

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

**FARKLI 3B YAZICI TEKNOLOJİSİ KULLANILARAK
ÜRETİLEN GEÇİCİ RESTORASYON
MATERYALLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Dt. Mehmet ÜNAL

UZMANLIK TEZİ

TEZ DANIŞMANI

Doç. Dr. Esmâ Başak GÜL AYGÜN

ADANA 2024

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

**FARKLI 3B YAZICI TEKNOLOJİSİ KULLANILARAK
ÜRETİLEN GEÇİCİ RESTORASYON
MATERYALLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Dt. Mehmet ÜNAL

UZMANLIK TEZİ

TEZ DANIŞMANI

Doç. Dr. Esmâ Başak GÜL AYGÜN

**Bu çalışma TDH-2020-13298 nolu proje olarak Çukurova Üniversitesi Bilimsel
Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.**

ADANA 2024

KABUL VE ONAY

Uzmanlık Programı Çerçevesinde yürütölmüş olan
“Farklı 3B Yazıcı Teknolojisi Kullanılarak Üretilen Geçici Restoratif Materyallerinin
Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”
adlı çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Uzmanlık Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tarihi: 31/01 /2024

TEZ SINAV JÜRİSİ

Dr.
Çukurova Üniversitesi
Başkan

Dr.
Çukurova Üniversitesi
Üye

Dr.
Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi
Üye

Yukarıdaki Tez, Yönetim Kurulunun 07 / 02 / 2024 tarih ve 5/5
sayılı kararı ile kabul edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim süresince tez çalışmamda, klinik ve akademik tecrübeleriyle her zaman yanımda olan ve beni destekleyen danışman hocama,

Uzmanlık eğitimim boyunca günceli takip etmem konusunda klinik bilgi ve tecrübelerini her zaman paylaşan, gelişmemde katkı sağlayan kıymetli hocalarıma,

Protezi eğlenerek öğrendiğim, vakalar üzerine konuşabildiğim, meslektaş ve çalışma arkadaşı olmanın haricinde sevinç ve üzüntülerime ortak olan eş kıdemlerime,

Huzurlu bir çalışma ortamı oluşturabilmemizde katkı sağlayan Protetik Diş Tedavisi bölümümüzde görev yapan asistan arkadaşlarıma ve tüm personele,

Hayatımda aldığım bütün kararlarda en büyük destekçim olan, maddi manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, bugün geldiğim noktadaki başarımın en büyük ortağı olan biricik canım aileme,

Teşekkür Ederim.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Geçici Restorasyonların Taşınması Gereken Özellikler	3
2.2. Geçici Restorasyonun Kullanım Amaçları	3
2.3. Geçici Restorasyon Yapımında Kullanılan Materyaller	4
2.3.1. Hazır Geçici Kronlar (Prefabrike)	4
2.3.2. Kişiyeye Özel Olarak Yapılan Geçici Restorasyonlar	4
2.4. Geçici Restorasyon Üretim Yöntemleri	5
2.4.1.1. Direkt Üretim Yöntemi	5
2.4.1.2. İndirekt Üretim Yöntemi	5
2.4.1.3. Direkt-indirekt Üretim Yöntemi	6
2.4.2. CAD/CAM Üretim Yöntemleri	6
2.4.2.1. Kazımalı (Eksiltmeli) Üretim	6
2.4.2.2. Eklemeli Üretim	7
2.4.2.2.1. Stereolitografi (SLA)	9
2.4.2.2.2. Dijital Işık İşleme (Digital Light Processing-DLP)	10
2.4.2.2.3. Likit Kristal Ekran (Liquid Crystal Display-LCD)	11
2.5. Mekanik Testlerin Belirlenmesinde Kullanılan Testler	12
2.5.1. 3-Nokta Bükülme Testi	12
2.5.1.1. Elastik Modül ve Ölçümü	12
2.5.1.2. Bükülme Dayanımı ve Ölçümü	13
2.5.2. Yüzey Sertliği ve Ölçümü	14
2.5.3. SEM (Scanning Electron Microscope) Analizi	15
3. GEREÇ VE YÖNTEM	16

3.1. Örneklerin Hazırlanması	16
3.2. Kullanılan Testler ve Cihazlar	19
3.2.1. Kırılma Testi.....	19
3.2.2. Sertlik Testleri	19
3.3. SEM Analizi.....	20
3.4. İstatistiksel Analiz.....	21
4. BULGULAR.....	22
4.1. Mekanik Özelliklerin Bulguları	22
4.1.1. Elastik Modül Bulguları	22
4.1.2. Bükülme Dayanımı Bulguları	23
4.1.3. Mikrosertlik Bulguları	25
4.1.4. Weibull Analizi	26
4.1.5. SEM Bulguları.....	28
5. TARTIŞMA	32
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	36
KAYNAKLAR.....	37
ÖZGEÇMİŞ	43

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Eklemeli üretim teknolojileri.....	7
Şekil 2.2. SLA teknolojisi	9
Şekil 2.3. DLP teknolojisi	10
Şekil 2.4. LCD teknolojisi	11
Şekil 2.5. Üç nokta bükülme testi.....	12
Şekil 2.5.3. Sertlik testleri	14
Şekil 3.1. Güç analizi (G*Power).....	17
Şekil 3.2. Örneklerin gruplandırılması ve numaralandırılması	17
Şekil 3.3. Numune boyutlarının dijital kumpasla ölçümü.....	18
Şekil 3.4. Testometrik cihazı ve örneklerin hazırlık aşamaları	19
Şekil 3.5. Sertlik cihazı ve Knoop mikro-sertlik testi mikroskop görüntüsü	20
Şekil 3.6. SEM-EDS cihazı	21
Şekil 4.1. Grupların elastik modül değerlerine ait istatistiksel grafik	23
Şekil 4.2. Grupların bükülme dayanımı değerlerine ait istatistiksel grafik	24
Şekil 4.3. Grupların mikro-sertlik değerlerine ait istatistiksel grafik	26
Şekil 4.4. Gruplara ait Weibull modül değerlerine ait istatistiksel grafik	27
Şekil 4.5. 100× büyütme SEM görüntüleri.....	28
Şekil 4.6. 1000× büyütme SEM görüntüleri.....	30

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan yazıcılar ve materyaller	16
Çizelge 4.1. Elastik modül bulguları $\pm$ SD	22
Çizelge 4.2. Bükülme dayanımı bulguları $\pm$ SD	23
Çizelge 4.3. Mikrosertlik bulguları $\pm$ SD	25



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

PMMA	Polimetil metakrilat
PEMA	Polietil metakrilat
CAD/CAM	Bilgisayar destekli dizayn / bilgisayar destekli üretim
3B	Üç boyutlu
MJ	Materyal püskürtme (Material Jetting)
PBF	Toz yatağı füzyonu (Powder Bed Fusion)
SLA	Stereolitografi
DLP	Dijital ışık işleme (Digital Light Processing)
LCD	Likit kristal ekran (Liquit Crystal Display)
N	Newton
GPa	Gigapaskal
µm	Mikrometre
MPa	Megapaskal
KHN	Knoop sertlik
SEM	Taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
mm/dk	Milimetre/dakika
sn	Saniye
gf	Gram kuvvet

ÖZET

Farklı 3B Yazıcı Teknolojisi Kullanılarak Üretilen Geçici Restoratif Materyallerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Amaç: Bu in-vitro çalışmanın amacı; SLA, DLP ve LCD teknolojileri kullanılarak üretilen geçici restorasyon materyallerinin mekanik özelliklerinin kazıma yöntemi ve geleneksel olarak üretilen polimetil metakrilat (PMMA) ile karşılaştırmaktır.

Gereç ve Yöntem: Çalışmada deney grubu olarak stereolitografi (SLA), dijital ışık işleme (DLP) ve likit kristal ekran (LCD) 3B yazıcılar ve kontrol grubu olarak kazıma yöntemi ve geleneksel yöntem kullanıldı. Çalışmaya altı farklı 3B yazıcı (DWS Systems, Formlabs, Asiga, Mega, Vega ve Photon) dahil edildi. ISO 10477: 2004'e göre, boyutları 25×2×2 mm olan dikdörtgenler prizması şeklinde toplam 120 geçici reçine örneği hazırlandı. Dijital üretim yapılacak örneklerin geometrisi bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımı (Materialise 3-matic; Materialise) ile tasarlandı. Üretim yönü yatay (0 derece) ve katman kalınlığı 50 µm (n=15) olarak belirlendi. Üretilen numuneler 3-nokta bükülme testi ve mikro sertlik testlerine tabi tutuldu. Weibull analizi yapıldı. Kırık yüzey analizi SEM (Quanta 650 alan emisyonu SEM; FEI) kullanılarak gerçekleştirildi. Verilerin istatistiksel analizi tek yönlü ANOVA ve post-hoc Dunnet T3 testi ile yapıldı ($\alpha=.05$).

Bulgular: DWS ($p=.696$), FL ($p=1.000$), AS ($p=1.000$), VG ($p=.375$) ve C ($p=.494$) grupları ML ile karşılaştırılabilir elastik modül değeri gösterdi. FL ve ML istatistiksel olarak benzer bükme dayanımı gösterdi ($p=1.000$). PH dışındaki tüm 3B yazıcılar C'den istatistiksel olarak anlamlı derecede daha yüksek mikrosertlik değeri gösterdi. PH tüm gruplara göre istatistiksel olarak anlamlı derecede daha düşük mekanik özellikler gösterdi.

Sonuç: Çalışmaya dahil edilen 3B yazıcılarda üretilen örnekler farklı mekanik özellikler göstermiştir. Geleneksel yöntemle iyi bir alternatif oluştururlar.

Anahtar Kelimeler: 3B Yazıcı, Eklemeli Üretim, Geçici Restorasyon, Mekanik Özellikler

ABSTRACT

Evaluation of Mechanical Properties of Temporary Restoration Materials Produced Using Different 3D Printer Technologies

Purpose: The purpose of this in-vitro study was to compare the mechanical properties of interim restorations produced using SLA, DLP, and LCD technologies with the specimens produced by milling and 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 milling (ML) and conventional (C) method was used as the control. Six different 3D printers (DWS Systems, Formlabs, Asiga, Mega, Vega, and Photon) were included. According to ISO 10477: 2004, 120 rectangular prism interim resin specimens with dimensions of 25×2×2 mm were prepared. The geometry of the specimens was designed with the CAD software program (Materialise 3-matic; Materialise). The production direction was set horizontally and the layer thickness was 50 µm (n=15). The produced samples were subjected to 3-point bending and microhardness tests. Weibull analysis was performed. Fracture surface analysis was performed using a SEM (Quanta 650 field emission SEM; FEI). Statistical data analysis was performed with 1-way ANOVA followed by the post hoc Dunnet T3 test ($\alpha=.05$).

Results: DWS ($p=.696$), FL ($p=1.000$), AS ($p=1.000$), VG ($p=.375$), and C ($p=.494$) groups showed elastic modulus values comparable to ML. FL and ML showed statistically similar flexural strength ($p=1.000$). All 3D printers except PH showed a statistically significantly higher microhardness value than C. PH showed statistically significantly lower mechanical properties than all groups.

Conclusions: The specimens produced on the 3D printers included in the study showed different mechanical properties. Constitute a good alternative to the conventional method.

Keywords: 3D Printer, Additive Manufacturing, Interim Restoration, Mechanical Properties

1. GİRİŞ

Travma, periodontal hastalıklar ya da çürük sebebiyle dişlerini kaybetmiş kısmi dişsiz hastaların sabit restorasyonlarla tedavisi mümkündür.¹ Sabit protezlerin yapım aşamasında prepare edilen dişlerin dış etkenlerden korunması ve hasta konforunun sağlanması için hastaya kullandırılan restorasyonlara geçici protezler denir.^{2,3} Geçici protezler; sabit restorasyonların yapım aşamasında periodontal sağlığın sürdürülebilmesi, dişin horizontal ve vertikal stabilizasyonunun sağlanması, açığa çıkan dentin tübüllerinin ağız içi etkenlere karşı korunması için gereklidir.⁴ Hastanın fonksiyon ve fonetik ihtiyaçlarına cevap verecek özelliklere sahip olması istenir. Uyumsuz yapılmış geçici restorasyon periodontal sağlığı tehlikeye atar. Bu durum final restorasyonun başarısını büyük oranda etkiler.³⁻⁵

Bu restorasyonların ağız içerisindeki kuvvetlere dayanacak mekanik özelliklere sahip olması önemlidir. Geçici restorasyonlar oklüzal dikey boyutun rehabilitasyonu, brüksizm ya da eklem rahatsızlığı gibi durumlarda 3-6 ay gibi uzun sürelerde kullandırılabilir.⁶⁻⁸

Polimetil metakrilat (PMMA), polietil metakrilat (PEMA), bis-akril kompozit rezin gibi materyaller geçici restorasyon üretiminde kullanılmaktadır.^{1,9} Geleneksel yöntemler ile direk ya da indirek olarak geçici restorasyonların üretilmesi mümkündür.¹⁰ Diş hekimliğinin dijitalleşmesiyle birlikte bilgisayar destekli tasarım/bilgisayar destekli üretim (CAD/CAM) teknolojisi kullanılarak geçici restorasyon üretmek mümkün hale gelmiştir. CAD/CAM teknolojisi ile eksiltmeli (kazıma) ya da eklemeli olarak üretim yapmak mümkündür.¹¹ Eklemeli imalat yöntemini kullanan 3-Boyutlu (3B) yazıcılar geçici restorasyon üretiminde kullanılan en güncel ve en popüler üretim yöntemi olmayı başarmıştır. 3B yazıcılar ile karmaşık geometriye sahip restorasyonlar hassas ve uyumlu bir şekilde üretilir. Aynı zamanda birim zamanda daha fazla restorasyon üretimi mümkündür.^{12,13} Diş hekimliğinde kazan fotopolimerizasyonu denilen 3B yazıcı teknolojileri yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Bunlar; stereolitografi (SLA), dijital ışık işleme (DLP) ve likit kristal ekran (LCD) teknolojileridir.^{14,15}

Materyalin, kuvvet karşısında gösterdiği davranış karakteri, mekanik özelliği olarak tanımlanır.⁹ Protetik restorasyonların kuvvet karşısında stabil bir mekanik özellik

göstermelerini istenir. Ağız içerisinde oluşan farklı kuvvet dinamikleri içerisinde en fazla görülen bükülme kuvvetleridir. Bu nedenle özellikle köprü restorasyonlarında materyalin yeterli dayanıma sahip olmadığının anlaşılabilmesi için bükülme dayanımı son derece önemli hale gelmektedir. Elastik modül, bükülme dayanımı ve mikrosertlik, materyalin mekanik özelliklerini değerlendirilmesi için kullanılan önemli parametrelerdir.^{10,16}

Park ve ark. farklı üretim yöntemleri ile üretilen geçici restorasyonların bükülme dayanımını karşılaştırdıkları çalışmada DLP 3B yazıcı ve kazıma yöntemi arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulmamıştır. SLA 3B yazıcı ise bütün gruplardan daha yüksek bükülme dayanımı göstermiştir. Park ve ark.¹⁷ 3B yazıcı teknolojisinin mekanik özellikleri etkilediği sonucunu bildirmiştir. Ancak çalışmaya dış hekimliğinde sık kullanılan LCD teknolojisi dahil edilmemiştir.

Bu çalışmanın amacı; farklı 3B yazıcı teknolojileri kullanılarak üretilen geçici restorasyonların mekanik özelliklerini değerlendirmek, kazıma ve geleneksel yöntemle karşılaştırmaktır. Bu çalışmanın sıfır hipotezi; “farklı 3 boyutlu yazıcı teknolojileri kullanımı geçici restorasyon materyalinin mekanik özelliklerini etkilemez” olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada farklı teknolojileri kullanan 3B yazıcılarda üretilen geçici restorasyonların mekanik özellikleri kazıma ve geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldı. Bu çalışmanın sonuçları klinisyenlerin hangi yöntemi ya da hangi teknolojiyi kullanmaları gerektiği hakkında fikir verecektir.

2. GENEL BİLGİLER

Sabit restorasyon ile rehabilite edilecek hastalara yapılan geçici restorasyonlar daimî restorasyonun başarısına büyük oranda etki etmektedir. Geçici restorasyon bu bağlamda klinik olarak büyük önem taşımaktadır.¹⁰

2.1. Geçici Restorasyonların Taşınması Gereken Özellikler

- Prepare edilen dişin ağız içerisindeki termal ve kimyasal etkenlerden korunmasını sağlayabilmelidir.
- Dişin klinik olarak uzamasını ve devrilmesini engellemelidir.
- Polimerizasyonu tamamlanan materyalde artık monomer bulunmamalı ve biyouyumlu olmalıdır.
- Maliyeti düşük, raf ömrü uzun olmalıdır.
- Geçici restorasyonların renklenmesi klinik olarak düşük olmalı ve hastanın günlük hayattaki estetik ihtiyaçlarına cevap verebilir nitelikte olmalıdır.
- Hastanın tedavi sürecinde çiğneme fonksiyonuna katkı sağlamalıdır.
- Geçici restorasyonlar cilalanabilir ve hasta tarafından kolay temizlenebilir olmalıdır.
- Ağız içerisindeki kuvvet dinamiklerine dayanabilecek özellikte mekanik özellikler göstermeli, retansiyon ve stabilizasyonu iyi olmalıdır.^{3,5,18,19}

2.2. Geçici Restorasyonun Kullanım Amaçları

- Açığa çıkan dentin tübülleri sebebiyle oluşacak hassasiyetin engellenmesi.
- Prepare edilen dişin dış etkenlerden korunması, dişin horizontal ve vertikal olarak devamlılığının sağlanması.
- Hastanın yeme ve içme alışkanlıklarına devam edebilmesinin sağlanması.
- Daimî restorasyon hastaya teslim edilinceye kadar yumuşak doku uyumunun devamlılığının sağlanması.
- Hastanın estetik ve fonetik ihtiyaçlarının karşılanması, buna bağlı olarak da psikolojik olarak hastanın pozitif olarak etkilenmesidir.^{3,5,18,19}

2.3. Geçici Restorasyon Yapımında Kullanılan Materyaller

2.3.1. Hazır Geçici Kronlar (Prefabrike)

- Metal kronlar (Alüminyum ve çelik)
- Selüloz asetat kronlar
- Polikarbonat kronlar ^{20,21}

2.3.2. Kişiyi Özel Olarak Yapılan Geçici Restorasyonlar

- Polimetil metakrilat (PMMA)
- Polietil metakrilat (PEMA)
- Polivinil metakrilat
- Bis-akril kompozit rezin
- Ürethan dimetakrilat ^{22,23}

Polimetil Metakrilat (PMMA)

Polimetil metakrilat içerikli geçici restorasyonlar 1940'lı yılların başından beri kullanılan, bilinen en eski geçici restorasyon materyalidir.²⁴ Kullanılan rezin içerikli geçici restorasyon materyali içerisinde en sert olan materyaldir. Knoop sertlik değeri 18-20 KHN aralığındadır.⁹ Metil metakrilat monomerlerinin polimerizasyonu ile uzun polimetil metakrilat zincirleri oluşur. Polimerizasyon sırasında oluşan ekzotermik reaksiyon neticesinde oluşan ısı ağız içi ısıdan daha yüksek değerlerde olduğu için indirekt olarak laboratuvarında kullanılması uygundur.^{10,25,26} Materyalin dayanıklılığı diğer geçici restorasyonlardan daha yüksek, polisajlanması kolay ve marjin uyumu iyidir.²⁶⁻²⁸

Materyalin ucuz ve tamir edilebilmesinin kolay olması avantajlarıdır. Dezavantaj olarak içerisinde oluşan artık monomerler dişeti ve pulpal dokulara zarar verebilmektedir. Polimerizasyon büzülmesi neticesinde de marjinde uyumsuzluk ve açıklık görülebilmektedir. PMMA içerisine su emdiği için plastikleşir ve restorasyonda renklenmeler görülür.^{25,29,30}

Polietil Metakrilat (PEMA)

Polietil metakrilat materyali 1960'lı yıllarda kullanılmaya başlanmıştır.²⁴ PMMA materyaline göre kırılma direnci ve yüzey sertlik değerleri daha düşüktür.⁹

Polimerizasyon sırasında açığa çıkan ısı ve artık monomer miktarı PMMA'ya göre daha düşüktür. Direk yöntemle ağız içerisinde geçici üretmek için kullanılabilir. ^{25,31} PMMA materyali ile karşılaştırıldığında aşınmaya karşı dirençleri ve renk stabiliteleri daha düşüktür. Bu sebeple kısa süreli klinik kullanımları tercih edilmelidir. ^{5,19}

2.4. Geçici Restorasyon Üretim Yöntemleri

Geçici restorasyon üretim yöntemleri şu şekilde sınıflandırılmaktadır;

1. Geleneksel Üretim Yöntemleri

1. Direkt Üretim
2. İndirekt Üretim
3. Direkt-indirekt Üretim

2. CAD/CAM Üretim Yöntemleri

- 2.4.2.1. Eksiltmeli (Kazımalı, Milling) üretim
- 2.4.2.2. Eklemeli üretim (3B yazıcı)

2.4.1.1. Direkt Üretim Yöntemi

Sabit restorasyon için diş preparasyonları tamamlandıktan sonra ağız içerisinde doğrudan hazırlanan geçici restorasyonlardır. Bu yöntemde prepare edilmemiş diş üzerinden silikon ölçü alınır ve bu ölçü diş preparasyonu tamamlandıktan sonra geçici restorasyon yapımı için kalıp olarak kullanılır. Direk olarak ağız içerisinde geçici restorasyonun üretimi tamamlanır. Hastanın geçici restorasyonu olmadan klinikten çıkmaması indirek yöneme göre avantaj oluşturmaktadır. Fakat ağız içerisindeki ekzotermik reaksiyon ve oluşan artık monomerler pulpal ve yumuşak dokular üzerinde toksik etki oluşturmaktadır. ^{3,5,32,33,34}

2.4.1.2. İndirekt Üretim Yöntemi

Prepare edilen dişlerden alınan ölçü ile model elde edilir. Laboratuvar ortamında teknisyen tarafından alçı model üzerinde indirekt olarak geçici restorasyonlar üretilir. İndirekt olarak üretilen geçici restorasyonların direkt yöneme göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Polimerizasyon sırasında oluşan ekzotermik reaksiyondan ve artık monomerlerin toksik etkilerinden diş ve yumuşak dokunun korunması avantajı

olarak söylenebilir. Hastanın, geçici restorasyonların laboratuvarda hazırlanma sürecinde, bir süre geçici restorasyonsuz kalması dezavantaj oluşturur. Aynı zamanda üretim teknisyenin hassasiyetine bağlıdır ve birim zamanda daha az sayıda iş üretilir.^{3,10}

2.4.1.3. Direkt-indirekt Üretim Yöntemi

Bu yöntemde, prepare edilen dişlerden ölçü alınarak elde edilen alçı model üzerinde laboratuvar ortamında indirekt olarak geçici restorasyon hazırlanır. Hazırlanan geçici restorasyonun uyumu istenilen düzeyde olmadığı durumlarda ağız içerisinde besleme yapılarak uyumlanır. Bu yönetime direk-indirek üretim yöntemi denilir. Tekniğin avantajı, ağız içerisinde polimerize olan akrilik miktarının daha az olmasına bağlı olarak oluşan ısı miktarı ve artık monomer minimal düzeydedir.^{10,35}

2.4.2. CAD/CAM Üretim Yöntemleri

Diş hekimliğinde dijitalleşme 1971 yılında Dr. Francois Duret'in çalışmalarıyla başlamıştır.^{36,37} Gelişen teknolojilerle birlikte diş hekimliği uygulamaları sürekli güncellenmekte ve gelişen teknolojiye ayak uydurmaktadır. Teknolojinin diş hekimliği uygulamalarına girmesiyle birlikte dijital diş hekimliği gün geçtikçe daha fazla ilgi görmektedir. Diş hekimliğinde dijital uygulamalar denilince bilgisayar destekli kazıma ve bilgisayar destekli 3-Boyutlu (3B) yazıcılarda üretim akla gelmektedir. Özellikle 3B yazıcılar son zamanlarda giderek popüler hale gelmeye başlamıştır.¹¹⁻¹³

Dijital diş hekimliği uygulamalarında iş akışı 3 aşamadan oluşmaktadır. Bunlar; verilerin ağız içi ya da laboratuvar tipi tarayıcılarla bilgisayara aktarılması, tasarlanması ve üretimi olarak sıralanmaktadır.^{38,39} Dijital diş hekimliği uygulamaları ile teknisyen becerilerine olan bağlılık azalır, daha hassas ve uyumlu restorasyonlar üretilebilir.⁴⁰ Ayrıca verilerin arşivlenmesi de geleneksel yöntemlere göre daha kolaydır.

2.4.2.1. Kazımalı (Eksiltmeli) Üretim

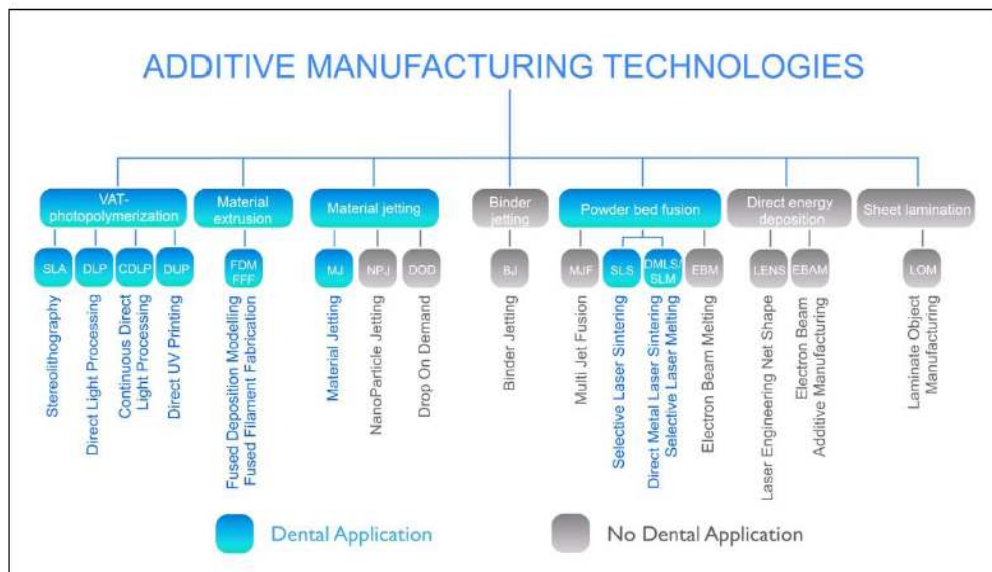
Kazımalı üretim, tasarımı yapılan final restorasyonun çok eksenli kazıma cihazlarında bir frez yardımıyla öğütülmesi temeline dayanır. Üretimde disk ya da ingotlar kullanılır.⁴¹⁻⁴³ Günümüzde kazıma cihazlarıyla daimî restorasyonlar üretildiği

gibi geçici restorasyonların da üretilmesi mümkündür. Birim zamanda daha fazla iş üretilmesi, geleneksel yöntemlere göre daha hassas restorasyonların üretilmesi avantajları olarak sıralanabilmektedir. Kazıma yöntemiyle çok miktarda artık materyal oluşması ve restorasyonun hassasiyetini en küçük frezin çapının belirliyor olması bu sistemin en büyük dezavantajları arasındadır.¹⁵ Elbette gelişen teknolojilerle birlikte klinik uygulamalarda daha fazla yer bulan 3B yazıcılar bazı noktalarda kazımalı üretimin önüne geçmektedir.

2.4.2.2. Eklemeli Üretim

Eklemeli üretim yöntemlerini Amerikan Test ve Materyal Derneği (ASTM) “Eksiltmeli üretim yöntemlerinin aksine, üç boyutlu modellerden tasarlanan objelerin üretilmesi için, materyallerin katman katman birleştirilmesi yöntemidir.” olarak tanımlamıştır.⁴⁴ Eklemeli üretim; tasarlanan objenin, belirlenen katman kalınlığında bir önceki katmanın üzerine yazdırılması ve final restorasyonun elde edilmesi prensibiyle çalışmaktadır.⁴⁵

Eklemeli üretim teknolojileri çok çeşitlidir ancak dental alanda en yaygın kullanılanları kazan fotopolimerizasyon yöntemleri, materyal ekstrüzyonu, materyal püskürtme (MJ), toz yatağı füzyonu (PBF) teknolojileridir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Eklemeli Üretim Teknolojileri¹⁴

Geçici restorasyon üretiminde yaygın olarak kazan fotopolimerizasyon yöntemleri kullanılır.¹⁵ Kazan polimerizasyon yöntemlerinde, tankın içinde yer alan, ultraviyole ışık demeti veya lazer ışını ile polimerize olabilen, likit haldeki reçine materyali kullanılarak tabakalar halinde üç boyutlu objeler oluşturulmaktadır. Şekillendirme sırasında oluşturulan objeyi taşıyan tabla, tamamlanan her tabakadan sonra polimerize edilen tabakanın kalınlığı kadar aşağıya ya da yukarıya hareket etmekte ve bu işlemler obje tamamlanıncaya kadar devam etmektedir. Tabakanın polimerizasyonu tamamlandıktan sonra, tabaka kalınlığı ile paralel olacak miktarda reçine solüsyonu tanka dolmaktadır.⁴⁶

Kazan fotopolimerizasyon yöntemlerinin ortak bir son kürleme aşaması bulunmaktadır. Son kürleme işlemi firmalar ve teknolojiler arasında farklılık gösterebilmektedir. Son kürleme işlemlerinin ilk aşaması olarak üretici talimatları doğrultusunda uygun alkol ile yıkanması gerekmektedir. Yıkama işlemi ile nihai restorasyon üzerinde bulunan artık reçinelerin uzaklaştırılması sağlanır. Yıkanan nihai restorasyonlar ısı ve ışık ile aktive edilmiş ünitelerde final sertliğine ulaşması için kürleme işlemine tabi tutulur. Kürlenen restorasyonların destek çubukları uzaklaştırılır ve polisaj işlemleri de tamamlanarak üretim süreci sonlanır.⁴⁵

Kazan fotopolimerizasyon yöntemleriyle geçici kronlar, daimî kronlar, tam protezler, oklüzal splintler, döküm için mum modelaj, ortodontik apareyler, modeller, cerrahi rehberler ve kişisel kaşıklar üretilebilmektedir.

Kazan Fotopolimerizasyon Yöntemleri



Stereolitografi (SLA)



Dijital Işık İşleme (DLP)

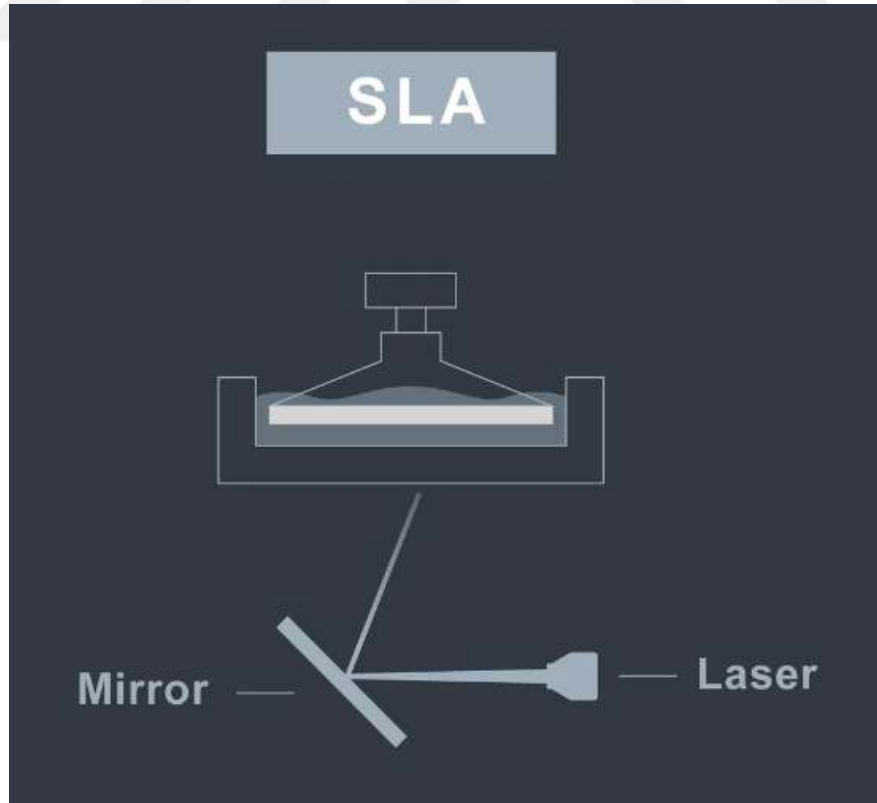


Likit Kristal Ekran (LCD)

2.4.2.2.1. Stereolitografi (SLA)

Stereolitografi (SLA) bilinen en eski fotokürleme teknolojisidir. 1986 yılında Chuck Hull tarafından tasarlandı. SLA teknolojisi ile 200-500 nm dalga boyuna sahip lazer ışık kaynağı kullanılarak polimerizasyon gerçekleştirilir.⁴⁷ Lazer ışını reçineye galvanometre denilen mikro aynalar tarafından yansıtılır. Lazer ışını noktasal olarak tüm yüzeyi tarar (Şekil 2.2.).⁴⁸ Bir reçine tabakası polimerize edildikten sonra, üretim platformu bir sonraki tabakayı sertleştirmek için bir katman kalınlığı kadar z ekseninde yukarı hareket eder ve sonraki katman için de aynı lazer tarama işlemleri tekrarlanır. 3 boyutlu tasarımın üretimi sonlanana kadar işlemler binlerce kez tekrar eder.

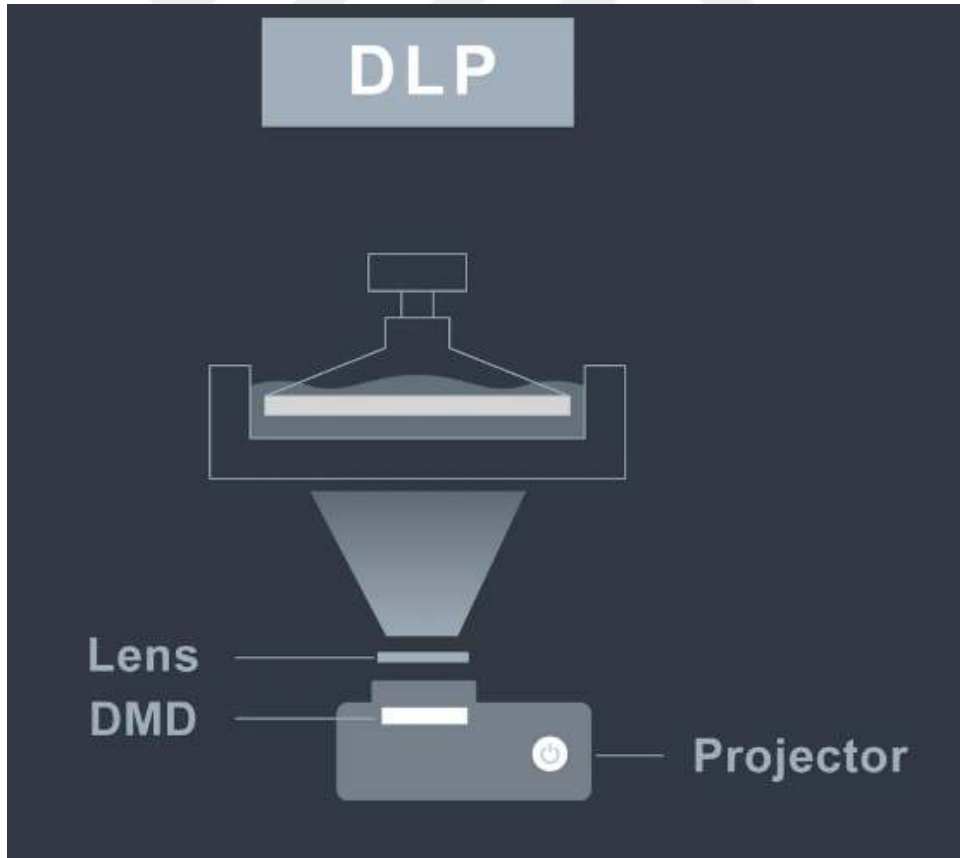
Üretim tablasının izin verdiği ölçüde büyük ve karmaşık objeler üretilebilir.⁴⁹ Lazer spotunun büyüklüğüne, lazerin ışınlama hızına ve üretilecek nesnenin büyüklüğüne göre üretim hızı değişmektedir. Materyalin kurlenme derecesi ise resin içeriğindeki fotobaşlatıcılar, kullanılan lazerin dalga boyu, ışınlama süresi ve kullanılan UV emici pigment materyallerinden etkilenmektedir.⁵⁰⁻⁵²



Şekil 2.2. SLA teknolojisi ⁵³

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

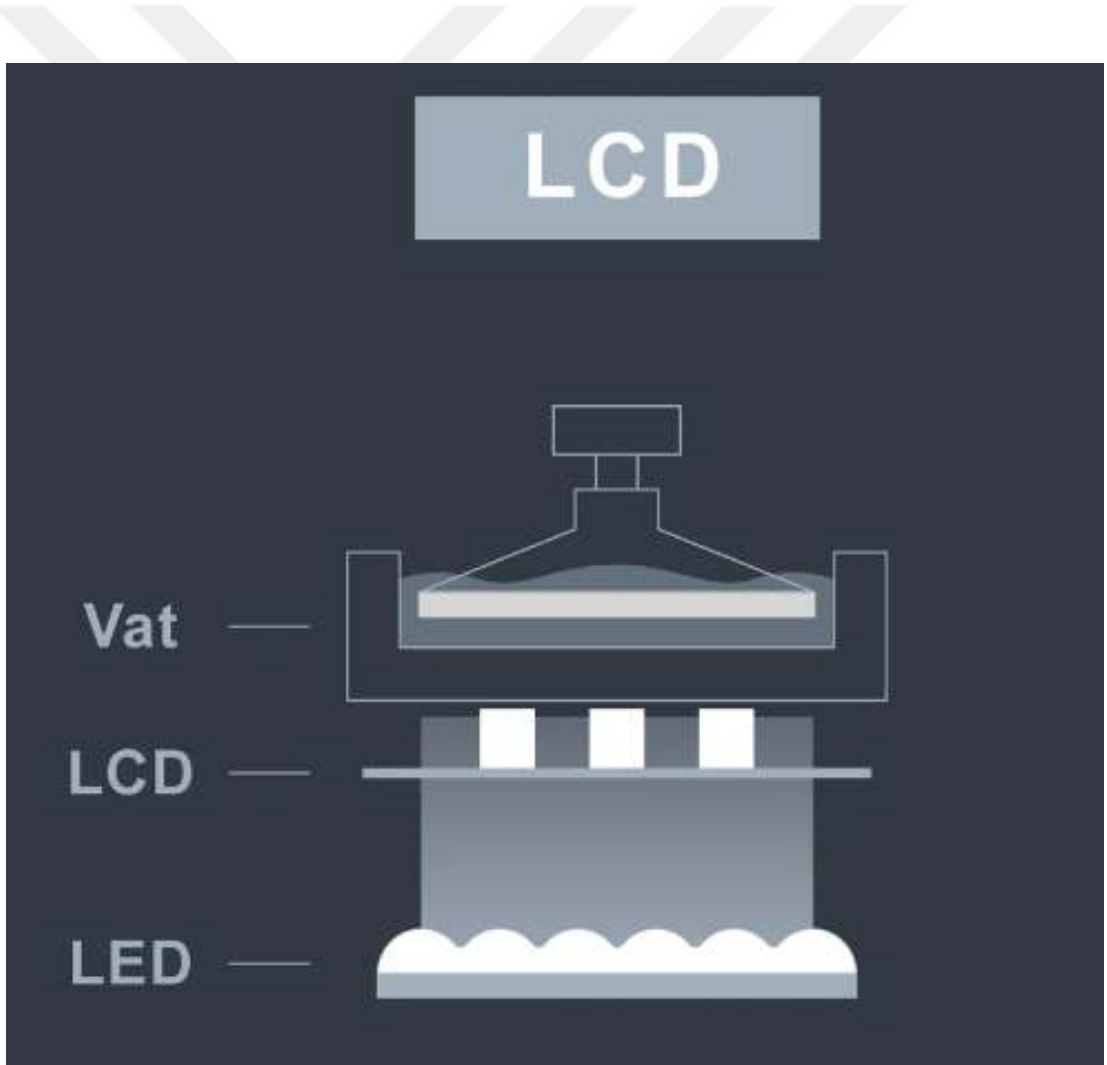
Dijital ışık işleme (Digital Light Processing-DLP), 1987’de Larry Hornbeck tarafından keşfedildi. DLP, çalışma prensibi bakımından SLA ile benzer bir teknolojiye sahiptir. En önemli farkı SLA’de lazer ışını kullanılırken DLP teknolojisinde projektör lamba kullanılmasıdır. Işık yüzbinlerce küçük aynanın bir araya gelmesiyle oluşan dijital mikro ayna cihazı (DMD) tarafından yansıtılır. Ayna sayısı yansıtılan görüntünün çözünürlüğünü ifade eder. Ayrıca SLA teknolojisi gibi noktasal ışınlama yapmaz. Bir katmana ait tüm yüzey aynı anda ışınlanır (Şekil 2.3.).^{54,55}Buna bağlı olarak da üretim süresi üretilecek nesnenin geometrisinden ve nesne sayısından bağımsızdır. Üretim süresi ışınlama süresi ve katman sayısına bağlıdır. Işınlamanın noktasal olmaması sebebiyle, üretim süresi SLA teknolojisinden daha kısadır. Projektör lambanın belli dönemlerde değiştirilmesi teknolojinin dezavantajını oluşturur.⁵⁶



Şekil 2.3. DLP teknolojisi⁵³

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

Likit kristal ekran (Liquit Crystal Display-LCD), DLP'ye benzer şekilde bir katmana ait yüzeyin tamamında eş zamanlı olarak kürleme yapar. Farkı ise ışığın bir LCD panelden maskelenerek yansıtılmasıdır. LCD ekrana uygulanan akım neticesinde ışınlanacak objenin dışında kalan kısımdaki piksellerin maskelenmesi ile ışınlama gerçekleşir (Şekil 2.4.). En büyük dezavantajı ise ışığın büyük çoğunluğunun (%90'a varan) LCD ekran tarafından absorbe edilmesi ve sadece küçük bir kısmının polimerizasyon için kullanılmasıdır. Ucuz bir teknoloji olması ise en büyük avantajını oluşturur.^{15,57}



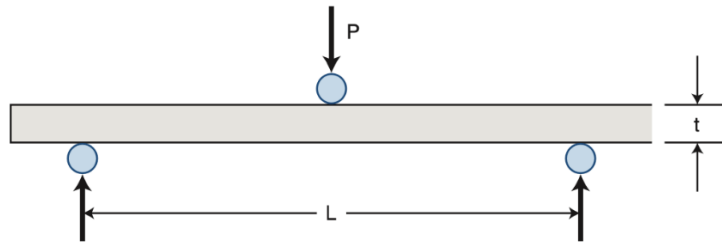
Şekil 2.4. LCD teknolojisi ⁵³

2.5. Mekanik Testlerin Belirlenmesinde Kullanılan Testler

Protetik olarak kullanılan materyaller ağız içerisinde oluşan kuvvet dinamikleri, beslenme alışkanlıkları ve ağız fizyolojisinden etkilenmektedir. Kullanılan materyallerin fiziksel özellikleri oluşan bu kuvvet dinamiklerine karşı yeterli mekanik özellik göstermelidir.^{9,16,58,59} Ağız içerisinde oluşan oklüzal kuvvetler 200 ila 3500 N arasında değişmektedir. Bu kuvvetlerin oluşmasında cinsiyet, yaş, beslenme alışkanlıkları, psikososyal durum gibi birçok parametre etkilidir.¹⁶

2.5.1. 3-Nokta Bükülme Testi

3-nokta bükülme testinde örneklerin iki ucundan destekleyecek şekilde, hazırlanan barın tam orta noktasından kuvvet uygulanır (Şekil 2.5.).^{9,16} Materyalin esnemesi uygulanan kuvvetle aynı yönde oluşmaktadır. Uygulanan kuvvet neticesinde materyalde farklı stresler oluşmaktadır. Kuvvetin uygulandığı üst yüzeyde örnek boyu esnemeye bağlı olarak kısalırken alt yüzeyde esnemeye bağlı olarak örnek boyu uzamaktadır. Örnek boyunun kısaldığı yüzeyde kompresiv stresler oluşurken uzamanın gerçekleştiği yüzeyde gerilme stresleri oluşmaktadır. Örnek boyunun etkilenmediği örneğin tam orta noktasında bir eksen vardır. Buraya nötral eksen denilmektedir. Bu eksen boyunca hiçbir stres oluşmamaktadır.^{9,16}



Şekil 2.5. Üç nokta bükülme testi⁹

2.5.1.1. Elastik Modül ve Ölçümü

Stres-strain eğrisinin oluşturduğu lineer bölgedeki açının tanjantı bize elastik modül değerini vermektedir. Elastik modül materyalin esnemeye karşı direncini ifade eder.

Malzemenin atomlar arası veya moleküller arası çekim kuvvetleri ne kadar güçlüyse elastik modül değeri de o kadar yüksek olur. Malzemenin elastik modülü materyalin kalınlığından bağımsız sayısal olarak değişmez bir değerdir.¹⁶ Üç-nokta bükülme testi kullanılarak elastik modülüs aşağıdaki formüle göre hesaplanır:⁶⁰

$$E = \frac{Fl^3}{4bh^3d}$$

E: Elastik modül (GPa)

F: Uygulanan maksimum kuvvet (N)

l: Destekler arası mesafe (mm)

b: Örnek genişliği (mm)

h: Örnek yüksekliği (mm)

d: Maksimum kuvvetteki deformasyon miktarıdır (mm)

2.5.1.2. Bükülme Dayanımı ve Ölçümü

Kron köprü restorasyonlarında en fazla bükülme kuvvetleri oluşmaktadır. Dolayısıyla materyalin bükülmeye karşı göstermiş olduğu direnç en önemli mekanik özelliklerin başında gelmektedir. Polimerik materyallerin bükülme dayanıklılığı ölçümleri 3-nokta bükülme testi ile hesaplanmaktadır. Üç-nokta bükülme testi kullanılarak bükülme dayanımı aşağıdaki formüle göre saplanır:⁶¹

$$\sigma = \frac{3Fl}{2bh^2}$$

σ : Bükülme dayanımı (MPa)

F: Uygulanan maksimum kuvvet (N)

l: Destekler arası mesafe (mm)

b: Örnek genişliği (mm)

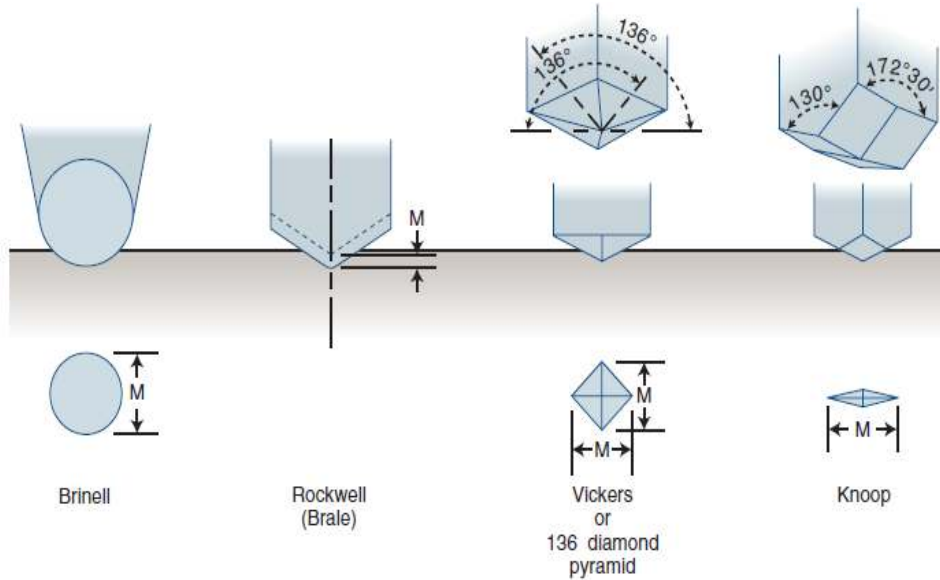
h: Örnek yüksekliği (mm)

2.5.2. Yüzey Sertliği ve Ölçümü

Sertlik, materyalin plastik deformasyona karşı gösterdiği direnci ifade eder. Kuvvet uygulayıcı uca örneğin gösterdiği direnç ile hesaplanır. Uygulanan kuvvetin sonucu olarak oluşan izin büyüklüğüyle materyalin sertliği ters orantılıdır. Sertlik kullanılan materyalin yüzey işlemleri ve ağız içi kullanımda çizilmeye karşı direncini etkiler. Geçici restorasyonlarda yüzey işlemi olarak tesviye ve polisaj uygulanmaktadır. Tesviye ve polisaj esnasında oluşan mikroçatlaklar materyalin dayanıklılığını olumsuz etkilemektedir.^{9,16}

Yüzey sertliği hesaplamalarında kullanılan farklı uç şekillerine sahip sertlik testleri vardır. Knoop ve Vickers mikro-sertlik testleri, Brinell ve Rockwell ise makro-sertlik testleridir (Şekil 2.6.).⁹

Knoop sertlik testinde indentasyon oluşturan ucun kesiti köşegen uzunlukları farklı eşkenar dörtgen şeklindedir. Oluşan iz eşkenar dörtgen şekillidir. Bu şeklin uzun köşegen değeri kaydedilerek uygulanan kuvvetle KHN sertlik değeri hesaplanmaktadır. Polimerik materyallerin sertlik değerleri hesaplanırken KHN sertlik testleri kullanılmaktadır.^{9,16}



Şekil 2.6. Sertlik testleri ⁹

2.5.3. SEM (Scanning Electron Microscope) Analizi

Kırık yüzeyinin mikroskobik olarak incelenmesi kırığın yapısıyla ilgili bilgiler vermektedir. Kırık yüzeyinin incelenmesinde taramalı elektron mikroskopları (SEM) kullanılmaktadır. Taramalı elektron mikroskopları yüksek büyütmelerde analizlerin yapılabilmesine izin vermektedir.

Taramalı elektron mikroskoplarında yüksek voltaj ile hızlandırılan elektronların örnek üzerine odaklanması, elektron demetinin örnek yüzeyini taraması sırasında elektron ve örneğin atomları arasında oluşan etkileşimlerin uygun algılayıcılarla toplanması ve sinyal güçlendiricilerden geçirilerek katot tüpünün ekranına yansıtılmasıyla elde edilir.⁶²



3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışmada farklı teknolojileri kullanan 3B yazıcılarda üretilen geçici restorasyon materyallerinin mekanik özellikleri kazıma ve geleneksel yöntem ile üretilen geçici materyaller ile karşılaştırıldı. Çalışmamız Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Kurulu'na TDH-2020-13298 proje kodu ile desteklendi.

3.1. Örneklerin Hazırlanması

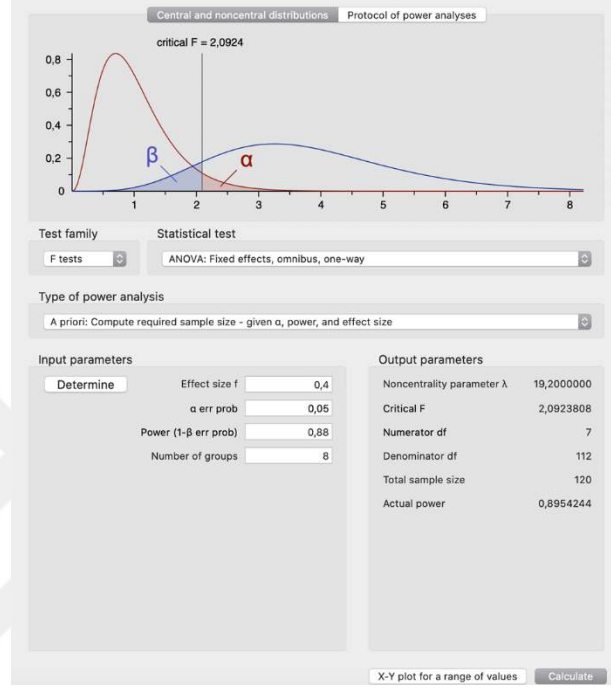
Çalışmamıza stereolitografi (SLA), dijital ışık işleme (DLP) ve likit kristal ekran (LCD) teknolojilerini kullanan 3B yazıcılar dahil edildi. Çalışmaya 6 farklı 3B yazıcı dahil edildi: DWS Systems (XFAB 2500PD), Formlabs (Form 3), Asiga (Max), Dentafab (Mega), Dentafab (Vega), Anycubic (Photon S). Araştırmanın grupları Çizelge 3.1'de sunuldu.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan yazıcılar ve materyaller

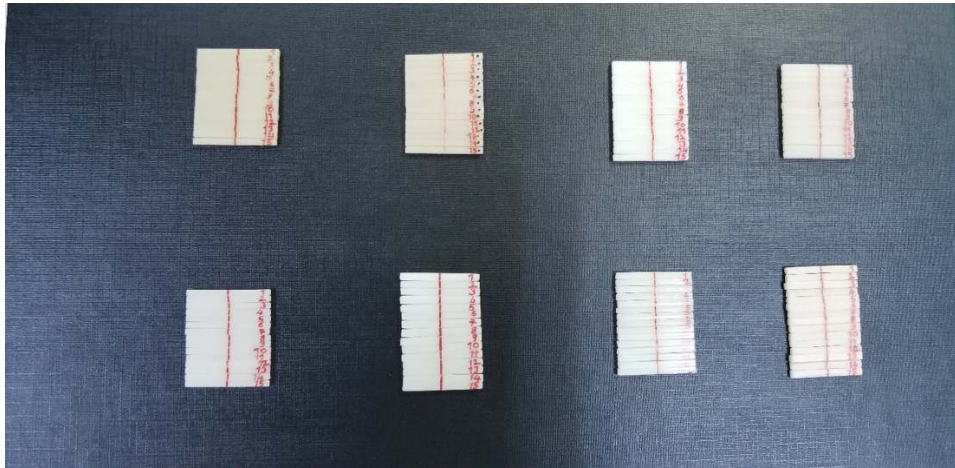
Üretim Teknolojisi	Üretici	Model	Işık kaynağı	Materyal Ticari İsmi	Materyal İçerik Bilgisi
SLA	DWS Systems	XFAB 2500 PD	Lazer	Temporis	Multifonksiyonel akrilik monomer karışımı, ester ve akrilik asit ⁶³
SLA	Formlabs	Form 3	Lazer	Temporary C&B	Akrilat ve Metakrilat bazlı fotopolimer ⁶⁴
DLP	Asiga	Max	Projektör: 385 nm	GC Temp Print	Metil metakrilat bazlı fotopolimer ⁶⁵
DLP	NovaFab	Mega	Projektör: 385 nm	Power Resin Temp	Akrilik ve metakrilik bazlı fotopolimer ⁶⁶
LCD	NovaFab	Vega	LCD LED: 385 nm	Power Resin Temp	Akrilik ve metakrilik bazlı fotopolimer ⁶⁶
LCD	Anycubic	Photon S	LCD LED: 385 nm	Efes Resin Temp	İçerik bilgisi mevcut değil

Çalışmada kullanılacak örnek sayısı güç analizi (G*Power 3.1.9.7) yazılımı kullanılarak (etki büyüklüğü: $f=0.4$; $\alpha=0.05$; Güç=0.88) her grup için 15 olarak belirlendi

(n=15) (Şekil 3.1). Uluslararası Standardizasyon Örgütü ISO 10477: 2004'e göre 25×2×2 mm ölçülerinde dikdörtgenler prizması şeklinde toplam 120 geçici reçine numunesi hazırlandı (Şekil 3.2).



Şekil 3.1. Güç Analizi (G*Power)



Şekil 3.2. Örneklerin gruplandırılması ve numaralandırılması

Örneklerin tasarımı CAD yazılım programı (Materialise 3-matic) ile 3 boyutlu olarak tasarlandı. 3B yazıcılarda üretilen örnekler 50 mikron katman kalınlıklarında ve yatay (0 derece) olarak üretildi. Üretilen örnekler üretici talimatları doğrultusunda öncelikle izopropil alkol ile 4 dakika yıkandı. Daha sonra UV ışık kullanılan son kürleme cihazında son işlem prosedürleri tamamlandı. 3B yazıcı örnekleri farklı laboratuvarlara ürettirildi. Kazıma yöntemiyle üretilen örnekler için 5 eksenli kazıma cihazı Cerec inLab MC X5 (Dentsply, Sirona) kullanıldı.

Geleneksel yöntem örneklerinin üretilmesi için silikon kalıplar kullanıldı. Silikon kalıp elde etmek için kullanılan örnekler, Formlabs Form 3B yazıcısı kullanılarak döküm mumu (Formlabs, Castable Wax Resin) rezini ile dikdörtgenler prizma geometrisinde (25×2×2 mm) üretildi. Bu örnekler polivinil siloksan (Presigum, President Dental GmbH) ölçü maddesi içerisinde kalıba alındı. Geleneksel yöntem ile üretilen örnekler için PMMA (Imicrly, Imident) kullanıldı. Üretici talimatları doğrultusunda 24 g/10 mL toz-likit oranında 1 dakika boyunca karıştırıldı ve hazırlanmış olan silikon kalıplara tepildi. Polimerizasyon boyunca cam ile parmak basıncı uygulandı. Polimerizasyon reaksiyonunun tamamlanmasının ardından numuneler silikon kalıptan çıkarılarak tesviye işlemi tamamlandı.

Numunelerin boyutları dijital kumpaslar (Digimatic kumpas; Mitutoyo Corp) kullanılarak doğrulandı (Şekil 3.3.). Örnekler 24 saat 25 °C sıcaklıkta distile suda bekletildi. Numunelerin test sıralaması research randomizer yazılımı tarafından belirlendi.⁶⁷

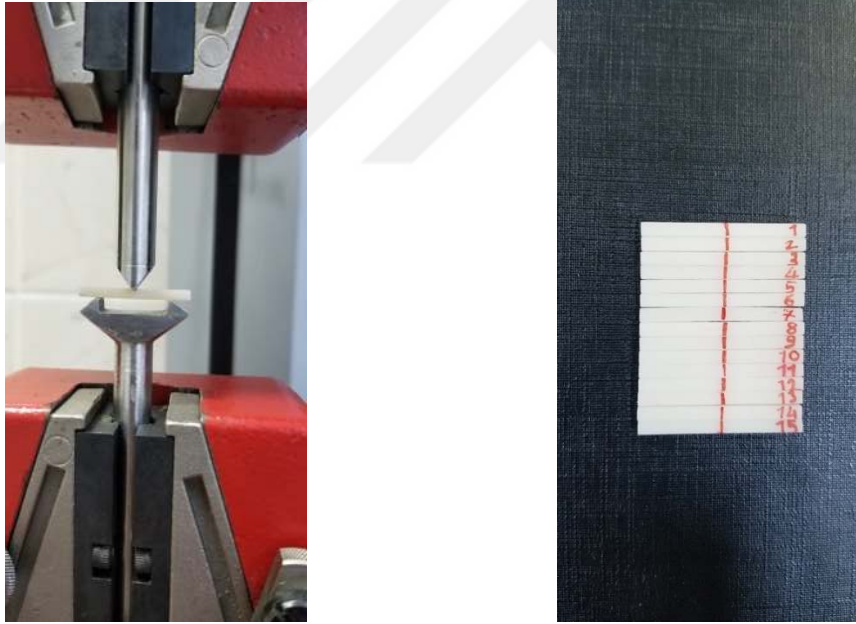


Şekil 3.3. Numune boyutlarının dijital kumpasla ölçümü

3.2. Kullanılan Testler ve Cihazlar

3.2.1. Kırılma Testi

Hazırlanan numunelerin elastik modül ve bükülme mukavemeti değerlerini hesaplamak için ISO 10477 de belirlenmiş olan 3-nokta bükülme testi uygulandı. Bükülme testi Çukurova Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Araştırma Laboratuvarı'nda yer alan evrensel bir test cihazı (Testometrik cihazı, Testometric M270) ile yapıldı (Şekil 3.4.). Numunenin yerleştirildiği düzenekteki destekler arasındaki mesafe 20 mm olarak belirlendi.⁶¹ Numunelerin düzeneğe standart yerleştirilebilmesi için kuvvet uygulanacak bölgenin orta noktası işaretlendi. Örneklere 1 mm/dk çapraz kafa hızına sahip evrensel bir test cihazında (Testometric Co) kırılıncaya kadar basma kuvveti uygulandı. Bu noktada uygulanan maksimum kuvvet değeri kaydedildi.

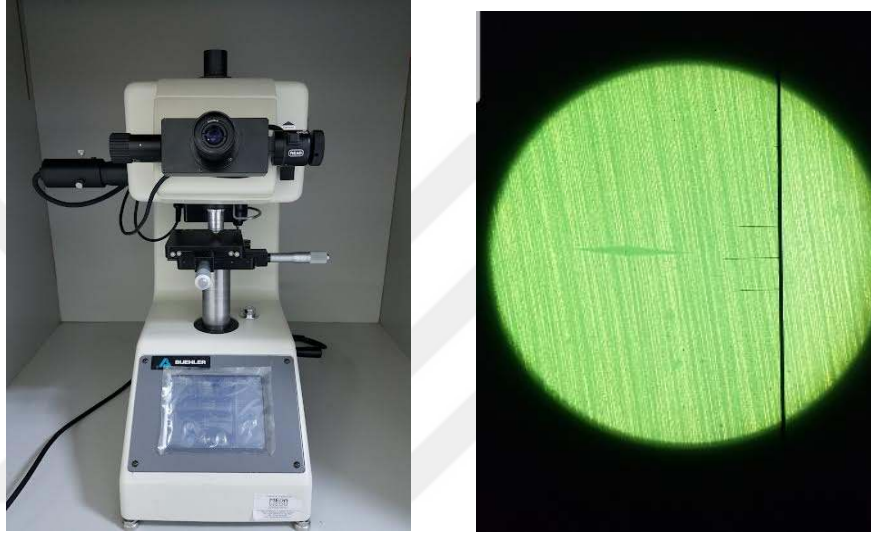


Şekil 3.4. Testometrik cihazı ve örneklerin hazırlık aşamaları

3.2.2. Sertlik Testleri

Numunelerin mikrosertlik ölçümü Çukurova Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan mikro-sertlik cihazı (Buehler) ile yapıldı. (Şekil

3.5.) Mikro-sertlik ölçümlerinden önce numunelere polisaj yapıldı. Polisaj işlemi, su altında 1000, 1200 ve 2400 grit SiC zımpara ile yapıldı. 100 gf kuvvet altında 15 sn bekleme süresiyle numune yüzeylerinde izler oluşturuldu.⁶⁸ Ölçümler de uzun köşegen kullanıldı ve Knoop (KHN) sertlik değerleri cihaz tarafından hesaplandı. Her örnek için 3 farklı noktadan ölçüm yapıldı ve ortalamaları hesaplandı. Ölçümler tek bir araştırmacı tarafından yapıldı.



Şekil 3.5. Sertlik cihazı ve Knoop mikro-sertlik testi mikroskop görüntüsü

3.3. SEM Analizi

Her grup için rastgele seçilmiş bir örneğin yüzey analizi Çukurova Üniversitesi Merkezi Laboratuvarı'nda (ÇÜMERLAB) bulunan taramalı elektron mikroskobu (SEM) (Quanta Feg 650) ile yapıldı (Şekil 3.6).

Örnekler 100×, 250×, 500×, 1000×, 2500× büyütmede incelenmiştir.



Şekil 3.6. SEM-EDS cihazı

3.4. İstatistiksel Analiz

Verilerin istatistiksel analizi tek yönlü ANOVA ve post-hoc Dunnet T3 testi ile yapıldı. Anlamlılık düzeyi $\alpha=.05$ olarak belirlendi. Tüm istatistiksel testler IBM SPSS Statistics yazılımı, sürüm 25.0.0.1 kullanılarak gerçekleştirildi.

Örneklerin bükülme mukavemetinin değerlendirilmesi için Weibull analizi uygulanmış ve SPSS 25.0.0.1 kullanılarak grupların Weibull modülleri hesaplanmıştır.

4. BULGULAR

4.1. Mekanik Özelliklerin Bulguları

3B yazıcı, kazıma ve geleneksel yöntemler ile hazırlanan örneklerin elastik modül, bükülme dayanımı ve Knoop mikro-sertlik değerleri hesaplanmıştır. Çizelgelerde ortalama değerleri verilmiştir.

4.1.1. Elastik Modül Bulguları

Çizelge 4.1. Elastik modül bulguları $\pm$ SD

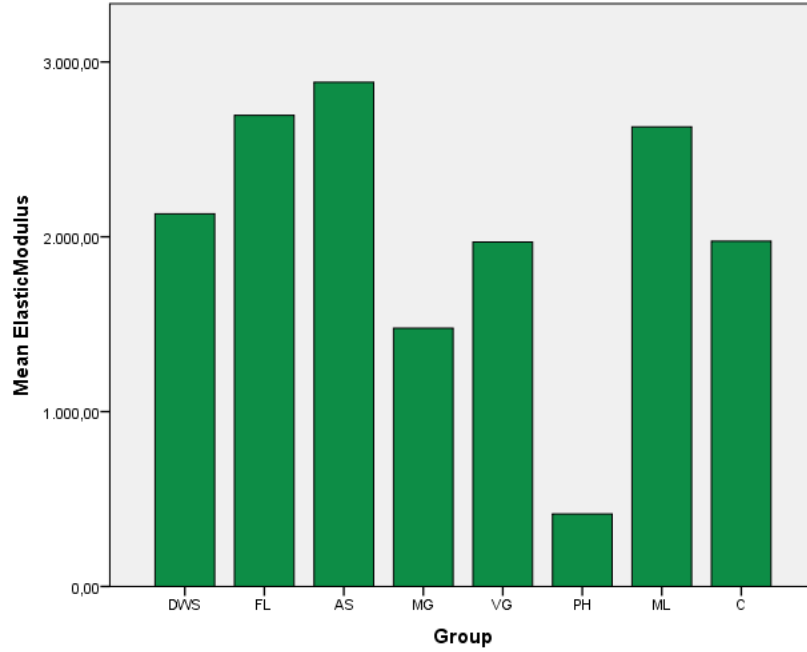
Üretim Teknolojisi	Üretici	Elastik Modül (Mpa)
SLA	DWS Systems (DWS)	2131,4 $\pm$ 422,9 ^B
SLA	Formlabs (FL)	2694,6 $\pm$ 277,4 ^A
DLP	Asiga (AS)	2883,2 $\pm$ 534,2 ^A
DLP	Dentafab Mega (MG)	1477,5 $\pm$ 409,8 ^{CD}
LCD	Dentafab Vega (VG)	1969,9 $\pm$ 576,7 ^{BD}
LCD	Anycubic Photon (PH)	415,2 $\pm$ 64,9 ^E
Kazıma	Dentsply Sirona (ML)	2628,8 $\pm$ 852,7 ^{AB}
Konvansiyonel	Imicryl (C)	1974,8 $\pm$ 698,6 ^{BC}

NOT: Farklı harfler istatistiksel açıdan anlamlı farklılıkları göstermektedir $P < .05$.

En yüksek değer AS’de 2883,2 $\pm$ 534,2 MPa, en düşük değer ise PH’de 415,2 $\pm$ 64,9 MPa olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.1).

- DWS (p=.696), FL (p=1.000), AS (p=1.000), VG (p=.375) ve C (p=.494) grupları ML ile karşılaştırılabilir elastik modül değeri gösterdi.
- DWS (p=1.000), MG (p=.444), VG (p=1.000) ve ML (p=.494) grupları C ile istatistiksel olarak benzer elastik modül değeri gösterdi
- FL (p=.038) ve AS (p=.012), C’den istatistiksel olarak anlamlı derecede daha yüksek elastik modül değeri gösterdi.
- FL ve AS istatistiksel olarak benzer elastik modül değeri gösterdi (p=.996).
- PH grubu tüm gruplardan istatistiksel olarak anlamlı derecede daha düşük elastik modül değeri gösterdi (p=.000).

- Aynı teknolojiyi kullanan yazıcılar ikili olarak karşılaştırıldığında elastik modül açısından istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p<.05$).



Şekil 4.1. Grupların elastik modül değerlerine ait istatistiksel grafik

4.1.2. Bükülme Dayanımı Bulguları

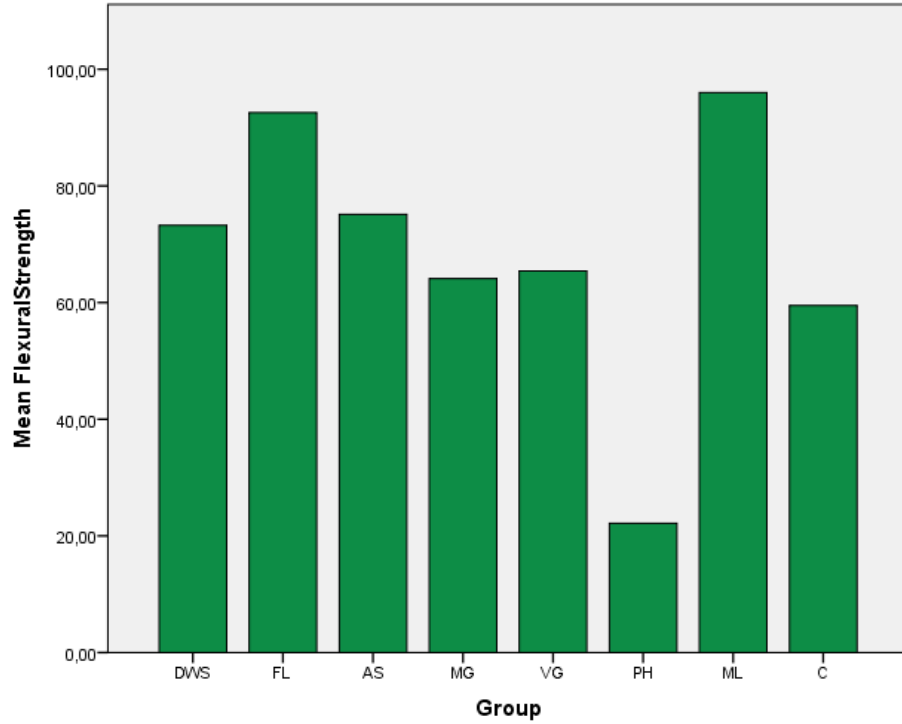
Çizelge 4.2. Bükülme dayanımı bulguları $\pm$ SD

Üretim Teknolojisi	Üretici	Bükülme Dayanımı (MPa)
SLA	DWS Systems (DWS)	73,2 $\pm$ 9,4 ^{BC}
SLA	Formlabs (FL)	92,5 $\pm$ 13,3 ^A
DLP	Asiga (AS)	75,1 $\pm$ 6,6 ^B
DLP	Dentafab Mega (MG)	64,1 $\pm$ 10,9 ^{BD}
LCD	Dentafab Vega (VG)	65,4 $\pm$ 6,8 ^{CD}
LCD	Anycubic (PH)	22,1 $\pm$ 2 ^E
Kazıma	Dentsply Sirona (ML)	95,9 $\pm$ 6 ^A
Konvansiyonel	Imicryl (C)	59,5 $\pm$ 8,5 ^D

NOT: Farklı harfler istatistiksel açıdan anlamlı farklılıkları göstermektedir $P<.05$.

En yüksek değer ML’de 95,9 $\pm$ 6 MPa, en düşük değer ise PH’da 22,1 $\pm$ 2 MPa olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.2).

- FL ile ML istatistiksel olarak benzer bükülme dayanımı özelliği gösterdi ($p=1.000$).
- FL hariç, 3B yazıcı grupları ML'den istatistiksel olarak daha düşük bükülme dayanımı gösterdi ($p=.000$).
- DWS, FL ve AS grupları C'den istatistiksel olarak anlamlı derecede daha yüksek bükülme dayanımı gösterdi.
- MG ($p=.993$) ve VG ($p=.647$), C ile istatistiksel olarak benzer bükülme dayanımı gösterdi.
- PH grubu tüm gruplardan istatistiksel olarak anlamlı derecede daha düşük bükülme dayanımı değeri gösterdi ($p=.000$).
- Aynı teknolojiyi kullanan yazıcılar ikili olarak karşılaştırıldığında SLA ($p=.003$) ve LCD ($p=.000$) yazıcılar bükülme dayanımı açısından istatistiksel olarak anlamlı fark gösterirken, DLP yazıcılar fark göstermedi ($p=.073$).



Şekil 4.2. Grupların bükülme dayanımı değerlerine ait istatistiksel grafik

4.1.3. Mikrosertlik Bulguları

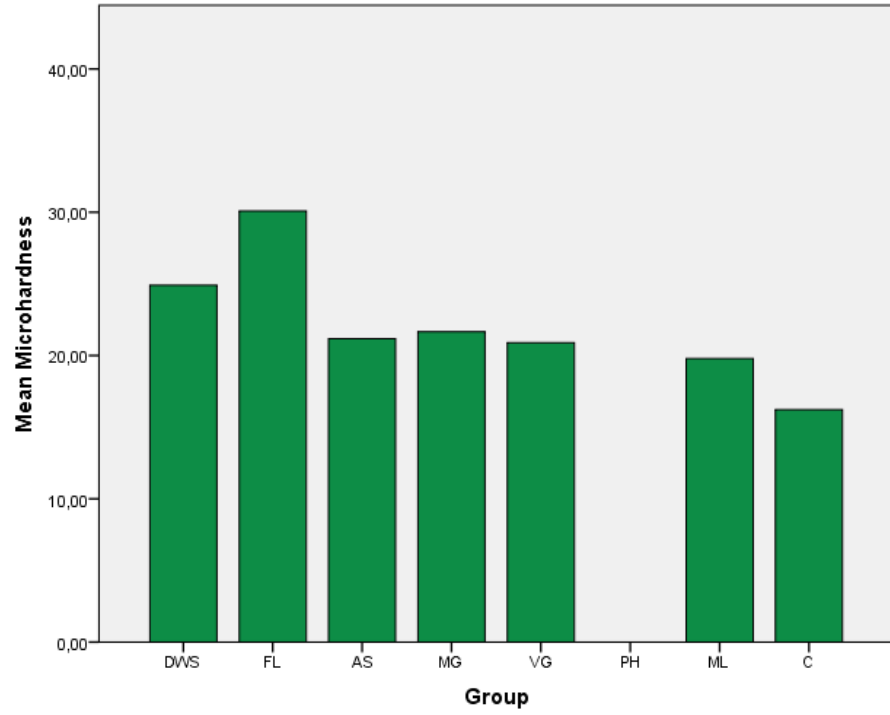
Çizelge 4.3. Mikrosertlik bulguları $\pm$ SD

Üretim Teknolojisi	Üretici	Mikrosertlik (KHN)
SLA	DWS Systems (DWS)	24,9 $\pm$ 1,9 ^B
SLA	Formlabs (FL)	30 $\pm$ 3,6 ^A
DLP	Asiga (AS)	21,1 $\pm$ 3,5 ^C
DLP	Dentafab Mega (MG)	21,6 $\pm$ 3,6 ^{BC}
LCD	Dentafab Vega (VG)	20,8 $\pm$ 2,3 ^C
LCD	Anycubic (PH)	-
Kazıma	Dentsply Sirona (ML)	19,7 $\pm$ 1,4 ^C
Konvansiyonel	Imicryl (C)	16,2 $\pm$ 1,8 ^D

NOT: Farklı harfler istatistiksel açıdan anlamlı farklılıkları göstermektedir $P < .05$.

En yüksek değer FL’de 30 $\pm$ 3,6 KHN, en düşük değer ise C’de 16,2 $\pm$ 1,8 KHN olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.3).

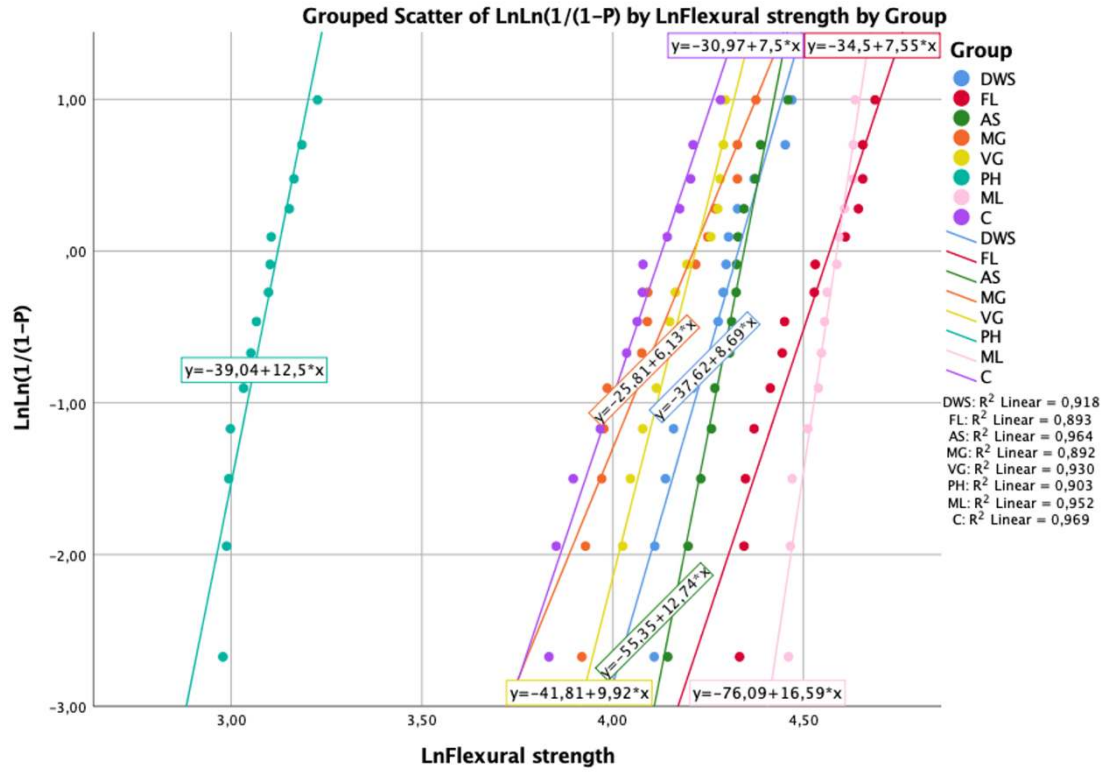
- FL bütün gruplardan istatistiksel olarak anlamlı derecede daha yüksek mikrosertlik değeri gösterdi ($p < .05$).
- PH hariç, bütün gruplar C’den istatistiksel olarak daha yüksek mikrosertlik değeri gösterdi ($p < .05$).
- DWS ($p = .000$) ve FL ($p = .000$), ML’den istatistiksel olarak daha yüksek mikrosertlik değeri gösterdi.
- AS ($p = .950$), MG ($p = .733$) ve VG ($p = .900$), ML ile istatistiksel olarak daha yüksek mikrosertlik değeri gösterdi.
- Aynı teknolojiyi kullanan yazıcılar ikili olarak karşılaştırıldığında SLA yazıcılar mikrosertlik açısından istatistiksel olarak anlamlı fark gösterirken ($p = .001$), DLP yazıcılar fark göstermedi ($p = 1.000$).
- PH grubunda mikrosertlik değeri hesaplanamamıştır.



Şekil 4.3. Grupların mikro-sertlik değerlerine ait istatistiksel grafik

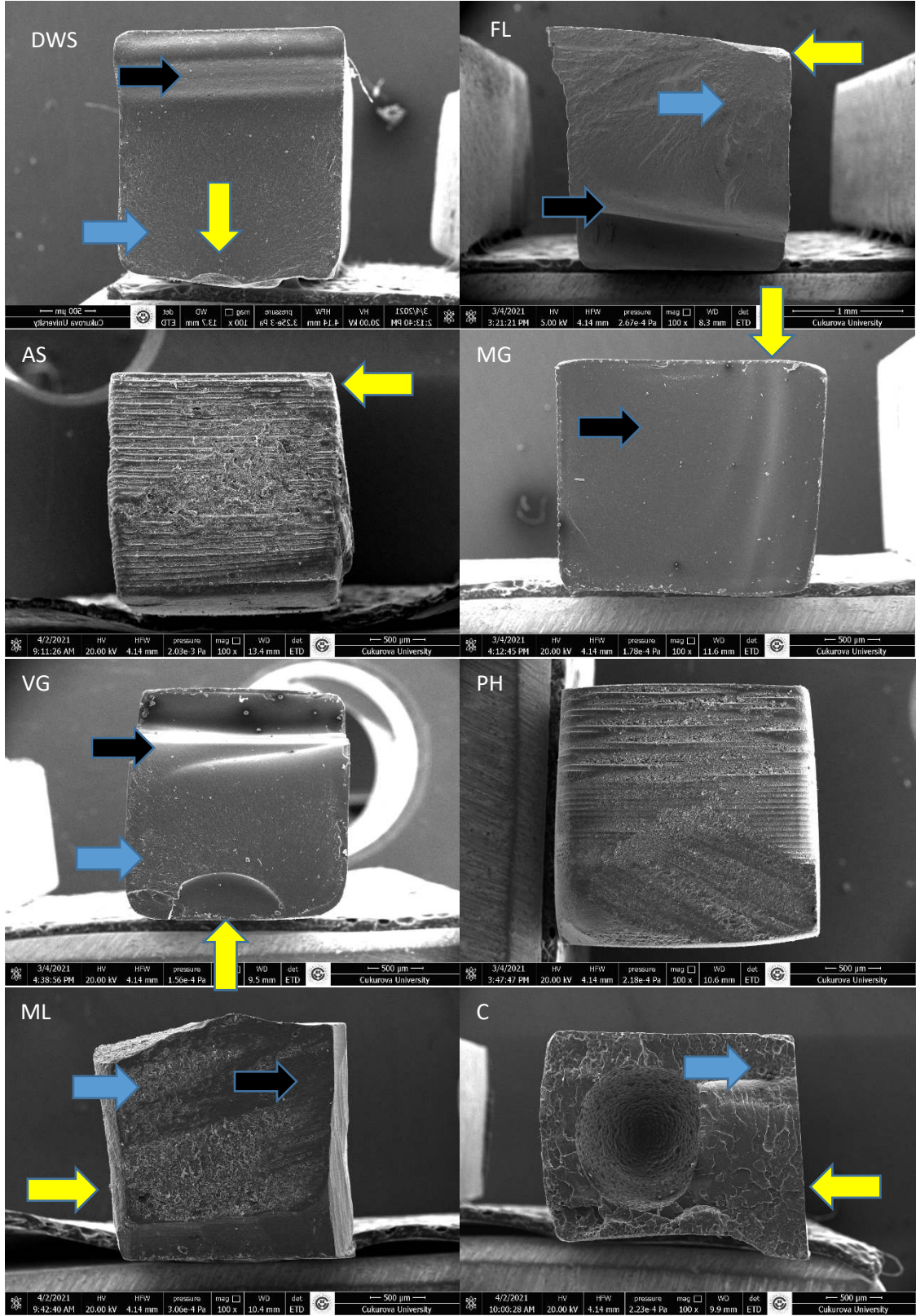
4.1.4. Weibull Analizi

Bükme dayanımı değerlerinin dağılımlarını görebilmek için sonuçlara Weibull analizi uygulanmıştır. Sonuçların dağılımı Şekil 4.4.'de gösterilmiştir. Weibull analizine göre en yüksek Weibull modülü (m), ML'de ($m=16,59$) hesaplandı ve verilerin homojen dağıldığı görüldü. AS ($m=12,74$) ve PH ($m=12,5$) gruplarının Weibull modülü benzer değerler gösterdi (Şekil 4.4.). En düşük Weibull modülünü ise MG ($m=6,13$) grubu gösterdi.



Şekil 4.4. Gruplara ait Weibull modül değerlerine ait istatistiksel grafik

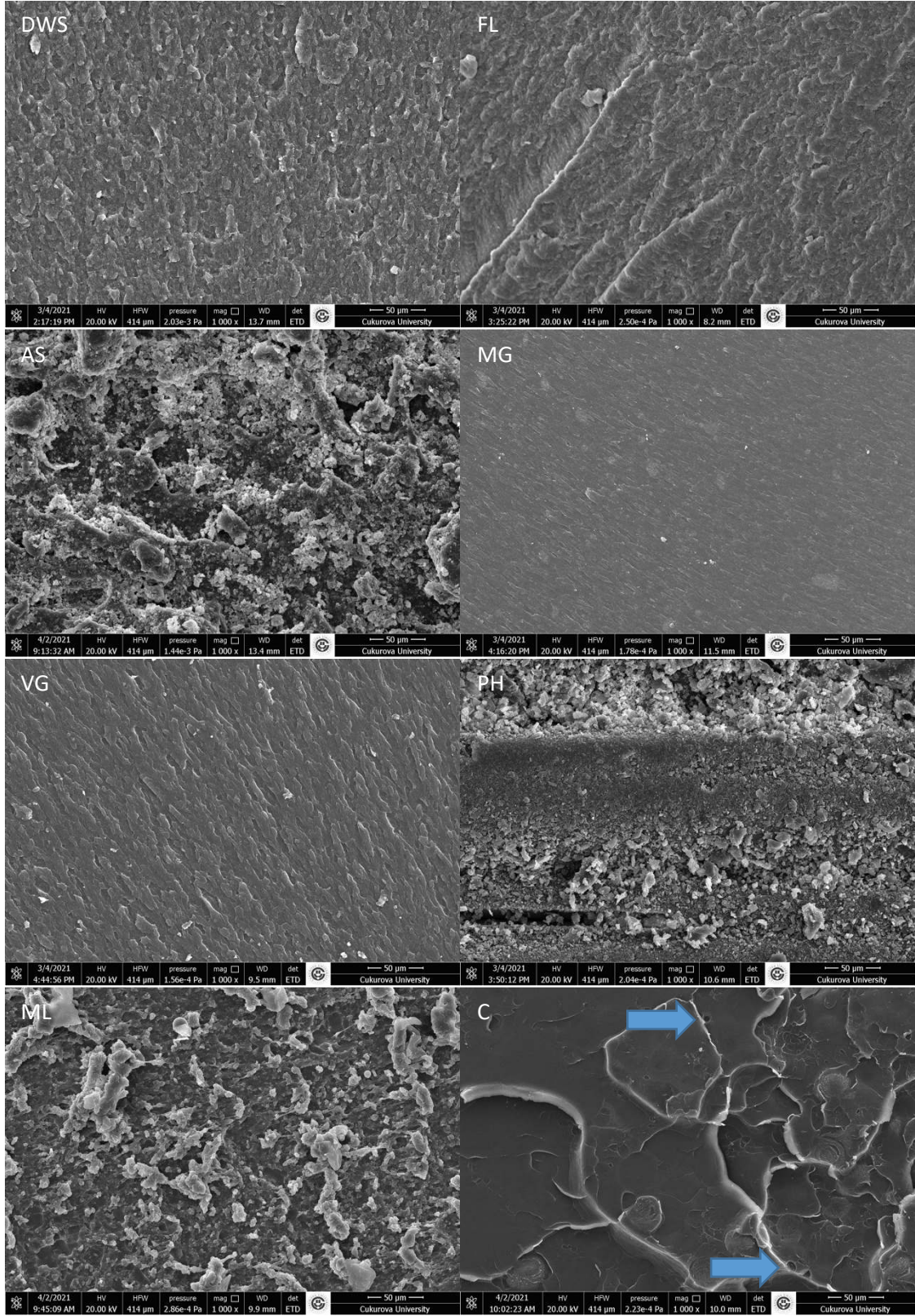
4.1.5. SEM Bulguları



Şekil 4.6. 100× büyüme SEM görüntüleri

Şekil 4.6 çalışmaya dahil edilen bütün grupların 100× büyütmedeki SEM görüntüleridir. Örneklerin kırık başlangıç merkezleri sarı ok ile gösterilmiştir. PH grubu örnekleri esnediği için kırılma göstermemiştir. 100× büyütmede PH grubunda katmanlar arasındaki geçiş net bir şekilde gözlenmektedir. AS grubu SEM görüntülerinde PH grubu ile katmanlar arasındaki geçişin gözlenebilmesi bakımından benzer özellik göstermiştir. SLA teknolojisi kullanan yazıcılarda katmanlar arasında geçiş çizgileri izlenmemektedir. C grubunda gözlenen boşluk üretimin homojen olarak sağlanamadığını göstermektedir. Mavi ok ile gösterilen alanlarda pürüzlü yüzeyler gözlenmiştir. Materyalin burada sünek bir kırılma gösterdiğini yorumlarız. Siyah oklarla gösterilen bölgelerde kırık hızlı ilerlemiştir. Bu yüzden SEM görüntülerinde pürüzsüz bir yüzey görüntüsü oluşturmuştur.





Şekil 4.7. 1000× büyütme SEM görüntüleri

Şekil 4.7 çalışmaya dahil edilen bütün grupların 1000× büyütmedeki SEM görüntüleridir. DWS, FL, AS ve ML grupları, MG ve VG grupları ile karşılaştırıldığında mikroskobik yüzey özellikleri farklılık göstermektedir. MG ve VG'nin daha düz bir yüzey göstermesi rezinin içeriğinden kaynakladığını söyleyebiliriz. PH grubunda kullanılan rezinin homojen bir dağılım göstermediği mikroskop görüntüsüne yansımıştır. C grubunda homojen olmayan görüntü elde edilmiştir. Okla gösterilen alanlarda örnek hazırlanması aşamasında hava kabarcıkları kaldığı görülmektedir. 3B yazıcılarda üretilen örneklerde hava kabarcığı gözlenmedi.



5. TARTIŞMA

Bu çalışma farklı 3B yazıcı teknolojisi kullanılarak üretilen geçici restorasyon materyallerinin mekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla yapılmıştır. Geçici restorasyon materyallerinin mekanik özelliklerinin farklı 3B yazıcı teknolojisi kullanımından etkilenmeyeceği yönünde kurulan sıfır hipotezi reddedilmiştir.

Çalışmada kullanılan örnekler ISO 10477'ye göre 25×2×2 mm ölçülerinde hazırlandı. Konvansiyonel grup (C) örneklerinin üretimi amacıyla paslanmaz çelik kalıp kullanılarak üretim yapılması planlandı. Ancak paslanmaz çelik kalıp kullanılarak üretilen örneklerin kalıptan çıkarılırken deformasyona uğradığı görüldü. Örneklerin paslanmaz çelik kalıptan rahat çıkarılabilmesi için vazelin uygulaması yapılabilirdi ancak kalıbın vazelinlenmesinin polimerizasyonu olumsuz etkileyebileceği düşünüldüğü için konvansiyonel grup örneklerinin üretimi silikon kalıp yöntemi ile yapıldı. Çalışmanın kliniği de simüle etmesi gerektiği de düşünüldüğünden silikon kalıp ile üretilmesi en uygun yöntem olarak belirlendi.

3B yazıcılar çok yeni teknolojiler olduğu için statik yük altındaki mekanik özellikler ile ilgili bütün soruların cevaplanmasına ihtiyaç vardır. Çalışmada statik yük altında materyallerin mekanik özellikleri değerlendirildi. Statik yükleme için ISO 10477'ye göre 3-nokta bükülme testi kullanıldı.⁶¹ Literatürde farklı üretim doğrultularının mekanik üzerine etkisi araştırılmıştır. Alharbi ve ark. kuvvete dik olarak üretilen örneklerin mekanik özelliklerinin daha iyi olduğu sonucunu bildirdi.⁴⁸ Üretim doğrultusu belirlemek için yapılan pilot çalışmada yatay üretimin daha iyi mekanik özellikler gösterdiği sonucu literatürü destekledi. Bu doğrultuda 3-nokta bükülme testi uygulanacak örneklerin yatay olarak üretimine karar verildi.

Çalışmaya SLA, DLP ve LCD teknolojilerini kullanan farklı markalara ait 2'şer yazıcı dahil edildi. Bu şekilde yapılan çalışma, aynı teknolojiyi kullanan farklı markalara ait 3B yazıcılar arasındaki mekanik özelliklerinde karşılaştırılmasını amaçlamıştır. SLA, DLP ve LCD teknolojilerini kullanan 3B yazıcılar kendi içlerinde değerlendirildiğinde elastik modül değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmiştir. Mekanik özelliklerin sadece teknolojiden değil, 3B yazıcılara özgü parametrelerden de etkilendiği sonucuna varılmıştır.

Aati ve ark., inorganik doldurucu oranının mekanik özellikler üzerinde etkisi olduğunu, doldurucu oranının elastik modülü belli bir yüzdeye kadar arttırdığını ancak belli bir yüzdeden sonra azalttığını gösterdiler.⁷⁰ AS'nin elastik modülü istatistiksel olarak SLA teknolojisini kullanan FL ile aynı özellik gösterirken, DWS'den anlamlı düzeyde daha yüksek değer gösterdi. SLA teknolojisi kullanan, DWS ve FL'nin elastik modül değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır. FL'nin ortalama elastik modülü DWS'den daha yüksektir. Bu durum, kullanılan reçinenin inorganik doldurucu yüzdesi ile ilgili olabilir.

Ortalama elastik modül değeri DWS ve ML'de C'den yüksek olmasına rağmen gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunamadı. MG grubunda ise ortalama elastik modül değeri C'den daha düşük olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı fark bulunamadı. Elde edilen sonuçlara göre istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmaması standart sapmanın yüksek olmasına bağlıdır. Örnek sayısının fazla olması sebebiyle C'de bütün örnekler tek seferde üretilemedi. Tekrarlayan üretimlerde toz-likit oranı ve çalışma süresi standardize edilmesine rağmen ortam sıcaklığı ve uygulanan parmak basıncı gibi parametreler örnekler arası farklılığa neden olmuş olabilir. C'de standart sapmanın yüksek olması bu şekilde açıklanabilir. Ayrıca 3B yazıcı ve kazıma gruplarında üretilen örnekler aynı partide üretilmesine rağmen standart sapma değerleri yüksek bulundu. Bu nedenle 3B yazıcılarda da standart üretimin araştırılması gerekmektedir.

Park ve ark., SLA ve DLP 3B yazıcılarla üretilen numunelerin bükülme dayanımı değerlerini karşılaştırmıştır. SLA grubunda bükülme dayanımı değerlerinin DLP'ye göre daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca Park ve ark. DLP grubunda katmanlar arasında merdiven etkisi fenomeni görüldüğünü, SLA grubunda ise tabakalar arasındaki geçişin polimerize reçine materyalinden oluştuğunu bildirmişlerdir.⁷¹ Çalışmamızda 3B yazıcı grupları içerisinde en yüksek bükülme dayanımı değerini SLA teknolojisi kullanan FL gösterdi. Ancak DLP teknolojisi kullanan AS ve MG'nin bükülme dayanımı SLA teknolojisi kullanan DWS ile istatistiksel olarak benzer değer gösterdi. Elde ettiğimiz bu sonuç Park ve ark. bulmuş olduğu sonucu desteklememektedir. Çalışmamızda elde ettiğimiz SEM görüntülerinde baskı katmanlarının geçişleri DLP ve LCD yazıcılarda net bir şekilde görülürken, SLA yazıcılarda görülmemektedir (Şekil4.6.). Bu, SLA yazıcılarla üretilen örneklerde katman bağlantılarının daha güçlü ve homojen olduğunu gösterir. SEM görüntülerimizde merdiven etkisi fenomeni gözlenmektedir.

Katman kalınlığı ve üretim yönü tüm 3B yazıcı gruplarında standardize edildi. MG ve VG'de bu parametrelere ek olarak aynı polimerik likit reçine kullanıldı. Farklı teknolojileri kullanan MG ve VG'de bükülme dayanımı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmedi. Elde edilen bu sonuçlara göre, 'üretimle ilgili tüm parametreler standartlaştırıldığında materyalin mekanik özellikleri teknolojiyen bağımsızdır' sonucuna varılabilir. Bu sonucun desteklenmesi için literatüre farklı teknolojilerinde dahil edildiği aynı reçinenin ve aynı son işlem prosedürlerinin uygulandığı çalışmaların sunulması gerekmektedir.

ISO 10477'ye göre geçici restorasyonun klinik kullanımı için ≥ 50 MPa'lık bir bükülme dayanımının yeterli olduğu belirtilmektedir.⁶¹ Çalışmada kullanılan tüm 3B yazıcılar, PH dışında, 50 MPa'nın üzerinde bükülme dayanımı değeri göstermiştir. PH, tüm gruplar arasında mekanik özellikler açısından en düşük değerleri gösterdi. Bu çalışmaya dahil edilen yazıcılar kapalı sistem oldukları için reçineler standartlaştırılmadı (Çizelge 3.1). Viskozitenin mekanik özellikler üzerindeki etkisi bu çalışmada araştırılmamıştır. Ancak numunelerin üretim sürecinde PH'de kullanılan reçinenin viskozitesinin diğer gruplara göre daha düşük olduğu tarafımızca gözlemlendi. PH'nin zayıf mekanik özellikleri, reçinenin düşük viskozitesinden kaynaklanabilir. Mekanik özelliklerin viskoziteden etkilenip etkilenmediği gelecekteki araştırmaların konusudur.

Bu çalışmada polimerik materyal kullanılmıştır. Polimerik materyaller elastik deformasyon gösterdiğinden Knoop testleri tercih edilmelidir. Bayarsaikhan ve ark. 3B yazıcıyla ürettikleri numunelerin mikro-sertliğini hesaplamak için Vickers testini kullanmışlardır.⁶⁹ Materyalin elastik geri dönüşümünden daha az etkilenmesi nedeniyle bu çalışmada Knoop testi tercih edilmiştir.

Muhtemelen gene viskoziteye bağlı olduğu için, PH'deki elastik geri dönüşümün yüksekliği nedeniyle sertlik testi sırasında indentasyon oluşturulamadı ve mikro sertlik ölçümü yapılamadı. VG, LCD teknolojisini kullanmasına rağmen, mikro sertlik değerleri AS, MG ve ML ile karşılaştırılabilir değerler gösterdi. Bu durum, LCD teknolojisi kullanan PH'de mikro sertliğin ölçülememesinin teknolojiyle değil reçinenin özellikleriyle ilgili olduğunu göstermektedir.

PH dışındaki tüm 3B yazıcı grupları, C'den daha yüksek ya da benzer mekanik özellikler gösterdi. C'nin SEM görüntülerinde gözlenen boşluklu yapı, üretim

aşamasındaki teknik hassasiyetin etkisini göstermektedir. Dijital üretim yöntemlerinin kullanıldığı gruplardaki numunelerin homojenliği mekanik özelliklerini güçlendirdiğini göstermiştir. Üç boyutlu yazıcılar klinik kullanıma uygundur ve uzun yıllardır kullanılan C'den daha iyi mekanik özelliklere sahiptir ve ML'ye iyi bir alternatif oluşturmuşlardır.

Katmanlı üretim yöntemlerinde, ardışık tabakalar arasındaki bağlanma, aynı tabakadaki bağlanmadan daha zayıftır. Katmanlar arasındaki geçişin doğası çatlak yayılımını başlatabilir.⁷² Bu durum kırılma tokluğunu eklemeli üretimde önemli bir parametre haline getirir. Yüksek kırılma tokluğu malzemeleri daha dirençli hale getirir.⁷³ Beklenmedik kırılma ve hasarın önlenmesine katkıda bulunur. Kırılma tokluğu bu çalışmada hesaplanmadı. Çünkü numuneler 3-nokta bükülme testinde kırılana kadar yüke maruz bırakıldı. Bu, numunelerin mikro yapısında bozulmaya neden olarak kırılma tokluğu verilerinin doğru hesaplanmasını engelleyecekti. Sonuç olarak, kırılma tokluğu, malzemenin dayanıklılığını, güvenliğini ve kullanılabilirliğini belirleyen önemli bir mekanik özelliktir ve ileriki çalışmalarda literatüre sunulmalıdır.

3B yazıcılar ile üretilen numunelerin mekanik özellikleri polimerizasyon sonrası işlemlerden etkilenir. Reymus ve ark., farklı polimerizasyon sonrası cihazların kırılma kuvveti üzerinde etkisinin olduğunu gösterdi.⁷⁴ Bayarsaikhani ve ark., polimerizasyon sonrası işlemlerde sıcaklık ve ışınlama süresinin elastik modül, bükülme mukavemeti ve mikro sertlik üzerindeki etkilerini gösterdi.⁶⁹ Her yazıcıyı kendi üretim süreçlerine göre kullanmayı uygun bulduğumuz için son kütleme prosedürü üreticinin talimatları doğrultusunda gerçekleştirildi. Mekanik özelliklerdeki fark son kütleme prosedürleriyle açıklanabilir.

Kullanılan likit polimerik reçinelerin ve son kütleme işlemlerinin standart olduğu bir araştırma yapılamamış olması bu çalışmanın limitasyonlarıdır. Bunun sebebi, çalışmaya dahil edilen yazıcıların kapalı sistemle çalışıyor olmasıdır. İleri çalışmalarda bu parametrelerin sağlanması ve dinamik yüklemenin dahil edildiği çalışmaların planlanması gerekmektedir.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

1. Farklı 3B yazıcı teknolojileri, üretilen geçici restorasyon örneklerinin mekanik özelliklerini etkilemektedir.
2. 3B yazıcı teknolojileri kazıma ve geleneksel yöntemle iyi alternatif olacak mekanik özellikler göstermişlerdir.
3. 3B yazıcılarda üretilen geçici restorasyonlar uzun dönem kullanım için uygun materyallerdir.



KAYNAKLAR

1. **Fure S.** Ten-year incidence of tooth loss and dental caries in elderly Swedish individuals. *Caries Res*, **2003**; 37(6):462-9.
2. The glossary of prosthodontic terms. *J Prosthet Dent*. **2005**; 94(1):10-92.
3. **Shillingburg T H.** *Sabit Protezin Temelleri*. 3. Baskı, Quintessence Yayıncılık Ltd. Şti., **2010**.
4. **Fox CW, Abrams BL, Doukoudakis A.** Provisional restorations for altered occlusions. *J Prosthet Dent*. **1984**; 52(4):567-72.
5. **Burns DR, Beck DA, Nelson SK.** 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(5):474-97.
6. **Goldberg AJ, Burstone CJ.** The use of continuous fiber reinforcement in dentistry. *Dent Mater*. **1992**; 8(3):197-202.
7. **Hamza TA, Rosenstiel SF, Elhosary MM, Ibraheem RM.** The effect of fiber reinforcement on the fracture toughness and flexural strength of provisional restorative resins. *J Prosthet Dent*. **2004**; 91(3):258-64.
8. **Knobloch LA, Kerby RE, Pulido T, Johnston WM.** Relative fracture toughness of bis-acryl interim resin materials. *J Prosthet Dent*. **2011**; 106(2):118-25.
9. **Anusavice K, Phillips R, Rawls H.** *Phillips' Science of Dental Materials*. 12th ed, Elsevier Science, **2003**.
10. **Rosenstiel SF, Fujimoto J.** *Contemporary Fixed Prosthodontic*. 3th ed, Mobsy Inc, **2001**.
11. **Alt V, Hannig M, Wöstmann B, Balkenhol M.** Fracture strength of temporary fixed partial dentures: CAD/CAM versus directly fabricated restorations. *Dent Mater*. **2011**; 27(4):339-47.
12. **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.
13. **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.
14. **Schweiger J, Edelhoff D, Güth JF.** 3D Printing in Digital Prosthetic Dentistry: An Overview of Recent Developments in Additive Manufacturing. *J Clin Med*. **2021**; 10(9):2010.

15. **Quan H, Zhang T, Xu H, Luo S, Nie J, Zhu X.** Photo-curing 3D printing technique and its challenges. *Bioact Mater.* **2020**; 5(1):110-115.
16. **Craig R, Powers J, Sakaguchi R.** *Craig's Restorative Dental Materials*. 13th ed. St. Louis, mo.: Mosby Elsevier, **2006**.
17. **Park SM, Park JM, Kim SK, Heo SJ, Koak JY.** Flexural Strength of 3D-Printing Resin Materials for Provisional Fixed Dental Prostheses. *Materials (Basel)*. **2020**; 13(18):3970.
18. **Federick DR.** The provisional fixed partial denture. *J Prosthet Dent*. **1975**; 34(5):520-6.
19. **Krug RS.** Temporary resin crowns and bridges. *Dent Clin North Am*. **1975**; 19(2):313-20.
20. **Chaarbeneau G T.** *Principles and Practice of Operative Dentistry*. 3rd ed, LeaFebiger, Philadelphia, **1988**.
21. **Simeone P, Piloni A.** Temporary crowns: repositioning key as a new technical approach in the clinical relining phase. *J Esthet Restor Dent*. **2004**; 16(5):284-8.
22. **Boberick KG, Bachstein TK.** 1998 Judson C. Hickey Scientific Writing Award. Use of a flexible cast for the indirect fabrication of provisional restorations. *J Prosthet Dent*. **1999**; 82(1):90-3.
23. **Lieu C, Nguyen TM, Payant L.** In vitro comparison of peak polymerization temperatures of 5 provisional restoration resins. *J Can Dent Assoc*. **2001**; 67(1):36-9.
24. **Emtiaz S, Tarnow DP.** Processed acrylic resin provisional restoration with lingual cast metal framework. *J Prosthet Dent*. **1998**; 79(4):484-8.
25. **Christensen GJ.** The fastest and best provisional restorations. *J Am Dent Assoc*. **2003**; 134(5):637-9.
26. **Driscoll CF, Woolsey G, Ferguson WM.** Comparison of exothermic release during polymerization of four materials used to fabricate interim restorations. *J Prosthet Dent*. **1991**; 65(4):504-6.
27. **Lui JL, Setcos JC, Phillips RW.** Temporary restorations: a review. *Oper Dent*. **1986**; 11(3):103-10.
28. **Wang RL, Moore BK, Goodacre CJ, Swartz ML, Andres CJ.** A comparison of resins for fabricating provisional fixed restorations. *Int J Prosthodont*. **1989**; 2(2):173-84.
29. **Anderson J N.** *Applied Dental Materials*. 7th ed, Oxford, England: Blackwell Scientific Publications, **1976**.

30. **Capp NJ.** The diagnostic use of provisional restorations. *Restorative Dent.* **1985**; 1(4):92, 94-8.
31. **Davidoff SR.** Heat-processed acrylic resin provisional restorations: an in-office procedure. *J Prosthet Dent.* **1982**; 48(6):673-5.
32. **Bernard G N. Smith L GH.** *Planning and Making Crowns and Bridges.* 4th ed, London: Informa Healthcare, **2007**.
33. **John P, Muthukumar B, Kumar MV.** Comparison of the Effect of Dentin Bonding, Dentin Sealing Agents on the Microleakage of Provisional Crowns Fabricated with Direct and Indirect Technique-An Invitro Study. *J Clin Diagn Res.* **2015**; 9(6):54-7.
34. **Crispin BJ, Watson JF, Caputo AA.** The marginal accuracy of treatment restorations: a comparative analysis. *J Prosthet Dent.* **1980**; 44(3):283-90.
35. **Bennani V.** Fabrication of an indirect-direct provisional fixed partial denture. *J Prosthet Dent.* **2000**; 84(3):364-5.
36. **Duret F, Preston JD.** CAD/CAM imaging in dentistry. *Curr Opin Dent.* **1991**; 1(2):150-4.
37. **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 J.* **2009**; 28(1):44-56.
38. **Hickel R, Dasch W, Mehl A, Kremers L.** CAD/CAM--fillings of the future? *Int Dent J.* **1997**; 47(5):247-58.
39. **Rekow ED, Erdman AG, Riley DR, Klamecki B.** CAD/CAM for dental restorations--some of the curious challenges. *Biomed Eng.* **1991**; 38(4):314-8.
40. **Gratton DG, Aquilino SA.** Interim restorations. *Dent Clin North Am.* **2004**; 48(2): 487-97.
41. **Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D.** Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J.* **2008**; 204(9):505-11.
42. **Zandparsa R.** Digital imaging and fabrication. *Dent Clin North Am.* **2014**; 58(1):135-58.
43. **Sulaiman TA.** Materials in digital dentistry-A review. *J Esthet Restor Dent.* **2020**; 32(2):171-181.
44. **ASTM, Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies, Standard Terminology for Additive Manufacturing– General Principles and Terminology, West Conshohocken, Pa.** **2009**, ISO/ASTM52900–15.
45. **Van Noort R.** The future of dental devices is digital. *Dent Mater.* **2012**; 28(1):3-12.

46. **Gibson I, Rosen D, Stucker B, Khrosani M.** *Additive Manufacturing Technologies*. 3th edition, Switzerland: Springer, 2020.
47. **Azari A, Nikzad S.** The evolution of rapid prototyping in dentistry: a review. *Rap Prot J*. **2009**; 15(3):216-225.
48. **Alharbi N, Osman R, Wismeijer D.** Effects of build direction on the mechanical properties of 3D-printed complete coverage interim dental restorations. *J Prosthet Dent*. **2016**; 115(6):760-7.
49. **Yates JM, Wildgoose DG, van Noort R.** Correction of a mandibular asymmetry using a custom-made titanium onlay. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. **2009**; 62(8):e247-50.
50. **Stansbury JW, Idacavage MJ.** 3D printing with polymers: Challenges among expanding options and opportunities. *Dent Mater*. **2016**; 32(1):54-64.
51. **Liska R, Schuster M, Infuhr R, Turecek C, Fritscher C, Seidl B.** Photopolymers for rapid prototyping. *J Coatings Technol Res* **2007**; 4: 505–10.
52. **Infuehr R, Pucher N, Heller C, Lichtenegger H, Liska R, Schmidt V, Stampfl J.** Functional polymers by two-photon 3D lithography. *Applied Surface Science*, **2007**; 254(4): 836-840.
53. Erişim: (<https://phrozen3d.com/blogs/guides/sla-vs-dlp-vs-lcd-which-resin-3d-printer-is-the-best-for-you>) 2023. Erişim tarihi:05.11.2023
54. **Groth C, Kravitz ND, Jones PE, Graham JW, Redmond WR.** Three-dimensional printing technology. *J Clin Orthod*. **2014**; 48(8):475-85.
55. **Hornbecl L.** *Digital Micromirror Device*. US Patent No. 5.061.049, **2009**.
56. **Revilla-León M, Özcan M.** Additive Manufacturing Technologies Used for Processing Polymers: Current Status and Potential Application in Prosthetic Dentistry. *J Prosthodont*. **2019**; 28(2):146-158.
57. **Ishii M, Kawamura T, Yamate H, Takabatake M.** Liquid crystal display, *US6934000B1*. **2005**; 08-23.
58. **Ireland MF, Dixon DL, Breeding LC, Ramp MH.** In vitro mechanical property comparison of four resins used for fabrication of provisional fixed restorations. *J Prosthet Dent*. **1998**; 80(2):158-62.
59. **Haselton DR, Diaz-Arnold AM, Vargas MA.** Flexural strength of provisional crown and fixed partial denture resins. *J Prosthet Dent*. **2002**; 87(2):225-8.

60. **Boaro LC, Gonçalves F, Guimarães TC, Ferracane JL, Versluis A, Braga RR.** Polymerization stress, shrinkage and elastic modulus of current low-shrinkage restorative composites. *Dent Mater.* **2010**; 26(12):1144-50.
61. ISO 10477 Polymer-based crown and bridge materials. 2004.
62. **Aysan Meriç İ.** Litografi ile Sinterize Edilen Seramik Yapının Kırılma Mekanığı, Mikroyapısı ve Elemental Kompozisyonu Açısından Değerlendirilmesi. Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi Sağlık Bilimler Enstitüsü, Adana, **2014**.
63. **Revilla-León M, Meyers MJ, 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(1):51-57.
64. Erişim: (<https://formlabs-media.formlabs.com/datasheets/2001043-SDS-ENCA-0.pdf>) **2023**. Erişim tarihi:05.11.2023
65. Erişim: (<https://www.gc.dental/europe/en/products/tempprint>) **2023**. Erişim tarihi:05.11.2023
66. Erişim: (https://support.powerresins.com/tr_TR/temp-reçinesi/temp-reçinesi-malzeme-güvenlik-bilgi-formu-msds) **2023**. Erişim tarihi:05.11.2023
67. Erişim: (<https://www.randomizer.org>) **2023**. Erişim tarihi:05.11.2023
68. **Ekren O, Özkömür A, Gürbüz C C.** Besin taklidi sıvıların üç farklı geçici kron materyalinin yüzey sertliğine etkisi. *EÜ Diş Hek Fak Derg*, **2014**; 35: 23-7.
69. **Bayarsaikhan E, Lim JH, Shin SH, Park KH, Park YB, Lee JH, Kim JE.** Effects of Postcuring Temperature on the Mechanical Properties and Biocompatibility of Three-Dimensional Printed Dental Resin Material. *Polymers (Basel)*. **2021**; 13(8):1180.
70. **Aati S, Akram Z, Ngo H, Fawzy AS.** Development of 3D printed resin reinforced with modified ZrO₂ nanoparticles for long-term provisional dental restorations. *Dent Mater.* **2021**; 37(6):e360-e374.
71. **Park SM, Park JM, Kim SK, Heo SJ, Koak JY.** Flexural Strength of 3D-Printing Resin Materials for Provisional Fixed Dental Prostheses. *Materials (Basel)*. **2020**; 13(18):3970.
72. **Digholkar S, Madhav VN, Palaskar J.** Evaluation of the flexural strength and microhardness of provisional crown and bridge materials fabricated by different methods. *J Indian Prosthodont Soc.* **2016**; 16(4):328-334.
73. **Scherrer SS, Kelly JR, Quinn GD, Xu K.** Fracture toughness (K_{Ic}) of a dental porcelain determined by fractographic analysis. *Dent Mater.* **1999**; 15(5):342-8.

74. **Reymus M, Fabritius R, Keßler A, Hickel R, Edelhoff D, Stawarczyk B.** Fracture load of 3D-printed fixed dental prostheses compared with milled and conventionally fabricated ones: the impact of resin material, build direction, post-curing, and artificial aging-an in vitro study. *Clin Oral Investig.* **2020**; 24(2):701-710.



ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğretimimi Anafartalar İlköğretim Okulu'nda tamamladım. Liseyi Karaman Anadolu Lisesi'nde tamamladım. 2012 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi'ndeki eğitimime başladım. Karadeniz Teknik Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi'nden 2017 yılında mezun oldum. 2018-2020 yılları arasında Kazımkarabekir İlçe Entegre Hastanesi'nde görev yaptım. 2020 yılında Çukurova Üniversitesi Diş Hekimliği Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı'na araştırma görevlisi olarak dahil oldum. Halen Çukurova Üniversitesi Diş Hekimliği Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi görevimi yürütmekteyim.

