

T.C.

ORDU ÜNİVERSİTESİ

DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ



**3B BASKI REÇİNE İLE YAPILMIŞ
ONLEYLERİN MARJİNAL ADAPTASYONUNA
PREPARASYON ŞEKLİNİN ETKİSİ**

UZMANLIK TEZİ

Sena Nur YİĞİN

ORCID:0000-0001-5738-594X

Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı

TEZ DANIŞMANI

Doç. Dr. Serdar Akarsu

**Bu araştırma Ordu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon
Birimi tarafından B-2338 proje numarası ile desteklenmiştir**

ORDU-2025

T.C.
ORDU ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ



**3B BASKI REÇİNE İLE YAPILMIŞ
ONLEYLERİN MARJİNAL ADAPTASYONUNA
PREPARASYON ŞEKLİNİN ETKİSİ**

UZMANLIK TEZİ

Sena Nur YİĞİN
ORCID:0000-0001-5738-594X

Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Serdar Akarsu

**Bu araştırma Ordu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon
Birimi tarafından B-2338 proje numarası ile desteklenmiştir.**

ORDU-2025

ONAY

Ordu Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı uzmanlık öğrencisi Sena Nur YİĞİN tarafından hazırlanan ve Doç. Dr. Serdar AKARSU danışmanlığında yürütülen 3B Baskı Reçine ile Yapılmış Onleylerin Marjinal Adaptasyonuna Preparasyon Şeklinin Etkisi adlı bu tez, jürimiz tarafında 21/03/ 2025 tarihinde oybirliği / oyçokluğu ile Uzmanlık Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Serdar AKARSU

Başkan: Doç. Dr. Serdar AKARSU

İmza.....

Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı
Ordu Üniversitesi

Jüri Üyesi: Öğr. Üyesi Sultan AKTUĞ KARADEMİR

İmza.....

Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı
Ordu Üniversitesi

Jüri Üyesi: Öğr. Üyesi Samet ATASOY

İmza.....

Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı
Ordu Üniversitesi

Dekan : Prof. Dr. Varol Çanakçı

TEZ BİLDİRİMİ

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin hazırlanmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Sena Nur YİĞİN



TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim süresince mesleki bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, sabrını ve vaktini esirgemeyen, sadece akademik alanda değil hayatın her alanında desteğini esirgemeyen ve öğrencisi olmaktan mutluluk duyduğum çok değerli danışman hocam sayın **Doç. Dr. Serdar AKARSU'ya**

Asistanlığım süresince bilgilerini esirgmeden sunan, mesleki ve akademik anlamda gelişmemde katkıda bulunan değerli hocam **Doç. Dr. Serdar BAĞLAR, Dr. Öğr. Üyesi Sultan AKTUĞ KARADEMİR, Dr. Öğr. Üyesi Samet ATASOY'a ve Dr. Öğr. Üyesi Ebru USLU CENDER'e**

Birlikte çalışmaktan büyük mutluluk duyduğum sevgili asistan eş kıdemlilerim ve yakın arkadaşlarım **Dt. Bengisu KOCA, Dt. Zeliha Işıl METİN, Dt. Ayşegül KAYA, Dt. Eda KARAASLAN'a** ve tüm değerli çalışma arkadaşlarıma,

Varlıklarına her zaman şükrettiğim, bugünlere gelmemde emeği çok büyük olan, canım annem **Nebahat YİĞİN** ve canım babam **Hasan YİĞİN'e**, her konuda bana destek olan ve beni hep destekleyen canım kardeşim **Ahmet İlhan YİĞİN'e**,

En zor anımda tam anlamıyla her zaman yanımda olan minik dostum **Tokyo'ya**

Bu uzmanlık tezi Ordu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından B-2338 proje numarası ile desteklenmiştir. Tüm destekleri için **Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine** teşekkürlerimi sunarım.

Sena Nur YİĞİN

ÖZET

3B YAZICI REÇİNE İLE YAPILMIŞ ONLEYLERİN MARJİNAL ADAPTASYONUNA PREPARASYON TASARIMININ ETKİSİ

Amaç: Bu çalışmanın amacı, plastik dişlerde iki farklı preparasyon tekniği ve iki farklı 3B baskı reçine kullanılarak üretilen onley restorasyonların marjinal adaptasyonlarını karşılaştırmaktır.

Gereç ve Yöntem: Bu çalışmada 80 restorasyon örneği üretmek için iki farklı 3B baskı kuron reçine (Crowntec, Saremco Dental AG ve VarseoSmile Crown Plus, Bego) kullanılmıştır. İki reçine için iki farklı preparasyon tasarımı uygulanmış ve örnekler dört gruba ayrılmıştır: Grup 1: VarseoSmile Crown Plus + Shoulder preparasyon, Grup 2: VarseoSmile Crown Plus + Flat preparasyon, Grup 3: Saremco Crowntec + Shoulder preparasyon, Grup 4: Saremco Crowntec + Flat preparasyon. Örnekler shoulder ve flat preparasyon için tasarım kurallarına uygun olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan modeller 3B ağız içi tarayıcı (Trios, 3Shape, Kopenhagen, Danimarka) ile taranmıştır. Tasarımlar CAD yazılımı (ExoCAD 2.4 Plovdiv; ExoCAD GmbH, Darmstadt, Almanya) kullanılarak oluşturulmuştur. Chitubox V1.7.0 (Guangdong, Çin) 3B baskı yazılımı kullanılarak 50 µm katman kalınlığı ve 0° baskı açısı ayarlanmıştır ve modeller dilimlenmiştir. Ardından restorasyonlar bir 3B yazıcı (Phrozen sonic mini 8K SLA cihazı, Phrozen Technology, Hsinchu City, Tayvan) ile üretilmiştir. Her bir restorasyon x40 büyütmede stereomikroskop (Leica S6 D; Leica Microsystems Inc) altında incelenmiştir. Ölçümler her diş için önceden belirlenmiş 18 noktada kaydedilmiştir. İstatistiksel analiz tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve Tukey'in post hoc testleri kullanılarak yapılmıştır.

Bulgular: İstatistiksel analiz, Crowntec ile üretilenlerin (Grup 3-4) VarseoSmile Crown Plus ile üretilenlere (Grup 1-2) göre anlamlı marjinal adaptasyon farklılıkları gösterdiğini ortaya koymuştur ($p<0.05$). Flat preparasyon grupları shoulder gruplarına göre daha iyi marjinal adaptasyon göstermesine rağmen istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0.05$). En düşük marjinal aralık değerleri oklüzal konumda gözlenirken, en yüksek değerler mezial konumda gözlenmiştir.

Sonuç: Reçine tipi ve konum onley restorasyonların marjinal adaptasyonu üzerinde etkili olabilir, ancak daha ileri çalışmalar gereklidir.

Anahtar Kelimeler: Marginal adaptasyon, Onley, Preparasyon tasarımı, üç boyutlu yazıcı

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF PREPARATION DESIGN AND RESIN TYPE ON THE MARGINAL ADAPTATION OF 3D PRINTED RESIN ONLY RESTORATIONS

Aim: This study compares the marginal adaptation of onley restorations fabricated from two different 3D printed resins with two different preparation designs in plastic teeth.

Materials and Methods: This study used two different 3D printed crown resins (Crowntec, Saremco Dental AG, and VarseoSmile Crown Plus, Bego) to produce 80 restoration samples. Two different preparation designs were applied for the two resins, dividing the samples into four groups: Group 1: VarseoSmile Crown Plus + Shoulder preparation, Group 2: VarseoSmile Crown Plus + Flat preparation, Group 3: Saremco Crowntec + Shoulder preparation, Group 4: Saremco Crowntec + Flat preparation. The samples were prepared in accordance with the design rules for shoulder and flat preparation. Prepared models were scanned with a 3D intraoral scanner (Trios, 3Shape, Copenhagen, Denmark). Designs were created using CAD software (ExoCAD 2.4 Plovdiv; ExoCAD GmbH, Darmstadt, Germany). Chitubox V1.7.0 (Guangdong, China) 3D printing software was used to set a 50 µm layer thickness and a 0° print orientation, and the models were sliced. Then, restorations were fabricated with a 3D printer (Phrozen sonic mini 8K SLA device, Phrozen Technology, Hsinchu City, Taiwan). Each restoration was examined under a stereomicroscope (Leica S6 D; Leica Microsystems Inc) at x40 magnification. Measurements were recorded at 18 predetermined locations per tooth. Statistical analysis was performed using one-way ANOVA and Tukey's HSD posthoc tests.

Results: Statistical analysis revealed that those produced with Saremco Crowntec (Group 3-4) showed better marginal adaptation than those produced with VarseoSmile Crown Plus (Group 1-2). There is a statistically significant difference ($p < 0.05$). Although the flat preparation groups showed better marginal adaptation than the shoulder groups, no statistically significant difference was found ($p > 0.05$). The lowest marginal gap was observed in the observed occlusal, while the highest adaptation was observed in the mesial.

Conclusion: Resin type and location may influence the marginal adaptation of onley restorations, but further studies are necessary.

Keywords: Marginal adaptation, Onley, Preparation design, 3D printer

İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİMİ.....	I
TEŞEKKÜR	II
ÖZET.....	III
ABSTRACT	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ	IX
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	X
1.GİRİŞ	1
2.GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. Diş Renginde Restorasyonlar	4
2.1.1 Direkt Restorasyonlar	4
2.1.2 İndirekt Restorasyonlar	4
2.1.2.1 İndirekt Restorasyonların Değerlendirilmesine Yönelik Klinik	
Kriterler	9
2.1.2.1.1. Estetik Özellikleri.....	9
2.1.2.1.2 Biyolojik Özellikleri.....	10
2.1.2.1.3. Fonksiyonel Özellikleri.....	11
2.1.2.2. Preparasyon Tasarımları	14
2.1.2.3. Marjinal Adaptasyonun Değerlendirilmesinde Kullanılan Yöntemler	
.....	16
2.2 Geleneksel Üretim Teknikleri	21
2.3. Dijital İş Akışları.....	22
2.3.1. Frezeleme Sistemleri (Eksiltmeli Üretim)	23
2.3.2. 3B Baskı Sistemleri (Eklemeli Üretim)	24
2.3.3. 3B Baskı Sistemlerin Tarihçesi	25
2.3.4. 3B Baskı Sistemlerin Diş Hekimliğinde Kullanım Alanları	27
2.3.4.1. Oral ve Maksillofasial Cerrahi	28

2.3.4.2. İmplantoloji	29
2.3.4.3. Ortodonti	29
2.3.4.4. Endodonti	29
2.3.4.5. Protetik Diş Hekimliği	30
2.3.4.6. Pediatrik Diş Hekimliği	30
2.3.4.7. Restoratif Diş Hekimliği	31
2.3.5. 3B Baskı Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları.....	33
2.3.6. 3B Baskı Sistemleri Üretim Teknikleri.....	35
2.3.7. 3B Baskı Sistemler Üretim Aşamasında Kullanılan Materyaller	40
2.3.7.1. Polimerler.....	41
2.3.7.2. Seramikler	41
2.3.7.3. Metaller	42
2.3.7.4. Kompozitler.....	42
2.3.7.5. Akıllı Materyaller.....	43
2.3.8. 3B Baskı Sistemleri Üretim Basamakları	43
3.GEREÇ VE YÖNTEM.....	46
3.1. Kavite Hazırlığı.....	46
3.2. Ağız İçi Tarayıcı ile Örneklerin Taranması	50
3.3. Restorasyonların Tasarlanması	51
3.3. Restorasyonların 3B Yazıcı ile Üretimi	52
3.3. Marjinal Adaptasyonun Değerlendirilmesi	58
3.4. İstatiksel Analiz.....	60
4.BULGULAR	61
4.1. Marjinal Adaptasyon Değerlendirme Bulguları.....	61
5.TARTIŞMA	64
6.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	80
6.1. Sonuçlar.....	80
6.2. Öneriler	80
KAYNAKÇA	82
ÖZGEÇMİŞ.....	105

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1. İnley restorasyonun şematik çizimi	6
Şekil 2. 2. Onley restorasyonun şematik çizimi.....	7
Şekil 2. 3. Oklüzal veneer restorasyonun şematik çizimi	8
Şekil 2. 4. Overlay restorasyonun şematik çizimi.....	8
Şekil 2. 5. Marjinal aralığın şematik çizimi	13
Şekil 2. 6. Sırasıyla yatay (chamfer ve shoulder) ve dikey (feather edge) preparasyon teknikleri	16
Şekil 2. 7. İndirekt restorasyon üretim teknikleri	21
Şekil 2. 8. 3B baskı sistemleri üretim süreci.....	27
Şekil 2. 9. Diş hekimliğinde 3B baskı sistemlerin kullanım alanları.....	28
Şekil 2. 10. SLA 3B baskı tekniğinin şematik çizimi	37
Şekil 2. 11. DLP 3B baskı sisteminin şematik çizimi.....	38
Şekil 2. 12. LCD 3B baskı sisteminin şematik çizimi	39
Şekil 2. 13. 3B baskı sistemleri üretim basamakları.....	45
Şekil 2. 14. Ortalama marjinal aralıkların gruplara göre karşılaştırılması.....	63
Şekil 3. 1. Dentiform çene üzerinde hazırlanmış preparasyonlar.....	47
Şekil 3. 2. Sırasıyla shoulder ve flat preparasyon tasarımları oklüzal görünümü	47
Şekil 3. 3. Sırasıyla shoulder ve flat preparasyon tasarımlarının şematik çizimi	48
Şekil 3. 4. Çalışmada izlenen iş akışı.....	48
Şekil 3. 5. Çalışmada kullanılan VS 3B baskı reçinesi.....	49
Şekil 3. 6. Çalışmada kullanılan CT 3B baskı reçinesi.....	50
Şekil 3. 7. Çalışmada kullanılan ağız içi tarayıcı.....	51
Şekil 3. 8. ExoCad ile yapılan tasarımlar.....	52
Şekil 3. 9. Shoulder preparasyona sahip örneklerin Chitubox yazılımında dilimlenmesi ve desteklerin eklenmesi	52

Şekil 3. 10. Flat preparasyona sahip örneklerin Chitubox yazılımı ile dilimlenmesi ve desteklerin eklenmesi	53
Şekil 3. 11. 3B yazıcı ile üretilen restorasyon örnekleri sırasıyla Grup 1 (a), Grup 2 (b), Grup 3 (c), Grup 4 (d)	55
Şekil 3. 12. Çalışmada kullanılan 3B yazıcı	56
Şekil 3. 13. Çalışmada kullanılan ultrasonik temizleyici.....	57
Şekil 3. 14. Çalışmada kullanılan post-kürleme cihazı.....	58
Şekil 3. 15. Çalışmada kullanılan stereomikroskop.....	59
Şekil 3. 16. Oklüzal (a), Lingual (b), Mezial (c) bölgelerde ölçüm için belirlenen noktalar.....	60

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2. 1. Preparasyon çeşitleri ve uygulamaları	15
Tablo 3. 2. Test edilen iki dental reçinenin özellikleri.....	50
Tablo 3. 1. 3B baskı cihazı teknik özellikleri.....	55
Tablo 4. 1. Ortalama marjinal aralık değerlerinin reçine tipine, preparasyon tasarımına ve konuma göre karşılaştırılması.....	61



SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

mW	:	mikroWatt
nm	:	nanometre
mm	:	milimetre
kg	:	kilogram
cm²	:	santimetrekare
µm	:	mikrometre
MPa	:	megapaskal
GPa	:	gigapaskal
2B	:	2 boyutlu
3B	:	3 Boyutlu
3BB	:	3 Boyutlu Baskı
3DSA	:	3 Boyutlu Süper Yükleme Analizi
ANOVA	:	Tek Yönlü Varyans Analizi
ASTM	:	Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu
BisEMA	:	Bisfenol A glikol dimetakrilat
BJT	:	Bağlayıcı Püskürtme Tekniği
CAD	:	Bilgisayar Destekli Tasarım
CAD-CAM	:	Bilgisayar Destekli Tasarım ve Bilgisayar Destekli Üretim
CBCT	:	Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi
CMO	:	Ortak Ana Hedef
CT	:	Bilgisayarlı Tomografi
CT	:	Crowntec
DED	:	Doğrudan Enerji Depolama
DIAS	:	Dijital Görüntü Analiz Sistemi

DICOM	:	Tıpta Dijital Görüntüleme ve İletişim
DLP	:	Dijital Işık İşleme
DV	:	Direkt Görüntüleme
FDI	:	Dünya Dış Hekimleri Birliği
FDM	:	Kaynaşmış Biriktirme Modellemesi
ISO	:	Uluslararası Standardizasyon Örgütü
L	:	Lingual
LCD	:	Sıvı Kristal Ekran
mCT	:	Mikro Billgisayarlı Tomografi
M	:	Mezial
MEX	:	Materyal Ekstrüzyonu
MJT	:	Malzeme Püskürtme Tekniği
ML	:	Mesiolingual
MOL	:	Mezial-Oklüzal-Lingual
O	:	Oklüzal
OCT	:	Optik Koherens Tomografi
p	:	Anlamlılık değeri
PBF	:	Toz Yatağı Füzyonu
SEM	:	Taramalı Elektron Mikroskopi
SHL	:	Tabaka Laminasyonu
SLA	:	Stereolitografi
SLS	:	Seçici Lazerle Sinterleme
SLM	:	Seçici Lazerle Eritme
SR	:	Silikon Replika
STL	:	Standart Mozaikleme Dili

TS	:	Üçlü Tarama
UV	:	Ultraviole
VPP	:	Vat Fotopolimerizasyon Tekniği
VS	:	Varseosmile



1.GİRİŞ

Üç boyutlu (3B) baskı, eklemeli üretim veya hızlı prototipleme olarak da bilinir ve son yıllarda diş hekimliğinde maliyet etkinliği ve kullanım kolaylığı nedeniyle popüler hale gelmiştir. 3B baskı, STL formatındaki (Standart Transformasyon Dili veya Standart Üçgenleme Dili dosyası) dijital bir dosyadan 3B katı nesneler üreten bir süreçtir. Bu süreç, küçük hacimli elemanları birleştirerek, bağlayarak, sinterleyerek veya polimerleştirerek gerçekleştirilir (Dos Santos, Alto vd. 2008, Prasad, Kader vd. 2018). 3B baskı teknolojisi 1980'lerde ortaya çıkmış, ancak 21. yüzyılda yalın metodolojilerin prototiplemeye girmesiyle ana akım haline gelmiştir (Zaharia, Gabor vd. 2017). Diş hekimliğinde 3B baskının klinik uygulamaları, diş implantları ve protezlerin üretimiyle 2000'lerin başlarına kadar uzanmaktadır (Gross, Erkal vd. 2014, Nishikawa ve Nishii 2017). Bu uygulamalara ek olarak, implantlar için cerrahi kılavuzlar veya delme kılavuzları, teşhis modelleri, özel ölçü kaşıkları, tam protezler ve indirekt restorasyonlar da 3B baskı teknolojisi kullanılarak üretilmektedir (Zaharia, Gabor vd. 2017, Lin, Fang vd. 2019, Schweiger, Edelhoff vd. 2021, Tian, Chen vd. 2021). Geleneksel mum ölçü teknikleri ve eksiltmeli üretim yöntemleriyle karşılaştırıldığında, 3B baskı çeşitli avantajlara sahiptir (Revilla-León, Sadeghpour vd. 2020, Tian, Chen vd. 2021). Hızlı üretimi, yüksek hassasiyeti ve kişisel özelleştirme imkanı sayesinde, tam protezler ve implantlar daha kolay elde edilebilir (Zanetti, Aldieri vd. 2017). Ayrıca, diş hekimliğinde 3B baskı uygulamaları, hastalara daha düşük maliyetli ve daha kişiselleştirilmiş hizmetler sunmaya yardımcı olabilir ve dental ürünlerin üretimiyle ilgili karmaşık iş akışını basitleştirebilir (Lin, Fang vd. 2019).

İndirekt restorasyonlar, diş hekimliğinde önemli bir restorasyon seçeneği olarak kabul edilir. Klinik pratikte kullanımları uzun yıllara dayanmaktadır (Dikova 2019). Bu restorasyonlar, dişin çürümüş veya hasar görmüş kısımlarını değiştirirken yapısal ve işlevsel bütünlüğü sağlayan restorasyonlardır (McLaren, Figueira vd. 2015). Bu şekilde eksik veya hasar görmüş dişlerin fonksiyon ve estetiğini yeniden sağlayarak; aşırı kuron harabiyetli veya endodontik tedavili dişlerde uygulanması, hastanın ağız sağlığını ve yaşam kalitesini artırmada büyük rol oynamaktadır. İndirekt restorasyonlar arasında yer alan onleyler, oklüzal yüzeyin büyük kısmını

kaplayarak stres birikimini önler ve stresi daha geniş bir alana dağıtır. Böylece mekanik kuvvetlere karşı daha iyi bir koruma sağlar (Toksavul, Toman vd. 2005).

Dijital diş hekimliğindeki güncel gelişmeler sayesinde, inley-onley restorasyonlar geleneksel teknikler, eksiltmeli üretim veya 3B baskı teknolojisi kullanılarak üretilir (Zarone, Ferrari vd. 2016). 3B baskı teknolojisi, yüksek kaliteli inley-onley restorasyonların üretiminde geleneksel yöntemle bir alternatif sunarak zaman ve maliyeti azaltır (Chabouis, Faugeron vd. 2013, Lima, Neto vd. 2018). Bu avantajlara sahip olmasıyla birlikte 3B baskı teknolojisi ve bu teknolojiye uyumlu reçineler restorasyon sürecine dahil edilmiştir. Bu sayede bu teknolojiler önemli bir ilgi odağı haline gelmeye başlamıştır (Peskersoy ve Oguzhan 2024). 3B baskı reçine bazlı restorasyonların en önemli özelliklerinden biri; retansiyon, fonksiyon, oklüzyon ve diş yapısının korunması üzerinde önemli bir etkiye sahip olan marjinal adaptasyondur (Aldahian, Khan vd. 2021). Marjinal adaptasyon ve kenar uyumunun doğruluğu daimi restorasyonların başarısını ve dişeti sağlığını doğrudan etkiler. Bu özellik marjinal adaptasyonu herhangi bir restorasyonun uzun vadeli klinik başarısı için kritik bir kriter haline getirir (Sakrana 2013, Wu, Xie vd. 2021). Marjinal adaptasyondaki herhangi bir bozulma, restoratif prosedürleri olumsuz etkileyebilir. Zayıf marjinal adaptasyon, mikrosızıntıya ve plak birikimine yol açarak siman çözünmesine, tekrarlayan çürüklere ve periodontal enflamasyona neden olabilir (Valderhaugw ve Birkeland 1976, Goldman, Laosonthorn vd. 1992). Bu nedenle, restorasyonların iç ve marjinal adaptasyonunu sağlamak için titiz bir dikkat gösterilmelidir. Ancak literatürde daimi restorasyonun uzun vadeli klinik başarısı üzerinde bu kadar etkin bir rol oynayan marjinal adaptasyon üzerine yapılan çalışmalarda belirgin bir eksiklik vardır (Ferracane 2017).

3B baskı teknolojileri kullanılarak 3B yazıcı ile üretilen restorasyonların marjinal adaptasyonunu değerlendiren sınırlı sayıda çalışma vardır (Alharbi, Alharbi vd. 2018, Chaturvedi, Alqahtani vd. 2020, Khaledi, Farzin vd. 2020, Ryu, Kim vd. 2020, Mohajeri, Khazaei vd. 2021, Al-Saleh, Vohra vd. 2022, Mugri, Dewan vd. 2023, Aljehani, Nabalawi vd. 2024, Daghrery, Lunkad vd. 2024) . Bu çalışma, iki farklı preparasyon tekniği ile prepare edilmiş plastik dişlerde iki farklı reçine kullanılarak üretilen onley restorasyonların marjinal adaptasyonlarını karşılaştırmayı amaçlamaktadır. Test edilen sıfır hipotezleri şunlardır:

1. Reçine tipi, 3B baskı reçine ile üretilen onley restorasyonların marjinal adaptasyonunu etkilemez.

2. Preparasyon tasarımı, 3B baskı reçine ile üretilen onley restorasyonların marjinal adaptasyonunu etkilemez.

3. Konum, 3B baskı reçine ile üretilen onley restorasyonların marjinal adaptasyonunu etkilemez.



2.GENEL BİLGİLER

2.1. Diş Renginde Restorasyonlar

Son yıllarda tıbbi teknolojideki hızlı ilerleme, dental adeziv teknik bilgilerindeki hızlı gelişmeleri beraberinde getirmiştir. Bu sayede diş rengindeki anterior ve posterior restorasyonlar, modern restoratif diş hekimliğinde giderek daha yaygın hale gelmiştir (Ferraris 2017). Bu restorasyonlar, dişlerin yapısal bütünlüğünü destekler. Etkili çiğneme, uygun oklüzal fonksiyon ve diş arkının stabilitesini koruyarak ağız sağlığı ve genel refah için hayati bir rol oynamaktadır.

Modern restoratif diş hekimliğinde, dayanıklı ve estetik restorasyonlar üretmek ana hedeflerden biridir. Bu restorasyonların üretimi için çeşitli teknikler kullanılmaktadır (Ayub ve Blatz 2024). Direkt ve indirekt teknikler arasındaki seçim klinisyenler için kritik bir karardır. Tekniklerin kendi avantaj ve dezavantajları vardır (Demarco, Collares vd. 2017, Ardu, Daher vd. 2020, Heboyan, Vardanyan vd. 2023).

2.1.1 Direkt Restorasyonlar

Direkt restorasyonlar, prepare edilen kaviteler üzerine doğrudan uygulanarak basitlik ve hasta başında verimlilik açısından önemli avantajlar sağlar. Bu restorasyonların üretiminde kompozit reçine ve cam iyonomer siman kullanılır (Sankla, Makwana vd. 2024). Sahip oldukları avantajlara rağmen, mekanik dayanımları indirekt restorasyonlara kıyasla daha düşüktür. Dezavantajları arasında oklüzal ve proksimal aşınma, yüzey pürüzlülüğü, marjinal renk değişikliği, marjinal bütünlük kaybı, postoperatif hassasiyet, tekrarlayan çürükler, tekniğe duyarlılık, dentine idealden az bağlanma ve düşük kırık dayanıklılığı bulunmaktadır (Azeem ve Sureshabu 2018). Tüm bu dezavantajları ortadan kaldırmak için başvurulabilecek diğer yöntem ise indirekt restorasyonlardır.

2.1.2 İndirekt Restorasyonlar

İndirekt restorasyonlar, ağız dışında üretildikten sonra dişe yapıştırılır. Seramikler ve kompozit reçineler inleyler/onleyler gibi indirekt restorasyonların üretiminde kullanılan malzemelerdir. Isthmus genişliğinin bukkal ve lingual tüberkül tepeleri arasındaki mesafenin üçte ikisini geçtiği büyük boşluklarda, indirekt restorasyonlar tercih edilmesi gereken bir seçenek haline gelir (Huth, Chen vd. 2011,

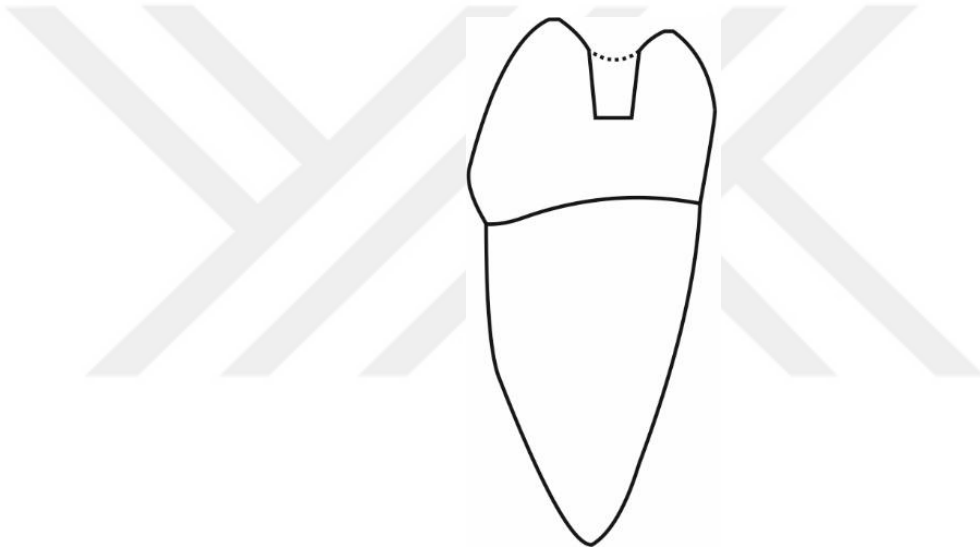
Cetin, Unlu vd. 2013, Ozakar-Ilda, Zorba vd. 2013). Bu yöntem, üstün marjinal adaptasyon ve dayanıklılık sağlar (Sankla, Makwana vd. 2024). Bunlarla birlikte, inley ve onley restorasyonların ısı veya ışık ile sonradan kirlenmesi, ideal bir oklüzal morfoloji ve doğal dişlerle uyumlu bir aşınma sağlarken, restorasyonlara daha iyi mekanik ve fiziksel özellikler kazandırır. Ayrıca iyi bir proksimal şekillendirme sağlar (Duquia, Osinaga vd. 2006, Barone, Derchi vd. 2008). Bununla birlikte, bu teknik daha fazla zaman alıcı ve yüksek maliyetlidir. Ek randevular gerektirir, bu da hastanın istekleri ve bütçesini aşabilir.

İndirekt restorasyonlar, tüberkülleri örtmeyen inleyler, en az bir tüberkülü kaplayan onleyler, tüm tüberkülleri kaplayan overlayler, endokuronlar ve tam kuron restorasyonlar olarak sınıflandırılır (Fuzzi ve Rappelli 1998). Bu geleneksel restorasyonların yanı sıra, overlayler, oklüzal veneerler, overlay veneerler ve adeziv kuronlar gibi daha yeni adeziv restorasyonlar, adeziv diş hekimliğinin gelişmesiyle giderek daha fazla uygulanmaktadır (Veneziani 2017). Adeziv diş hekimliği ve CAD/CAM (bilgisayar destekli tasarım-bilgisayar destekli üretim) teknolojisindeki gelişmeler, restoratif diş hekimliğinde tam kuronlardan minimal invaziv, defekt odaklı restorasyonlara geçiş yapan bir paradigma değişikliği başlatmıştır (Abduo ve Sambrook 2018). Tam kuronlarla karşılaştırıldığında, inley, onley gibi parsiyel kuron restorasyonlar sağlam diş yapısını daha iyi korur (Piemjai ve Arksornnukit 2007, Clausen, Abou Tara vd. 2010, Edelhoff, Erdelt vd. 2023).

Parsiyel kuron restorasyonların üretimi için seramik, kompozit ve metalik alaşımlar gibi bir dizi malzeme kullanılabilir. Ancak günümüzde metalik indirekt restorasyonlar yetersiz estetik özellikleri sebebiyle hastalar tarafından tercih edilmemektedir. Dolayısıyla seramikler ve kompozitler diş rengine uyumları sayesinde daha iyi bir seçenek haline gelmiştir (Bottino, Campos vd. 2015, Fathy, Hamama vd. 2022). Parsiyel seramik kuronların üretimi için kullanılan seramik sistemler, kimyasal bileşimlerinde bulunan fazlara bağlı olarak silikat seramikler, polikristalin seramikler ve reçine matris seramikleri olarak sınıflandırılabilir (Shi, Pang vd. 2022). Silikat seramikler ayrıca feldispat porselen, lösit takviyeli cam seramikler ve lityum disilikat seramikleri olarak alt bölümlere ayrılabilir (Gracis, Thompson vd. 2015, Shi, Pang vd. 2022). Geleneksel üretim için veya CAD/CAM sistemler için bloklar halinde mevcut olan feldspat porselen ve cam seramikler,

aşındırılabilen camsı bir matrise sahip hem camsı hem de kristal çizgi fazlarından oluşur (McLaren ve Whiteman 2010). İndirekt restorasyon çeşitleri şunlardır:

(i) İnley: Diş üzerinde tüberkül kaplaması bulunmayan ve dişin morfolojisine uygun prepare edilen kavitenin şekline uygun olarak ağız dışında hazırlanan bir restorasyondur (Şekil 2. 1) (Prosthodontics 1999). Bu restorasyon siman yardımıyla dişe sabitlenir (Veneziani 2017). İnleyler, genellikle bukkal ve lingual duvarları sağlam olan orta ve büyük boyutlardaki sınıf II kavitelerin restorasyonunda tercih edilir. Bu restorasyonların uygulanabilirliği, isthmus genişliğinin bukkal ve lingual tüberkül tepeleri arasındaki mesafenin üçte biri ile yarısı arasında olduğu durumlarla sınırlı tutulmuştur (Christensen 2008).



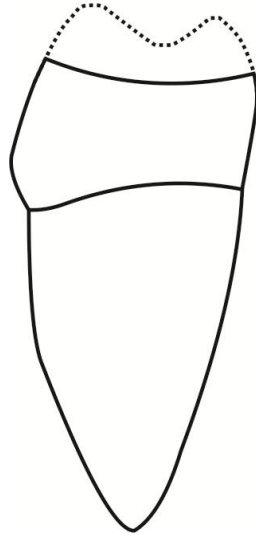
Şekil 2. 1. İnley restorasyonun şematik çizimi

(ii) Onley: Tüberkülleri bir dereceye kadar kaplarken, tüm oklüzal yüzeyi kaplamaz (Şekil 2. 2). Dentin çatlakları olmadan desteklenen lateral duvar bölücüler ile büyük boyutlu sınıf II kavitelerde endikedirler. Endodontik tedavi gören dişlerde en az bir periferik kenar ve bu kenarla süreklilik içinde iyi desteklenmiş iki aksiyel duvarın varlığı gereklidir (Peumans, Kanumilli vd. 2005). Bu restorasyonların isthmusun genişliği, bukkal tüberkül tepesinden lingual tüberkül tepesine olan mesafenin yarısından daha büyük olduğunda ve/veya zayıf bir tüberkül olduğunda kullanılması önerilmiştir (Christensen 2008). Onleyler, sahip oldukları avantajlardan dolayı diş hekimleri tarafından giderek daha çok benimsenmektedir. Özellikle diş dokusunun önemli ölçüde kaybedildiği durumlarda, onleyler, dişin konturlarını daha

Şekil 2. 2. Onley restorasyonun şematik çizimi

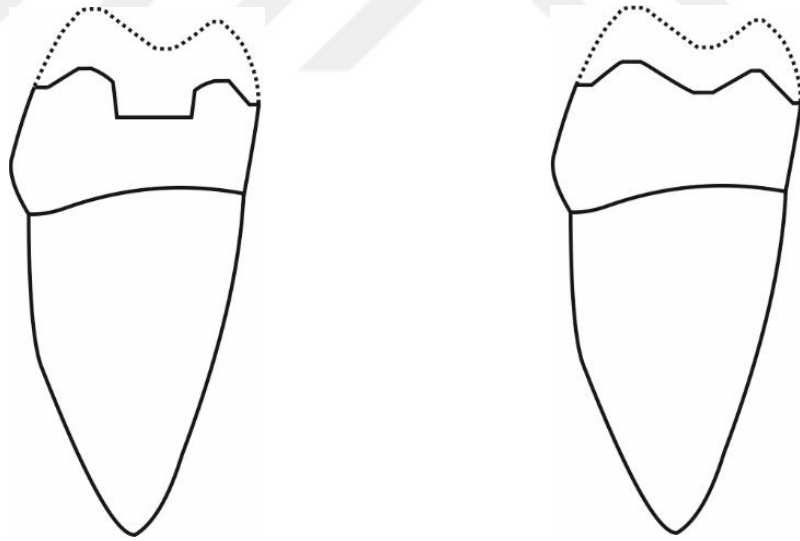
(iii) Endokuron: Geniş koronal yıkımlı endodontik tedavi görmüş dişlerin rehabilitasyonu için mevcut seçeneklerden biridir (Dotto, Girotto vd. 2022). Dikkat çekici bir şekilde, koronal kısım ve destekleyici kor yapısının her ikisi de, seramik veya reçine bazlı kompozitlerden yapılmış bir protez kurondan oluşan 'monoblok' adlı tek bir elemanda birleştirilir. Döküm metal post veya cam fiber post ile desteklenen geleneksel kuronların aksine, endokuronlar bir kanal içi post veya ek kök kanal hazırlığı gerektirmez. Çünkü makro ve mikromekanik retansiyon, sırasıyla pulpa odasının iç kısmında bir ankraj etkisi ve adeziv simantasyon yoluyla elde edilir (Biacchi, Mello vd. 2013).

(iv) Oklüzal Veneer: Daha az invaziv restorasyonlardır. Dişin sadece oklüzal yüzeyini kaplamaları ile karakterize edilirler. Eksternal duvarların veya orta kısmının preparasyonunu gerektirmezler (Şekil 2. 3). Literatürde bu restorasyonların üretiminde en sık kullanılan materyaller lityum disilikat seramikler, zirkonyum oksit takviyeli lityum silikat seramikler, zirkonyum oksit seramiklerin yanı sıra hibrit seramikler ve nanoseramikler gibi yeni nesil seramiklerdir (Ioannidis, Mühlemann vd. 2019).



Şekil 2. 3. Oklüzal veneer restorasyonun şematik çizimi

(v) Overley: Özel bir onley türüdür. Bütün tüberküleri kaplayan overley restorasyonlar, dişe bir siman aracılığıyla bağlanırlar (Şekil 2. 4.) (Magne ve Knezevic 2009).



Şekil 2. 4. Overley restorasyonun şematik çizimi

(vi) Tam Kuronlar: Tam kuron restorasyonlar, diş dokusunun %50'den fazlasının kaybedildiği durumlarda günlük klinik uygulamalarda sıklıkla tercih edilmektedir (Vagropoulou, Klifopoulou vd. 2018). Altın, metal seramik, tam seramik ve zirkonya başarıyla kullanılan farklı restoratif malzeme seçeneklerini

temsil eder (Wassell, Walls vd. 2002, Sailer, Gottner vd. 2009, Silva, Bonfante vd. 2010). Döküm altın metal kuronlar, korozyona karşı üstün dirençleri, minimal preparasyon gereksinimleri, kolay uygulanabilirlik ve cilalama özellikleri, diş anatomisinin birebir yeniden oluşturulması, mine kenarlarının korunup desteklenmesi, dayanıklılıkları ve yüksek mukavemetleri sayesinde geçmişte oldukça popülerdi (Tucker 2008). Ancak düşük estetik özellikleri, özellikle mandibular arkın arka dişleri gibi görünür bölgelerde bir dezavantaj oluşturabilir (Vagropoulou, Klifopoulou vd. 2018).

2.1.2.1 İndirekt Restorasyonların Değerlendirilmesine Yönelik Klinik Kriterler

Direkt ve indirekt dental restorasyonların değerlendirilmesi için FDI (World Dental Federation) kriterleri ilk olarak 2007 yılında yayınlandı. Ardından 2010 yılında güncellenmiştir (Hickel, Roulet vd. 2007, Hickel, Peschke vd. 2010). Kriterlerin bilimsel çalışmalarda kullanımları istikrarlı bir şekilde artmıştır ve 2023 yılında bazı açıklamalar ve iyileştirmelerle revize edilmiştir (Hickel, Mesinger vd. 2023).

2.1.2.1.1. Estetik Özellikleri

(i) Yüzey Parlaklığı ve Yüzey Dokusu: Restorasyonun bitirme ve cilalama işlemleri yetersiz ya da uygun olmayan şekilde yapıldığında restorasyon yüzeyi düzensiz, oklüzal temas alanları pürüzlü bir hal alır. Bunların sonucunda restorasyonun bozulması, plak birikimi, lekelenme ve dişeti iltihabı gibi sorunlar ortaya çıkabilir (Reis, Giannini vd. 2003, Ikeda, Matin vd. 2007, Jefferies 2007, Gharechahi, Moosavi vd. 2012). Uygun bitirme ve cilalama prosedürleri memnun edici estetiği elde etmek ve uygun restorasyon özelliklerini sağlamak açısından büyük önem taşımaktadır. Klinik uygulamalarda, doğru restorasyon bitirme ve cilalama, ışığın diş yüzeyine yansıma şeklini etkiler. Daha geniş yansıma alanlarının oluşturulması, estetiği, diş boyutunu ve şekil algısını değiştirir (Heymann 1987, Fahl Jr 2011, Brezniak, Wasserstein vd. 2012). Bu yansıma detaylı incelendiğinde, nano ve mikro düzeyde pürüzler, makro pürüzlülük, cilalama işaretleri gibi faktörler ve malzeme özelliklerinden kaynaklanan veya gözenekler ve boşluklar gibi işleme sırasında oluşan kusurlar dikkate alınmalıdır (Kakaboura, Fragouli vd. 2007).

Restorasyonun yüzey parlaklığı ve dokusu, çevredeki sert dokularla karşılaştırılarak değerlendirilebilir (Hickel, Mesinger vd. 2023).

(ii) Marjinal Boyanma: Kavite duvarı ile restorasyon arasındaki renk değişimidir. Çürükle karıştırılmamalıdır (Mjör ve Toffentti 2000, Mjör 2005). Restorasyon yüzey boyanması çevre sert dokularla karşılaştırılarak değerlendirilmelidir (Hickel, Roulet vd. 2007). Boyanmanın olabilmesi için, pigmentlerin yüzeye yada marjinal kenara tutunması gerekir. Marjinal kenar boşlukları veya çıkıntılar tutunma için elverişli alanlardır. Marjinal boyanma, restorasyonun dış sert dokularına ve hasta faktörlerine bağlı olarak adeziv ve simantasyon sisteminin etkinliğine bağlıdır (Heintze ve Rousson 2012). Bu faktörler arasında ağız hijyeni prosedürleri ve beslenme alışkanlıkları yer almaktadır (Philpotts, Cariddi vd. 2017, Prskalo, Klarić Sever vd. 2017).

(iii) Renk Uyumu: Renk uyumunun değerlendirilmesi sadece dış rengindeki restorasyonlarda mümkündür. Kaliteli ve estetik bir restorasyon yapmak için dış sert dokuları ve restoratif materyal arasındaki görsel farklılığın minimuma indirilmesi gerekir (Hickel, Mesinger vd. 2023). Renk uyumu değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler arasında görsel inceleme, ağız içi fotoğraflar ve renk ölçüm cihazları kullanılabilir. En çok tercih edilen yöntem görsel incelemedir (Zenthöfer, Cabrera vd. 2014, Yang, Zhang vd. 2016, Joiner ve Luo 2017, Blatz, Chiche vd. 2019, Jackson, Kirk vd. 2019, Hickel, Mesinger vd. 2023).

2.1.2.1.2 Biyolojik Özellikleri

(i) Postoperatif Hassasiyet ve Dış Vitalitesi: Postoperatif aşırı duyarlılık, dış restorasyonunun yerleştirilmesinden hemen sonra pulpa reaksiyonlarıyla ilişki olabilir. İlgili bölgede ağrı, rahatsızlık ve pulpitis görülebilir. İlerleyen dönemlerde dış canlılığını yitirebilir. Restorasyon yerleştirilmeden önce ve sonra ve tüm kontrol seanslarında dış hassasiyetinin kaydedilmesi gerekir (Hickel, Mesinger vd. 2023).

(ii) Restorasyon Marjinde Çürük: Restorasyon marjinleri genellikle erişilmesi zor bölgelerdir ve bu bölgelerde yeterli hijyenin sağlanması zordur. Aynı şekilde bu bölgeler tükürük gibi oral sıvıların erişiminin kısıtlı olduğu bölgelerdir. Bu yüzden restorasyon marjinlerinde çürük riski fazladır ve iyi değerlendirilmesi gereklidir (Hickel, Mesinger vd. 2023). Restorasyon marjinde çürüğün klinik tanısı

için lekeli kenarlardan ayırt etmek bazen zordur (Mjör ve Toffentti 2000, Mjör 2005) ve demineralize sert dokusu olmayan lekeli restorasyon marjinleri, marjin çürükleri ile karıştırılmamalıdır (Hickel, Mesinger vd. 2023).

(iii) Restorasyon Marjinde Sert Doku Defektleri: Bu kriter dahilinde mine çatlakları, mine ufalanmaları ve tüberkül kırıkları yer alırken fizyolojik atrizyon ve aşınma, abfraksiyon ya da travma ile ilgili defektler bu kritere dahil edilmezler (Hickel, Mesinger vd. 2023).

Bu kriterlere ek olarak 2023 yılında yapılan güncelleme ile hastanın restore edilen dişe bakışı ve restorasyonların radyografik değerlendirmesi kriterleri yeni bir bölüme kaydırılmıştır (Hickel, Mesinger vd. 2023)

2.1.2.1.3. Fonksiyonel Özellikleri

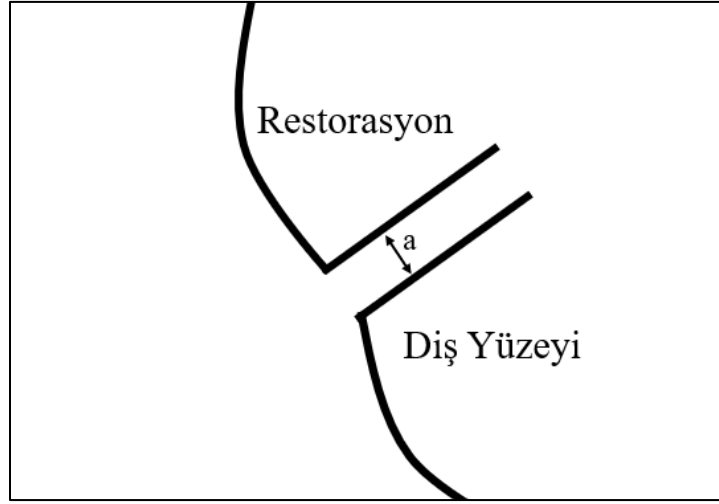
(i) Materyalin Fraksiyonu ve Retansiyonu: Direkt ve indirekt restorasyonları değerlendirirken, restorasyonun kırılma ve retansiyon özellikleri klinik uygulamalarda en önemli faktörlerdendir (Heintze ve Rousson 2012, Hickel, Mesinger vd. 2023). İndirekt restorasyonlarda kırılma paternleri çeşitlilik gösterir. Kaplamalı seramik restorasyonlarda, genişletilmiş malzeme uçlarından kaynaklanan chipping sıkça görülürken, monolitik seramik restorasyonlarda genellikle toplu fraktürler meydana gelir. Seramik sabit parsiyel protezlerde ise kırılmalar çoğunlukla bağlantı bölgesinde meydana gelir (Pjetursson, Valente vd. 2018, Sailer, Strasding vd. 2018). Toplu kırılmalar veya büyük hacimli delaminasyonlar, restorasyonun bütünlüğünü ciddi şekilde bozabilir. Eğer malzeme kaybı belirli bir alanda sınırlı ise, onarım mümkün olabilir. Ancak, çoklu veya geniş kırıkları olan bir restorasyonun onarılması genellikle verimli değildir. Bu gibi durumlarda yerine tam bir yenileme yapılması daha uygun olacaktır (Hickel, Mesinger vd. 2023).

(ii) Aproksimal Kontak Noktası: Besin sıkışmasını engellemek ve interdental papillanın interproksimal boşluğu doldurmasına olanak sağlamak için uygun bir temas gücü ile doğru konumlandırılmış bir temas alanı önerilmektedir (Joshi, Baiju vd. 2017, Kolte, Kolte vd. 2018). Fizyolojik temas noktası kuvvetinin eksikliği, gıda sıkışması ve papillit gibi problemlere yol açabilir. Ancak, fizyolojik temas gücünün bireyler arasında önemli ölçüde değişebileceği göz önünde bulundurulması gereken bir faktördür (Loomans, Opdam vd. 2006).

(iii) Okluzyon ve Aşınma: Restore edilmiş bir dişin statik ve dinamik oklüzyonu, dişlerin işlevselliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. İdeal bir oklüzyon, çiğneme sisteminin bireysel özellikleri ve yaşa bağlı değişikliklerle uyumlu olmalıdır. Antagonistik dişlerle yapılan restorasyonlarda, hiper oklüzyon önlenmelidir. Ayrıca ağrı ve temporomandibüler eklem bozuklukları (TMD) tetiklenmemelidir. Uygun oklüziona sahip olmayan restorasyonların çiğneme etkinliği sınırlıdır. Aynı şekilde bu durum restore edilen dişin veya antagonistinin uzamasına neden olabilir. Oklüzal yüzeydeki aşırı büyük tüberküller veya boyutlar, erken temaslara, hiper oklüziona ve engelleyici dengeye yol açarak, restorasyonun dayanıklılığını olumsuz etkileyebilir ve bu durum rahatsızlık, ağrı veya TMD'lere sebep olabilir (Ikeda 1997, Clark, Tsukiyama vd. 1999, Kim, Oh vd. 2005, Ishigaki, Kurozumi vd. 2006, Koyano ve Esaki 2015, Sheridan, Decker vd. 2016, Bertolini, Del Bel Cury vd. 2019).

(iv) Form ve Kontur: Optimal olarak restore edilmiş bir dişin form ve kontur olarak taşıması gereken özellikler vardır. Restorasyon dişeti ve periodonsiyumu korumalı ve interdental papillerin hizalanmasına olanak sağlamalıdır (Joshi, Baiju vd. 2017). Çiğneme sırasında dişetine gıda sıkışmasını önlemelidir. Restorasyon, kendi kendini temizleme yeteneğini korumalıdır ve oklüzal embraşürler, diş ipi geçişi için daha iyi erişim sağlamalıdır. Dişin komşu ve antagonistik dişlere olan pozisyonunu stabilize etmelidir. Bunların yanında form ve kontur estetiğin sağlanması açısından da önem arz etmektedir (Frese, Staehle vd. 2012, Hickel, Mesinger vd. 2023).

(v) Marjinal Adaptasyon: Bir restorasyonunun kalitesinin ve klinik başarısının değerlendirilmesinde marjinal adaptasyon kritik bir rol oynamaktadır. Bu yüzden marjinal adaptasyonun değerlendirilmesi önemlidir. 1980'lerin sonlarına kadar, marjinal adaptasyonu değerlendiren araştırmacılar her zaman aynı mesafeleri ölçmediler. Holmes ve arkadaşları 1989'da marjinal adaptasyonun standart bir şekilde değerlendirilebilmesi ve marjinal aralığın standart bir şekilde belirlenebilmesi ve tanımlanabilmesi için net bir terminoloji önerdiler. Marjinal aralık marjinal bölgede prepare edilen dişin aksial duvarı ile restorasyonun iç duvarı arasındaki mesafe olarak ifade edilmektedir (Şekil 2. 5) (Holmes, Bayne vd. 1989).



Şekil 2. 5. Marjinal aralığın şematik çizimi

Marjinal adaptasyon genellikle marjinal aralığın veya mutlak marjinal tutarsızlığın ölçülmesiyle değerlendirilir (Holmes, Bayne vd. 1989, Suárez, Villaumbrosia vd. 2003, Zinelis 2009). Bu mesafe ne kadar az olursa marjinal adaptasyon o kadar iyi olur. Bu adaptasyon yeteri kadar iyi olmadığında restorasyonun ve restore edilen dişin prognozu kötü etkilenmektedir. Uyumlu olmayan bir restorasyon mikrosızıntıya, sekonder çürüklere, travmatik dişeti tahrişine ve periodontal hassasiyete sebep olur (Bader, Rozier vd. 1991, Knoernschild ve Campbell 2000, Nawafleh, Mack vd. 2013). Öte yandan kusursuz bir marjinal adaptasyon, estetik çekiciliği artırır. Ayrıca, siman hattının genişliğini azaltmak için kenar boşluklarının mümkün olduğunca kapalı olması tercih edilir (Rastogi ve Kamble 2011).

Marjinal aralığın mümkün olduğunca az olması gerektiği bilinmesine rağmen klinik olarak kabul edilebilir maksimum marjinal aralık değeri konusunda bir fikir birliği yoktur (Christensen 1971, Jw 1971, Fransson, Øilo vd. 1985, Holden, Goldstein vd. 2009). Mevcut bilimsel kanıtlara dayanarak, klinik olarak kabul edilebilir marjinal aralık değerleri McLean ve von Fraunhofer tarafından 120 µm olarak belirlenmiştir ve 5 yılda 1000 sabit restorasyonun marjinal adaptasyonunun değerlendirildiği çalışmada 80 µm'den daha az bir marjinal boşluğun klinik koşullar altında tespit edilmesinin zor olduğu gösterilmiştir (Christensen 1966, Jw 1971, Mitchell, Pintado vd. 2001). Kramer ve arkadaşlarına göre, marjinal aralık değerleri

100 µm altında olan restorasyonlar klinik olarak kabul edilebilir olarak kabul edilmektedir (Krämer, Lohbauer vd. 2000).

İdeal marjinal adaptasyon sağlandığı takdirde, periodontal dokuların ve alttaki diş pulpasının sağlığını tehdit edebilecek mikrosızıntı riski en aza indirilmiş olur (Beuer, Aggstaller vd. 2009, Sener-Yamaner, Sertgöz vd. 2017). Bu ideal adaptasyonu elde edebilmede birçok faktör etkilidir. Bu faktörler arasında malzeme seçimi ve prosedür teknikleri yer alırken faktörlerin çokluğu çeşitli zorlukları beraberinde getirir (Li, Ma vd. 2024). Bir diş restorasyonunun marjinal adaptasyonu, tüm üretim süreci boyunca kaliteye bağlıdır. Nihai sonuç, kullanılan reçine ve ölçü tipi, preparasyon tasarımı ve ölçü alma tekniği, ana model üretimi, laboratuvar işlemleri, kullanılan simanın viskozitesi, siman ile diş dokusu ile restorasyon arasındaki fiziko-kimyasal bağlantı, nem, ısı, kuron ve siman tipi ile simantasyon sırasında uygulanan yük gibi birçok faktörden etkilenir (Gavelis, Morency vd. 1981, Wang, Millstein vd. 1992, Wolfart, Wegner vd. 2003, Kenyon, Hagge vd. 2005). Siman hattının genişliğini en aza indirmenin en iyi yolunu belirlemek için farklı preparasyon tasarımları, kabul edilen teknik kısıtlamalar doğrultusunda çeşitli nedenlerle savunulmaktadır (Rastogi ve Kamble 2011).

2.1.2.2. Preparasyon Tasarımları

İndirekt restorasyonların dişe daha iyi uyum sağlaması için diş prepare edilirken, diş sert dokularında geri dönüşü olmayan hasarlar bırakılabilir. Bu noktada, diş sert dokularına ve pulpaya mümkün olan en az zararı vermek çok önemlidir. Aynı şekilde diş ile restorasyon arasında kusursuz bir marjinal adaptasyon sağlanmalıdır. Bu koşulları sağlayabilmek için en uygun preparasyon tasarım tekniğini belirlemek oldukça önemlidir (Rosner 1963, Pascoe 1978, Yu, Chen vd. 2019).

İndirekt restorasyonlar için preparasyon tasarımının türü, doğru yapıştırma sisteminin seçimi için de dikkate alınması gereken bir faktördür (Cho, Choi vd. 2004, Clausen, Abou Tara vd. 2010, Yu, Chen vd. 2019). İndirekt restorasyonlar, yapıştırma malzemelerinin optimum akışını kolaylaştırmak için herhangi bir iç keskin açı olmadan dikkatlice yuvarlatılmış preparasyon gerektirse de arka dişlerde farklı preparasyon tasarımları önerilmiştir (McDonald 2001, Tarnow, Chu vd. 2008, Ferraris 2017).

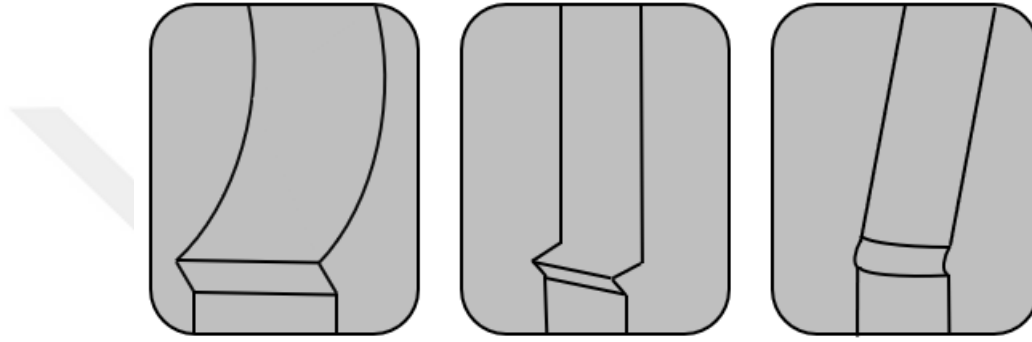
Seçilen tasarım türünden bağımsız olarak, preparasyon tasarımları řu adımlara göre yapılır: Üretilcek restorasyonu yansıtabak şekilde oklüzal yüzeyin fonksiyonel olmayan tüberküllerin 1,5 mm ve fonksiyonel tüberküllerin 2 mm aşındırılması, bitişik dişlerden ayrılma, dikey duvarlarda restorasyon yerleştirme yolu yapılması ve shoulder preparasyonu (Contrepolis, Soenen vd. 2013, Vigolo, Mutinelli vd. 2015). Preparasyon tipleri ve uygulamaları Tablo 2. 1’de gösterilmektedir (Łabno ve Drobnik 2020)

Tablo 2. 1.Preparasyon eşitleri ve uygulamaları

Preparasyon Tipi	Uygulamalar
Vertikal (dikey)	Edgeless preparasyonlar (Bitiş izgisi olmadan) Shoulderless preparasyonlar (bevel): Feather Edge / Knife Edge / Chisel Edge (Yükselen Konik)
Horizontal (yatay)	Düz Shoulder: 90� açılı düz shoulder tipi preparasyon Bevel Shoulder: 90� açılı, 45� bevelli shoulder tipi preparasyon Eğimli Shoulder: 90� açılı shoulder tipi preparasyon Düz Yuvarlatılmış Shoulder: 45� açılı bevelli shoulder tipi preparasyon (Yuvarlatılmış Bevelli Shoulder) Açık chamfer tipi preparasyon (Standart Chamfer) 45� açılı eğimle açık chamfer tipi preparasyon (Eğimli Chamfer)

Preparasyon tasarımları genel olarak horizontal (yatay; chamfer ve shoulder) ve vertikal (dikey; feather edge) bitiş çizgisi olarak iki grupta incelenebilir (şekil 2. 6). Her iki yöntemi de karşılaştırmak mümkün olduğunda vertikal tasarımların dezavantajları  ne çıkmıştır. Bu dezavantajlar arasında, düzensiz kenarlar, biyolojik genişlik bozulması, estetik görünüm eksikliği, epitelyal atamada hasar ve öngörülemeyen doku iyileşmesi, siman fazlalığının giderilmesinde zorluklar sayılabilir. Aynı şekilde vertikal tasarımlar zayıf marjinal adaptasyona ve restorasyonların aşırı konturlanmasına yol açar (Scutell , Weinstein vd. 2017). Buna karşılık horizontal preparasyon tasarımları, prepare edilen diş, ölçü ve model üzerinde daha belirgin hale gelirler. Bu yüzden restorasyonlar için düzgün kenarlar sağlarlar ve nihai restorasyonun daha iyi oturmasına yardımcı olurlar. Aynı zamanda

restorasyonun marjinal aralığını azaltır ve dişeti sulkusu içinde daha az tahriş edici bir ortam yaratır. Bu etkenler horizontal preparasyon tasarımlarından biri olan shoulder preparasyon tasarımının, akademik dünya tarafından altın standart olarak kabul edilmesine (Shillingburg, Hobo vd. 2003) ve klinik pratikte, klinisyenlerin genellikle horizontal tasarımları vertikal tasarımlara tercih etmesine sebep olmuştur (Comlekoglu, Dundar vd. 2009, Bonfanti - Gris, Pradies vd. 2024). Bunlarla birlikte eğimli shoulder, en invaziv bitiş çizgisi tasarımı olarak bilinirken, chamfer ve feather edge daha konservatiftir (Contrepois, Soenen vd. 2013).



Şekil 2. 6. Sırasıyla yatay (chamfer ve shoulder) ve dikey (feather edge) preparasyon teknikleri

2.1.2.3. Marjinal Adaptasyonun Değerlendirilmesinde Kullanılan Yöntemler

Literatürde birbirinden farklı marjinal adaptasyon ölçüm yöntemleri tanımlanmıştır (Schaefer, Watts vd. 2012) . Direk görüntüleme (DV) (Ng, Ruse vd. 2014) ve kesit alma yöntemleri (Guess, Vagkopoulou vd. 2014) verileri doğrudan elde edebilirken, silikon replika (SR) (Rahme, Tehini vd. 2008, Lee, Kim vd. 2017, Boitelle, Tapie vd. 2018) ve mikrobilgisayarlı tomografi (mCT) yöntemleri (Shin, Park vd. 2017, Riccitiello, Amato vd. 2018) aralıkları dolaylı olarak ölçer. Bilgisayar destekli diş hekimliğinin hızla gelişmesiyle birlikte, restorasyonların marjinal ve iç adaptasyonlarını ölçmek için dijital yöntemler önerilmiştir. Üçlü tarama (TS) (Dahl, Rønold vd. 2017) ve 3B süper yükleme analizi (3DSA) (Shin, Park vd. 2017) gibi yöntemler geleneksel tekniklere göre popülerlik kazanmaktadır. Dijital silikon

replika yaklaşımı, geleneksel silikon replika teknolojisini bilgisayar destekli konseptlerle birleştirir.

(i) Direkt ölçüm yöntemi: Bu yöntemde, siman aralığı veya siman miktarı, restorasyon simante edildikten ve uygun doğrultularda kesildikten sonra mikroskop altında ölçülür (Contrepolis, Soenen vd. 2013).

(ii) Optik koherens yöntemi: Optik koherens tomografi (OCT), tomografik görüntüleri oluşturmak için kısmen uyumlu bir ışık demeti kullanan tahribatsız bir görüntüleme yöntemidir. Bu yöntem manyetik rezonans görüntüleme ve ultrasonlardan farklıdır. OCT, iyonlaştırıcı olmayan radyasyon kullanır. Bu sayede daha iyi görüntü çözünürlüğü ve hızlı tarama imkanı sunar. Son zamanlarda yapılan araştırmalar, OCT'nin mine çatlakları, diş çürükleri ve periodontal problemleri tespit etmede etkili bir şekilde kullanıldığını göstermektedir (Kakizaki, Aoki vd. 2018, Al - Imam, Michou vd. 2019, Luong, Shimada vd. 2020, Bakhsh 2021).

(iii) Mikro-BT (X Ray Bilgisayarlı Mikro Tomografi Yöntemi): Mikro-BT görüntüleme, iyonlaştırıcı radyasyon kullanan bir transmisyon görüntüleme tekniğidir. Bu yöntemin temelinde radyasyon dalgalarının görüntülenen yapıdan geçmesi ve karşı tarafta bulunan dedektör tarafından kaydedilmesi işlemi yatmaktadır. Numune, çok küçük bir açıyla döndürülür. Bu sırada bir dizi projeksiyon radyografisi elde edilir ve bu işlem 180° veya 360°'ye kadar devam eder (Wang, Lin vd. 1993, Schambach, Bag vd. 2010). Elde edilen yüksek çözünürlüklü taramalar daha sonra bir yeniden yapılandırma algoritması (tipik olarak Feldkamp, Davis ve Kemp koni ışını yeniden yapılandırma algoritması) kullanılarak hesaplanır. Ardından hesaplamalar sayısallaştırılır (Wang, Lin vd. 1993, Rodet, Noo vd. 2004). İç yapıların görüntülenmesi, analiz edilmesi ve 3B modellerin yeniden yapılandırılmasına olanak sağlayan dilimlerden oluşan keşif yapısı görüntüleri yığınları bu şekilde elde edilmiş olur (Schambach, Bag vd. 2010). Ancak bu tekniğin kullanımının klinik ve laboratuvar çalışmalarıyla sınırlı kalmasının nedeni, yüksek radyasyon üretimi dezavantajına sahip olmasıdır (Sun, Eidelman vd. 2009, Schambach, Bag vd. 2010, Nazari, Sadr vd. 2013).

(iv) Kesit alma yöntemi (Cross-Sectioning Method): Bu yöntemde marjinal adaptasyonun bir göstergesi olarak siman boşluğuna karşılık gelen aralığın

mikroskop altında değerlendirilmesi mümkündür. Bu işlem için diş ve restorasyondan enine kesit alınması gereklidir (Beuer, Aggstaller vd. 2009) . Ancak, kesit alma tekniği tahribatlı bir yöntemdir. Aynı örnek üzerinden tekrarlanmaya olanak tanımadığı için yalnızca birkaç referans noktasının değerlendirilmesine izin verir. Kesit alma sırasında restorasyonun kırılmasına veya bozulmasına yol açabilir (Contrepolis, Soenen vd. 2013).

(v) Silikon Replika Tekniği: Hem in vivo hem de in vitro marjinal adaptasyonu değerlendirmek için yaygın olarak kullanılır. Tahribatsız bir yöntemdir. Bu yöntemde, diş yüzeyi ile restorasyonun iç yüzeyi arasındaki aralığı kaydetmek için hafif gövdeli bir polivinil siloksan ölçü materyali kullanılır (Reich, Uhlen vd. 2011, Colpani, Borba vd. 2013). Silikon replika tekniğinin avantajları güvenilir olması, teknik simantasyondan hemen önce marjinal aralığın doğru bir şekilde ölçülmesinin sağlaması, uygulamasının kolay ve ucuz olmasıdır (An, Kim vd. 2014) Dezavantajları ise restorasyonun kenarlarını belirlemenin zorluğu, restorasyonun çıkarılması sırasında silikon filmin yırtılması riski, kesit düzlemi hatası ve sınırlı referans noktası olmasıdır (Contrepolis, Soenen vd. 2013, Nawafleh, Mack vd. 2013).

(vi) Dijital Görüntü Analizi (DIAS): Dijital görüntü analiz dizisi (DIAS), yakın zamanda geliştirilmiştir. Oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Bu yöntem özellikle daha önce radyografik teknik ile karşılaşılan bazı sorunları ele alır. DIAS, uygulanabilir olmasına rağmen henüz değeri tam olarak kanıtlanmamıştır (Villias, Kourtis vd. 2021).

(vii) 3B Süper Yükleme Analizi (3DSA): Bu yöntem, birim yüzeydeki tüm alan için referans verileri ile tarama verileri arasındaki sapmayı ölçer ve böylece kesit sapmasını değerlendirir. Ayrıca, belirli bir konumdan sapma ve tüm alan üzerindeki enine kesitteki değişimler de ölçülmüştür (Geomagic Kullanıcı Kılavuzu ve Eğitimi, 3D Systems Inc., Rock Hill, SC) (Park, Bae vd. 2017).

(viii) Profil Projeksiyon Yöntemi: Örneklerin ölçümleri, görüntüyü büyütür x, y, z eksenlerinde ölçüm yapmayı sağlayan profil projektör cihazı kullanılarak yapılır. Yöntem simantasyon yapılmadan metal bir yüzey üzerinde gerçekleştirilir (Balkaya, Cinar vd. 2005).

(ix) Dijital Mikrometre: Bu teknikte marjinal adaptasyon, simantasyon öncesi ve sonrası restorasyonun oklüzal yüksekliği arasındaki fark üzerinden değerlendirilir (Nawafleh, Mack vd. 2013).

(x) Stereomikroskop: Diseksiyon mikroskobu (SM), gözlemcinin bir nesneyi üç boyutlu olarak görmesini sağlayan optik bir büyütme aracıdır. Mikroskopta farklı hedef odak noktaları ve göz mercekleri bulunur. Sol ve sağ gözlerden gelen benzersiz bakış açıları sayesinde stereoskopik bir görüntü oluşturur. SM, incelenen nesneden yansıyan ışığı kullanarak yüksek çözünürlükle analiz yapar (Wilson ve Wheeler 2006). Mikroskobik inceleme için doğru numune tanımlaması ve oryantasyonu büyük önem taşır. Numunelerin stereomikroskobik muayenesi, çıplak gözle görülemeyen ayrıntıları açığa çıkararak doğru yönlendirilmesine yardımcı olur. SM, stereoskopik bir etki sağlamak için yaklaşık 10° – 12° 'lik küçük açılarda eğimli görüntüleri algılayabilir. Stereomikroskoplar genellikle iki kategoriye ayrılır: Greenough ve CMO'lar (ortak ana hedef). Bu mikroskoplar sabit büyütme ve sürekli değişen yakınlaştırma gibi iki farklı kurulum sunar (Patel ve Patel 2024).

Stereomikroskopun üç ana bileşeni odaklama bloğu, gövde ve görüntüleme kafasıdır. Mikroskobun gövdesi ve görüntüleme kafası, optik bileşenlerin üst kısımda bulunduğu yerdir.

- 1- Odaklama bloğu: Mikroskobun kafasını standı sabitleyen ve odaklar.
- 2- Gövde: Mikroskobu yerinde tutar ve yerleşik aydınlatma içerir.
- 3- Görüntüleme kafası: Optik bileşenlerin üst kısımda bulunduğu yerdir.

Ek olarak optik parçalar: Göz merceği lensleri mikroskobun üst kısmında bulunur. Standart göz merceği x10 büyütme oranına sahiptir. İsteğe bağlı mercekle, x5 ila x30 güç aralığıyla birlikte gelir. Doğrudan objektif merceğin üzerinde bulunan mercekle tüpü, göz merceklerini yerinde tutar (Muthanandam, Santhadevy vd. 2024).

Ayrıntılı analiz için üç boyutlu bir bakış açısının gerekli olduğu karmaşık yüzey topografyasına sahip katı örneklerin kaydedilmesi ve incelenmesinde, stereomikroskop, makro fotoğrafçılığı geride bırakır (Muthanandam, Santhadevy vd. 2024). Stereomikroskop, yüksek çözünürlük ve derinlik algısı sağlayarak, karmaşık yüzeylerin daha ayrıntılı ve doğru bir şekilde incelenmesine olanak tanır, bu da makro fotoğrafçılıkla elde edilemeyen derinlik ve detayları sunar.

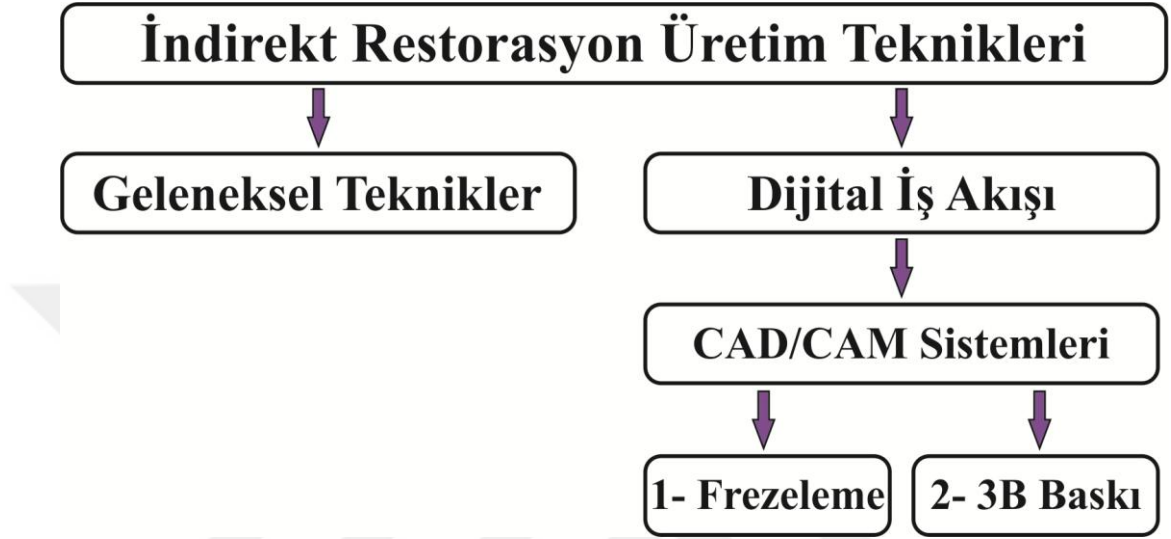
Bileşik ışık mikroskobu ile karşılaştırıldığında, bir stereomikroskop genellikle iletilen (diyaskop) aydınlatmaya kıyasla yansıyan aydınlatmayı kullanır. Bu yöntem, nesnenin yüzeyinden yansıyan ışığı kullanarak, çok yoğun veya çok opak olan nesnelerin incelenmesini sağlar. Bileşik mikroskoplar genellikle iletilen ışık kullanırken, bazı stereomikroskoplar hem iletilen hem de yansıyan ışıkla çalışabilme özelliğine sahiptir. Bu özellik, şeffaf olmayan örneklerin daha iyi incelenmesine olanak tanır ve genellikle nesnenin altına yerleştirilen bir ampul veya ayna yardımıyla sağlanır (Rayleigh 2004, Wollman, Nudd vd. 2015).

Stereomikroskoplar genellikle daha düşük büyütme sağlar, ancak bazı modeller, tipik bir bileşik mikroskopta x10 objektif ve x10 göz merceği ile elde edilen büyütmeyle eşdeğer olan $\times 100$ 'e kadar pratik bir büyütme kapasitesine sahiptir (Muthanandam, Santhadevy vd. 2024). Cihazın kullanımının kolay olması ve nispeten ucuz olması da avantajları arasındadır (Rastogi ve Kamble 2011).

Marjinal adaptasyonun değerlendirilmesinde restore edilmiş diş üzerinde belirli bir büyütme ile ve keskin bir orak uçlu sond kullanarak, diş hekimlerinin restorasyonları klinik ortamda değerlendirirken uyguladığı gibi, tüm marjinler boyunca düzenli marjinlerin yüzdesinin yarı kantitatif bir değerlendirilmesi stereomikroskop kullanılarak yapılabilir (Heintze, Monreal vd. 2015).

Geçen yüzyıl boyunca diş restorasyonları ve protezlerinin üretimi için farklı imalat yöntemleri kullanılmıştır. Ancak, bazı yöntemler klinik sınırlamalar veya prosedürlerin karmaşıklığı nedeniyle terk edilmiştir. Diş rengindeki restorasyonlar için kullanılan üretim teknolojileri genel olarak iki ana gruba ayrılabilir: geleneksel üretim teknikleri ve dijital iş akışı (Şekil 2. 7) (Alghauli ve Alqutaibi 2024). Dijital iş akışları hem hastalar hem de operatörler için daha rahat prosedürler sunar. Aynı zamanda daha doğru ve kaliteli restorasyonlar elde etmek amacıyla insan hatası sorununu ortadan kaldırmak için geliştirilmiştir (Alghauli ve Alqutaibi 2024). Kullanılan tüm tekniklerin, klinik olarak kabul edilebilir sınırlar içinde küçük tutarsızlıklar gösterdiğini belirtmek önemlidir. Bu da her iki tekniğin de öngörülebilir ve güvenilir diş restorasyonları üretme kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, dijital iş akışı sürekli olarak üstün sonuçlar vermiştir (Homsy, Özcan vd. 2018, Homsy, Özcan vd. 2018, Papadiochou ve Pissiotis 2018, Hanozin,

Li Manni vd. 2022, Ayres, Parize vd. 2023). Dijital iş akışları kapsamında CAD/CAM sistemleri yer almaktadır. Bu sistemin temelinde, bir bilgisayar kullanılarak sanal tedavinin üç boyutlu bir tasarımının oluşturulması ve bu tasarımın frezeleme veya baskı makineleri kullanılarak bilgisayar destekli üretiminin yapılması yer alır (Tallarico 2020).



Şekil 2. 7. İndirekt restorasyon üretim teknikleri

2.2 Geleneksel Üretim Teknikleri

İndirekt restorasyonlar, iyi bir yapıştırma kapasitesine sahip ve aynı zamanda posterior bölgedeki yüksek mastikasyon kuvvetlerine dayanabilen bir materyal gerektirir. Bu gereksinimlere dayanarak, sadece cam-seramik ve indirekt (hibrit) kompozit materyaller bu tür restorasyonlar için uygundur. Hem endokronlar hem de nonretantif restorasyonlar için, lityum-disilikat takviyeli cam seramikler, çok sayıda çalışmada yüksek sağkalım oranları gösteren en sık kullanılan materyal gibi görünmektedir (Belleflamme, Geerts vd. 2017, Politano, Van Meerbeek vd. 2018, Papia, Habib vd. 2020, Al-Dabbagh 2021, Vervack, Johansson vd. 2024). Reçine nanoseraamikler gibi hibrit monolitik materyaller, monolitik seramik restorasyonlara iyi alternatifler olarak önerilmiştir ve in vitro çalışmalarda üstün sonuçlar göstermeleri ile karşılaştırılabilir olma eğilimindedir (Magne ve Knezevic 2009, Magne, Schlichting vd. 2010, El-Damanhoury, Haj-Ali vd. 2015, Naumova, Schneider vd. 2017, El Ghoul, Özcan vd. 2019, Sedrez-Porto, Münchow vd. 2020). Önceki çalışmalar, bu materyallerin yorulma direnci testlerinde seramikten daha iyi

performans sergilediğini ve eğilme mukavemeti, sertlik ve elastikiyetlerinin dentin özelliklerine en çok benzediğini ortaya koymuştur (Lawson, Bansal vd. 2016). Ayrıca, antagonist aşınmasının monolitik seramiklere kıyasla daha az belirgin olduğu görülmektedir (Kassem, Atta vd. 2012, El-Damanhoury, Haj-Ali vd. 2015, Lawson, Bansal vd. 2016).

Geleneksel üretim teknikleri için kullanılan indirekt kompozit restorasyonlar birinci ve ikinci nesil olmak üzere ikiye ayrılır. Birinci nesil indirekt kompozit restorasyonlar 1980'lerde tanıtılmıştır. Ancak klinik çalışmalarda başarısızlık göstermiştir. İkinci kütlemelerine rağmen, düşük seviyelerde eğilme mukavemeti (60-80 MPa) ve elastik modül (2-3.5 GPa), %50'den fazla reçine hacmi ve daha yüksek aşınma seviyeleri sergilemişlerdir (Peutzfeldt 2001). Bu teknikler restorasyonu laboratuvarında imal etmek için bir ölçü gerektirir ve ayrıca polimerizasyon için geleneksel ışııkla ve ısıyla sertleştirme teknikleri kullanılabilir. Bu malzemeler gelişmiş fiziksel özelliklere, aşınmaya karşı direnç ve daha yüksek bir polimerizasyon derecesine sahiptir. Prepare edilen dişte polimerizasyon büzülmesi meydana gelmez, bu nedenle indüklenen gerilmeler azalır ve bu da sızıntı potansiyelini azaltır. Birinci nesil indirekt kompozitlerin dezavantajlarının üstesinden gelmek için, 1990'ların başında, hacimce yaklaşık % 66 dolgu maddesi içeren mikrohibrit kompozitler ikinci nesil indirekt kompozitler olarak tanıtıldı. Bu, 120-160 MPa aralığında eğilme mukavemeti ve 8.5-12 GPa elastik modül ile gelişmiş mekanik özelliklerle sonuçlandı (Miara 1998, Azeem ve Sureshbabu 2018).

Ancak bu teknikler aşamaların fazla oluşuyla birlikte birçok dezavantajı beraberinde getirmiştir. Geleneksel yöntemler olarak da adlandırılan bu teknikler daha fazla zaman alıcıdır ve ekstra maliyet ve randevular gerektirir. Bu durumlar hasta istekleri ve bütçesi dışında olabilir (Angeletaki, Gkogkos vd. 2016).

2.3. Dijital İş Akışları

Diş hekimliği alanında dijital iş akışları genel olarak CAD/CAM sistemleri olarak adlandırılabilir. Bu sistemler frezeleme sistemleri (eksiltmeli üretim) ve 3B baskı sistemleri (eklemeli üretim) olarak ikiye ayrılmaktadır.

2.3.1. Frezeleme Sistemleri (Eksiltmeli Üretim)

İndirekt restorasyonların üretiminde uzun yıllar kullanılan geleneksel yöntemlerin dezavantajlarını gidermek için, son yıllarda frezeleme sistemleri büyük popülerlik kazanmıştır. Frezeleme sistemleri üç temel bileşenden oluşur: (1) Veri toplama ve sayısallaştırma, (2) Veri işleme ve tasarım ve (3) Üretim.

Bu yöntem kullanılarak inleyler, onleyler, overlaylar, kuronlar, sabit bölümlü protezler, implant abutmentleri ve hatta tam ağız rekonstrüksiyonları üretilebilir (Suganna, Kausher vd. 2022). Bu sistemler aynı zamanda yüksek kaliteli restorasyonların üretilmesinde geleneksel yöntemlere bir alternatif sunar ve bu sayede zamandan ve maliyetten tasarruf sağlar (Chabouis, Faugeron vd. 2013). CAD ve üretim, 1960'larda otomobil ve havacılık endüstrilerinde kullanılmak üzere geliştirildi ve 1980'lerde CAD-CAM teknolojisi diş hekimliği alanında kullanılmaya başlandı (Goodacre, Garbacea vd. 2012). 1989 yılında Almanya'da Mormann & Brandestinni tarafından diş hekimliğine tanıtılan teknoloji, diş hekiminin tek bir randevuda bir veya birden fazla seramik restorasyonu hasta başında tamamlamasını sağlamak üzere geliştirilmiştir (Moörmann 2006).

Frezeleme sistemleri, katı cisimlerin diş hekimliğinde frezeleme veya taşlama ile üretilmesini sağlar. Bu nedenle bu sistemler frezeleme sistemleri veya eksiltmeli üretim olarak da adlandırılmaktadır. Restoratif diş hekimliğinde devrim yaratan bu sistemler tek bir randevuda doğrudan hasta başında restorasyonların üretilmesini sağlamıştır. Basit gibi görünse de, bu teknolojinin iş akışı hala bazı engeller içermektedir. Dolayısıyla, ağız içi tarama cihazı kullanarak dişleri veya implantları doğrudan ağız boşluğunda doğru yakalamak her durumda henüz mümkün değildir (Patzelt, Spies vd. 2015).

Diğer bir yandan frezeleme sistemleri başlangıçta iki boyutlu (2B) olan ve sonrasında üç 3B CAD dosyalarına entegre edilen ve bu dosyalarla aracılığıyla malzemenin kaba işlenmesi veya kesilmesi sürecidir (Torreblanca Díaz 2016). Bu süreçte makinenin ekstra yatırımları, küçük laboratuvarların bütçelerini aşabilmektedir. Ek olarak, yazılım ve üretim prosedürleri nedeniyle bazı uygulamalarda sınırlamalar bulunmaktadır. Frezeleme sistemlerin uygulanmasında

maliyet, büyük bir sorun olarak varlığını sürdürmektedir (khulaif AlRashdi, Al Mutairi vd. 2020).

Frezeleme sistemlere alternatif olarak, eklemeli üretim veya 3B baskı, daha özelleştirilmiş restorasyonlar sunmanın yanı sıra üretim verimliliği, standardizasyon ve doğruluğu da amaçlamaktadır (Moldovan, Luthardt vd. 2011, Kirsch, Ender vd. 2017, Revilla-León, Methani vd. 2020). 3B baskı sistemleri, frezeleme sistemlerin bazı sınırlamalarını aşmak için umut verici bir seçenek sunmaktadır. Bu yöntemler, donanım yatırımı ve genel üretim maliyetleri açısından daha ekonomiktir. Ayrıca, frezeleme işleminde kullanılan diskin veya bloğun israf edilen malzemesinin kaybını engeller. 3B baskı sistem teknikleri arasında toz yatağı füzyonu (PBF), kaynaşmış biriktirme modellemesi (FDM) ve ışıkla sertleştirme gibi çeşitli teknolojiler bulunmaktadır. (Katreva, Dikova vd. 2016, Della Bona, Cantelli vd. 2021, Schweiger, Edelhoff vd. 2021, Tian, Chen vd. 2021). Tüm bu avantajlar sayesinde, 3B baskı sistemleri teknolojisi kullanılarak restorasyonların üretilmesine olan ilgi giderek artmaktadır. Bu, ölçü almadan, geçici restorasyonlara gerek kalmadan veya dış laboratuvarı desteği gerektirmeden, tek bir randevuda tarama, tasarlama ve üretim imkanı sunar. Ayrıca, endüstriyel olarak üretilen bloklar, direkt restorasyonlar için kullanılan malzemelere kıyasla daha homojen olup, daha yüksek içsel dayanıklılığa sahiptir (Elmoselhy, Hassanien vd. 2024).

2.3.2. 3B Baskı Sistemleri (Eklemeli Üretim)

3B baskı sistemleri teknolojilerinin ortaya çıkışı, bir üretim devrimi olarak kabul edilmektedir. 20. yüzyılın sonlarında daha yaygın hale gelen eklemeli üretim olarak bilinen 3B baskı, dijital ortamda 2B kesitlere dilimlenmiş 3B CAD modellerinden malzeme biriktirerek nihai ürünleri oluşturur. Bu işlem, her seferinde nokta nokta, satır satır veya katman katman malzeme eklenerek, aşağıdan yukarıya doğru gerçekleştirilir (Hull 1986). 3B baskı teknolojisinin temelinde bir nesnenin bir 3B CAD dosyası içinde ayrıntılı olarak temsil edilmesi yatmaktadır. Nesne STL dosyası formatında kodlanır. Bu format, her üçgen köşeleri ve yüzeyi normal olan 3B nesnelerin yüzeyini tanımlamak için üçgenleme veya mozaikleme dili kullanır. Üçgen yüzeylerin sayısını artırmak, nesnenin yüzey temsiline çözünürlüğünü artırır (Kessler, Hickel vd. 2020, Aktaş ve Ciftci 2024). Farklı ölçeklerde ve bir dizi

malzeme ile, hemen hemen her tür geometrik olarak karmaşık şekli veya özelliği oluşturma yeteneğine sahip olan 3B yazıcıların piyasaya sürülmesi, daha önce kalıplama, şekillendirme ve işleme gibi pahalı ve zaman alıcı yöntemlere dayanan prototipleme ve üretim süreçlerinde devrim yaratmıştır. Prototip üretimindeki geniş uygulama alanı nedeniyle, bu teknoloji genellikle hızlı prototipleme olarak da adlandırılmaktadır. Hızlı prototipleme terimi, tekniği tanımlamak için sıklıkla kullanılmaktadır (Rengier, Mehndiratta vd. 2010, Low, Chua vd. 2017). Eklemeli üretim tekniğini tanımlamak için daha genel bir terim mevcut olsa da, 3BB (3B baskı) terimi zamanla daha popüler hale gelmiştir ve şu anda stereolitografi (SLA), sinterleme ve ekstrüzyon tabanlı işlemler gibi daha geniş bir teknik yelpazeyi kapsayacak şekilde genişlemiştir (Crump 1992). Eklemeli üretim, 3 boyutlu baskı ve prototipleme terimlerinin üçü de literatürde halen kullanılmaktadır.

2.3.3. 3B Baskı Sistemlerin Tarihçesi

Son yıllarda, karmaşık 3B yapıları doğrudan bilgisayarda oluşturabilen 3B baskı teknolojisinin yükselişi dikkat çekici bir şekilde artmıştır (Gao, Pan vd. 2024). 1986 yılında Charles (Chuck) Hull, ilk SLA türü 3B baskı teknolojisini tanıtarak bu alanda önemli bir adım atmıştır (Park, Kim vd. 2024). Aynı yıl, Charles Hull 3B Sistemler'i kurmuştur. Ardından 3B nesnelerin baskısı için dosyaları iletmek üzere CAD yazılımıyla elektronik bir el sıkışmasını tamamlayacak olan STL dosya formatını geliştirmiştir. Hull ve 3B Sistemleri, 'Stereolitografi Cihazı' olarak adlandırılan ilk 3B yazıcıyı ve genel halka sunulan ilk ticari 3B yazıcı olan SLA-250'yi geliştirmeye devam etmiştir (Gross, Erkal vd. 2014). Bu teknoloji tıp da dahil olmak üzere çeşitli alanlarda uygulanmaya başlamıştır. 1990'larda, Scott Crump Kaynaşmış Biriktirme Modellemesi teknolojisi için patent almıştır ve Seçici Lazerle Sinterleme (SLS) teknolojileri tanıtılmıştır. Bu sayede 3B baskı yapılabilecek malzemeler ve uygulamaların yelpazesi genişlemiştir. 3B baskı teknolojisinin evrimi, sürekli olarak şekillenmiştir ve bunda hassasiyet, hız ve çok yönlülük arayışı etkili olmuştur. Bu arayış zamanla çeşitli baskı teknolojilerinin ortaya çıkmasına yol açmıştır (Jeyaraj ve Narayanan 2024).

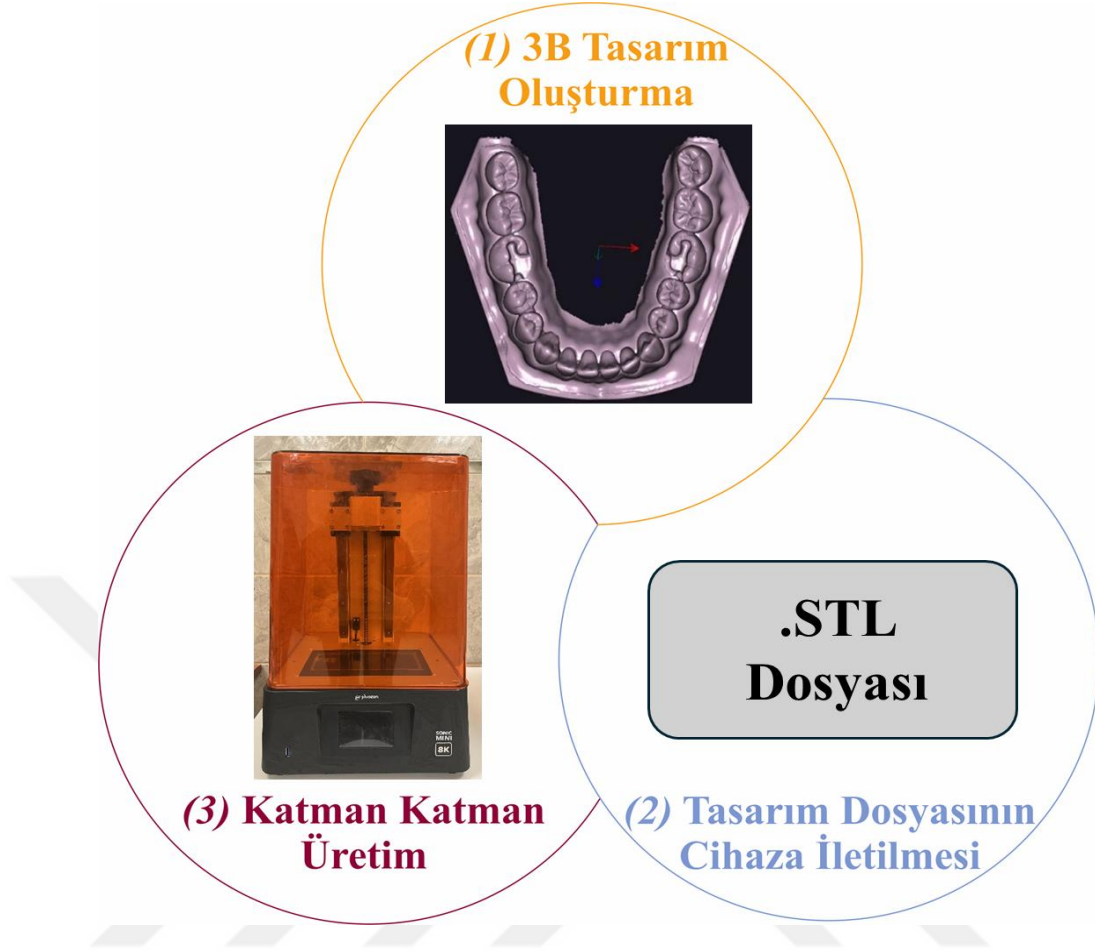
2009 yılında kaynaşmış biriktirme modelleme süreci için patentin sona ermesiyle birlikte 3B baskı ve yazıcılar tüketici sektörüne giriş yapmıştır. Bu gelişme

sonunda 3B baskı teknolojisi diş hekimliği sektörüyle buluşmuştur. Baskı üniteleri daha küçük ve daha ucuz hale geldikçe uygulama alanları da çeşitlenmiştir. Yazdırılabilir malzeme yelpazesi plastik, metal, seramik ve hatta insan dokusu gibi çeşitli materyalleri kapsayacak şekilde genişlemiştir. Genişleyen bu malzeme yelpazesi sayesinde 3B baskı süreçleri, kullanılan malzeme türüne göre kategorize edilebilir bir hale gelmiştir. Bu malzeme türleri plastikleri, metalleri veya tozları içermektedir (Schweiger, Edelhoff vd. 2021).

Birbirinden farklı 3B baskı üretim süreçleri, katmanları çeşitli şekillerde oluşturmasına ve birleştirmesine rağmen, her metodoloji temel olarak üç adımdan oluşur (Revilla - León, Meyers vd. 2019) **(Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.):**

Bunlar;

1. Bir bilgisayar ortamında bir 3B tasarım oluşturmak ve bunu geleneksel bir 3B baskı programlama diline veya mevcut 3B baskı dosya formatına dönüştürmek.
2. Üretilen tasarım dosyasının, üretilecek objenin konumlandırılması, ayarlanması ve boyutlandırılması gibi ayarlamaların yapılması için 3B baskı teknolojisini kullanan bir cihaza iletilmesi.
3. Tasarlanan nesnenin katman katman üretimi (Özberk ve Karakaya 2024)

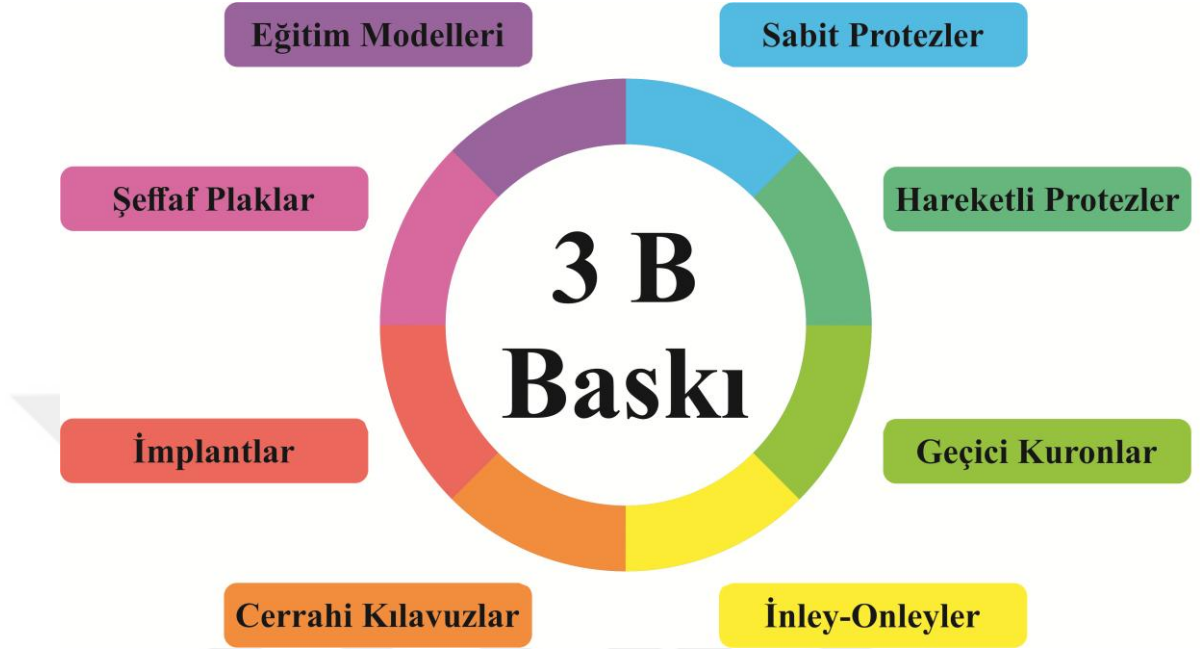


Şekil 2. 8. 3B baskı sistemleri üretim süreci

2.3.4. 3B Baskı Sistemlerin Diş Hekimliğinde Kullanım Alanları

3B baskı teknolojisi, havacılık, savunma, sanat, tasarım, mimari, mühendislik, tıp, diş hekimliği gibi pek çok farklı alanda, bireylerin tasarımlarını kişiselleştirmesine ve üretmesine olanak tanıyarak umut verici bir teknoloji olarak ortaya çıkmaktadır (Jawahar ve Maragathavalli 2019). Bu teknoloji tıp alanında eğitim, öğretim ve araştırma amaçlı olarak, tedavi ve cerrahi planlama için daha doğal görünümlü modeller oluşturmada faydalı olmuştur. Teknolojideki son gelişmelerle birlikte, diş hekimliğinde de 3B baskı teknolojisi, çeşitli tedavi yöntemlerinde kullanılmaya başlanmıştır (Jawahar ve Maragathavalli 2019) (**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**). Özellikle geçici veya daimi kuron/köprü, çerçeve, model üretimi gibi protez, cerrahi, endodontik, restoratif ve model, kişisel cihaz üretimi gibi ortodonti alanlarında birçok uygulamada tercih edilmektedir (Krey, Ratzmann vd. 2018, Xia, Li vd. 2018, Rekow 2020). Ayrıca 3B baskı teknikleri,

dental materyallerin gelişmesine ve doku mühendisliğindeki yeniliklere paralel olarak rejeneratif uygulamalarda tercih edilen bir teknoloji olarak ortaya çıkmaktadır (Amrollahi, Shah vd. 2016, Roseti, Parisi vd. 2017, Tamay, Dursun Usal vd. 2019).



Şekil 2. 9. Diş hekimliğinde 3B baskı sistemlerin kullanım alanları

2.3.4.1. Oral ve Maksillofasial Cerrahi

3B baskı teknolojisi oral ve maksillofasial cerrahi alanında, cerrahi tedavi, planlama ve simülasyon amacıyla anatomik modeller oluşturmak için kullanılabilir. Bu modeller, cerrahın ameliyatı gerçekleştirmeden önce karmaşık yapılar hakkında detaylı bir genel bakış elde etmesini sağlar. Böylece cerrahın daha hassas ve etkili bir müdahale yapılmasına olanak tanır (Zaharia, Gabor vd. 2017). 1990'ların başında Anderl ve arkadaşları, CT (bilgisayarlı tomografi) kılavuzluğunda SLA kullanarak, 8 aylık bir bebekte geniş orta hat kraniyofasiyal yarığın cerrahi olarak düzeltilmesinde preoperatif tedavi planlaması ve intraoperatif yönetime olanak sağlayan akrilik bir model üretmişlerdir. Bu, cerrahların tedavi sürecinde daha doğru ve etkili bir yaklaşım geliştirmelerine yardımcı olmuştur (Anderl, Zur Nedden vd. 1994). 3B baskı teknolojisi kullanılarak delme veya kesme kılavuzları üretilmiştir. Bu sayede hızlandırılmış, daha az invaziv ve daha öngörülebilir tedaviler yapılabilirken cerrahların daha doğru ve güvenli bir şekilde işlem yapmaları sağlanır.

Bunlarla birlikte iyileşme süreci hızlanır ve komplikasyon riskleri azalır (Sanna, Molly vd. 2007, Tardieu, Vrielinck vd. 2007).

2.3.4.2. İmplantoloji

3B baskı teknolojisinin kullanımı implant diş hekimliğinde giderek popülerlik kazanmaktadır (Nayar, Bhuminathan vd. 2015). Konvansiyonel implantların kullanılmadığı durumlarda, 3B baskı teknolojisi kullanılarak üretilmiş, kişiye özel subperiostal implantlar tercih edilebilir. Bu tür implantlar, ekstra bir oral donör doku veya kemik gereksinimini ve allogreft kullanımını ortadan kaldırır ve 3B baskı teknolojisi daha verimli ve kişiselleştirilmiş tedavi çözümleri sunar (Jawahar ve Maragathavalli 2019). Bununla birlikte, 3B baskı teknolojisi ile karmaşık dental implant gruplarının üretilmesi mümkündür. Tek başına frezeleme ile üretilmeyen kemik benzeri morfolojiler gibi karmaşık geometriler oluşturma yeteneğine de sahiptir (Dawood, Marti vd. 2015).

2.3.4.3. Ortodonti

Şeffaf plakların üretiminde 3B baskı teknolojisi kullanımının bir örneği, şeffaf plakların kalıplanması için diş modellerinin 3B baskısıdır. Bu modellerin kullanımı, ölçü alma sırasında meydana gelen geometrik yanlışlıklar gibi hataların en aza indirilmesine yönelik ilk adımdır. Böylece, tedavi sürecinde verimlilik, daha hassas ve doğru diş plaklarının üretilmesiyle artar (Jindal, Juneja vd. 2019). 3B baskı teknolojilerinin ortodonti alanında yüksek doğruluk, daha kısa teslim süreleri ve daha düşük maliyetler gibi faydaları vardır. Ayrıca, frezeleme sistemlerine kıyasla önemli ölçüde daha az atık üretir. Daha sürdürülebilir bir üretim süreci sunar. Bu avantajlar 3B baskı teknolojisini çeşitli endüstrilerde tercih edilen bir teknoloji haline getirmektedir (Peeters, Kiratli vd. 2019).

2.3.4.4. Endodonti

Endodonti alanında 3B baskı teknolojileri endodontik erişim kılavuzları, cerrahi kılavuzlar, eğitim modelleri üretimi, ototransplantasyon ve klinik simülasyon amacıyla kullanılmaktadır (Anderson, Wealleans vd. 2018). Endodontik cerrahi bölgenin cerrahi öncesi bir modelini oluşturmak için, hastanın tedavi bölgesinin CBCT (Cone Beam Bilgisayarlı Tomografi) tarama görüntüsünü 3B olarak yazdırmak için DICOM (Tıpta Dijital Görüntüleme ve İletişim) dosyasının

stereolitografi dosyasına dönüştürülmesi gerekir. Bu dosya dönüştürme işlemi, piyasada bulunan çeşitli yazılım uygulamaları aracılığıyla gerçekleştirilebilir. Dosya bir stereolitografi dosyasına dönüştürüldükten sonra, 3B yazıcıya gönderilebilir. Baskı süresi, üretilmekte olan cerrahi modelin boyutuna bağlı olarak değişecektir. Cerrahi öncesi modeli oluşturmak için kullanılan malzeme genellikle plastik olup, bu malzeme cerrahın modele dokunmasına, hissetmesine ve görselleştirmesine olanak tanır. Cerrahi öncesi modelin klinik avantajı, diş hekiminin ameliyat alanını in vivo gibi gerçek bir 3B model üzerinde daha doğru bir şekilde gözlemleyip planlama yapabilmesidir (Bahcall 2014).

2.3.4.5. Protetik Diş Hekimliği

Çeşitli diş hekimliği uzmanlık alanlarında, protezlerin 3B baskı teknolojisindeki gelişmelerden önemli faydalar sağladığı görülmektedir. Bu, özellikle hem sabit hem de hareketli protez üretiminde belirgindir ve artık tamamen dijital bir iş akışı ile sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Bu dijital iş akışı, hassas ve iyi oturan protezlerin üretilmesini sağlar. Polimerlerin, geçici kuronlar, protez tabanları ve yapay dişler gibi diş hekimliğinde kullanılan ürünlerin üretimi için çok uygun bir materyal olduğu kanıtlanmıştır (Dimitrova, Vlahova vd. 2023).

2.3.4.6. Pediatrik Diş Hekimliği

Pediatrik diş hekimliğinde 3B baskı teknolojisinin kullanım sıklığı giderek artmaktadır. Kullanım alanları arasında eğitim ve master modelleri, yer tutucular, protetik restorasyon üretimi, splint tasarımı ve kırık tedavisi, otojen diş nakli ve flor uygulamaları yer almaktadır.

CBCT taramalarından elde edilen dijital verilerle oluşturulan pediatrik hastaların kök kanal mimarisinin 3B baskılı modelleri, özellikle karmaşık kök kanal vakalarında veya apikalektomi gibi cerrahi endodontik prosedürlerde tedavi planlaması ve erişim hazırlığı açısından paha biçilmez bir araç olabilir (Byun, Kim vd. 2015, Van Der Meer, Vissink vd. 2016). Gelişen teknolojiyle birlikte, pediatrik diş hekimliğinde odak noktası, 3B baskı teknolojisinin çok önemli bir rol oynadığı rejeneratif endodonti olmaya başlamıştır. 3B baskı teknolojisi, kök hücrelerin teslimini, biyouyumlu pulpa iskeletlerinin üretimini ve trombosit zengin plazma için taşıyıcı membranların oluşturulmasını kolaylaştırarak, tedavi süreçlerini daha

etkili ve yenilikçi hale getirecektir. Bu teknolojiler, dişlerin onarılması ve rejenerasyonu için büyük bir potansiyel sunmaktadır (Aktaş ve Ciftci 2024).

Piyasada ticari olarak mevcut florür formülasyonlarında sınırlamalar vardır. 3B baskı teknolojisi bu sınırlamalara potansiyel bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır. Bu teknoloji, florür formülasyonlarının özelleştirilmesine olanak tanır. İnce bir film oluşturarak diş yüzeyine uygulanabilmeyi kolaylaştırır. Bu ince film, florürü yavaşça serbest bırakarak uzun süreli etkinlik sağlayan bir kaplama tabakası görevi görür. Bu şekilde dişlerdeki florür korumasını daha etkili bir şekilde sürdürür (Aktaş ve Ciftci 2024).

2.3.4.7. Restoratif Diş Hekimliği

Restoratif diş hekimliği, hasarlı veya çürümüş dişlerin form, fonksiyon ve estetiğini geri kazandırmaya odaklanır. Kuronlar, inleyler ve onleyler gibi diş renginde indirekt restorasyonların geleneksel yöntemlerle oluşturulması uğraştırıcı ve zaman alıcıdır. Bu süreç genellikle birden fazla hasta randevusu ve uzun laboratuvar çalışması gerektirir. Bu nedenle, daha hızlı ve verimli yöntemler, restoratif diş hekimliğinde giderek daha fazla tercih edilmektedir (Rekow 2020, Kihara, Sugawara vd. 2021, Watanabe, Fellows vd. 2022).

Diş restorasyon prosedürleri için 3B baskı teknolojisi, yeni bir verimlilik ve hassasiyet çağını başlatarak diş hekimliği profesyonelleri için, kavite preparasyon alanlarının dijital olarak taranarak ve CAD yazılımı kullanılarak, minimum geri dönüş süresiyle son derece özelleştirilmiş restorasyonlar tasarlanıp üretilir. Bu teknoloji, daha hızlı, daha hassas ve kişiye özel tedavi çözümleri sunarak diş hekimliğinde devrim yaratmaktadır (Revilla-León, Besné-Torre vd. 2019). Ayrıca, dişe tam olarak uyumlu restorasyonların oluşturulmasını kolaylaştırarak hasta konforunu ve uzun vadeli sonuçları iyileştirebilir. Ayrıca, 3B baskı, diş hekimliği eğitiminde diğer alanlarda olduğu gibi restoratif diş hekimliğinde de önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu teknolojilerin anatomik olarak doğru dental modeller üretme yeteneği, öğrencilerin uygulamalı öğrenme deneyimlerini geliştirmesine katkı sağlar. Yine bu teknoloji klinik becerilerin uygulanması ve iyileştirilmesi için somut bir platform sağlarken, eğitim sonuçlarını iyileştirmekle kalmaz, aynı

zamanda öğrencileri gerçek dünyadaki klinik senaryolara daha iyi hazırlar ve onları daha donanımlı hale getirir (Liu, Liang vd. 2024).

Diş hekimleri için ön bölgede estetiğin sağlanması oldukça önemlidir. Hastaların ön bölgedeki estetik beklentileri oldukça yüksektir ve diş hekimlerinin bu beklentiyi karşılaması gerekmektedir. Bu estetik beklentilerin karşılanmaması hasta-hekim iletişiminde eksiklikler ile işlem sonunda elde edilecek görünümle ilgili hasta endişelerini beraberinde getirmektedir. Devamında hastaların memnuniyetsizliğine ve tedavi sürecinde güven kaybına yol açabilir. Bunun önüne geçmek için tedavi sürecinde ve tedavi bitiminde hasta beklentilerinin hasta ile açık bir iletişim kurularak net bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir (Segundo, Saraiva vd. 2023). Dijital teknolojilerin gelişmesiyle birlikte ağız içi taramalar anlık olarak bilgisayar ortamına aktarılabilir. Aktarılan bu veriler CAM tasarım yazılımları aracılığıyla hastanın yüz fotoğrafları veya 3B yüz taramaları ile üst üste getirilip karşılaştırma yapma ve değerlendirme fırsatı sunar. Bu gelişmeler planlanan restorasyonların tasarım adımında dijital wax-up uygulamalarının sıklıkla tercih edilmesini sağlamıştır. Bu uygulamalar sayesinde, hastaların estetik beklentileri daha doğru bir şekilde karşılanır. Hastaya daha iyi bir tedavi sonucu sunarak hasta-hekim iletişimine katkı sağlar. Dijital wax-up uygulaması, tedavi planının görselleştirilmesine olanak tanır. Bu da hem diş hekimi hem de hasta açısından daha başarılı bir tedavi olmasını sağlar (Silva, Stanley vd. 2020). Son zamanlarda 3B baskı teknolojisi kullanılarak yeni bir tasarıma sahip 3B baskılı sert doku hazırlama kılavuzları geliştirilmiştir. Bu gelişme silikon indekslerin bazı sınırlamalarını aşmayı mümkün kılıp, dişleri görselleştirme yeteneğini geliştirmiştir. Estetik ön bölge restorasyonlar bazı durumlarda multidisipliner tedavi protokolleri gerektirir. Bu tedavi protokolleri sırasında kullanılması amacıyla 3B baskı teknolojisi kullanılarak kuron uzatma kılavuzlarının üretilmesi mümkün hale gelmiştir. Kuron uzatma kılavuzları, sert ve yumuşak dokular arasındaki uyumun sağlanarak yüz estetiğinin iyileştirilmesi amacıyla periodontal cerrahi basamağında kullanılabilir. Bu gelişmeler tedavi sonuçlarını iyileştirir. Hassas ve kişiselleştirilmiş bir tedavi süreci sunar (Silva, Stanley vd. 2020, Segundo, Saraiva vd. 2023).

2.3.5. 3B Baskı Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları

3B baskı sistemleri temel olarak iki özelliğe sahiptir. Bunlardan ilki alet ve işleme olmadan tasarım verilerinden gerçekçi ürüne doğrudan imalattır. İkincisi alt bölümden üst bölüme kadar eklemeli ve katman bazında işlemedir. Geleneksel üretim yöntemleriyle karşılaştırıldığında daha esnek ve özelleştirilebilir bir üretim sunar (Quan, Wu vd. 2015). Bu özellikler sayesinde 3B baskı sistemlerin sahip oldukları avantajlar şunlardır:

1. 3B baskı sistemler ile üretim esnek bir süreçtir. Bu özellik sayesinde 3B baskı sistemler kullanılarak karmaşık şekilli nesnelerin imalatı mümkün hale gelir (Derby 2012, Sun, Wei vd. 2013, Seepersad 2014). Çok karmaşık ve detaylı geometrileri, iç yapıları veya serbest formları kolayca üretebilir. Bunun nedeni katman katman malzeme ekleyerek çalışmasıdır. Bu, özellikle prototip üretimi, özelleştirilmiş parçalar ve yüksek hassasiyet gerektiren uygulamalarda büyük avantaj sağlar. Ayrıca, üretim süreci sırasında tasarım üzerinde bir değişiklik yapmak istendiğinde değişiklikler kolaylıkla uygulanabilir (Quan, Wu vd. 2015).

2. 3B baskı sistemleri ile üretimde adım sayısı azdır ve el emeği gerektirmez. Bu özellikler bu sürece yüksek doğruluk payı özelliğini kazandırır. Bu sayede, insan hataları en aza indirilir. Daha tutarlı ve hassas sonuçlar elde edilir (Hazeveld, Slater vd. 2014, Brown, Currier vd. 2018).

3. Geleneksel ölçü alımında kullanılan alçı veya silikon gibi materyaller uzun süre ağızda kalabilir ve genellikle öğürme refleksini tetikler. Ancak 3B baskı sistemlerinde geleneksel ölçü yöntemlerinin kullanılması gerekmez. Dijital ağız içi tarama teknikleri kullanılarak hastalara daha hızlı, konforlu ve rahat tedavi süreci sunar. Dijital ağız içi tarama işlemi esnasında, hastanın ağzına kamera benzeri bir cihaz yerleştirilir. Bu süreç çoğu zaman kısa bir süre içinde tamamlanır. Ayrıca, bu işlemde herhangi bir fiziksel baskı yapılmadığı için, hastalar daha az rahatsızlık hisseder ve işlem sonrası iyileşme süreci daha hızlı olabilir (Suese 2020). Bu üstün özelliklere rağmen geleneksel ve dijital süreçler arasındaki zaman farklarının hala araştırılmasına ihtiyaç vardır. Bu zaman farkı üreticinin yetkinlik kazanma sürecine ve yazıcı kapasitesinin verimli yönetilmesine bağlıdır. Örneğin, büyük bir yapı platformu, her baskı döngüsünde daha fazla model üretmek üretkenliği artırabilir (Cousley 2020).

4. Üretim sürecinin otomasyonu ve katman katman yığma, infüzyon ve kürlleme gibi bazı üretim adımlarının ortadan kaldırılması, daha verimli bir süreç sunar (Lewis 2006, Ahn, Duoss vd. 2009, Adams, Duoss vd. 2011, Campbell ve Ivanova 2013, Campbell 2014). Bu şekilde iş akışında hem zamandan hem de iş gücünden tasarruf edilir (Quan, Wu vd. 2015).

5. Genellikle yapısal karmaşıklıkla birlikte gelen fonksiyonel özelliklerin entegrasyonunu kolaylaştırır (Zheng, Lee vd. 2014).

6. Üretim esnasında ya da sonrasında, atık oluşturmaz (Van Noort 2012).

7. Model baskısından önce, tarama aşaması esnasında yüzey verilerinin yetersiz alınmasından kaynaklanan kusurları belirler. Daha sonrasında bu kusurların düzeltilmesine olanak tanır (Cousley 2020).

8. 3B baskı sistemlerin bir diğer avantajı dijital tasarım dosyası oluşturulduktan sonra, tasarımcı bu dosyayı internet üzerinden dünyanın herhangi bir yerine gönderebilir. Aynı şekilde cihazın kullanım alanında uygulamaya konulmasını sağlayabilir (O'Neil 2020).

9. 3B baskı sistemleri üretim tekniklerinden olan SLA ve DLP (dijital ışık işleme) yazıcılar, yüksek çözünürlükleri ve katman bazında hassasiyetleri sayesinde, özellikle diş hekimliği gibi alanlarda, yüksek kaliteli alçı diş modellerine benzer doğruluk seviyeleri sunar. Bu teknolojiler, hızlı prototipleme ve kişiye özel üretim süreçlerini optimize ederler. Son derece detaylı ve doğru modellerin oluşturulmasına olanak tanırırlar (Hazeveld, Slater vd. 2014, Brown, Currier vd. 2018).

Tüm bu avantajların yanı sıra 3B baskı sistemleri bazı dezavantajlara da sahiptir. SLA ve DLP yazıcıların kullanıldığı üretimlerde sadece ışıkla sertleşen sıvı polimerler kullanılabilir. Bu teknolojiler, sınırlı raf ve kullanım ömrüne sahiptir aynı zamanda yüksek maliyetlidir (Zaharia, Gabor vd. 2017). Yine aynı şekilde bu tekniklerde baskı sonrası yıkama ve kürlleme aşamalarına ihtiyaç vardır. Bu da üretim süresinin uzamasına neden olur. Bu sistemlerin diş hekimliğine yeni giriş yapması nedeniyle diş hekimliği personellerinin bu yeni teknolojiye aşina olabilmesi ve beceri kazanabilmesi için zamana ihtiyaç vardır. Bu nedenle, dijital bir iş akışının tanıtılması, personel eğitimi için klinik kesinti süresi ve öğrenme aşamasında muhtemelen daha yavaş üretim hızları gerektirir. Birçok diş hekimliği kliniğinde 3B baskı sistemlerine geçiş, 3B yazıcı ve işlem sonrası donanımın satın alınması için bir

sermaye yatırımı gerektirir. Ayrıca 3B baskı sistemlerinde kullanılan reçinelerin kürlenmemiş formları ve temizleme solventleri cildi tahriş edici etkiye sahiptir ve soluma yoluyla iltihaplanmaya neden olabilir (Cousley 2020).

3B baskı sistemlerine alternatif olan CAD/CAM frezeleme sistemlerinin olumsuz yönleri arasında frezeleme sırasında oluşabilecek gereksiz malzeme kaybı, ekipmanların yüksek bakım giderleri ve üretim sürecinde yaşanan ciddi zaman kaybı bulunmaktadır (Van Noort 2012). Buna karşılık, 3B baskı sistemleri, istenen protez ve modelleri minimum malzeme kullanımıyla üretebilir. Üstelik aynı anda birden fazla ürün üretme imkânı bulunmaktadır (Yau, Yang vd. 2016).

Bütün bunlar göz önüne alındığında 3B baskı sistemleri giderek daha popüler hale getirmektedir. Geleneksel ve frezeleme yöntemlerine kıyasla hızlı ve kolay üretim süreçleriyle birlikte yüksek kaliteli restorasyonlar sunma avantajına sahiptirler.

2.3.6. 3B Baskı Sistemleri Üretim Teknikleri

Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO) / Amerikan Test ve Malzeme Derneği (ASTM) 52900: 2015 standardı, 3B baskı sistemleri ile üretim süreçlerini yedi kategoriye ayırır:

1- Bağlayıcı Püskürtme Tekniği (BJT): Bağlayıcı püskürtme, toz parçacıklarını birleştirmek amacıyla kullanılan sıvı bir bağlayıcı madde içerir. Bu bağlayıcı maddenin toz parçacıkları içine seçici olarak enjekte edilmesini içeren bir üç boyutlu hızlı prototipleme yöntemidir. Bu teknoloji, katmanları meydana getirme aşamasında serbest bırakılan toz üzerinde kimyasal bağlanmayı kullanır (Tofail, Koumoulos vd. 2018, Kalia, Sharma vd. 2022). Bağlayıcı püskürtme tekniğinin uygulamaları çeşitlidir. Bunlar arasında düşük maliyetli 3B metal baskıdan renkli prototipleme ve büyük seramik döküm kalıp üretimi yer alır. Ayrıca bu teknik bağlayıcı olarak çözücüler ve ışığa duyarlı adezivleri de kullanılabilir (Fiedor ve Ortyl 2020).

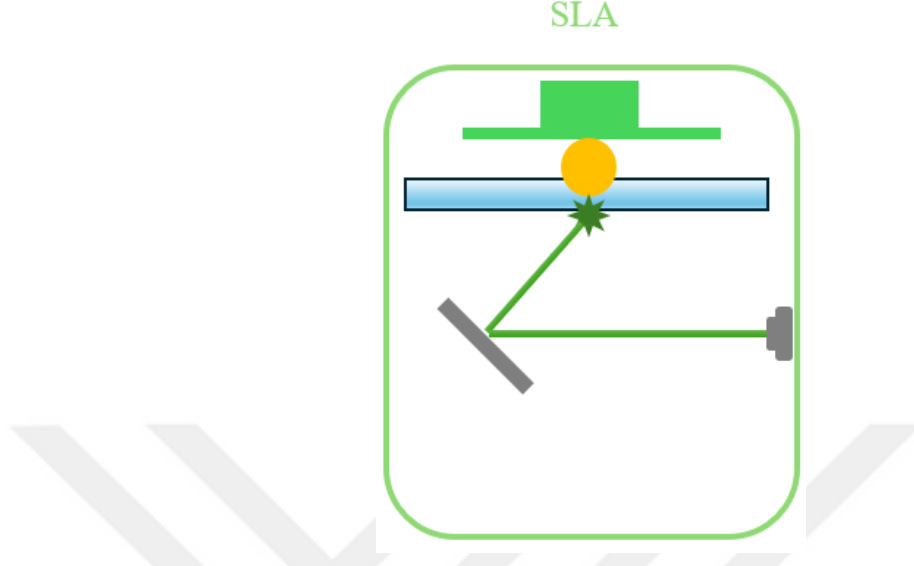
2- Malzeme Püskürtme Tekniği (MJT): Bu 3B baskı işleminde, malzeme kontrollü bir şekilde damlalar halinde katmanlar üzerine eklenir. Bir baskı kafası, ultraviyole ışınlarıyla sertleşen ışığa duyarlı malzeme damlacıklarını dağıtarak katman katman bir parça oluşturur (Rajan ve Curtin 2016). Malzeme püskürtme yöntemiyle üretilen parçalar, yüksek boyutsal hassasiyete ve son derece pürüzsüz bir

yüzey kalitesine sahiptir. MJT, tek tek reçine damlalarını dağıtması özelliği sayesinde reçine bileşimini SLA'dan daha iyi kontrol etme yeteneğine sahiptir. Bu şekilde baskı işlemi sırasında malzemeler ayarlanabilir. Bu işlem de ek malzeme gradyanları ve son derece yüksek çözünürlük olasılığı ile heterojen nesnelerin üretilmesine olanak tanır (Crafts, Ellsperman vd. 2017). Bu baskı yöntemi, seramik, kompozit, polimer ve hibrit malzemeler gibi geniş bir malzeme çeşitliliğinde kullanılabilir (Kalia, Sharma vd. 2022).

3- Vat Fotopolimerizasyon Tekniği (VPP): En yaygın kullanılan 3B baskı tekniklerinden biri, vat fotopolimerizasyonudur. Bu yöntemde, fotoreaktif polimerleri sertleştirmek için lazer ışığı (UV ışığı) kullanılır (Keleş, Blevins vd. 2017). Başlangıçta sıvı formda olan malzemeler UV ışınlarına maruz kaldıklarında sertleşerek katı hale gelirler (Kalia, Sharma vd. 2022). Bu teknolojiye örnek olarak stereolitografi (SLA), dijital ışık işleme (DLP) ve sıvı kristal ekran (LCD) teknolojileri verilebilir. DLP ve SLA, diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılan iki 3B baskı tekniğidir. Teknikler arasındaki temel fark ışık kaynağı ve görüntüleme sistemidir, kontrol ve adımlama sistemi ise çok az farka sahiptir (Quan, Zhang vd. 2020). Bu yöntemlerin popüler olmasının nedenleri arasında yüksek doğruluk, hızlı baskı süresi ve kaliteli basılı yüzeyler sağlamaları gibi özelliklere sahip olması yer alır. Ayrıca, uygun maliyetli olmalarının yanı sıra, daha kompakt versiyonlarına da olanak tanır (Zhang, Li vd. 2019, Ahmad, Hasan vd. 2022).

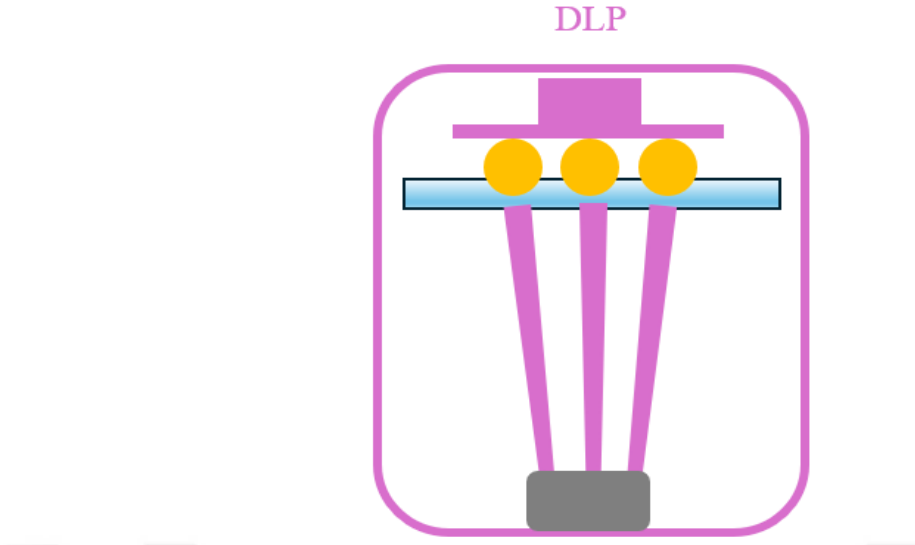
(i): Stereolitografi (SLA, SL): SLA, en eski ve en önemli 3B baskı teknolojilerinden biridir. Cihaz 3 ayrı birimden oluşur; ışığa duyarlı sıvı reçinenin bulunduğu bir rezervuar, bir model oluşturma platformu ve reçineyi sertleştirmek için kullanılan bir ultraviyole (UV) lazer (Şekil 2. 10) (Tian, Chen vd. 2021). Her katman, sıvı reçine yüzeyine lazer uygulanarak takip edilir. Bu sırada yapı platformu aşağı iner ve yüzeydeki bir sonraki reçine tabakası sertleştirilir. Ardından bu işlem tekrarlanır. Destek yapıları, CAD yazılımında tasarlanmalıdır ve baskı işlemi sırasında silme işlemine ve yerçekimine karşı dayanacak şekilde olmalıdır. Destekler, tamamlanmış üründen çıkarılmalıdır. Son işlem olarak, fazla reçine uzaklaştırılır ve bir UV fırınında sertleştirilir. Bu teknoloji, büyük nesneler üretildiğinde maliyetli olabilir ancak 3B baskılı implant kılavuzlarının endüstriyel üretimi için yaygın olarak

kullanılır (Dawood, Marti vd. 2015). SLA'nın ana dezavantajı, uygun SLA işleme özelliklerine sahip biyouyumlu reçinelerin kıtlığıdır (Jayaraj, Jayakrishnan vd. 2019).



Şekil 2. 10. SLA 3B baskı tekniğinin şematik çizimi

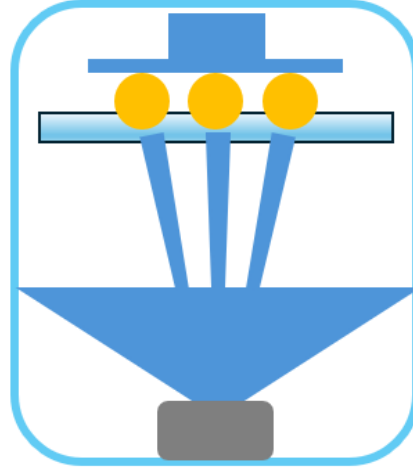
(ii): Dijital Işık İşleme (DLP): Bu teknikte kullanılan sıvı reçine, bir projektör ışık kaynağıyla katman katman sertleştirilir. Nesne, platform üzerinde ters şekilde inşa edilir. Bu platform kademeli olarak yükselir (Şekil 2. 11) (Dawood, Marti vd. 2015). DLP teknolojisi tüm katmanı tek bir ışık ışını ile oluşturabilir. Bu özellik DLP'nin SLA'ya göre en büyük avantajıdır. DLP tekniğinde üretim süresinin önemli ölçüde azaltılabilmesinin sebebi her katmanın, ilgili katman şeklinden veya piksel sayısından bağımsız olarak kendi içerisinde oluşturulabilmesidir (Tian, Chen vd. 2021). DLP'nin bir diğer avantajı çeşitli monomer ve reçine sistemleriyle kullanılabilmesidir (Stansbury ve Idacavage 2016). Bu avantajların yanında sınırlı raf ve tekne ömrüne sahip olması gibi dezavantajları da vardır. Aynı zamanda sistem yüksek maliyetli materyallere sahiptir (Dawood, Marti vd. 2015).



Şekil 2. 11. DLP 3B baskı sisteminin şematik çizimi

(iii): Sıvı Kristal Ekran (LCD): Bu üretim tekniği aynı zamanda mSLA olarak da bilinmektedir (Caussin, Moussally vd. 2024). DLP ve LCD 3B baskı teknolojileri arasındaki en büyük fark görüntüleme sistemidir. LCD tekniğinde, görüntüleme sistemi olarak sıvı kristal ekran kullanılır. Sıvı bir kristale bir elektrik alan uygulanır, moleküler düzen değiştirilir ve ışığın geçmesi önlenir. Kullanılan bu sıvı kristal ekranın çözünürlüğü çok yüksektir (Şekil 2. 12) (Quan, Zhang vd. 2020). Tasarım doğrudan LCD ekranda görüntülenir ve ek optik gerekmez (Colin, Travers vd. 2021). LCD makinesinin çok ucuz olması bu tekniğin avantajlarından biridir. Ayrıca bu teknik çok yüksek çözünürlüğe sahiptir. Bu avantajların yanında LCD'nin hizmet ömrü kısadır. Ömrünün kısa olması nedeniyle düzenli olarak değiştirilmesi gerekir. Ayrıca ışığın yalnızca %10'u LCD ekrandan içeri girebilir. Geri kalan %90'lık kısım LCD ekran tarafından emilir. Dolayısıyla LCD 3B baskının ışık yoğunluğu çok zayıftır. Bu kısmi ışık sızıntısı, altta ışığa duyarlı reçinenin geçişine maruz kalmasına neden olabilir. Sıvı tankının düzenli olarak temizlenmesi gerekir (Quan, Zhang vd. 2020).

LCD



Şekil 2. 12. LCD 3B baskı sisteminin şematik çizimi

4- Katmanlı Laminasyon Tekniği (SHL): Katmanlı laminasyon 3B baskı işleminde, bir nesnenin belirli bir kısmını oluşturmak amacıyla malzeme katmanları bir araya getirilir. Tekniğin ekonomik olması bu tekniğin avantajlarından biridir. Ayrıca bu teknikte kullanılan malzemelerin işlenmesi kolaydır. Katmanlı laminasyon tekniği kullanılarak tam renkli baskı yapılabilir. Ek olarak fazla malzeme geri dönüştürülüp tekrar kullanılabilir (Pîrjan ve Petroşanu 2013).

5- Malzemelerin Ekstrüzyonu Tekniği (MEX): Malzemelerin ekstrüzyonu, çeşitli malzemeleri kullanarak bu malzemelerin çok malzemeli ve çok renkli bir şekilde basılabilmesini sağlar. Plastikler, canlı hücreler ve yiyecekler gibi çeşitli malzemeler kullanılabilir (Low, Chua vd. 2017). Ayrıca bu teknik kullanılarak, işlevsel parçalar veya ürünler oluşturulabilir. Yöntemin tercih edilme nedenlerinde biri çok uygun maliyetli olmasıdır. Bu yaklaşım, işlevsel parçalar veya ürünler oluşturmak için de kullanılabilir (Toyserkani, Khajepour vd. 2004). Ayrıca bu teknik kompozitlerin, tek bir ekstrüderli makinelerde 3B olarak basılabilmesine olanak tanır. Bunun için sadece katmanların birbirine kaynaşmasını sağlamak için kullanılan temel malzemenin; ki bu malzeme genellikle bir termoplastiktir, yeterli miktarda bulunmasına ihtiyaç vardır. Bu teknikle polilaktik asit içine gömülü ahşap parçacıkları, termoplastik içine gömülü metal parçacıkları ve termoplastik içine gömülü karbon fiberler, iki farklı malzemenin tek bir noktada birleştirilmesiyle

mümkün hale gelmiştir (王新洪, 张敏 vd. 2003). Bu tekniğin en önemli örneklerinden biri kaynaşmış biriktirme modellemesi (FDM) dir.

6- Doğrudan Enerji Biriktirme Tekniği (DED): Doğrudan enerji biriktirme, mevcut olan bir parçayı onarır (Sampedro, Pérez vd. 2011). Aynı zamanda bu parçaya malzeme eklemek için kullanılan bir tekniktir. Bu teknik, ürün kalitesini ve tane yapısını kontrol etme özelliğine sahiptir. Bu işlem, malzeme ekstrüzyon tekniğine benzer. Ancak bu teknikte farklı olarak nozül tek bir eksene sabitlenmiş değildir. Nozül herhangi bir yönde hareket edebilir. Bu teknikte kullanılabilen materyaller, toz veya tel formundaki metaller ve metal bazlı hibritlerdir (Kalia, Sharma vd. 2022).

7- Toz Yatağı Füzyonu Tekniği (PBF): Seçici lazer sinterleme, elektron ışıını eritme ve seçici ısı sinterleme tekniklerinin tümü, toz yatağı füzyonu tekniğinde kullanılır. Bu yöntemde ilk olarak malzeme tozu bir elektron ışıını veya lazer kullanılarak eritilir. Ardından katman katman bir nesne oluşturulur (Kalia, Sharma vd. 2022). Polimerler, seramikler, metaller, hibritler ve kompozitler bu prosedürde kullanılan malzemelere örnektir (Shengfeng, Xiaoqin vd. 2012).

2.3.7. 3B Baskı Sistemler Üretim Aşamasında Kullanılan Materyaller

Diğer bir adı eklemeli üretim teknolojisi olan 3B baskı, mikron boyutunda toz metaller, termoplastik veya sıvı ışığa duyarlı reçineler ve diğer yapışkan materyaller gibi bazı özel malzemeler kullanır. Bu malzemeler kullanılarak katman katman baskı işlemiyle birçok 3B nesne oluşturulur (Chattopadhyay, Panda vd. 2005, Kardar, Ebrahimi vd. 2009, He, Zhou vd. 2010, Buchanan ve Gardner 2019). 3B baskı tekniğinde çeşitli malzemelerin kullanılabilmesi fırsatı bu tekniğe yüksek kaliteli şekil ve boyutlar elde etme özelliği kazandırır. Gün geçtikçe 3B baskı teknolojisi üzerindeki araştırmalar, 3B baskı parametrelerinin geliştirilmesine odaklanmaktadır. Bunun nedeni geleneksel olarak kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerini ince ayar yapmaktır. Bunların yanında diş hekimliğinde kullanılan diğer malzemeler gibi 3B baskı malzemelerinin biyouyumlulukları çok önemlidir (Jeong, Radomski vd. 2023). Yapılan bazı çalışmalarda geleneksel dental reçineler ve 3B baskı reçineleri karşılaştırılmıştır ve 3B baskı reçinelerinin benzer biyouyumluluğa sahip olduğu kanıtlanmıştır (Guerrero-Girones, Lopez-Garcia vd. 2022, Kim, Go vd. 2022,

Wuersching, Hickel vd. 2022). 3B baskı sistemleri üretim aşamasında kullanılan materyaller arasında polimerler, metaller, kompozitler, seramikler ve akıllı malzemeler yer alır.

2.3.7.1. Polimerler

3B baskı teknolojisi, polimer bileşenlerin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknoloji, karmaşık tasarımların ve özelleştirilmiş yapıların üretimini mümkün kılar (Wang, Blache vd. 2017). 3B baskı üretim tekniklerinden biri olan kaynaşmış biriktirme modellemesi (FDM) tekniği kullanılarak, polipropilen (PP), polietilen ve polilaktik asit (PLA) gibi ekstrüde termoplastik filamentlerin ardışık olarak biriktirilir ve 3B baskılı yapılar oluşturulabilir. Bu yöntem kullanılarak malzeme katmanları sırasıyla eriyip sertleştirilir. Ardından istenilen şekli elde edilir (Lang 2017) Polimer malzemelerin 3B baskı teknolojisinde kullanılması için çeşitli teknolojileri mevcuttur (Quan, Wu vd. 2015, Revilla - León, Meyers vd. 2019, Jockusch ve Özcan 2020). Bu teknolojiler hız, çözünürlük, boyut ve süreç güvenilirliği açısından farklı özellikler sergiler.

Dolgu maddelerinin ve biyouyumlu polimerlerin kullanımını içeren biyomedikal polimerlerin 3B baskısı, fizikokimyasal, mekanik ve biyolojik özellikleri ayarlama potansiyeline sahiptir. Bu amaçla, SLA ve DLP gibi teknolojiler kullanılabilir. Bu teknikler hassas, çok yönlü ve kontrollü manipülasyon sağlamak için büyük önem taşır. Ayrıca bu teknolojilerin implantlar, protezler ve doku mühendisliği gibi alanlarda kullanımı gün geçtikçe artmaktadır (Vyas, Garg vd. 2022). Son ürün üzerinde etkiye sahip olan etmenler viskozite, polimerdeki bileşenler, yüzey alanı, başlatıcılar, hızlandırıcılar gibi kimyasal bileşiklerdir. Diş hekimliğinde 3B baskı için çeşitli reçine sistemleri tasarlanmış olmasının nedeni budur. Zamanla bu sistemler üretilmiş ve geliştirilmiştir (Peskersoy ve Oguzhan 2024). Bu reçine sistemleri, diş protezleri, implantlar ve diğer diş hekimliği uygulamaları için özel olarak üretilmiştir. Böylece hem biyouyumluluk hem de dayanıklılık gibi kritik özellikler sağlanmaktadır.

2.3.7.2. Seramikler

Seramik malzemelerin diş restorasyonları üretmek için sıklıkla tercih edilen malzemelerdir. Bunun nedenleri arasında mükemmel mekanik özellikleri,

biyoyoumlulukları, iyi aşınma ve korozyon dirençleri ve estetik özellikleri yer almaktadır. Ancak, seramiklerin 3B baskı işleminde kullanılmasını zorlaştıran bazı özellikleri bulunmaktadır. Bunlar yüksek erime noktası ve soğutma işlemleri sırasında çatlak oluşabilmesidir. Sahip oldukları bu özellikler restorasyonların dayanıklılığını etkileyebilir (Jeong, Radomski vd. 2023).

2.3.7.3. Metaller

Birçok farklı metal 3B baskı teknolojisinde kullanılabilmektedir. Diş hekimliği alanında en sık tercih edilen metaller kobalt alaşımlarıdır. Bunun nedenleri kobalt materyalinin ısıl işlem koşulları, yüksek özgül mukavemet, esneklik, uzama ve yüksek geri kazanım kabiliyeti gibi özelliklere sahip olmasıdır (Hitzler, Alifui-Segbaya vd. 2018). 3B baskı teknolojisi için kullanılan metaller, baskı ve insan organından uzay gemisinin parçalarına kadar karmaşık bir yapı oluşturabilir (Kalia, Sharma vd. 2022).

2.3.7.4. Kompozitler

Kompozitler, birçok farklı alanda büyük bir devrim yaratmıştır. Bu devrimin nedenleri arasında esnek ve hafif yapıya sahip olmaları yer almaktadır. Kompozitler, genellikle karbon fiber veya reçine takviyeli polimer gibi bileşenler içerir (Dilberoglu, Gharehpapagh vd. 2017). Fiber cam içerikli kompozitler, yüksek ısı iletkenliği ve düşük termal genleşme özellikleriyle ön plana çıkar. Bu özellik, bu tür malzemeleri 3B baskı uygulamaları için oldukça uygun yapar (Kalia, Sharma vd. 2022).

Kompozitlerin mekanik özellikleri, içerdikleri dolgu parçacıklarının miktarı ve türüne bağlı olarak değişir. Bu durumun yol açtığı bazı sınırlamalar mevcuttur. Kompozitlerin dolgu oranı dikkate alınması gereken bir özelliktir. Bunun yanında 3B baskılı kompozitlerin indirekt restorasyonlarda kullanımı sırasında renk stabilitesi ve estetik görünüm gibi faktörler de değerlendirilmelidir (Balestra, Lowther vd. 2024). 3B baskıda kullanılan reçinelere eklenen inorganik dolgu maddelerinin boyutları 40 nm ile 40 µm arasında değişebilir. Ayrıca bu kompozitlerin şekilleri yuvarlak veya düzensiz olabilir. Bu dolgu maddeleri malzeme hacminin %60'a kadar ulaşabildiği durumlar mevcuttur (Fidalgo-Pereira, Carpio vd. 2022). Aynı zamanda dolgu parçacıklarının oranı ve bileşimi, malzemenin hangi alanlarda kullanılabileceğini de belirler (Zimmermann, Ender vd. 2019). Ancak halen, 3B baskı ile kalıcı indirekt

restorasyonlar üretmek için kullanılabilecek kompozit reçine çeşitliliği sınırlıdır (Ferracane 2011, Tian, Chen vd. 2021).

2.3.7.5. Akıllı Materyaller

Akıllı materyaller, nesnenin şekillendirme geometrisini değiştirme potansiyeline sahip malzemelerdir. Isı ve su gibi dış koşullardan etkilenirler. Farklı bir şekilde tanımlanacak olursa çevresel faktörlere tepki vererek, nesnenin kendiliğinden şekil değiştirmesine veya işlevsel özellikler kazanmasına olanak tanır. Bu tür malzemeler, 4B baskı olarak kabul edilir, çünkü 3B baskı ile oluşturulan nesneler zamanla çevresel değişimlere bağlı olarak evrimleşebilir ve şekil değiştirebilir. 4B baskı, özellikle yapıların kendiliğinden onarım, uyumsuzluk veya şekil değiştirme gibi özelliklere sahip olmasını sağlayan bir teknolojidir (Kalia, Sharma vd. 2022).

2.3.8. 3B Baskı Sistemleri Üretim Basamakları

3B yazıcılar ile dental restorasyon üretim basamakları şunlardır: ağız içi tarama, dijital modelin oluşturulması, 3B baskı ve baskı sonrası prosedürler (Şekil 2. 13).

1-Ağız içi tarama: Bu adımın amacı, ağız içi tarayıcı kullanılarak dişlerin ve komşu yumuşak dokuların morfolojisini detaylı bir şekilde elde etmektir (Scribante, Gallo vd. 2022). Tarayıcı yazılımında oluşturulan dijital modelin, fiziksel uygulamalar için standart mozaikleme dili (STL) formatında dışa aktarılması gereklidir. Bu format, yüzey geometrisini bağlantılı üçgenlerden oluşan bir yapı şeklinde tanımlar ve CAD yazılımlarında kolayca düzenlenmesini sağlar (Cousley 2020).

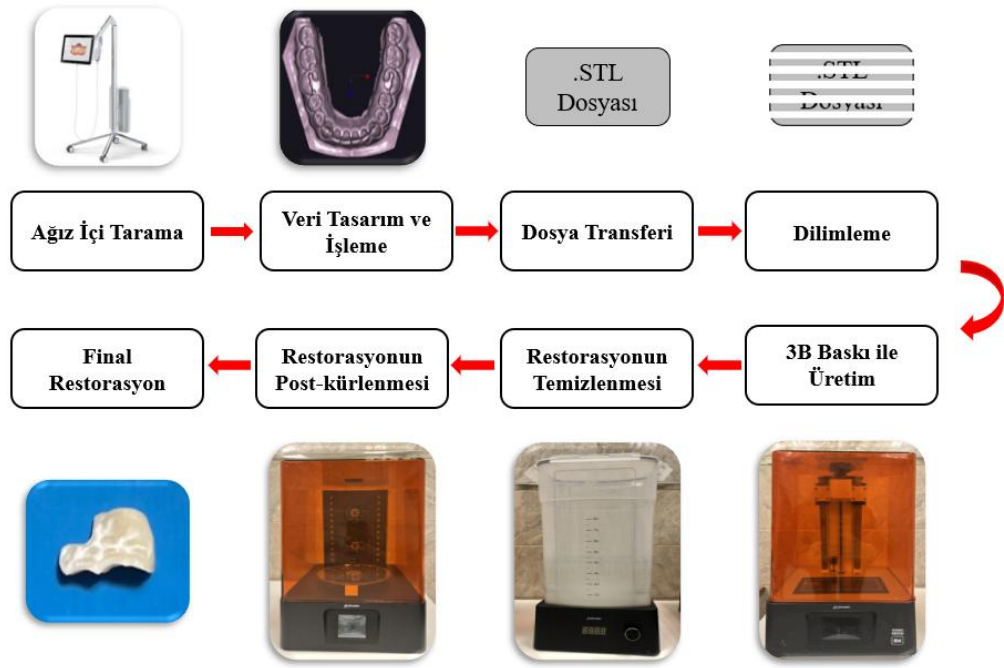
2-Dijital Modelin Oluşturulması: Tarayıcı tarafından sanal model üretilir ve model ince bir dış kabuğa sahiptir ve içi boştur. Bu nedenle, baskı işleminden önce dijital modelin katılaştırılması veya kenarlarının belirgin şekilde kalınlaştırılması gerekir. Özellikle tabanın amacı, üretilen fiziksel modeli stabil ve nispeten düz bir yapıya kavuşturmadır. Bu yüzden tabanın, geleneksel çalışma modellerindeki gibi derin ve kırılmış bir tasarıma sahip olması zorunlu değildir (Cousley 2020). Dijital model hazırlığı için birbirinden farklı güncel yazılımlar mevcuttur (Scribante, Gallo vd. 2022): 3Shape Trios, Formlabs PreForm, Microsoft Windows™ 3D Builder...

3-3B Baskı: Dijital modelin işlendikten sonraki aşama, modelin en yüksek detay seviyesinde üç boyutlu bir nesne halinde üretilmesidir. Günümüzde klinik uygulamalarda kullanılan 3B baskı, yüksek doğruluğu nedeniyle genellikle SLA ve DLP teknolojilerine dayanmaktadır. Pek çok şirket, belirli özelliklere odaklanarak yeni nesil 3B yazıcılar geliştirmeye devam etmektedir. Genelde yazıcılar arasında fark yaratan özellikler vardır. Bunlar yapı platformunun yüzey alanı, her döngüde yazdırılabilecek model sayısı, baskı çözünürlüğü ve hızı, yazdırılabilir reçine çeşitliliği, kullanım kolaylığı ve maliyet (Cousley 2020).

4-Baskı Sonrası İşlemler: Bu aşama, kullanılan 3B baskı teknolojisine, malzemeye ve yazıcı üreticisinin talimatlarına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Özellikle, baskı sonrası işlemler yalnızca SLA teknolojisi için zorunludur, ancak diğer teknolojiler için genellikle gerekli değildir (Scribante, Gallo vd. 2022).

(a) *Modelin Yıkaması*: Baskı işleminden sonra model üzerinde genellikle kürlenmemiş reçineler kalabilir. Kalan bu artıkların temizlenmesi için reçine çözücüler kullanılır. Yaklaşık 10 dakika boyunca modele yıkama işlemi uygulanır. %95 izopropil alkol (IPA) veya etanol kullanılabilir. IPA, uçucu ve yanıcı bir kimyasaldır. Bu yüzden yıkama kapalı bir ortamda yapılmalı ve ortam çok iyi havalandırılmalıdır (Cousley 2020). IPA'nın uçucu bir yapıya sahip olmasına rağmen, model üzerinde kalan izlerini tamamen gidermek için modellerin hava ile veya fön kullanılarak kurutulması gereklidir.

(b) *Modelin Kürlenmesi*: Model, ışığa maruz kaldığında doğal olarak sertleşme sürecine girer ancak tam kürlenmenin sağlanması amacıyla UV ışığı ve ısı uygulanır. Birçok yazıcı üreticisi, modelin yüzeyini yaklaşık 30 dakika içinde güvenilir bir şekilde sertleştirebilen özel kürlenme cihazları sunmaktadır. Bu işlemlerden sonra modeller kullanıma hazır hale gelir ve bu aşamada eldiven kullanılmasına gerek kalmaz. Ek olarak, doğru kürlenme, modelin mekanik dayanıklılığını ve uzun vadeli stabilitesini artırır (Cousley 2020).



Şekil 2. 13. 3B baskı sistemleri üretim basamakları

3B baskı sistemleri ile kullanılan indirekt restorasyon materyalleri büyük bir potansiyele sahiptir. Sahip oldukları bu potansiyelle birlikte hâlâ aktif olarak geliştirilme aşamasındadır. Diş hekimliğinde konvansiyonel kompozitler hakkında geniş bir bilgi birikimi bulunduğu açıktır. Ancak ticari olarak temin edilebilen 3B baskı kompozit reçinelerin indirekt restorasyon üretiminde kullanımlarında yeterli mekanik özelliklere sahip olup olmadıklarına dair sınırlı bilgi mevcuttur (Bora, Sayed Ahmed vd. 2024). 3B baskı, teknoloji dünyasında bir fırtına olarak bilinse ve farklı alanlar için üretim yapsa da, diş hekimliğinde henüz büyümesinin başlangıcındadır. Bu tez çalışmasının amacı diş hekimliği alanında klinik kullanımları giderek artan 3B baskı sistemleri ile farklı reçine türleri kullanılarak üretilen onley restorasyonların marjinal adaptasyonlarını değerlendirerek, klinik kullanımlarındaki uygulanabilirlik araştırmalarına katkı sağlamaktır. Diğer yandan bu çalışmada farklı diş preparasyon tekniklerinin ve farklı reçine tiplerinin 3B yazıcı sistemleriyle nasıl daha iyi uyum sağlayabileceği araştırılmıştır.

3.GEREÇ VE YÖNTEM

Bu in vitro çalışmada, 3B baskı daimi kuron reçineler ile üretilmiş onley restorasyonların marjinal adaptasyonlarının, farklı preparasyon tasarımları kullanılarak değerlendirilmesi hedeflendi. Örneklerin hazırlanması işlemi Ordu Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalında, marjinal adaptasyon değerlendirme işlemleri Ordu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birim Laboratuvarında bir optik stereomikroskop kullanılarak yapıldı. Bu çalışma Ordu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından (Proje No: B-2338) desteklenmiştir.

Bu çalışmada, 80 restorasyon örneği üretmek için iki farklı 3B baskı daimi kuron reçinesi (Crowntec, Saremco Dental AG ve VarseoSmile Crown Plus, Bego) kullanıldı. Örneklem büyüklüğü, %95 güven aralığı ve 0,05 anlamlılık düzeyi ile önceki örneklem büyüklüğü hesaplamalarına dayanarak G*Power Software version 3.1.9.2 (Universität Düsseldorf, Almanya) kullanılarak hesaplandı.

3.1. Kavite Hazırlığı

Çalışmada, preparasyonlar biri mandibular sol, diğeri mandibular sağ olmak üzere iki plastik dentiform diş (Typodont; Frasco) üzerinde hazırlandı. Preparasyon tasarımı yapılırken madde kayıplı dişlerin taklit edilmesi amaçlandı. İki plastik dentiform diş üzerindeki preparasyonlar mezial-okluzal-lingual (MOL) bölgeleri kapsayacak şekilde meziolingual (ML) tüberkülün aşındırılmasıyla ve dişlere 10°'lik taper açısı verilerek tamamlandı (Şekil 3. 1). Preparasyonlar hazırlanırken yuvarlak açılı elmas döner aletler (no. 8845 KR, no. 837 KR; Brasseler) ve yüksek hızlı aeratör frez kullanıldı ve su soğutması altında çalışıldı.



Şekil 3. 1. Dentiform çene üzerinde hazırlanmış preparasyonlar

İki farklı 3B baskı daimi kuron reçinesi için iki farklı preparasyon tasarımı (shoulder preparasyon ve flat preparasyon) yapıldı (Şekil 3. 2). Örnekler 4 gruba ayrıldı: (i) Grup 1: VarseoSmile Crown plus, Bego + Shoulder Preparasyon (ii) Grup 2: VarseoSmile Crown plus, Bego + Flat Preparasyon (iii) Grup 3: Crowntec, Saremco + Shoulder Preparasyon (iv) Grup 4: Crowntec, Saremco + Flat Preparasyon

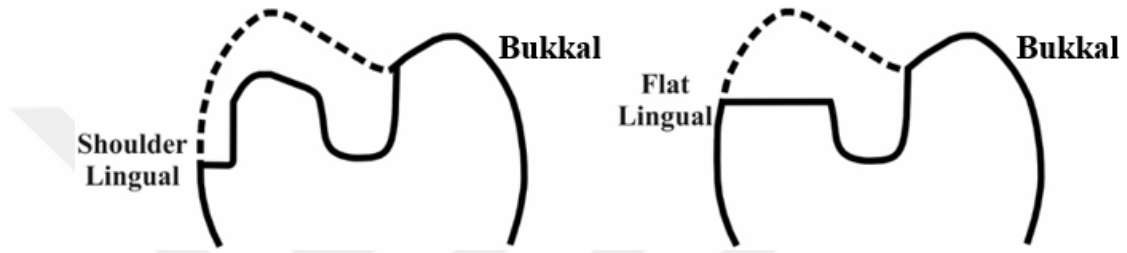


Şekil 3. 2. Sırasıyla shoulder ve flat preparasyon tasarımları oklüzal görünümü

Grup 1’de, VarseoSmile Crown Plus (VS) daimi kuron reçinesi kullanıldı ve örnekler shoulder preparasyon tekniği ile hazırlandı (Şekil 3. 3). Grup 2’de, yine VS daimi kuron reçinesi kullanıldı ve örnekler flat preparasyon tekniği ile hazırlandı. Shoulder preparasyon tekniğinde, ML tüberkül 2 mm aşındırıldı. Oklüzal ve mezial

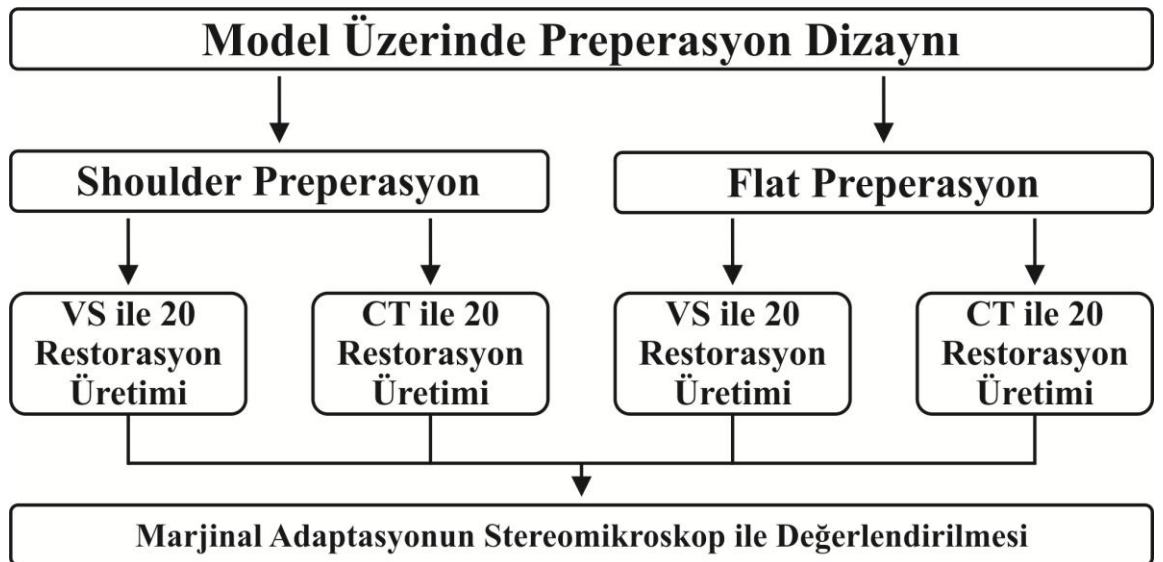
kutular oluşturuldu ve aşındırılmış tüberkülü mezial kutuya bağlayan 1.2 mm'lik bir shoulder basamak hazırlandı.

Grup 3'te, Crowntec, Saremco (CT) daimi kuron reçinesi kullanıldı ve örnekler shoulder preparasyon tekniği ile hazırlandı (Şekil 3. 3). Grup 4'te ise, örnekler flat preparasyon tekniği ile hazırlandı ve CT daimi kuron reçinesi kullanıldı. Flat preparasyon tekniğinde, ML tüberkül 2 mm aşındırıldı ve basamak içermeyen oklüzal ve mezial kutular vardı. Oklüzal preparasyonun istmusunun genişliği 1,5 mm ve derinliği 2 mm idi.



Şekil 3. 3. Sırasıyla shoulder ve flat preparasyon tasarımlarının şematik çizimi

Her iki preparasyon da yazılım analiz araçları ile değerlendirildi. Andırkat olmaması, internal çizgi açılarının görünürlüğü ve duvar sapmasının olmaması doğrulandı. Bu in-vitro çalışmada izlenen deneysel iş akışı diyagramı Şekil 3. 4'da gösterilmiştir.



Şekil 3. 4. Çalışmada izlenen iş akışı

Restorasyonların üretimi için çalışmada 2 farklı 3B baskı reçine türü (Şekil 10, Şekil 11) kullanıldı:

VS: VS, Bego tarafından piyasaya sürülen seramikle güçlendirilmiş hibrit malzeme kullanılarak tek diş restorasyonları üretmek için kullanılan bir 3B baskı reçinesidir. Bu materyal, 3B baskı süreçleriyle tek diş kuronlar, onleyler, inleyler ve veneerlerin üretilmesine olanak tanır. Bilimsel testler, malzemenin performansını kapsamlı bir şekilde incelemiş ve olağanüstü sonuçlar elde edilmiştir. Özellikle kırılma yükü (hem başlangıçta hem de yapay yaşlandırmadan sonra), aşınma direnci, simantasyon materyalinin uzun vadeli stabilitesi, çözünürlüğü ve sitotoksitesi gibi özellikler detaylı olarak değerlendirilmiştir. VS, FDA 510(k) onaylıdır (**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı..**) (Schweiger, Edelhoff vd. 2021).



Şekil 3. 5. Çalışmada kullanılan VS 3B baskı reçinesi

CT: Daimi kuron inley, onley ve geçici sabit bölümlü protezler üretmek için ışıkla sertleşen 3B baskı kompozit reçine malzemesidir. CT, sınıf II tıbbi cihazlar için FDA 510 (K) onaylıdır (**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı..**).



Şekil 3. 6. Çalışmada kullanılan CT 3B baskı reçinesi

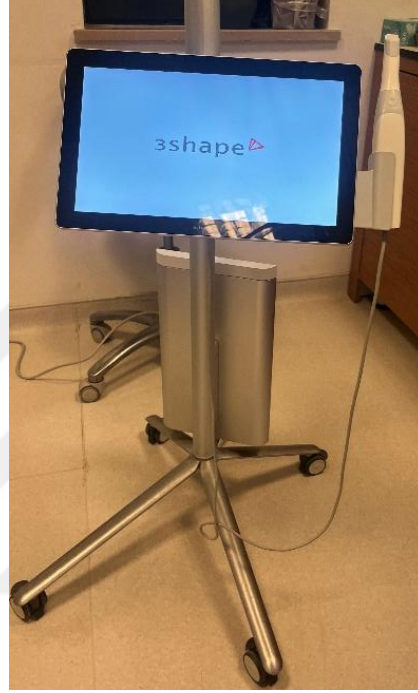
Tablo 3. 1. Test edilen iki dental reçinenin özellikleri

Ürünler	Tip	İçerik	Üretici	LOT
Crowntec (CT)	3B Baskılı Kompozit Reçine	4,4'-izopropilidifenol, etoksillenmiş ve 2-metil prop-2enoik asit, silanize diş camı, pirojenik silika, başlatıcıların esterifikasyon ürünleri. 0,7 µm parçacık boyutuna sahip inorganik dolguların toplam içeriği %30–50 ağırlıktır. BisEMA, diş camı (silanize), pirojenik, silika, katalizörler, inhibitörler	Saremco Dental AG, Rebstein, İsviçre	41108
VarseoSmile Crown Plus (VS)	3B Baskılı Hibrit Kompozit Reçine	4,4'-izopropilidifenol, etoksillenmiş ve 2-metil prop-2enoik asit, silanize diş camı, metil benzoil format, difenil (2,4,6-trimetil benzoil) fosfin oksit, %30–50 ağırlık oranında esterleşme ürünleri — 0,7 µm parçacık boyutuna sahip inorganik dolgu maddeleri	Bego, Bremen, Almanya	E617

3.2. Ağız İçi Tarayıcı ile Örneklerin Taranması

Modelde hazırlanan preparasyonlar bir 3-shape ağız içi tarayıcı (Şekil 3. 7) (Trios, 3Shape, Kopenhag, Danimarka) ile tarandı. Örneklerin taraması yapılırken taranan tüm yüzeylerinin temiz ve kuru olması gerekliliği yerine getirildi. Taramaya

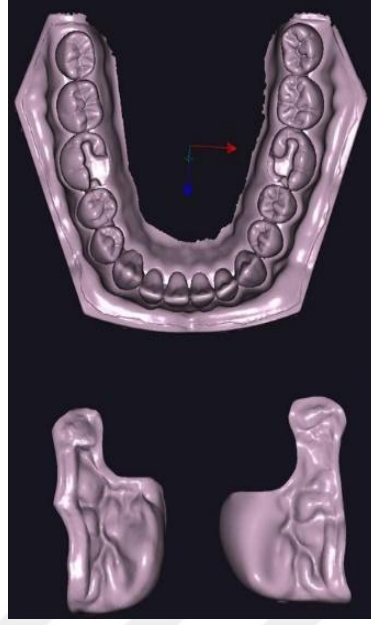
oklüzal yüzeyden başlandı. Ardından bukkal ve lingual yüzeylere doğru salınım hareketleri ile ağız içi tarayıcının görüntüleri kaydedilip üç boyutlu modeli oluşturuldu. İdeal görüntü elde edilebilmesi adına yazılım ekranında eksik görüntülenmiş alanlar ve artefakt oluşumları tespit edilip kamera ile tekrar tarama yapıldı. Taranan örneklerin üç boyutlu dijital görüntüleri STL dosya formatında dışa aktarım yapılarak kaydedildi. Dosyalar, ait oldukları gruplara göre kategorize edildi.



Şekil 3. 7. Çalışmada kullanılan ağız içi tarayıcı

3.3. Restorasyonların Tasarlanması

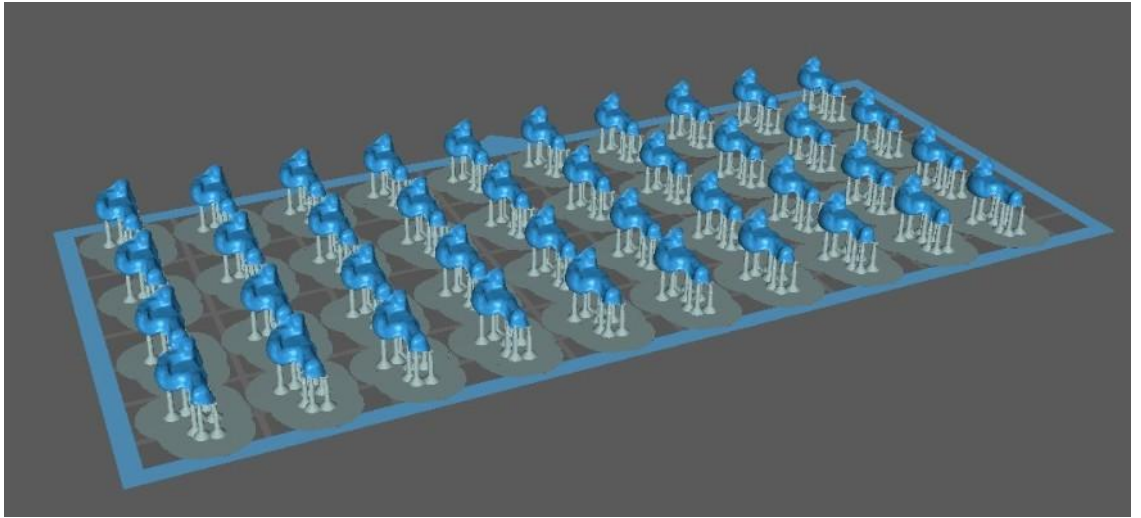
Bir sonraki aşama tarama sonucu elde edilen dijital görüntülerin tasarımının yapılmasıydı. Örneklerin tasarımları CAD (ExoCAD 2.4 Plovdiv; ExoCAD GmbH, Darmstadt, Almanya) yazılımı kullanılarak yapıldı (Şekil 3. 8). Tasarımlar yapılırken üretici tarafından önerilen parametreler (minimum 1,5 mm radyal kalınlık; minimum 2 mm oklüzal kalınlık; 100 mm siman boşluğu; 50 mm marjinal adeziv açıklığı ve 120 mm marjinal kalınlık) dikkate alındı.



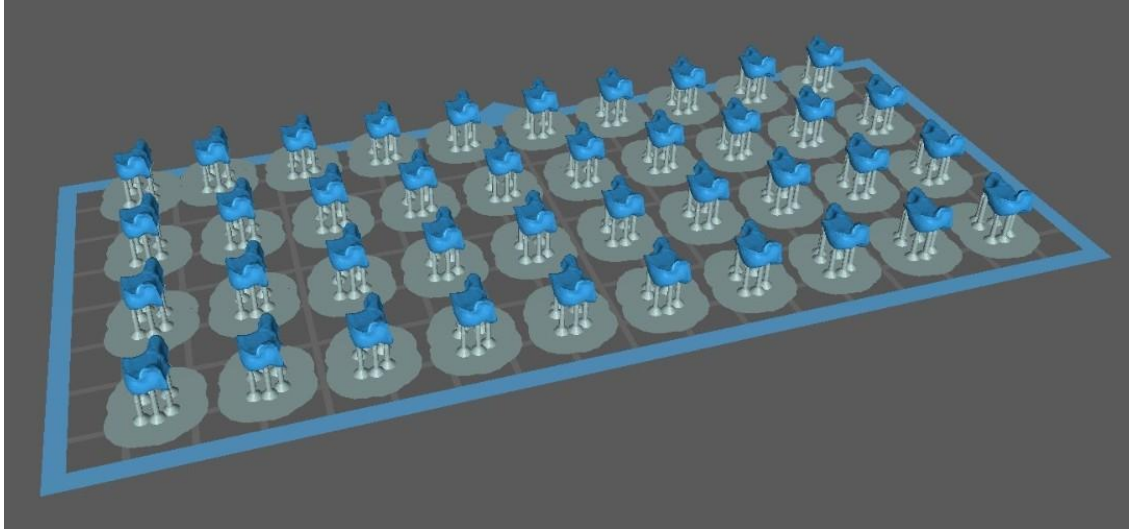
Şekil 3. 8. ExoCad ile yapılan tasarımlar

3.3. Restorasyonların 3B Yazıcı ile Üretimi

Tasarımların yapılmasının ardından üreticinin önerisini takiben, Chitubox V1.7.0 (Guangdong, Çin) 3B baskı programı ile üretilecek onleylerin katman kalınlığı 50 µm olarak ayarlandı, baskı yönü 0° olarak ayarlandı ve destekler eklenerek modeller dilimlendi (Şekil 3. 9) (Şekil 3. 10).

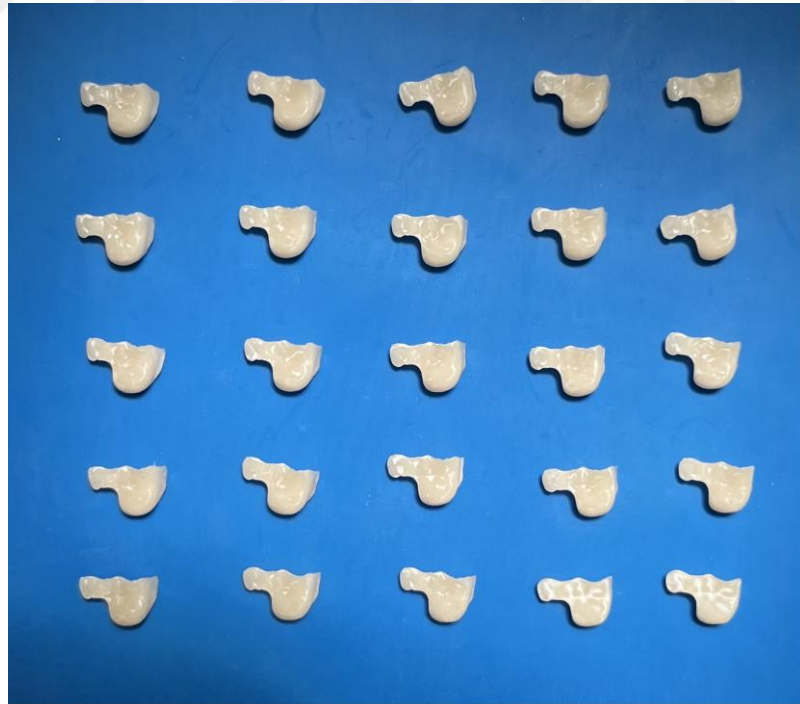


Şekil 3. 9. Shoulder preparasyona sahip örneklerin Chitubox yazılımında dilimlenmesi ve desteklerin eklenmesi



Şekil 3. 10. Flat preparasyona sahip örneklerin Chitubox yazılımı ile dilimlenmesi ve desteklerin eklenmesi

Dilimlenen modellerin dosyaları yazıcıya aktarıldı. Daha sonra her grupta 20 adet olacak şekilde toplamda 80 restorasyon (Şekil 3. 11) bir 3B yazıcı (Phrozen sonic mini 8K SLA cihazı, Phrozen Technology, Hsinchu City, Tayvan) ile üretildi (Şekil 3. 12). Kullanılan 3B yazıcının teknik özellikleri Tablo 3. 2’de gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3. 11. 3B yazıcı ile üretilen restorasyon örnekleri sırasıyla Grup 1 (a), Grup 2 (b), Grup 3 (c), Grup 4 (d)

Tablo 3. 2. 3B baskı cihazı teknik özellikleri

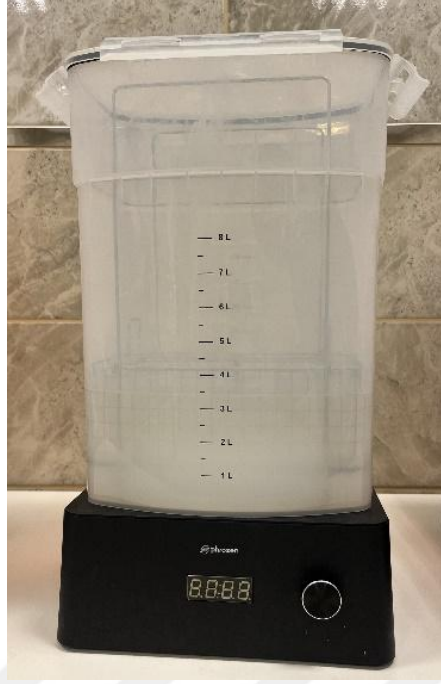
Baskı metodu	LCD Stereolitografi
Piksel çözünürlüğü	7,536 × 3,240
Piksel boyutu (µm)	22
İnşa alanı, XYZ (mm)	165 × 72 × 180
Çalışma dalga boyu (nm)	405
Cihaz ayakizi, XYZ (mm)	290 × 290 × 430
Işık yoğunluğu (mW/cm²)	2.8
Cihaz ağırlığı (kg)	13



Şekil 3. 12. Çalışmada kullanılan 3B yazıcı

Baskı işlemi sırasında istenmeyen ışık kaynaklarını önlemek için yazıcının kapağı ve tüm odadaki ışıklar kapatıldı. VS ile basılan restorasyonlar için parametreler 6 alt katman, 4,5 saniye pozlama süresi, 40 saniye alt pozlama süresi, 8 mm asansör mesafesi ve 60 mm/s asansör hızı olarak ayarlandı. 50 μ m'lik bir katman kalınlığı seçildi ve restorasyonlar, oklüzal yüzey build-up platformundan 2 mm uzakta olacak şekilde yönlendirildi. 0,07 mm'lik destekler 0,8 mm'lik bir ark üzerinde duruyordu. Baskı işlemi bu şekilde gerçekleştirildi. CT ile basılan restorasyonlar için parametreler 6 alt katman, 3,5-4,5 saniye pozlama süresi, 25-35 saniye alt pozlama süresi, 6 mm asansör mesafesi ve 60 mm/min asansör hızı olarak ayarlandı. 50 μ m'lik bir katman kalınlığı seçildi ve CT için baskı işlemi bu şekilde gerçekleştirildi.

Baskı işlemlerinin ardından baskı sonrası prosedürlere geçildi. VS örnekleri ilk olarak, yeniden kullanılabilir %96 (Almagest AG, Sofya, Bulgaristan) etanol kullanılarak ultrasonik temizleyicide (Şekil 3. 13) 3 dakika boyunca iyice temizlendi ve ardından taze %96 etanolde 2 dakika daha temizlendi. Kalan reçine kalıntılarını gidermek için örnekler ek olarak %96 etanol spreyi ile durulandı ve basınçlı hava kullanılarak kurutuldu. CT örneklerindeki fazla malzeme ise %96 etanole batırılmış bir fırça kullanılarak titizlikle çıkarıldı. Yüzey hafif mat bir görünüm kazanana kadar interdental alanlar iyice temizlendi. Bunun ardından, örnekler bir hava şırıngası ile kurutuldu.



Şekil 3. 13. Çalışmada kullanılan ultrasonik temizleyici

Bu işlemlerin ardından örneklerin tümü 405 nm dalga boyuna sahip bir post-kürleme UV lamba (Şekil 3. 14) (Phrozen Cure, Phrozen 3D, Hsinchu City, Tayvan) kullanılarak iki set halinde beşer dakika boyunca, pozlar arasında rotasyon yapılarak polimerize edildi.

Bu işlemlerin ardından VS örneklerindeki destek yapılarını çıkarmak için kesme diski kullanıldı ve örnek yüzeyleri 1,5 bar basınçta 50 µm cam boncuklar kullanılarak daha fazla kumlandı. CT örnekleri ise temizlikten sonra oluşan beyaz tabaka ortadan kalkana kadar örnek yüzeyleri 1,5 bar basınçta 50 µm cam boncuklar kullanılarak kumlandı. Destek yapıları bir kesme diski (Separating disks, Dentorium, New York, ABD) kullanılarak çıkarıldı.

Son olarak, CT ve VS örnekleri iki aşamalı bir bitirme ve cilalama işleminden geçirildi (Clearfil Twist Dia, Kuraray, Japonya) ve restorasyonların iç yüzeylerine dokunulmadı.



Şekil 3. 14. Çalışmada kullanılan post-kürleme cihazı

3.3. Marjinal Adaptasyonun Değerlendirilmesi

Marjinal adaptasyonu değerlendirmek için, üretilen her onley restorasyon prepare edilmiş dişlere yerleştirildi. Yerleştirilen restorasyonlar kompozit reçine (Filtek Supreme Ultra; 3M ESPE) ile 2 dış noktada stabilize edildi. Marjinal aralık, bir optik stereomikroskop (Şekil 3. 15) (Leica S6 D; Leica Microsystems Inc) ve bir dijital kamera (EC3; Leica Microsystems Inc) kullanılarak x40 büyütmede kaydedildi.



Şekil 3. 15. Çalışmada kullanılan stereomikroskop

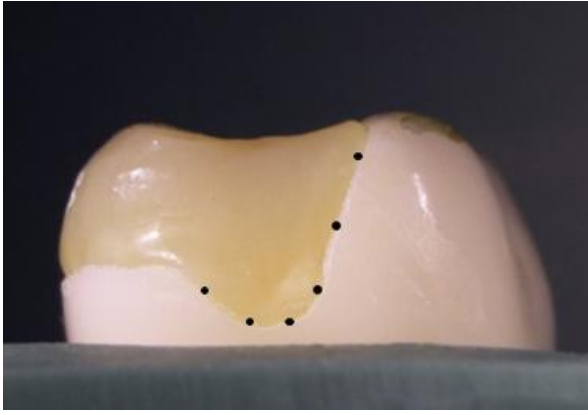
Değerlendirilecek her dişin kenarlarında 18 konum önceden belirlendi: oklüzal konumda (O) (Şekil 3. 16a), bukkooklüzal kenarda 3, linguooklüzal kenarda 3 ve distal kenarda 3; lingual konumda (L) (Şekil 3. 16b), lingual kenarda 3; mezial konumda (M) (Şekil 3. 16c), mezial gingival kenarda 3 ve meziobukkal kenarda 3; nokta belirlendi. Ölçümler tamamlandı ve elde edilen değerler ölçümü yapılan restorasyonlar için marjinal aralık değeri olarak kaydedildi. Tüm ölçümler mikrometre (μm) cinsinden elde edildi. Sonuçlar Microsoft Excel'de listelendi.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3. 16. Oklüzal (a), Lingual (b), Mezial (c) bölgelerde ölçüm için belirlenen noktalar

3.4. İstatiksel Analiz

Ölçümlerden elde edilen verilerin istatistiksel analizleri, bir IBM SPSS İstatistik 22 yazılımı yardımı ile yapıldı. İstatistiksel analiz değerlendirilirken tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve Tukey'in Post-Hoc testleri kullanılarak yapıldı.

4.BULGULAR

Çalışmada iki farklı 3B baskı reçine materyali ve iki farklı preparasyon tasarımı olmak üzere toplam dört gruptan oluşan 3B baskı ile üretilen onley restorasyonların marjinal aralık değerleri ölçülmüştür. Restorasyonların dişler üzerindeki adaptasyonunu değerlendirmek için oklüzal bölgede 9, lingual bölgede 3 ve mezial bölgede 6 nokta olacak şekilde toplamda 18 noktadan ölçümler yapılmıştır.

4.1. Marjinal Adaptasyon Değerlendirme Bulguları

Deney gruplarının ortalama marjinal aralık değerleri Tablo 4. 1'de gösterilmiştir.

Tablo 4. 1. Ortalama marjinal aralık değerlerinin reçine tipine, preparasyon tasarımına ve konuma göre karşılaştırılması

Deney Grupları	Oklüzal	Lingual	Mezial
Grup 1 (Varseosmile, Bego+ Shoulder Preparasyon)	70.93 ^{Aa}	90.28 ^{Aa}	101.91 ^{Ab}
Grup 2 (Varseosmile, Bego+ Flat Preparasyon)	67.01 ^{Aa}	86.53 ^{Ab}	101.33 ^{Ac}
Grup 3 (Crowntec, Saremco+ Shoulder Preparasyon)	53.13 ^{Ba}	74.51 ^{Bb}	86.29 ^{Bb}
Grup 4 (Crowntec, Saremco+ Flat Preparasyon)	47.36 ^{Ba}	62.84 ^{Bb}	84.27 ^{Bc}

*Her satırda farklı üst simge (a, b, c) gruplar arasında marjinal aralık değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılığı göstermektedir (p<0.05).

*Her sütunda farklı üst simge (A, B, C) gruplar arasında marjinal aralık değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılığı göstermektedir (p<0.05).

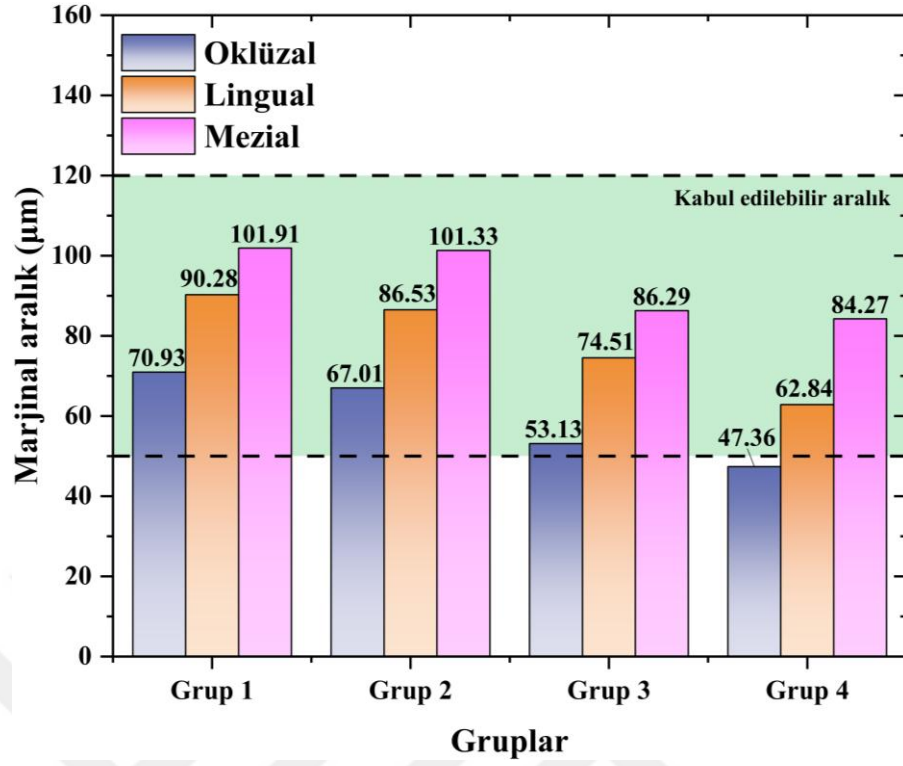
Deney grupları arasında oklüzal bölgede istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardı (p<0,001). Grup 1 (70,93 µm) ve Grup 2'nin (67,01 µm) ortalama marjinal aralık değerleri, Grup 3 (53,13 µm) ve Grup 4'ten (47,36 µm) daha yüksekti.

İstatistiksel analiz, reçine tipinin oklüzal konumlarda 3B baskı onley restorasyonların marjinal adaptasyonunu etkilediğini doğruladı. Ancak, preparasyon tasarımının oklüzal konumda 3B baskı onley restorasyonların marjinal adaptasyonu üzerinde bir etkisi yoktu (p=0,145).

Deney grupları arasında lingual konumda istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardı ($p<0,001$). Grup 1 ($90.28 \mu\text{m}$) ve Grup 2'nin ($86.53 \mu\text{m}$) ortalama marjinal aralık değerleri, Grup 3 ($74.51 \mu\text{m}$) ve Grup 4'ten ($62.84 \mu\text{m}$) daha yüksekti. İstatistiksel analiz, reçine tipinin lingual konumda 3B baskı onley restorasyonların marjinal adaptasyonunu etkilediğini doğruladı. Ancak, lingual konumda preparasyon tasarımının 3B baskı onley restorasyonların marjinal adaptasyonları üzerinde etkisi yoktu ($p=0.022$).

Deney grupları arasında mezial konumda istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardı ($p<0,001$). Grup 1 ($101.91 \mu\text{m}$) ve Grup 2'nin ($101.33 \mu\text{m}$) ortalama marjinal aralık değerleri, Grup 3 ($86.29 \mu\text{m}$) ve Grup 4'ten ($84.27 \mu\text{m}$) daha yüksekti. İstatistiksel analiz, reçine tipinin mezial konumda 3B baskı onley restorasyonların marjinal adaptasyonunu etkilediğini doğruladı. Ancak, mezial konumda, preparasyon tasarımının 3B baskı onley restorasyonların marjinal adaptasyonu üzerinde bir etkisi yoktu ($p=0.0145$).

Tüm gruplarda, en yüksek marjinal aralık değerleri mezial konumda gözlenirken, en düşük marjinal aralık değerleri oklüzal konumda gözlemlendi. Elde edilen tüm marjinal aralık değerleri klinik olarak kabul edilen sınırın altında değerlerdi (**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**).



Şekil 2. 14. Ortalama marjinal aralıkların gruplara göre karşılaştırılması

5.TARTIŞMA

Gelişen teknolojiyle birlikte diş hekimliği alanında birçok alternatif tedavi yöntemleri ortaya çıkmaktadır. Özellikle son yıllarda CAD/CAM frezeleme ve 3B baskı sistemlerinin piyasaya sürülmesi bu alanda pek çok gelişmeyi beraberinde getirmiştir. Bu teknolojiler hastaların estetik beklentilerini karşılarken aynı zamanda dayanıklılık yönünden de hastaları tatmin etmektedir. CAD/CAM sistemlerin geleneksel yöntemlere göre birçok avantajı vardır. Kullanım kolaylığı ve daha fazla üretim yapması bu avantajlardan bazılarıdır. Bunların yanında zamandan tasarruf sağlar. Bu avantajlar CAD/CAM frezeleme sistemlerini yıllardır popüler tutmuştur ancak maliyetli bir sistemdir. Bu sistemi maliyetli yapan bazı özellikleri fazla ham madde tüketimi ve frez israfıdır (Park, Kim vd. 2015, Abdullah, Tsitrou vd. 2016).

Son yıllarda, yeni malzemelerin, baskı tekniklerinin ve makinelerin gelişimi hızla artmıştır. Bu hızlı gelişim 3B baskıya klinik tedavi, araştırma ve eğitimde, geleneksel diş hekimliğinde devrim yaratma potansiyeli vermiştir. Her alanda kullanım sıklığı oldukça artmış olan 3B baskı pek çok avantajı beraberinde getirmektedir (Prechtel, Reymus vd. 2020). Bu sistemlerinin avantajları, karmaşık bireysel geometrilerin imalatı, küçük miktarlarda talep üzerine üretim, yüksek ekonomik verimlilik, hızlandırılmış ve uygun maliyetli inovasyon süreçleri ve yüksek hassasiyettir (Ngo, Kashani vd. 2018). Dezavantajları arasında, yüksek süreç ve malzeme maliyetleri, önceden varsayılan teknik bilgi birikimine sahip karmaşık bir iş akışı, anizotropik davranış ve basılı nesnenin zaman alıcı bir son işlemesi sayılabilir (Tack, Victor vd. 2016, Liaw ve Guvendiren 2017, Prechtel, Reymus vd. 2020). Tüm bu avantajların ve dezavantajların yanında 3B baskı sistemleri diş hekimliğinde halen çok yenidir ve dental kliniklerde kullanımı sınırlıdır. Aynı şekilde literatürde yapılan araştırmalar halen çok kısıtlıdır. Bu çığır açabilecek cihazların daha yaygın kullanılabilmesi için bu alanda daha çok çalışmaya ve daha çok araştırmaya ihtiyaç vardır.

3B baskı sistemlerinin diş hekimliğindeki bu ilerleyişiyle birlikte bu sistemlerin kullanım alanlarından biri diş rengindeki restorasyonların üretimi olmuştur. Uzun yıllardır madde kayıplı dişlerin restore edilmesinde diş rengindeki indirekt restorasyonlar tercih edilmektedir. Literatüre bakıldığında son dönemde

yapılan birçok çalışmada tam kuron restorasyonların aksine indirekt restorasyonlara odaklanılmıştır (Baldi, Comba vd. 2021). Bunun sebebi ise indirekt restorasyonların sağlam dokuyu korumayı amaçlamasıdır. Baldi ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada tam kuron restorasyonlar ile onley, endokuron ve overleyleri estetik, mekanik ve fonksiyonel özellikler açısından karşılaştırmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre bu restorasyonlar geleneksel kuronlarla benzer seviyede özellikler göstermiştir. Ek olarak dişin bütünlüğünü koruduğu sonucuna da varılmıştır (Baldi, Comba vd. 2021).

Bu çalışma, iki farklı preparasyon tekniği ile prepare edilmiş plastik dişlerde iki farklı 3B baskı reçine kullanılarak üretilen onley restorasyonların marjinal adaptasyonlarını karşılaştırmayı amaçlamaktadır. Bu çalışmada klinikte sık karşılaşılan ara yüzlerdeki çürük harabiyetinin, gingival sınırı ulaştığı kavitasyonları simüle etmek amacı ile; MOL bir onley preparasyonu yapılmıştır. Bu anlamda kavite preparasyonu yapılırken literatürde bildirilen faktörlere önemli ölçüde dikkat edilmiştir. Mandibular molar dişlerin fonksiyonel olmayan lingual tüberküllerinde 1,5 mm aşındırma uygulanırken yine literatürde yer alan tüberkül aşındırma araştırmaları göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca bu çalışmanın klinik koşulları olabildiğince yansıtması ve sonuçların ileriki çalışmalara uyarlanabilmesi hedeflenmiştir. Ek olarak bu çalışmadaki numuneler, onleyler arasında tekdüzeliği standartlaştırmak ve sürdürmek için aynı STL dosyaları ile 3B yazıcı kullanılarak üretilmiştir. Marjinal adaptasyonu değerlendirmek için mezial bölgede 6, oklüzal bölgede 9 ve lingual bölgede 3 nokta olacak şekilde toplam 18 noktadan ölçüm yapılmıştır. Yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda reçine tipinin her üç konumda da 3B baskı onley restorasyonların marjinal adaptasyonunu etkilediği, preparasyon tasarımının her üç konumda da marjinal adaptasyona bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır.

Reçine tipi, 3B baskı reçine ile üretilen onley restorasyonların marjinal adaptasyonunu etkilemez şeklindeki birinci sıfır hipotezi reddedildi ve reçine tipinin 3B baskı reçine onleylerin marjinal adaptasyonu üzerinde önemli bir etkisi olduğu doğrulandı ($p<0.05$). Çalışma sonuçları, test edilen iki reçine arasında marjinal aralık değerlerinde önemli farklılıklar olduğunu ve ölçülen her üç konumda da CT'in VS'a göre daha iyi genel adaptasyon gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu bulgu, 3B baskı reçinelerdeki materyal bileşiminin marjinal adaptasyonu doğrudan etkilediğini

gösteren önceki çalışmalarla uyumludur (İgret, Rotar vd. 2023, Daghrery, Lunkad vd. 2024, Di Fiore, Stellini vd. 2024, Mudhaffer, Althagafi vd. 2024)

İgret ve ark. (2023) iki farklı reçine kullanarak 3B baskı (SLA) sabit protezlerin marjinal adaptasyonunu frezeleme sistemleri ile karşılaştırdıkları çalışmalarında, her iki 3B baskı reçinenin de geçici sabit bölümlü protezler üretmek için kullanıldığında kabul edilebilir marjinal aralık değerleri sağladığı ve farklı reçine tiplerinin, bir kuronun marjinal adaptasyonunun kalitesini etkileyebileceği sonucuna varmışlardır. Reçine tiplerinin marjinal aralık değerlerinde meydana gelen bu farklılıklar, reçinelerin materyal bileşimleri yani monomer türü, partikül boyutu ve oranı, akışkanlık ve viskozite gibi birçok faktör ile ilişkilendirilebilir. Ayrıca, bu tür malzemelerin polimerizasyonu için kullanılan ekipmanların özellikleri, polimerizasyon süresi, ışık kaynağı ve üretim sonrası prosedürler gibi faktörler de bu hususta önemli rol oynar. Sonuç olarak, reçinelerin materyal bileşimleri, 3B baskı reçinelerin mekanik ve biyolojik özelliklerini etkiler (Atria, Bordin vd. 2022).

Restoratif materyal içeriğindeki partikül boyutu ve oranının restorasyonun marjinal adaptasyonu üzerine etkisi vardır. Rezin esaslı materyallerde doldurucu partikül oranı azaldıkça organik matriks oranı artar. Buna bağlı olarak marjinal adaptasyonu etkileyebilecek polimerizasyon büzülmesi oranı da artacaktır (Aw ve Nicholls 2001). Di Fiore ve ark. (2024) CT ve VS daimi kuron reçinelerinin fiziksel özelliklerini karşılaştırdıkları çalışmalarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulmuşlardır. 3B baskı reçinelerin fiziksel özellikleri arasındaki farklılığın inorganik doldurucu partikül oranlarından kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir (Di Fiore, Stellini vd. 2024). Mudhaffer ve ark. (2024) CT ve VS daimi kuron reçinelerinin her ikisinin de yaklaşık ağırlıkça %33 doldurucu içeriğine sahip olduğunu bildirmiş olsa da bu reçinelerin resin matrisi bileşimi ve doldurucu morfolojisi üreticiler tarafından tam olarak açıklanmamıştır. Bu çalışmada kullanılan her iki reçine için de partikül boyutu 0,7 µm iken inorganik doldurucu kütlece %30-50 oranındadır.

Uygun monomerlerin seçimi de, hem biyouyumlu bir malzeme hem de üretilen nesnenin yüksek doğruluğunu elde etmek için önemlidir. Bisfenol A glisidil metakrilat (BisGMA) ve üretan dimetakrilat (UDMA), ışıkla sertleşen dental kompozit reçinelerde yaygın olarak kullanılan monomerlerdir. Bu monomerler

yüksek viskoziteye ve yüksek moleküler ağırlığına sahiptir. Bu özellikler bu reçinelerin SLA/DLP 3B baskıda uygulanmasını sınırlamaktadır (Kessler, Reichl vd. 2020). DLP yazıcılar 3B baskı reçinelerinin nesneleri oluşturmak için katman katman hassas bir şekilde fotopolimerize edilmesini gerektirdiğinden, baskı işlemi sırasında reçinenin düşük viskoziteye sahip olması gerekir. BisGMA, dental kompozit reçinelerde en yaygın kullanılan metakrilat monomeri olmasına rağmen, yüksek viskozite özelliği bu materyali 3B baskıda kullanımını sınırlandırmaktadır. Diğer bir monomer çeşidi BisEMA'da ise hidroksil grubu bulunmamaktadır. Hidroksil grubu içermemesi BisEMA'nın viskozitesini önemli ölçüde düşürür ve böylece bu monomeri 3B baskı için iyi bir aday haline getirir (Lemon, Jones vd. 2007, Dos Santos, Alto vd. 2008). Bu çalışmada kullanılan her iki reçine de BisEMA monomeri içermektedir.

Diğer bir yandan reçinelerin farklı monomer içeriklerinin marjinal adaptasyon üzerindeki etkileri farklı polimerizasyon büzülmesi miktarları ile de ilişkilidir. Polimerizasyon büzülmesi miktarındaki farklılıklar marjinal adaptasyonda değişikliklere yol açacaktır. Çünkü rezin bazlı kompozitlerin hacimsel polimerizasyon büzülmesinin %2 ila %3 aralığında olduğu ve diş ile restoratif materyal arasında adaptasyon sorunlarına yol açabileceği bildirilmektedir (Jung ve Park 2017). Al-Dulaijan ve ark. (2024) yaptıkları çalışmada gözlemlenen marjinal aralıkların, esas olarak reçineler içinde meydana gelen polimerizasyon büzülmesinden kaynakladığını bildirmişlerdir. 3B baskı restorasyonlarda kullanılan farklı materyallerde meydana gelen polimerizasyon büzülmesindeki farklılıklara bağlı olarak marjinal adaptasyon değerleri etkilenebilir. Yapılan çalışmalarda marjinal aralık sorununun PMMA (polimetil metakrilat) restorasyon materyalinde akrilik bazlı reçinelere oranla daha belirgin olduğu bulunmuştur (Ehrenberg, Weiner vd. 2006, Nejatidanesh, Lotfi vd. 2006). Bu çalışmada kullanılan iki farklı 3B baskı reçine grupları farklı marjinal aralık değerleri göstermiştir.

Farklı 3B baskı reçinelerin marjinal adaptasyonunun değerlendirildiği bir diğer çalışmada Daghrery ve ark. (2024) konik ışınli bilgisayarlı tomografi (CBCT) kullanılarak 3B baskı (Varseosmile TrinQ ve Varseosmile Crown Plus) ve CAD/CAM ile frezelenmiş (Brilliant Crios) laminate veneerlerin marjinal, genel, iç ve mutlak marjinal aralık değerlerini karşılaştırmışlardır. Çalışma sonuçlarına göre

3B baskı Varseosmile Crown Plus grubu için marjinal aralık değeri 0.27 mm bulunmuştur (Daghrery, Lunkad vd. 2024). Bu çalışmada kullanılan VS ile üretilen örneklerin marjinal aralık değerleri ise 67,01 ile 101,91 µm arasında değişmektedir. İki çalışma arasında marjinal aralık değerlerindeki farklılık aynı reçine ve aynı fabrikasyon yöntemi kullanılmasına rağmen kullanılan cihazların farklı özellikleri olmasından kaynaklanabilir. Çalışmalar göstermiştir ki yazıcı tipi, reçine tipi, çevresel nem ve sıcaklık, cihazın kalibrasyonu ve restorasyon şeklinin karmaşıklığı gibi faktörler basılan nesnelerin özelliklerini ve marjinal adaptasyonunu önemli ölçüde etkilemektedir (Puebla, Arcaute vd. 2012, Alharbi, Osman vd. 2016). Farklı yazıcı kullanımına bağlı olarak baskı açısı, katman kalınlığı, destek yapıları ve post-kürleme süresi dahil olmak üzere baskı parametreleri marjinal adaptasyonu etkileyecektir.

Jang ve ark. (2024) çalışmalarında SLA ile üretilen 3B baskı reçine protezlerde baskı açılara ve katman kalınlıklarına göre marjinal adaptasyonu değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçlarda hem 3B baskı hem de frezelenmiş protezler klinik olarak kabul edilebilir bir adaptasyon göstermiştir. Ancak baskı koşullarına bağlı olarak iki üretim tekniği arasında marjinal adaptasyonda bir fark meydana geldiğini bulmuşlardır. Marjinal ve iç adaptasyon göz önüne alındığında en uygun baskı parametreleri olarak 45 ve 60°'lik baskı açıları ile 50 µm'lik bir katman kalınlığı önermişlerdir (Jang, Kim vd. 2024). Benzer sonuçlar elde eden Park ve arkadaşları (2019), 3B baskı ile üretilen reçine protezin baskı açısı ve katman kalınlığının marjinal ve iç adaptasyon üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışmada marjinal ve iç adaptasyonun, baskı açısına göre değiştiğini bulmuşlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre 45 ve 60°'lik baskı açıları önerilirken, 50 ve 100 µm'lik katman kalınlıklarının sonuçları arasında fark bulunmamıştır (Park, Kim vd. 2019). Diğer bir çalışmada Yang ve ark. (2022) 3B baskı sabit protezin baskı açısı ve katman kalınlığının marjinal adaptasyon üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Sonuçlarda SLA 3B baskı yöntemi ile üretilen üç üye reçine protezin marjinal adaptasyonu farklı katman kalınlıklarından etkilenmezken baskı açısından etkilendiği bulunmuştur ve 45° baskı açısı önerilmiştir (Yang, Kim vd. 2022). Osman ve ark. (2017) DLP baskı reçine kuronların 3B doğruluğunu değerlendirdiği çalışmalarında ise, yine optimal baskı açısı olarak 45°'yi önermiştir. Bu çalışmalardan farklı olarak Crispim ve ark.

(2024) yaptıkları çalışmada LCD yazıcı kullanılarak ürettikleri 3B baskı parsiyel kuronların kırılma direnci, marjin kalitesi, marjinal ve iç adaptasyon ve dönüşüm derecesi üzerindeki baskı açısı, polimerizasyon sonrası süre ve yaşlanmanın etkisini değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre 30° lik baskı açısının, daha iyi marjinal ve iç adaptasyon, marjin kalitesi ve mekanik mukavemeti sağladığını, polimerizasyon sonrası zamandaki değişikliğin, kuronların marjinal ve iç adaptasyonunu önemli ölçüde etkilemediğini bulmuşlardır (Crispim, da Silva vd. 2024). Baskı açısı ve marjinal adaptasyon ilişkisinin değerlendirildiği çalışmalar göz önüne alındığında farklı baskı açıları arasında gözlemlenen marjinal ve iç adaptasyon farklılıklarının çeşitli faktörlere bağlanabileceği bulunmuştur. İlk olarak 3B yazıcı tarafından oluşturulan katmanların yüzey alanı ve biçimi, baskı açısına bağlı olarak farklılık göstermektedir. DLP tabanlı 3B yazıcılar, her seferinde bir katmanı polimerize eder. Bu şekilde katman biçimindeki değişiklikler polimerizasyon büzülmesinin şeklinde ve derecesinde değişikliklere yol açacaktır (Tahayeri, Morgan vd. 2018, Unkovskiy, Bui vd. 2018, Ryu, Kim vd. 2020). Bu nedenle baskı açısındaki değişiklikler polimerizasyon büzülmesi miktarında farklılıklara neden olacaktır. Dolayısıyla marjinal adaptasyonda farklılıklar meydana gelecektir. Bu çalışmada her iki reçine için baskı açısı 0°'dir. Ancak diğer baskı parametreleri her iki reçine için de üretici talimatlarına uygun olarak ayarlanmıştır. Mevcut çalışmada CT ve VS grupları arasındaki marjinal adaptasyon farklılıkları her bir materyale farklı olarak uygulanan özel baskı parametrelerinin bir sonucu olabilir. CT için 3,5-4,5 saniyelik pozlama süreleri ve 25-35 saniyelik alt pozlama sürelerini içeren baskı parametreleri kullanılmış iken, VS ile üretilmiş onley restorasyonlarda pozlama süresi 4,5 saniye ve alt pozlama süreleri 40 saniyedir. 3B baskı onley restorasyonların üretimi sırasında baskı parametrelerindeki bu farklılıklar muhtemelen her iki materyaldeki polimerizasyon derecesini etkilemiş olabilir.

Katman kalınlığı restorasyonun doğruluğunu, yüzey kalitesini ve polimerizasyon sürecini etkileyen önemli bir parametredir (Lin, Fang vd. 2019). Katman kalınlığındaki farklılıklar materyalin üç boyutlu yapısını etkileyebilir (Favero, English vd. 2017). 3B baskı restorasyonların marjinal adaptasyonu üzerine katman kalınlığının etkisi konusunda literatürde birçok çalışma vardır. Hasanzade ve ark. (2023) katman kalınlığının geçici kuronların marjinal ve iç adaptasyonu

üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışmalarında, bir ürün tasarlarken 3B baskı katman kalınlığının marjinal ve iç adaptasyon üzerindeki etkisini göz önünde bulundurmanın önemli olduğunu ve 50 µm katman kalınlığı ile basılan geçici kuronların, en iyi marjinal ve iç adaptasyonu sağladığını bildirmişlerdir. Çakmak ve arkadaşlarının (2024) yaptığı çalışmada, farklı katman kalınlıklarında basılmış 3B baskı sabit protezlerin doğruluğunu değerlendirmiştir. Genel doğruluk açısından, 20 ve 50 µm katman kalınlık grupları arasında herhangi bir fark görülmediği, ancak 100 µm kalınlık grubundan daha yüksek doğruluk gösterdiği bulunmuştur. Sonuç olarak, 50 µm katman kalınlığı kullanılarak üretilen kuronların marjinal adaptasyon kalitesinin daha yüksek olduğu bulunmuştur (Çakmak, Cuellar vd. 2024). Bu çalışmada üretici firma önerileri doğrultusunda her iki 3B baskı reçine için 50 µm katman kalınlığı kullanılmıştır.

Ayrıca destek yapıların tasarımı ve konumu da marjinal adaptasyonu etkileyebilecek parametreler arasındadır. Khanlar ve ark. (2024) 3B yazıcı ile üretilen restorasyonlarda destek yapıların tasarımının ve konumlarının, marjinal ve iç adaptasyonu önemli ölçüde etkilediğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada üretilen tüm onley restorasyonlar, 3B baskı öncesinde Chitubox dilimleme program kullanılarak destek yapıları restorasyonların oklüzal yüzeyinde marjinlerden uzak konumda olacak şekilde ve aynı sayıda yerleştirilmiştir.

Bunlara ek olarak Kim ve arkadaşları (2020) farklı kürleme yöntemlerinin 3B baskılı tam ark polimerik sabit protezlerin adaptasyon ve boyutsal doğruluğu üzerindeki etkilerini değerlendirdikleri çalışmalarında son kürleme işleminin protezlerin adaptasyon ve boyutsal doğruluğunu etkilediği sonucuna varmışlardır.

Tüm bu çalışmalar göz önüne alındığında 3B yazıcıların farklı üretim teknikleri, farklı 3B yazıcıların kullanılması, baskı açısı, katman kalınlığı, kürleme prosedürleri, desteklerin türü ve konumu, kullanılan reçine tipi, diş modeli, tasarım çeşitliliği, farklı preparasyon tasarımları ve ölçüm yöntemleri gibi çeşitli faktörler, üretilen restorasyonun yapısını ve doğruluğunu doğrudan etkileyebilir (Hasanzade, Yaghoobi vd. 2023). Park ve Shin (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, farklı yöntemlerle üretilmiş dört döküm kalıbının yüzeyleri karşılaştırılmış ve üç farklı 3B yazıcı arasında önemli hacimsel farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucunda,

farklı yazıcı türlerinin doğruluk ve tekrarlanabilirlik üzerinde etkili olabileceği belirtilmiştir (Park ve Shin 2018). Diğer araştırmaların bulgularına göre ise PolyJet ve DLP teknolojilerinin, diğer 3B yazıcı türlerine kıyasla daha üstün performans gösterdiği bildirilmiştir (Murugesan, Anandapandian vd. 2012, Hazeveld, Slater vd. 2014). 3B yazıcı sistemlerindeki tüm bu çeşitliliğe ve farklılığa rağmen marjinal adaptasyon üzerinde etkili olan bu parametreleri 3B baskı sürecinde kolayca ayarlamak ve kontrol etmek mümkündür. Bu parametrelerin hassas bir şekilde ayarlanması sayesinde, 3B baskı süreci belirli uygulamalara özel olarak optimize edilebilir (Vaezi ve Chua 2011).

Sonuç olarak bu çalışma sonuçlarında gözlemlenen önemli farklılıklar, 3B baskı onley restorasyonlarda marjinal adaptasyonunun optimize edilmesinde reçine seçiminin çok önemli bir faktör olduğu fikrini desteklemektedir. Ayrıca reçine seçimiyle birlikte baskı parametreleri de bu hususta önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, reçine seçimi gibi baskı parametrelerinin de dikkatli bir şekilde belirlenmesi, üretilen restorasyonların doğruluğunu ve klinik başarısını artırmada kritik bir faktör olarak öne çıkmaktadır.

Preparasyon tasarımı, 3B baskı reçine ile üretilen onley restorasyonların marjinal adaptasyonunu etkilemez şeklindeki ikinci hipotez kabul edildi. Her iki reçine için flat preparasyon tasarımının shoulder preparasyon tasarımından daha düşük marjinal aralık değerleri gösterdiği bulunmasına rağmen her üç konumda da gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktu. Literatürde preparasyon tasarımının marjinal adaptasyon üzerindeki etkisine ilişkin farklı sonuçlar vardır (Cho, Choi vd. 2004, Euán, Figueras - Álvarez vd. 2012, Al Maaz, Thompson vd. 2019, Chaturvedi, Alqahtani vd. 2020, Yang, Yang vd. 2020, Kumar, Suganna vd. 2021, Mugri, Dewan vd. 2023). Ayrıca literatürde tutucu kavite preparasyonları yerine daha konservatif, düz yüzeyli ve iç açların yumuşatıldığı bir tasarımın restorasyonun ağızda kaldığı süreyi uzatacağı kabul edilmektedir (Falahchai, Babae Hemmati vd. 2020).

Euán ve ark. (2012), farklı preparasyon tasarımları ile elde edilen restorasyonların marjinal adaptasyonunu değerlendirdikleri çalışmalarında, preparasyon tasarımının marjinal adaptasyonu etkilediği sonucuna varmışlardır. Bu

sonuçların numunelerin üretimi sırasında ana kalıptaki kopinglerin ayarlanması aşaması ve tasarım aşamasındaki parametrelerden kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir.

Lima ve ark. (2018) direkt ve indirekt dijital ölçü tekniklerinin ve iki preparasyon tasarımının CAD/CAM onleylerin marjinal adaptasyonu üzerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında shoulder preparasyonun flat preparasyona kıyasla daha iyi marjinal adaptasyon gösterdiğini bulmuşlardır. Bu farklılık, mezial kutu ile shoulder arasında daha iyi bir geçiş sağlanabilmesi ile ilişkili olabileceği ve shoulder preparasyonun CAD/CAM sistemi tarafından kolayca taranabilmesi sebebiyle ve freze makinesinin frezlerinin CAD/CAM restorasyonun shoulder kenarlarını daha iyi üretebilmesiyle adaptasyonu iyileştirmiş olabileceği belirtilmiştir.

Maaz ve ark.(2019), SLM (Seçici Lazerle Eritme) teknolojisi kullanılarak üretilmiş metal kopinglerin marjinal ve iç aralıkları üzerinde üç farklı preparasyon tasarımının etkisini değerlendirdikleri çalışmalarında preparasyon tipinin, kopingler ve kalıplar arasındaki iç aralığı etkilemezken, marjinal aralığı etkilediği sonucuna varmışlardır. Klinik olmayan uygulamalarda, bir tanım kullanarak bir aralığı tanımlamanın zor olduğunu (Groten, Girthofer vd. 1997) ve bu zorluğun restorasyon ile diş arasındaki aralıkları ölçtüklerinde araştırmacılar arasında sonuçların farklılık göstermesinin nedenlerinden olabileceğini belirtmişlerdir (Al Maaz, Thompson vd. 2019).

Kumar ve ark. (2021) ise, shoulder ve chamfer preparasyon tasarımlarını karşılaştırdıkları çalışmalarında, chamfer preparasyon tasarımı ile üretilmiş olan restorasyonların shoulder preparasyon tasarımı ile üretilenlere göre daha fazla marjinal aralık değerleri gösterdiğini bildirmişlerdir. Benzer şekilde Cho ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada da shoulder tasarımına kıyasla champer tasarımında marjinal aralık değerlerinin daha fazla olduğu bulunmuştur.

Yang ve ark. (2020) shoulder ve chamfer preparasyon tasarımlarının seramikle güçlendirilmiş kompozit rezin CAD/CAM onleylerin marjinal ve internal adaptasyonu üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışmalarında preparasyon tasarım tipinin seramikle güçlendirilmiş kompozit rezin CAD/CAM onleylerin marjinal adaptasyonu üzerinde etkili olduğu sonucuna varmışlardır. Shoulder tasarımına sahip

bir preparasyonun, taranmasının ve üretilmesinin daha kolay olduğu, bunun da CAD-CAM restorasyon prosedürünü geliştirebileceği ve sonuçları etkileyebileceği belirtilmiştir (Federlin, Sipos vd. 2005, Seo, Yi vd. 2009, Chu, Bennani vd. 2018). Bununla birlikte shoulder preparasyonun, düz oklüzal yüzeyleri, zayıf marjinal adaptasyonla sonuçlanabilecek ve sonunda başarısızlığa yol açabilecek kesin bir yerleştirme yolu sunamayacağından bahsedilmiştir (Yang, Yang vd. 2020).

Mugri ve ark. (2023), geçici kuronların marjinal adaptasyonuna taper açısı (10° ve 20°) ve preparasyon tasarımının (chamfer ve shoulder) bileşik etkisini araştırdıkları çalışmalarında en düşük marjinal aralık değerini Shoulder preparasyon tasarımı 20° taper açılı 3B yazıcı ile basılmış kuronlarda bulurken, en yüksek değer shoulder preparasyon tasarımına sahip 10° taper açılı frezeleme ile üretilmiş kuronlarda bulunmuştur. Hajimahmoudi ve ark. (2023) 5° ve 10° 'lik taper açısı ile üretilmiş restorasyonların marjinal adaptasyonlarını değerlendirdikleri çalışmalarında 10° 'lik taper açısının daha iyi marjinal adaptasyona sebep olduğunu bildirmişlerdir. Önceki çalışmalarda, restorasyonlara iyi retansiyon ve direnç özelliği kazandırdığı için 2° ila 6° 'lik bir taper açısı önerilmektedir (Tiu, Al-Amleh vd. 2015).. Ancak bu taper açısının kliniklerde elde edilmesi zordur. Bu değerlerin üzerinde bir koniklik, üretim süreci sırasında oluşabilecek kusurları telafi edebilir, simantasyon sırasında iyi bir oturma alanı sağlayabilir ve ayrıca yerleştirme yolunu kolaylaştırabilir (Naidoo, Moipolai vd. 2021). Bu çalışmada her iki preparasyon tasarımında da 10° 'lik taper açısı uygulanmıştır. Ayrıca bu çalışmada kullanılan eklemeli üretim tekniğinin katman katman üretim süreci ve dijital model tasarım aşamaları preparasyon tasarımları arasında farklı marjinal aralık değerlerine sebep olmuş olabilir.

Konum, 3B baskı reçine ile üretilen onley restorasyonların marjinal adaptasyonunu etkilemez şeklindeki üçüncü boş hipotez oklüzal, lingual ve mezial bölgelerde gruplar arasında anlamlı bir fark gözlemlendiğinden reddedildi. Analiz sonuçları, ölçüm konumuna bağlı olarak marjinal adaptasyonda önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymuştur. Tüm gruplarda en yüksek marjinal aralık değeri mezial kenarlarda, en düşük marjinal aralık değeri ise oklüzal kenarlarda kaydedilmiştir. Bu bulgular diğer çalışmalardan elde edilen sonuçlarla benzerdir (Mai, Lee vd. 2017, Alharbi, Alharbi vd. 2018, Lim, Kim vd. 2023).

Alharbi ve ark. (2018) fabrikasyon yönteminin ve preparasyon tasarımının, dental restorasyonların marjinal ve iç adaptasyonu üzerindeki etkisini değerlendirdikleri çalışmada 3B baskılı restorasyonların, frezelenmiş muadillerine göre önemli ölçüde daha düşük iç ve marjinal aralık değerleri sergilediğini ve tüm ölçüm noktaları arasında, her iki imalat yönteminde de en yüksek marjinal aralık değerlerinin insizal bölgede bulunduğu sonucuna varmıştır. Bu sonucun tasarım sürecinde birleştirilmiş alanlardan kaynaklanabileceğini ancak daha fazla araştırma gerektirdiğini belirtmişlerdir. (Alharbi, Alharbi vd. 2018).

Mai ve ark. (2017) fotopolimer püskürtmeli 3B baskı kullanılarak üretilen geçici kuronların adaptasyonunu değerlendirdikleri çalışmalarında polimer püskürtmeli 3B baskının, özellikle oklüzal bölgede geçici kuronların adaptasyonunu önemli ölçüde artırdığını bulmuşlardır.

Mugri ve ark. (2023), 3B baskı ile üretilmiş geçici kuronların marjinal adaptasyonuna taper açısı ve preparasyon tasarımının bileşik etkisini araştırdıkları çalışmalarında en yüksek marjinal aralık değerlerini mezial konumda bulurken, en düşük değerleri bukkal konumda bulmuşlardır.

Park ve ark. (2016), nanokompozit CAD/CAM restorasyonların marjinal ve internal adaptasyonlarını karşılaştırdıkları çalışmalarında iki nano-kompozit CAD/CAM restorasyonunun iç alanı arasında, oklüzal aralık verileri, marjinal aralık verilerinden önemli ölçüde daha fazla olduğunu ve ölçüm konumun restorasyonların adaptasyonlarını önemli ölçüde etkilediğini bulmuşlardır. Bu konumsal farklılıkların, CAD/CAM sisteminin frezeleme işleminin ve restorasyon tasarım yazılımının olası bir sonucu olabileceğini belirtmişlerdir.

Sener-Yamaner ve ark. (2017), CAD/CAM seramik ve kompozit inleylerin kırılma direnci ve marjinal adaptasyonu değerlendirdikleri çalışmada, gingival konumda, oklüzal ve aksiyel konumlara kıyasla daha yüksek marjinal aralıklar bulmuşlardır. Bu sonucun sebepleri olarak, oklüzal kutudaki koniklik açısının, inleylerin oturmasından etkilenebilecek rutin klinik uygulamaya göre in vitro bir çalışmada daha küçük hazırlanabilecek olması ve frezeleme ünitelerine ve gingival konumu şekillendiren frezlerin hassasiyet eksikliğinden kaynaklanabileceğinden bahsetmişlerdir (Sener-Yamaner, Sertgöz vd. 2017).

Mevcut çalışmada tüm gruplarda en yüksek marjinal aralıkların mesial konumda ölçülmesinin sebepleri arasında dijital tasarım ve katman katman üretim sürecinin bir sonucu olabilir. Tüm bu bulgular, kötü marjinal adaptasyonun mikrosızıntı ve çürük gelişimi gibi klinik komplikasyonlara yol açabileceği mezial bölgeler gibi kritik yerlerde dikkatli marjin kontrolünün önemini vurgulamaktadır.

Literatürdeki marjinal adaptasyon çalışmalarında, hazırlanan preparasyonlara restorasyonların rezin simanlarla yapıştırıldığı çalışmaların aksine bu çalışmada iki farklı preparasyon tasarımı ile hazırlanmış iki plastik dentiform diş kullanılmış olup, marjinal adaptasyonun değerlendirilmesi öncesinde rezin siman kullanılmamıştır. Yapıştırma ajanı tipi, viskozite ve simantasyon tekniği, indirekt restorasyonların marjinal adaptasyonunu etkileyebilir. Simanın hidrostatik basıncı marjinde aralıklar yaratabilir ve marjinal adaptasyon ölçümlerini etkileyebilir (Lima, Neto vd. 2018).

Restorasyonların marjinal adaptasyonu, başarı oranını doğrudan etkileyen bir faktördür ve restorasyonların uzun ömürlülüğünde ve genel başarısında rolü büyüktür. Literatür, kullanılan restoratif materyale, yapıştırma siman tipine ve ölçüm tekniğine bağlı olarak farklı kabul edilebilir, marjinal aralık değerleri bildirmiştir. Buna rağmen, net bir fikir birliği halen yoktur. 50-120 µm içinde marjinal aralık değeri şu anda indirekt restorasyonlar için klinik açıdan kabul edilebilir bir değer olarak kabul görmektedir. Marjinal aralık değerinin 25 µm'den az olduğu durumlar ise optimum kabul edilmektedir (Jw 1971, Contrepolis, Soenen vd. 2013, Wu, Zhao vd. 2018, Revilla-León, Methani vd. 2020, Hasanzade, Aminikhah vd. 2021, Abualsaud ve Alalawi 2022). Birkaç çalışma, klinik olarak kabul edilebilir maksimum değeri 200 µm olarak önermiştir (Jacobs ve Windeler 1991, Park, Lee vd. 2016, Quan, Zhang vd. 2020). Bu çalışmanın sonuçlarında elde edilen tüm değerler klinik olarak kabul edilebilir aralıkta bulunmuştur.

Marjinal adaptasyonu etkileyen bir diğer önemli faktör, adaptasyon ölçüm tekniğidir. Klinisyenler marjinal adaptasyonun tespitinde 2B radyografileri ve orak şeklindeki problemleri kullanırken, araştırmacılar genellikle farklı yöntemlere başvurmaktadır (Alharbi, Alharbi vd. 2018, Ioannidis, Park vd. 2022, Karaoğlanoğlu, Aydın vd. 2023, Daghrery, Lunkad vd. 2024). Stereomikroskoplar, taramalı elektron mikroskopları, optik mikroskoplar ve profil projektörlerinin kullanımı bildirilmiştir.

Çalışmalar ayrıca, bilgisayar yazılımı yardımıyla marjinal ve iç aralıkları analiz eden CBCT ve dijital kameralar tarafından elde edilen dijitalleştirilmiş görüntülerin kullanımına da dikkat çekmiştir (Naveen, Pillai vd. 2011, Munoz ve Dickinson 2017, Prpić, Schauperl vd. 2020). Suksuphan ve ark.'larının (2023), üç farklı oklüzal kalınlığa sahip iki CAD/CAM hibrid malzemenin ve 3B baskı Varseosmile daimi kuron reçinesinin (hibrit kompozit) marjinal adaptasyonunu ve kırılma direncini değerlendirdikleri çalışmalarında 3B baskı Varseosmile daimi kuron reçinesinin, frezelenmiş kuronlardan daha düşük marjinal aralık değerleri gösterdiğini bulmuşlardır. Elde ettikleri sonuçlarda Varseosmile ile üretilmiş restorasyonların marjinal aralık değerleri 44,8 ile 53,8 μm arasında değişmektedir (Suksuphan, Krajangta vd. 2023). Bu çalışmada ise VS ile üretilmiş restorasyonların marjinal aralık değerleri ise 67.01 ile 101.91 μm arasında değişmektedir. Bu iki çalışma sonuçları arasındaki farklılık marjinal adaptasyonu değerlendirmek için kullanılan yöntemle bağlı olabilir. Suksuphan ve ark.'larının (2023) yaptıkları çalışmada restorasyonların marjinal ve iç adaptasyonunu hem 2B hem de 3B olarak ölçebilen mikro-BT taraması kullanılmıştır. Bu çalışmada ise marjinal adaptasyon x40 büyütmede bir optik steromikroskop kullanılarak değerlendirilmiştir. Araştırmacılar bu yöntemle örnekleri dijital ekranda gerçek zamanlı olarak inceleyebilir. Bununla birlikte sonuçlar kolaylıkla paylaşılabılır. Büyütülmüş görüntüler, daha fazla analiz, raporlama veya eğitim amaçlı yakalanabilir ve kaydedilebilir. Dijital ekranlar, üç boyutlu etkileri geliştirerek derinlik algısını artırır. Bazı sistemler, görüntü üzerinde doğrudan ölçüm ve açıklama yapılmasına olanak tanır (Muthanandam, Santhadevy vd. 2024). Ancak referans noktalarının belirlenmesinin zor olması ve projeksiyon hatalarına yol açması nedeniyle önemli dezavantajları vardır (Groten, Axmann vd. 2000). Sonuç olarak literatürde marjinal aralık değerlerindeki farklılıklar marjinal adaptasyonun değerlendirilmesinde kullanılan tekniklere, takip edilen test parametrelerine bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Nawafleh ve ark, 2013).

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara ve literatüre göre 3B baskı sistemleri diş hekimliği alanında kullanım için oldukça iyi bir seçenektir. Ancak her teknikte olduğu gibi 3B baskı da belirli sınırlamalara sahiptir. Örneğin 3B yazıcılar piyasada hobi amaçlı ve profesyonel amaçlı olmak üzere iki şekilde bulunur ve fiyatlandırma da bu kategorilere göre yapılmaktadır. Diş hekimliği alanında kullanılan mevcut

yazıcıların çoğu pahalı cihazlardır ve hobi amaçlı kullanılanlarla karşılaştırıldığında daha iyi baskı sonuçları göstermektedir. Diğer bir yandan diş hekimliğinde kullanılan yazıcılar Z ekseninde ancak belirli bir seviyeye kadar derecelendirme oluşturabilir. Bu derecelendirme, büyük ölçüde katman kalınlığına bağlıdır. Katmanlar ne kadar ince olursa, derecelendirme o kadar az olur, ancak bu durum işlem süresinin uzamasına yol açar (Schweiger, Edelhoff vd. 2021). Derecelendirme yazıcının çözünürlüğüyle ilgilidir ve iki ana faktörle ifade edilir. Bu faktörlerden ilki yapı platformu veya katmanlar arasındaki mesafe olarak tanımlanan katman kalınlığıdır. Diğer ise mevcut lazer ışını çapı ile XY koordinat düzleminde elde edilebilecek minimum yapısal boyutlardır. 3B yazıcılardaki başka bir sınırlama maksimum yapı hızı ve yapı alanının boyutudur. Özellikle yeni teknolojik geliştirmeler, hız sorununu aşarak oldukça yüksek yapı hızlarına ulaşılmasını sağlayabilir. 3B baskı için kullanılabilecek malzemelerde de sınırlamalar vardır. Özellikle polimerler alanında, fotopolimer bazlı yazıcılar ağırlıklı olarak diş hekimliği teknolojisinde kullanılmaktadır. Bu, kullanılabilecek reçine yelpazesini büyük ölçüde azaltır ve standart üretim süreçlerine kıyasla önemli dezavantajlara neden olur (Schweiger, Edelhoff vd. 2021).

3B baskı alanında yapılan önceki çalışmalar, kullanılan 3B baskı sisteminin baskı açısı (Aljehani, Nabalawi vd. 2024), preparasyon açısı (Mugri, Dewan vd. 2023) katman kalınlığı (Hasanzade, Yaghoobi vd. 2023) gibi çeşitli faktörlerin dental restorasyonların marjinal adaptasyonu üzerindeki etkisini araştırmıştır. Aynı şekilde 3B baskı sistemleri ve CAD/CAM sistemlerle üretilen restorasyonların marjinal adaptasyon üzerine etkisi karşılaştırıp araştıran birçok çalışma mevcuttur (Mai, Lee vd. 2017, Khaledi, Farzin vd. 2020, Mohajeri, Khazaei vd. 2021, Abualsaud ve Alalawi 2022, Al-Saleh, Vohra vd. 2022, Sidhom, Zaghloul vd. 2022). Bununla birlikte, sınırlı araştırma, farklı reçinelerin ve preparasyon tasarımlarının 3B baskı restorasyonlarının marjinal adaptasyonu üzerindeki birleşik etkisine odaklanmıştır. Bu çalışma, 3B baskı onleylerin marjinal adaptasyonunu kullanılan reçine tipinin etkilediğini, preparasyon tasarımının ise etkilemediğini doğrulasa da, mevcut sonuçları doğrulamak için farklı klinik çalışmalara ihtiyaç vardır. Ek olarak, bu çalışmada kullanılan teknikleri klinik ortamda kullanırken mekanik özellikler, estetik ve maliyet etkinliği gibi diğer faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle,

3B baskı ile üretilen onleylerin klinikte kullanımını artırmak için daha büyük bir örneklem büyüklüğü ve prospektif klinik deneylere sahip daha ileri çalışmalara ihtiyaç duyulacaktır.

Bu çalışmada, farklı reçine tipleri ve farklı preparasyon tasarımları kullanılarak 3B baskı ile üretilen onleylerin marjinal adaptasyonları değerlendirilmiştir. Shoulder ve flat preparasyon tasarımları kullanılarak iki farklı 3B baskı reçinesi incelenmiştir. Değerlendirilen dört grup için marjinal aralık değerleri 47.36 μm ile 101.91 μm arasında ölçülmüştür. Elde edilen tüm sonuçlar, literatürde klinik olarak kabul edilebilir 50-120 μm aralığında bulunmuştur (Jw, 1971; Abualsaud & Alalawi, 2022).

Bu çalışma, belirli sınırlamaları olan kontrollü bir in vitro deneysel çalışmadır. Çalışmanın sınırlamaları şu şekilde özetlenebilir:

1-Bu çalışma, tek tip yazıcıya ve sadece iki farklı reçine tipine odaklanmıştır. Alternatif reçine ve yazıcı kombinasyonlarında sonuçlar farklı olabilir. Kullanılan yazıcı parametreleri, farklı cihazlar arasında değişiklik gösterebileceğinden sonuçlar genellenemez.

2-Çalışmada yalnızca molar dişler üzerinde değerlendirme yapılmıştır. Premolar veya anterior dişler gibi farklı anatomik özelliklere sahip dişler üzerinde farklı sonuçlar elde edilebilir.

3-Çalışmada sadece iki farklı preparasyon tasarımı kullanılmıştır. Daha fazla preparasyon tasarımı varyasyonu içeren çalışmaların, farklı tasarımların marjinal aralık üzerindeki etkisini daha kapsamlı bir şekilde ortaya koyabileceği düşünülmektedir.

4-Örneklem büyüklüğü sınırlıdır ve örnek başına gerçekleştirilen ölçüm sayısı değiştirildiğinde farklı sonuçlar elde edilebilir. Ölçüm noktalarının seçimi, verilerin doğruluğunu etkileyen bir diğer faktördür.

5-Çalışmada, klinik ortamda karşılaşılabilecek tükürük, hasta hareketleri, yanak, dudak ve dil gibi anatomik unsurlar göz önünde bulundurulmamıştır. Bu nedenle, in vivo ortamdaki biyomekanik ve biyolojik değişkenler tam anlamıyla modellenememiştir.

6-Marjinal adaptasyonu değerlendirmek için stereomikroskop tekniğinin kullanılması sınırlamalar dahilindedir ve bu yöntem tekniğe duyarlı olabilir. Aynı zamanda bu teknikle yapılan lmler inceleyen kişiye ve magnifikasyon seviyesine bağlı olabilir. Alternatif görüntüleme yöntemleri (rneğin, mikro-CT veya dijital tarama) ile karşılaştırmalı çalışmalar yapılmamıştır.

7-Üretilen onleyler, prepare edilmiş dişlerin üzerine, önerilen oturma basıncının üzerinde olan parmak baskısı ile oturtulmuştur ve simantasyon materyali kullanılmamıştır. Klinik uygulamalarda simantasyonun adaptasyon üzerindeki etkileri önemli olduğundan, bu faktörün değerlendirilmemesi bir sınırlamadır.

8-Restorasyonlar yaşlandırma ve termosiklasyondan sonra test edilmemiştir. Termal ve mekanik yaşlandırma süreçleri, restorasyonların uzun dönem marjinal adaptasyonu ve dayanıklılığı üzerinde etkili olabilir.

9-Çalışmada, marjinal adaptasyonu etkileyebilecek ışık polimerizasyonu, yıkama ve kürleme süreleri değişkenleri detaylı olarak incelenmemiştir. Bu parametrelerin restorasyonların nihai adaptasyonu üzerindeki etkisi, ilerleyen çalışmalarda değerlendirilmeye ihtiyaç duymaktadır.

10-Diş preparasyonlarının standardizasyonu sağlanmaya çalışılmıştır. Ancak manuel hazırlık sürecinde küçük farklılıklar meydana gelmiş olması olasıdır.

Bu sınırlamalar göz önünde bulundurulduğunda, çalışmanın sonuçları belirli koşullar altında geçerli olup, farklı klinik ve laboratuvar ortamlarında doğrulayıcı çalışmaların yapılması gerekmektedir.

6.SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Bu in vitro çalışmanın sınırlamaları dahilinde, onley restorasyonların marjinal aralık değerleri reçine tipine ve konuma göre farklılık göstermiştir. Çalışmadan elde edilen 3B baskı reçinelerin marjinal aralık değerleri, klinik olarak kabul edilebilir sonuçlar göstermiştir. İki farklı reçine tipi ve iki farklı preparasyon tasarımı kullanılarak üretilen onleylerin üç farklı konumda ölçülen marjinal aralık değerlerinin karşılaştırıldığı bu in vitro çalışmanın sonuçlarına göre;

1) Farklı reçine tipleri kullanılarak üretilen restorasyonların marjinal aralık değerleri karşılaştırıldığında CT 3B baskı reçinesinin kullanıldığı Grup 3 ve Grup 4 daha iyi marjinal adaptasyon sergilemiştir. Bu bulgu, kullanılan reçine tipinin 3B baskı teknolojileri ile üretilen onley restorasyonların marjinal aralık değerlerini doğrudan etkileyen bir faktör olduğunu göstermektedir.

2) Farklı preparasyon tasarımları kullanılarak üretilen restorasyonların marjinal aralık değerleri karşılaştırıldığında flat preparasyon ile shoulder preparasyon tasarımı arasında fark olmadığı görülmüştür.

3) Üç farklı konumda yapılan marjinal aralık ölçüm değerleri karşılaştırıldığında, en düşük aralık değerleri oklüzal konumda, en yüksek aralık değerleri ise mezial konumda elde edilmiştir. Bu durum, ölçüm yapılan konumun marjinal adaptasyon üzerinde belirleyici bir faktör olduğunu göstermektedir.

6.2. Öneriler

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, 3B baskı teknolojisi indirekt restorasyonların üretimi için umut vaat edici bir seçenektir. Ancak yapılacak ileri araştırmalar ve klinik çalışmalar ile bu potansiyel doğrulanmalıdır. 3B baskı teknolojilerinin sağladığı esnek tasarım ve üretim olanakları, diş hekimliğinin geleceği için umut verici olsa da bu potansiyelin tam anlamıyla ortaya çıkması için disiplinler arası bir yaklaşım benimsenmelidir.

3B baskı teknolojisi kullanılarak üretilen restorasyonlarda kullanılan reçinelerin özellikleri, restorasyonların klinik başarısını doğrudan etkileyen

faktörlerden biridir. Gelecek araştırmalarda, 3B baskı rećinelerinin biyouyumluluğu, mekanik dayanıklılığı, termal stabilitesi ve estetik performansı gibi özellikler üzerine kapsamlı ćalıřmalar yapılmalıdır.

Sonuć olarak 3B baskı teknolojilerinin klinik kullanımlarda yaygınlaştırılması için kapsamlı araştırmaların ve stratejik yaklaşımların gerekli olduğu görülmüştür. Bu sayede, 3B baskı ile üretilen restorasyonların klinik başarısını artırmaya yönelik daha sağlam bilimsel temellere dayanan protokoller geliştirilebilir.



KAYNAKÇA

- Abdullah, A. O., et al. (2016). "Comparative in vitro evaluation of CAD/CAM vs conventional provisional crowns." *Journal of Applied Oral Science* 24: 258-263.
- Abduo, J. and R. J. Sambrook (2018). "Longevity of ceramic onlays: A systematic review." *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* 30(3): 193-215.
- Abualsaud, R. and H. Alalawi (2022). "Fit, precision, and trueness of 3D-printed zirconia crowns compared to milled counterparts." *Dentistry Journal* 10(11): 215.
- Adams, J. J., et al. (2011). "Conformal printing of electrically small antennas on three-dimensional surfaces." *Advanced Materials* 23(11).
- Ahmad, S., et al. (2022). "Review on 3D printing in dentistry: conventional to personalized dental care." *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition* 33(17): 2292-2323.
- Ahn, B. Y., et al. (2009). "Omnidirectional printing of flexible, stretchable, and spanning silver microelectrodes." *Science* 323(5921): 1590-1593.
- Aktaş, N. and V. Ciftci (2024). "Current applications of three-dimensional (3D) printing in pediatric dentistry: a literature review." *Journal of Clinical Pediatric Dentistry* 48(5).
- Al-Dabbagh, R. A. (2021). "Survival and success of endocrowns: A systematic review and meta-analysis." *The Journal of prosthetic dentistry* 125(3): 415. e411-415. e419.
- Al-Dulaijan, Y. A., et al. (2024). "Internal and marginal fits of 3D-printed provisional prostheses: comparative effect of different printing parameters." *Frontiers in Oral Health* 5: 1491984.
- Al-Saleh, S., et al. (2022). "Marginal misfit of 3d-printed (selective laser sintered), CAD-CAM and lost wax technique cobalt chromium copings with shoulder and chamfer finish lines: An in-vitro study." *Medicina* 58(10): 1313.
- Al - Imam, H., et al. (2019). "Evaluation of marginal and internal fit of acrylic bridges using optical coherence tomography." *Journal of Oral Rehabilitation* 46(3): 274-281.
- Al Maaz, A., et al. (2019). "Effect of finish line design and metal alloy on the marginal and internal gaps of selective laser melting printed copings." *The Journal of prosthetic dentistry* 122(2): 143-151.
- Aldahian, N., et al. (2021). "Influence of conventional, CAD-CAM, and 3D printing fabrication techniques on the marginal integrity and surface roughness and wear of interim crowns." *Applied Sciences* 11(19): 8964.
- Alghauli, M. A. and A. Y. Alqutaibi (2024). "3D - printed intracoronal restorations, occlusal and laminate veneers: Clinical relevance, properties, and behavior compared to milled restorations; a systematic review and meta - analysis." *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*.

- Alharbi, N., et al. (2018). "Three-dimensional evaluation of marginal and internal fit of 3D-printed interim restorations fabricated on different finish line designs." *J Prosthodont Res* 62(2): 218-226.
- Alharbi, N., et al. (2018). "Three-dimensional evaluation of marginal and internal fit of 3D-printed interim restorations fabricated on different finish line designs." *Journal of Prosthodontic Research* 62(2): 218-226.
- Alharbi, N., et al. (2016). "Effects of build direction on the mechanical properties of 3D-printed complete coverage interim dental restorations." *The Journal of prosthetic dentistry* 115(6): 760-767.
- Aljehani, A., et al. (2024). "Effect of build orientation on the fracture resistance and marginal quality of 3D-printed anatomic provisional crowns: An in-vitro study." *The Saudi Dental Journal* 36(4): 584-590.
- Amrollahi, P., et al. (2016). "Recent advancements in regenerative dentistry: A review." *Materials Science and Engineering: C* 69: 1383-1390.
- An, S., et al. (2014). "Evaluating the marginal fit of zirconia copings with digital impressions with an intraoral digital scanner." *The Journal of prosthetic dentistry* 112(5): 1171-1175.
- Anderl, H., et al. (1994). "CT-guided stereolithography as a new tool in craniofacial surgery." *British journal of plastic surgery* 47(1): 60-64.
- Anderson, J., et al. (2018). "Endodontic applications of 3D printing." *International endodontic journal* 51(9): 1005-1018.
- Angeletaki, F., et al. (2016). "Direct versus indirect inlay/onlay composite restorations in posterior teeth. A systematic review and meta-analysis." *Journal of Dentistry* 53: 12-21.
- Ardu, S., et al. (2020). "Influence of mechanical and chemical degradation on surface gloss of direct and CAD-CAM resin composite materials." *American Journal of Dentistry* 33(3): 157-160.
- Atria, P. J., et al. (2022). "3D - printed resins for provisional dental restorations: Comparison of mechanical and biological properties." *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* 34(5): 804-815.
- Aw, T. and J. Nicholls (2001). "Polymerization shrinkage of densely-filled resin composites." *Operative dentistry* 26(5): 498-504.
- Ayres, G., et al. (2023). "Is the digital workflow more efficient for manufacturing partial-coverage restorations? A systematic review." *The Journal of prosthetic dentistry*.
- Ayub, J. M. and M. B. Blatz (2024). "What's Trending in Resin-Based Restorations." *Compendium of Continuing Education in Dentistry (15488578)* 45(2).
- Azeem, R. A. and N. M. Sureshbabu (2018). "Clinical performance of direct versus indirect composite restorations in posterior teeth: A systematic review." *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics* 21(1): 2-9.
- Bader, J. D., et al. (1991). "Effect of crown margins on periodontal conditions in regularly attending patients." *The Journal of prosthetic dentistry* 65(1): 75-79.

- Bahcall, J. K. (2014). "Using 3-dimensional printing to create presurgical models for endodontic surgery." *Compendium* 35(8).
- Bakhsh, T. A. (2021). "Optical comparison between micro - CT and OCT in imaging of marginal composite adaptation: observational study." *Journal of Microscopy* 282(2): 136-145.
- Baldi, A., et al. (2021). "External marginal gap variation and residual fracture resistance of composite and lithium-silicate CAD/CAM overlays after cyclic fatigue over endodontically-treated molars." *Polymers* 13(17): 3002.
- Balestra, D., et al. (2024). "3D Printed Materials for Permanent Restorations in Indirect Restorative and Prosthetic Dentistry: A Critical Review of the Literature." *Materials* 17(6): 1380.
- Balkaya, M. C., et al. (2005). "Influence of firing cycles on the margin distortion of 3 all-ceramic crown systems." *The Journal of prosthetic dentistry* 93(4): 346-355.
- Barone, A., et al. (2008). "Longitudinal clinical evaluation of bonded composite inlays: a 3-year study." *Quintessence international* 39(1).
- Belleflamme, M. M., et al. (2017). "No post-no core approach to restore severely damaged posterior teeth: An up to 10-year retrospective study of documented endocrown cases." *Journal of Dentistry* 63: 1-7.
- Bertolini, M. M., et al. (2019). "Does traumatic occlusal forces lead to peri-implant bone loss? A systematic review." *Brazilian oral research* 33: e069.
- Beuer, F., et al. (2009). "Marginal and internal fits of fixed dental prostheses zirconia retainers." *Dental materials* 25(1): 94-102.
- Biacchi, G. R., et al. (2013). "The endocrown: an alternative approach for restoring extensively damaged molars." *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* 25(6): 383-390.
- Blatz, M., et al. (2019). "Evolution of aesthetic dentistry." *Journal of dental research* 98(12): 1294-1304.
- Boitelle, P., et al. (2018). "Evaluation of the marginal fit of CAD-CAM zirconia copings: Comparison of 2D and 3D measurement methods." *The Journal of prosthetic dentistry* 119(1): 75-81.
- Bonfanti - Gris, M., et al. (2024). "Vertical Versus Horizontal Finishing Lines for Dental Preparations: A Systematic Review With Meta - Analysis." *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*.
- Bora, P. V., et al. (2024). "Characterization of materials used for 3D printing dental crowns and hybrid prostheses." *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* 36(1): 220-230.
- Bottino, M., et al. (2015). "Inlays made from a hybrid material: adaptation and bond strengths." *Operative dentistry* 40(3): E83-E91.
- Brezniak, N., et al. (2012). "Light reflection zone on the incisors' surface--a new parameter for smile esthetics evaluation." *Refu'at Ha-peh Veba-shinayim* (1993) 29(3): 39-43, 57.

- Brown, G. B., et al. (2018). "Accuracy of 3-dimensional printed dental models reconstructed from digital intraoral impressions." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 154(5): 733-739.
- Buchanan, C. and L. Gardner (2019). "Metal 3D printing in construction: A review of methods, research, applications, opportunities and challenges." *Engineering Structures* 180: 332-348.
- Byun, C., et al. (2015). "Endodontic treatment of an anomalous anterior tooth with the aid of a 3-dimensional printed physical tooth model." *Journal of Endodontics* 41(6): 961-965.
- Campbell, T. A. (2014). "NEXT WAVE: 4D PRINTING PROGRAMMING THE MATERIAL WORLD." *Atlantic Council*
- Campbell, T. A. and O. S. Ivanova (2013). "3D printing of multifunctional nanocomposites." *Nano Today* 8(2): 119-120.
- Caussin, E., et al. (2024). "Vat photopolymerization 3D printing in dentistry: A comprehensive review of actual popular technologies." *Materials* 17(4): 950.
- Cetin, A., et al. (2013). "A five-year clinical evaluation of direct nanofilled and indirect composite resin restorations in posterior teeth." *Operative dentistry* 38(2): E31-E41.
- Chabouis, H. F., et al. (2013). "Clinical efficacy of composite versus ceramic inlays and onlays: a systematic review." *Dental materials* 29(12): 1209-1218.
- Chattopadhyay, D., et al. (2005). "Thermal and mechanical properties of epoxy acrylate/methacrylates UV cured coatings." *Progress in Organic Coatings* 54(1): 10-19.
- Chaturvedi, S., et al. (2020). "Marginal and internal fit of provisional crowns fabricated using 3D printing technology." *Technology and Health Care* 28(6): 635-642.
- Cho, L., et al. (2004). "Effect of finish line variants on marginal accuracy and fracture strength of ceramic optimized polymer/fiber-reinforced composite crowns." *The Journal of prosthetic dentistry* 91(6): 554-560.
- Christensen, G. J. (1966). "Marginal fit of gold inlay castings." *The Journal of prosthetic dentistry* 16(2): 297-305.
- Christensen, G. J. (1971). "Clinical and research advancements in cast-gold restorations." *The Journal of prosthetic dentistry* 25(1): 62-68.
- Christensen, G. J. (2008). "Considering tooth-colored inlays and onlays versus crowns." *The Journal of the American Dental Association* 139(5): 617-620.
- Chu, J., et al. (2018). "The effect of different geometric shapes and angles on the fracture strength of IPS e. max computer-aided designed ceramic onlays: An: in vitro: study." *Journal of conservative dentistry* 21(2): 210-215.
- Clark, G. T., et al. (1999). "Sixty-eight years of experimental occlusal interference studies: what have we learned?" *The Journal of prosthetic dentistry* 82(6): 704-713.

- Clausen, J.-O., et al. (2010). "Dynamic fatigue and fracture resistance of non-retentive all-ceramic full-coverage molar restorations. Influence of ceramic material and preparation design." *Dental materials* 26(6): 533-538.
- Colin, V. G., et al. (2021). "Cheap, versatile, and turnkey fabrication of microfluidic master molds using consumer-grade LCD stereolithography 3D printing." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 116(1): 537-544.
- Colpani, J. T., et al. (2013). "Evaluation of marginal and internal fit of ceramic crown copings." *Dental materials* 29(2): 174-180.
- Comlekoglu, M., et al. (2009). "Influence of cervical finish line type on the marginal adaptation of zirconia ceramic crowns." *Operative dentistry* 34(5): 586-592.
- Contrepois, M., et al. (2013). "Marginal adaptation of ceramic crowns: a systematic review." *The Journal of prosthetic dentistry* 110(6): 447-454. e410.
- Cousley, R. R. (2020). "Introducing 3D printing in your orthodontic practice." *Journal of orthodontics* 47(3): 265-272.
- Crafts, T. D., et al. (2017). "Three-dimensional printing and its applications in otorhinolaryngology-head and neck surgery." *Otolaryngology-Head and Neck Surgery* 156(6): 999-1010.
- Crispim, A. H. T., et al. (2024). "Influence of build direction, post-polymerization time, and aging on the fracture resistance and marginal and internal discrepancies of three-dimensional printed provisional crowns." *Odontology*: 1-15.
- Crump, S. S. (1992). Apparatus and method for creating three-dimensional objects, Google Patents.
- Çakmak, G., et al. (2024). "Effect of printing layer thickness on the trueness of 3-unit interim fixed partial dentures." *The Journal of prosthetic dentistry* 131(4): 718-725.
- Daghrery, A., et al. (2024). "Marginal Discrepancy and Internal Fit of 3D-Printed Versus Milled Laminate Veneers: An In Vitro Study." *Journal of Functional Biomaterials* 15(11): 338.
- Dahl, B. E., et al. (2017). "Internal fit of single crowns produced by CAD-CAM and lost-wax metal casting technique assessed by the triple-scan protocol." *The Journal of prosthetic dentistry* 117(3): 400-404.
- Dawood, A., et al. (2015). "3D printing in dentistry." *British dental journal* 219(11): 521-529.
- Della Bona, A., et al. (2021). "3D printing restorative materials using a stereolithographic technique: a systematic review." *Dental materials* 37(2): 336-350.
- Demarco, F. F., et al. (2017). "Should my composite restorations last forever? Why are they failing?" *Brazilian oral research* 31: e56.
- Derby, B. (2012). "Printing and prototyping of tissues and scaffolds." *Science* 338(6109): 921-926.

- Di Fiore, A., et al. (2024). "Comparison of mechanical and surface properties of two 3D printed composite resins for definitive restoration." *The Journal of prosthetic dentistry* 132(4): 839. e831-839. e837.
- Dikova, T. (2019). "Production of High-quality Temporary Crowns and Bridges by Stereolithography." *Scripta Scientifica Medicinae Dentalis*.
- Dilberoglu, U. M., et al. (2017). "The role of additive manufacturing in the era of industry 4.0." *Procedia manufacturing* 11: 545-554.
- Dimitrova, M., et al. (2023). "Recent advances in 3D printing of polymers for application in prosthodontics." *Polymers* 15(23): 4525.
- Dos Santos, G., et al. (2008). "Light transmission on dental resin composites." *Dental materials* 24(5): 571-576.
- Dotto, L., et al. (2022). "Factors influencing the clinical performance of the restoration of endodontically treated teeth: An assessment of systematic reviews of clinical studies." *The Journal of prosthetic dentistry*.
- Duquia, R. d. C. S., et al. (2006). "Cervical microleakage in MOD restorations: in vitro comparison of indirect and direct composite." *Operative dentistry* 31(6): 682-687.
- Edelhoff, D., et al. (2023). "Pressable lithium disilicate ceramic versus CAD/CAM resin composite restorations in patients with moderate to severe tooth wear: Clinical observations up to 13 years." *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* 35(1): 116-128.
- Ehrenberg, D., et al. (2006). "Long-term effects of storage and thermal cycling on the marginal adaptation of provisional resin crowns: a pilot study." *The Journal of prosthetic dentistry* 95(3): 230-236.
- El-Damanny, H. M., et al. (2015). "Fracture resistance and microleakage of endocrowns utilizing three CAD-CAM blocks." *Operative dentistry* 40(2): 201-210.
- El Ghouli, W., et al. (2019). "Fracture resistance and failure modes of endocrowns manufactured with different CAD/CAM materials under axial and lateral loading." *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* 31(4): 378-387.
- Elmoselhy, H. A. S., et al. (2024). "Two-year clinical performance of indirect restorations fabricated from CAD/CAM nano hybrid composite versus lithium disilicate in mutilated vital teeth. A randomized controlled trial." *BMC Oral Health* 24(1): 101.
- Euán, R., et al. (2012). "Comparison of the marginal adaptation of zirconium dioxide crowns in preparations with two different finish lines." *Journal of Prosthodontics: Implant, Esthetic and Reconstructive Dentistry* 21(4): 291-295.
- Fahl Jr, N. (2011). "Step-by-step approaches for anterior direct restorative challenges." *Journal of Cosmetic Dentistry-The Official Journal of the AACD* 26(4): 42.

- Falahchai, M., et al. (2020). "Marginal adaptation of zirconia - reinforced lithium silicate overlays with different preparation designs." *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* 32(8): 823-830.
- Fathy, H., et al. (2022). "Clinical performance of resin-matrix ceramic partial coverage restorations: a systematic review." *Clinical oral investigations* 26(5): 3807-3822.
- Favero, C. S., et al. (2017). "Effect of print layer height and printer type on the accuracy of 3-dimensional printed orthodontic models." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 152(4): 557-565.
- Federlin, M., et al. (2005). "Partial ceramic crowns. Influence of preparation design and luting material on margin integrity—a scanning electron microscopic study." *Clinical oral investigations* 9: 8-17.
- Ferracane, J. (2017). "Models of caries formation around dental composite restorations." *Journal of dental research* 96(4): 364-371.
- Ferracane, J. L. (2011). "Resin composite—state of the art." *Dental materials* 27(1): 29-38.
- Ferraris, F. (2017). "Posterior indirect adhesive restorations (PIAR): preparation designs and adhesion clinical protocol." *Int J Esthet Dent* 12(4): 482-502.
- Fidalgo-Pereira, R., et al. (2022). "The influence of inorganic fillers on the light transmission through resin-matrix composites during the light-curing procedure: an integrative review." *Clinical oral investigations* 26(9): 5575-5594.
- Fiedor, P. and J. Ortyl (2020). "A new approach to micromachining: High-precision and innovative additive manufacturing solutions based on photopolymerization technology." *Materials* 13(13): 2951.
- Fransson, B., et al. (1985). "The fit of metal-ceramic crowns, a clinical study." *Dental materials* 1(5): 197-199.
- Frese, C., et al. (2012). "The assessment of dentofacial esthetics in restorative dentistry: a review of the literature." *The Journal of the American Dental Association* 143(5): 461-466.
- Fuzzi, M. and G. Rappelli (1998). "Survival rate of ceramic inlays." *Journal of Dentistry* 26(7): 623-626.
- Gao, J., et al. (2024). "Research Progress on the Preparation Process and Material Structure of 3D-Printed Dental Implants and Their Clinical Applications." *Coatings* 14(7): 781.
- Gavelis, J., et al. (1981). "The effect of various finish line preparations on the marginal seal and occlusal seat of full crown preparations." *The Journal of prosthetic dentistry* 45(2): 138-145.
- Gharechahi, M., et al. (2012). "Effect of surface roughness and materials composition." *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology* 3(04): 541.
- Goldman, M., et al. (1992). "Microleakage—full crowns and the dental pulp." *Journal of Endodontics* 18(10): 473-475.

- Goodacre, C. J., et al. (2012). "CAD/CAM fabricated complete dentures: concepts and clinical methods of obtaining required morphological data." *The Journal of prosthetic dentistry* 107(1): 34-46.
- Gracis, S., et al. (2015). "A new classification system for all-ceramic and ceramic-like restorative materials." *International Journal of Prosthodontics* 28(3).
- Gross, B. C., et al. (2014). Evaluation of 3D printing and its potential impact on biotechnology and the chemical sciences, ACS Publications.
- Groten, M., et al. (2000). "Determination of the minimum number of marginal gap measurements required for practical in vitro testing." *The Journal of prosthetic dentistry* 83(1): 40-49.
- Groten, M., et al. (1997). "Marginal fit consistency of copy - milled all - ceramic crowns during fabrication by light and scanning electron microscopic analysis in vitro." *Journal of Oral Rehabilitation* 24(12): 871-881.
- Guerrero-Girones, J., et al. (2022). "In vitro biocompatibility testing of 3D printing and conventional resins for occlusal devices." *Journal of Dentistry* 123: 104163.
- Guess, P. C., et al. (2014). "Marginal and internal fit of heat pressed versus CAD/CAM fabricated all-ceramic onlays after exposure to thermo-mechanical fatigue." *Journal of Dentistry* 42(2): 199-209.
- Gupta, S., et al. (2021). "Monolithic zirconia partial coverage restorations: an in vitro mastication simulation study." *Journal of Prosthodontics* 30(1): 76-82.
- Hajimahmoodi, M., et al. (2023). "Evaluation of Marginal and Internal Fit of CAD/CAM Endocrowns with Different Cavity Tapers." *International Journal of Prosthodontics* 36(2).
- Hanozin, B., et al. (2022). "Digital vs. conventional workflow for one-abutment one-time immediate restoration in the esthetic zone: a randomized controlled trial." *International Journal of Implant Dentistry* 8(1): 7.
- Hasanzade, M., et al. (2021). "Marginal and internal adaptation of single crowns and fixed dental prostheses by using digital and conventional workflows: A systematic review and meta-analysis." *The Journal of prosthetic dentistry* 126(3): 360-368.
- Hasanzade, M., et al. (2023). "Comparison of the marginal and internal fit of PMMA interim crowns printed with different layer thicknesses in 3D - printing technique." *Clinical and Experimental Dental Research* 9(5): 832-839.
- Hasanzade, M., et al. (2023). "Comparison of marginal and internal adaptation of provisional polymethyl methacrylate restorations fabricated by two three-dimensional printers: An in vitro study." *Dental Research Journal* 20(1): 87.
- Hazeveld, A., et al. (2014). "Accuracy and reproducibility of dental replica models reconstructed by different rapid prototyping techniques." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 145(1): 108-115.
- He, Y., et al. (2010). "Synthesis and properties of novel polyurethane acrylate containing 3-(2-hydroxyethyl) isocyanurate segment." *Progress in Organic Coatings* 67(3): 264-268.

Heboyan, A., et al. (2023). "Dental luting cements: an updated comprehensive review." *Molecules* 28(4): 1619.

Heintze, S. D., et al. (2015). "Marginal quality of class II composite restorations placed in bulk compared to an incremental technique: evaluation with SEM and stereomicroscope." *J Adhes Dent* 17(2): 147-154.

Heintze, S. D. and V. Rousson (2012). "Clinical effectiveness of direct class II restorations-a meta-analysis." *J Adhes Dent* 14(5): 407-431.

Heymann, H. O. (1987). "The artistry of conservative esthetic dentistry." *Journal of the American Dental Association* (1939): 14E-23E.

Hickel, R., et al. (2023). "Revised FDI criteria for evaluating direct and indirect dental restorations—recommendations for its clinical use, interpretation, and reporting." *Clinical oral investigations* 27(6): 2573-2592.

Hickel, R., et al. (2010). "FDI World Dental Federation: clinical criteria for the evaluation of direct and indirect restorations—update and clinical examples." *Clinical oral investigations* 14: 349-366.

Hickel, R., et al. (2007). "Recommendations for conducting controlled clinical studies of dental restorative materials. Science Committee Project 2/98--FDI World Dental Federation study design (Part I) and criteria for evaluation (Part II) of direct and indirect restorations including onlays and partial crowns." *The journal of adhesive dentistry* 9: 121-147.

Hitzler, L., et al. (2018). "Additive manufacturing of cobalt - based dental alloys: analysis of microstructure and physicomechanical properties." *Advances in materials science and engineering* 2018(1): 8213023.

Holden, J. E., et al. (2009). "Comparison of the marginal fit of pressable ceramic to metal ceramic restorations." *Journal of Prosthodontics: Implant, Esthetic and Reconstructive Dentistry* 18(8): 645-648.

Holmes, J. R., et al. (1989). "Considerations in measurement of marginal fit." *The Journal of prosthetic dentistry* 62(4): 405-408.

Homsy, F. R., et al. (2018). "Comparison of fit accuracy of pressed lithium disilicate inlays fabricated from wax or resin patterns with conventional and CAD-CAM technologies." *The Journal of prosthetic dentistry* 120(4): 530-536.

Homsy, F. R., et al. (2018). "Marginal and internal fit of pressed lithium disilicate inlays fabricated with milling, 3D printing, and conventional technologies." *The Journal of prosthetic dentistry* 119(5): 783-790.

Hull, C. W. (1986). Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography, Google Patents.

Huth, K. C., et al. (2011). "Clinical study of indirect composite resin inlays in posterior stress-bearing cavities placed by dental students: results after 4 years." *Journal of Dentistry* 39(7): 478-488.

Igreț, A., et al. (2023). "Marginal fit of milled versus different 3D-printed materials for provisional fixed dental prostheses: an in vitro comparative study." *Medicine and Pharmacy Reports* 96(3): 298.

- Ikeda, M., et al. (2007). "Effect of surface characteristics on adherence of *S. mutans* biofilms to indirect resin composites." *Dental materials journal* 26(6): 915-923.
- Ikeda, T. (1997). "The effect of light premature occlusal contact on tooth pain threshold in humans." *J Oral Rehabil* 11: 353-362.
- Ioannidis, A., et al. (2019). "Ultra-thin occlusal veneers bonded to enamel and made of ceramic or hybrid materials exhibit load-bearing capacities not different from conventional restorations." *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 90: 433-440.
- Ioannidis, A., et al. (2022). "An in vitro comparison of the marginal and internal adaptation of ultrathin occlusal veneers made of 3D-printed zirconia, milled zirconia, and heat-pressed lithium disilicate." *The Journal of prosthetic dentistry* 128(4): 709-715.
- Ishigaki, S., et al. (2006). "Occlusal interference during mastication can cause pathological tooth mobility." *Journal of periodontal research* 41(3): 189-192.
- Jackson, T. H., et al. (2019). "Diagnostic accuracy of intraoral photographic orthodontic records." *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* 31(1): 64-71.
- Jacobs, M. S. and A. S. Windeler (1991). "An investigation of dental luting cement solubility as a function of the marginal gap." *The Journal of prosthetic dentistry* 65(3): 436-442.
- Jang, G., et al. (2024). "Fit analysis of stereolithography-manufactured three-unit resin prosthesis with different 3D-printing build orientations and layer thicknesses." *The Journal of prosthetic dentistry* 131(2): 301-312.
- Jawahar, A. and G. Maragathavalli (2019). "Applications of 3D printing in dentistry—a review." *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research* 11(5): 1670-1675.
- Jayaraj, A., et al. (2019). "3D printing in dentistry: A new dimension of vision." *Int J Appl Dent Sci* 5(2): 165-169.
- Jefferies, S. R. (2007). "Abrasive finishing and polishing in restorative dentistry: a state-of-the-art review." *Dental Clinics of North America* 51(2): 379-397.
- Jeong, M., et al. (2023). "Materials and Applications of 3D Printing Technology in Dentistry: An Overview." *Dentistry Journal* 12(1): 1.
- Jeyaraj, P. and T. Narayanan (2024). "3D Printing and Additive Manufacturing Technology-The Dawn of a New Era!".
- Jindal, P., et al. (2019). "Mechanical and geometric properties of thermoformed and 3D printed clear dental aligners." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 156(5): 694-701.
- Jockusch, J. and M. Özcan (2020). "Additive manufacturing of dental polymers: An overview on processes, materials and applications." *Dental materials journal* 39(3): 345-354.
- Joiner, A. and W. Luo (2017). "Tooth colour and whiteness: A review." *Journal of Dentistry* 67: S3-S10.

- Joshi, K., et al. (2017). "Clinical assessment of interdental papilla competency parameters in the esthetic zone." *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* 29(4): 270-275.
- Jung, J. and S. Park (2017). "Comparison of polymerization shrinkage, physical properties, and marginal adaptation of flowable and restorative bulk fill resin-based composites." *Operative dentistry* 42(4): 375-386.
- Jw, M. (1971). "The estimation of cement film thickness by an in vivo technique." *Br dent j* 131: 107-111.
- Kakaboura, A., et al. (2007). "Evaluation of surface characteristics of dental composites using profilometry, scanning electron, atomic force microscopy and gloss-meter." *Journal of Materials Science: Materials in Medicine* 18: 155-163.
- Kakizaki, S., et al. (2018). "Observation and determination of periodontal tissue profile using optical coherence tomography." *Journal of periodontal research* 53(2): 188-199.
- Kalia, G., et al. (2022). "Use of three-dimensional printing techniques for developing biodegradable applications: A review investigation." *Materials Today: Proceedings* 62: 346-352.
- Karaoğlu, S., et al. (2023). "Comparison of the surface properties of 3D-printed permanent restorative resins and resin-based CAD/CAM blocks." *Operative dentistry* 48(5): 588-598.
- Kardar, P., et al. (2009). "Using mixture experimental design to study the effect of multifunctional acrylate monomers on UV cured epoxy acrylate resins." *Progress in Organic Coatings* 64(1): 74-80.
- Kassem, A. S., et al. (2012). "Fatigue resistance and microleakage of CAD/CAM ceramic and composite molar crowns." *Journal of Prosthodontics: Implant, Esthetic and Reconstructive Dentistry* 21(1): 28-32.
- Katreva, I., et al. (2016). "3D-printing in contemporary prosthodontic treatment." *Scripta Scientifica Medicinæ Dentalis* 2(1): 7-11.
- Keleş, Ö., et al. (2017). "Effect of build orientation on the mechanical reliability of 3D printed ABS." *Rapid Prototyping Journal* 23(2): 320-328.
- Kenyon, B. J., et al. (2005). "Dimensional accuracy of 7 die materials." *Journal of Prosthodontics: Implant, Esthetic and Reconstructive Dentistry* 14(1): 25-31.
- Kessler, A., et al. (2020). "3D printing in dentistry—State of the art." *Operative dentistry* 45(1): 30-40.
- Kessler, A., et al. (2020). "Monomer release from surgical guide resins manufactured with different 3D printing devices." *Dental materials* 36(11): 1486-1492.
- Khaledi, A.-A., et al. (2020). "Evaluation of the marginal fit of metal copings fabricated by using 3 different CAD-CAM techniques: Milling, stereolithography, and 3D wax printer." *The Journal of prosthetic dentistry* 124(1): 81-86.
- Khanlar, L. N., et al. (2024). "Effect of a new support design on the marginal and internal gap of additively manufactured interim crowns using direct light deposition technology." *Journal of Prosthodontics* 33(2): 188-194.

- khulaif AlRashdi, A., et al. (2020). "Dental CAD/CAM: a brief review." *International Journal of Medicine in Developing Countries* 4(11): 1975-1975.
- Kihara, H., et al. (2021). "Applications of three-dimensional printers in prosthetic dentistry." *Journal of oral science* 63(3): 212-216.
- Kim, G.-T., et al. (2022). "Cytotoxicity, colour stability and dimensional accuracy of 3D printing resin with three different photoinitiators." *Polymers* 14(5): 979.
- Kim, J. and D.-H. Lee (2020). "Influence of the postcuring process on dimensional accuracy and seating of 3D - printed polymeric fixed prostheses." *BioMed research international* 2020(1): 2150182.
- Kim, Y., et al. (2005). "Occlusal considerations in implant therapy: clinical guidelines with biomechanical rationale." *Clinical oral implants research* 16(1): 26-35.
- Kirsch, C., et al. (2017). "Trueness of four different milling procedures used in dental CAD/CAM systems." *Clinical oral investigations* 21: 551-558.
- Knoernschild, K. L. and S. D. Campbell (2000). "Periodontal tissue responses after insertion of artificial crowns and fixed partial dentures." *The Journal of prosthetic dentistry* 84(5): 492-498.
- Kolte, A. P., et al. (2018). "Proximal contact areas of maxillary anterior teeth and their influence on interdental papilla." *The Saudi Dental Journal* 30(4): 324-329.
- Koyano, K. and D. Esaki (2015). "Occlusion on oral implants: current clinical guidelines." *Journal of Oral Rehabilitation* 42(2): 153-161.
- Krämer, N., et al. (2000). "Adhesive luting of indirect restorations." *American Journal of Dentistry* 13(Spec No): 60D-76D.
- Krey, K.-F., et al. (2018). "Fully digital workflow for presurgical orthodontic plate in cleft lip and palate patients." *International journal of computerized dentistry* 21(3).
- Kumar, R., et al. (2021). "An In Vitro Evaluation of 3D-printed Provisional Restoration Marginal Adaptation on Diverse Finish Lines." *International Journal of Prosthodontics and Restorative Dentistry* 11(2): 82-87.
- Łabno, P. and K. Drobnik (2020). "Comparison of horizontal and vertical methods of tooth preparation for a prosthetic crown." *Journal of Pre-Clinical and Clinical Research* 14(1).
- Lang, M. (2017). "An overview of laser metal deposition." *A publication of the Fabricators & Manufacturers Association*.
- Lawson, N. C., et al. (2016). "Wear, strength, modulus and hardness of CAD/CAM restorative materials." *Dental materials* 32(11): e275-e283.
- Lee, H., et al. (2017). "A simplified method for evaluating the 3-dimensional cement space of dental prostheses by using a digital scanner." *The Journal of prosthetic dentistry* 118(5): 584-586.
- Lemon, M. T., et al. (2007). "Hydrogen bonding interactions in methacrylate monomers and polymers." *Journal of Biomedical Materials Research Part A: An*

Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials 83(3): 734-746.

Lewis, J. A. (2006). "Direct ink writing of 3D functional materials." *Advanced Functional Materials* 16(17): 2193-2204.

Li, M., et al. (2024). "Influence of impression method and shoulder design on the marginal adaptation of CAD/CAM nanoceramic resin onlay restorations." *Heliyon* 10(16).

Liaw, C.-Y. and M. Guvendiren (2017). "Current and emerging applications of 3D printing in medicine." *Biofabrication* 9(2): 024102.

Lim, Y. A., et al. (2023). "Evaluation of Fitness and Accuracy of Milled and Three-Dimensionally Printed Inlays." *European Journal of Dentistry* 17(04): 1029-1036.

Lima, F. F., et al. (2018). "Marginal adaptation of CAD-CAM onlays: Influence of preparation design and impression technique." *The Journal of prosthetic dentistry* 120(3): 396-402.

Lin, L., et al. (2019). "3D printing and digital processing techniques in dentistry: a review of literature." *Advanced Engineering Materials* 21(6): 1801013.

Liu, Y., et al. (2024). "Recent advances in additive manufacturing for tooth restorations." *Applied Materials Today* 39: 102275.

Loomans, B., et al. (2006). "A randomized clinical trial on proximal contacts of posterior composites." *Journal of Dentistry* 34(4): 292-297.

Low, Z.-X., et al. (2017). "Perspective on 3D printing of separation membranes and comparison to related unconventional fabrication techniques." *Journal of membrane science* 523: 596-613.

Luong, M. N., et al. (2020). "Diagnosis of occlusal caries with dynamic slicing of 3D optical coherence tomography images." *Sensors* 20(6): 1659.

Magne, P. and A. Knezevic (2009). "Simulated fatigue resistance of composite resin versus porcelain CAD/CAM overlay restorations on endodontically treated molars." *Quintessence international* 40(2).

Magne, P. and A. Knezevic (2009). "Thickness of CAD–CAM composite resin overlays influences fatigue resistance of endodontically treated premolars." *Dental materials* 25(10): 1264-1268.

Magne, P., et al. (2010). "In vitro fatigue resistance of CAD/CAM composite resin and ceramic posterior occlusal veneers." *The Journal of prosthetic dentistry* 104(3): 149-157.

Mai, H.-N., et al. (2017). "Fit of interim crowns fabricated using photopolymer-jetting 3D printing." *The Journal of prosthetic dentistry* 118(2): 208-215.

McDonald, A. (2001). "Preparation guidelines for full and partial coverage ceramic restorations." *Dental update* 28(2): 84-90.

McLaren, E. A., et al. (2015). "A conservative esthetic alternative to full-coverage crowns." *Compendium* 36(4).

- McLaren, E. A. and Y. Y. Whiteman (2010). "Ceramics: rationale for material selection." *Compend Contin Educ Dent* 31(9): 666-668.
- Miara, P. (1998). "Aesthetic guidelines for second-generation indirect inlay and onlay composite restorations." *Practical periodontics and aesthetic dentistry: PPAD* 10(4): 423-431; quiz 432.
- Mitchell, C. A., et al. (2001). "Nondestructive, in vitro quantification of crown margins." *The Journal of prosthetic dentistry* 85(6): 575-584.
- Mjör, I. A. (2005). "Clinical diagnosis of recurrent caries." *The Journal of the American Dental Association* 136(10): 1426-1433.
- Mjör, I. A. and F. Toffentti (2000). "Secondary caries: a literature review with case reports." *Quintessence international* 31(3).
- Mohajeri, M., et al. (2021). "Marginal fit of temporary restorations fabricated by the conventional chairside method, 3D printing, and milling." *Frontiers in Dentistry* 18.
- Moldovan, O., et al. (2011). "Three-dimensional fit of CAD/CAM-made zirconia copings." *Dental materials* 27(12): 1273-1278.
- Moörmann, W. H. (2006). "The evolution of the CEREC system." *The Journal of the American Dental Association* 137: 7S-13S.
- Mudhaffer, S., et al. (2024). "Effects of printing orientation and artificial ageing on martens hardness and indentation modulus of 3D printed restorative resin materials." *Dental materials* 40(7): 1003-1014.
- Mugri, M. H., et al. (2023). "The effect of a digital manufacturing technique, preparation taper, and finish line design on the marginal fit of temporary molar crowns: An in-vitro study." *Biomedicines* 11(2): 570.
- Munoz, S. and D. P. Dickinson (2017). "Comparison of margin discrepancy of complete gold crowns fabricated using printed, milled, and conventional hand-waxed patterns." *The Journal of prosthetic dentistry* 118(1): 89-94.
- Murugesan, K., et al. (2012). "Comparative evaluation of dimension and surface detail accuracy of models produced by three different rapid prototype techniques." *The Journal of Indian Prosthodontic Society* 12: 16-20.
- Muthanandam, S., et al. (2024). "A review on stereomicroscope." *International Dental Journal of Students' Research* 12(1).
- Naidoo, N., et al. (2021). "A Comparison of Convergence Angles of Crown preparations in an undergraduate programme at a Tertiary Institution." *South African Dental Journal* 76(10): 602-606.
- Naumova, E. A., et al. (2017). "Wear behavior of ceramic CAD/CAM crowns and natural antagonists." *Materials* 10(3): 244.
- Naveen, H. C., et al. (2011). "Effect of Porcelain - Firing Cycles and Surface Finishing on the Marginal Discrepancy of Titanium Copings." *Journal of Prosthodontics: Implant, Esthetic and Reconstructive Dentistry* 20(2): 101-105.

- Nawafleh, N. A., et al. (2013). "Accuracy and reliability of methods to measure marginal adaptation of crowns and FDPs: a literature review." *Journal of Prosthodontics* 22(5): 419-428.
- Nayar, S., et al. (2015). "Rapid prototyping and stereolithography in dentistry." *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences* 7(Suppl 1): S216-S219.
- Nazari, A., et al. (2013). "Non-destructive characterization of voids in six flowable composites using swept-source optical coherence tomography." *Dental materials* 29(3): 278-286.
- Nejatidanesh, F., et al. (2006). "Marginal accuracy of interim restorations fabricated from four interim autopolymerizing resins." *The Journal of prosthetic dentistry* 95(5): 364-367.
- Ng, J., et al. (2014). "A comparison of the marginal fit of crowns fabricated with digital and conventional methods." *The Journal of prosthetic dentistry* 112(3): 555-560.
- Ngo, T. D., et al. (2018). "Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges." *Composites Part B: Engineering* 143: 172-196.
- Nishikawa, H. and T. Nishii (2017). "Direct Process to Prepare Crystallized Freestanding Membranes of Hydroxyapatite Using Sacrificial Layer of Barium-Compounds." *Journal of Crystallization Process and Technology* 7(2): 48-53.
- O'Neil, G. D. (2020). "Toward single-step production of functional electrochemical devices using 3D printing: Progress, challenges, and opportunities." *Current Opinion in Electrochemistry* 20: 60-65.
- Osman, R. B., et al. (2017). "Build angle: does it influence the accuracy of 3D-printed dental restorations using digital light-processing technology?" *International Journal of Prosthodontics* 30(2).
- Ozakar-Ilda, N., et al. (2013). "Three-year clinical performance of two indirect composite inlays compared to direct composite restorations." *Medicina oral, patología oral y cirugía bucal* 18(3): e521.
- Özberk, T. and İ. Karakaya (2024). "The Use of Additive Manufacturing Technologies in Restorative Dentistry." *Cyprus Journal of Medical Sciences*
- Papadiochou, S. and A. L. Pissiotis (2018). "Marginal adaptation and CAD-CAM technology: A systematic review of restorative material and fabrication techniques." *The Journal of prosthetic dentistry* 119(4): 545-551.
- Papia, E., et al. (2020). "The Influence of Different Designs, Materials and Cements on the Success and Survival Rate of Endocrowns. A Systematic Review." *The European Journal of Prosthodontics and Restorative Dentistry* 28(3): 100-111.
- Park, G.-S., et al. (2019). "Effects of printing parameters on the fit of implant-supported 3D printing resin prosthetics." *Materials* 12(16): 2533.
- Park, J.-Y., et al. (2017). "Evaluation of the marginal and internal gaps of three different dental prostheses: comparison of the silicone replica technique and three-

- dimensional superimposition analysis." *The journal of advanced prosthodontics* 9(3): 159-169.
- Park, J.-Y., et al. (2015). "Comparison of prosthetic models produced by traditional and additive manufacturing methods." *The journal of advanced prosthodontics* 7(4): 294-302.
- Park, J.-Y., et al. (2016). "In vitro assessment of the marginal and internal fits of interim implant restorations fabricated with different methods." *The Journal of prosthetic dentistry* 116(4): 536-542.
- Park, M.-E. and S.-Y. Shin (2018). "Three-dimensional comparative study on the accuracy and reproducibility of dental casts fabricated by 3D printers." *The Journal of prosthetic dentistry* 119(5): 861. e861-861. e867.
- Park, S.-H., et al. (2016). "Marginal and internal fit of nano-composite CAD/CAM restorations." *Restorative Dentistry & Endodontics* 41(1): 37.
- Park, Y., et al. (2024). "Comparison of Fracture Strength of Milled and 3D-Printed Crown Materials According to Occlusal Thickness." *Materials* 17(18): 4645.
- Pascoe, D. F. (1978). "Analysis of the geometry of finishing lines for full crown restorations." *The Journal of prosthetic dentistry* 40(2): 157-162.
- Patel, P. and D. Patel (2024). "Stereomicroscopy—A Potential Technique for Forensic Dental Profiling." *Journal of Microscopy and Ultrastructure*: 10.4103.
- Patzelt, S. B. M., et al. (2015). "CAD/CAM - fabricated implant - supported restorations: a systematic review." *Clinical oral implants research* 26: 77-85.
- Peeters, B., et al. (2019). "A barrier analysis for distributed recycling of 3D printing waste: Taking the maker movement perspective." *Journal of Cleaner Production* 241: 118313.
- Peskersoy, C. and A. Oguzhan (2024). "Evaluation of the Mechanical and Adhesion Characteristics of Indirect Restorations Manufactured with Three-Dimensional Printing." *Polymers* 16(5): 613.
- Peumans, M., et al. (2005). "Clinical effectiveness of contemporary adhesives: a systematic review of current clinical trials." *Dental materials* 21(9): 864-881.
- Peutzfeldt, A. (2001). "Indirect resin and ceramic systems." *Operative dentistry* 26: 153-176.
- Philpotts, C. J., et al. (2017). "In vitro evaluation of a silica whitening toothpaste containing blue covarine on the colour of teeth containing anterior restoration materials." *Journal of Dentistry* 67: S29-S33.
- Piemjai, M. and M. Arksornnukit (2007). "Compressive fracture resistance of porcelain laminates bonded to enamel or dentin with four adhesive systems." *Journal of Prosthodontics* 16(6): 457-464.
- Pîrjan, A. and D.-M. Petroşanu (2013). "The impact of 3D printing technology on the society and economy." *J. Inf. Syst. Oper. Manag* 7(2): 360-370.

- Pjetursson, B. E., et al. (2018). "A systematic review of the survival and complication rates of zirconia - ceramic and metal - ceramic single crowns." *Clinical oral implants research* 29: 199-214.
- Politano, G., et al. (2018). "Nonretentive bonded ceramic partial crowns: concept and simplified protocol for long-lasting dental restorations." *J Adhes Dent* 20(6): 495-510.
- Prasad, S., et al. (2018). 3D printing in dentistry, Taylor & Francis. 2: 89-91.
- Prechtel, A., et al. (2020). "Comparison of various 3D printed and milled PAEK materials: Effect of printing direction and artificial aging on Martens parameters." *Dental materials* 36(2): 197-209.
- Prosthodontics, A. o. (1999). The glossary of prosthodontic terms, Mosby.
- Prpić, V., et al. (2020). "Comparison of mechanical properties of 3D - printed, CAD/CAM, and conventional denture base materials." *Journal of Prosthodontics* 29(6): 524-528.
- Prskalo, K., et al. (2017). "Risk factors associated with black tooth stain." *Acta Clin Croat* 56(1): 28-35.
- Puebla, K., et al. (2012). "Effects of environmental conditions, aging, and build orientations on the mechanical properties of ASTM type I specimens manufactured via stereolithography." *Rapid Prototyping Journal* 18(5): 374-388.
- Quan, H., et al. (2020). "Photo-curing 3D printing technique and its challenges." *Bioactive materials* 5(1): 110-115.
- Quan, Z., et al. (2015). "Additive manufacturing of multi-directional preforms for composites: opportunities and challenges." *Materials today* 18(9): 503-512.
- Rahme, H. Y., et al. (2008). "In vitro evaluation of the "replica technique" in the measurement of the fit of Procera crowns." *J contemp dent pract* 9(2): 25-32.
- Rajan, V. and W. Curtin (2016). "Micromechanical design of hierarchical composites using global load sharing theory." *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* 90: 1-17.
- Rastogi, A. and V. Kamble (2011). "Comparative analysis of the clinical techniques used in evaluation of marginal accuracy of cast restoration using stereomicroscopy as gold standard." *The journal of advanced prosthodontics* 3(2): 69-75.
- Rayleigh, L. (2004). "Investigations in optics, with special reference to the spectroscopy, B 7." *SPIE milestone series* 178: 43-50.
- Reich, S., et al. (2011). "Measurement of cement thickness under lithium disilicate crowns using an impression material technique." *Clinical oral investigations* 15: 521-526.
- Reis, A. F., et al. (2003). "Effects of various finishing systems on the surface roughness and staining susceptibility of packable composite resins." *Dental materials* 19(1): 12-18.
- Rekow, E. D. (2020). "Digital dentistry: The new state of the art—Is it disruptive or destructive?" *Dental materials* 36(1): 9-24.

- Rengier, F., et al. (2010). "3D printing based on imaging data: review of medical applications." *International journal of computer assisted radiology and surgery* 5: 335-341.
- Revilla-León, M., et al. (2019). "Digital tools and 3D printing technologies integrated into the workflow of restorative treatment: a clinical report." *The Journal of prosthetic dentistry* 121(1): 3-8.
- Revilla-León, M., et al. (2020). "Internal and marginal discrepancies associated with stereolithography (SLA) additively manufactured zirconia crowns." *The Journal of prosthetic dentistry* 124(6): 730-737.
- Revilla-León, M., et al. (2020). "An update on applications of 3D printing technologies used for processing polymers used in implant dentistry." *Odontology* 108(3): 331-338.
- Revilla - León, M., et al. (2019). "A review on chemical composition, mechanical properties, and manufacturing work flow of additively manufactured current polymers for interim dental restorations." *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* 31(1): 51-57.
- Ricciardiello, F., et al. (2018). "In vitro evaluation of the marginal fit and internal adaptation of zirconia and lithium disilicate single crowns: micro-CT comparison between different manufacturing procedures." *The open dentistry journal* 12: 160.
- Rodet, T., et al. (2004). "The cone - beam algorithm of Feldkamp, Davis, and Kress preserves oblique line integrals." *Medical physics* 31(7): 1972-1975.
- Roseti, L., et al. (2017). "Scaffolds for bone tissue engineering: state of the art and new perspectives." *Materials Science and Engineering: C* 78: 1246-1262.
- Rosner, D. (1963). "Function, placement, and reproduction of bevels for gold castings." *Journal of Prosthetic Dentistry* 13(6): 1160-1166.
- Ryu, J.-E., et al. (2020). "Marginal and internal fit of 3D printed provisional crowns according to build directions." *The journal of advanced prosthodontics* 12(4): 225.
- Sailer, I., et al. (2009). "Randomized controlled clinical trial of zirconia-ceramic and metal-ceramic posterior fixed dental prostheses: a 3-year follow-up." *International Journal of Prosthodontics* 22(6).
- Sailer, I., et al. (2018). "A systematic review of the survival and complication rates of zirconia - ceramic and metal - ceramic multiple - unit fixed dental prostheses." *Clinical oral implants research* 29: 184-198.
- Sakrana, A. A. (2013). "In vitro evaluation of the marginal and internal discrepancies of different esthetic restorations." *Journal of Applied Oral Science* 21(6): 575-580.
- Sampedro, J., et al. (2011). "Laser cladding of TiC for better titanium components." *Physics Procedia* 12: 313-322.
- Sankla, P., et al. (2024). "Comparison Of Direct Vs. Indirect Restorative Materials In Conservative

Dentistry " *Journal of Cardiovascular Disease Research*

Sanna, A. M., et al. (2007). "Immediately loaded CAD-CAM manufactured fixed complete dentures using flapless implant placement procedures: a cohort study of consecutive patients." *The Journal of prosthetic dentistry* 97(6): 331-339.

Schaefer, O., et al. (2012). "Marginal and internal fit of pressed lithium disilicate partial crowns in vitro: a three-dimensional analysis of accuracy and reproducibility." *Dental materials* 28(3): 320-326.

Schambach, S. J., et al. (2010). "Application of micro-CT in small animal imaging." *Methods* 50(1): 2-13.

Schweiger, J., et al. (2021). "3D printing in digital prosthetic dentistry: an overview of recent developments in additive manufacturing." *Journal of clinical medicine* 10(9): 2010.

Scribante, A., et al. (2022). "Properties of CAD/CAM 3D printing dental materials and their clinical applications in orthodontics: where are we now?" *Applied Sciences* 12(2): 551.

Scutellà, F., et al. (2017). "A Retrospective Periodontal Assessment of 137 Teeth After Featheredge Preparation and Gingivitis." *International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry* 37(6).

Sedrez-Porto, J. A., et al. (2020). "Which materials would account for a better mechanical behavior for direct endocrown restorations?" *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 103: 103592.

Seepersad, C. C. (2014). "Challenges and opportunities in design for additive manufacturing." *3D printing and Additive Manufacturing* 1(1): 10-13.

Segundo, Â. R. T. C., et al. (2023). "CAD–CAM natural restorations—Reproducing nature using a digital workflow." *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* 35(7): 993-1000.

Sener-Yamaner, I. D., et al. (2017). "Effect of material and fabrication technique on marginal fit and fracture resistance of adhesively luted inlays made of CAD/CAM ceramics and hybrid materials." *Journal of adhesion science and Technology* 31(1): 55-70.

Seo, D., et al. (2009). "The effect of preparation designs on the marginal and internal gaps in Cerec3 partial ceramic crowns." *Journal of Dentistry* 37(5): 374-382.

Shengfeng, Z., et al. (2012). "Characteristics on structure and properties of WC-Ni60A coatings by laser cladding and laser-induction hybrid cladding." *Journal of Mechanical Engineering* 48(7): 113-118.

Sheridan, R. A., et al. (2016). "The role of occlusion in implant therapy: a comprehensive updated review." *Implant dentistry* 25(6): 829-838.

Shi, H. Y., et al. (2022). "Overview of several typical ceramic materials for restorative dentistry." *BioMed research international* 2022(1): 8451445.

Shillingburg, H. T., et al. (2003). "Preparation design and margin distortion in porcelain-fused-to-metal restorations." *Journal of Prosthetic Dentistry* 89(6): 527-532.

- Shin, Y., et al. (2017). "Evaluation of the marginal and internal discrepancies of CAD-CAM endocrowns with different cavity depths: An in vitro study." *The Journal of prosthetic dentistry* 117(1): 109-115.
- Sidhom, M., et al. (2022). "Effect of different CAD/CAM milling and 3D printing digital fabrication techniques on the accuracy of PMMA working models and vertical marginal fit of PMMA provisional dental prosthesis: An in vitro study." *Polymers* 14(7): 1285.
- Silva, B. P. d., et al. (2020). "Laminate veneers: Preplanning and treatment using digital guided tooth preparation." *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* 32(2): 150-160.
- Silva, N., et al. (2010). "Reliability of metalloceramic and zirconia-based ceramic crowns." *Journal of dental research* 89(10): 1051-1056.
- Stansbury, J. W. and M. J. Idacavage (2016). "3D printing with polymers: Challenges among expanding options and opportunities." *Dental materials* 32(1): 54-64.
- Suárez, M. J., et al. (2003). "Comparison of the marginal fit of Procera AllCeram crowns with two finish lines." *International Journal of Prosthodontics* 16(3).
- Suese, K. (2020). "Progress in digital dentistry: The practical use of intraoral scanners." *Dental materials journal* 39(1): 52-56.
- Suganna, M., et al. (2022). "Contemporary evidence of CAD-CAM in dentistry: A systematic review." *Cureus* 14(11).
- Suksuphan, P., et al. (2023). "Marginal adaptation and fracture resistance of milled and 3D-printed CAD/CAM hybrid dental crown materials with various occlusal thicknesses." *Journal of Prosthodontic Research* 68(2): 326-335.
- Sun, J., et al. (2009). "3D mapping of polymerization shrinkage using X-ray micro-computed tomography to predict microleakage." *Dental materials* 25(3): 314-320.
- Sun, K., et al. (2013). "3D printing of interdigitated Li - Ion microbattery architectures." *Advanced Materials* 25(33): 4539-4543.
- Tack, P., et al. (2016). "3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review." *Biomedical engineering online* 15: 1-21.
- Tallarico, M. (2020). Computerization and digital workflow in medicine: focus on digital dentistry. *Materials MDPI*. **13**: 2172.
- Tamay, D. G., et al. (2019). "3D and 4D printing of polymers for tissue engineering applications." *Frontiers in bioengineering and biotechnology* 7: 164.
- Tardieu, P. B., et al. (2007). "Computer-assisted implant placement: scan template, simplant, surgiguide, and SAFE system." *International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry* 27(2).
- Tarnow, D. P., et al. (2008). Aesthetic restorative dentistry: principles and practice, Montage Media Corporation Mahawah, NJ.
- Tian, Y., et al. (2021). "A review of 3D printing in dentistry: Technologies, affecting factors, and applications." *Scanning* 2021(1): 9950131.

- Tiu, J., et al. (2015). "Clinical tooth preparations and associated measuring methods: a systematic review." *The Journal of prosthetic dentistry* 113(3): 175-184.
- Tofail, S. A., et al. (2018). "Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities." *Materials today* 21(1): 22-37.
- Toksavul, S., et al. (2005). "Effect of luting agents and reconstruction techniques on the fracture resistance of pre - fabricated post systems." *Journal of Oral Rehabilitation* 32(6): 433-440.
- Torreblanca Díaz, D. (2016). "Tecnologías de Fabricación Digital Aditiva, ventajas para la construcción de modelos, prototipos y series cortas en el proceso de diseño de productos." *Iconofacto*.
- Toyserkani, E., et al. (2004). *Laser cladding*, CRC press.
- Tucker, R. V. (2008). Why gold castings are excellent restorations, *Operative Dentistry, Inc.* 33: 113-115.
- Vaezi, M. and C. K. Chua (2011). "Effects of layer thickness and binder saturation level parameters on 3D printing process." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 53: 275-284.
- Vagropoulou, G. I., et al. (2018). "Complications and survival rates of inlays and onlays vs complete coverage restorations: A systematic review and analysis of studies." *Journal of Oral Rehabilitation* 45(11): 903-920.
- Valderhaugw, J. and J. Birkeland (1976). "Periodontal conditions in patients 5 years following insertion of fixed prostheses: pocket depth and loss of attachment." *Journal of Oral Rehabilitation* 3(3): 237-243.
- Van Der Meer, W. J., et al. (2016). "3D Computer aided treatment planning in endodontics." *Journal of Dentistry* 45: 67-72.
- Van Noort, R. (2012). "The future of dental devices is digital." *Dental materials* 28(1): 3-12.
- Veneziani, M. (2017). "Posterior indirect adhesive restorations: updated indications and the Morphology Driven Preparation Technique." *Int J Esthet Dent* 12(2): 204-230.
- Vervack, V., et al. (2024). "The fracture strength and the failure mode of lithium disilicate or resin nano ceramics as a crown, overlay, or endocrown restoration on endodontically treated teeth." *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* 36(5): 796-803.
- Vigolo, P., et al. (2015). "An in vivo evaluation of the fit of zirconium - oxide based, ceramic single crowns with vertical and horizontal finish line preparations." *Journal of Prosthodontics* 24(8): 603-609.
- Villias, A. A., et al. (2021). "In vitro validation of Digital Image Analysis Sequence (DIAS) for the assessment of the marginal fit of cement-retained implant-supported experimental crowns." *International Journal of Implant Dentistry* 7: 1-14.

- Vyas, A., et al. (2022). "Photopolymerizable resin-based 3D printed biomedical composites: Factors affecting resin viscosity." *Materials Today: Proceedings* 62: 1435-1439.
- Wang, C.-J., et al. (1992). "Effects of cement, cement space, marginal design, seating aid materials, and seating force on crown cementation." *The Journal of prosthetic dentistry* 67(6): 786-790.
- Wang, G., et al. (1993). "A general cone-beam reconstruction algorithm." *IEEE transactions on medical imaging* 12(3): 486-496.
- Wang, Y., et al. (2017). "Selection of additive manufacturing processes." *Rapid Prototyping Journal* 23(2): 434-447.
- Wassell, R., et al. (2002). "Crowns and extra-coronal restorations: materials selection." *British dental journal* 192(4): 199-211.
- Watanabe, H., et al. (2022). "Digital technologies for restorative dentistry." *Dental Clinics* 66(4): 567-590.
- Wilson, L. J. and B. P. Wheeler (2006). "Optical microscopy in forensic science." *Encyclopedia of Analytical Chemistry: Applications, Theory and Instrumentation*.
- Wolfart, S., et al. (2003). "Clinical evaluation of marginal fit of a new experimental all-ceramic system before and after cementation." *International Journal of Prosthodontics* 16(6).
- Wollman, A. J., et al. (2015). "From Animaculum to single molecules: 300 years of the light microscope." *Open biology* 5(4): 150019.
- Wu, J., et al. (2021). "Evaluation of internal fit and marginal adaptation of provisional crowns fabricated with three different techniques." *Sensors* 21(3): 740.
- Wu, L., et al. (2018). "EHMP-DLP: Multi-projector DLP with energy homogenization for large-size 3D printing." *Rapid Prototyping Journal* 24(9): 1500-1510.
- Wuersching, S. N., et al. (2022). "Initial biocompatibility of novel resins for 3D printed fixed dental prostheses." *Dental materials* 38(10): 1587-1597.
- Xia, J., et al. (2018). "Direct resin composite restoration of maxillary central incisors using a 3D-printed template: two clinical cases." *BMC Oral Health* 18: 1-8.
- Yang, M.-S., et al. (2022). "Investigation of the marginal fit of a 3D-printed three-unit resin prosthesis with different build orientations and layer thicknesses." *The journal of advanced prosthodontics* 14(4): 250.
- Yang, X., et al. (2016). "Relationship between crown form of upper central incisors and papilla filling in Chinese Han-nationality youth." *Beijing da xue xue bao. Yi xue ban= Journal of Peking University. Health Sciences* 48(5): 866-870.
- Yang, Y., et al. (2020). "Effect of tooth preparation design on marginal adaptation of composite resin CAD-CAM onlays." *The Journal of prosthetic dentistry* 124(1): 88-93.

- Yau, H., et al. (2016). "Comparison of 3-D Printing and 5-axis Milling for the Production of Dental e-models from Intra-oral Scanning." *Computer-aided design and applications* 13(1): 32-38.
- Yu, H., et al. (2019). "Finish-line designs for ceramic crowns: a systematic review and meta-analysis." *The Journal of prosthetic dentistry* 122(1): 22-30. e25.
- Zaharia, C., et al. (2017). "Digital dentistry-3D printing applications." *J Interdiscip Med* 2(1): 50-53.
- Zanetti, E. M., et al. (2017). "Additively manufactured custom load-bearing implantable devices: grounds for caution." *Australasian Medical Journal (Online)* 10(8): 694.
- Zarone, F., et al. (2016). "'Digitally oriented materials': focus on lithium disilicate ceramics." *International journal of dentistry* 2016(1): 9840594.
- Zenthöfer, A., et al. (2014). "Comparison of the Easyshade Compact and Advance in vitro and in vivo." *Clinical oral investigations* 18: 1473-1479.
- Zhang, Z.-c., et al. (2019). "Influence of the three-dimensional printing technique and printing layer thickness on model accuracy." *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie* 80(4).
- Zheng, X., et al. (2014). "Ultralight, ultrastiff mechanical metamaterials." *Science* 344(6190): 1373-1377.
- Zimmermann, M., et al. (2019). "Fracture load of CAD/CAM-fabricated and 3D-printed composite crowns as a function of material thickness." *Clinical oral investigations* 23: 2777-2784.
- Zinelis, S. (2009). "Micro-CT evaluation of the marginal fit of different In-Ceram alumina copings." *Department of Prosthodontics, School of Dentistry, National and Kapodistrian University*.
- 王新洪, et al. (2003). "Microstructure and properties of laser clad TiCp/Ni-based alloys composite coating." *Journal of Mechanical Engineering* 39(2): 37-41.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sena Nur Yigin

Yabancı Dil : İngilizce

Öğrenim Durumu:

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lisans	Diş Hekimliği	Karadeniz Teknik Üniversitesi	2015-2020
Uzmanlık	Restoratif Diş Tedavisi	Ordu Üniversitesi	2022-

İş Deneyimi:

Görev	Görev Yeri	Yıl
Diş Tabibi	Sinop Durağan Devlet Hastanesi	2021-2022
Araş. Gör.	Ordu Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı	2022-

Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan Bildiri Kitabında Basılan Bildiriler:

Yigin SN, Koca B, Akarsu S. (2024) Effect of Home Bleaching on Colour Change of Discoloured Composites FDI World Dental Congress, İstanbul, Türkiye.

Koca B., Yigin SN., Akarsu S. (2024) Effect of Polishing Systems and Surface Sealant on Composite Resin Colour Stability FDI World Dental Congress, İstanbul, Türkiye.

Yigin SN, Karaaslan E, Uslu Cender E. ‘Çürüksüz Servikal Lezyonların Universal Adeziv Sistemin Farklı Klinik Uygulamaları ile Tedavisi: 2 Olgu Sunumu’ 10. Uluslararası Hipokrat Tıp ve Sağlık Bilimleri Kongresi, Aralık 2022.

Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan Bildiri Kitabında Basılan Posterler:

Yigin SN, Atasoy S. Aesthetic Restoration of Peg Shaped Lateral Incisors with Composite Resin' 26th BaSS Congress, Üsküp, Makedonya, 2023.

Koca B, Yigin SN, Akarsu S. 'Silikon İndex ile Polidiastema Vakalarının Estetik Rehabilitasyonu:6 Vaka Raporu' TDB 27. Uluslararası Diş Hekimliği Birliği Kongresi, Ankara, 2023.

