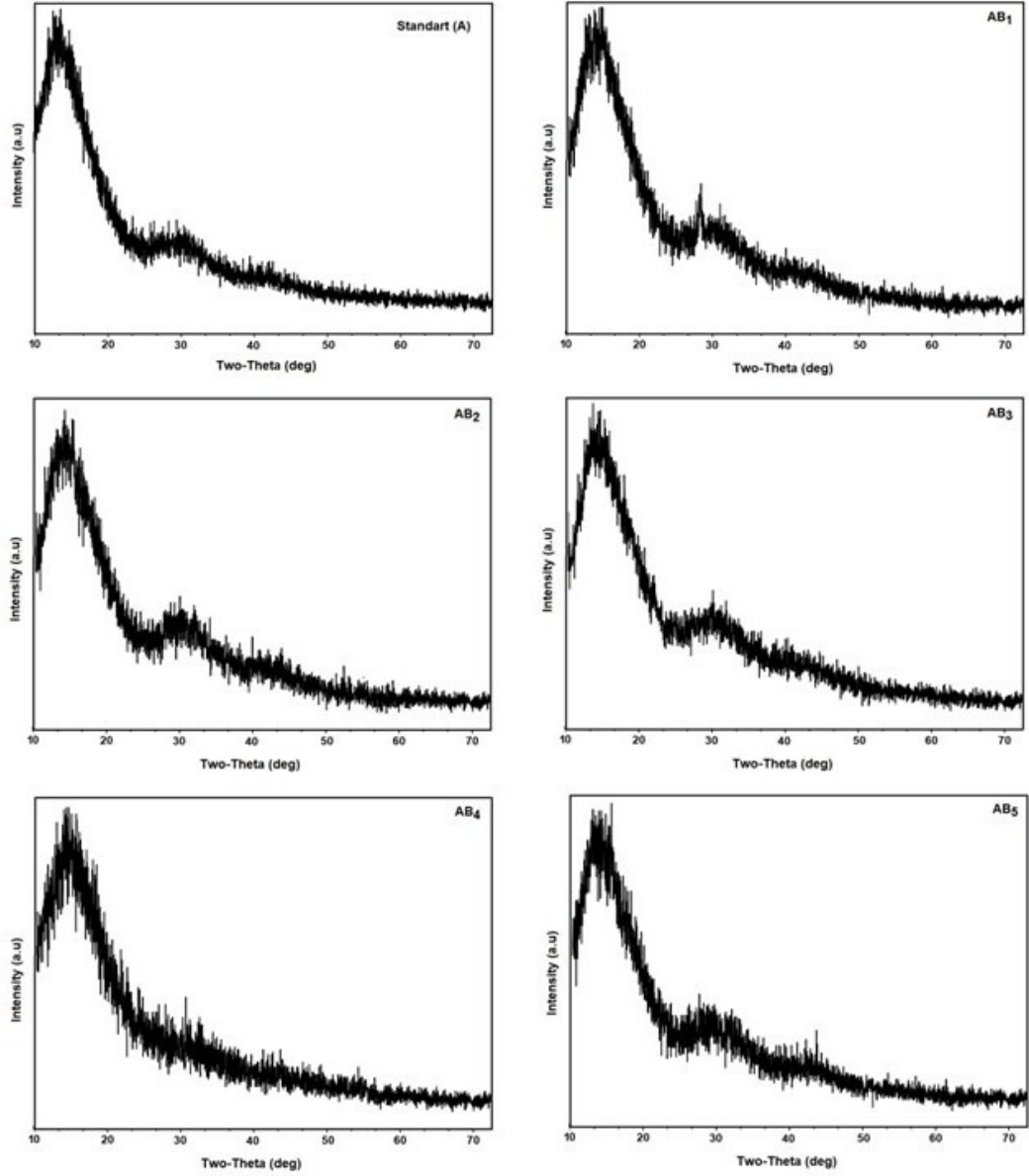


Şekil 4.5. Bor katkılı PMMA temelli malzemenin (AB₄) FT-IR spektrumu



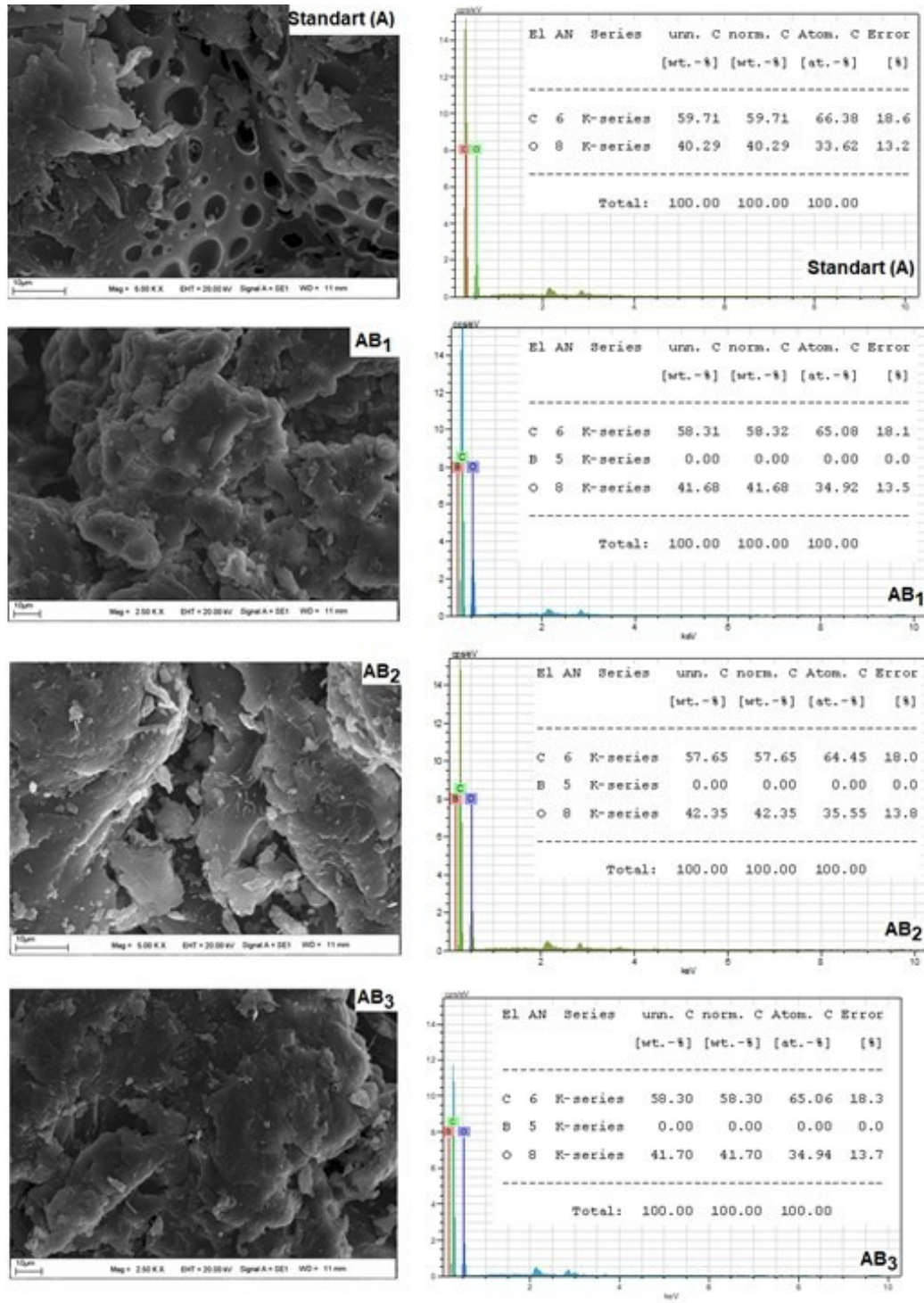
Şekil 4.6. Bor katkılı PMMA temelli malzemenin (AB_5) FT-IR spektrumu

Hazırlanan tüm akrilik diş protez malzemelerinin (**A**, **AB₁**-**AB₅**) kristal yapı analizleri için 40 kV ve 40 mA’da çalışan, CuK α radyasyon tüpüne ($\lambda = 1,54 \text{ \AA}$) sahip Rigaku Ultimate III X-ışını difraktometresi kullanılarak gerçekleştirildi. Elde edilen XRD spektrumları Şekil 4.7’de verilmiştir.

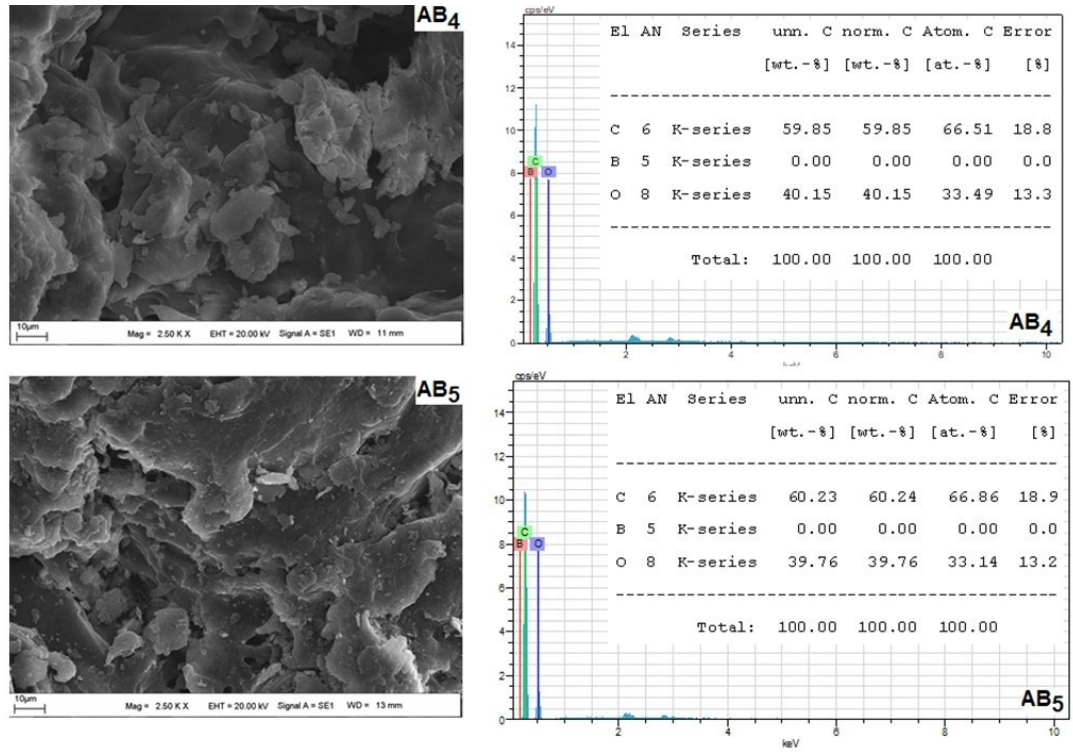


Şekil 4.7. PMMA temelli diş protez malzemelerin (A, AB₁-AB₅) XRD spektrumları

Hazırlanan PMMA temelli tüm akrilik diş protez malzemelerin morfolojik ve elementel analiz için LEO-EVO 40 (Cambridge, İngiltere) SEM ünitesi ve Bruker 125 eV (Berlin, Almanya) EDX ünitesi ile yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler Şekil 4.8 ve 4.9 olarak verilmiştir.

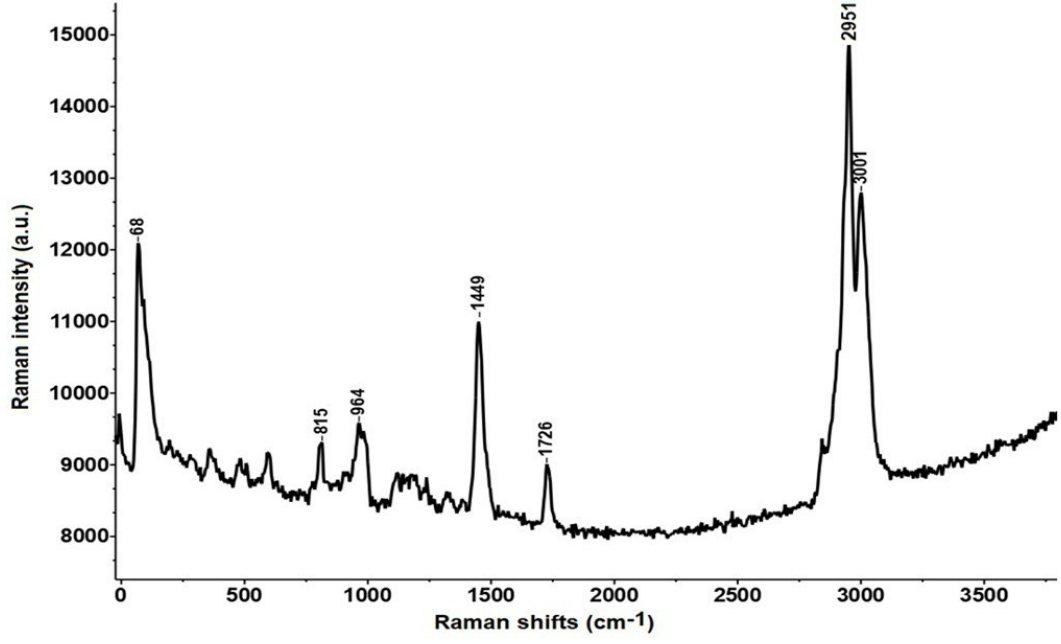


Şekil 4.8. Hazırlanan PMMA temelli diş protez malzemelerin (A, AB₁-AB₃) SEM ve EDX görüntüleri

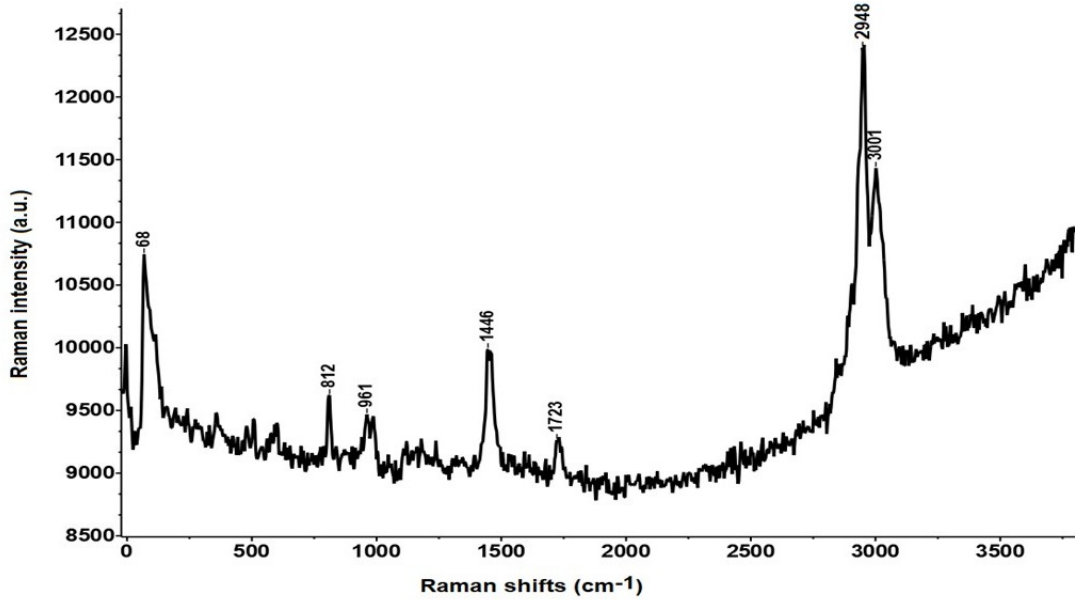


Şekil 4.9. Hazırlanan PMMA temelli diş protez malzemelerin (A, AB₁-AB₃) SEM ve EDX görüntüleri

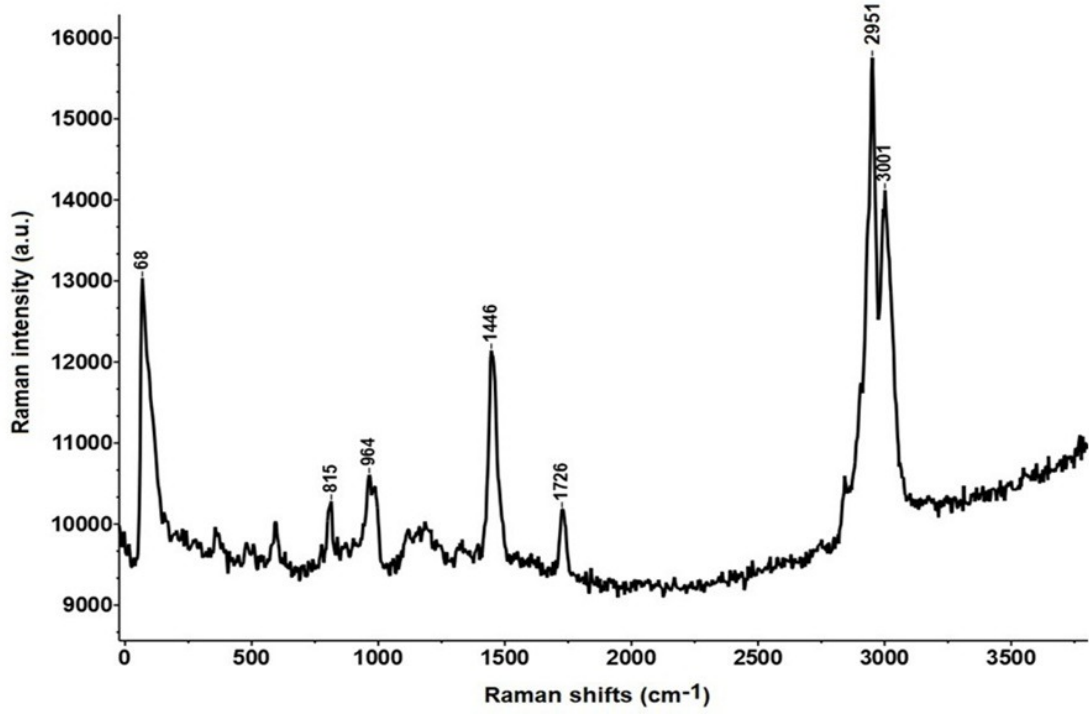
Bu tez çalışması kapsamında hazırlanan negatif kontrol grubu olarak PMMA temelli diş protez malzemesi (A) ve bor katkılı PMMA temelli diş protez malzemelerinin (AB₁-AB₅) mikro Raman spektral çalışmaları için 0 ila 3500 cm⁻¹ aralığında bir CCD dedektörlü Wltech Alpha 300R spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir. Mikro Raman spektral çalışmaları sonucunda elde edilen bilimsel verilerle ilgili spektrumlar Şekil 4.10-1.15 olarak verilmiştir.



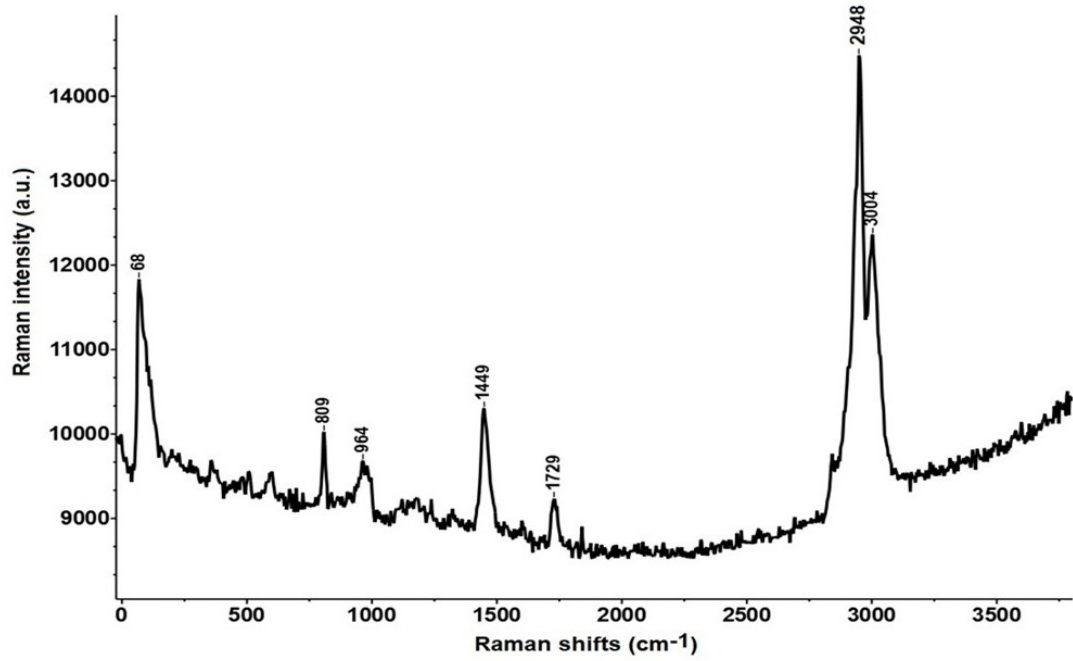
Şekil 4.10. PMMA temelli negatif kontrol grubu olarak hazırlanan malzemenin (A) Raman spektrumu



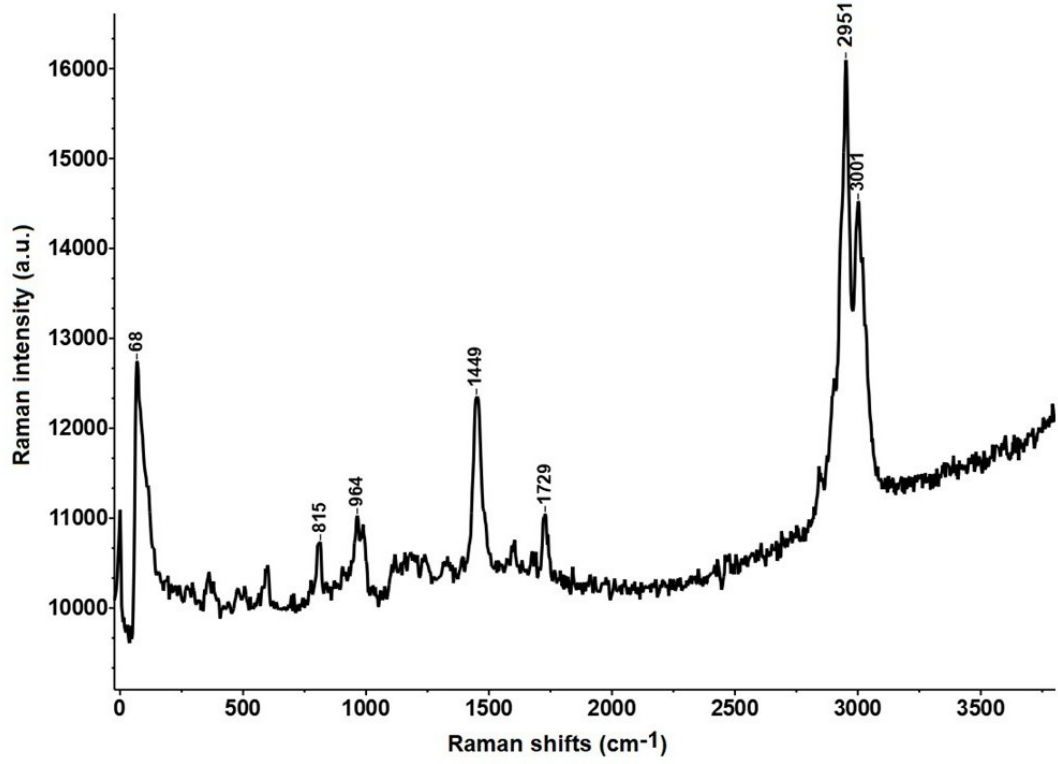
Şekil 4.11. Bor katkılı PMMA temelli malzemenin (AB₁) Raman spektrumu



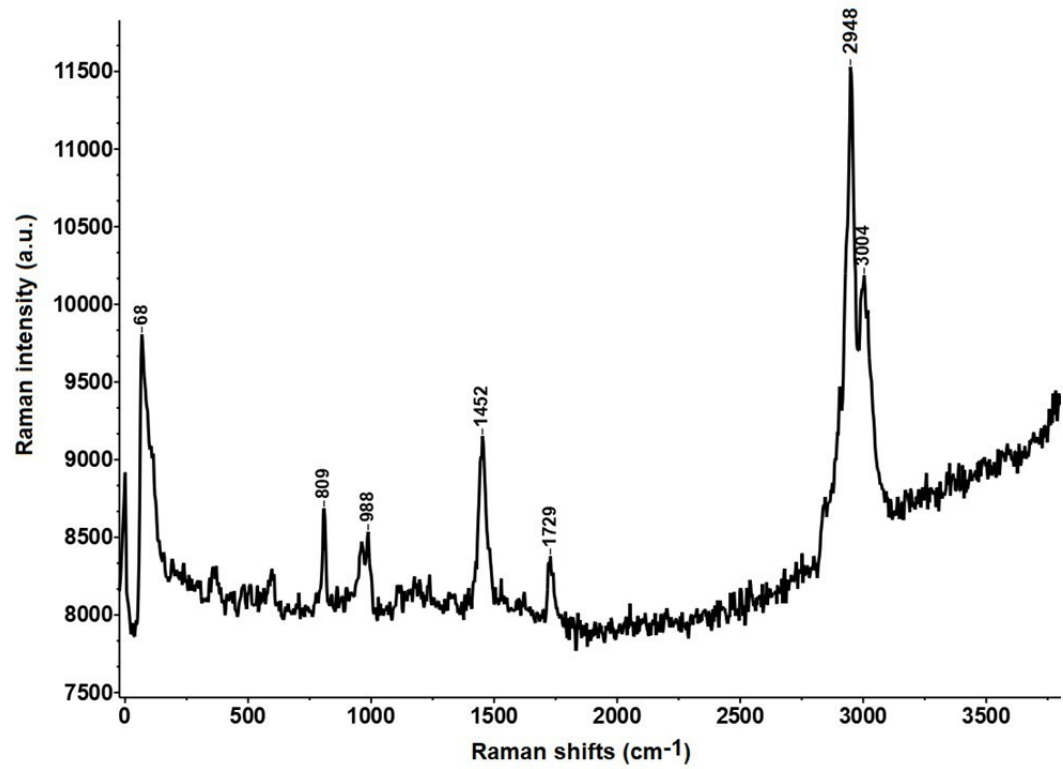
Şekil 4.12. Bor katkılı PMMA temelli malzemenin (AB_2) Raman spektrumu



Şekil 4.13. Bor katkılı PMMA temelli malzemenin (AB_3) Raman spektrumu

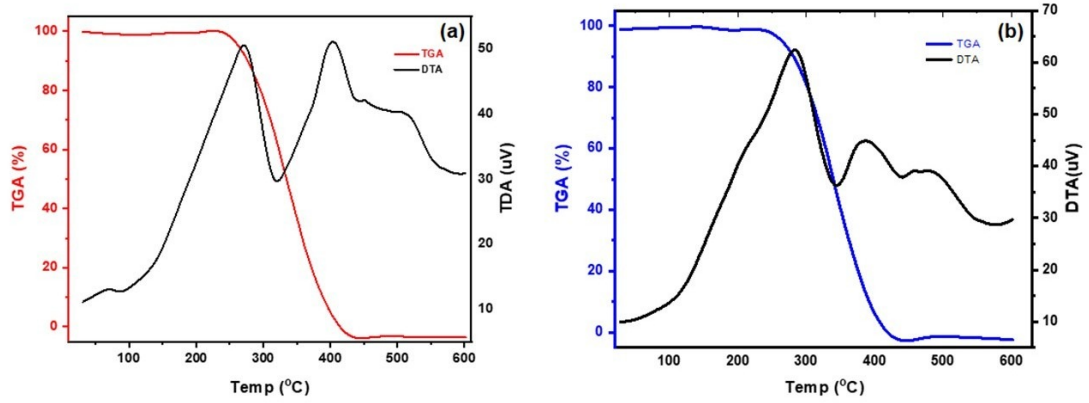


Şekil 4.14. Bor katkılı PMMA temelli malzemenin (AB₄) Raman spektrumu



Şekil 4.15. Bor katkılı PMMA temelli malzemenin (AB₅) Raman spektrumu

Bu tez çalışması kapsamında hazırlanan kontrol grubu olarak PMMA temelli diş protez malzemesi (A) ve bor katkılı PMMA temelli diş protez malzemelerden (AB₂) termal özelliklerini ortaya koymak için Shimadzu DTG-60/60H-TG-DTA thermogravimetric analizler TGA cihazı kullanıldı. Termal analizler (TGA-DTA) sonucunda elde edilen termogramlar Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16. PMMA (A) (a) ve bor katkılı PMMA diş protez malzemesi (AB₂) (b) TGA-DTA termogramları

4.2. PMMA (A) ve bor katkılı PMMA (AB₁–AB₅) kompozitlerin anti-bakteriyel ve antioksidan sonuçları

Bu tez çalışması kapsamında hazırlanan PMMA (A) ve bor katkılı PMMA (AB₁-AB₅) malzemeleri kullanılarak, sadece DMSO ve DMSO + ultrasonik banyo kullanılarak gerçekleştirilen antibakteriyel çalışmalarda *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, metisiline dirençli *Staphylococcus aureus* ATCC 43300 (MRSA) ve *Staphylococcus aureus* ATCC 29213 (MSSA) bakterileri kullanılmıştır. Bu antibakteriyel çalışmalar sonucunda elde edilen MİK ve MBK değerleri Çizelge 4.1-4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. DMSO ile çözünme sonucunda elde edilen MİK ve MBK değerleri

Bakteriyel suşlar	(A)		(AB ₁)		(AB ₂)		(AB ₃)		(AB ₄)		(AB ₅)		Ampisilli n	
	MİK	MBK	MİK	MBK	MİK	MBK	MİK	MBK	MİK	MBK	MİK	MBK	MİK	MBK
S. aureus	512	>1024	512	1024	512	1024	512	1024	256	512	256	512	0.48	0.96
E. coli	512	1024	512	>1024	512	>1024	512	1024	512	1024	512	1024	31.25	62.5
P. aeruginosa	512	1024	512	1024	512	1024	512	1024	256	512	512	1024	31.25	62.5
MRSA	512	1024	512	1024	512	1024	512	1024	256	512	512	1024	31.25	62.5

Çizelge 4.2. DMSO + ultrasonik banyo ile çözünme sonucunda elde edilen MİK ve MBK değerleri

Bakteriyel suşlar	(A)		(AB ₁)		(AB ₂)		(AB ₃)		(AB ₄)		(AB ₅)		Ampisilli n	
	MİK	MBK	MİK	MBK	MİK	MBK	MİK	MBK	MİK	MBK	MİK	MBK	MİK	MBK
S. aureus	512	>1024	512	1024	512	>1024	256	1024	256	512	256	512	0.48	0.96
E. coli	256	512	512	>1024	512	>1024	512	1024	256	1024	256	512	31.25	62.5
P. aeruginosa	256	1024	256	512	256	512	256	1024	256	512	256	512	31.25	62.5
MRSA	512	1024	512	1024	512	1024	512	1024	256	512	512	1024	31.25	62.5

Bu tez çalışması kapsamında hazırlanan PMMA (A) ve bor katkılı PMMA (AB₁-AB₅) malzemelerin antioksidan aktivite gösterip göstermediğini değerlendirmek amacıyla, PMMA temelli bu malzemelerin in vitro ABTS (2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiyazolin-6-sülfonik asit) ve DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) spektrofotometrik yöntemler kullanılarak radikal tutma kapasiteleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. PMMA (A) ve bor katkılı PMMA malzemelerin in vitro ABTS ve DPPH yöntemleriyle elde edilen antioksidan kapasiteleri

Bileşikler	ABTS (IC ₅₀ µg/mL)	R ²	DPPH (IC ₅₀ µg/mL)	R ²
(A)	≈ 249,7	0,9916	-	-
(AB ₁)	≈ 115,2	0,9980	-	-
(AB ₂)	≈ 63,4	0,9996	≈ 144,6	0,9955
(AB ₃)	≈ 120,0	0,9999	-	-
(AB ₄)	≈ 129,0	0,9910	-	-
(AB ₅)	≈ 102,4	0,9958	-	-

5. TARTIŞMA

Bu tez çalışması kapsamında negatif kontrol grubu olarak sentezlenen polimetil metakrilat, yani PMMA (A), sadece diş protez malzemesi olarak değil, birçok alanda kullanılan şeffaf bir malzeme olduğundan ekonomik açıdan ticari bir ürün olarak oldukça ilgi çekmektedir. Bu tez çalışmasında akrilik özellikteki PMMA bileşiğine farklı bor türevleri eklenerek yapının değişip değişmediği ilk olarak FT-IR spektroskopisi ile incelenmiştir. Elde edilen FT-IR spektrumları Şekil 4.1-4.6 olarak verilmiştir. İlk olarak laboratuvarında diş protezlerinde yaygın olarak sentezlenen PMMA molekülünün FT-IR spektrumu incelendiğinde en karakteristik gerile ve eğilme titreşim piklerinin sırasıyla 2994-2949, 1724, 1439, 1142 ve 751 cm^{-1} 'de ortaya çıktığı tespit edildi (Şekil 4.1). PMMA akrilik diş protez malzemesinin FT-IR spektrumunda gözlenen bu gerilme/eğilme titreşim piklerinin ise PMMA yapısında bulunan CH_3 veya CH_2 gruplarından kaynaklı $\nu(\text{C-H})$ gerilme titreşimleri, ester grubuna ait $\nu(\text{C=O})$ gerilme titreşimleri, $\nu(\text{C-O-C})$ asimetrik gerilme titreşimi, CH_3 veya CH_2 gruplarından kaynaklı $\nu(\text{C-H})$ eğilme titreşimleri ve CH_3 gruplarından kaynaklı sallanma titreşimlerine karşılık geldiği söylenebilir. Elde edilen bu titreşim pik değerlerinin önceki çalışmalarla da uyum içinde olduğu tespit edilmiştir (Smith, 2023; Duan vd., 2008; Hilmi vd., 2023). Diğer taraftan, bor katkılı PMMA malzemelerinin (AB_1 - AB_5) FT-IR spektrumları (Şekil 4.2-4.6) incelendiğinde PMMA kaynaklı FT-IR piklerinin oldukça net olarak gözlemlendiği ve negatif kontrol grubu olarak bor içermeyen PMMA (A) malzemesinin FT-IR spektrumu ile kıyaslandığında pik konumlarında bazı kaymaların meydana geldiği görülmüştür. PMMA temelli CH_3 veya CH_2 gruplarından kaynaklı $\nu(\text{C-H})$ gerilme titreşimleri, ester grubuna ait $\nu(\text{C=O})$ gerilme titreşimleri, $\nu(\text{C-O-C})$ asimetrik gerilme titreşimi, CH_3 veya CH_2 gruplarından kaynaklı $\nu(\text{C-H})$ eğilme titreşimleri ve CH_3 gruplarından kaynaklı sallanma titreşimlerine karşılık gelen FT-IR pikleri ise sırasıyla; 2995-2949, 1724-1723, 1436-1433, 1143-1142 ve 752-750 cm^{-1} aralığında ortaya çıkmıştır. Bu karakteristik piklerden farklı olarak 1388-1353 cm^{-1} aralığında ortaya çıkan zayıf piklerin ise PMMA malzemesine eklenen bor kaynaklı $\nu(\text{B-O})$ gruplarına karşılık geldiği tahmin edilmektedir. Ancak $\nu(\text{B-O})$ gruplarına karşılık gelen FT-IR titreşim frekanslarının oldukça güçlü olmaması, PMMA protez diş malzemesine eklenen borbileşiklerinin miktarının düşük

olmasına (%3) bağlanabilir. Başka bir deyişle, ilgili bor katkılı PMMA kompozitlerin FT-IR spektrumlarında, yeni bantlar görülmeden PMMA malzemesine ait FT-IR piklerinin oldukça şiddetli olarak ortaya çıkmış olması bor katkılı PMMA (**AB₁-AB₅**) akrilik kompozitlerde yalnızca fiziksel etkileşimlerin oluştuğunu ve kimyasal bağların oluşmadığını da işaret etmektedir (Hilmi vd., 2023).

Günümüzde XRD tekniği, hazırlanan kompozit malzemelerin kristal özellikleri, birim hücresinin boyutu ve kristal şeklini ortaya koymak için kullanılan en yaygın yapısal karakterizasyon tekniklerinden biridir. Bu bağlamda, hazırlanan bu tezde negatif kontrol grubu olarak hazırlanan polimetil metakrilat, yani PMMA (**A**), ile bor katkılı akrilik diş protez PMMA malzemelerinin (**AB₁-AB₅**) kristal yapıda mı yoksa amorf yapıda olduğunu belirlemek için toz XRD analizleri gerçekleştirildi. Toz XRD analizleri ile ilgili elde edilen XRD spektrumları Şekil 4.7’de verilmiştir. İlk olarak negatif kontrol grubu olarak hazırlanan polimetil metakrilat, yani PMMA (**A**), ile bor katkılı akrilik diş protez PMMA malzemelerinin (**AB₁-AB₅**) XRD spektrumları incelendiğinde bunların birbirine oldukça benzer olduğu görülmektedir. Diğer bir deyişle, ağırlıkça %3 olarak **AB₁** için eklenen borik asit, **AB₂** için eklenen trimetil borat, **AB₃** için eklenen 4-hidroksimetilfenil boronik asit, **AB₄** için eklenen 3-hidroksi-4-metoksifenilboronik asit ve **AB₅** için eklenen 4-pridinboronik asitin PMMA yapısında önemli bir değişiklik meydana getirmediği görülmektedir. Elde edilen spektrumlar üzerinde yapılan incelemelerde negatif kontrol grubu olarak hazırlanan polimetil metakrilat (**A**), ile bor katkılı akrilik diş protez PMMA malzemelerinin (**AB₁-AB₅**) XRD desenlerinde PMMA dışında yeni hiçbir piklerin görülmemesi, hedef akrilik diş protez malzemelerinin başarıyla sentezlendiğini göstermektedir. Diğer taraftan hazırlanan poli metakrilat (**A**) ve bor katkılı akrilik diş protez PMMA malzemelerinin (**AB₁-AB₅**) XRD desenlerinde keskin bir difraksiyon pikinin görülmemesi, PMMA zincirinde hacimli yan ester grubunun bulunması nedeniyle polimerin amorf yapısını doğrulamaktadır. Ayrıca, Şekil 4.7’de görüldüğü üzere, bor içermeyen PMMA için XRD deseni $2\theta = 13,7^\circ$ (111), $30,5^\circ$ (112) ve $42,3^\circ$ (211) civarında üç geniş kırınım halesi göstermekte olup, bu da PMMA’nın amorf yapısını işaret etmektedir. Gözlenen birinci tepe noktasının şekli, genişlemiş polimer zincirlerinin paketlenmesine atfedilirken, ikinci tepe noktası ise yoğunluğunun sistematik olarak azalmasıyla en uçtaki zincirlerdeki düzenlemeyi göstermektedir. Gözlenen bu sonuçlar

daha önceki çalışmalarla örtüşmektedir (Yousefi vd., 2023; Chandralingam vd., 2017; Khairy vd., 2020). Bununla birlikte, bor katkılı akrilik diş protez PMMA (AB_1-AB_5) malzemelerinin XRD desenlerinde de benzer şekilde üç oldukça geniş pikin var olması PMMA temelli (AB_1-AB_5) malzemelerinin de amorf yapıda olduğu ve ağırlıkça %3 oranında bor türevlerinin PMMA yapısına eklenmesi sonucunda kristal yapıda önemli ölçüde bir değişikliğin meydana gelmediğini göstermektedir. Şekil 4.7’de gözlendiği üzere, PMMA yapısına farklı bor türevlerinin eklenmesi sadece bazı PMMA Bragg piklerinde kaymalara neden olduğu görülmektedir (Sunita vd., 2019). Bununla birlikte, gözlenen amorf yapı, bor katkılı PMMA’da kristalleşmeyi engelleyen sarkık grupların varlığıyla ilgili olduğu ve bu gruplar sayesinde moleküller kristal bağlar oluşturacak kadar birbirine yaklaşmadığı tahmin edilmektedir (Khairy vd., 2020).

Bu tez çalışması kapsamında hazırlanan polimetil metakrilat (A) ve bor katkılı akrilik PMMA diş protez malzemelerinin (AB_1-AB_5) yüzey morfolojisini görüntülemek amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanıldı. Şekil 4.8-4.9, aynı büyütme oranında, saf PMMA (A) ve farklı bor bileşikleri eklenmiş (ağırlıkça %3) bor katkılı PMMA (AB_1-AB_5) malzemelerin SEM görüntülerini göstermektedir. Yapılan incelemeler sonucunda ve Şekil 4.8’de görüldüğü gibi, bor içermeyen saf akrilik protez diş malzemesi olarak oldukça yaygın olarak kullanılan PMMA malzemesinin yüzeyi, amorf yapısına uygun olarak nispeten pürüzsüz ve belirgin bir özelliği olmayan bir amorf görünüm sergilediği görülmektedir (Megahed vd., 2022). Bunun yanında farklı organik yapıları bor bileşiklerinin saf PMMA malzemesine eklenmesi sonucu SEM görüntüleri üzerinde yapılan incelemelerde (Şekil 4.8-4.9) bazı morfolojik değişikliklerin meydana geldiği görülmektedir. Bu yapılarda organik bor yapıların eklenmesiyle PMMA’nın pürüzsüz polimer matrisi içine gömülü, daha küçük, daha pürüzlü ve daha homojen bir şekilde dağılmış yapıların olduğu görülmektedir. Farklı organik bor yapıların eklenmesiyle üretilen PMMA akrilik diş malzemelerinin morfolojik yapılarında önemli bir çatlama ve deformasyon olmaması, bu malzemelerin diş protezlerinde anti bakteriyel ve antioksidan özelliklere sahip yeni PMMA temelli ürünlerin hazırlanabileceğini ortaya koymaktadır. Bu tez çalışması kapsamında hazırlanan PMMA (A) malzemesine %3 oranında bor katkısı (AB_1-AB_5) yapılmasına rağmen SEM-EDX analizinde bor oranı tespit edilememiştir (Şekil

4.8-4.9). SEM-EDX analizinde bor oranının tespit edilmemesinin nedeni olarak EDX tekniğinin düşük atom numaralı elementlere karşı sınırlı hassasiyet göstermesi olarak düşünülmektedir. Yapılan literatür araştırmasında özellikle B, C, N, O elementlerinin düşük enerjili karakteristik X-ışınları üretmesi nedeniyle sinyal şiddetinin zayıf olduğu ve bu nedenle kantitatif sonuçların güvenilirliğinin azaldığı belirtilmiştir. Polimer esaslı sistemlerde EDX analizinin doğruluğu daha da düşmektedir. Bunun nedeni, polimer matrislerin çoğunlukla düşük atom numaralı elementlerden oluşması ve bu elementlerin oluşturduğu arka plan sinyalinin katkı elementlerinin tespitini zorlaştırmasıdır (Alqaheem ve Alomair, 2020). Açıklanan bu gerekçelerin yanında, özellikle düşük oranlı katkıların ya da eklenen bor materyalinin formasyonundan kaynaklı olarak EDX analizlerinde bor oranını tespit edememe sorununu oluşturmaktadır. Bunun yanında, EDX tekniğinin düşük konsantrasyonlardaki katkı elementlerini tespit etme duyarlılığı sınırlıdır ve oranı düşük katkıların kantitatif analizinde yetersiz kalabileceği belirtilmiştir (Rahman vd., 2026). Diğer taraftan, PMMA polimer matrislerde katkı fazının homojen dağılmaması ve EDX’te analiz edilen bölgenin lokal olarak değişim göstermesi ölçülen değerlerin nominal kompozisyonundan sapmasına neden olabilmektedir (Michler, 2008). Sonuç olarak, bor elementinin düşük atom numarası, polimetil metakrilat (PMMA) gibi polimer matrisler karbon ve oksijen açısından zengin olup, bu elementlerin oluşturduğu yoğun arka plan sinyali bor piklerinin maskelenmesi ve EDX analizinin düşük konsantrasyonlara karşı sınırlı hassasiyeti nedeniyle ölçülen bor miktarı nominal %3 değerinden daha düşük ve bor malzemesinin formu (elementel değil de bor oksit (B_2O_3), bor karbür (B_4C) veya başka bileşik formdaysa sinyal dağılımı değişebilir ve düşük görünür) EDX te borun tespit edilemediği için bu durum malzemenin içinde bor katkısının olmadığı anlamına gelmemektedir. Buna paralel olarak; FT-IR analizinde, bor katkılı numunelerde yeni belirgin piklerin oluşmadığı, ancak özellikle 1724 cm^{-1} ($C=O$) ve 1142 cm^{-1} ($C-O-C$) bantlarında şiddet değişimi ve kısmi kaymalar gözlemlenmiştir. Bu durum, bor bileşiklerinin polimer matrisi ile etkileşime girdiğini göstermektedir. Bu sonuçlar, SEM-EDX analizinde bor elementinin tespit edilememesi ile uyumlu olup, borun düşük atom numarası ve zayıf sinyal üretimi nedeniyle doğrudan belirlenememesine rağmen, FT-IR analizinde gözlenen spektral değişimler katkının matriste mevcut olduğunu desteklemektedir.

Bu tez çalışması kapsamında hazırlanan diş protez malzemesi olarak saf PMMA (A) ve bor katkılı PMMA diş protez malzemelerinin (AB_1 - AB_5) Raman spektrumları Şekil 4.10-1.15'te verilmiştir. Saf PMMA (A) ve bor katkılı PMMA diş protez malzemelerinin (AB_1 - AB_5) Raman spektrumları incelendiğinde en karakteristik piklerin saf PMMA için sırasıyla 68, 815, 964, 1449, 1726 ve 2951-3001 cm^{-1} 'de gözlenmiştir. Bor katkılı PMMA temelli diş protez malzemelerinin (AB_1 - AB_5) Raman spektrumları incelendiğinde, bu karakteristik piklerin var olduğu, ancak farklı bor türlerinin katılması sonucunda bu karakteristik pik pozisyonlarında bazı kaymaların meydana geldiği görülmektedir. Buna karşılık bor katkılı PMMA temelli diş protez malzemelerinin (AB_1 - AB_5) Raman spektrumlarında ağırlıkça %3 olarak eklenen bor bileşiklerinden kaynaklı spesifik piklerin varlığı tespit edilmemiştir. Saf PMMA (A) malzemesinin Raman spektrumu incelendiğinde, ilk karakteristik piklerin 2951 ve 3001 cm^{-1} 'de çıktığı ve bunların farklı türdeki C-H (O-CH₃, -CH₃ ve -CH₂) gerilme titreşimlerine karşılık geldiği görülmektedir (Hosseini vd., 2015; Dybal ve Krimm, 1990). Diğer taraftan, en şiddetli piklerden biri olarak gözlenen ve karbonil gruplarından (C=O) kaynaklı gerilme titreşimlerine karşılık gelen pik ise 1726 cm^{-1} 'de ortaya çıkmıştır. 1449 ve 815 cm^{-1} 'de çıkan titreşim pikleri ise polimetil metakrilat yapısından bulunan COOCH₃ gruplarından kaynaklı O-CH₃ ve C-O-C titreşimlerine karşılık gelen pikleri göstermektedir (Chen vd., 2019). Bununla birlikte, 964 cm^{-1} 'de çıkan titreşim pikinin ise ν (C-O) gruplarından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Elde edilen Raman spektral bulgular, saf PMMA (A) malzemesinin başarılı bir şekilde oluştuğunu göstermektedir. Bor katkılı PMMA (AB_1 - AB_5) malzemelerinin Raman spektrumları incelendiğinde ise; farklı türdeki C-H (O-CH₃, -CH₃ ve -CH₂) gerilme titreşimleri, karbonil gruplarından (C=O) kaynaklı gerilme titreşimleri, COOCH₃ gruplarından kaynaklı ν (O-CH₃) ve ν (C-O-C) titreşimleri ile (C-O) kaynaklı gerilme titreşimleri ise sırasıyla 2948-3004, 1729-1723, 1452-1446, 815-809 ve 988-961 cm^{-1} aralığında gözlenmiştir. Elde edilen Raman spektral sonuçlar hedeflenen malzemelerin başarılı bir şekilde oluşumunu desteklemektedir.

Bu tez çalışması kapsamında hazırlanan kontrol grubu olarak PMMA temelli diş protez malzemesi (A) ve bor katkılı PMMA temelli diş protez malzemelerden (AB_2) termal özelliklerini ortaya koymak için elde edilen termal analizlere (TGA-DTA) ait termogramlar Şekil 4.16'da verilmiştir. Sentezlenen PMMA (A) ve bor katkılı PMMA

(AB₂) kompozitlerin TGA termogramları 30 °C ile 600 °C arasında azot gazı atmosferinde 10 °C/dak hızında elde edilmiştir. Elde edilen kompozitlerin termal kararlılıklarını belirlemek amacıyla gerçekleştirilen TGA analizlerinde hem sentezlenen saf PMMA (A) hem de bor katkılı PMMA (AB₂) kompozitlerin tek basamaklı bir termal bozunma profili sergilediği gözlemlenmiştir. 100 °C civarında gözlenen yaklaşık %1-2'lik kütle kaybı, numunelerin yapısındaki fiziksel olarak adsorbe edilmiş nemin veya kalıntı çözücünün uzaklaşmasına atfedilmektedir. Şekil 4.15'te sunulan TGA eğrileri incelendiğinde, bor katkılı PMMA (AB₂) numunesinin saf PMMA (A) örneğine kıyasla daha yüksek bir termal kararlılık sergilediği görülmektedir. Saf PMMA (A) protez malzemesinin bozunma başlangıç sıcaklığı (T_{onset}) 312 °C olarak belirlenirken, bor katkılı PMMA (AB₂) numunesinde bu değerin 328 °C'ye yükseldiği tespit edilmiştir. Ayrıca, kütle kaybı hızının maksimuma ulaştığı sıcaklıkları temsil eden DTG verileri incelendiğinde, saf haldeki PMMA (A) için (T_{max}) değeri 368 °C iken, bor katkılı PMMA (AB₂) için bu değer 382 °C olarak kaydedilmiştir. Bu durum, bor katkılı PMMA (AB₂)'nin sadece bozunma başlangıcında değil, tüm ana bozunma süreci boyunca ısı direncinin daha yüksek olduğunu kanıtlamaktadır. Her iki numunenin de 500 °C sonrasında kararlı bir kalıntı bırakması, ana polimerik/organik yapının bu sıcaklığa kadar tamamen dekompoze olduğunu göstermektedir (Goktas ve Hacaloglu, 2019; Kılıç ve Bayramgil, 2025).

Bu tez çalışmasında üretilen PMMA (A) ve bor katkılı PMMA (AB₁-AB₅) akrilik diş protez malzemelerinin anti bakteriyel ve antioksidan özellikleri incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında hazırlanan PMMA (A) ve bor katkılı PMMA (AB₁-AB₅) akrilik diş protez malzemelerinin test edilen bakteri suşlarına karşı in vitro antibakteriyel aktivitesi, besiyeri mikrodilüsyon yöntemi kullanılarak değerlendirildi. Minimum inhibitör konsantrasyon (MIK) ve minimum bakterisidal konsantrasyon (MBK) sonuçları Çizelge 4.1-4.2'de verilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda bor katkılı PMMA bazlı akrilik diş protezi malzemelerinin (AB₁-AB₅) *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), metisiline dirençli *Staphylococcus aureus* (MRSA), *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*) ve *Escherichia coli* (*E. coli*) üzerindeki antibakteriyel etkinliği ortaya konulmuş ve elde edilen sonuçlara göre bor katkılı PMMA bazlı akrilik diş protezi malzemelerinin (AB₁-AB₅), negatif kontrol grubu olarak kabul edilen PMMA (A) malzemesine göre bazı biyolojik

iyileşmeler gösterdiği tespit edilmiştir. Özellikle, *S. aureus*'a karşı antibakteriyel aktivite açısından, bor katkılı PMMA bazlı akrilik diş protezi malzemelerinin (**AB₃-AB₅**) 512 µg/mL MİK değeri gösteren PMMA (**A**) standart maddesine kıyasla 256 µg/mL MİK değerleriyle daha yüksek antibakteriyel aktivite sergilemiştir. Ayrıca, PMMA (**A**) standart maddesine (512 µg/mL MİK değeri) kıyasla, yalnızca bor katkılı PMMA (**AB₄**) malzemesinin (256 µg/mL MİK değeri) MRSA'ya karşı etkili antibakteriyel aktivite sergilediği bulunmuştur. *P. aeruginosa*'ya karşı, hem bor katkılı PMMA bazlı akrilik diş protezi malzemeleri (**AB₃-AB₅**) hem de PMMA (**A**) standart maddesi benzer MIC değerleri (256 µg/mL) sergilemiştir. Diğer taraftan hazırlanan PMMA temelli (**A**), (**AB₄**) ve (**AB₅**) akrilik protez malzemeleri 256 µg/mL'lik bir MIC değeri sergilerken, (**AB₁-AB₃**) akrilik malzemelerinin MIC değerlerinin 512 µg/mL olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada, laboratuvarında tarafımızdan üretilen saf PMMA (**A**) ve bor katkılı PMMA (**AB₁-AB₅**) akrilik diş protez malzemelerinin antioksidan aktiviteleri, DPPH ve ABTS radikal tutucu testleri kullanılarak değerlendirilmiş ve sonuçlar IC₅₀ değerleri (µM) temelinde karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.3). Bilinen bilgiler ışığında burada hesaplanan IC₅₀ değeri, hazırlanan PMMA temelli akrilik diş protez malzemelerinin radikal yakalama etkinliğini ölçen bir parametredir; daha düşük IC₅₀ değerleri, daha yüksek antioksidan aktiviteyi göstermektedir. Uygun koşullar altında yapılan ABTS testinde, hazırlanan bor katkılı PMMA malzemeler arasında (**AB₂**) malzemesi 63,4 µg/mL ile en düşük IC₅₀ değerini sergilemiş ve bu da saf PMMA (**A**) malzemesine göre (IC₅₀ ≈ 249,7 µg/mL) güçlü bir ABTS radikal tutma kapasitesini ortaya koymuştur. Bunun yanında, hazırlanan diğer bor katkılı PMMA malzemelerinin de (**AB₁, AB₃-AB₅**) IC₅₀ değerlerine bakıldığında, saf PMMA (**A**) malzemesine göre daha güçlü antioksidan özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.3'e bakınız). Bunun birlikte, uygun koşullar altında yapılan DPPH radikal temizleme testinde de hazırlanan bor katkılı PMMA malzemeler arasında (**AB₂**) malzemesi 144,6 µg/mL ile en düşük IC₅₀ değerini sergilemiş, bu da (**AB₂**) malzemesinin hem saf PMMA (**A**) malzemesi hem de diğer bor katkılı PMMA temelli akrilik diş protez malzemelerine (**AB₁, AB₃-AB₅**) göre daha güçlü bir DPPH radikal tutma kapasitesine sahip olduğu ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.3). Her iki antioksidan testin (ABTS ve DPPH) deneysel sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, hazırlanan bor katkılı PMMA (**AB₂**) malzemesinin doğal

yapısının hem DPPH hem de ABTS radikallerini yok etmede hem saf PMMA (**A**) malzemesi hem de diğer bor katkılı PMMA temelli akrilik diş protez malzemelerine (**AB₁**, **AB₃-AB₅**) göre daha etkili olduğu ortaya çıkmıştır. Hazırlanan saf PMMA (**A**) ile bor katkılı PMMA temelli (**AB₁-AB₅**) akrilik diş protez malzemelerinin antioksidan özelliklerinin anlaşılması, bunların terapötik potansiyeli hakkında önemli bilgiler sağlamıştır.

6. SONUÇLAR

Bu tez kapsamında kontrol grubu olarak hazırlanan saf PMMA (A) ile bor katkılı PMMA temelli (AB₁-AB₅) akrilik diş protez malzemelerinin sentez, yapı aydınlatılması ve biyolojik özellikler (antibakteriyel ve antioksidan) ile ilgili elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1) Günümüzde yaygın olarak tercih edilen ve diş protezlerinin tasarımı, obtüratör ve ortodontik tutucular ile farklı amaç için kullanılan malzemelerin hazırlanmasında sahip oldukları düşük yoğunluk, görünüm estetiği, uygun maliyetli olması, kolay işlenebilirliği ile özelleştirilebilir fiziksel ve mekanik özellikleri gibi benzersiz özelliklerin dolayı 1937'den beri yaygın olarak kullanılan saf polimetil metakrilat (PMMA) (A) ve bunlara ağırlıkça %3 oranında farklı bor bileşikler eklenerek bor katkılı PMMA (AB₁-AB₅) malzemeleri başarılı bir şekilde hazırlanmıştır.

2) Hazırlanan saf PMMA (A) ve farklı bor katkılı PMMA (AB₁-AB₅) malzemelerinin yapısal ve morfolojik özellikleri FT-IR, TGA-DTA, XRD, SEM, SEM-EDX ve Raman teknikleri ile incelenmiştir. Elde edilen bilimsel bulgulara göre hazırlanması hedeflenen PMMA temelli saf ve bor katkılı akrilik diş protez malzemelerinin başarılı bir şekilde hazırlandığı ortaya konulmuştur.

3) Bu tez çalışmasında üretilen PMMA (A) ve bor katkılı PMMA (AB₁-AB₅) akrilik diş protez malzemelerinin antibakteriyel ve antioksidan özellikleri incelenmesi sonucunda elde edilen bilimsel bulgulara göre bor katkılı PMMA bazlı akrilik diş protezi malzemelerinin (AB₁-AB₅) negatif kontrol grubu olarak kabul edilen saf PMMA (A) malzemesine göre bazı biyolojik iyileşmeler gösterdiği tespit edilmiştir.

4) Bor katkılı PMMA bazlı akrilik diş protezi malzemelerinin (AB₁-AB₅) *Staphylococcus aureus* (S. aureus), metisiline dirençli *Staphylococcus aureus* (MRSA), *Pseudomonas aeruginosa* (P. aeruginosa) ve *Escherichia coli* (E. coli) üzerindeki antibakteriyel etkinliği incelendiğinde, bunların saf PMMA (A) malzemesine göre daha iyi anti bakteriyel özelliklere sahip olduğu görülmüştür.

5) Hazırlanan bor katkılı PMMA (AB₂) malzemesinin hem DPPH hem de ABTS

radikallerini yok etmede hem saf PMMA (A) malzemesi hem de diğer bor katkılı PMMA temelli akrilik diş protez malzemelerine (AB_1 , AB_3 - AB_5) göre daha etkili olduğu ortaya çıkmıştır.

6) Hazırlanan saf PMMA (A) ile bor katkılı PMMA temelli (AB_1 - AB_5) akrilik diş protez malzemelerinin antibakteriyel ve antioksidan özelliklerinin anlaşılması, bunların terapötik potansiyeli hakkında önemli bilgiler sağlamıştır.

7) Bu tez çalışması sonucunda, günümüzde de yaygın olarak talep gören en önemli akrilik diş protez malzemelerinden biri olan PMMA malzemesine güçlü antibakteriyel ve antioksidan özelliklere sahip olduğu bilinen bor türevlerinin eklenmesiyle gelecekte bu alanda yapılması hedeflenen yeni bilimsel çalışmalara öncülük edecektir.

7. ÖNERİLER

Saf PMMA (A) ile bor katkılı PMMA temelli (AB_1-AB_5) akrilik diş protez malzemelerinin sentez, karakterizasyon ve antibakteriyel ile antioksidan özellikleri içeren bu tez çalışması sonucunda elde edilen bilgiler ışığında yapılan öneriler aşağıda sıralanmıştır.

1) Yapılan literatür araştırmasında bor katkılı PMMA temelli akrilik diş protez malzemelerin üretilmesi ilgili çalışmaların oldukça nadir olduğu görülmüştür. Bu yüzden farklı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip bor türevlerinin PMMA malzemelere eklenmesiyle yeni çalışmalar literatüre kazandırılabilir.

2) Bor katkılı PMMA temelli akrilik diş protez malzemelerin biyolojik ve sağlık alanında pratik uygulamalarının yetersiz olmasından dolayı bu tip bileşiklerle ilgili yeni projelerin sunulması uygun olacaktır.

3) PMMA temelli akrilik diş protez malzemelerin üretilmesi ve farklı uygulamalarının detaylı olarak ortaya konulması için genç araştırmacıların bu alanda uzmanlaşmasına da olanak sağlanmalıdır.

4) Bor katkılı PMMA temelli akrilik diş protez malzemelerin üretilmesi ve farklı uygulamalarda başarılı sonuçların alınabilmesi için bunların mekanik testlerinin de detaylı ortaya konulması gerekmektedir.

5) Diş protezleri alanında oldukça sık kullanılan PMMA malzemesi ile ilgili bilinen bazı problemlerin (iletkenlik, su emilimi, çözünürlük, darbe ve eğilme mukavemeti gibi) üstesinde gelmek için dop edilen malzemelerin biyoyumluluğu, katkı oranları ve bunların homojen karışımı gibi şartların sağlanması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Akhavan, A., Arab, S., Eslamiamirabadi, N., Sodagar, A., & Safari, F. (2023). Evaluation of the flexural strength of orthodontic acrylic resin incorporated with propolis nanoparticles: an in vitro study. *Folia Medica*, 65(5), 821–827. <https://doi.org/10.3897/folmed.65.e90085>
- Ali, U., Karim, K. J. A., & Buang, N. A. (2015). A Review of the Properties and Applications of Poly (Methyl Methacrylate) (PMMA). *Polymer Reviews*, 55(4), 678–705. <https://doi.org/10.1080/15583724.2015.1031377>
- Alqaheem, Y., & Alomair, A. A. (2020). Microscopy and Spectroscopy Techniques for Characterization of Polymeric Membranes. *Membranes*, 10(2), 33. <https://doi.org/10.3390/membranes10020033>
- Alqutaibi, A. Y., Baik, A., Almuzaini, S. A., Farghal, A. E. A., Alnazzawi, A., Borzangy, S., Aboalrejal, A., Abd-elaziz, M. H., Mahmoud, I., & Zafar, M. S. (2023). Polymeric Denture Base Materials: A Review. *Polymers*, 15(15), 3258. <https://doi.org/10.3390/polym15153258>
- Amangeldinova, M., Ersatır, M., Necip, A., Yilmaz, M. A., Cimentepe, M., Kudrina, N., Terletskaya, N. V., Cimentepe, O. O., & Yildirim, M. (2024). Simultaneous quantitative screening of 53 phytochemicals from Rheum tataricum L. roots: a comparative study of supercritical CO₂, subcritical ethanol, and ultrasound-assisted extraction for enhanced antioxidant, antibacterial activities, and molecular docking study. *Frontiers in Plant Science, Volume 15 - 2024*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1513875>
- Arima, T., Murata, H., & Hamada, T. (1996). The effects of cross-linking agents on the water sorption and solubility characteristics of denture base resin. *Journal of Oral Rehabilitation*, 23(8), 529–534. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.1996.tb00882.x>
- Arlen, M., & Dadmun, M. (2003). The reinforcement of polystyrene and poly(methyl methacrylate) interfaces using alternating copolymers. *Polymer*, 44(22), 6883–6889. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2003.08.025>
- Braun, K. O., Mello, J. A., Rached, R. N., & Cury, A. A. D. B. (2003). Surface texture and some properties of acrylic resins submitted to chemical polishing. *Journal of Oral Rehabilitation*, 30(1), 91–98. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2842.2003.00997.x>
- Charasseangpaisarn, T., Wiwatwarrapan, C., Thunyakitpisal, P., & Srimaneepong, V. (2023). Development of poly(methyl methacrylate)/poly(lactic acid) blend as sustainable biomaterial for dental applications. *Scientific Reports*, 13(1), 16853. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44150-2>
- Chen, J., Li, J., Xu, L., Hong, W., Yang, Y., & Chen, X. (2019). The Glass-Transition Temperature of Supported PMMA Thin Films with Hydrogen Bond/Plasmonic Interface. *Polymers*, 11(4), 601. <https://doi.org/10.3390/polym11040601>

- Chen, S. Y., Liang, W. M., & Yen, P. S. (2001). Reinforcement of acrylic denture base resin by incorporation of various fibers [PMID: 11241340]. *Journal of Biomedical Materials Research*, 58(2), 203–208. [https://doi.org/10.1002/1097-4636\(2001\)58:2<203::aid-jbm1008>3.0.co;2-g](https://doi.org/10.1002/1097-4636(2001)58:2<203::aid-jbm1008>3.0.co;2-g)
- Çelebi, N., Yılmaz, G., & Alçın, Ş. (2008). Effect of polymerization methods on the residual monomer level of acrylic resin denture base polymers. *Polymers for Advanced Technologies*, 19(3), 201–206. <https://doi.org/10.1002/pat.996>
- Das, B. C., Thapa, P., Karki, R., Schinke, C., Das, S., Kambhampati, S., Banerjee, S. K., Veldhuizen, P. V., Verma, A., Weiss, L. M., & Evans, T. (2013). Boron chemicals in diagnosis and therapeutics. *Future Medicinal Chemistry*, 5(6), 653–676. <https://doi.org/10.4155/fmc.13.38>
- Degirmenci, U., Kilic, A., Söylemez, R., & Yildirim, M. (2024). Tetrahedral Boronate Ester as Regulators of Inflammation and Adhesion in ox-LDL Induced Atherosclerotic Model. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*, 50, 106–115. <https://doi.org/10.1134/S106816202401006X>
- Demirci, S., Kaya, M. S., Doğan, A., Kalay, Ş., Altın, N. Ö., Yarat, A., Akyüz, S. H., & Şahin, F. (2015). Antibacterial and cytotoxic properties of boron-containing dental composite. *Turkish Journal of Biology*, 39(3), 417–426.
- Dızman, C., Sarica, S., & Babayiğit, L. (2023). Investigation of the effect of cyclic borate ester groups in acrylic copolymers on paint and varnish coatings. *DergiPark*.
- Duan, G., Zhang, C., Li, A., Yang, X., Lu, L., & Wang, X. (2008). Preparation and Characterization of Mesoporous Zirconia Made by Using a Poly (methyl methacrylate) Template. *Nanoscale Research Letters*, 3(1), 118. <https://doi.org/10.1007/s11671-008-9180-2>
- Dybal, J., & Krimm, S. (1990). Normal-mode analysis of infrared and Raman spectra of crystalline isotactic poly(methyl methacrylate). *Macromolecules*, 23(5), 1301–1308. <https://doi.org/10.1021/ma00207a013>
- Elshereksi, N. W., Kundie, F. A., Muchtar, A., & Azhari, C. H. (2022). Protocols of improvements for PMMA denture base resin: An overview. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 32(1), 1–11. <https://doi.org/10.55713/jmmm.v32i1.1245>
- Esmailzadeh, M., Divband, B., Ranjkesh, B., Azar, F. P., Sefidan, F. Y., Kachoei, M., & Karimzadeh, B. (2022). Antimicrobial and Mechanical Properties of Orthodontic Acrylic Resin Containing Zinc Oxide and Titanium Dioxide Nanoparticles Supported on 4A Zeolite. *International Journal of Dentistry*, 2022, 8155971. <https://doi.org/10.1155/2022/8155971>
- Farfán-García, E. D., Kilic, A., García-Machorro, J., Cuevas-Galindo, M. E., Rubio-Velazquez, B. A., García-Coronel, I. H., Estevez-Fregoso, E., Trujillo-Ferrara, J. G., & Soriano-Ursúa, M. A. (2023). Chapter 58 - Antimicrobial (viral, bacterial, fungal, and parasitic) mechanisms of action of boron-containing compounds. İçinde D.

- Bagchi, A. Das & B. W. Downs (Ed.), *Viral, Parasitic, Bacterial, and Fungal Infections* (ss. 733–754). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85730-7.00026-6>
- Garrett, D. E. (1998). *Borates: Handbook of Deposits, Processing, Properties, and Use*. Academic Press. <https://www.sciencedirect.com/book/monograph/9780122760600/borates>
- Gautam, R., Singh, R. D., Sharma, V. P., Siddartha, R., Chand, P., & Kumar, R. (2012). Biocompatibility of polymethylmethacrylate resins used in dentistry. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 100B(5), 1444–1450. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.32673>
- Goktas, M., & Hacaloglu, J. (2019). Poly(methyl methacrylate) nanocomposites involving aromatic diboronic acid. *Polymer Bulletin*, 76, 6231–6243. <https://doi.org/10.1007/s00289-019-02720-3>
- Gorustovich, A. A., Steimetz, T., & Guglielmotti, M. B. (2008). Histomorphometric study of alveolar bone healing in rats fed a boron-supplemented diet. *The Anatomical Record*, 291(4), 441–448. <https://doi.org/10.1002/ar.20672>
- Grams, R. J., Santos, W. L., Scorei, I. R., Abad-García, A., Rosenblum, C. A., Bitá, A., Cerecetto, H., Viñas, C., & Soriano-Ursúa, M. A. (2024). The Rise of Boron-Containing Compounds: Advancements in Synthesis, Medicinal Chemistry, and Emerging Pharmacology. *Chemical Reviews*, 124(5), 2441–2511. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.3c00663>
- Hamouda, I. M., & Beyari, M. M. (2014). Addition of glass fibers and titanium dioxide nanoparticles to the acrylic resin denture base material: Comparative study with the conventional and high impact types. *Oral Health and Dental Management*, 13(1), 69–76.
- Haney, B. A., Zaremba, C. L., & Wuest, W. M. (2021). Synthesis and biological evaluation of an antibacterial azaborine retinoid isostere. *Tetrahedron Letters*, 62, 152667. <https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2020.152667>
- Hayran, Y., & Keskin, Y. (2019). Flexural strength of polymethyl methacrylate copolymers as a denture base resin. *Dental Materials Journal*, 38(4), 678–686. <https://doi.org/10.4012/dmj.2018-393>
- Hilal Incebay & Kilic, A. (2022). Electrochemical determination of indigo carmine in food and water samples using a novel platform based on chiral amine-bis(phenolate) boron complex. *Dyes and Pigments*, 197, 109921. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2021.109921>
- Hilmi, A. R., Sholicha, S. P., Sari, Y. P., Zainuri, M., & Pratapa, S. (2023). Optical and physical properties of infrared-exposed-PMMA/zircon composites. *Chemical Physics Letters*, 823, 140514. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2023.140514>

- Hosseini, S., Ibrahim, F., Rothan, H. A., Yusof, R., van der Marel, C., Djordjevic, I., & Koole, L. H. (2015). Aging effect and antibody immobilization on COOH exposed surfaces designed for dengue virus detection. *Biochemical Engineering Journal*, 99, 183–192. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2015.04.001>
- Huang, Z., Bai, L., Liu, J., & Luo, Y. (2024). Boron-Containing Compounds as Antimicrobial Agents to Tackle Drug-Resistant Bacteria [Open Access; CC BY 4.0]. *Pharmaceutical Fronts*, 06(04), e336–e354. <https://doi.org/10.1055/s-0044-1792102>
- Jorge, J. H., Giampaolo, E. T., Machado, A. L., & Vergani, C. E. (2003). Cytotoxicity of denture base acrylic resins: a literature review. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 90(2), 190–193. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(03\)00349-4](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(03)00349-4)
- Kaur, H., & Thakur, A. (2022). Applications of poly(methyl methacrylate) polymer in dentistry: A review [2nd International Conference on Functional Material, Manufacturing and Performances (ICFMMP-2021)]. *Materials Today: Proceedings*, 50, 1619–1625. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.125>
- Khairy, Y., Ali, H. E., Yahia, I., & Zahran, H. (2020). Facile design of a CUT-OFF laser power attenuation using safranin O-doped PMMA polymeric composite films: Optical spectroscopy and dielectric properties. *Optik*, 219, 164943. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2020.164943>
- Kılıç, E., & Bayramgil, N. P. (2025). Boric acid-treated acid-modified graphene doped sodium carboxymethyl cellulose nanocomposites. *International Journal of Biological Macromolecules*, 329, 147754. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.147754>
- Kilic, A., Alshhab, A., & Okumus, V. (2023). Preparation and spectroscopic properties of bioactive 1, 2, 3-triazole-linked boronate esters for use in antioxidant, antimicrobial, and DNA binding studies. *Journal of Organometallic Chemistry*, 993, 122707. <https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2023.122707>
- Kilic, A., Balci, T. E., Arslan, N., Aydemir, M., Durap, F., Okumus, V., & Tekin, R. (2020). Synthesis of cis-1,2-diol-type chiral ligands and their dioxaborinane derivatives: Application for the asymmetric transfer hydrogenation of various ketones and biological evaluation. *Applied Organometallic Chemistry*, 34(10), e5835. <https://doi.org/10.1002/aoc.5835>
- Kilic, A., Beyazsakal, L., Findik, B. T., & Hilal Incebay. (2020). Synthesis and electrochemical investigation of chiral amine bis(phenolate)-boron complexes: In vitro antibacterial activity screening of boron compounds. *Inorganica Chimica Acta*, 510, 119777. <https://doi.org/10.1016/j.ica.2020.119777>
- Kilic, A., Beyazsakal, L., Işık, M., Türkeş, C., Necip, A., Takım, K., & Beydemir, Ş. (2020). Mannich reaction derived novel boron complexes with amine-bis(phenolate) ligands: Synthesis, spectroscopy and in vitro/in silico biological studies. *Journal of*

- Organometallic Chemistry*, 927, 121542. <https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2020.121542>
- Kilic, A., Savci, A., Alan, Y., & Beyazsakal, L. (2020). The synthesis of novel boronate esters and N-Heterocyclic carbene (NHC)-stabilized boronate esters: Spectroscopy, antimicrobial and antioxidant studies. *Journal of Organometallic Chemistry*, 917, 121268. <https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2020.121268>
- Kilic, A., Savci, A., Alan, Y., & Birsen, H. (2021). Synthesis and spectroscopic properties of 4,4'-bipyridine linker bioactive macrocycle boronate esters: photophysical properties and antimicrobial with antioxidant studies. *Journal of Organometallic Chemistry*, 941, 121807. <https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2021.121807>
- Kilic, A., Söylemez, R., & Okumuş, V. (2022). Design, spectroscopic properties and effects of novel catechol spiropborates derived from Schiff bases in the antioxidant, antibacterial and DNA binding activity. *Journal of Organometallic Chemistry*, 960, 122228. <https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2021.122228>
- Kuru-Yaşar, R., & Yarat, A. (2017). Boron and a Current Overview of its Effects On Health. *Clinical and Experimental Health Sciences*, 7. <https://doi.org/10.5152/clinexphealthsci.2017.314>
- Lai, C., Nguyen, A., Ye, L., Hao, J., Koo, H., Mante, F., & Ozer, F. (2022). Antibacterial and Physical Properties of PVM/MA Copolymer- Incorporated Polymethyl Methacrylate as a Novel Antimicrobial Acrylic Resin Material. *Molecules*, 27(24), 8848. <https://doi.org/10.3390/molecules27248848>
- Lee, J.-H., El-Fiqi, A., Jo, J.-K., Kim, D.-A., Kim, S.-C., Jun, S.-K., Kim, H.-W., & Lee, H.-H. (2016). Development of long-term antimicrobial poly(methyl methacrylate) by incorporating mesoporous silica nanocarriers. *Dental Materials*, 32(12), 1564–1574. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2016.09.001>
- Leggat, P. A., & Kedjarune, U. (2003). Toxicity of methyl methacrylate in dentistry. *International Dental Journal*, 53(3), 126–131. <https://doi.org/10.1111/j.1875-595X.2003.tb00736.x>
- Lorenzo, M. L. D., & Frigione, M. (1997). Compatibilization Criteria and Procedures for Binary Blends: A Review. *Journal of Polymer Engineering*, 17(6), 429–460. <https://doi.org/10.1515/POLYENG.1997.17.6.429>
- Lung, C., & Darvell, B. (2005). Minimization of the inevitable residual monomer in denture base acrylic. *Dental Materials*, 21(12), 1119–1128. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2005.03.003>
- Megahed, O. N., Abdelhamid, M. I., Elwassefy, N. A., Youssef, A. M., El-Damarawi, G., & Bakr, N. A. (2026). Fabrication and characterization of poly methyl methacrylate (PMMA) matrix modified with strontium nano-rods. *Scientific Reports*, 16, Article 9342. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-09342-7>

- Michler, G. H. (2008). *Electron Microscopy of Polymers*. Springer Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-36352-1>
- Moreno-Maldonado, V., Acosta-Torres, L. S., Barceló-Santana, F. H., Vanegas-Lancón, R. D., Plata-Rodríguez, M. E., & Castaño, V. M. (2012). Fiber-reinforced nanopigmented poly(methyl methacrylate) as improved denture base. *Journal of Applied Polymer Science*, 125(2), E660–E668. <https://doi.org/10.1002/app.36913>
- Okşak, N., & Kılıç, A. (2025). Investigation of Cytotoxic Effects of Boron Compounds Containing Chiral Group as Bioactive Agents in A549 Lung Cancer Cells. *Harran Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, 22(3), 594–600. <https://doi.org/10.35440/hutfd.1643464>
- Özkul, E., Tekin, R., Ulus, S. A., Atıç, R., Yiğit, Ş., Akar, M. S., Durgut, F., & Dönmez, S. (2022). Boron and orthopedic implants: A review of the literature. *Journal of Applied Nursing and Health*, 4(2), 312–318. <https://doi.org/10.55018/janh.v4i2.117>
- Patel, J. B. (2017). *Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing*. Clinical; Laboratory Standards Institute.
- Pourhajibagher, M., Noroozian, M., Akhoundi, M. S. A., & Bahador, A. (2022). Antimicrobial effects and mechanical properties of poly(methyl methacrylate) as an orthodontic acrylic resin containing Curcumin-Nisin-poly(L-lactic acid) nanoparticle: an in vitro study. *BMC Oral Health*, 22(1), 158. <https://doi.org/10.1186/s12903-022-02157-7>
- Rahman, T., Meadows, D., Zhan, K., Kumar, H. K. S., Smith, M., Davis, V. A., Beckingham, B. S., Peng, Y., & Davis, E. (2026). Detection identification and quantification of polymer additives: a review of techniques approaches challenges and a possible roadmap in analysis. *RSC Appl. Polym.*, 4(2), 466–501. <https://doi.org/10.1039/D5LP00329F>
- Rameshkumar, C., Sarojini, S., Naresh, K., & Subalakshmi, R. (2017). Preparation and Characterization of Pristine PMMA and PVDF Thin Film using Solution Casting Process for Optoelectronic Devices. *Journal of Surface Science and Technology*, 33(1–2), 12–18. <https://doi.org/10.18311/jsst/2017/6215>
- Rao, S., Surya, S., S.R, P., Ali, S., Prabhu, A., Gijnjupalli, K., Shenoy, P. U., Das, R., & B.T, N. (2024). Biocompatibility of polymethyl methacrylate heat-polymerizing denture base resin copolymerized with antimicrobial monomers. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 132(3), 644.e1–644.e10. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2024.06.014>
- Rimple, Gupta, A., & Kamra, M. (2011). An evaluation of the effect of water sorption on dimensional stability of the acrylic resin denture bases. *International Journal of Contemporary Dentistry*, 2. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:138573678>
- Sangu, K. G., Shinde, A. U., Chopra, S., & Rode, H. B. (2021). Evading Antimicrobial Resistance Using boron-containing Therapeutics. *Future Medicinal Chemistry*, 13(3), 229–232. <https://doi.org/10.4155/fmc-2020-0161>

- Sarı, E. N., & Soysal, Y. (2021). Bor Elementi ve Biyolojik Sistemlere Etkisi. *DergiPark*, 4(2).
- Sayın, Z., Ucan, U. S., & Sakmanoğlu, A. (2016). Antibacterial and Antibiofilm Effects of Boron on Different Bacteria. *Biological Trace Element Research*, 173(1), 241–246. <https://doi.org/10.1007/s12011-016-0637-z>
- Smith, B. C. (2023). Infrared Spectroscopy of Polymers X: Polyacrylates. *Spectroscopy*, 38(1), 10–14. <https://doi.org/10.56530/spectroscopy.mi9381w4>
- Smoum, R., Rubinstein, A., Dembitsky, V. M., & Srebnik, M. (2012). Boron Containing Compounds as Protease Inhibitors. *Chemical Reviews*, 112(7), 4156–4220. <https://doi.org/10.1021/cr608202m>
- Soriano-Ursúa, M. A., Martínez-Archundia, M., Kilic, A., Pérez-Capistran, T., Hernández-Zamora, M. A., López-Ramos, J. E., & Farfán-García, E. D. (2024). Formulations with Boric Acid or Aryl-Organoboron Compounds for Treating Diabetic Foot Ulcers. *Pharmaceutics*, 16(1), 72. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics16010072>
- Söğüt, Ö., & Acar, O. (2020). Borun Sağlık Üzerine Etkileri. *Türkiye Klinikleri Journal of Pharmaceutical Sciences*, 9(1), 52–59. <https://doi.org/10.5336/pharmsci.2019-71534>
- Sunita, M. A. A., Vithya, K., Premalatha, M., & Sundaresan, B. (2019). Thermal Study of PMMA-LiNO₃ Electrolyte. *Macromolecular Symposia*, 387(1), 1800189. <https://doi.org/10.1002/masy.201800189>
- Taşlı, P. N. (2013). Boron Enhances Odontogenic and Osteogenic Differentiation of Human Tooth Germ Stem Cells (hTGSCs) In Vitro. *Biological Trace Element Research*, 153(1-3), 419–427. <https://doi.org/10.1007/s12011-013-9657-0>
- Tevyashova, A. N., & Chudinov, M. V. (2021). Progress in the medicinal chemistry of organoboron compounds. *Russian Chemical Reviews*, 90(4), 451–487. <https://doi.org/10.1070/RCR4977>
- Tzanakakis, E.-G., Pandoleon, P., Sarafianou, A., & Kontonasaki, E. (2023). Adhesion of Conventional, 3D-Printed and Milled Artificial Teeth to Resin Substrates for Complete Dentures: A Narrative Review. *Polymers*, 15(11), 2488. <https://doi.org/10.3390/polym15112488>
- Ucuk, M. K., & Ucuncu, M. K. (2024). The Impact of Incorporating Five Different Boron Materials into a Dental Composite on Its Mechanical Properties. *Applied Sciences*, 14(3), 1054. <https://doi.org/10.3390/app14031054>
- Werheit, H., Filipov, V., Kuhlmann, U., Schwarz, U., Armbruster, M., Leithe-Jasper, A., Tanaka, T., Higashi, I., Lundström, T., Gurin, V. N., & Korsukova, M. M. (2010). Raman effect in icosahedral boron-rich solids. *Science and Technology of Advanced Materials*, 11(2), 023001. <https://doi.org/10.1088/1468-6996/11/2/023001>
- World Health Organization. (2017). *Global priority list of antibiotic-resistant bacteria to guide research, discovery, and development of new antibiotics* (tek. rap.)

- (Erişim tarihi: 26 Mayıs 2026). World Health Organization. Geneva, Switzerland. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241512732>
- Yang, F., Zhu, M., Zhang, J., & Zhou, H. (2018). Synthesis of biologically active boron-containing compounds. *Med. Chem. Commun.*, 9(2), 201–211. <https://doi.org/10.1039/C7MD00552K>
- Yanıkoglu, N., & Alawawda, O. (2025). Improving PMMA in prosthodontics: a literature review. *Dicle Dental Journal*, 26(1), 5–10. <https://doi.org/10.55160/dicledentj.1597838>
- Yıldırım, M., Yılmaz, B. S., Çimentepe, M., Necip, A., & Dellal, Ö. (2026). Green Fabrication of Copper and Zinc Nanoflowers Using Rheum tataricum L. and Evaluation of their Antioxidant, Enzyme-Inhibitory, Antimicrobial, and Anticancer Properties. *Cell Biochemistry and Biophysics*, 84, 1475–1487. <https://doi.org/10.1007/s12013-025-01234-5>
- Yıldırım, M., Yılmaz, B. S., Çimentepe, M., Necip, A., Öztürk, G., & Kiliç, A. (2025). Synthesis, Characterization, and Biological Evaluation of Quercetin-Boronate@Cu-hNFs and Quercetin-Boronate@Zn-hNFs: AChE Inhibition, Antioxidant, Anticancer, Antibacterial, Antibiofilm Activity Against Multidrug-Resistant Bacteria and Molecular Docking Studies. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 35, 1415–1435. <https://doi.org/10.1007/s10904-025-04032-8>
- Yılmaz, M. T. (2012). Minimum inhibitory and minimum bactericidal concentrations of boron compounds against several bacterial strains. *Turkish Journal of Medical Sciences*, 42(8), 1423–1429. <https://doi.org/10.3906/sag-1111-30>
- Yildirim, M., Ersatir, M., Saleh, M., Demirbağ, B., Yabalak, E., & Kilic, A. (2025). Boron Compounds as Key Drivers of Innovation: Exploring Their Role in Environmental Remediation, Sustainable Agriculture, Advanced Biomedical Applications, and Green Chemistry. *Journal of Organometallic Chemistry*, 1035, 123688. <https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2025.123688>
- Yildirim, M., Yasar, E., Necip, A., Cimentepe, M., Öztürk, G., & Kilic, A. (2025). Boronellagic acid hybrids as a molecular arrow: multi-targeted inhibition of AChE, anticancer activity, and antimicrobial action against MRSA and MDR E. coli, supported by docking analyses. *Journal of Molecular Liquids*, 440, 128953. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2025.128953>
- Yousefi, F., Mousavi, S. B., Heris, S. Z., & Naghash-Hamed, S. (2023). UV-shielding properties of a cost-effective hybrid PMMA-based thin film coatings using TiO₂ and ZnO nanoparticles: a comprehensive evaluation. *Scientific Reports*, 13(1), Article 7072. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34072-7>
- Zafar, M. S. (2020). Prosthodontic Applications of Polymethyl Methacrylate (PMMA): An Update. *Polymers*, 12(10), 2299. <https://doi.org/10.3390/polym12102299>

Zafar, M. S., Amin, F., Fareed, M. A., Ghabbani, H., Riaz, S., Khurshid, Z., & Kumar, N. (2020). Biomimetic Aspects of Restorative Dentistry Biomaterials. *Biomimetics*, 5(3), 34. <https://doi.org/10.3390/biomimetics5030034>

ÖZ GEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Ad Soyadı : RASHEED ABDULKADER
Öğrenci No : 225106009
E-posta : residkader@gmail.com
Doğum Yeri : Halep/SURİYE
Doğum Tarihi : 1980-07-05
ORCID : 0009-0000-6345-0314
ABD (TR) : Kimya
ABD (EN) : Chemistry
:

EĞİTİM BİLGİLERİ

Derece	Adı, Bölüm	Yıl
1.	Harran Üniversitesi / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü	2023-2026
2.	Halep Üniversitesi / Diş Hekimliği	2001-2005