

T.C
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ AD

**FARKLI 3 BOYUTLU YAZICI TEKNOLOJİLERİ
KULLANILARAK ÜRETİLEN GEÇİCİ RESTORATİF
MATERYALLERİN DÖNÜŞÜM DERECELERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Dt. Ebru SÜRER

UZMANLIK TEZİ

TEZ DANIŞMANI

ADANA 2023

T.C
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ AD

**FARKLI 3 BOYUTLU YAZICI TEKNOLOJİLERİ
KULLANILARAK ÜRETİLEN GEÇİCİ RESTORATİF
MATERYALLERİN DÖNÜŞÜM DERECELERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Dt. Ebru SÜRER

UZMANLIK TEZİ

TEZ DANIŞMANI

**Bu çalışma TDH-2020-13272 nolu proje olarak Çukurova Üniversitesi Araştırma
Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.**

ADANA 2023

KABUL VE ONAY

Uzmanlık Programı Çerçevesinde yürütölmüş olan
“Farklı 3 Boyutlu Yazıcı Teknolojileri Kullanılarak Üretilen Geçici Restoratif
Materyallerin Dönüşüm Derecesinin Değerlendirilmesi”
adlı çalışma, aşğıdaki jüri tarafından Uzmanlık Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tarihi: 29 / 09 / 2023

TEZ SINAV JÜRİSİ

Dr.
Çukurova Üniversitesi
Başkan

Dr.
Çukurova Üniversitesi
Üye

Dr.
Çukurova Üniversitesi
Üye

Yukarıdaki Tez, Yönetim Kurulunun 04 / 10 / 2023 tarih ve
kararı ile kabul edilmiştir.

36/4 sayılı

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim boyunca ve tez çalıőmamda, klinik deneyim ve akademik tecrübesiyle her konuda beni destekleyen, her an yanımda olan ve kendimi geliőtirmemi sağlayan değerli danıőman hocama,

Uzmanlık eğitimim sürecinde bana bilimsel altyapısıyla her türlü destek olan, klinik ve akademik bilgileriyle beni donatan, yetiőtiren kıymetli hocalarıma,

Bu süreçte keyifli bir çalışma ortamı oluőturdüğümüz, sevinç ve üzüntülerimizi birlikte yaőadığımız sevgili eőkıdemlerime,

Protetik Diş Tedavisi bölümümüzde görev yapan tüm asistan arkadaşlarıma, güzel bir çalışma ortamı oluőturmamızı sağlayan diğer tüm personelimize,

Hayatımın her anında yanımda olan, bugün olduğum kiőt olmamda maddi manevi desteklerini hep hissettiğim, hayatımdaki en büyük şansım olan canım annem, babam, abim ve kız kardeőtine,

Sonsuz Teőkükür Ederim.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Geçici Restorasyon Materyalleri	5
2.2. Geçici Restorasyon Yapımında Kullanılan Materyaller	6
2.2.1. Polimetil Metakrilatlar (PMMA)	6
2.2.2. Polietil Metakrilatlar (PEMA)	7
2.3. Geçici Restorasyon Üretim Yöntemleri	7
2.4. CAD-CAM (Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacturing) Teknolojisi	8
2.4.1. Stereolitografi (SLA)	9
2.4.2. Dijital Işık İşleme (Digital Light Processing-DLP)	10
2.4.3. Likit Kristal Ekran (Liquit Crystal Display-LCD)	12
2.5. Üç Boyutlu Yazıcılarda Son Ürün	13
2.6. Dönüşüm Derecesi (Konversiyon)	13
2.7. Dönüşüm Derecesi Belirleme Yöntemleri	14

2.7.1. Spektroskopik Yöntemler.....	14
2.7.2. Dönüşüm Derecesinin Fourier Dönüştümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) Kullanılarak Belirlenmesi.....	18
3. GEREÇ ve YÖNTEM	22
3.1. Üç Boyutlu Yazıcı Örneklerinin Hazırlanması	22
3.2. Kontrol Grubu Örneklerinin Hazırlanması	24
3.3. Örneklerin FT-IR Spektrumlarının Kaydedilmesi	24
3.4. Dönüşüm Derecesinin Hesaplanması.....	26
3.5. İstatistiksel Analiz.....	28
4. BULGULAR.....	29
5. TARTIŞMA	32
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	35
KAYNAKLAR	36
ÖZGEÇMİŞ	43

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Metil metakrilatın monomer ve polimer yapısı	6
Şekil 2.2.	Stereolitografi çalışma mekanizması	10
Şekil 2.3.	Dijital ışık işleme çalışma mekanizması.....	11
Şekil 2.4.	Dijital mikro ayna cihazı (DMD).....	11
Şekil 2.5.	Likit kristal ekran çalışma mekanizması.....	12
Şekil 2.6.	Elektromanyetik spektrum	15
Şekil 2.7.	Elektromanyetik ışımaya ait yayılma ve soğurma mekanizması.....	16
Şekil 2.8.	Titreşim düzeyleri arasındaki geçişler IR bölgesinde bulunur	17
Şekil 2.9.	Aktiflik şartı	18
Şekil 2.10.	Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrofotometre (FT-IR)	19
Şekil 2.11.	ATR biriminden toplam yansıma	19
Şekil 2.12.	ATR aksesuarı.....	20
Şekil 2.13.	Fonksiyonel grupların absorbladıkları frekans aralıklarına ait ilişki çizelgesi	21
Şekil 3.1.	3B yazıcı örneklerinin tasarımı.....	23
Şekil 3.2.	Üretim tablasında yatay doğrultuda üretilen örnekler	23
Şekil 3.3.	Jasco FT/IR-6800 Spektrometresi ve ATR birimi.....	24
Şekil 3.4.	Likit rezin ve katı örnek ATR kristali üzerinde	25
Şekil 3.5.	Spektrum alınmadan hemen önce uygun toz-likit oranında karıştırılan PMMA	25
Şekil 3.6.	Dönüşüm derecesi ölçüm aşamaları	26
Şekil 3.7.	Rezine ait FT-IR spektrumu	26
Şekil 3.8.	Yıkama yapıldıktan sonra katı örneklere ait FT-IR spektrumu	27
Şekil 3.9.	Kürleme yapılan katı örneklere ait FT-IR spektrumu.....	27
Şekil 4.1.	Gruplara ait DC_Print değerlerine ait istatistiksel grafik	29
Şekil 4.2.	Gruplara ait DC değerlerine ait istatistiksel grafik	29
Şekil 4.3.	Gruplara ait Δ DC değerlerine ait istatistiksel grafik.....	30

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Elektromanyetik spektrumda IR ışınım bölgesi	16
Çizelge 3.1. Kullanılan yazıcı teknolojileri ve baskı rezinleri	22
Çizelge 4.1. Gruplara ait istatistik değerleri \pm SD.....	28



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

CAD/CAM	Bilgisayar destekli dizayn/bilgisayar destekli üretim
3B	Üç boyutlu
SLA	Stereolitografi
DLP	Dijital ışık işleme
LCD	Likit kristal ekran
PMMA	Polimetil metakrilat
PEMA	Polietil metakrilat
Ark.	Arkadaşları
µm	Mikrometre
mm	Milimetre
g	Gram
ml	Mililitre
IR	Infrared ışınım
FT-IR	Fourier dönüşümlü infrared spektroskopi
DC	Dönüşüm derecesi

ÖZET

Farklı 3 Boyutlu Yazıcı Teknolojileri Kullanılarak Üretilen Geçici Restoratif Materyallerin Dönüşüm Derecelerinin Değerlendirilmesi

Amaç: Bu çalışmanın amacı, farklı 3 Boyutlu (3B) yazıcı teknolojileri kullanılarak üretilen geçici restorasyon malzemelerinin dönüşüm derecesini değerlendirmek ve geleneksel olarak üretilmiş polimetil metakrilat (PMMA) ile karşılaştırmaktır.

Gereç ve Yöntem: Araştırmada stereolitografi (SLA), dijital ışık işleme (DLP) ve likit kristal ekran (LCD) 3B yazıcıları kullanıldı. Kontrol grubu, geleneksel olarak üretilmiş otopolimerizan PMMA olarak belirlendi. Çalışmaya altı farklı 3B yazıcı dahil edildi: DWS, Formlabs, Asiga, Mega, and Vega, Photon. 3B yazıcılar ile üretilen numuneler bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımı (Materialise 3-matic) ile dikdörtgenler prizma geometrisinde (10×4×2,5 mm) tasarlandı. Örnekler 3B yazıcılarda yatay yönde (0 derece), 50 µm tabaka kalınlığında (n=15) üretildi. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrofotometre (FT-IR) ölçümleri rezinin sıvı hali (n=15), baskıdan sonra ve kürlemeden sonra olmak üzere 3 aşamada gerçekleştirildi. Kontrol grubu örneklerinin (n=15) FT-IR ölçümleri iki aşamada gerçekleştirildi. Spektrumlarından elde edilen verilere dayanarak Verilerin istatistiksel analizi tek yönlü ANOVA ve post-hoc Tukey testleri ile yapıldı ($\alpha=.05$).

Bulgular: FT-IR analizi sonucu farklı 3B yazıcı teknolojileri kullanılarak üretilen numunelerin DC değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmadı ($P<0,05$). Kontrol grubu olan PMMA ve Formlabs (Form 3) 3B yazıcı arasında DC değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulundu ($P=0,042$).

Sonuç: Üç boyutlu yazıcılar, kontrol grubu olan PMMA ile karşılaştırılabilir DC değerleri göstermiştir. DC, farklı 3B yazıcı teknolojilerinden etkilenmemiştir.

Anahtar kelimeler: 3B Yazıcı, Eklemeli Üretim, Geçici Restorasyon, Dönüşüm Derecesi

ABSTRACT

Evaluating the Conversion Degree of Temporary Restorative Materials Produced by Different 3-Dimensional Printer Technologies

Purpose: The purpose of this in vitro study was to evaluate the DC of interim restorative materials produced using different 3D printer technologies and to compare them with conventionally manufactured polymethyl methacrylate (PMMA).

Material and methods: Stereolithography (SLA), digital light processing (DLP), and liquid crystal display (LCD) 3D printers were used as experimental groups and conventional (C) method was used as the control. Six different 3D printers (DWS, Formlabs, Asiga, Mega, Vega, and Photon) were included. The 3D-printed specimens were designed in a rectangular prism geometry (10×4×2.5 mm) using a computer-aided design (CAD) software program (Materialise 3-matic) and printed with a layer thickness of 50 µm in the horizontal direction (n=15). Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) spectra were measured in 3 steps: the liquid state of the resins, after washing, and after final polymerization. For the conventional method, FT-IR spectra were assessed in 2 steps: immediately after mixing the liquid and powder and after polymerization. Statistical analysis of the data was performed with 1-way ANOVA followed by the post hoc Tukey HSD test ($\alpha=.05$).

Results: There was no statistically significant difference in DC values between the 3D printed groups ($P>.05$). There was a statistically significant difference only between Formlabs (FL) and the conventional (C) in terms of DC ($P=.042$).

Conclusions: Three-dimensionally printed interim resin materials showed comparable results with those of the conventional group. The DC was not affected by different 3D printing technologies.

Keywords: 3D Printer, Additive Manufacturing, Interim Restorations, Degree of Conversion

1. GİRİŞ

Sabit protezler teslim edilinceye kadar prepare edilen dişlerin ve periodonsiyumun korunması, kaybedilen estetik ve fonksiyonun rehabilitasyonu için geçici restorasyon kullanılması önemlidir.^{1,2} Geçici restorasyonlar çiğneme kuvvetleri karşısında dayanıklı olmalı, dişlerin stabilizasyonunu sağlamalı, açığa çıkan dentin tübüllerinin ağız ortamı ile ilişkisini kesebilmek amacıyla iyi kenar uyumu sağlamalıdır.³ Geçici restorasyonlar genelde kısa süreli kullanılan protezler olarak düşünülse de vertikal boyutun düzenlenmesi, yeni bir okluzal ilişki oluşturulması, diş eti şekillendirilmesi gibi komplike durumlarda uzun dönem kullanımı da gerekmektedir. Geçici restorasyonlar daimî sabit protez yapımı için dişler prepare edilmeden önce hedeflenen nihai sabit protezi ağız içerisinde simüle etmek amacıyla da kullanılır. Özellikle uzun dönem kullanımda ve estetiğin önemli olduğu ön bölgede renk değiştirmemelidir. Geçici restorasyonun biyolojik, mekanik ve estetik açıdan daimî restorasyona benzerliğinin yüksek olması sabit protezin başarısını artırır.⁴⁻⁷

Geçici restorasyonlar geleneksel olarak direkt yöntemle ağız içerisinde veya indirekt yöntemle hastadan alınan ölçüden elde edilen alçı model üzerinde laboratuvarda üretilebilir. Bu yöntemlerle geçici restorasyonların yapımında; polimetil metakrilatlar (PMMA), polietil metakrilatlar (PEMA), bis-akril kompozit rezinler gibi materyaller kullanılır.^{1,8}

Geçici restorasyonlar geleneksel üretimin yanı sıra bilgisayar destekli tasarım/ bilgisayar destekli üretim (CAD-CAM) teknolojileri olan eksiltmeli (kazıma) ve eklemeli üretim yöntemleri ile dijital olarak tasarlanıp üretilebilmektedir.⁹ Bu güncel yöntemler ile daha dayanıklı materyaller kullanılarak uyumlu ve üstün estetik özelliklere sahip restorasyonlar hazırlanabilmekte, hastanın koltukta oturma süresi kısalmaktadır. Eklemeli üretim yöntemleri içinde 3-Boyutlu (3B) yazıcı teknolojisi diş hekimliği uygulamalarında giderek yaygınlaşmaktadır.^{10,11}

Geçici restorasyon yapımında geleneksel ya da güncel üretim yöntemleri fark etmeksizin tümünde polimerik materyaller kullanılır.¹² 3B yazıcılar ile geçici restorasyon yapımında ultraviyole (UV) ışığa duyarlı polimerik likit rezinler kullanılır.¹³ Bu fotopolimerlerin kimyasal bileşimleri geleneksel yöntemde kullanılan geçici restoratif

materyallere benzer şekilde metakrilat monomeri bazlıdır. Materyalin yapısında monomere ek olarak foto-başlatıcılar, inhibitörler ve pigmentasyon ajanları bulunur.^{13,14} Işınlamayı takiben bu materyaller, likit halden katı hale geçmek üzere fotopolimerizasyon denilen serbest radikal reaksiyonlarına girerek çapraz bağlı polimerik sistemler oluştururlar. Polimerizasyon, dönüşüm derecesi (DC, degree of conversion) olarak ifade edilir. Dönüşüm derecesi, rezin esaslı polimerik materyallerde monomerin polimere dönüşüm yeteneğidir.¹⁵ Monomerlerin polimerlere dönüşmesi hiçbir zaman eksiksiz olmaz ve yapı içinde artık monomer kalır. Dönüşüm derecesinin yüksek olması artık monomer miktarını azaltır, biyouyumluluk sağlar. Materyalin mekanik özelliklerini güçlendirir. Su emilimini ve renk değişimini azaltır.¹⁴⁻¹⁶

Dental uygulamalarda yaygın olarak kullanılan 3B yazıcı teknolojileri kazan fotopolimerizasyonu olarak bilinen; stereolitografi (SLA), dijital ışık işleme (DLP), likit kristal ekrandır (LCD). Bu teknolojiler arasındaki temel fark kullanılan ışık kaynağıdır.¹⁷ SLA, bir lazer ışını kullanarak noktasal olarak kütleme sağlarken, DLP, bir projektör yardımıyla tüm katmanın tek bir ışınlama adımıyla kürlenmesini sağlar.¹⁸⁻²² LCD, DLP'ye benzer şekilde bir katmanın tümünü tek bir ışınlama adımıyla polimerize eder. Aralarındaki temel fark ışığın projektör yerine bir LCD ekrandan yansıtılmasıdır.²³ Nesnelere 3B yazıcılar ile üretildikten sonra, kullanılan teknolojiye bağımsız olarak, üreticiler tarafından belirlenen iki aşamalı (alkol ile yıkama- son kütleme) son işlem prosedürlerine tabi tutulurlar.²⁴

Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrofotometresi (FT-IR), polimerik materyallerin dönüşüm dereceleri hesaplamalarında kullanılan direkt yöntemlerden biridir. Metakrilat bazlı rezinler için C=C bağlarının 1640 cm⁻¹ de gözlenen titreşim bantlarının pik alanları ve 1725 cm⁻¹ de gözlenen karbonil grubuna (C=O) ait titreşim bantlarının pik alanlarının karşılaştırılmasıyla dönüşüm derecesi göreceli olarak hesaplanır.^{25,26}

Yapılan çalışmalar, 3B yazıcılar ile üretilen nesnelere dönüşüm derecesinin, ışığa duyarlı rezinin bileşimi, baskı katman kalınlığı, tek bir katmanın yazdırılma süresi, son kütlemede kullanılan ışık kaynağı tipi, son kütleme sıcaklığı ve son kütleme süresi gibi birçok faktöre bağlı olduğunu göstermiştir.¹⁴ Reymus ve ark. dönüşüm derecesinin, baskı katman kalınlığı ve son kütleme yönteminden etkilenip etkilenmediğini araştırmışlardır. Son kütleme işleminde flashlight ışık kaynağı kullanıldığında UV ya da light emitting

diode (LED) ışık kaynağına göre daha yüksek dönüşüm elde edilmiştir. Bu durum flashligt'in diğer ışık kaynaklarına göre daha geniş dalga boyu spektrumu kapsamıyla açıklanmıştır.²⁷ Kim ve ark. son kürleme süresinin artmasıyla dönüşüm derecesinin arttığını göstermiştir.²⁸ Katheng ve ark. farklı son kürleme sıcaklıkları ve sürelerinin nihai ürünün boyutsal doğruluğunu ve dönüşüm derecesini etkilediğini bildirmiştir.²⁹ Literatürde dönüşüm derecesini etkileyen faktörlerin araştırıldığı sınırlı sayıda çalışma mevcuttur ve bu çalışmalar son işlem prosedürleri ve bunların nihai ürüne etkisi üzerine yoğunlaşmaktadır. Ancak dönüşüm derecesini etkileyen en önemli faktörlerden biri kullanılan teknolojidir. Önceki hiçbir çalışma farklı 3B yazıcı teknolojisinin dönüşüm derecesine etkisini araştırmamıştır.

Bu çalışmanın amacı farklı 3B yazıcı teknolojileri kullanılarak üretilen geçici restorasyon materyallerinin dönüşüm derecesini değerlendirmek ve geleneksel üretim yöntemiyle karşılaştırmaktır. Bu çalışmanın sıfır hipotezi; "farklı 3B yazıcı teknolojileri kullanımı geçici restorasyon materyallerinin dönüşüm derecesini etkilemez" olarak belirlenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

Geçici protezler, sınırlı bir süre için estetiği, stabilizasyonu ve fonksiyonu rehabilite etmek amacıyla tasarlanmış, daimî bir protezle değiştirilecek olan sabit veya hareketli protezlerdir. Planlanan daimî protezlerin şeklinin ve terapötik etkinliğinin belirlenmesinde bir şablon olarak kullanılırlar.² Üretildikleri materyal dışında her açıdan daimî restorasyonlarla benzer olmalıdır. Bu restorasyonlar “geçici” olarak adlandırılrsa da özensiz ve uyumsuz hazırlandıklarında diş hassasiyeti, pulpa hasarı, diş eti enflamasyonu gibi pek çok probleme yol açarlar. Geçici restorasyonlar sabit protetik tedavinin biyolojik ve biyomekanik olarak başarı oranını artıracak önemli bir parçasıdır.^{4,5}

Geçici restorasyonlar, daimî restorasyon teslim edilinceye kadar hastaların kaybettiği estetik, fonksiyon ve fonasyon işlevlerini sağlayabilmelidir. İdeal bir geçici restorasyonun sahip olması gereken özellikler şunlardır:

1. Pulpa dokusunu korumalı ve prepare dayanak dişlerin hassasiyetini gidermelidir.
2. Dişlerin mezial ve distale migrasyonuna engel olacak şekilde sıkı kontak alanları bulunmalıdır.
3. Dişlerin karşıt arka ekstrüzyonunu engellemek amacıyla sıkı okluzal kontak sağlamalıdır.
4. Kenar uyumu iyi olmalı, periodontal sağlığı korumalıdır.
5. Kullanım sırasında yerinden çıkmamalıdır.
6. Restorasyon materyali, iyi cilalanabilir ve okluzal kuvvetler karşısında dayanıklı olmalıdır.
7. Konturları temizlenebilir yüzeyler şeklinde hazırlanmalıdır.
8. Ön bölge restorasyonlarında estetik beklentileri karşılamalı, renk değişimine dirençli olmalıdır.
9. Yapımı kolay ve ekonomik olmalıdır.
10. Alerjik reaksiyonlara neden olmamalıdır.
11. Hekim tarafından kolay takılıp çıkarılabilmelidir.^{1,6,7}

2.1. Geçici Restorasyon Materyalleri

Geçici restorasyon materyali olarak rezinler uzun yıllardır kullanılmaktadır. 1930'lu yıllarda Biolon gibi ısı ile polimerize olan akriliklerle başlayan bu süreç 1940'larda Alike, Jet, Duralay, Coldpac gibi otopolimerizan polimetil metakrilat (PMMA) rezin kullanımıyla devam etmiştir.³⁰⁻³² 1940'larda vinil polietil metakrilat ve daha sonra 1980'lerde VisioGem gibi kompozit rezin materyallerinin de kullanımına başlanmıştır.^{33,34}

Geçici restorasyonlar genellikle akrilik polimerler ya da kompozit rezinler kullanılarak üretilir. Kullanılan materyallerin içeriğinde pigmentler, monomerler, doldurucular, katalizörler mevcuttur. Materyal içeriğinde bulunan ana maddelerin her biri geçici restorasyonun manipülasyon, sertleşme ve final özellikleri üzerinde belirleyici rol oynamasına rağmen, materyalin pek çok önemli özelliği öncelikli olarak monomerler tarafından belirlenir. Bu monomerlerin polimere dönüşüm yeteneği; materyalin kullanım süresi boyunca ağız içi ortamına dayanabilecek sağlamlığa ulaşmasını sağlar.³⁵

Polimer, çok sayıda küçük molekülün kovalent bağlarla bağlanmasıyla oluşan, yüksek molekül ağırlıklı, zincire benzer yapıda makromoleküldür. Zinciri oluşturan ve tekrarlayan bu küçük moleküllere monomer adı verilir.^{8,36}

Polimerizasyon, monomerlerin uygun koşullarda polimerizasyon tepkimesi sonucu birbirleriyle kimyasal bağ yapması sonucu polimer moleküllerini oluşturmasıdır. Polimerizasyon sırasında monomerlerin yapısında bulunan C=C çift bağı C-C tek bağına dönüşür ve diğer monomerin karbon atomu ile bağ yapar.^{35,37}

Monomerler, kötü tada sahiptir ve ağız içi dokulara toksik etki oluşturabileceğinden dolayı polimere dönüşüm oranlarının yüksek olması beklenmektedir. Bunun yanında yeterli polimerizasyon sağlanamaması, final restorasyonların ağız içi kuvvetler karşısındaki mekanik dayanımını azaltır. Geçici restorasyon materyali olarak sıklıkla kullanılan monomerler; metil metakrilat, etil metakrilat, bisfenol A-diglisidileter metakrilat (bis-GMA) ve üretan dimetakrilattır (UDMA). Bu monomerlerin tümü serbest radikal polimerizasyonu ile polimerik moleküle dönüşebilir ancak bu dönüşüm işlemi hiçbir zaman eksiksiz olarak tamamlanmaz ve artık monomer açığa çıkabilir.^{35,36}

Geçici restorasyon materyalleri polimerizasyon tiplerine göre şu şekilde sınıflandırılır;

1. Kimyasal yolla aktive olan akrilik rezinler

2. Isı ile aktive olan akrilik rezinler
3. Işık ile aktive olan akrilik rezinler
4. Hem ışık hem de kimyasal olarak aktive olan rezinler.³⁸

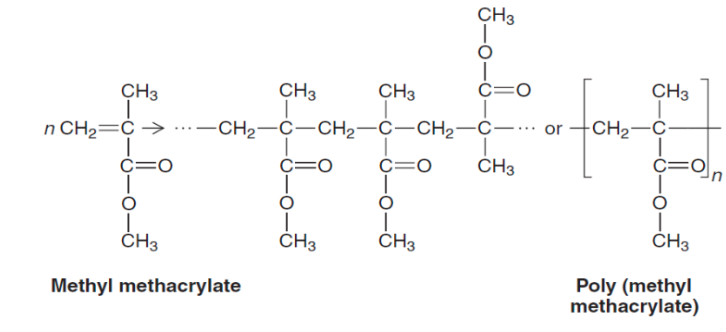
2.2. Geçici Restorasyon Yapımında Kullanılan Materyaller

Geçici restorasyon yapımında kullanılan materyaller şunlardır:

1. Polimetil metakrilatlar,
2. Polietil metakrilatlar,
3. Epimin rezinler
4. Bis-akril kompozitler
5. Isıyla sertleşen akrilik rezinler
6. Işıkla sertleşen akrilik rezinler.^{1,7,38,39}

2.2.1. Polimetil Metakrilatlar (PMMA)

Polimetil metakrilatlar 1940'larda kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde en çok tercih edilen geçici restorasyon materyalidir.³⁰ Likit monomer olan metakrilat ile toz formundaki polimerin karıştırılması sonucu oluşur.



Şekil 2.1. Metil metakrilatın monomer ve polimer yapısı³⁷

18 ile 20 arasında Knoop sertlik değerine sahiptir.⁸ Oldukça stabil bir polimerdir. Renklendirilmemiş halinde şeffaf bir rezindir. Düşük maliyetlidir, dayanıklıdır, estetiği, renk stabilitesi ve cilalanabilirliği iyidir.⁴⁰⁻⁴³ Polimerizasyon reaksiyonları ekzotermiktir ve yüksek ısı açığa çıkar, bu nedenle indirekt restorasyonlarda kullanımı önerilir.^{40,44} Ayrıca polimerizasyon büzülmesinin büyük olması, monomerin biyolojik dokular açısından zararlı olması, düşük aşınma direnci, keskin koku gibi dezavantajlara sahiptir.^{39,40,45}

2.2.2. Polietil Metakrilatlar (PEMA)

Polietil metakrilat tozu ve n-butil metakrilat monomer sistemine dayalı olarak geliştirilmiştir. Polimerizasyon reaksiyonları sırasında açığa çıkan ısı miktarı PMMA'larla karşılaştırıldığında daha azdır.⁴⁰ Bu nedenle direkt teknikle geçici restorasyon yapımında güvenle kullanılabilir. Sertliği, renk stabilitesi ve aşınmaya karşı dirençleri PMMA'ya göre daha düşüktür. Kısa süreli kullanımlar için daha uygun bir materyaldir.^{8,40,46}

2.3. Geçici Restorasyon Üretim Yöntemleri

Geçici restorasyonlar geleneksel olarak direkt, indirekt ya da bunların kombinasyonu olan direkt-indirekt teknikle 3 şekilde üretilebilir.¹

Direkt teknik, preparasyonu tamamlanan dişlerin üzerine ağız içinde uygulanır. Diş preparasyonundan önce alınan bir ölçü veya tanı modeli kalıp olarak kullanılabilir. Polietil metakrilat gibi polimerizasyon sırasında fazla ısının açığa çıkmadığı materyaller tercih edilir. Prefabrike geçici kronlar kullanılacaksa, bu kronlar ağız içinde dişe adapte edildikten sonra seçilen bir akrilik rezin ile beslenir. Direkt teknik, ölçü ve alçı model aşamalarını elimine ettiği için pratik bir yöntem olsa da yapımı son derece teknik hassasiyet gerektirir.^{1,47}

İndirekt teknik, preparasyonları tamamlanan dişlerden alınan ölçü ve bu ölçüden elde edilen model üzerinde laboratuvarda geçici restorasyonun üretilmesi aşamalarını

içerir. Çok üyeli restorasyonlarda tercih edilir. İndirekt tekniğin avantajları, restorasyon yapımı için daha dayanıklı materyallerin kullanılabilmesi, ekzotermik polimerizasyon reaksiyonunun ağız dışında gerçekleşmesinden dolayı biyolojik dokuların korunması olarak sıralanabilir.^{1,4,35}

Direkt-indirekt teknik, geçici restorasyonun laboratuvarında alçı model üzerinde üretildikten sonra, kalan boşluğun ağız içinde rezin ile beslenmesi ile üretilir. Bu tekniğin, hastanın koltukta geçirdiği süreyi kısaltması, az uyumlama gerektirmesi, ağız içinde polimerize olacak rezin miktarını azalttığı için polimerizasyon sırasında daha az ısı açığa çıkması gibi avantajları vardır.⁴⁸

Geçici restorasyonlar bu geleneksel üretim yöntemlerinin dışında bilgisayar destekli tasarım/bilgisayar destekli üretim (CAD-CAM) sistemleri kullanılarak üretilir.⁴⁹

2.4. CAD-CAM (Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacturing) Teknolojisi

Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design-CAD); bir nesnenin bilgisayar programları kullanılarak tasarlanmasıdır. Bilgisayar Destekli Üretim (Computer Aided Manufacturing-CAM); tasarlanan verilerin desteği ile üretimin yapılması anlamına gelir.⁵⁰ Bu teknoloji 1950-1960'lı yıllarda endüstri alanında kullanılmaya başlanmış, diş hekimliğinde ise 1971'de Dr. François Duret'in çalışmalarıyla kullanım alanı bulmuştur.⁵¹⁻⁵³ Günümüzde ise her türlü sabit bölümlü protez, implant dayanakları, cerrahi rehberler, total ve parsiyel protezler, ortodontik apareyler üretilmektedir.⁵²

CAD-CAM dijital iş akışı kullanılarak üretilen geçici protezler, geleneksel yöntemlere güçlü bir alternatif olmuştur.^{54,55} Geleneksel yöntemlerle üretilen geçici protezler, günümüzde hala sıklıkla kullanılan bir yöntem olsa da üretim aşamasında hekim veya teknisyen tarafından gerekli hassasiyet gösterilmediğinde geçici restorasyonun başarısı olumsuz etkilenmektedir.² Buna karşın CAD-CAM teknolojileri, dayanıklı materyaller kullanılarak uyumlu restorasyonların hazırlanmasını mümkün kılmış, tedavi aşamalarını hasta ve hekim için daha kısa ve konforlu hale getirerek dijital üretimin yaygınlaşmasını sağlamıştır.^{53,56}

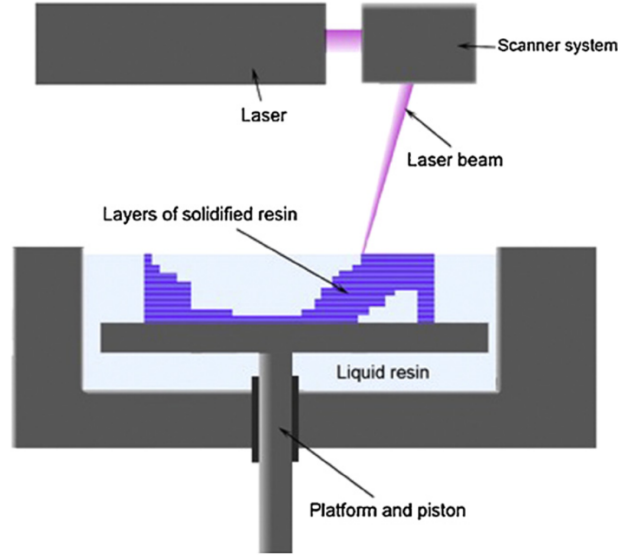
Dijital iş akışı genel olarak 3 adımdan oluşur; verilerin toplanması, tasarım ve üretim. Bir tarayıcı kullanılarak ağız içi veriler dijital ortama aktarılır. Elde edilen dijital ölçü doğrultusunda protez tasarımı dental CAD yazılımları kullanılarak yapılır.^{57,58} Tasarlanan protezin üretimi kazıma ya da eklemeli imalat yöntemleri ile sağlanır. Prefabrike bloklar ya da diskler kullanılarak frezeleme işlemi sonucu restorasyonun üretilmesine kazıma yöntemi denir.⁵⁹⁻⁶¹ Bu yöntemin önemli dezavantajları vardır. Kazıma sırasında oluşan talaşlar malzeme israfına neden olur, karmaşık geometriler yeterli hassasiyette üretilemez, kazıma sırasında sürtünmeye bağlı olarak malzemenin yapısında faz değişimi ya da mikro çatlak oluşumu gibi kalıcı hasarlar meydana gelir ve kazıma için kullanılan frezlerin maliyeti vardır. Tüm bu dezavantajlar eklemeli imalat teknolojilerini kazıyıcı üretime bir alternatif haline getirmiştir.^{49,62}

Eklemeli imalat yöntemleri diş hekimliği uygulamalarında kabul gören güncel üretim yöntemleridir.¹⁰ Amerikan Test ve Malzeme Birliği eklemeli imalatı, bir katmanın diğeri üzerine eklenerek 3 boyutlu tasarımdan nihai nesnenin oluşturulma süreci olarak tanımlamaktadır.⁶³ Eklemeli imalat kullanıldığında, kazıyıcı üretime göre malzeme israfının önemli ölçüde önüne geçilir. Aynı anda birden fazla restorasyon üretilbilir ve nesne geometrisinden bağımsız olarak son derece hassas üretime izin verir.^{9,64,65} Diş hekimliği uygulamaları için geliştirilen farklı eklemeli imalat yöntemleri mevcuttur. Selektif lazer sinterleme veya ergitme, metal tozları kullanılarak sabit protezlerin üretimine izin veren eklemeli imalat yöntemleridir. Bir diğer eklemeli imalat yöntemi olan 3-boyutlu (3B) yazıcılar ise likit polimerik rezinler kullanılarak restorasyon üretimine izin verir.⁶⁶

Kazan fotopolimerizasyonu olarak sınıflandırılan 3B yazıcı teknolojileri dental uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. Bunlar; stereolitografi (SLA), dijital ışık işleme (DLP, digital light processing) ve likit kristal ekran (LCD, liquid crystal display) teknolojileridir.¹⁷

2.4.1. Stereolitografi (SLA)

Stereolitografi ilk kez Charles W. Hull tarafından 1986'da tanıtılmıştır. "Ultraviyole ışıkla sertleşen bir materyalin birbiri üzerine ince tabakalar halinde yığılmasıyla katı nesnelerin üretimi" olarak tanımlanmıştır.⁶²



Şekil 2.2. Stereolitografi çalışma mekanizması⁶²

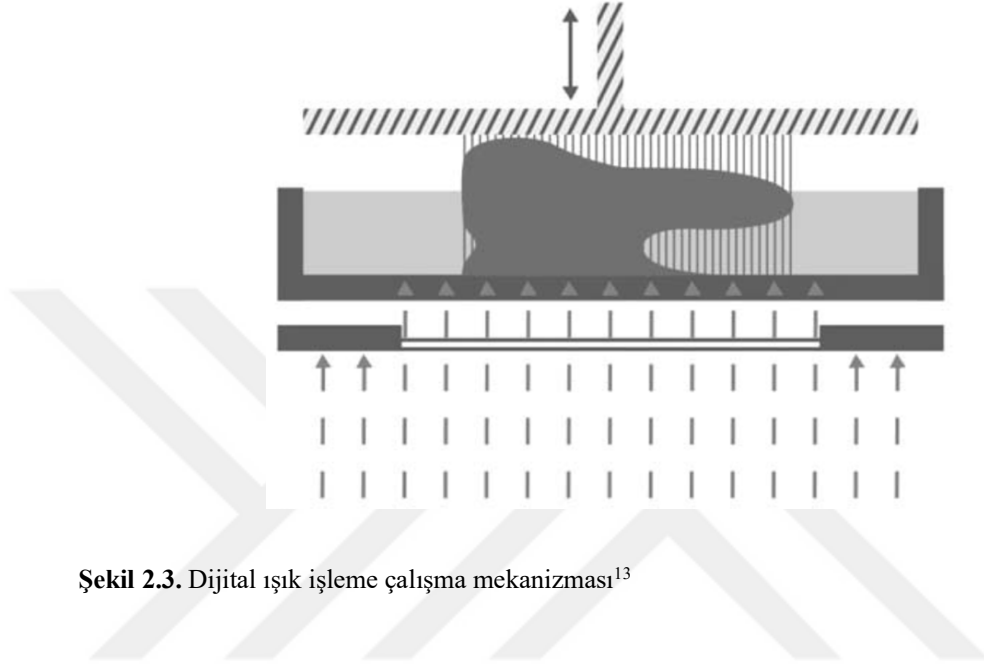
SLA 3B yazıcıda, nesnenin ilgili katmanının üretimi için bir lazer ışını, galvanometre denilen mikro aynalar ile noktasal olarak yansıtılır ve tüm katman taranır. Bir katmanın taraması bittiğinde üretim platformu bir katman kalınlığı kadar yukarı yönde hareket eder. Aynı lazer tarama işlemi sonraki katman için noktasal ışınlama ile tekrarlanır ve 3 boyutlu nesnenin oluşumu tamamlanana kadar yüzlerce kez tekrar eder.^{18,19,20}

SLA, karmaşık geometriye sahip nesnelerin son derece hassas üretilebilmesini sağlar. Lazer ışının hareketine bağlı olarak büyük nesnelere üretilebilir ancak bu noktasal küreleme nedeniyle düşük baskı hızına sahiptir. Üretilecek nesnenin boyutu büyüdükçe, baskı hızı düşer.^{17,24}

2.4.2. Dijital Işık İşleme (Digital Light Processing-DLP)

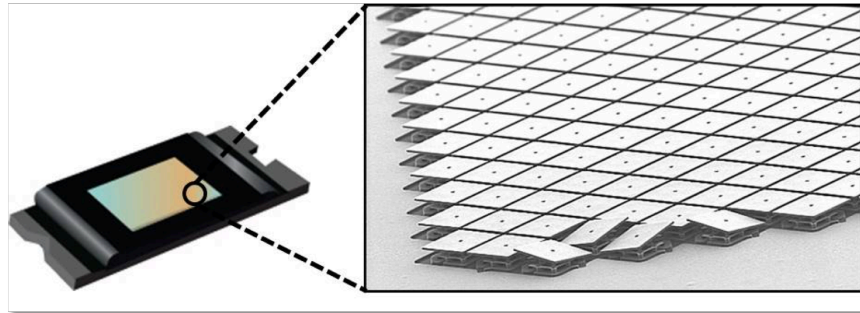
Dijital ışık işleme (Digital Light Processing-DLP), 1977'de Larry Hornback tarafından icat edilmiştir. DLP teknolojisinin stereolitografiden temel farkı kullanılan ışık kaynağıdır. DLP, likit rezini polimerize etmek için lazer yerine bir projektör kullanır. Işık, ilgili katmanın tümüne binlerce mikro ayna tarafından aynı anda yansıtılır ve tüm

katman tek bir ışınlama adımıyla polimerize edilir. Yüzeyin tamamı eş zamanlı polimerize edildiği için üretim süresi SLA'ye oranla daha kısadır. Üç boyutlu tasarlanmış objenin üretimi tamamlanana kadar bu adımlar yinelenir.^{21,67}



Şekil 2.3. Dijital ışık işleme çalışma mekanizması¹³

DLP projektörlerinde ışığın yansıtılmasını sağlayan, binlerce aynadan oluşan dijital mikro ayna cihazının (Digital Micromirror Device-DMD) içindeki ayna sayısı yazıcının çözünürlüğünü belirleyen en önemli parametredir.²⁴

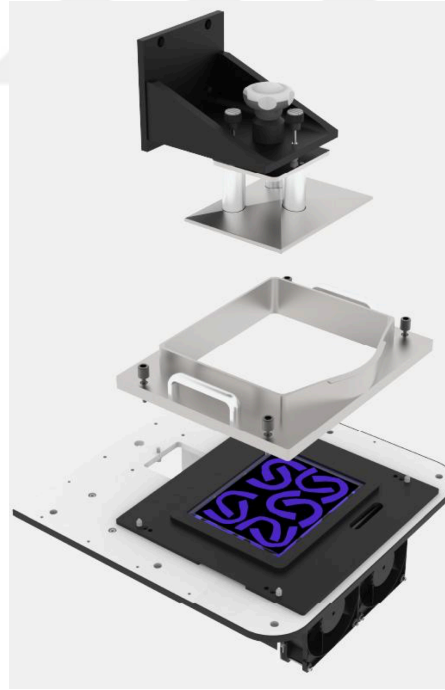


Şekil 2.4. Dijital mikro ayna cihazı (DMD)⁶⁸

DLP'nin avantajı yüksek hassasiyetle nesne üretebilmesidir. Ancak projeksiyon boyutu sınırlı olduğu için yalnızca küçük boyutlu nesnelere üretilir.¹⁷

2.4.3. Likit Kristal Ekran (Liquit Crystal Display-LCD)

LCD, DLP teknolojisine benzer şekilde bir katmanın tümünü tek bir ışınlama adımıyla polimerize eder. Aralarındaki temel fark ışığın projektör yerine bir LCD ekrandan yansıtılmasıdır. LCD teknolojisinde kürlenme, yüzeyin tamamında eş zamanlı olarak gerçekleşir. LCD ekrana uygulanan akım sonucu ışınlanacak nesnenin kesit görüntüsü dışında kalan bölümden piksellerin maskelenmesi ile ışınlama yapılır. Bu yöntemin en büyük dezavantajı ışığın %90'a varan bölümünün LCD ekran tarafından absorbe edilmesidir. En önemli avantajı ise göreceli olarak ekonomik cihazlar olmalarıdır.^{17,69}



Şekil 2.5. Likit kristal ekran çalışma mekanizması⁷⁰

2.5. Üç Boyutlu Yazıcılarda Son Ürün

Nesneler 3B yazıcılar ile üretildikten sonra, kullanılan teknolojidenden bağımsız olarak, üreticiler tarafından belirlenen iki aşamalı son işlem prosedürlerine tabi tutulurlar. Son işlem prosedüründe ilk adım, 3B yazıcıda gerçekleşen kürelemeden hemen sonra polimerize olmayan artık rezinin uzaklaştırılması için saf izopropanol ile yıkama işlemidir. İkinci adım, polimerizasyon sürecinin tamamlanması ve materyalin nihai mekanik ve biyolojik özelliklerine ulaşabilmesi amacıyla UV ışık kullanılarak son küreleme yapılmasıdır.²⁴

3B yazıcılarda üretilen nihai ürünler bazı parametrelerden etkilenmektedir.⁹

1. Üretim tabakası kalınlığı
2. Katmanlar arasında büzülme
3. Lazer hızı
4. Lazer yoğunluğu ve açısı
5. Üretim yönü

2.6. Dönüşüm Derecesi (Konversiyon)

Dental restorasyon yapımında kullanılan rezin esaslı materyallerde ‘dönüşüm derecesi’ ya da ‘konversiyon’, polimerizasyon reaksiyonu boyunca monomerlerin polimere dönüşüm miktarına verilen addır. Karbon çift bağlarının karbon tek bağlarına dönüşme miktarının yüzde cinsinden ifadesidir.^{37,71}

Dönüşüm derecesi, restoratif materyallerin klinik başarısını etkileyen önemli bir faktördür ve yüksek olması istenir. Polimerizasyonun yetersiz olması rezin esaslı restoratif materyallerin fiziksel özelliklerinin zayıflamasına, dayanıklılık, renk stabilitesi, sertlik gibi özelliklerinde de önemli değişikliklere yol açar.⁷²

İdeal olarak monomerlerin tüm karbon çift bağlarının reaksiyona girerek polimer zincirine katılması ve artık monomer olmaması beklenir. Ancak pratikte polimerizasyon reaksiyonu hiçbir zaman yüzde yüz verimlilikle gerçekleşmez.³⁵ Karbon çift bağlarının dönüşüm miktarı; materyalin yapısındaki monomer tipi ve oranı, başlatıcıların ve inhibitörlerin tipi ve oranları, ortamın ısısı, ortamda oksijen varlığı gibi faktörlere bağlıdır.^{73,74}

Polimerizasyon sırasında monomerler polimer zincirine katıldıkça materyalin viskozitesi artar. Polimerizasyon devam ettikçe reaksiyona girmemiş monomer miktarı azalır ve viskozitenin artmasına bağlı olarak monomer hareketliliği azalır. Bu durum monomer-polimer dönüşümünü yavaşlatır. Serbest radikaller ortamda bulunan oksijenle reaksiyona girmeye daha yatkındır ve oksijenle reaksiyona girerek reaktif olmayan peroksi radikallerini oluşturur. Bunun sonucunda oksijenle temas eden yüzeylerde polimerizasyon tam olarak gerçekleşemez. Bu olay ‘polimerizasyonun oksijen tarafından inhibisyonu’ olarak adlandırılır. Yüzeyde oluşan tabakaya da ‘oksijen inhibisyon tabakası’ denir.^{75,76} Sonuç olarak monomerlerin tamamı polimere dönüşmez ve bir miktar reaksiyona girmemiş artık monomer kalır.⁷⁷

Polimerizasyona katılmayan artık monomerler, pulpa ve periodontal dokular üzerinde toksik etkiler gösterir. Düşük polimerizasyon derecesi, biyouyumluluk, mekanik özellikler, renk stabilitesi, estetik, boyutsal stabilite, sertlik gibi özellikleri olumsuz etkiler.^{74,78}

2.7. Dönüşüm Derecesi Belirleme Yöntemleri

Dönüşüm derecesinin belirlenmesinde kullanılan ölçüm tekniklerinin bazıları şunlardır;^{73,77,79,80}

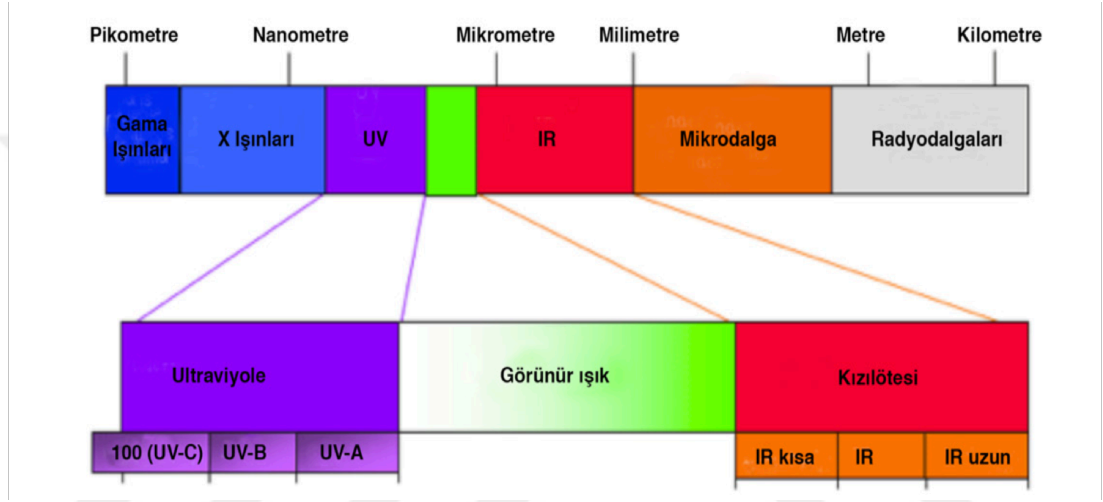
1. Fourier Dönüşümlü-Kızılötesi Spektroskopi (Fourier Transform-Infrared Spektroskopy / FT-IR)
2. Raman Spektroskopi
3. Kromatografi
4. Yüzey Sertlik Ölçümü

2.7.1. Spektroskopik Yöntemler

Spektroskopi, elektromanyetik ışığa ile atom ya da moleküllerin arasındaki etkileşimin incelendiği bilim dalıdır. Bu etkileşim sonucunda soğurma, yayılma ve saçılma gibi olaylar meydana gelerek atom ya da moleküllerin dönme, titreşim ve

elektronik enerji seviyelerinde değişikliklere neden olur. Enerji seviyelerindeki bu değişimler spektroskopinin çalışma alanıdır.^{81,82}

Elektromanyetik ışına bir enerji türüdür ve ışımının dalga boylarına veya frekanslarına göre sınıflanarak elektromanyetik spektrumları oluşturur. Elektromanyetik ışınım çeşitleri; görünür ışık, x ışınları, ultraviyole, kızılötesi, mikrodalga ve radyo dalgalarıdır.⁸¹



Şekil 2.6. Elektromanyetik spektrum⁷⁹

Elektromanyetik spektrumda infrared (IR) ışınım, $10000-10 \text{ cm}^{-1}$ dalga sayısı veya $0,7-1000 \text{ }\mu\text{m}$ dalga boyu aralığına düşer. Dalga sayısına göre yakın IR ($10000-4000 \text{ cm}^{-1}$), orta IR ($4000-400 \text{ cm}^{-1}$), uzak IR ($400-10 \text{ cm}^{-1}$) şeklinde üç bölgeye ayrılır. Işınlar, dalga boyuyla değil, dalga sayısı ile belirlenir. Çünkü dalga sayısı hem enerji hem de frekansla doğru orantılıdır.⁸¹

Dalga boyu ve dalga sayısı arasındaki bağıntı:

$$\text{Dalga sayısı (cm}^{-1}\text{)} = 10^4 / \text{Dalga boyu (}\mu\text{)}$$

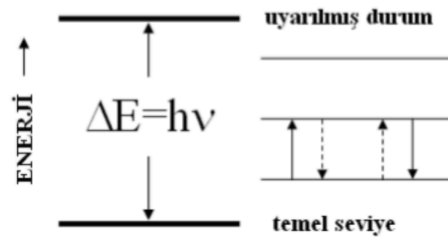
Çizelge 2.1. Elektromanyetik spektrumda IR ışınım bölgesi

	Dalga Boyu	Dalga Sayısı
Yakın IR	0,7-2,5 μ	10000-4000 cm^{-1}
Orta IR	2,5-25 μ	4000-400 cm^{-1}
Uzak IR	25-1000 μ	400-10 cm^{-1}

Spektroskopik analiz yöntemlerinde üzerine uyarıcı tanecik gönderilen numunenin, bu uyarıcı taneciğe karşı davranışı incelenir. En temel iki spektroskopik yöntem, atomik spektroskopi ve moleküler spektroskopidir.⁸³

İnfrared (IR) spektroskopisi, moleküllerin titreşimlerini inceleyen pahalı olmayan bir tekniktir. IR spektroskopisi, IR ışının absorblanması temeline dayanır, aynı zamanda IR spektroskopisi de “moleküler spektroskopi” türlerinden biridir. Yani IR ışınım, serbest atomlar tarafından değil moleküller tarafından absorbe edilir. Elektromanyetik ışınım ile madde arasındaki bu etkileşim sayesinde molekülü oluşturan atomlar arasında bağ uzunluğu, bağ açıları, kimyasal özellikleri, dipol moment, molekül enerjisi, titreşim frekansları hakkında bilgi edinilir.

Bir madde, üzerine düşürülen değişik dalga boylarındaki ışılardan yalnızca belli bir kısmını soğurabilir. Soğurma ile ışınımın enerjisi maddenin iyon, atom ya da moleküllerine aktarılmış olur. Bu durumda söz konusu iyon, atom ya da molekül uyarılmış hale geçer.⁸⁴ Soğurmanın gerçekleşebilmesi için elektromanyetik ışınımın molekülün enerji seviyelerini uyaracak enerjiye sahip olması gerekir. Maddelerin temel hali ile uyarılmış hali arasındaki enerji farkları birbirinden farklı olduğu için her madde kendine ait bir soğurma spektrumuna sahiptir.^{84,85}



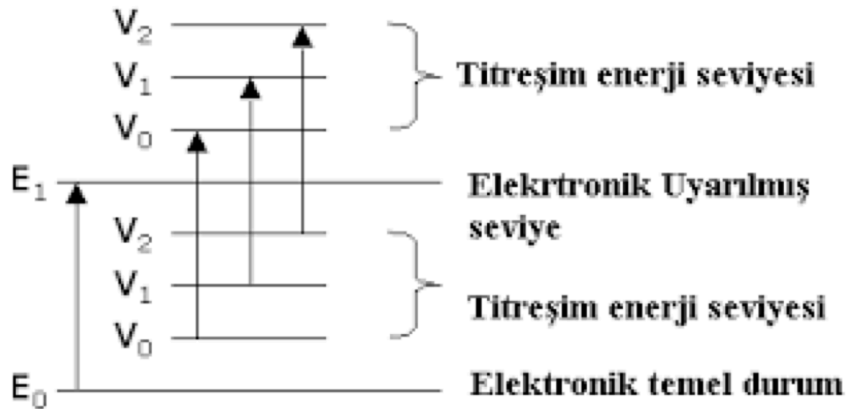
Şekil 2.7. Elektromanyetik ışımaya ait yayılma ve soğurma mekanizması^{84,85}

İki enerji seviyesi arasındaki geçiş için yayılan ve soğurulan ışının frekansı şu formülle verilir:

$$\nu = (E_1 - E_2)/h \text{ (Şekil 2.8)}$$

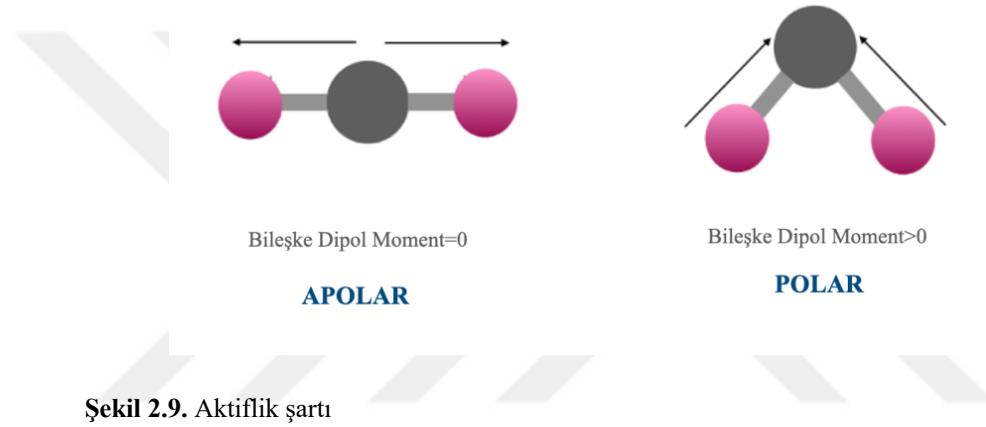
Enerji seviyelerindeki soğurulan elektromanyetik ışının frekans bölgesine göre farklı spektroskopi dalları ortaya çıkmıştır. Bunlar atomik ya da moleküler soğurma olarak iki ana başlık altında toplanır. Atomik soğurma spektrumu, elektronların bir enerji seviyesinden başka bir enerji seviyesine geçişini inceler. Moleküler soğurma spektrumu ise elektronik düzeyler arasındaki geçişlere ek olarak dönme ve titreşim enerji düzeyleri arasındaki geçişleri inceler.⁸⁶ Enerji seviyelerindeki değişiklikler spektroskopinin temelini oluşturur. (Şekil 2.8.)

Infrared spektroskopisi, maddeye gelen ışığın soğurulması temeline dayanır. Elektromanyetik ışın molekül üzerine gönderildiğinde molekülün titreşim enerji seviyeleri arasında geçişini sağlarsa yani molekül tarafından enerji soğurulursa bu soğurma elektromanyetik spektrumunun infrared bölgesinde gözlenir ve spektroskopi dallarından infrared spektroskopisi ile incelenir. IR ışının enerjisi, elektronik geçişleri oluşturacak kadar güçlü değildir. Moleküldeki bağları bozmaya yetmez, elektronik uyarma yapamaz fakat atomların kütlelerine, bağların gücüne ve molekül geometrisine bağlı olarak bağların titreşme genliklerini artırır.^{87,88}



Şekil 2.8. Titreşim düzeyleri arasındaki geçişler IR bölgesinde bulunur^{84,88}

Titreşim enerji seviyeleri arasında geçişin sağlanması için gereken bazı kurallar vardır. Bunun yanında molekülün infrared spektrumunda gözlenebilmesi için titreşim boyunca dipol momentinde değişim gözlenmelidir. Bu duruma IR spektroskopisinde aktiflik şartı denir.⁸⁹ Dipol moment, bir sistemin iki kutuplu gibi davranma ölçütüdür. Elektromanyetik ışınma moleküldeki yükleri polarize eder ve titreşme sırasında yükler denge durumundan uzaklaştıkça dipol moment de değişir. Dipol moment değişikliğinin yol açtığı elektriksel alan titreşme kuantum düzeylerini uyarır ve soğurma gerçekleşir.⁸⁹



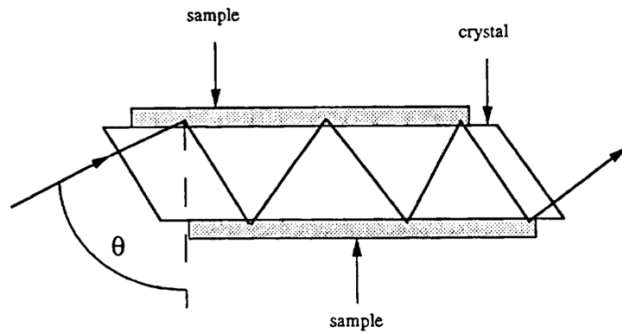
2.7.2. Dönüşüm Derecesinin Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) Kullanılarak Belirlenmesi

Fourier Transform infrared (FT-IR) polimerize olabilen dental materyallerde dönüşüm derecesini hesaplamak için sıklıkla kullanılan spektroskopik yöntemdir.⁹⁰ Bu spektroskopik yöntemde, IR ışınları molekülün titreşim hareketleri tarafından soğurulmaktadır. FT-IR spektroskopisi Fransız matematikçi Fourier'in geliştirdiği ve "Fourier transform" adı verilen matematiksel bir dönüşüme dayanır. FT-IR spektroskopisine ışın, bir monokromatörden geçmek yerine, matematiksel hesaplamanın gerçekleştirildiği bir interferometreye geçer. Matematiksel Fourier dönüşümü spektroskopisinde her dalga boyunu ayrı ayrı tarama gerekmeksizin hızlı ve yüksek çözünürlükte spektrumlar elde edilebilir. Bu sistemle katı, sıvı ve gaz örneklerin infrared spektrumları kaydedilebilir.^{85,90}



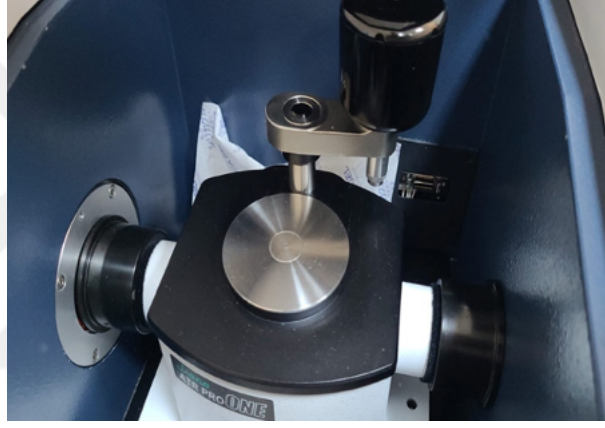
Şekil 2.10. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrofotometre (FT-IR)

Düşük geçirgenliğe sahip olan yoğun maddelerin IR spektrumları için geçirgenlik prensibi yerine yansımaya prensibi kullanılarak ATR/FT-IR (Attenuated Total Reflectance) birimi ile spektrumlar kaydedilebilir. Bu teknikte numune hazırlama süreci karmaşık prosedürler içermez ve hızlıdır. Katı ve sıvı örnekler, herhangi bir hazırlık yapılmadan doğrudan ATR kristali üzerine yerleştirilerek ölçüm için kullanılmaktadır.⁹¹



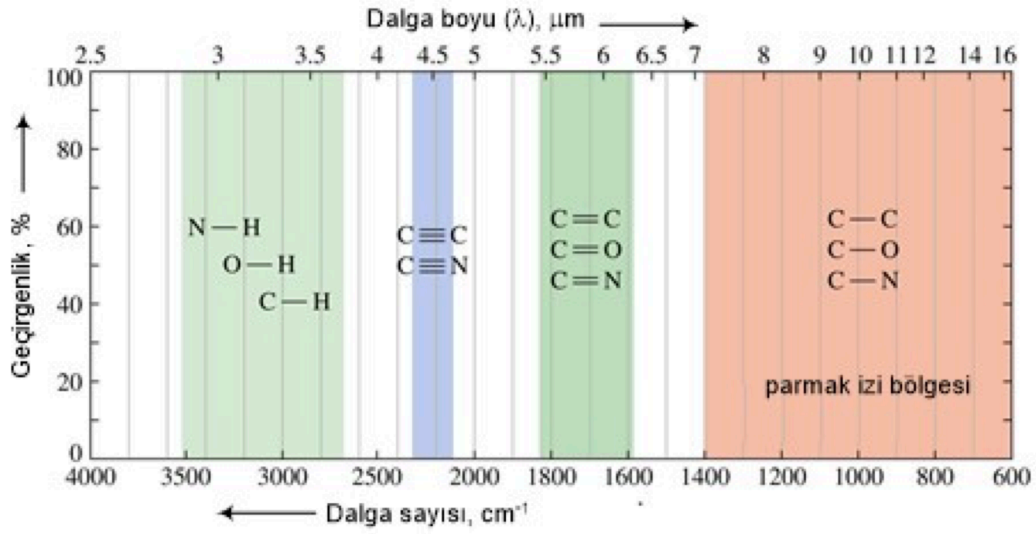
Şekil 2.11. ATR biriminden toplam yansımaya⁹¹

Bu yöntemde ATR birimine ait kristal yüzeyi, ölçülecek numune yüzeyi ile temas halindedir. İnfrared ışınım ATR birimine ait yüksek kırılma indisli kristalden geçerek düşük kırılma indisli numuneye gelir ve ışın birkaç mikrometre numune içine girer. Bu teknik maddenin kalınlığından etkilenmez. Çünkü IR ışın ile numunenin etkileşimi sadece yüzeyde belirli bir derinlikte gerçekleşir. Bu etkileşim derinliği kristal yapısına ek olarak ışının geliş açısına ve dalga boyuna bağlıdır. Numuneden geçen ışının şiddeti değil, yansıyan ışının şiddetine bağlı olarak geçirgenlik ölçülür.⁹¹ ATR kristalleri, Thallium Bromiodide, germanyum, çinko selenid ve elmaştır.



Şekil 2.12. ATR aksesuarı

İnfrared spektroskopisi sıklıkla organik bileşiklerin tanımlanmasında kullanılır. Atom ya da moleküllerin spektrumlarında çok sayıda maksimum ve minimumların olduğu absorpsiyon bantları bulunur ve bunlar maddelerin birbirleriyle kıyaslanmasına olanak verir. Bir organik maddenin spektrumu onun fiziksel özelliklerinden biridir ve optik izomerler dışında, teorik olarak aynı absorpsiyon spektrumu verebilen iki farklı madde yoktur.^{80,92}



Şekil 2.13. Fonksiyonel grupların absorblandıkları frekans aralıklarına ait ilişki çizelgesi ⁸⁶

Diş hekimliğinde kullanılan rezin içerikli malzemelerin monomer yapısı vinil grubu (C=C alifatik ve aromatik) içermektedir. Vinil grubuna ait titreşim bantları infrared spektrumlarında görülebildiği için dönüşüm derecesi (DC) hesaplanabilmektedir. Moleküllerin spektroskopileri sonucu elde edilen veriler, bağlar arasındaki dönüşümü açıklamak için kullanılır.

DC hesaplanabilmesi için, bazı fonksiyonel gruplara ait polimerizasyon öncesi ve sonrası bant alanları veya pik soğurma değerlerinin hesaplanması gerekir. Bu fonksiyonel gruplardan biri vinil grubunun C=C (alifatik) 1637 cm⁻¹ dalga sayısında gözlenen gerilme titreşim bandıdır. Bunun yanında polimerizasyonla değişim göstermeyen, bu nedenle iç standart olarak kullanılabilir bağlar ise; aromatik fenil halkaya ait, 1608 cm⁻¹ titreşim bandı ya da karbonil grubuna (C=O) ait, 1725 cm⁻¹ de gözlenen titreşim bandıdır. Böylece polimerize örneklerin alifatik C=C bağ sayısının, polimerize olmayan örnekteki toplam C=C bağlarına göre bağıl (relatif) miktarları hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir. ^{93,94}

Polimerizasyon dönüşüm derecesi şu formülle hesaplanır:

$$DC (\%) = 100 \times [1 - (C_{\text{alifatik}} / C_{\text{aromatik/karbonil}}) / (U_{\text{alifatik}} / U_{\text{aromatik/karbonil}})]$$

(C=polimerize olan, U= polimerize olmayan)

3. GEREÇ ve YÖNTEM

Bu çalışmada 3B yazıcı teknolojileri kullanılarak üretilen geçici restoratif materyallerin dönüşüm derecesi değerlendirildi ve geleneksel üretim yöntemiyle karşılaştırıldı. Çalışmamız Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Kurulu'nca TDH-2020-13272 proje kodu ile desteklendi.

3.1. Üç Boyutlu Yazıcı Örneklerinin Hazırlanması

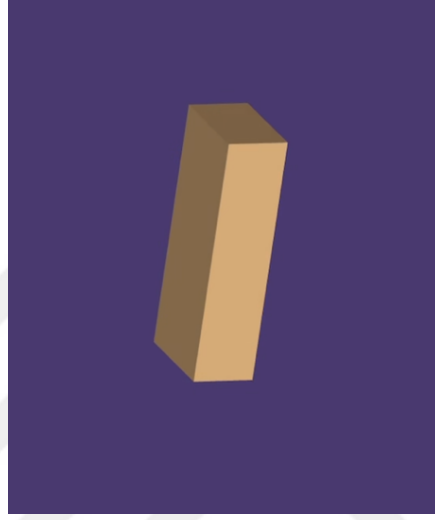
Çalışmamızda stereolitografi (SLA), dijital ışık işleme (DLP) ve likit kristal ekran (LCD) 3B yazıcıları kullanıldı. Çalışmaya 6 farklı 3B yazıcı dahil edildi: DWS Systems (XFAB 2500PD), Formlabs (Form 3), Asiga (Max), Dentafab (Mega), Dentafab (Vega), Anycubic (Photon S). Kullanılan yazıcı teknolojileri ve rezinler Çizelge 3.1'de belirtildi.

Çizelge 3.1. Kullanılan yazıcı teknolojileri ve baskı rezinleri

Üretim Teknolojisi	Üretici	Model	Işık kaynağı	Materyal Ticari İsmi	Materyal İçerik Bilgisi
SLA	DWS Systems	XFAB 2500 PD	Lazer	Temporis	Multifonksiyonel akrilik monomer karışımı, ester ve akrilik asit ¹⁴
SLA	Formlabs	Form 3	Lazer	Temporary C&B	Metakrilat bazlı fotopolimer
DLP	Asiga	Max	Projektör: 385 nm	GC Temp Print	Metil metakrilat bazlı fotopolimer
DLP	NovaFab	Mega	Projektör: 385 nm	Power Resin Temp	Akrilik ve metakrilik bazlı fotopolimer
LCD	NovaFab	Vega	LCD LED: 385 nm	Power Resin Temp	Akrilik ve metakrilik bazlı fotopolimer
LCD	Anycubic	Photon S	LCD LED: 385 nm	Efes Resin Temp	İçerik bilgisi mevcut değil

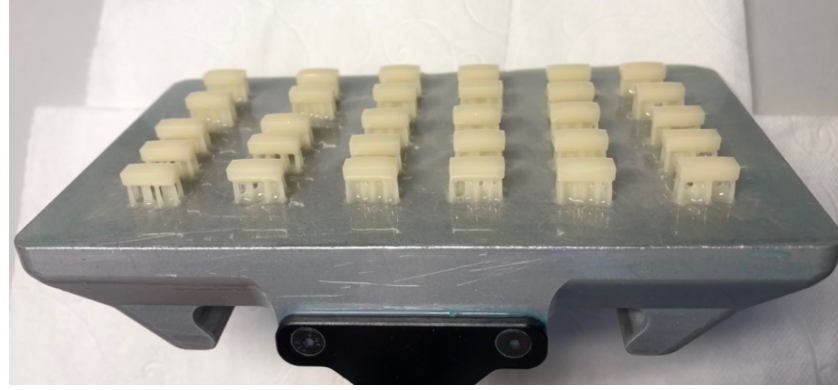
3B yazıcılar ile üretilecek örnekler bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımı (Materialise 3-matic; Materialise) ile dikdörtgenler prizma geometrisinde²⁷ (10×4×2,5

mm) tasarlandı. Çalışmada kullanılacak örnek sayısı güç analizi (G*Power 3.1.9.7) yazılımı kullanılarak (etki büyüklüğü: $f=0,05$; $\alpha=0,05$; güç= $0,95$; grup sayısı 7) belirlendi ($n=15$). Örneklerin üretim doğrultusu yatay yönde (0 derece), tabaka kalınlığı 50 μm olarak belirlendi.



Şekil 3.1. 3B yazıcı örneklerinin tasarımı

3B baskıdan sonra yazıcıdan çıkarılan tüm örnekler üretim tablasından ayrıldı ve reaksiyona girmemiş artık rezinlerin uzaklaştırılması amacıyla 4 dakika boyunca %99'luk izopropanol ile yıkama işlemine tabi tutuldu. Destek çubukları tesviye edildi. Örneklerin tümü Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrumları (FT-IR) alınmadan 24 saat önce üretildi. Nihai polimerizasyon öncesi FT-IR spektrumlarının ölçülmesi amacıyla ışık geçirmez kaplarda tam karanlıkta saklandı.



Şekil 3.2. Üretim tablasında yatay doğrultuda üretilen örnekler

3.2. Kontrol Grubu Örneklerinin Hazırlanması

Kontrol grubu, geleneksel yöntemle üretilmiş otopolimerizan polimetil metakrilat (PMMA) (Imicrly, Imident) olarak belirlendi. Kazıma üretim yöntemi, üretimde kullanılan bloklar polimerize edilmiş olarak kullanıma sunulduğu ve polimerizasyon öncesi ölçüm yapılabilmesi mümkün olmadığı için çalışmaya dahil edilemedi. Kontrol grubu örneklerinin üretiminde silikon kalıp yöntemi kullanıldı. Silikon kalıp elde etmek için kullanılan örnekler, Formlabs Form 3B yazıcısı kullanılarak döküm mumu (Formlabs, Castable Wax Resin) rezini ile dikdörtgenler prizma geometrisinde (10×4×2,5 mm) üretildi. Bu örnekler polivinil siloksan (Presigum, President Dental GmbH) içerisinde kalıba alındı. Üretici firma talimatları doğrultusunda 24 g/10 mL toz-likit oranında 1 dk süreyle cam kap içerisinde karıştırılan otopolimerizan PMMA silikon kalıplara tepildi. Düz yüzeyler elde etmek için polimerizasyon boyunca cam ile parmak basıncı uygulandı. Polimerizasyonu tamamlanan materyal kalıptan çıkarılarak tesviyesi yapıldı. Bu yöntemle 15 adet kontrol grubu örneği üretildi.

3.3. Örneklerin FT-IR Spektrumlarının Kaydedilmesi

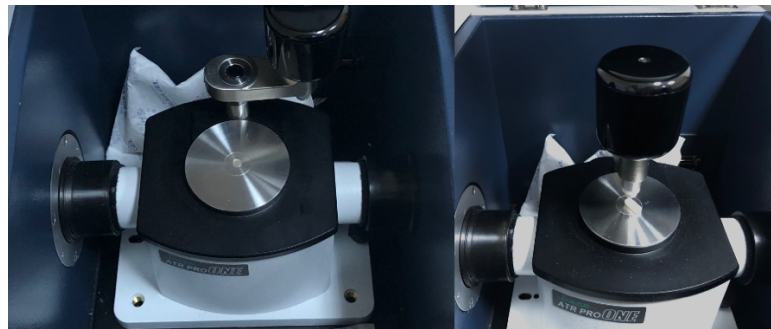
FT-IR spektrumları Jasco FT/IR-6700 spektrometresi ve elmas azaltılmış toplam yansıma (ATR) birimi ile 4000-450 cm^{-1} dalga sayısı aralığında 4 cm^{-1} çözünürlükte 16 kez tarama ile geçirgenlik modunda kaydedildi. Ölçümlere başlamadan önce çevre

faktörünü uzaklaştırmak için “background spektrum” alındı. Örneklerin spektrum alınma sırası research randomizer yazılımı kullanılarak belirlendi.⁹⁵



Şekil 3.3. Jasco FT/IR-6800 Spektrometresi ve ATR birimi

3B yazıcı örneklerinin spektrumları ilk olarak materyalin polimerleşmemiş likit hali için alındı. Rezin, elmas ATR kristali üzerine damlatıldı ve bu şekilde toplam 15 ölçüm yapıldı. Ardından 3B baskıdan çıkan ve %99'luk izopropanol ile yıkanmış örnekler elmas ATR kristali üzerine yerleştirilerek spektrumları elde edildi. Bu aşamada spektrumları alındıktan sonra örnekler, nihai polimerizasyon için üretici firmaların talimatları doğrultusunda polimerizasyon ünitesinde alt ve üst yüzeyler sırasıyla 20'şer dakika kürlendi. Kürlenme tamamlandıktan sonra aynı gün içerisinde tekrar ATR/FT-IR spektrumları alındı.



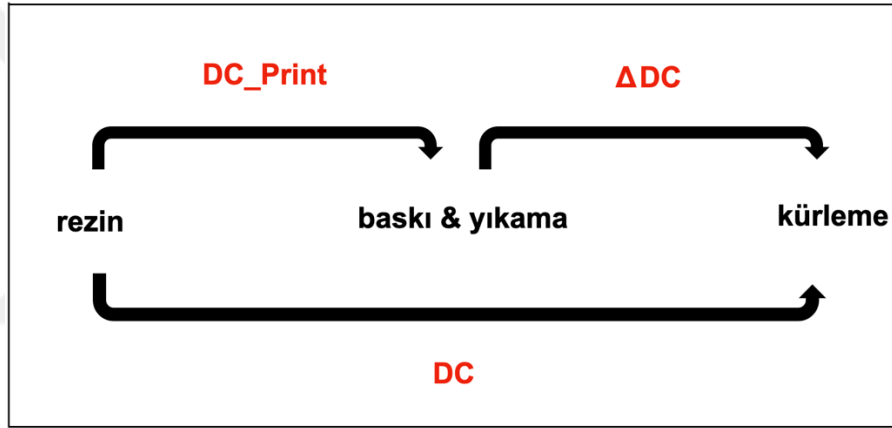
Şekil 3.4. Likit rezin ve katı örnek ATR kristali üzerinde

Kontrol grubuna ait ölçümler için otopolimerizan PMMA uygun toz-likit (24 g/10 ml) oranında 1 dakika süreyle karıştırıldıktan hemen sonra ATR/FT-IR spektrumu alındı.

Bu şekilde toplam 15 ölçüm yapıldı. Silikon kalıp yöntemiyle daha önceden hazırlanmış olan kontrol grubu örneklerinin de ATR/FT-IR spektrumları kaydedildi.



Şekil 3.5. Spektrum alınmadan hemen önce uygun toz-likit oranında karıştırılan PMMA



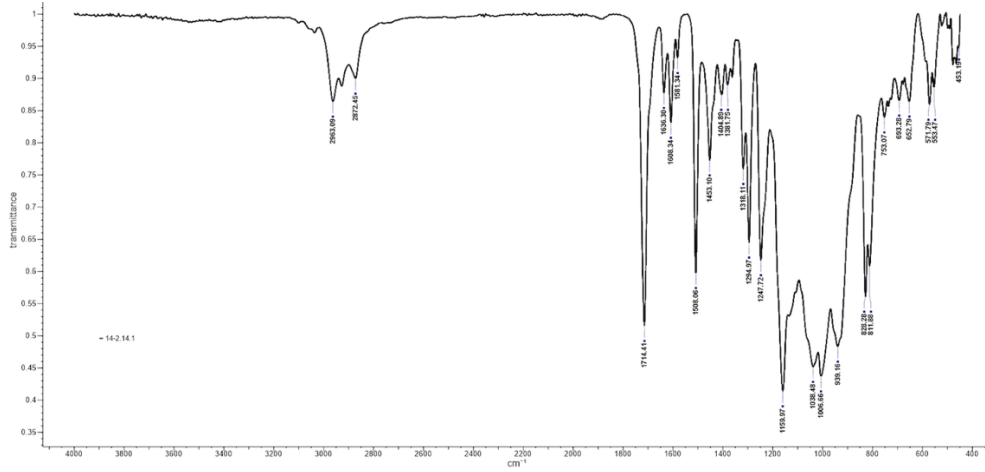
Şekil 3.6. Dönüşüm derecesi ölçüm aşamaları

3.4. Dönüşüm Derecesinin Hesaplanması

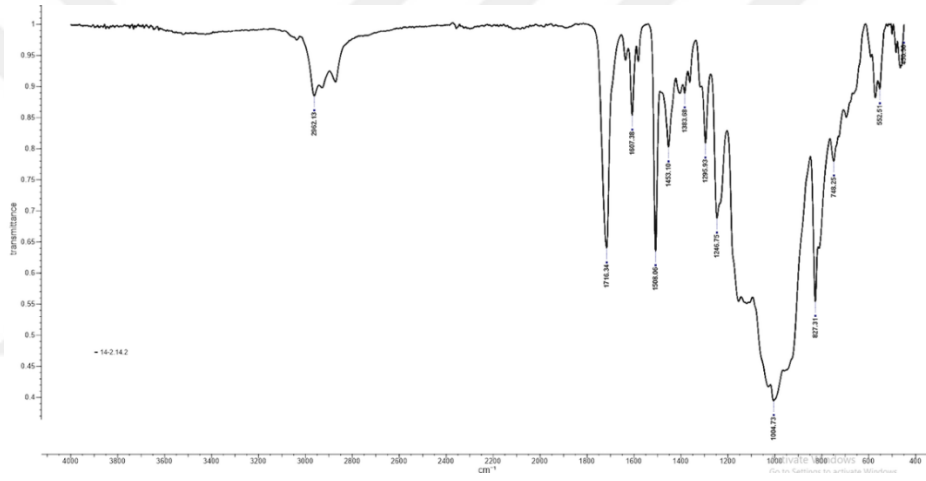
C=C bağlarının 1637 cm⁻¹ de gözlenen titreşim bantlarının pik alanları ve standart olarak kullanılan 1725 cm⁻¹ de gözlenen karbonil grubuna (C=O) ait titreşim bantlarının pik alanları hesaplandı. Dönüşüm derecesi ölçümü için şu formül kullanıldı:

$$DC(\%) = [1 - (A_{1637}/A_{1725})_{\text{polimerize}} / (A_{1637}/A_{1725})_{\text{polimerize olmayan}}] \times 100$$

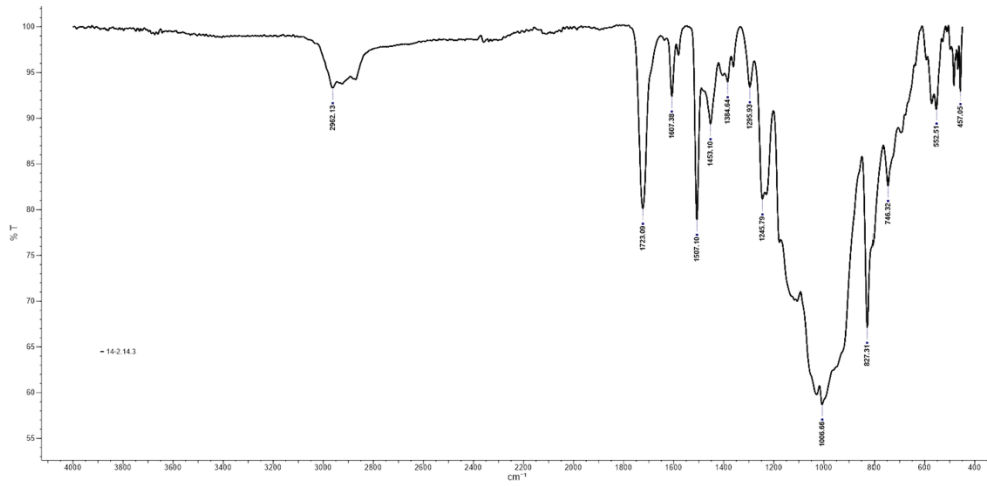
Formülde A ile gösterilen titreşim bantlarına ait pik alanlarını ifade etmektedir.



Şekil 3.7. Rezine ait FT-IR spektrumu



Şekil 3.8. Yıkama yapıldıktan sonra katı örneklere ait FT-IR spektrumu



Şekil 3.9. Kürleme yapılan katı örneklere ait FT-IR spektrumu

3.5. İstatistiksel Analiz

Verilerin istatistiksel analizi için tek yönlü ANOVA ve post-hoc Tukey testi yapıldı. Anlamlılık düzeyi $\alpha=0.05$ olarak belirlendi. Tüm istatistiksel testler IBM SPSS Statistics yazılımı, sürüm 25.0.0.1 kullanılarak gerçekleştirildi.



4. BULGULAR

DC_Print, DC ve ΔDC değerleri Çizelge 4.1.'de verildi. FT-IR spektrumlarında beklenen pikler gözlenmediği için Photon (PH) grubuna ait DC_Print, DC ve ΔDC değerleri hesaplanamadı.

DC_Print değeri en yüksek AS'de %64,8, en düşük değer ise MG'de %45,9 olarak ölçüldü. Genel olarak, SLA yazıcılar daha yüksek DC_Print değeri ile sonuçlanmışır. DWS ve FL'nin DC_Print açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farkı yoktur ($p=.811$). İki farklı DLP yazıcı olan AS ve MG arasında DC_Print açısından anlamlı fark vardır ($p=.001$; $p<0.05$). (Şekil 4.1.)

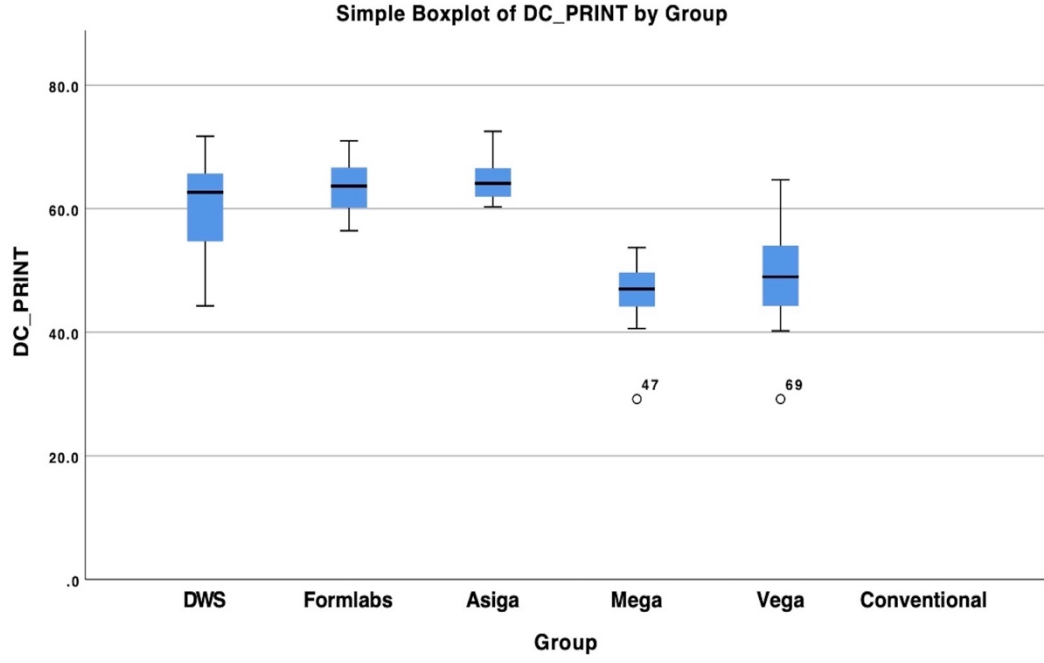
DC değeri en yüksek FL'de %86,9, en düşük ise geleneksel grup C'de %76,1 olarak ölçüldü. SLA, DLP ve LCD yazıcılar arasında DC açısından istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur. Genel olarak, 3B yazıcılarla elde edilen örnekler geleneksel yöntem ile karşılaştırılabilir bir DC değeri göstermiştir. DC açısından yalnızca FL ve C arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p=.042$; $p<0.05$) (Şekil 4.2.).

ΔDC değerleri incelendiğinde en yüksek değer MG'de %37,4, en düşük değer ise AS'de %17,9 olarak ölçülmüştür. MG ile DWS ($p=.001$) ve FL ($p=.002$) arasında ΔDC açısından istatistiksel olarak anlamlı fark vardır. MG ve VG arasında ΔDC açısından istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur ($p=.754$). (Şekil 4.3.)

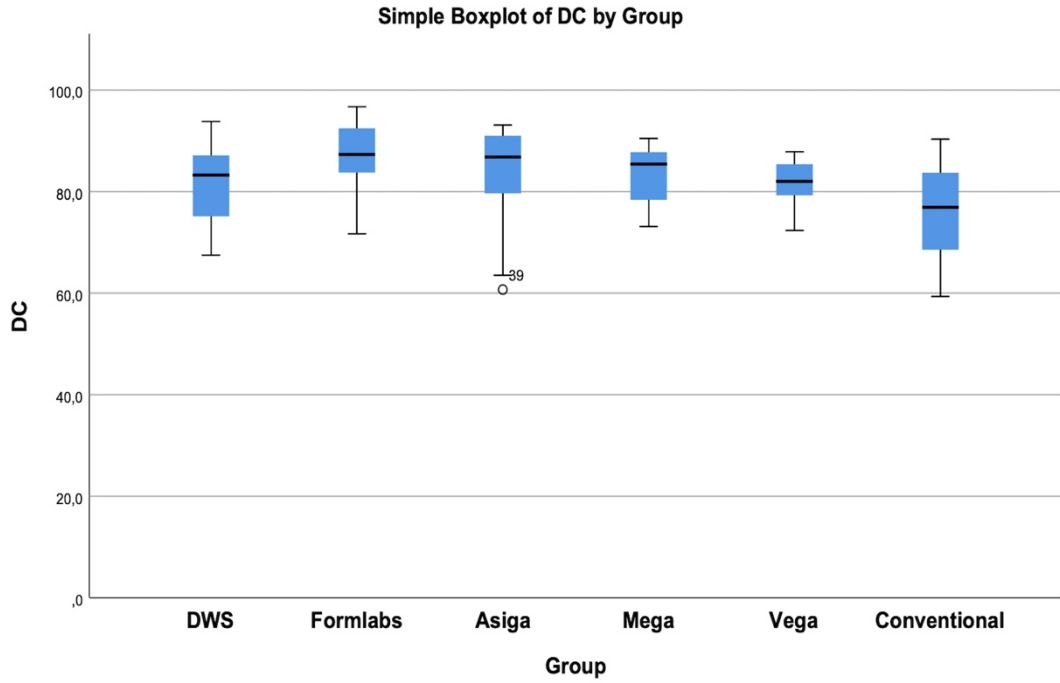
Çizelge 4.1. Gruplara ait istatistik değerleri ±SD

Üretim teknolojisi	Üretici	DC_Print	DC	ΔDC
SLA	DWS Systems (DWS)	60,9 ± 7,8 ^a	81,5 ± 7,8 ^{AB}	20,6 ± 12,8 ^x
SLA	Formlabs (FL)	63,7 ± 4,3 ^a	86,9 ± 7,1 ^A	23,1 ± 7,2 ^{xy}
DLP	Asiga (AS)	64,8 ± 4 ^a	82,7 ± 10,8 ^{AB}	17,9 ± 10 ^x
DLP	Dentafab Mega (MG)	45,9 ± 5,9 ^b	83,3 ± 5,7 ^{AB}	37,4 ± 7,2 ^z
LCD	Dentafab Vega (VG)	49,3 ± 8,6 ^a	81,9 ± 4,4 ^{AB}	32,6 ± 11 ^{yz}
Konvansiyonel	Imicryl (C)		76,1 ± 9,9 ^B	

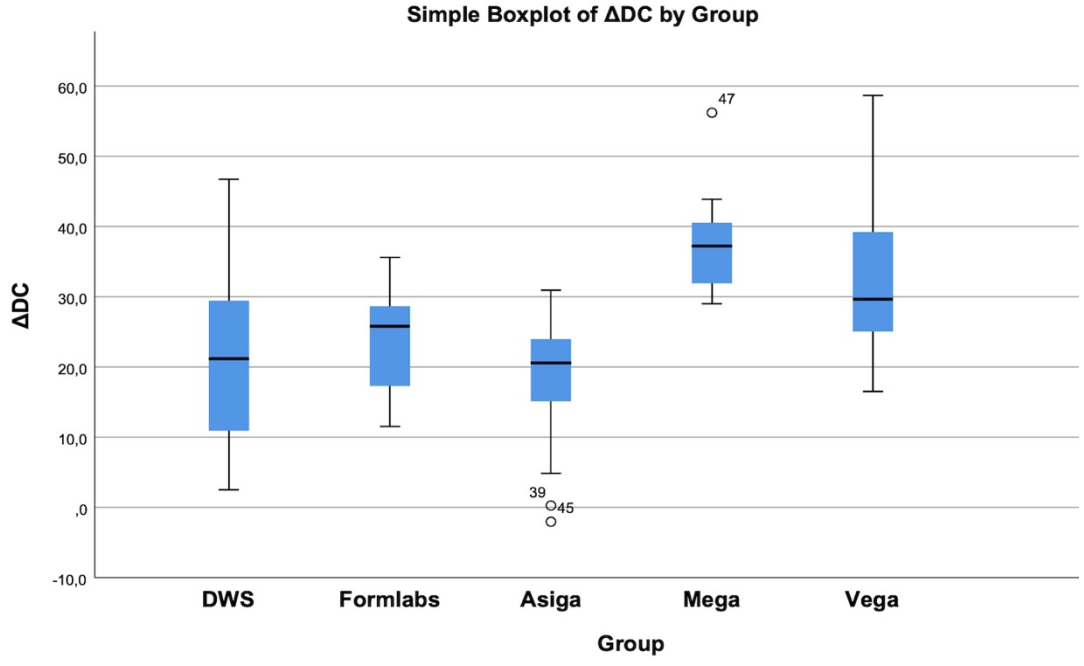
NOT: Dikey yönde aynı harfler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur ($p\geq 0.05$).



Şekil 4.1. Gruplara ait DC_Print değerlerine ait istatistiksel grafik



Şekil 4.2. Gruplara ait DC değerlerine ait istatistiksel grafik



Şekil 4.3. Gruplara ait ΔDC değerlerine ait istatistiksel grafik

5. TARTIŞMA

Bu çalışma farklı 3B yazıcı teknolojileri (SLA, DLP ve LCD) kullanılarak üretilen geçici restorasyon materyallerinin dönüşüm derecesini değerlendirmek amacıyla yapılmıştır. Çalışma, geçici restorasyon materyallerine ait dönüşüm derecesinin, farklı 3B yazıcı teknolojisi kullanımından etkilenmeyeceğini belirten sıfır hipotezini reddetmede başarısız olmuştur.

Çalışma SLA, DLP ve LCD teknolojilerine ait ikişer farklı 3B yazıcı kullanılarak güçlendirilmiştir. Bu sayede teknolojiye bağımsız olarak dönüşüm derecesinin araştırılması amaçlanmıştır. DLP 3B yazıcıların DC_Print değerleri arasında anlamlı fark bulunması, dönüşüm derecesinin yalnızca teknolojiye değil 3B yazıcılara ait parametrelerden de etkilendiğini göstermektedir.

Bu çalışmada dönüşüm derecesi ile ilgili tüm ölçümler, polimerize olabilen dental materyallerin dönüşüm derecesinin hesaplanmasında yaygın kullanılan ATR aksesuarı olan bir FT-IR spektroskopisi kullanılarak yapılmıştır. Raman spektroskopisi de lazer ışınının saçılma prensibine dayanarak son yıllarda dönüşüm derecesi hesaplamalarında kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle apolar bağlara ait pikler Raman spektroskopisiyle daha şiddetli gözlemlenmektedir.⁷² Çalışmada kullanılan polimerik materyallerin dönüşüm dereceleri hesaplanırken kullanılan bağlara ait pikler apolar özellik gösterdiği için Raman spektroskopisi ile daha şiddetli gözlemlenebilirdi. Ancak DC hesaplamaları için FT-IR spektroskopisi tercih edilmesinin nedeni FT-IR spektroskopisinin literatürde daha yaygın olarak kullanılması ve sonuçları önceki çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırma imkânı sunmasıdır.

Bu çalışmada diğer gruplarda görüldüğü halde, DWS ve C gruplarında 1608 cm^{-1} de aromatik fenil halkaya ait pikler spektroskopide görülmemiştir. Bu nedenle dönüşüm derecesi hesaplamalarında referans olarak 1725 cm^{-1} 'deki C=O karbonil bağlarına ait pikler kullanılmıştır. Birçok araştırmacı polimerik materyallerin dönüşüm derecesinin hesaplanmasında bu pik alanlarını kullanmıştır.⁹⁶⁻⁹⁸

Photon (PH) grubunda hem 1608 cm^{-1} de görülmesi beklenen aromatik fenil halkaya ait pikler hem de 1637 cm^{-1} de görülmesi beklenen vinil grubuna ait pikler yeterli şiddette görülmediği için pik alanları hesaplanamadı. PH grubu dönüşüm derecesi

hesaplanamadığı için çalışma dışı bırakıldı. Bu durumun örnek üretiminde kullanılan 3B yazıcıdan değil, polimerik likit rezinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

DC_Print değeri, teknolojiye bağlı olarak 3B yazıcının içerisinde gerçekleşen ilk kürlenmeyi ifade etmektedir. Genel olarak DC_print değerinin SLA yazıcılar DWS ve FL'de yüksek olması, SLA yazıcılarda lazer ışınının galvanometre yardımıyla noktasal olarak yansıtılarak kürlenmenin gerçekleştirilmesi olabilir. Bununla beraber AS, SLA yazıcılarla karşılaştırılabilir DC_Print değeri göstermiştir. Bu benzerliğin nedeni AS'de kullanılan projektörün gücü ya da kullanılan rezinin içeriğindeki fotobaşlatıcı olabilir. AS ile MG aynı teknolojiyi kullanıyor olmalarına rağmen DC_Print değerleri arasındaki fark yazıcıların kullandığı projektörlerden veya farklı rezin kullanılmasından kaynaklanıyor olabilir. DLP teknoloji kullanan yazıcıların projektörlerinin düzenli olarak bakım maliyeti mevcuttur. MG'de projektörün bakımı ihmal edilmiş olabilir. Bir başka seçenek MG'de bulunan projektör, kullanılan ışığa duyarlı likit rezin içerisindeki başlatıcıyı aktive edecek kadar güçlü olmayabilir. MG ve VG, DC_print değerleri açısından karşılaştırılabilir ve düşük değerler göstermiştir. Bu iki yazıcıda teknolojilerin farklı olmasına rağmen DC_Print değerlerinin benzer olması kullanılan rezinin aynı olmasından kaynaklanıyor olabilir.

DC değeri, son işlem prosedürleri olan yıkama ve kürlenmeden sonra ulaşılan nihai kürlenmeyi ifade etmektedir. DC değerinin, materyalin oral ortamdaki stabilitesini koruyabilmesi ve yeterli mekanik özellikler gösterebilmesi amacıyla yüksek olması beklenmektedir. Çalışmada elde edilen DC değerleri genel olarak, materyalin klinik kullanıma uygun olduğunu göstermektedir. Ferracane ve ark; restoratif materyaller için FT-IR analizi yapmış ve en az %55'lik bir DC değerinin klinik olarak kabul edilebileceği sonucuna varmışlardır.⁹⁹ Aynı zamanda DC açısından 3B yazıcı teknolojileri, uzun yıllardır klinik kullanımı bulunan kontrol grubu C ile karşılaştırılabilir değerler göstermiştir. Bu da 3B yazıcıların klinik kullanım için yeterli DC gösterdiği bilgisini desteklemektedir.

Δ DC değeri, DC_Print ve DC arasındaki fark olup, yalnızca son kürlenme işleminin nihai ürünün polimerizasyon derecesine etkisini ifade etmektedir. Çalışmada MG ve VG, aynı rezin ve son kürlenme yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Bu iki grup arasında Δ DC değerleri arasında anlamlı fark bulunmaması, son kürlenme yöntemi aynı olduğunda, kullanılan teknolojinin nihai polimerizasyon üzerinde etkisinin daha az olduğuya

açıklanabilir. Reymus ve ark; son kürlenme yönteminin ve baskı katman kalınlığının ΔDC üzerinde fark yarattığını göstermişlerdir.²⁷

Çalışmada, DC_print değeri yüksek olan gruplarda ΔDC değeri düşük bulunmuş, DC_Print değeri düşük olan gruplarda ΔDC değeri yüksek bulunmuştur. Nihai DC ise bu faktörlerden etkilenmemiş ve anlamlı fark oluşturmayacak sonuçlar vermiştir. Wu ve ark. yaptığı çalışmada, baskıdan sonra düşük DC değeri gösteren materyallerin son kürlenme sırasında yüksek miktarda hacim küçülmesi oluşturacağını ve nihai ürünün boyutsal doğruluğunu olumsuz etkileyeceğini göstermiştir.⁹⁶ Bu durumda ΔDC 'nin küçük olması nihai ürünün boyutsal doğruluğu açısından önemli olmaktadır.

Çalışmada kullanılan 3B yazıcılarda son kürlenme yöntemi her üretici firmanın kendi önerisi göz önüne alınarak yapılmıştır. Aynı zamanda 3B yazıcıların kapalı sistem olmasına bağlı olarak tüm gruplarda aynı ışığa duyarlı likit rezin kullanılamamıştır. Bu durum DC değerleri arasında fark yaratmazken ΔDC değerleri arasında oluşan farkın hangi parametreden kaynaklandığının araştırılmasını gerektirmektedir.

Çalışmanın limitasyonlarına, 3B yazıcıların kapalı sistem olmasına bağlı olarak tüm gruplarda aynı ışığa duyarlı likit rezinin kullanılamaması gösterilebilir. Ayrıca son kürlenme işlemleri üretici firma talimatları doğrultusunda yapılmıştır. Bu durum son kürlenme işleminde standart bir prosedür uygulanmasının önüne geçmiştir. Son kürlenme prosedürlerinin dönüşüm derecesi üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmalar bu adımın dönüşüm derecesi üzerinde önemli bir parametre olduğunu göstermektedir.

Tahayeri ve ark. yaptığı çalışmada 3B yazıcı ile geçici restorasyon materyalleri kullanılarak üretilen örneklerin dönüşüm derecesini her 50 μm 'da spektrum alınarak incelemiş ve örnek boyunca heterojen bir polimerizasyon paterni görmüştür.¹⁰⁰ ATR-FT-IR spektroskopisi ile DC ölçümleri numune yüzeyleriyle sınırlıydı. DC'nin nihai ürün boyunca heterojen olması yeterli mekanik özellikler gösterebilmesi açısından kritiktir. DC'nin nihai ürünün tüm katmanlarında homojen olup olmadığını belirlemek için daha fazla araştırma yapılmalıdır.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu in vitro çalışmanın bulgularına dayanarak, aşağıdaki sonuçlar çıkarıldı:

1. Farklı 3B yazıcı teknolojileri kullanılarak üretilen geçici restorasyon materyalleri klinik kullanıma uygundur.
2. Üç boyutlu yazıcılar, uzun yıllardır kullanılan C yöntemine benzer sonuçlar vermiştir.
3. 3B yazıcılardaki polimerizasyon her zaman yeterli dönüşümü sağlayamadığı için son kütleme gereklidir.
4. Her ne kadar DC farklı 3B yazıcı teknolojilerinden etkilenmese de DC_Print ile Δ DC değerlerinde önemli farklılıklar vardı.
5. Baskı yönteminin ve üreticinin etkilerini birbirinden ayırmak mümkün değildir.

KAYNAKLAR

1. **Shillingburg T H.** *Sabit Protezin Temelleri*. 3. Baskı, Quintessence Yayıncılık Ltd. Şti., **2010**.
2. **Gratton D G, Aquilino S A.** Interim restorations. *Dent Clin N Am*, **2004**; 48:487-497.
3. **Fox C W, Abrams B L, Doukoudakis A.** Provisional restorations for altered occlusions. *J Prosthet Dent*, **1984**; 52: 567-572.
4. **Burns D R, Beck D A, Nelson S K.** A review of selected dental literature on contemporary provisional fixed prosthodontic treatment: Report of the Committee on Research in Fixed Prosthodontics of the Academy of Fixed Prosthodontics. *J Prosthet Dent*, **2003**; 90:474-97.
5. **Fisher D W, Shillingburg Jr., Dewhirst R B.** Indirect temporary restorations. *J Am Dent Assoc*, **1971**; 82(1):160-3.
6. **Federic D R.** The provisional fixed partial denture. *J Prosthet Dent*, **1975**; 34(5):520-6.
7. **Krug R S.** Temporary resin crowns and bridges. *Dent Clin N Am*, **1975**; 19(2):313-320.
8. **Anusavice K, Phillips R, Shen C, Rawls H.** *Phillips' Science of Dental Materials*. 12th ed, Elsevier Science, **2003**.
9. **Jockusch J, Özcan M.** Additive manufacturing of dental polymers: An overview on processes, materials and applications. *Dent Mater*, **2020**; 39(3):345-354.
10. **Torabi K, Farjood E, Hamedani S.** Rapid prototyping technologies and their applications in prosthodontics: a review of literature. *J Dent (Shiraz)*, **2015**; 16(1):1-9.
11. **Tofail SAM, Koumoulos EP, Bandyopadhyay A, Bose S, O'Donoghue L, Charitidis C.** Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities. *Mater Today*, **2018**; 21:22-37.
12. **Wong K V, Hernandez A.** A review of additive manufacturing. *ISRN Mech Eng*, **2012**; 2012:208760.
13. **Kessler A, Hickel R, Reymus M.** 3D Printing in dentistry-state of the art. *Oper Dent*, **2020**; 45:30-40.
14. **Revilla-Leon M, Meyers M J, Zandinejad A, Özcan M.** A review on chemical composition, mechanical properties, and manufacturing work flow of additively manufactured current polymers for interim dental restorations. *J Esthet Restor Dent*, **2019**; 31:51-57.

15. **Bartoloni J A, Murchison D F, Wofford D T, Sarkar N K.** Degree of conversion in denture base materials for varied polymerization techniques. *J Oral Rehab*, **2000**; 27:488-493.
16. **Layani M, Wang X, Magdassi S.** Novel materials for 3D printing by photopolymerization. *Adv Mater*, **2018**; 30(41): 1706344.
17. **Quan H, Zhang T, Xu H, Luo S, Nie J, Zhu X.** Photo-curing 3D printing technique and its challenges. *Bioact Mater*, **2020**; 5:110-115.
18. **Hull C W.** *Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography*. US Patent 4575330. **1986**.
19. **Stansbury J W, Idacavage M J.** 3D printing with polymers: Challenges among expanding options and opportunities. *Dent Mater*, **2016**; 32:54-64.
20. **Liska R, Schuster M, Infuhr R, Tureek C, Fritscher C, Seidl B.** Photopolymers for rapid prototyping. *J Coatings Technol Res*, **2007**; 4:505-510.
21. **Hornbecl L.** *Digital Micromirror Device*. US Patent No. 5.061.049, **2009**.
22. **Groth C, Kravitz N D, Jones PE.** Three-dimensional printing technology. *J Clin Orthod*, **2014**; 48:475-485.
23. **M. Ishii, T. Kawamura, H. Yamate, M. Takabatake.** *Liquid Crystal Display*. US Patent 6934000B1, **2005**.
24. **Revilla-León M, Özcan M.** Additive manufacturing technologies used for processing polymers: current status and potential application in prosthetic dentistry. *J Prosthodont*, **2019**; 28:146-158.
25. **Aguiar T R, Franciscantonio M, Arrais C A, Ambrosano GMB, Davanzo C, Giannini M.** Influence of curing mode and time on degree of conversion of one conventional and two self-adhesive resin cements. *Oper Dent*, **2010**; 35:295-299.
26. **Kopperud HM, Johnsen GF, Lamolle S, Kleven IS, Wellendorf H, Haugen HJ.** Effect of short LED lamp exposure on wear resistance, residual monomer and degree of conversion for Filtek Z250 and Tetric EvoCeram composites. *Dent Mater*, **2013**; 29:824-834.
27. **Reymus M, Lümckemann N, Stawarczyk B.** 3D-printed material for temporary restorations: impact of print layer thickness and post-curing method on degree of conversion. *Int J Comput Dent*, **2019**; 22:231-237.
28. **Kim D, Shim J, Lee D, Shin S, Nam N, Park K, Shim JS, Kim J.** Effects of post-curing time on the mechanical and color properties of three-dimensional printed crown and bridge materials. *Polymer*, **2020**; 12:2762.

29. **Katheng A, Kanazawa M, Iwaki M, Minakuchi S.** Evaluation of dimensional accuracy and degree of polymerization of stereolithography photopolymer resin under different postpolymerization conditions: An in vitro study. *J Prosthet Dent*, **2021**; 125:685-702.
30. **Emtiaz, S, Tarnow D P.** Processed acrylic resin provisional restoration with lingual cast metal framework. *J Prosthet Dent*, **1998**; 79 (4), 484-488.
31. **Devlin H.** Acrylic monomer-friend or foe? *Quintessence of Dental Technology*, **1984**; 8:511-512.
32. **Antonoff S J, Levine H.** Fabricating an acrylic resin temporary fixed prosthesis for an allergic patient. *J Prosthet Dent*, **1981**; 45(6):678-679.
33. **Crispin B J, Watson J F, Caputo A A.** The marginal accuracy of treatment restorations: a comparative analysis. *J Prosthet Dent*, **1980**; 44(3):283-290.
34. **LaVecchia L, Belott R, DeBellis L, Naylor W P.** A transitional anterior fixed prosthesis using composite resin. *J Prosthet Dent*, **1980**; 44(3):264-266.
35. **Rosenstiel S F, Fujimoto J.** *Contemporary Fixed Prosthodontic*. 3th ed, Mosby Inc, **2001**.
36. **Saçak M.** *Polimer Kimyasına Giriş*. Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Döner Sermaye İşletmesi Yayınları, **1998**.
37. **Craig R, Powers J, Sakaguchi R.** *Craig's Restorative Dental Materials*. 13th ed, St. Mosby Elsevier, **2006**.
38. **Vahidi F.** The provisional restoration. *Dent Clin North Am*, **1987**; 31(3):363-381.
39. **Anderson J N.** *Applied Dental Materials*. 7th ed, Oxford, England: Blackwell Scientific Publications, **1976**.
40. **Christensen G J.** The fastest and best provisional restorations. *J Am Dent Assoc*, **2003**; 134(5):637-639.
41. **Lui J L, Setcos J C, Phillips R W.** Temporary restorations: a review. *Oper Dent*, **1986**; 11(3):103-110.
42. **Christensen G J.** Provisional restorations for fixed prosthodontics. *J Am Dent Assoc*, **1996**; 127(2),249-252.
43. **Wang R L, Moore B K, Goodacre C J, Swartz M L, Andres C J.** A comparison of resins for fabricating provisional fixed restorations. *Int J Prosthodont*, **1989**; 2(2):173-184.

44. **Driscoll C F, Woolsey G, Ferguson W M.** Comparison of exothermic release during polymerization of four materials used to fabricate interim restorations. *J Prosthet Dent*, **1991**; 65(4):504-506.
45. **Capp N J.** The diagnostic use of provisional restorations. *Restorative Dent*, **1985**; 1(4):92,94-98.
46. **Davidoff S R.** Heat-processed acrylic resin provisional restorations: an in-office procedure. *J Prosthet Dent*, **1982**; 48(6):673-675.
47. **Bernard G N, Smith L GH.** *Planning and Making Crowns and Bridges*. 4th ed, London: Informa Healthcare, **2007**.
48. **Bennani V.** Fabrication of an indirect-direct provisional fixed partial denture. *J Prosthet Dent*, **2000**; 84(3):364-365.
49. **Alhazzawi T F.** Advancements in CAD/CAM technology: Options for practical implementation. *J Prosthodont Res*, **2016**; 60(2):72-84.
50. **Jedrykiewicz N, Martin N.** Cerec Science, research and clinical application. *Compend Contin Educ Dent*, **2001**; 22:7-13.
51. **Aeran H, Kumar V, Seth J, Sharma A.** Computer Aided Designing- Computer Aided Milling in Prosthodontics: A Promising Technology for Future. *IJSS Case Report & Reviews*, **2014**; 1(1):23-27.
52. **Davidowitz G, Kotick P G.** The use of CAD/CAM in dentistry. *Dent Clin N Am*, **2011**; 55(3):559-570.
53. **Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y.** A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dent Mater*, **2009**; 28(1):44-56.
54. **Abduo J, Lyons K, Bennamoun M.** Trends in computer-aided manufacturing in prosthodontics: a review of the available streams. *Int J Dent*, **2014**; 2014:783948.
55. **Fasbinder D J.** Digital dentistry: innovation for restorative treatment. *Compend Cont Educ Dent*, **2010**; 31:2-11.
56. **Lambert H, Durand J C, Jacquot B, Fages M.** Dental biomaterials for chairside CAD/CAM: State of the art. *J Adv Prosthodont*, **2017**; 9:486-495.
57. **Hickel R, Dasch W, Mehl A.** CAD/CAM-fillings of the future. *Int Dent J*, **1997**; 47:247-58.
58. **Rekow E D, Erdman A G, Riley D R.** CAD/CAM for dental restorations-some of the curious challenges. *Biomed Eng* **1991**; 38(4):318-414.

59. **Beuer F.** Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Braz Dent J*, **2008**; 204(9):505–11.
60. **Zandparsa R.** Digital imaging and fabrication. *Dent Clin N Am*, **2014**; 58(1):135-158.
61. **Sulaiman T A.** Materials in digital dentistry. *J Esthet Restor Dent*, **2020**; 32(2):171-181.
62. **Van Noort R.** The future of dental devices is digital. *Dent Mater*, **2012**; 28(1):3–12.
63. **ASTM**, Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies, Standard Terminology for Additive Manufacturing– General Principles and Terminology, West Conshohocken, Pa. **2009**, ISO/ASTM52900–15.
64. **Braian M, Jimbo R, Wennerberg A.** Production tolerance of additive manufactured polymeric objects for clinical applications. *Dent Mater*, **2016**; 32(7):853–61.
65. **Tofail SAM, Koumoulos E P, Bandyopadhyay A, Bose S, O’Donoghue L, Charitidis C.** Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities. *Mater Today*, **2018**; 21(1):22–37.
66. **Wong K V, Hernandez A.** A review of additive manufacturing. *ISRN Mech Eng*, **2012**; 2012:10.
67. **Groth C, Kravitz N D, Jones P E.** Three-dimensional printing technology. *J Clin Orthod*, **2014**; 48:475–485.
68. <https://support.zemax.com/hc/en-us/articles/4414655994899-How-to-model-DMD-MEMS-in-OpticStudio>
69. **Ishii M, Kawamura T, Yamate H, Takabatake M.** Liquid crystal display, *US6934000B1*. **2005**; 08-23.
70. <https://www.structo3d.com/pages/technology>
71. **Dewaele M, Truffier-Boutry D, Devaux J, Leloup G.** Volume contraction in photocured dental resins: the shrinkage-conversion relationship revisited. *Dent Mater*, **2006**; 22:359-365.
72. **Yan Y, Kim Y, Kim K, Kwon T.** Changes in degree of conversion and microhardness of dental resin cements. *Oper Dent*, **2010**; 35:203-210.
73. **Stansbury J, Dickens SH.** Determination of double bond conversion in dental resins by near infrared spectroscopy. *Dent Mater*, **2001**; 17:71-79.

74. **Kim S H, Watts D C.** Degree of conversion of bis-acrylic based provisional crown and fixed partial denture materials. *J Korean Acad Prosthodont*, **2008**; 46:639-643.
75. **Altunsoy M, Botsalı M S, Tosun G, Yaşar A.** Farklı polimerizasyon sürelerinin adeziv sistemlerden salınan artık monomer miktarına etkisi. *Acta Odontologica Turcica*, **2013**; 30:6.
76. **Ferracane J.** Elution of leachable components from composites. *J Oral Rehab*, **1994**; 21:441-452.
77. **Imazato S, McCabe J F, Tarumi H, Ehara A, Ebisu S.** Degree of conversion of composites measured by dta and ftir. *Dent Mater*, **2001**; 17:178-183.
78. **Silva F F, Mendes L C, Ferreira M, Benzi M R.** Degree of conversion versus the depth of polymerization of an organically modified ceramic dental restoration composite by Fourier transform infrared spectroscopy. *J Appl Polym Sci*, **2007**; 104:325-330.
79. **Arısu H D, Bala O, Üçtaşlı M B.** Halojen veya led ışık kaynakları ile sertleştirilen farklı restoratif materyallerin barcoll sertlikleri. *Acta Odontologica Turcica*, **2008**; 25(2):19-0.
80. **Moraes LGP, Rocha RSF, Menegazzo LM ve ark.** Infrared spectroscopy: a tool for determination of the degree of conversion in dental composites. *J Appl Oral Sci*, **2008**; 16:145-149.
81. **Hollas J M.** Modern Spectroscopy. *John Wiley & Sons*, **2004**.
82. **Beiser A.** *Modern Fiziğin Kavramları*. Akademi Yayınları, **1997**.
83. **Svanberg S.** *Atomic and Molecular Spectroscopy: Basic Aspects and Practical Applications*. Springer Science & Business Media, **2012**.
84. **Gauthier M A, Stangel I, Ellis T H, Zhu X.** A new method for quantifying the intensity of the C=C band of dimethacrylate dental monomers in their FTIR and Raman spectra. *Biomaterials*, 2005; 26:6440-6448.
85. **Smith B C.** *Fundamentals of Fourier Transform Infrared Spectroscopy*. 2th Ed. CRC Press, **2011**.
86. **Gündüz T.** *İnstrümental Analiz*. Gazi Kitabevi, 1999.
87. **Baver H, Christian G, O'reilly J.** *İnstrümental Analysis*. Allyn and Bacon Inc, **1978**.
88. **Griffiths P R, De Haseth J A.** *Fourier Transform Infrared Spectrometry*. John Wiley & Sons, **2007**.
89. **Stuart B.** *Infrared Spectroscopy*. Wiley Online Library, **2005**.

90. **Chung K, Greener E.** Degree of conversion of seven visible light-cured posterior composites. *J Oral Rehab*, **1988**; 15:555-560
91. **Schmidt P, Dybal J, Trchova M.** Investigations of the hydrophobic and hydrophilic interactions in polymer–water systems by ATR FTIR and Raman spectroscopy. *Vibrational Spectroscopy*, **2006**; 42: 278-283.
92. **Orefice R, Discacciati J, Neves A, Mansur H, Jansen W.** In situ evaluation of the polymerization kinetics and corresponding evolution of the mechanical properties of dental composites. *Polymer Testing*, **2003**; 22:77-81.
93. **Aguiar T R, Francescantonio M, Arrais CA, Ambrosano GMB, Davanzo C, Giannini M.** Influence of curing mode and time on degree of conversion of one conventional and two self-adhesive resin cements. *Oper Dent*, 2010; 35:295-299.
94. **Kopperud H M, Johnsen G F, Lamolle S, Kleven I S, Wellendorf H, Haugen H J.** Effect of short LED lamp exposure on wear resistance, residual monomer and degree of conversion for Filtek Z250 and Tetric EvoCeram composites. *Dent Mater*, **2013**; 29: 824-834.
95. <https://www.randomizer.org>
96. **Wu D, Zhao Z, Zhang Q, Qi HJ, Fang D.** Mechanics of shape distortion of DLP 3D printed structures during UV post-curing. *Soft Matter*, **2019**; 15:6151-6159
97. **Doğan A, Bek B, Çevik NN, Usanmaz A.** The effect of preparation conditions of acrylic denture base materials on the level of residual monomer, mechanical properties and water absorption. *J Dent*, 1995; 23(5):313-318
98. **Steyrer B, Neubauer P, Liska R, Stampfl J.** Visible Light Photoinitiator for 3D-Printing of Tough Methacrylate Resins. *Materials*, **2017**; 19:10(12):1445
99. **Ferracane J, Mitchem J, Condon J, Todd R.** Wear and marginal breakdown of composites with various degrees of cure. *J Dent Res*, **1997**; 76:1508-1516.
100. **Tahayeri A, Morgan M, Fugolin AP, Bompolaki D, Athirasala A, Pfeifer C S, Ferracane J L, Bertassoni L E.** 3D printed versus conventionally cured provisional crown and bridge dental materials. *Dent Mater*, **2018**; 34(2):192-200.

ÖZGEÇMİŞ

İlk öğrenimimi Kasım Sacide Ener İlköğretim Okulu'nda, orta öğrenimimi Gazi Ortaokulu'nda tamamladım. Liseyi Seyhan Rotary Anadolu Lisesi'nde tamamladım. Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi'nden mezun oldum. Uşak Banaz Devlet Hastanesi'nde ve Kozan Devlet Hastanesi'nde görev yaptım. 2020 yılında Çukurova Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı'nda uzmanlık eğitimime başladım. Halen aynı anabilim dalında araştırma görevlisi olarak çalışmaktayım.

