



T.C.

ALTINBAŞ ÜNİVERSİTESİ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Protetik Diş Tedavisi Ana Bilim Dalı

Doktora Programı

**EKLEMELİ, EKSİLTMELİ VE
KONVANSİYONEL YÖNTEMLE ÜRETİLEN
ENDOKRONLARIN ADAPTASYONLARININ VE
TERMOMEKANİK YAŞLANDIRMA SONRASI
AŞINMA VE KIRILMA DAYANIMLARININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Serra Nur BEYDİLİ

Doktora Tezi

Danışman

Doç. Dr. Ayşe ATAY

İstanbul, 2025

**EKLEMELİ, EKSİLTMELİ VE KONVANSİYONEL YÖNTEMLE
ÜRETİLEN ENDOKRONLARIN ADAPTASYONLARININ VE
TERMOMEKANİK YAŞLANDIRMA SONRASI AŞINMA VE
KIRILMA DAYANIMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Serra Nur BEYDİLİ

Protetik Diş Tedavisi Ana Bilim Dalı

Doktora Tezi

ALTINBAŞ ÜNİVERSİTESİ

2025

“Serra Nur BEYDİLİ” tarafından hazırlanmış ve 01.07.2025 tarihinde sunulmuş “EKLEMELİ, EKSİLTMEİ VE KONVANSİYONEL YÖNTEMLE ÜRETİLEN ENDOKRONLARIN ADAPTASYOLARININ VE TERMOMEKANİK YAŞLANDIRMA SONRASI AŞINMA VE KIRILMA DAYANIMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ” başlıklı tez Protetik Diş Tedavisi Ana Bilim Dalında Doktora Tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Üyesi Ayşe ATAY
Danışman

Tez Savunma Sınavı Jüri Üyeleri:

Prof. Dr. Samim Çetin SEVÜK

Klinik Bilimler Bölümü,
İstanbul Sağlık ve Teknoloji
Üniversitesi

Doç. Dr. Meltem MERT EREN

Klinik Bilimler Bölümü,
İstanbul Sağlık ve Teknoloji
Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Demet Çağıl
AYVALIOĞLU ŞAMİLOĞLU

Klinik Bilimler Bölümü,
İstanbul Sağlık ve Teknoloji
Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Beril KOYUNCU

Klinik Bilimler Bölümü,
Altınbaş Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Elif Ezgi OĞUZ

Klinik Bilimler Bölümü,
Altınbaş Üniversitesi

Bu tezin Doktora tezi olarak bütün şartları sağladığımı beyan ederim.

Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik davranışlara uygun olarak edinildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bu kuralların ve davranışların gerektirdiği şekilde, bu çalışmada, orijinal olmayan tüm materyalleri ve sonuçları tamamen alıntı yaptığımı ve referans gösterdiğimi de beyan ederim.

Serra Nur BEYDİLİ

İmzası

XXXXXX

İTHAF

Gece gündüz, hafta içi hafta sonu demeden; yer ve zaman fark etmeksizin tezime en titiz ve kıymetli dokunuşları yapan, desteğiyle bu noktaya gelmemde en büyük paya sahip olan çok değerli danışmanım Doç. Dr. Ayşe ATAY’a,

Danışman öğrenciliğim üzümlere erken sonlansa da desteğini her daim hissettiğim Prof. Dr. Burçin BÜYÜKÜNALDI’ya,

Bana her daim yol gösteren ve üzerimdeki emekleri çok büyük olan canım hocalarım Prof. Dr. Samim Çetin SEVÜK, Dr. Öğr. Üyesi Beril KOYUNCU, Doç. Dr. Rana TURUNÇ ve Dr. Öğr. Üyesi Elif Ezgi OĞUZ’a,

Hayatımın her anında olduğu gibi bu süreçte de akıl hocalığından öteye geçen, sonsuz desteğiyle yanımda olan; kahrıma, umutsuzluğuma ve tüm zorluklarıma tanıklık eden sevgili Dr. Öğr. Üyesi Demet Çağıl AYVALIOĞLU ŞAMİLOĞLU’na,

Her zaman sorularımı sabırla yanıtlayan, bir telefon kadar yakınımda olan ve tezimin ilk gününden itibaren yanımda yer alan çok sevgili Doç. Dr. Meltem MERT EREN’e,

Sert doku laboratuvarındaki kıymetli yardımları ve çalışmama, adeta kendi çalışmasıymışçasına gösterdiği özenli desteği için Burak MENGÜ’ye,

Tezimin dijital aşamasındaki katkıları, bana kazandırdığı vizyon ve içten desteği için Selçuk YILDIRIM’a,

Tasarım sürecinden üretime kadar her aşamada desteğini benden hiç esirgemeyen, aklına gelen yaratıcı fikirlerle her zaman yeniden düşünmemi, başka açılardan bakmamı sağlayan Sinan ŞİMŞEK’e,

Doktora eğitimim boyunca TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı (BİDEB) tarafından yürütülen 2211-A programı kapsamında verdikleri destekler için TÜBİTAK’a,

Tez materyallerimin temininde verdikleri destek için Altınbaş Üniversitesi Araştırma Dekanlığı’na,

Hayatımın her döneminde beni destekleyen, her daim yanımda olan canım aileme,

İnişlerimde ve çıkışlarımda, iyi günümde ve kötü günümde beni hiç yalnız bırakmayan, desteklerini her zaman yanımda hissettiğim kıymetli dostlarım Sena ÖZ ve Melike Şevval ÇELİK'e,

Ve bu uzun, zorlu doktora yolculuğumda bana yoldaş, omuz ve güç olan doktora arkadaşlarıma, Muteber AYDIN'a, Elif Zeynep SARPKAYA'ya

En içten teşekkürlerimi ve sonsuz minnettarlığımı sunarım.



ÖNSÖZ

Bu çalışma Altınbaş Üniversitesi Araştırma Dekanlığı tarafından TLP2023-5 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) ile desteklenmiştir. Doktora hayatım ise TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı (BİDEB) tarafından yürütülen 2211-A programı kapsamında TÜBİTAK ile desteklenmiştir.



ÖZET

EKLEMELİ, EKSİLTMEİ VE KONVANSİYONEL YÖNTEMLE ÜRETİLEN ENDOKRONLARIN ADAPTASYONLARININ VE TERMOMEKANİK YAŞLANDIRMA SONRASI AŞINMA VE KIRILMA DAYANIMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

BEYDİLİ, Serra Nur

Doktora, Protetik Diş Tedavisi Ana Bilim Dalı, Altınbaş Üniversitesi

Danışman: Doç. Dr. Ayşe ATAY

Tarih: Temmuz/2025

Sayfa: 166

Amaç: Farklı teknikler ile üretilen (eklemeli, eksiltmeli ve konvansiyonel) endokron restorasyonların internal ve marjinal adaptasyonları, aşınma ve kırılma dayanımlarının in-vitro olarak incelenmesidir.

Gereç Ve Yöntem: Çalışmada 36 adet mandibular molar diş kanal tedavisi ve endokron preparasyonu uygulandı. VarseoSmile TriniQ (eklemeli üretim), Cerasmart 270 (eksiltmeli üretim) ve Gradia Plus (konvansiyonel üretim) materyalleri kullanılarak her grup için 12 adet endokron üretildi (n=12). İnternal ve marjinal adaptasyon silikon replika tekniği, üçlü tarama protokolü, 3 boyutlu (3B) analiz programıyla hacim ölçme tekniği ve yüzey çakıştırma yöntemiyle değerlendirildi. Hazırlanan endokronlar simante edildi ve 49 Newton dikey okluzal kuvvet, 5°-55° termal döngü, düzenli çiğneme ile 400.000 döngüyle termomekanik olarak çiğneme simülatöründe (MOD Dental) yaşlandırıldı. Aşınma derinliği ve aşınma hacmi değerleri 3B tarama yöntemiyle ölçüldü. Sonrasında örnekler universal test cihazında (MOD Dental) 1 mm/dk hızla kırılma dayanıklılığı testine tabi tutuldu ve kırık tipleri belirlendi. Verilerin normal dağılıma uygunluğu Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro Wilks testleri ile değerlendirildi. Normal dağılım gösteren verilerin gruplar arası karşılaştırmalarında One-way Anova testi, Tukey HSD testi ve Bonferroni düzeltmesi ile,

normal dağılım göstermeyen verilerin gruplar arası karşılaştırmaları Kruskal Wallis testi ve Dunn's testi ile analiz edildi. Anlamlılık $p<0,05$ düzeyinde değerlendirildi.

Bulgular: Silikon replika ve üçlü tarama tekniği ile pulpa tabanı, aksiyel duvar, internal uyum ve marjinal kenar aralık değeri ölçümleri açısından gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Tüm ölçüm bölgelerindeki en yüksek aralık değerleri Cerasmart 270 grubunda bulunurken ($p<0,05$), en düşük aralık değerleri Gradia Plus materyal grubunda gözlenmiştir ($p<0,05$). 3B analiz programıyla hacim sonuçlarının değerlendirilmesinde Cerasmart 270 grubu en yüksek hacim değerini göstermiştir ($p<0,05$). Aşınma hacmi ve aşınma derinliği değerleri açısından gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0,05$). Gruplar arasında kırılma dayanımı değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmuştur ($p<0,05$). En düşük kırılma dayanımı VarseoSmile TriniQ grubunda bulunmuştur ($p<0,05$).

Sonuç: Farklı teknikler ile üretilen endokronlar klinik uygulama için kabul edilebilir adaptasyon ve kırılma dayanımı sergilemişlerdir.

Anahtar Kelimeler: Endokron, 3B Baskı, Eksiltmeli Üretim, Konvansiyonel Üretim, Adaptasyon, Aşınma, Kırılma.

ABSTRACT

EVALUATION OF THE ADAPTATION, WEAR, AND FRACTURE STRENGTH OF ENDOCROWNS MANUFACTURED BY ADDITIVE, SUBTRACTIVE, AND CONVENTIONAL METHODS AFTER THERMOMECHANICAL AGING

BEYDİLİ, Serra Nur

Ph.D, Prosthodontics, Altınbaş University,

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ayşe ATAY

Date: July/2025

Pages: 153

Objective: To investigate the internal and marginal adaptation, wear, and fracture strength of endocrown restorations manufactured using different techniques: additive, subtractive and conventional.

Materials And Methods: Root canal treatment and endodontic preparation were performed on 36 mandibular molar teeth. Twelve endodontic restorations were fabricated for each group using VarseoSmile TriniQ (additive manufacturing), Cerasmart 270 (subtractive manufacturing), and Gradia Plus (conventional manufacturing) materials (n=12). Internal and marginal adaptation were evaluated using the silicone replica technique, a triple scan protocol, a 3D analysis program for volume measurement, and surface matching methods. The prepared endocrowns were cemented and subjected to thermomechanical chewing simulation (MOD Dental) with 49 Newton vertical occlusal force, 5°-55° thermal cycle and regular chewing for 400,000 cycles. Wear depth and volume values were measured using a 3D scanning method. Subsequently, the samples were subjected to a fracture strength test at a speed of 1 mm/min in a universal testing machine (MOD Dental), and fracture types were determined. The normality of the data distribution was evaluated using the Kolmogorov-Smirnov and Shapiro-Wilks tests. Then data were analyzed using One-way ANOVA, Tukey

HDS test, and Bonferroni multiple comparison tests. Kruskal-Wallis test and Dunn's test were used for intergroup comparisons of data that do not show a normal distribution. Significance was evaluated at the $p<0.05$ level.

Results: The study employed the silicone replica technique and a triple scan protocol to measure values related to pulp base, axial wall, internal, and marginal gaps. Statistically significant differences were observed between the groups ($p<0.05$). The Cerasmart 270 group exhibited the highest marginal gap values ($p<0.05$), while the Gradia Plus material group had the lowest marginal gap values ($p<0.05$). In terms of volume results assessed using 3D analysis software, the Cerasmart 270 group also demonstrated the highest volume values ($p<0.05$). However, no statistically significant differences were identified among the groups regarding wear volume and depth ($p>0.05$). Significant differences were noted in fracture strength values between the groups ($p<0.05$), with the VarseoSmile TriniQ group displaying the lowest fracture resistance ($p<0.05$).

Conclusion: Endocrowns manufactured using various techniques can achieve proper adaptation and fracture strength for clinical use.

Keywords: Endocrown, 3D Printing, Subtractive Manufacturing, Conventional Manufacturing, Adaptation, Wear, Fracture.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	viii
ABSTRACT	x
TABLO LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvi
KISALTMALAR.....	xix
SEMBOL LİSTESİ	xx
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1 DİJİTAL DİŞ HEKİMLİĞİ	3
2.1.1 Dental Restorasyonlar için Dijital Üretim Yöntemleri: Bilgisayar Destekli Tasarım ve Üretim (CAD/CAM)	3
2.1.1.1 Dijital iş akışı: tarama ve veri toplama	5
2.1.1.2 Dijital iş akışı: bilgisayar destekli dizayn	7
2.1.1.3 Dijital iş akışı: bilgisayar destekli üretim	7
2.2 İNDİREKT RESTORASYONLAR	18
2.2.1 İndirekt Restorasyon Türleri	19
2.2.2 Endokron.....	20
2.2.2.1 Avantajları.....	22
2.2.2.2 Sınıflandırılması.....	23
2.2.2.3 Preparasyonu	23
2.2.2.4 Materyal Seçimi	24
2.3 RESTORASYON BAŞARISININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	32
2.3.1 Marjinal ve İnternal Adaptasyon	32
2.3.1.1 İnternal ve marjinal adaptasyon inceleme yöntemleri	32
2.3.2 Termomekanik Yaşlandırma.....	35
2.3.2.1 Çiğneme simülatörü	35

2.3.3 Aşınma Direnci	36
2.3.3.1 Lazer tarayıcılar	37
2.3.3.2 3B lazer tarama yöntemi	39
2.3.4 Kırılma Dayanımı	39
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	41
3.1 ÖRNEKLERİN ELDE EDİLMESİ	41
3.1.1 Güç Analizi	41
3.1.2 Dişlerin Hazırlanması	41
3.1.3 Kavite Preparasyonu	42
3.2 ENDOKRON RESTORASYONLARIN ÜRETİMİ	43
3.2.1 Dijital ve Konvansiyonel Yöntem ile Ölçü Alınması	44
3.2.2 Endokron Tasarımı.....	44
3.2.3 Eklemeli Teknik ile Endokron Restorasyonların Üretimi	45
3.2.4 Eksiltmeli Teknik ile Endokron Restorasyonların Üretimi	47
3.2.5 Konvansiyonel Yöntem ile Endokron Restorasyonların Üretimi	48
3.3 İNTERNAL VE MARJİNAL ADAPTASYON ÖLÇÜMÜ	49
3.3.1 Silikon Replika Tekniği ile Adaptasyon Değerlendirmesi	49
3.3.2 Üçlü Tarama Protokol Yöntemi ile Adaptasyon Değerlendirmesi	50
3.3.3 3B Analiz Programı ile Siman Aralığı Hacimlerinin Hesaplanması	52
3.3.4 Yüzey Çakıştırma Yöntemi ile Elde Edilen Marjinal Sapma Değerlerinin Elde Edilmesi	53
3.4 ÖRNEKLERİN SİMENTASYON VE BİTİM-CİLA İŞLEMLERİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ.....	54
3.5 AŞINMA DİRENCİ DEĞERLENDİRMESİ.....	55
3.5.1 Çiğneme Simülatörü ile Termomekanik Yaşlandırma	55
3.5.2 Aşınma Direnci Değerlendirmesi için Son Tarama Yapılması.....	56
3.5.3 3B Analiz Yazılım Programı ile Aşınma Hacmi Hesaplanması	56
3.5.4 3B Analiz Yazılım Programı ile Aşınma Derinliği Hesaplanması	57
3.6 KIRILMA DAYANIMI DEĞERLENDİRİLMESİ	58

3.6.1 Kırılma Dayanımı Testi	58
3.6.2 Kırık Tiplerinin Değerlendirilmesi	58
3.7 İSTATİSTİKSEL ANALİZ	59
4. BULGULAR.....	60
4.1 İNTERNAL VE MARJİNAL ADAPTASYON TEST BULGULARI	60
4.1.1 Silikon Replika Tekniği Kullanılarak Yapılan Adaptasyon Testi Bulguları	60
4.1.2 Üçlü Tarama Protokolü Tekniği Kullanılarak Yapılan Adaptasyon Testi Bulguları	62
4.1.3 3B Analiz Programı ile Hacim Sonuçlarının Değerlendirilmesi	64
4.1.4 Yüzey Çakıştırma Yöntemi ile Elde Edilen Marjinal Sapma Değerlerinin İncelenmesi	65
4.2 AŞINMA DEĞERLERİ BULGULARI	66
4.2.1 Aşınma Derinliği Bulguları.....	66
4.2.2 Aşınma Hacmi Bulguları	67
4.3 KIRILMA BULGULARI	68
4.3.1 Kırılma Dayanımı Test Bulguları	68
4.3.2 Kırık Tipleri Dağılım Bulguları	70
5. TARTIŞMA	71
6. SONUÇ.....	96
REFERANSLAR	97
EKLER.....	152

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1: Çalışmamızda Kullanılan Materyal İsimleri, Üretim Teknikleri, Grupları, İçerikleri Ve Üretici Firmalar.....	43
Tablo 4.1: Silikon Replika Tekniği Kullanılarak Farklı Bölgelerden (Pulpa Tabanı, Aksiyel Duvar, Marjinal Kenar Ve İnternal Aralık) Elde Edilen Adaptasyon Testleri Sonucu Grupların Ortalamaları, Standart Sapmaları, Medyan Ve p Değerleri.....	60
Tablo 4.2: Üçlü Tarama Protokolü Tekniği Kullanılarak Farklı Bölgelerden (Pulpa Tabanı, Aksiyel Duvar, Marjinal Kenar Ve İnternal Aralık) Elde Edilen Adaptasyon Testleri Sonucu Grupların Ortalamaları, Standart Sapmaları, Medyan Değerleri Ve p Değerleri.....	62
Tablo 4.3: 3B Analiz Programı Kullanılarak Elde Edilen Siman Aralığı Hacim Değerleri Ortalamaları, Standart Sapmaları Ve p Değeri.....	64
Tablo 4.4: Yüzey Çakıştırma Yöntemi Kullanılarak Elde Edilen Marjinal Sapma Değerleri Ortalamaları, Standart Sapmaları, Medyan Değerleri Ve p Değeri.....	65
Tablo 4.5: Aşınma Derinlikleri Ortalamaları, Standart Sapmaları, Medyan Değerleri Ve p Değeri.....	67
Tablo 4.6: Aşınma Hacmi Ortalamaları, Standart Sapmaları, Medyan Değerleri Ve p Değeri.....	68
Tablo 4.7: Farklı Üretim Teknikleriyle Farklı Materyallerden Üretilen Endokron Restorasyonların Yaşlandırma Sonrası Ortalama Kırılma Dayanımı Değerleri, Standart Sapmaları, Medyan Değerleri Ve p Değeri.....	69
Tablo 4.8: Kırık Tiplerinin Burke Sınıflamasına Göre Dağılımı (Değerler Adet Cinsindendir).....	70

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1: Sevük Universal Inley-Onley Hazırlama Seti.	42
Şekil 3.2: Kavite Preparasyonu	42
Şekil 3.3: Trios 4 (3Shape, Kopenhag, Danimarka) Ağız İçi Tarayıcı.	44
Şekil 3.4: Geleneksel Ölçü ile Oluşturulan Alçı Model.	44
Şekil 3.5: Exocad 3B Tasarım Programıyla Endokron Tasarımlarının Oluşturulması.	45
Şekil 3.6: VarseoSmile TriniQ 3B Baskı Reçinesi.....	45
Şekil 3.7: Asiga Max 2	45
Şekil 3.8: Kullanılan Yazıcı Baskı Ayarları.	46
Şekil 3.9: Endokron STL Verilerinin Baskı Yapılmak Üzere Programa Yerleştirilmesi....	46
Şekil 3.10: Bego Otoflash G171.....	46
Şekil 3.11: Sultan Pro-Sonic 600 Ultrasonik Banyo.	46
Şekil 3.12: Sirona Kazıma Programında Endokron Tasarımının Cerasmart 270 Bloklara Yerleştirilmesi.	47
Şekil 3.13: Cerec MC XL Kazıma Cihazında Cerasmart 270 Blokların Kazınması.....	47
Şekil 3.14: Eksiltmeli Üretim Tekniğiyle Üretilen Endokron.	48
Şekil 3.15: Gradia Plus İndirekt Laboratuvar Kompoziti.....	48
Şekil 3.16: GC Labolight Duo Dental Laboratuvar Polimerizasyon Cihazı	48
Şekil 3.17: Silikon Replika Tekniğiyle Ölçüm Yapılabilmesi İçin Kesitlerin Hazırlanması.	49
Şekil 3.18: Nikon SMZ745T Stereomikroskop.....	50

Şekil 3.19: Stereomikroskopta Aralık Ölçümlerinin Yapılması.....	50
Şekil 3.20: Sirona Primescan Ağız İçi Tarayıcı.	50
Şekil 3.21: Endokron, Prapere edilmiş ve Prepare Edilmiş Dişe Simante Edilen Endokronun Çakıştırılması.....	51
Şekil 3.22: Geomagic Control X Programında Kesit Alınması.....	52
Şekil 3.23: Geomagic Control X Programında Aralık Ölçümlerinin Gerçekleştirilmesi....	52
Şekil 3.24: Geomagic Control X Programında Hacim Hesaplanması.	53
Şekil 3.25: Geomagic Control X Programında Marjinal Kesitten Sapma Değer Noktalarının Elde Edilmesi.....	53
Şekil 3.26: Star Dental Kalem Kuşlama Cihazı.	54
Şekil 3.27: Endokronların Adeziv Simantasyonu.....	55
Şekil 3.28: Diskler ile Bitim-Cila İşlemlerinin Gerçekleştirilmesi.	55
Şekil 3.29: Çiğneme Simülatörü (MOD Dental, Ankara, Türkiye).	56
Şekil 3.30: Geomagic Control X Programı ile Hacim Değişimi Hesaplanması.....	57
Şekil 3.31: Geomagic Control X Programı ile Maksimum Aşınma Derinliği Ölçülmesi...	57
Şekil 3.32: Universal Test Cihazı (MOD Dental, Ankara, Türkiye).	58
Şekil 3.33: Universal Test Cihazı ile Kırılan Örnek.....	58
Şekil 3.34: Stereomikroskop ile Örneklerin İncelenmesi.	59
Şekil 4.1: Silikon Replika Tekniği Kullanılarak Farklı Bölgelerden (Pulpa Tabanı, Aksiyel Duvar, Marjinal Kenar Ve İnternal Aralık) Elde Edilen Adaptasyon Testi Değerleri (Değerler µm Cinsindendir).	61
Şekil 4.2: Üçlü Tarama Protokolü Kullanılarak Farklı Bölgelerden (Pulpa Tabanı, Aksiyel Duvar, Marjinal Kenar Ve İnternal Aralık) Elde Edilen Adaptasyon Testi Değerleri (Değerler µm Cinsindendir).	63

Şekil 4.3: 3B Analiz Programı Kullanılarak Elde Edilen Siman Aralığı Hacmi Test Değerleri	65
Şekil 4.4: Yüzey Çakıştırma Yöntemi İle Elde Edilen Marjinal Sapma Test Değerleri	66
Şekil 4.5: Aşınma Derinlikleri Test Değerleri (Değerler mm Cinsindendir).	67
Şekil 4.6: Aşınma Hacmi Test Değerleri (Değerler mm ³ Cinsindendir).	68
Şekil 4.7: Kırılma Dayanımı Test Değerleri.	69
Şekil 4.8: Kırık Tiplerinin Burke Sınıflamasına Göre Dağılımı.	70



KISALTMALAR

Bis-GMA	:	Bisfenol-A-Glisidil Metakrilat
CAD/CAM	:	Bilgisayar Destekli Tasarım/Bilgisayar Destekli Üretim
CDLP	:	Sürekli Dijital Işık İşleme
CLIP	:	Sürekli Sıvı Arayüz Üretimi
CNC	:	Bilgisayar Sayısal Kontrollü
DLP	:	Dijital Işık İşleme
EDMA	:	Etilen Dimetakrilat
FDM	:	Birleşik Depo Modelleme/Eriyik Yığılma Modelleme
Mikro-BT	:	Mikrobilgisayarlı Tomografi
MJT	:	Materyal Püskürtme
MMA	:	Metil Metakrilat
MPa	:	Megapaskal
N	:	Newton
Ort	:	Ortalama
RMS	:	Karekök Ortalama
SLA	:	Stereolitografi
SS	:	Standart Sapma
TEGDMA	:	Tri Etilen Glikol Dimetakrilat
UDMA	:	Üretan Dimetakrilat
UV	:	Ultraviyole
3B	:	3 Boyutlu

SEMBOL LİSTESİ

μm : Mikrometre (Mikron)

$^{\circ}$: Derece



1. GİRİŞ VE AMAÇ

Protetik diş hekimliği alanında, kanal tedavisi görmüş ve önemli ölçüde madde kaybı olan dişlerin restorasyonu önemli derecede zorluk teşkil etmektedir. Diş yapısını zayıflatabilen ve kök kırığı riski taşıyan geleneksel post-kor restorasyonlara kıyasla daha az agresif ve daha adeziv bir yaklaşım sunan endokronların, mekanik performans açısından diğer restorasyonlarla karşılaştırılabilir ve hatta daha umut verici bir seçenek olduğu ifade edilmektedir (Ciobanu ve diğerleri, 2023; Gupta ve diğerleri, 2021). Endokron üretimi pek çok teknik ve materyal ile mümkün olabilmektedir (Taha, 2018). Dijital diş hekimliğinin ortaya çıkışı, Bilgisayar Destekli Tasarım ve Bilgisayar Destekli Üretim (CAD/CAM) teknolojisinin hassasiyetinden ve verimliliğinden yararlanarak, yüksek uyum ve estetiğe sahip restorasyonların oluşturmasını sağlamış ve bu teknoloji konvansiyonel tekniklere alternatif olmuştur (El-Farag ve diğerleri, 2023).

CAD/CAM teknolojisi ile restorasyonların üretim aşamasında eksiltmeli üretim ve eklemeli üretim yöntemleri olmak üzere 2 yöntem kullanılmaktadır (Park ve diğerleri, 2019). Eksiltmeli üretim, üstün materyal özellikleri ve yüksek restorasyon dayanıklılığı sunarken, kazıma işlemi sırasında çok miktarda materyal atığı ortaya çıkarması ve frezin erişemediği alanlarda işlemin zor olması gibi dezavantajları bulunmaktadır (Çakmak ve diğerleri, 2022). Eksiltmeli üretime bir alternatif olarak ortaya çıkan ve yaygın olarak 3 boyutlu (3B) baskı olarak bilinen eklemeli üretim, dental restorasyonların üretimi için elverişli bir seçenek olmakta, daha az materyal atığı, daha fazla tasarım özgürlüğü ve kısa işlem süresi gibi pek çok avantaj sunmaktadır (Alqarni ve diğerleri, 2019; Abduo ve ark., 2014; Tüylek, 2023; Nandy ve ark., 2019). 3B baskının ortaya çıkışıyla, dental uygulamalarda kullanılan materyal yelpazesi genişlemiş ve eklemeli teknikler kullanılarak inley, onley, endokron, kron, köprü, implantüstü restorasyon ve diğer restorasyonların üretimi mümkün olmuştur (Bahadır ve diğerleri, 2024). Ancak uzun süre ağızda kalabilen uygun diş polimerlerinin sayısı hala oldukça az sayıdadır (Revilla-León ve Özcan, 2019). Son birkaç yılda daimi restorasyonlar için onaylanmış ve piyasaya sunulmuş sınırlı miktarda polimer mevcuttur (Ozer ve diğerleri, 2023). Klinik başarıya ulaşmak için kullanılan materyal kadar, materyale uygun üretim tekniğinin ve uygulama aşamalarının seçilmesi oldukça önem taşımaktadır (Beuer ve diğerleri, 2008). Bu sebeple daimi reçineler kullanılarak eklemeli teknikle üretimi

gerçekleştirilen çeşitli restorasyonların mekanik özelliklerinin ve adaptasyon değerlerinin test edilmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasının amacı; farklı teknikler ile üretilen (konvansiyonel, eksiltmeli ve 3B yazıcı kullanılarak eklemeli teknik ile üretimleri gerçekleştirilen) endokron restorasyonların internal ve marjinal adaptasyonları, aşınma dirençleri ve kırılma dayanımlarının *in-vitro* olarak incelenmesi ve karşılaştırılmasıdır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1 DİJİTAL DİŞ HEKİMLİĞİ

Diş hekimliğinde dijital teknolojiler ile, hastalara optimum estetik ve fonksiyonel sonuçlar sunabilmek adına daha geniş bir seçenek yelpazesi ortaya koyulmuş ve yeni bir çağ başlamıştır (Coelho Segundo ve diğerleri, 2023). Bilgisayar Destekli Tasarım/Bilgisayar Destekli Üretim (CAD/CAM) ve eklemeli üretim (3B baskı) olmak üzere dijital teknolojilerdeki gelişmeler, bu çağa öncülük etmektedir (Forero ve diğerleri, 2018; Yen ve Stathopoulou, 2018).

2.1.1 Dental Restorasyonlar için Dijital Üretim Yöntemleri: Bilgisayar Destekli Tasarım ve Üretim (CAD/CAM)

CAD/CAM sistemleri tarama, tasarım ve üretim olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır. CAD (Computer Aided Design) tarama ve tasarımı ifade eder, CAM (Computer Aided Manufacturing) ise restorasyonun üretim safhasını ifade etmektedir (Duret ve Preston, 1991).

CAD/CAM sistemi diş hekimliğinde ilk kez Dr. Duret'in bir dayanak dişin optik ölçüsünü alması ve bilgisayar sayısal kontrollü (CNC) bir cihaz ile kron oluşturmasıyla 1971 yılında ortaya çıkmıştır. 1985 yılında Mormann, piyasada bulunan ilk CAD/CAM sistemi olan CEREC'i piyasaya sürmüştür. Bu teknoloji ile Mormann, dijital ölçü almak için bir ağız içi kamera kullanmış ve seramik bir bloktan inley restorasyonu üretmiştir (bin Irfan ve diğerleri, 2015). Günümüzde CAD/CAM sistemleri kron, köprü, veneer, inley, onley, hareketli protez, implant destekli protez, ortodontik apareyleri oluşturmak için kullanılabilmektedir (Alqarni ve diğerleri, 2019).

a. CAD/CAM Sistemlerinin Avantajları

- i. CAD/CAM sistemleri, marjinal uyumsuzlukları en aza indirerek restorasyonun uzun dönem başarısını artırır ve yüksek uyum ile son derece ayrıntılı restorasyonların oluşturulmasına olanak sağlar (Giordano, 2006; Beuer ve diğerleri, 2008; Skorulska ve diğerleri, 2021). Ayrıca dijital ölçünün üç boyutlu izlenebilmesi hekime

preparasyon hatalarını, okluzal ilişkileri daha detaylı görebilme ve fark edilen uyumsuzlukları aynı seansta giderebilme imkanı sunmaktadır (Oğuzhan, 2023).

- ii. Dijital iş akışı, hastanın özel anatomisine ve estetik gereksinimlerine göre özelleştirilmiş restorasyonların tasarlanmasını ve üretilmesini sağlar (Öztürk ve Karabıyık, 2019).
- iii. CAD/CAM sistemleri, tedavi sürecini kolaylaştırarak hasta seanslarının sayısını azaltıp bazı durumlarda restorasyonların aynı gün teslim edilmesini sağlayabilmektedir (Beuer ve diğerleri, 2008).
- iv. Tek bir seansta restorasyonun teslim edilebildiği durumda, geçici restorasyon ihtiyacı ortadan kalkacağı için postoperatif hassasiyet azalacak ve materyal tasarrufu sağlanacaktır (Fasbinder, 2006).
- v. Birçok materyal CAD/CAM frezeleme ile uyumludur ve klinisyenlere klinik duruma göre en uygun materyali seçme olanağı sunar (Spitznagel ve diğerleri, 2018).
- vi. Dijital ölçü teknikleri, konvansiyonel tekniklere nazaran mide bulantısı, stres ve ağrı bakımından daha konforlu bulunmuştur (Joda ve Brägger, 2016).

b. CAD/CAM Sisteminin Dezavantajları

- i. CAD/CAM teknolojisinin uygulanması, ekipman, yazılım, cihaz ve kullanıcı eğitimi için önemli bir yatırım gerektirir (Sriram ve diğerleri, 2018).
- ii. Bazı materyaller CAD/CAM frezeleme için uygun olmayabilir (Levi, 2018).
- iii. Klinisyenler ve teknisyenler CAD/CAM teknolojisini ve yazılımını etkin bir şekilde kullanabilmek için özel bir eğitime ihtiyaç duyarlar (Li ve diğerleri, 2014).
- iv. Ağız içi tarayıcı ile ölçü alımı sırasında kan ve tükürük tarama kalitesini bozabilmektedir. Bu nedenle dikkatli bir retraksiyon ve izolasyon gerekmektedir (Davidowitz ve Kotick, 2011).

2.1.1.1 Dijital iş akışı: tarama ve veri toplama

Dijital iş akışında, tasarımı ve üretimi yapılacak olan bölgenin geometrisi öncelikle dijital verilere dönüştürülerek sayısallaştırılır ve toplanır. Bu amaçla kullanılan veri toplama ünitesine ise tarayıcı denir (Sakaguchi, 2012).

Ağız içi tarayıcılar

1980’lerde tanıtılan ağız içi tarayıcılar, dental ölçülerin elde edilmesi ve çeşitli protetik ve tanısal prosedürlerde kullanılması bakımından önemli ilerlemelere neden olmuştur (Tomita ve diğerleri., 2018). Ağız içi tarayıcılar, optik tarama teknolojilerini kullanarak dişler, yumuşak dokular ve dental implantlar dahil olmak üzere oral kavitenin dijital bir izlenimini doğrudan kaydetmek için kullanılan cihazlardır (Lecocq, 2016; Tordiglione ve diğerleri, 2016). Dijital ölçüler daha sonra hasta ağzının 3B sanal bir modelini oluşturmak için kullanılır ve oluşturulan bu model dental restorasyonların, apareylerin ve cerrahi rehberlerin tasarlanması ve üretilmesi için kullanılabilir (Richert ve diğerleri, 2017).

b. Ağız İçi Tarayıcıların Avantajları

- i. Ağız içi tarayıcılar, geleneksel ölçü tekniklerine göre çok sayıda avantaj sunarak diş hekimliği uygulamalarında verimliliği, doğruluğu ve hasta konforunu önemli miktarda artırır. Ağız içi tarama yoluyla elde edilen dijital ölçüler, geleneksel ölçü materyallerine kıyasla hastalar için genellikle daha rahattır ve bu da hasta uyumunun daha iyi olmasını sağlar (Vij ve Reddy, 2020).
- ii. Geleneksel ölçü materyallerinin ve ölçü kaşıklarının ortadan kaldırılması, hastaların öğürme refleksini ve anksiyetesini azaltır (Mangano ve diğerleri, 2017).
- iii. Ağız içi tarayıcılarla elde edilen dijital ölçülerin doğruluğunun, özellikle tek üyeli restorasyonlar ve az üyeli köprüler için geleneksel ölçü teknikleriyle karşılaştırılabilir hatta bazı durumlarda daha iyi olduğu bildirilmiştir. Dijital ölçü, dental restorasyonların üretimi için daha hassas verilerle daha iyi bir restorasyon-diş uyumu sağlar (Wu ve diğerleri, 2023).
- iv. Ağız içi tarayıcıların sağladığı dijital iş akışı elde edilen dijital ölçülerin anında diş laboratuvarına iletilebilmesini sağlarken, ölçülerin fiziksel olarak taşınması

ihtiyacını ortadan kaldırır ve geri dönüş süresini kısaltır (Abdeen ve diğerleri, 2022; Wu ve diğerleri, 2023).

- v. Ağız içi tarayıcılar diş hekimi, diş laboratuvarı ve hasta arasında daha iyi iletişim kurulmasını kolaylaştırır. Sanal model, hem hekim hem de laboratuvar tarafından görüntülenebilir ve düzenlenebilir, bu da daha bilinçli tedavi planlamasına ve daha iyi sonuçlara yol açar (Mangano ve diğerleri, 2017).
- vi. Ölçülerin dijital olarak saklanması, fiziksel depolama alanı ihtiyacını ortadan kaldırır ve ölçülerin hasar görme veya kaybolma riskini azaltır (Mangano ve diğerleri, 2017).
- vii. Ağız içi tarayıcılar, ölçünün anında değerlendirilmesini sağlayarak diş hekiminin ölçüyü laboratuvara göndermeden önce hataları veya eksiklikleri tespit edip düzeltmesini sağlar (Mangano ve diğerleri, 2017).
- viii. Dijital ölçüler kolayca çoğaltılabilir ve paylaşılabilir, böylece diğer uzmanlarla iş birliği ve konsültasyon yapılabilir (Mangano ve diğerleri, 2017).
- ix. Ağız içi tarayıcılar, tek kullanımlık ölçü materyallerinin kullanımını azaltarak daha çevre dostu bir diş hekimliği uygulamasını teşvik eder (Mangano ve diğerleri, 2017).
- x. Ağız içi tarayıcıların kullanımı, kliniklerin imajını geliştirebilir ve teknoloji meraklısı hastaları çekebilir (Marinis ve diğerleri, 2021).
- xi. Bu teknoloji aynı zamanda işçilik maliyetlerini düşürür ve geleneksel yöntemlere kıyasla daha az zaman harcanarak çeşitli restorasyonların üretilmesine olanak tanır (Mangano ve diğerleri, 2017).

c. Ağız İçi Tarayıcıların Dezavantajları

Ağız içi tarayıcıların sayısız avantajına rağmen, dikkate alınması gereken bazı dezavantajları da vardır.

- i. Ağız içi tarayıcıların maliyetleri yüksektir (Mangano ve diğerleri, 2017).
- ii. Ağız içi tarayıcıların doğruluğu önemli ölçüde artmış olsa da subgingival marjinlerin veya sınırlı erişime sahip alanların taranması gibi belirli klinik durumlarda doğru ölçülerin elde edilmesi zor olabilir (Lee ve diğerleri, 2018).

- iii. Ağız içi tarayıcıların doğruluğu uygulayıcının becerisi, tarama tekniği ve tükürük veya kan varlığı gibi faktörlerden etkilenebilir (Mangano ve diğerleri, 2017).
- iv. Diş hekimlerinin ağız içi tarayıcıların kullanımında yetkin hale gelmeleri için eğitim almaları gerekmektedir (Mangano ve diğerleri, 2017).
- v. Bazı ağız içi tarayıcılar, dijital iş akışı kullanılarak üretilebilecek materyal ve restorasyon türleri açısından sınırlamalara sahip olabilir. Sistemin açık yapısı, ağız içi tarayıcıyı mevcut iş akışlarına entegre etmek için gereklidir (Alshawaf ve diğerleri, 2018).
- vi. Bazı ağız içi tarayıcılar, yazılım güncellemeleri ve destek için yıllık yazılım güncelleme ücreti gerektirebilir (Mangano ve diğerleri, 2017).
- vii. Geleneksel yöntemlere göre daha rahat olduğu düşünülse de güçlü öğürme refleksi olan veya ağzını açamayan hastalar tarama işlemi sırasında yine de rahatsızlık hissedebilirler (Mangano ve diğerleri, 2017).
- viii. Dijital teknolojiye ait yazılım hataları, donanım arızaları ve ağ bağlantısı sorunları gibi teknik sorunlar ağız içi tarayıcılar için de geçerlidir (Kihara ve diğerleri, 2019).

2.1.1.2 Dijital iş akışı: bilgisayar destekli dizayn

Dijital akışta CAD, tarayıcı kullanılarak ağız içerisindeki dişlerin ve dokuların dijital olarak taranmasının ardından elde edilen model üzerinde özel bir yazılım kullanılarak bilgisayarda restorasyonun tasarlanmasını içermektedir (Strub ve diğerleri, 2006).

2.1.1.3 Dijital iş akışı: bilgisayar destekli üretim

Dijital akışta CAM süreci yazılım yardımıyla restorasyonun işlenmesi ve simante edilebilir hale getirilmesini içermektedir (Van Noort, 2012). Restorasyonların bilgisayar destekli üretimi aşamasında eksiltmeli üretim ve eklemeli üretim olmak üzere 2 farklı üretim yöntemi kullanılmaktadır (Park ve diğerleri, 2019).

Eksiltmeli üretim

Eksiltmeli üretim, CNC bir cihazla frezeleme yoluyla bir bloktan materyal kazıyarak nihai bir ürün oluşturmayı içeren bir tekniktir (Abduo ve diğerleri, 2014). Bir bloktan materyali

titizlikle kazıyarak, istenen restorasyonu şekillendirmek için frezeleme, delme veya taşlama tekniklerinin kullanılmasını içerir (Çevik ve diğerleri, 2022). CAD/CAM frezelemede yaygın olarak kullanılan materyaller arasında seramikler, kompozit rezinler, zirkonya, metal, akrilik ve mum sayılabilir (Beuer ve diğerleri, 2008; Bae ve diğerleri, 2017).

a. Eksiltmeli Üretim Avantajları

- i. Eksiltmeli üretimin önemli bir avantajı, nihai üründe elde edilebilen üstün materyal özellikleridir (Othman ve diğerleri, 2023). Yaygın olarak kullanılan bir dental seramik olan zirkonyanın frezelenmesi, hassas optik özelliklere sahip biyouyumlu, kimyasal olarak stabil ve mekanik olarak sağlam restorasyonların oluşturulmasına olanak tanır (Khanlar ve diğerleri, 2021). Eksiltmeli yöntemlerle işlenen materyaller, eklemeli teknikler kullanılarak üretilenlere kıyasla daha homojen, yüksek yoğunluk ve daha az iç kusur sergileyerek restorasyonun, daha dayanıklı, aşınma ve kırılmaya karşı dirençli olmasını sağlar (Othman ve diğerleri, 2023).
- ii. CNC cihazların kullanımı, tutarlı ve öngörülebilir sonuçlar sağlayarak insan hatası potansiyelini ve geleneksel el yapımı yöntemlerle ilişkili hataları en aza indirir (Alqarni ve diğerleri, 2019).
- iii. CAD/CAM restorasyonlarının uyum doğruluğunun klinik olarak kabul edilebilir olduğu kanıtlanmıştır. Restorasyon üretiminde CAD/CAM teknolojisinin sunduğu bu hassasiyet, uzun süreli başarı için oldukça önemlidir (Dewan, 2023).

b. Eksiltmeli Üretim Dezavantajları

Pek çok avantajına rağmen, eksiltmeli üretimin sınırlamaları da mevcuttur:

- i. Önemli bir dezavantaj, frezeleme işlemi sırasında ortaya çıkan materyal atığıdır. Bloğun önemli bir kısmı çıkarılır ve atılır, bu da materyal tüketiminin artmasına neden olur (Bozoğulları ve Temizci, 2023; Maldonado ve diğerleri, 2024).
- ii. Eksiltmeli üretim yönteminde dental materyallerin frezelenmesi sırasında havada oluşan partiküller diş teknisyenleri ve klinisyenler için bir solunum tehlikesi oluşturmaktadır (Khanlar ve diğerleri, 2021).

- iii. Sistem maliyetleri ve frezeleme ekipmanları oldukça yüksektir. İlk satın alınması sırasında oluşan maliyet, laboratuvar ve klinikleri olumsuz etkileyebilmektedir (Çevik ve diğerleri, 2022). Ayrıca kazıma cihazını çalıştırmak için özel yazılım ve nitelikli personel gerekliliği, genel masrafı artırmaktadır (Mauricio ve diğerleri, 2015).
- iv. Eksiltmeli üretimin bir diğer sınırlaması da frezeleme işleminin getirdiği geometrik kısıtlamalardır. Kullanılan frezlerin boyutu ve şeklinin yanı sıra CNC makinesinin hareket eksenleri, materyal bloğunun belirli alanlarına erişimi kısıtlayarak son derece karmaşık veya girintili tasarımlara sahip restorasyonların üretilmesini zorlaştırabilir (Revilla-León ve diğerleri, 2021). Eksiltmeli üretim, içi boş yapıları verimli bir şekilde üretmekte zorlanır. Bu sınırlama, özellikle andırkatlı veya karmaşık iç özelliklere sahip restorasyonlar oluşturulurken söz konusu olabilir. Çok akslı kazıma cihazları, gelişmiş takım yolu stratejileri ve otomatik materyal taşıma sistemlerindeki gelişmelerle, bu dezavantajın üstesinden gelinmeye çalışılmaktadır.
- v. Sinterlenmiş zirkonya gibi materyallerin frezelenmesi, iç yapılarda mikro çatlaklara neden olabilmekte ve bu da restorasyonun uzun vadeli dayanıklılığını tehlikeye atabilmektedir (Alghauli ve diğerleri, 2024).

CAD/CAM restorasyonları için eksiltmeli üretim yaygın üretim yöntemi olmasına rağmen, 3B baskı teknolojilerindeki gelişmeler umut verici bir alternatif sunmaktadır (Çakmak ve diğerleri, 2023).

Eklemleri üretim (3B baskı, katmanlı imalat, hızlı prototipleme)

Eklemleri üretim, diş hekimliğinde öne çıkan bir diğer dijital üretim yöntemidir. Konik ışınli bilgisayarlı tomografi ve optik tarama teknolojilerindeki son gelişmeler, protetik ve restoratif diş hekimliğinin birçok alanında ilerlemelere neden olmuştur (Dawood ve diğerleri, 2015). 3B baskı olarak da bilinen eklemleri üretim, materyalleri katman katman ekleyerek üç boyutlu nesneler oluşturan bir üretim yöntemidir. Bu yöntem, istenen şekli oluşturmak için materyallerin katı bir bloktan çıkarıldığı eksiltmeli üretim yönteminden farklıdır (Alammar ve diğerleri, 2022). Eklemleri üretim, basit aletler, mimari modeller ve protezler yapmak için kullanılır. Eklemleri üretim teknikleri, geometrik karmaşıklığa ve özelleştirilmiş tasarıma uyum sağlayarak daha hafif ürünler, çok bileşenli ürünler ve

optimize edilmiş materyal kullanımı gibi avantajlar sunmaktadır (Jiménez ve diğerleri, 2019; Mendonça ve diğerleri, 2016).

a. Eklemeli Üretimin Tarihçesi

3B baskı denemeleri, CAD yazılımının geliştirilmesiyle aynı zamana denk gelen 1980'li yıllarda başlamıştır (Kessler ve diğerleri, 2020). Stereolitografi (SLA) yönteminin patenti 1986 yılında Charles Hull tarafından alınmıştır (Kessler ve diğerleri, 2020; Wong ve Hernandez, 2012). SLA yönteminde, sıvı reçineyi sertleştirmek ve katman katman katılaştırmak için bir ultraviyole (UV) lazer kullanılır. 1980'lerde modeller ve prototip parçalar oluşturmak için hızlı prototipleme geliştirilmiştir (Kessler ve diğerleri, 2020). İlk patentler yüksek maliyetlere yol açmış ve bu teknolojinin kullanılmasını yavaşlatmıştır (Kessler ve diğerleri, 2020). Önemli patentlerin süresi doldukça, ticari ve endüstriyel uygulamalar daha düşük maliyetlerle artmıştır (Kessler ve diğerleri, 2020). Yüksek çözünürlüğe sahip ürünler üretebilen ilk 3B yazıcı 1996 yılında Z Corporation (Burlington, MA, ABD) tarafından tasarlanmıştır. Reprap adıyla ilk açık kaynak kodlu yazıcılar 2007 yılında piyasaya çıkmış ve bu sayede 3B yazıcıların gelişimi hızlanmıştır. Object Geometries (Holzman Haim Rehovot, İsrail) şirketi 2008 yılında Connex500 adlı yazıcı ile aynı anda farklı materyaller kullanarak ürün üretmeyi başarmıştır (Akbaba ve diğerleri, 2021). 3B baskı sistem satıcılarının sayısı 2014 ve 2016 yılları arasında önemli ölçüde artmıştır (Ngo ve diğerleri, 2018).

b. 3B Baskı Sistemleri

i. Vat Polimerizasyonu / Işık ile Polimerizasyon / Reçine Polimerizasyon / Kazan fotopolimerizasyonu:

a. Stereolitografi (SLA) / Tarayarak Işıklı Kürleme Tekniği: Bir UV lazer, bir fotopolimer sıvı reçine tekne üzerinde katman katman seçici bir desen izler ve onu sertleştirir (Wong ve Hernandez, 2012). Platform alçalır ve işlem tekrarlanır. SLA işlemi bir sıvı reçine teknesi, bir model oluşturma platformu ve bir UV lazerden oluşur. İlk katman CAD modeline göre tamamen polimerize edildiğinde, reçine dolgulu bir bıçak nesnenin kesiti boyunca süpürülerek bir katman kalınlığında taze reçine ile yüzey yeniden kaplanır. Yapı platformu daha sonra z yönünde iner ve sonraki katmanı polimerize eder. Bu işlem nesne tamamen elde edilene kadar

tekrarlanır (Revilla-León, 2019; Revilla-León, 2020). SLA baskılı parçaların doğruluğu ve hassasiyeti, ayrıntılı dental modellerin ve cerrahi kılavuzların üretimi için çok uygundur (Alammar ve diğerleri, 2022).

b. Dijital Işık İşleme (Direct Light Processing (DLP)): DLP, yapı materyali olarak sıvı fotopolimerler kullanılarak karmaşık geometrilere sahip küçük, hassas nesnelerin basılması için uygun bir vat polimerizasyon teknolojisidir (Alammar ve diğerleri, 2022). Hem SLA hem de DLP tekniğinde polimerizasyon ajanı olarak ışık kullanıldığından, vat polimerizasyon teknolojisinin bir alt kategorisidir (ISO, 2019). Fotopolimer, yüksek güçlü bir LED (light-emitting diode) kaynağı kullanan bir projektörün üzerinde bulunan şeffaf bir tablaya doldurulur. Projektör, dijital ayna cihazı kullanan bir mikro-elektro-mekanik sisteme dayanmaktadır. Baskı işlemi sırasında, yapı platformu (x-y eksen) reçine tablasına bir katman kalınlığında daldırılır. UV ışığı daha sonra dijital ayna cihazı tarafından reçine tablasının yüzeyine yansıtılır ve CAD tasarımına göre bir katman oluşturur (Hornbeck, 2009). Dijital ayna cihazı, UV ışığının yansıma yolunu kontrol eden ayrı ayrı hareket eden mikro aynalardan oluşmaktadır. Bir katman oluşturulduğunda, yapı platformu bir katman kalınlığı kadar yukarı (z eksen) hareket ettirilir. İşlem, nesne tamamlanana kadar tekrarlanır (Monzón, 2017). DLP, nesneleri yüksek doğruluk, uygun maliyet, pürüzsüz yüzeyler ve SLA işleminden daha hızlı bir şekilde üretir. Öte yandan, bu işlemle üretilen parçalar polimerizasyon büzülmesinden etkilenir ve manuel bir işlem sonrası adım gereklidir (Alammar ve diğerleri, 2022).

c. Sürekli Dijital Işık İşleme (Continuous Direct Light Processing (CDLP)): Sürekli sıvı arayüz üretimi (Continuous Liquid Interface Production (CLIP)) şeklinde de bilinen CDLP, oksijen geçirgen mercekler ve programlanabilir sıvı reçine kullanarak yüksek mekanik özelliklere sahip, yüksek çözünürlüklü parçalar üretmek için kullanılan yeni bir eklemeli üretim teknolojisidir (Tumbleston ve diğerleri., 2015; Desimone, 2014; Sürmen, 2019). DLP teknolojisinin çalışma mantığına benzeyen CDLP’de inşa platformu z ekseninde sürekli hareket halindedir. Böylece parçalar daha kısa sürede tamamlanabilir. CDLP, fotopolimerizasyonun pencere ve polimerleştirici kısım arasında inhibe edildiği bir "ölü bölge" (kalıcı sıvı arayüzü) oluşturan UV projeksiyon düzleminin altındaki oksijeni geçiren bir pencere ile elde

edilir (Tumbleston ve diğerleri., 2015; Sürmen, 2019). Sürekli inşa süreci, nesnelerin pürüzsüz bir yüzey kaplamasıyla ve model dilimleme artefaktları olmadan daha hızlı bir şekilde üretilmesini sağlar. CDLP süreci, yumuşak elastikler, seramikler ve biyolojik materyallerden nesneler üretebildiği için bilim ve teknolojinin birçok alanına uyumludur (Emami, 2014; Alammar ve diğerleri, 2022).

ii. Materyal Ekstrüzyonu (Material Extrusion): 3B yazıcılarda kullanılmak üzere geliştirilmiş termoplastik materyal eritilir ve bir nozülünden ekstrüze edilir.

a. Birleşik Depo Modelleme/Eriyik Yığılma Modelleme (Fused Deposition Modeling (FDM)): Termoplastik materyal ısıtılır ve katmanlar oluşturmak için ekstrüze edilir, katman katman biriktirilir (Alammar ve diğerleri, 2022). Bu yazıcı tipinde plastik, granül ya da tel filament gibi termoplastik materyaller kullanılmaktadır (Tian ve ark., 2021; Yavuz ve Yılmaz, 2021). FDM basit ve düşük maliyetlidir (Ngo ve diğerleri, 2018). Yüzey kalitesi ve çözünürlük tipik olarak diğer 3B baskı yöntemlerinden daha düşük olsa da FDM çene modelleri ve ortodontik aligner üretmek için uygun maliyetli bir seçenektir.

iii. Materyal Püskürtme (Material Jetting) (Inkjet, MJT): Bu tip baskı cihazlarındaki üretim mürekkep püskürtmeli yazıcılardaki metoda benzerdir (Yavuz ve Yılmaz, 2021). Bu teknik, fotopolimer reçine damlacıklarının bir yapı platformu üzerine piezoelektrik başlık tarafından püskürtülmesini ve daha sonra UV ışığı ile kürlenmesini içerir (Alammar ve diğerleri, 2022). Materyal püskürtme, birden fazla materyal ve rengi tek bir baskıda birleştirilebilir. Destek yapıları genellikle birlikte biriktirilir ve daha sonra çıkarılır. Uygun maliyetlidir, parçaları nispeten kısa sürede oluşturur, ofis dostudur ve yüksek doğrulukta nesneler üretir (Alammar ve diğerleri, 2022).

iv. Bağlayıcı Püskürtme (Binder Jetting): Bağlayıcı püskürtme, toz maddeyi bir bağlayıcı solüsyonla yapıştırma ilkesi ile çalışır. Silindir ile serilen toz materyal üzerine mürekkepli yazıcılara benzeyen hareketli bir başlık ile yapıştırıcı uygulanır. Nesneyi tutan ikinci piston bir katman kalınlığında alçalır ve yeni bir ham toz katmanı sağlanır. Nesne tamamlanana kadar işlem tekrarlanır. Gevşek, bağlanmamış toz partikülleri nesneyi desteklediği için destek yapılarına gerek yoktur (Alammar ve

diğerleri, 2022). Sinterleme veya infiltrasyon gibi işlem sonrası adımlar gereklidir. Buna 3B baskı süreci denir çünkü 2B kâğıt mürekkep püskürtmeli baskı sürecine benzer (Wong, 2012). Dahası, bu süreçte renkli nesneler üretebilir. Ancak, üretilen nesneler üzerinde yüksek miktarda gözenekler gözlemlenebilmektedir (Gao, 2015). Bağlayıcı püskürtme, karmaşık metal veya seramik destek yapıların ve implant bileşenlerinin üretilmesine olanak tanır.

v. Toz Yataklı Füzyon (Powder Bed Fusion (PBF)): Bir lazer veya elektron ışını toz materyalleri birleştirir.

a. Seçici Lazer Sinterleme (Selective Laser Sintering (SLS)): Seçici lazer sinterleme (SLS), bir karbondioksit (CO_2) lazer kullanarak toz materyallerin ardışık katmanlarını birbirine kaynaştırarak veya sinterleyerek nesneler üreten bir toz yataklı füzyon teknolojisidir. Toz sinterlenmeden önce, materyallerin erime noktasının hemen altında ısıtılır ve lazer, sanal olarak tasarlanmış CAD modelinden kesit dilimlerini izleyerek toz materyalleri seçici olarak kaynaştırır. Toz partikülleri bir yatakta gevşek bir şekilde durur ve bir silindir, tozu bir yapı odasının yüzeyine dağıtır. Bir lazer toz parçacıklarını seçici olarak sinterler. Üretim pistonu, her katman tamamlandığında ve bir önceki katmana bağlandığında bir katman kalınlığı kadar alçaltılır. Bu adımlar nesne tamamlanana kadar tekrarlanır. Bu nedenle, sinterlenmiş toz erimez ve bağlanmamış, gevşek toz parçacıkları 3B baskılı nesneyi desteklediğinden destek yapılarına gerek yoktur. Kullanılmayan toz geri dönüştürülebilir. Nesne oluşturulduktan sonra, yüksek basınçlı hava ile zımparalama ve/veya basınçlı hava ile temizleme gibi bir son işlem adımı gereklidir. Bu süreçte, yüksek doğrulukla tamamen yoğun nesneler üretilmekte, ucuz ve çevre açısından güvenli olan çeşitli materyaller kullanılmaktadır. Ancak, üretilen nesneler gözenekli ve pürüzlüdür (Gao, 2015; Alammar ve diğerleri, 2022).

b. Seçici Lazer Eritme (Selective Laser Melting (SLM)): Bir lazer toz parçacıklarını tamamen eritir.

c. Elektron Işınlı Eritme (Electron Beam Melting (EBM)): Bir elektron ışını toz materyalleri bir vakum içinde eritir.

vi. Tabaka Laminasyonu (Sheet Lamination (SL)): Nesneyi oluşturmak için materyal katmanları yapıştırılır.

a. Lamine Nesne Üretimi (Laminated Object Manufacturing (LOM)): Bir nesneyi katman katman oluşturmak için hem eklemeli hem de çıkartmalı teknolojileri birleştirir. Katmanlar, termal yapışkan bir kaplama ile ısı ve basınç uygulanarak birleştirilir. Yapı malzemesi bir rulodan teslim edilir, bir materyal tabakası daha sonra hareketli bir yapı platformuna yayılır ve bir lazer, CAD modeline göre nesneyi tek katmanlı bir kalınlığa kadar keser. Nesneye dahil olmayan ve kullanılmayacak olan materyal dikdörtgenler halinde kesilir ve işlem tamamlandıktan sonra kolayca çıkarılabilir. Katmanlar daha sonra ısıtılmış silindir tabakayı sıkıştırdığında ve ısıya duyarlı bir yapışmayı harekete geçirdiğinde birbirine bağlanır. İşlem, nesne inşa edilene kadar tekrarlanır. Bu işlemde kağıt folyolar kullanılır ve bu da ahşaba benzer özelliklere sahip nesneler ortaya çıkarır (Kruth ve diğerleri, 1998; Yan ve diğerleri, 1996). İşlem düşük maliyetlidir, güçlü ve sıcaklığa dayanıklı büyük nesneler üretilir, ancak 3B baskı yöntemi ile üretilen nesnede delaminasyon meydana gelebilir. Ayrıca, herhangi bir işlem sonrası adım veya destek yapısı gerekmez. Bu üretimin dezavantajı, eksiltici özelliklerinin bir sonucu olarak atık üretmesi, düşük yüzey ayrıntısına sahip nesneler üretmesi ve karmaşık iç geometrilere sahip nesnelerin üretilmemesidir (Wong, 2012; Alammar ve diğerleri, 2022).

vii. Doğrudan Enerji Biriktirme (Direct Energy Deposition (DED)): Materyal aynı anda eritilir ve biriktirilir.

c. Eklemeli Üretim Son İşleme Adımları

3B baskı ile üretilen ürünlere son işleme prosedürleri uygulanması çok büyük önem taşımaktadır (Hassanpour ve diğerleri, 2024). Dış hekimliği için eklemeli üretimde işlem sonrası adımlar şunlardır:

Destek Kaldırma: Ürün yapı platformundan ayrılır ve baskı işlemi sırasında eklenen destek yapıları uzaklaştırılır (Hassanpour ve diğerleri, 2024).

Yıkama-Kurutma: Baskı yapılan ürün üzerinde kalan artık monomerler, izopropil alkol veya etanol gibi organik bir çözelti ile yıkanarak uzaklaştırılır (Revilla-León ve Özcan, 2018; Hassanpour ve diğerleri, 2024; Reymus ve diğerleri, 2020; Taormina ve diğerleri, 2018).

Post-Polimerizasyon: Post-polimerizasyon, materyallerin özelliklerini geliştirdiği için özellikle dental uygulamalar için 3B baskıda çok önemli bir adımdır (Hassanpour ve diğerleri, 2024). Post-polimerizasyon, basılan üründe kalan monomerlerin polimerizasyonunu tamamlamayı amaçlar (Hassanpour ve diğerleri, 2024). Bu işlem ek polimer zincirleri oluşturur ve materyal içerisindeki çapraz bağlanmayı artırır (Hassanpour ve diğerleri, 2024). Teknikler arasında UV'ye maruz bırakma, ısı işlem ve mikrodalga işleme yer alır (Hassanpour ve diğerleri, 2024). Yüksek bir dönüşüm derecesi artık monomer miktarının azalmasına böylelikle mekanik özelliklerin artmasını ve uyumlu biyolojik özellikler sergilenmesine neden olur (Calheiros ve diğerleri, 2008; dos Santos ve diğerleri, 2014). Basılan materyal için ideal bir post-polimerizasyon sağlamak, reçine bileşimi ve kullanılan 3B baskı teknolojisine bağlı olarak değişebileceğinden, üretici tavsiyelerini uygulamak oldukça önemlidir (Atria ve diğerleri, 2022).

d. Eklemeli Üretimin Avantajları

Eklemeli üretim, geleneksel üretim yöntemlerine göre çeşitli avantajlar sunar:

- i. Eklemeli üretim yöntemi, eksiltmeli üretim yöntemi ile üretilmesi zor olan karmaşık iç geometrilerin ve karmaşık şekillerin oluşturulmasını sağlar (Alammar ve diğerleri, 2022; Dawood ve diğerleri, 2015; Blatz ve Conejo, 2019).
- ii. Eklemeli üretim, hastanın anatomisine ve gereksinimlerine göre uyarlanmış ve kişiselleştirilmiş dental restorasyonların üretimine olanak tanır (Jiménez ve diğerleri, 2019; Schweiger ve diğerleri, 2021; Blatz ve Conejo, 2019).
- iii. Eklemeli üretim yönteminde eksiltmeli üretim yöntemine göre daha az materyal atığı oluşur (Jiménez ve diğerleri, 2019).
- iv. Eklemeli üretim yöntemi, belirli dental bileşenleri imal etmek için gereken süreyi ve maliyetleri azaltabilir (Alammar ve diğerleri, 2022).

- v. Eklemeli üretim yöntemi, hafif yapılar oluşturmak için kullanılabilir (Jiménez ve diğerleri, 2019).
- vi. Eklemeli üretim yöntemi, “azalt, yeniden kullan, geri dönüştür” modelini mümkün kılarak döngüsel ekonomiyi destekler (Jiménez ve diğerleri, 2019).

e. Eklemeli Üretimin Dezavantajları

- i. Eklemeli üretim için mevcut materyal çeşitliliği, geleneksel ve eklemeli üretime kıyasla hala sınırlıdır (Ngo ve diğerleri, 2018).
- ii. Eklemeli tekniklerle kullanılmak üzere geliştirilen materyallerin mekanik ve termal özelliklerinin daha da iyileştirilmesi gerekmektedir (Alammar ve diğerleri, 2022).
- iii. Eklemeli teknikle üretilen dental restorasyonlarının doğruluğu ve hassasiyeti, belirli baskı teknolojisine, materyallere ve işlem sonrası prosedürlere bağlı olarak değişebilir. Tutarlı doğruluk ve tekrarlanabilirlik elde etmek zor olabilir (Alammar ve diğerleri, 2022).
- iv. 3B baskılı restorasyonlarda; temizleme, yüzey bitirme, kütleme, destek kaldırma, cilalama gibi işlem sonrası ilave adımlar genellikle gereklidir. Bu da iş akışında zaman kaybına ve zorluğa neden olabilir (Alammar ve diğerleri, 2022).
- v. 3B yazıcılar, materyaller ve ekipmanların maliyeti yüksek olabilir (Kessler ve diğerleri, 2020).
- vi. 3B yazıcı ve tasarım programlarını kullanmayı bilen tecrübeli kişiler gereklidir (Alammar ve diğerleri, 2022).
- vii. Materyal tesviyesi sırasında, ince metal tozlarının ve nanopartiküllerin işlenmesi sağlık ve güvenlik açısından zorluklar yaratabilir (Alammar ve diğerleri, 2022).
- viii. Tabaka üzerine tabaka ekleme şeklinde olan üretim süreci, katman kalınlığı en düşük çözünürlüğe ayarlanmadıkça, yazıcıdan üretilen üründe merdiven görüntüsü bırakabilir (Barazanchi, 2017).
- ix. Seramiklerin (zirkonya ve alümina) eklemeli yöntemle üretilmesinde gelişmeler olsa da bu materyallerde poröz yapıların giderilmesi için üretim sonrası uzun süreli ek

işlemler gerekmektedir. Bu ek işlemler seramik materyallerde büzülmeye neden olur. Bu nedenle bu yöntemle üretilen restorasyonlar, eksiltmeli yöntemle üretilen restorasyonlardaki homojenliğe sahip değildir (Barazanchi, 2017).

f. Eklemeli Üretim Yönteminde Kullanılabilecek Materyaller

Eklemeli üretim yöntemi ile kullanılabilecek materyaller:

- i. Polimerler: Bunlar, çeşitlilikleri ve farklı 3B baskı süreçlerinde kullanım kolaylıkları nedeniyle eklemeli üretimde en yaygın kullanılan materyallerdir (Ngo ve diğerleri, 2018). Termoplastik filamentler, reaktif monomerler, reçineler veya tozlar olarak bulunabilirler (Ngo ve diğerleri, 2018).
- ii. Metaller ve Alaşımlar: Eklemeli üretim için toz veya tel formunda çok çeşitli metaller mevcuttur (Kamara ve Faggiani, 2021; Ngo ve diğerleri, 2018).
- iii. Seramikler: Bunlar, doku mühendisliği gibi çeşitli uygulamalar için karmaşık kafesler oluşturmak için kullanılır (Ngo ve diğerleri, 2018).
- iv. Kompozitler: Eklemeli üretimde geometriyi yüksek doğrulukla üretim imkanı sunan kompozit materyaller kullanılabilir (Ngo ve diğerleri, 2018).
- v. Biyomateryaller: Bunlar doğal veya sentetik olabilir ve biyolojik sistemlerle temas halinde kullanılırlar (Kamara ve Faggiani, 2021).

Eklemeli üretim süreçleri ile sıvı, toz ve kaynaşmış materyaller işlenebilir (Guessasma ve diğerleri, 2015). Materyal seçimi, kullanılan eklemeli üretim teknolojisine bağlıdır (Alammar ve diğerleri, 2022).

g. Diş Hekimliğinde Eklemeli Üretim Süreçleri ve Üretilen Ürünler

Günümüz diş hekimliğinde kullanılan başlıca eklemeli üretim süreçleri arasında vat-polimerizasyonu, materyal püskürtme, toz yataklı füzyon ve materyal ekstrüzyonu bulunmaktadır (Alammar ve diğerleri, 2022).

Bu eklemeli üretim süreçleri polimerler, metal alaşımları ve seramikler de dahil olmak üzere çeşitli materyaller ile kullanılabilir (Alammar ve diğerleri, 2022). Polimerler, eklemeli

Üretimde dental uygulamalar için sıklıkla kullanılmaktadır (Jockusch ve zcan, 2020; Revilla-Len ve zcan, 2018).

3B baskı teknolojisinin diş hekimliğinde kullanım alanları:

- i. Tanısal ve nihai dental modellerin retiminde (Alammar ve diğerleri, 2022)
- ii. Cerrahi implant rehberleri oluşturulmasında (Alammar ve diğerleri, 2022)
- iii. Okluzal splintler ve ortodontik alignerların retiminde (Borella ve diğerleri, 2023)
- iv. Geçici kron ve köprüler, nanohibrit reçine kompozitlerle birlikte daimi kron, inley, onley ve endokronlar da dahil olmak üzere diş destekli restorasyonların retiminde (Alammar ve diğerleri, 2022; Borella ve diğerleri, 2023).
- v. Eğitim modellerinin oluşturulmasında (Jockusch ve zcan, 2020)
- vi. Tam protez yapımında (Anadioti ve diğerleri, 2020)
- vii. Metal altyapılar ve hareketli bölümlü protez iskeletlerinde (Alammar, 2022) kullanılmaktadır.

2.2 İNDİREKT RESTORASYONLAR

İndirekt restorasyon, hazırlanan diş preparasyonunun dijital veya konvansiyonel yöntemle modelinin oluşturulmasını ve ardından oral kavite dişında restorasyonun üretimini içeren bir tedavi yöntemidir (Azeem ve Sureshababu, 2018). İndirekt restorasyonlarda kaybedilen diş dokusunun fiziksel, biyolojik, fonksiyonel ve estetik olarak doğal diş ile uyumlu bir şekilde restore edilmesi ana hedeftir (Zieda ve diğerleri, 2017). Direkt restorasyonlar ise, daha küçük kaviteler için uygun seçenektir. Ayrıca maliyetin ve koltuk başında geçirilen sürenin az olması ve periodontal sağlığın iyileştirilmesi açısından çeşitli avantajlar sunar (Dhoum, 2018). İndirekt restorasyonlar ise, direkt restorasyonlara kıyasla daha üstün güç, dayanıklılık ve estetik sunar (Mainjot ve diğerleri, 2016). Estetik ve dayanıklılık açısından gelişmiş diş restorasyonlarına olan ihtiyaın artması, onley, inley, kron ve veneer gibi indirekt restorasyonlar için alternatif materyallerin geliştirilmesini teşvik etmiştir (Bozoğulları ve Temizci, 2023).

2.2.1 İndirekt Restorasyon Türleri

İndirekt restorasyon türleri şunlardır:

- a. İnley: Tüberkül kapsamı olmayan, orta ile büyük sınıf II kavitelerde (MO / OD, MOD) iyi korunmuş bukkal ve lingual/palatal duvarları olan vital dişlerde endike olan restorasyonlardır. Günümüzde inley restorasyonların çoğunluğu kompozit rezin kullanılarak direkt teknikle gerçekleştirilmektedir. (Veneziani ve diğerleri, 2017).
- b. Onley: Tüm oklüzal yüzeyi değil ancak tüberkülleri kısmen kaplayan restorasyonlardır. Lateral duvarların parsiyel olarak desteklendiği ve dentin çatlaklarının izlenmediği büyük boyutlardaki sınıf II kavitelerde endikedir. Endodontik tedavi görmüş dişlerde en az bir marjinal kenar ve marjinal kenarın kendisi ile süreklilik içinde iki iyi desteklenmiş aksiyal duvar varlığı gereklidir. Hem kompozit rezin hem de seramik materyaller onley restorasyonlarda kullanılabilir (Magne ve Belser, 2003; Hayashi ve Yeung, 2003).
- c. Overlay: Desteklenmeyen aksiyal duvarlar ve her iki marjinal kenarın yokluğu ile büyük boyutlara sahip sınıf II kavitelerde endike olan bütün oklüzal yüzeyi içeren restorasyonlardır. Mine ve dentinde çatlakların varlığı ve bir marjinal kenarın olmaması overlay restorasyon gerektirir. Kompozit rezin veya seramik materyaller kullanılabilir. Seramik (lityum disilikat cam-seramik), geniş kapsamlı ve çok sayıda restorasyon durumunda ilk tercih edilen materyaldir (Geurtsen ve García-Godoy, 1999; Magne ve diğerleri, 2006; Mehl ve diğerleri, 2004; Signore ve diğerleri, 2007).
- d. Kron: Çürük, travma veya kök kanal tedavisi sonrasında koronal yapının büyük bir kısmı kaybedildiğinde veya estetik açıdan bir gereksinim olduğunda kron bir tedavi seçeneği olabilmektedir. Kronlar dişin kron kısmının tümünü (tam kron) veya bir bölümünü (parsiyel kron) kapsayan restorasyonlardır. Preparasyonun ölçüsünün alınmasının ardından kron üretilir. Kronlar, oluşturulan kor yapıyı kaplayarak diş estetik ve fonksiyonel özelliklerini geri kazandırır (Alaçam, 2012).
- e. Köprü: Bu restorasyonlar destek dişlerle sabitlenerek eksik dişlerin oluşturduğu boşluğu pontik diş ile dolduran sabit protezlerdir. Altyapılı veya monoblok şeklinde kullanılabilirler. Tam seramik, metal destekli porselen, zirkon gibi materyaller kullanılabilir.

- f. Veneer: Dişlerin vestibül veya okluzal yüzeylerine bağlanan ince bir restorasyon türüdür. Genellikle estetik amaçlarla kullanılırlar ve dişlerin rengini, şeklini, boyutunu veya hizasını düzeltmek için uygulanabilirler. Veneerler genellikle porselen veya kompozit materyallerden üretilmektedir. Porselen veneerler daha doğal bir görünüm sunar ve renklenme direnci daha yüksektir. Kompozit veneerler ise daha ekonomiktir ve daha kolay uygulanabilirler (Shi ve diğerleri, 2022)
- g. Endokron: Özellikle önemli koronal doku kaybı olan dişler için tam kronlara konservatif bir alternatiftir. Hazırlanan dentine adeziv bağlanırlar, iyi retansiyon ve kırılma direnci sunarlar (El-Farag ve diğerleri, 2023).

İndirekt restorasyonlar, direkt restorasyonlara kıyasla daha fazla dayanıklılık ve estetik avantajlar sunar. Bununla birlikte, indirekt restorasyonların üretim süreci daha uzun ve daha pahalıdır (Miyazaki ve Hotta, 2011). İndirekt restorasyonlardan biri olan endokron, son yıllarda kanal tedavili ve madde kaybı fazla olan dişlerin tedavisinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.2.2 Endokron

Endokronlar, intraradiküler post, kor ve kron özelliklerini tek bir yapıda birleştiren bir indirekt restorasyon türüdür. Endokron, endodontik olarak tedavi edilmiş bir dişin pulpa odasını kapsayacak şekilde tasarlanır ve ek bir intraradiküler post gerektirmeden stabil ve dayanıklı bir restorasyon sağlar (Haralur ve diğerleri, 2020).

Kanal tedavisi görmüş dişler, vital dişlere kıyasla farklı biyolojik ve mekanik özellikler sergiler. Esas olarak sudan oluşan pulpa dokusu kanal tedavisi sırasında kaybedildiğinde, dişin nem içeriği azalır. Vital olmayan dişlerde yaklaşık %9'luk bir nem kaybı söz konusudur ve bu da hem organik hem de inorganik bileşenlerdeki su kaybından ziyade serbest sudaki değişikliklere bağlanmaktadır. Bu değişiklikler ise vital olmayan dişlerin kırılma olasılığını artırır (Gutmann, 1992). Koronal dentin, kök dentininden iki kat daha fazla tübül içerdiğinden, nem seviyesi doğal olarak daha düşüktür. Azalan nem seviyeleri dentin içinde büzülmeye ve strese yol açabilmektedir (Winter, 2012). Özet olarak, endodontik tedaviden sonra dişin dehidrasyonu kırılmaya karşı direncini daha da düşürülebilir (El-Farag ve diğerleri, 2023).

Kanal tedavisi yapılan dişlerdeki mekanik değişimler, biyolojik faktörlerin yanı sıra diş yapısının kaybına katkıda bulunan sorunlardan da kaynaklanabilir. Endodontik olarak tedavi edilen dişlerin biyomekaniğindeki değişiklikleri etkileyen birincil faktör, çürük, travma veya büyük kavite preparasyonları nedeniyle diş dokusunun kaybıdır. Özellikle yüksek çiğneme kuvvetlerine maruz kalan geniş kavite preparasyonları ve bunlara eşlik eden endodontik giriş kaviteleri olan dişlerde önemli ölçüde zayıflama ve tüberküllerde gerilim kuvvetlerinin meydana geldiği bildirilmiştir (Blaser, 1983).

Devital dişlerin kırılma eğilimindeki artış, dentindeki biyolojik değişikliklerden ziyade dişteki aşırı madde kaybıyla ilişkilendirilmiştir (Reeh ve diğerleri, 1989). Bir dişin okluzal kuvvetlere karşı direnci, kalan koronal diş yapısının miktarı ile doğrudan ilişkilidir (Larson, 1981). Kavite derinliğinin dişin dayanıklılığını nasıl etkilediğini inceleyen bir in-vitro çalışmada, dar bir giriş kavitesi ve derin bir pulpa odası preparasyonunun, geniş bir giriş kavitesi ve sık bir preparasyona göre daha düşük kırılma direncine sahip olduğu bildirilmiştir (Blaser, 1983). Bu nedenle, kavite derinliğinin kanal tedavisi görmüş posterior dişlerin yapısını zayıflatan birincil faktör olabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca Reeh ve diğerleri, diş dayanıklılığının azalmasında esas neden olarak marjinal duvarların kaybını göstermiştir. Dentinde meydana gelen değişiklikler ile kıyaslandığında endodontik giriş kavitesinin, kök kanal preparasyonunun ve madde kaybının, dişin kırılması üzerindeki etkisinin daha fazla olduğunu savunmuşlardır (Reeh ve diğerleri, 1989).

Panitvisai ve Messer (1995) yaptıkları in-vitro çalışmada, kanal tedavisi yapılan çekilmiş çürüksüz alt çene molar dişlere mezio-okluzo-distal (MOD) ve geniş mezio-okluzal (MO) kavite preparasyonu oluşturmuşlar ve ardından dişlere 100 N kuvvet uygulamışlardır. Daha sonra tüberküller arasındaki gerilim miktarını 1 µm hassasiyetinde lineer bir ölçüm cihazı ile ölçmüşler ve 10 µm'den fazla tüberkül bükülmesi olduğunu rapor etmişlerdir. Kanal tedavisi görmüş dişlere tüberküllerini içine alan bir restorasyon uygulamasının tüberkül kırığı riskini en aza indirmek için çok önemli olduğunu vurgulamışlardır (Panitvisai ve Messer, 1995).

Kalan koronal diş yapısı miktarı, uygun restoratif yaklaşımın belirlenmesinde kritik bir faktördür. Çürük, travma veya önceki restorasyonlardan kaynaklanan önemli kayıplar daha kapsamlı restoratif prosedürler gerektirir (Kassis ve diğerleri, 2020). Özellikle dişin santralinde ve marjinal sırtlarda dentin kaybı, yapısal bütünlüğü tehlikeye atar ve kırılmaya

yatkınlığı artırır (Kassis ve diğerleri, 2020). Bu nedenle tercih edilecek restorasyon ayrıca okluzal kuvvetlere karşı yeterli direnç sağlamalı ve kalan diş yapısının kırılmasını önlemelidir. Kök kanal tedavisi görmüş dişlerin önemli bir kısmı, endodontik tedavinin başarısızlığından ziyade yetersiz restorasyonlardan kaynaklanan kırıklar nedeniyle kaybedilmektedir (Swartz ve diğerleri, 1983). Bu nedenle, restoratif yaklaşım, tedavi edilen dişin uzun vadeli stabilitesini ve işlevini sağlamak için çeşitli faktörleri göz önünde bulundurmalıdır.

Endokron endikasyonları arasında endodontik olarak tedavi edilmiş, yoğun koronal yapı kaybı olan dişler, minimal interokluzal boşluk ve güvenilir adeziv simantasyon için pulpa odası içinde yeterli diş yüksekliği yer almaktadır. Bir endokron için preparasyon, tüm okluzal yüzeyin çıkarılmasını ve pulpa odası içinde ferrule etkisi yaratılmasını içerir. Bu da restorasyon için stabil bir temel sağlar (Carlos ve diğerleri, 2013; Haralur ve diğerleri, 2020).

2.2.2.1 Avantajları

Geleneksel kronlar ve post-kor sistemleri, endodontik olarak tedavi edilen dişlerin restorasyonu için uzun süredir standart tedavi seçenekleri olmuştur. Endokronlar ise geleneksel yaklaşımlara göre çeşitli avantajlar sunmaktadır (Sedrez-Porto ve diğerleri, 2016). İlk olarak endokronlar, post-kor yerine dişin iç dentin duvarlarına direkt temas ettikleri için üstün tutuculuk ve stabilite sağlamaktadırlar (Fathpour ve diğerleri, 2023). Bu tasarım özelliği sadece restorasyonun uzun ömürlülüğünü arttırmakla kalmaz, aynı zamanda dişin kırılma riskini de azaltır.

Post-kor sistemleri genellikle post ve kor materyalini yerleştirmek için önemli miktarda diş yapısının çıkartılmasını gerektirir. Bu durum diş yapısının zayıflamasına ve kırılma riskinin artmasına neden olabilir (El-Farag ve diğerleri, 2023). Endokronlar ise daha az diş preparasyonu gerektirir ve dişin genel bütünlüğünü korumada çok önemli bir faktör olan doğal diş yapısının daha büyük bir kısmını korur (Auroy ve Lecerf, 2010).

Ayrıca, endokronların post-kor sistemlere kıyasla daha üstün mekanik özellikler sergilediği gösterilmiştir. Çalışmalar, endokronların kırılmaya karşı daha dirençli olduğunu göstermiştir ve endokronlar madde kaybı çok fazla olan kanal tedavili dişlerin restorasyonu için daha güvenilir bir seçenek haline gelmiştir (El-Farag ve diğerleri, 2023).

2.2.2.2 Sınıflandırılması

Endokron sınıflaması, preparasyon tasarımına göre yapılabilmektedir. Bu sınıflama preparasyondan sonra kalan diş yapısının miktarına dayanmaktadır ve üç farklı sınıfa ayrılmaktadır (Bindl ve Mörmann, 1999; Fages ve Bennasar, 2013).

- a. Sınıf 1, en az iki duvarın sağlam kaldığı preparasyonları kapsar.
- b. Sınıf 2, en fazla bir duvarın orijinal yüksekliğinin yarısını aştığı diş preparasyonlarını ifade eder. (Attar ve diğerleri, 2023)
- c. Sınıf 3, tüm duvarların orijinal yüksekliğinin yarısından daha az olduğu bir diş preparasyonunu tanımlar (Tzimas ve diğerleri, 2018).

Genel anlamıyla endokronlar için preparasyon tasarımı, çevresel bir butt marjini ve pulpa odası içinde merkezi bir retansiyon boşluğu içerir. Ancak marjin tasarımındaki ve okluzal kalınlıktaki farklılıklar da restorasyonun performansını etkileyebilmektedir (Taha ve diğerleri, 2017). Bu tekniğin uzun vadeli performansı mevcut kanıtlarla sınırlı kalmakla birlikte (Tzimas ve diğerleri, 2018), başarılı bir şekilde uygulanmasını sağlamak ve uzun vadeli performansını test edebilmek için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır (Mertsöz, 2023; Saker, 2024).

2.2.2.3 Preparasyonu

Endokronlar için her biri kendine özgü özelliklere sahip çeşitli preparasyon sistemleri geliştirilmiştir. Geleneksel preparasyon okluzal yüzeyin tamamen çıkarılmasını ve pulpa odası içinde ferrule benzeri bir etki yaratılmasını içermektedir. Daha yakın zamanlarda, okluzal yüzeyin yalnızca bir kısmının çıkarıldığı ve kalan diş yapısının daha fazla korunduğu minimal invaziv preparasyon teknikleri tanıtılmıştır (Boveda ve Kishen, 2015; Dimri ve diğerleri., 2021).

Endokron restorasyonların preparasyonu, geleneksel tam kron preparasyonlarından farklı olarak, ciddi şekilde hasar görmüş dişlerin restorasyonu için özgün bir yöntem sağlamaktadır. Endokron restorasyonlar tüm dişlere uygulanabilmekle beraber, aşırı madde kaybı bulunan kesici dişlere, premolar ve molar dişlere uygulandığı çalışmalar literatürde bulunmaktadır (Zarone ve diğerleri, 2006; Bindl ve diğerleri, 2005; Biacchi ve diğerleri, 2012). En çok molar dişlerde tercih edilmekle birlikte bu durum, molar dişlerin

genişliklerinin daha fazla olması sebebiyle tutuculuk için elde edilen yüzey alanının artması ve premolar dişlere kıyasla horizontal kuvvetlere daha az maruz kalması sayesinde kırılma dirençlerinin yüksek olması ile açıklanabilmektedir (Sedrez-Porto ve diğerleri, 2016). Standart kronlar tipik olarak 1,5-2 mm okluzal kalınlığa sahipken, endokronlar genellikle 3-7 mm arasında değişen daha büyük bir okluzal kalınlık sunmaktadırlar (Motta, 2014). Bu artan kalınlığın restorasyonun kırılma direncini önemli ölçüde artırdığı bulunmuştur. Araştırmalar, 5,5 mm okluzal kalınlığa sahip endokronların, 1,5 mm kalınlığa sahip tam kronların iki katı kırılma mukavemeti gösterebildiğini bildirmiştir (Tsai, 1998; Mörmann, 1998).

Optimum biyomekanik etkinlik için, endokron restorasyonlarda birkaç önemli hazırlık yöntemi kullanılmaktadır. Klinisyenlerin eski dolguları ve çürükleri ortadan kaldırdıktan sonra, pulpa odasını titizlikle temizlemeleri ve tüm siman veya güta perka kalıntılarını çıkarmaları gerekmektedir (Whitworth ve diğerleri, 2002).

Endokron restorasyonların hazırlanmasında dikkat edilmesi gereken en önemli faktörlerden biri 2-3 mm okluzal redüksiyon elde etmektir (Whitworth ve diğerleri, 2002; Attar ve diğerleri, 2023). Bu redüksiyon, restorasyonun kırılma direncini büyük ölçüde artırdığı belirtilen 3-7 mm'lik istenen okluzal kalınlığı oluşturmak için gereklidir (Alagöz ve Ulusoy, 2017; Tzimas ve diğerleri, 2018; Whitworth ve diğerleri, 2002; Attar ve diğerleri, 2023).

Klinisyenlerin, düz bir pulpal taban ve 6-10°'lik bir kavite iç duvar eğimi oluşturması gerektiği bildirilmiştir (Tzimas, 2018; Gaintantzopoulou, 2016; El-Damanhoury, 2015). Ayrıca, internal stresi azaltmak için internal kavite duvarları 90° butt marjini olacak şekilde hazırlanmalıdır (Bindl, 1999). Bu teknikleri kullanarak endokron restorasyonların biyomekanik performansının artırılacağı ve artan okluzal kalınlık nedeniyle artmış kırılma direncinden faydalanılabileceği bildirilmiştir (Tzimas ve diğerleri, 2018; Alagöz ve Ulusoy, 2017; Whitworth ve diğerleri, 2002; Attar ve diğerleri, 2023).

2.2.2.4 Materyal Seçimi

Bir endokron için materyal seçimi, spesifik klinik duruma, hastanın estetik gereksinimlerine ve restorasyonun uzun süre dayanıklılığına dayanmaktadır. Birçok çalışma endokronların performansını değerlendirmiş ve olumlu sonuçlar bildirmiştir (El-Farag ve diğerleri, 2023; Mahesh ve diğerleri, 2015; Sedrez ve diğerleri, 2016). Endokronlar için materyal seçerken,

seramik, kompozit ve hibrit materyaller de dahil olmak üzere pek çok seçenek mevcuttur (Meng ve diğerleri, 2021; Haralur ve diğerleri, 2020; Carlos ve diğerleri, 2013). Kompozit ve hibrit materyaller de alternatif seçenekler olarak araştırılmış ve yeterli kırılma dayanımı ve üretim kolaylığı avantajları sunmuştur (El-Farag ve diğerleri, 2023; Meng ve diğerleri, 2021)

Dental kompozit

Dental kompozit, modern diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılan ve modern diş hekimliğinin temel bileşeni haline gelmiş bir restoratif bir materyaldir. Genel olarak, kompozitler organik bir reçine matriks içinde bir bağlayıcı madde ile çevrelenmiş inorganik partiküllerin karışımından oluşur (Schneider, 2010). Ek olarak, kompozit rezin materyalleri renk sabitleyiciler, renk pigmentleri ve polimerizasyonu kolaylaştıran aktivasyon sistemleri içerir (Khatri, 2003; Egbo, 2020; Wang ve Qiu, 2022). Kompozitler, termal stabilite, dinamik özellik ve gerilme mukavemeti gibi üstün özelliklere sahiptir ve bu da onları çeşitli dental uygulamalarda oldukça uygulanabilir hale getirmiştir (Wang ve Qiu, 2022). Kompozit rezinler üç ana bileşenden oluşur: 1) Organik Polimer Matriks Fazı, 2) İnorganik Faz, 3) Ara Faz (Peutzfeldt, 1997; Wilson, 2005; Hervás-García, 2006).

a. Organik Polimer Matriks Fazı

Bu faz, monomerler ve komonomerler, polimerizasyon başlatıcılar, aktivatörler, inhibitörler ve ultraviyole stabilizatörleri içeren bir monomer sisteminden oluşur (Yap, 2004). Mevcut kompozit rezinler polimerizasyon büzülmesi ve yüksek çiğneme kuvvetleri altında yetersiz aşınma direnci gibi dezavantajlarla karşı karşıyadır ve monomer sisteminden önemli ölçüde etkilenmektedir (Peutzfeldt, 1997). Monomerler polimerize olmamış kompozit rezinlerin akışkanlığına katkıda bulunur ve bisfenol-A-glisidil metakrilat (Bis-GMA), üretan dimetakrilat (UDMA), tri etilen glikol dimetakrilat (TEGDMA), metil metakrilat (MMA) ve etilen dimetakrilat (EDMA) içerir. Bis-GMA, kompozitlerde baskın ve en yaygın kullanılan monomerdir. Düşük polimerizasyon büzülmesi ve iyi mekanik özellikler ile ön plana çıkarak yüksek moleküler ağırlığı ile bilinir. Bununla birlikte, yüksek viskozitesi, eklenebilecek doldurucu madde miktarını kısıtlar. Viskoziteyi azaltmak için TEGDMA, genellikle bir seyreltici olarak kullanılır. Bu kombinasyon bugüne kadar kompozitlerde en yaygın matriks monomer formülasyonu haline gelmiştir (Schneider, 2010; Puckett, 2007).

Bis-GMA aromatik monomerinin sınırlı akışkanlığı nedeniyle seyreltici monomer gereksinimi, havanın polimerizasyon üzerindeki güçlü inhibitör etkisi ve yüksek viskozite gibi dezavantajları nedeniyle, araştırmalar yeni rezin matriksleri geliştirmeye odaklanmıştır. Bis-GMA'ya kıyasla iyi bağlantı ve renk değişimine karşı daha fazla direnç sunan UDMA, kompozit formülasyonlarına dahil edilmiştir. Bununla birlikte hem UDMA hem de Bis-GMA'nın yüksek viskoziteye sahip olması, organik matriksi seyreltmek için MMA, EDMA ve TEGDMA'nın kullanılmasına yol açmıştır. Organik matriks fazı ayrıca ısı, ışık veya diğer faktörler nedeniyle erken polimerizasyonu önlemek ve böylece raf ömrünü uzatmak için polimerizasyon hızlandırıcıları, foto aktivatörler, ultraviyole stabilizatörleri, 4-metoksifenol ve 2,4,6-terseyerbütülfenol inhibitörleri içerir. Ayrıca, içeriğinde dibütülfitalat gibi plastikleştiriciler ve metakrilik asit monomeri gibi kıvam arttırıcılar da bulunmaktadır (Breschi, 2008).

b. İnorganik Faz

Bu faz polimer özelliklerini geliştirerek kompozit rezinin dış dokusunun niteliklerini taklit etmesini sağlar. Doldurucu olarak kullanılan kuvars (kristal silika), lityum alüminyum silikat, stronsiyum, baryum, itriyum cam, çinko, hidroksiapatit ve borosilikat cam dahil olmak üzere çeşitli şekil ve boyutlardaki cam parçacıklarından oluşur. İnorganik doldurucu maddelerine stronsiyum, baryum, çinko ve silikon gibi elementler eklenerek kompozit rezinleri radyopak bir görünüme ve gelişmiş aşınma direncine ulaştırmak mümkün olmuştur (Wilson, 2005). İnorganik doldurucu partiküllerinin türü, boyutu ve miktarı kompozitin türünü ve klinik uygulamalarını belirler (Wakefield, 2001).

c. Ara Faz

Ara faz, doldurucu partiküller ve reçine matriksi arasında güçlü bir bağ sağlamak için gereklidir ve kompozit rezinde yüksek fiziksel ve kimyasal özellikleri sağlamaktadır. Bu fazda en yaygın kullanılan bağlayıcı ajan, organik bir silikon bileşiği olan silandır (Sakaguchi, 2012). Kompozit rezinin üretimi sırasında, her iki ucunda reaktif gruplar bulunan silan molekülleri doldurucu partiküllerini kaplar ve daha sonra oligomer ile karıştırılır. Polimerizasyon sırasında, silanın çift bağları reçine matriksi ile etkileşime girerek kompozit rezine etki eden kuvvetleri doldurucu ve reçine matriksi boyunca dağıtır ve bu da

stresi azaltır. Ayrıca, bu etkileşim kompozit rezine hidrofobik özellikler kazandırır ve rezinin çözünürlüğünü ve su emilimini azaltır (Roberson, 2006).

Kompozitlerin kullanımı, dental restorasyonların kalitesini önemli ölçüde artırmış ve klinisyenlere dolgu, veneer ve kron dahil olmak üzere çeşitli uygulamalar için çok yönlü materyal kullanımını sağlamıştır (Azmy ve diğerleri, 2022; Egbo, 2020; Gupta ve Shetty, 2016; Moon ve diğerleri, 2021). Ayrıca, CAD/CAM teknolojisinin ortaya çıkışı, kompozit rezin materyallerin de kullanılarak dental restorasyonların üretiminde devrim yaratmıştır (Sabatini ve diğerleri, 2024).

İndirekt kompozitler

Yüksek doldurucu içeriği ve yüksek viskozite ile desteklenen indirekt kompozit rezinler, çiğneme hareketinin oluşturduğu dikey ve yanal kuvvetlere karşı üstün mekanik direnç gösterir. Bu özellik, okluzal kuvvetlerin en yoğun olduğu posterior restorasyonlarda oldukça avantajlıdır. Mevcut çeşitli renk, translusensi ve opasite spektrumu, indirekt kompozit rezinlerin zorlu estetik beklentileri karşılamasına olanak tanıyarak doğal diş yapısıyla yeterli bir şekilde uyum sağlayan restorasyonların oluşturulmasını sağlar (Petropoulou ve diğerleri, 2020; Singer ve diğerleri, 2023).

Kompozit rezinlerin en önemli dezavantajlarından biri polimerizasyon büzülmesidir (Ziada ve diğerleri, 2017). Polimerizasyon büzülmesi marjinal sızıntıyı arttırabilir, bu da sekonder çürük, renk değişikliği ve hassasiyet olasılığını artırarak restorasyonun uzun ömürlülüğünü ve başarısını düşürür (Mainjot ve diğerleri, 2016). İndirekt kompozit sistemler, laboratuvar ortamında bir model üzerinde üretildikleri için ideal temas, kontur ve okluzal uyuma sahip restorasyonların oluşturulmasını kolaylaştırır. En önemlisi, indirekt kompozit rezin restorasyonlar, kullanılan polimerizasyon cihazının spesifik özelliklerine bağlı olarak, direkt kompozit materyallere kıyasla %10-20 oranında polimerizasyon büzülmesi sonuçlarında azalma göstermektedir (Mainjot ve diğerleri, 2016).

Laboratuvar kompozitleri son yıllarda önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Seramik için optimize edilmiş polimerler olarak da bilinen seromer materyaller, kompozitlerin özelliklerini geliştirmek için seramik doldurucular içeren bir hibrit kompozit sınıfını temsil etmektedir (Jain ve diğerleri, 2021). Bu materyaller ısı, ışık veya vakum dahil olmak üzere çeşitli yollarla polimerizasyona uğrayan bir matriks yapısına sahiptir. Matriks yapısı

alifatik/aromatik dimetakrilat ve silikon dioksitten oluşan inorganik ve organik polimer zincirlerinden oluşurken, doldurucu bileşeni yüksek oranda silika ile birlikte cam ve seramik doldurucu maddelerinden oluşur (Dhoum, 2018; Mainjot ve diğerleri, 2016). Kompozitlerle yapısal benzerlikler paylaşan seramik için optimize edilmiş polimerler, yüksek oranda inorganik doldurucu içeriğine sahiptir. Bu sayede geleneksel kompozitlere kıyasla daha üstün fiziksel ve mekanik dayanıklılığa sahip olurken seramiklerden daha fazla esneklik sergilemektedir. Dentine çok benzeyen elastikiyetleri ve seramiklere benzer estetik özellikleri vardır. Kompozit materyallerin protetik ve restoratif diş hekimliğinde artan kullanımı, kompozit materyal teknolojisi ve adezyon konusundaki ilerlemelerden kaynaklanmaktadır (Dhoum, 2018). Ayrıca, estetik restorasyonlara ve minimal invaziv prosedürlere yönelik artan talep, kompozit rezinlerin popülerliğine katkıda bulunmuştur (Solanki ve diğerleri, 2021). İndirekt kompozitlere örnek olarak Signum Ceramis (Heraus Kulzer, Hanau, Almanya) Gradia Plus Laboratuvar Kompoziti (GC, Tokyo, Japonya) verilebilir (Tsujimoto ve diğerleri, 2019).

Dental seramik

Uygun seramik materyallerinin seçimi estetik ve dayanıklı restorasyonların başarılı bir şekilde üretilmesi için çok önemlidir. Bu nedenle dental seramiklerin sınıflandırılması diş hekimliği alanında önemli bir konu olmuştur. Gracis ve arkadaşları 2015 yılında dental seramikleri mikroyapısal ve bileşimsel özelliklerine göre sınıflandıran kapsamlı bir sınıflandırma sistemi önermişlerdir (Gracis, 2015).

Gracis ve arkadaşlarına göre (2015), dental seramikler genel olarak üç ana grupta sınıflandırılabilir: 1) cam matriks içerikli seramikler, 2) polikristalin seramikler, 3) rezin-matriks seramiklerdir. Cam matriks içerikli seramikler feldspatik, sentetik ve cam infiltre olmak üzere üç alt gruba ayrılır. Polikristalin seramikler ise alümina, stabilize zirkonya, zirkonya ile güçlendirilmiş alümina ve alümina ile güçlendirilmiş zirkonya olmak üzere dörde ayrılır (Gracis, 2015).

Cam matriks içerikli seramikler, değişen miktarlarda kristalin fazlar içeren camsı bir matriksten oluşur. Bu materyaller mükemmel estetik özellikler sergiler ve döküm, presleme veya CAD/CAM gibi çeşitli teknikler kullanılarak kolayca üretilbilirler. Lityum disilikat ve lösit gibi partiküllerle güçlendirilmiş sentetik cam matriks içerikli seramikler, feldspatik seramiklere kıyasla gelişmiş mekanik özellikleriyle ön plana çıkmaktadır (Gracis, 2015).

Alümina ve stabilize zirkonya gibi polikristalin seramikler, minimum camsı faz içeren veya hiç içermeyen yoğun, kristalin bir mikro yapı ile karakterize edilir. Bu materyaller olağanüstü mukavemet ve kırılma tokluğuna sahiptir. Bu da onları posterior kronlar ve sabit köprüler gibi yüksek okluzal yük taşıma kapasitesinin gerekli olduğu uygulamalar için uygun hale getirmektedir (Gracis, 2015).

Rezin-matriks seramikler, seramik doldurucularla güçlendirilmiş bir rezin matriksten oluşur. Bu materyaller seramiğin estetik özelliklerini polimer bazlı materyallerin gelişmiş kırılma tokluğu özellikleriyle birleştirmektedir (Bajraktarova-Valjakova, 2018).

Rezin matriks seramikler, öncelikle porselen, cam, seramik ve cam seramikleri içerebilen inorganik doldurucu bileşiklerden oluşan polimer matrikslerdir. Bu seramikler hem seramiklerin hem de rezin kompozitlerin avantajlı özelliklerini bir araya getirerek seramiklere benzer dayanıklılık ve olağanüstü renk stabilitesi sağlarken aynı zamanda frezeleme kolaylığı, yüksek eğilme dayanımı, sinterleme gerekmemesi ve rezin kompozitlere göre daha düşük aşınma özellikleri sunar. İnley, onley, anterior ve posterior tek üyeli sabit protez uygulamaları gibi çeşitli dental kullanımlar için uygundur (Gracis, 2015; Bajraktarova-Valjakova, 2018; Awada, 2015).

Bu seramikler üç tip olarak kategorize edilebilir:

a. Rezin Nanohibrit

Rezin nanohibrit seramiklerde rezin matriks yaklaşık %80 oranında rezinden oluşur ve nanoseramik partiküllerle güçlendirilir. CAD/CAM teknolojisi ile kullanılan bu materyaller, geleneksel kompozit materyallere kıyasla üstün aşınma direnci, kırılma tokluğu ve eğilme dayanımı (~200 MPa) sergiler. Nanopartiküllerin dahil edilmesi, olağanüstü cilalanabilirliklerini ve optik özelliklerini geliştirmektedir (Gracis, 2015; Bajraktarova-Valjakova, 2018).

Rezin nanoseramikler, cam seramiklerin yetersiz mekanik özellikleri nedeniyle tercih edilen bir materyal grubudur. Kompozit bazlı restoratif materyallerin elastik modülü doğal diş yapısına çok benzer ve okluzal kuvvetleri etkili bir şekilde absorbe etmesini sağlar. Bununla birlikte, kompozitler genellikle yetersiz sertlik gösterir. Bu da yüzey aşınmasına ve zamanla cila kaybına yol açabilir. Bu sorunları giderebilmek için nanoteknoloji hem kompozitlerin

hem de seramiklerin faydalı özelliklerini yeni dental restoratif materyallere entegre etmek için kullanılmıştır (Bajraktarova-Valjakova, 2018). Lava Ultimate (3M, St. Paul, MN, Amerika), Cerasmart (GC, Tokyo, Japonya), Cerasmart 270 (GC, Tokyo, Japonya), Grandio (VOCO, Cuxhaven, Almanya) bu materyal grubuna örnek olarak verilebilir (Coşkun, 2018; Schmohl, 2022).

b. Rezin İnterpenetre Matriks İçinde Cam Seramik

Rezin interpenetre matriks içinde cam seramik, feldspatik bir seramik matriksin bir polimer matriks ile birleştirilmesiyle oluşturulur. Bu materyaller üreticiler tarafından genellikle hibrit seramikler olarak adlandırılmaktadır (Gracis, 2015; Bajraktarova-Valjakova, 2018). Hem kompozit hem de seramik materyallerin avantajlı özelliklerini bir araya getiren yeni materyalleri içermektedirler (Bakır, 2018).

Materyal ağırlıkça yaklaşık %86 seramik ve %14 polimer matriksten oluşmakta olup hacimsel bileşimi %75 seramik ve %25 polimerdir. Seramik yapı SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , K_2O , B_2O_3 , CaO ve TiO_2 dahil olmak üzere çeşitli oksitlerden oluşur. Polimer yapı tipik olarak UDMA ve TEGDMA içerir. Rezin matriksine işlenen cam seramikler, silika bazlı seramiklere kıyasla daha düşük sertlik değerlerine sahiptir ve aşınma yoluyla kaybedilen materyal geleneksel seramiklere kıyasla daha fazla olabilmektedir (Ceren, 2016). Bu materyal grubuna örnek olarak Vita Enamic (Vita Zahnfabrik, Almanya), Brilliant Crios (Coltene, Altstätten, İsviçre), Tetric CAD (Ivoclar, Zürich, İsviçre), SHOFU Block HC (Shofo, Kyoto, Japonya), Katana Avencia (Kuraray Noritake, Tokyo, Japonya), Amber Mill Hybrid (AH, Hass, Seoul, Kore) verilebilir (Yin ve diğerleri, 2019; Coşkun, 2018; Bakır, 2018).

c. Rezin İnterpenetre Matriks İçinde Zirkonya- Silika Seramik

Bu seramikler, silika tozu, zirkonyum silikat ve pigmentler gibi inorganik bileşenlerin BisGMA, UDMA ve TEGDMA gibi çeşitli organik matrikslere dahil edilmesiyle oluşturulmaktadır (Gracis, 2016; Bajraktarova-Valjakova, 2018). İnorganik içerik ağırlıkça %60'ı aşmaktadır. Örneğin, MZ100 Blok (Paradigm MZ-100 Bloklar, 3M ESPE), Bis-GMA, TEGDMA ve patentli üçlü başlatma sisteminden oluşan bir polimer matriks içine gömülü, yaklaşık 0,6 μm küresel şekle sahip %85 ultra ince zirkonya-silika seramik partiküllerinden oluşmaktadır. (Gracis, 2015). Paradigm MZ100 (3M ESPE, St. Paul, MN, Amerika) ve

Shofu Block HC (Shofu İnc., Kyoto, Japonya) örnek verilebilir (Porto ve diğerleri, 2016; Grzebieluch ve diğerleri, 2021).

3B baskı teknolojisi ile kullanılan dental kompozitler

3B baskı teknolojisinin ortaya çıkışı, diş hekimliği alanında çok büyük ve hızlı bir gelişime sebep olarak indirekt restorasyonların daha yüksek hassasiyet ve verimlilikle üretilmesini sağlamıştır. Bu süreçte kullanılan temel materyallerden biri, diş hekimliği uygulamalarında kullanılmak üzere özel olarak oluşturulmuş, pek çok faydalı özellik sunan 3B baskılı dental kompozitlerdir.

Dental kompozit reçinelerin 3B baskısı, DLP ve SLA gibi farklı eklemeli üretim teknolojileriyle ışığa duyarlı bir reçinenin, istenen restorasyonu oluşturmak için katman katman ışığa maruz bırakılarak seçici olarak sertleştirildiği bir süreci içermektedir. Bu üretim tekniği kronlar, köprüler ve protezler gibi son derece hassas ve detaylı restorasyonların üretimine olanak sağlarken materyal israfını en aza indirmektedir (Lu ve diğerleri, 2021).

Birçok üretici firma, dental endüstrinin yüksek standartlardaki taleplerini karşılamak için yenilikçi 3B baskılı dental kompozit reçine formülasyonları geliştirmiştir. Bu örneklerden biri olan Crowntec (Saremco, İsviçre), daimi kron ve köprülerin üretimi için tasarlanmış bir nanokompozit reçinedir (Lu ve diğerleri, 2021). Bir diğer rezin olan VarseoSmile Plus (Bego GmbH & Co, Almanya) ise, çeşitli diş restorasyonlarının üretimi için üstün mekanik özellikleri ve biyouyumluluğu bir araya getiren yüksek performanslı bir reçinedir (Azmy ve diğerleri, 2022; Hwangbo ve diğerleri, 2021). Flexcera Smile Ultra (Desktop Health, Illinois, ABD), Trusana (Myerson, Chicago, ABD), OnX 28 (Sprintray, Los Angeles, California, ABD) dental alanda kullanılmak üzere geliştirilmiş 3B baskı reçinelerden bazılarıdır.

Bu 3B baskılı dental kompozit reçineler, ağız ortamının fiziksel ve kimyasal özelliklerine karşı dirençleri ile karakterize edilirken, estetiği ve doğal bir görünümü de korumaktadırlar. Titanyum dioksit gibi nanopartiküllerin dahil edilmesinin bu materyallerin mekanik özelliklerini geliştirdiği, dayanıklılıklarını ve aşınma dirençlerini artırdığı bildirilmiştir (Azmy ve diğerleri, 2022).

3B baskılı dental kompozit reçinelerdeki gelişmeler, protetik diş hekimliğinde gelişmelere neden olmuş ve hastaların ihtiyaçlarına ve tercihlerine hitap eden özelleştirilmiş, yüksek

kaliteli restorasyonların üretilmesine olanak sağlamıştır (Yang ve diğerleri, 2023; Azmy ve diğerleri, 2022).

2.3 RESTORASYON BAŞARISININ DEĞERLENDİRİLMESİ

İndirekt restorasyonların fonksiyonel ve estetik özellikleri, mekanik dayanıklılıkları, adaptasyon kabiliyetleri ve aşınmaya karşı dirençleri klinik başarının değerlendirilmesinde kritik öneme sahiptir. İnternal ve marjinal adaptasyon, aşınma direnci ve kırılma dayanımı restorasyonun uzun dönem başarısının önemli kriterleri olarak kabul edilmektedir (Vervack ve diğerleri, 2023; Mainjot ve diğerleri, 2016).

2.3.1 Marjinal ve İnternal Adaptasyon

Restorasyonların internal ve marjinal yüzeylerinin uyumu, klinik başarılarını belirlemede önemli bir faktördür (Goujat ve diğerleri, 2019). Preparasyon yüzeyinden restorasyonun iç yüzüne kadar ölçülen mesafe internal aralık olarak adlandırılır. Bu ölçüm marjinal kenarda yapıldığında marjinal aralık olarak adlandırılır. Kötü marjinal adaptasyon, mikrosızıntıdan kaynaklanan siman çözünmesi, sekonder çürükler ve gingivitis gibi sorunlara yol açabilir. Literatürde marjinal aralık için kabul edilen değerler (7,6-206,3 μm) geniş bir aralıktadır (Revilla-León ve diğerleri, 2020). Bu varyasyon kullanılan farklı tekniklere, parametrelere ve materyallere bağlanmaktadır (Nawafleh ve diğerleri, 2013).

İnternal uyum değerleri de literatürde farklılık göstermektedir (Guess ve diğerleri, 2014). Sistematik bir derlemede, internal uyum ölçümlerinin 23 μm ile 406,5 μm arasında değiştiği bildirilmiştir (Goujat ve diğerleri, 2019). Artan internal aralıklar daha fazla siman kalınlığına, retansiyonda azalmaya, oklüzyonda değişikliklere ve restorasyonun kırılma direncinde azalmaya neden olabilmektedir (D.-Y. Kim ve diğerleri, 2018; Uzgur ve diğerleri, 2018; Zimmer ve diğerleri, 2008). Bazı çalışmalar ise, ideal internal aralığın 50-100 μm olduğunu bildirmişlerdir (Alfaro ve diğerleri, 2015; Lins ve diğerleri, 2015; Mously ve diğerleri, 2014).

2.3.1.1 İnternal ve marjinal adaptasyon inceleme yöntemleri

İnternal ve majinal adaptasyonu ölçmenin pek çok yöntemi vardır. Bunlar, fonksiyonel ve morfolojik kriterleri esas alan yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Fonksiyonel yöntemler; penetrasyon testleri, bakteriyolojik testler, alternatif dağılım metodu, elektriksel metot, semi

çürük oluşum testleridir (Anusavice, 1989; Metiner ve diğerleri, 2019). Morfolojik yöntemleri esas alan indirekt yöntemler ise invaziv ve non-invaziv olarak ikiye ayrılmaktadır. İnvaziv yöntemde, restorasyonun kendisinden kesit alınır ve mikroskop ile incelenir. Ancak bu yöntemde restorasyon kullanılamaz hale gelmektedir. Non-invaziv yöntemler ise şunlardır: 1) Fotoğraflama, 2) Bilgisayar Destekli Uzamsal Analiz, 3) Mikrobilgisayarlı Tomografi (Mikro-BT) 4) Silikon Replika Tekniği 5) Üçlü arama Yöntemi (Ayres ve diğerleri, 2024).

Silikon replika tekniği

Silikon replika tekniği, hem in-vivo hem de in-vitro araştırmalarda, restorasyona ve dayanağa zarar vermeden internal ve marjinal adaptasyonların değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Bu teknikte sadece iki boyutlu değerlendirmeler yapılabilmektedir. Bu yöntemde, restorasyonun iç yüzeyine bir silikon ölçü materyali uygulanır ve daha sonra bu materyal belirli bir kuvvetle diş veya dayanak üzerine yerleştirilir. Silikon tamamen sertleştikten sonra restorasyon dıştan veya dayanaktan çıkarılır. Restorasyonda kalan ölçü materyalini güçlendirmek için üstüne daha yoğun kıvamlı bir silikon yerleştirilir. Katılaştıktan sonra restorasyondan çıkarılır. Bu iki katmanlı replikada, akışkan silikon içeren üst katman adaptasyonu gösterirken, alttaki viskoz silikon katman dışı temsil eder. Ölçümler bu çift katmanlı replikadan elde edilen kesitlerden elde edilir. Stereomikroskop yardımıyla µm düzeyinde ölçümler gerçekleştirilir (Kocaağaoğlu ve diğerleri, 2017; Laurent ve diğerleri, 2008).

Üçlü tarama yöntemi (3B tarama ölçüm tekniği, triple scan protocol)

Son yıllarda, geleneksel ölçüm yöntemlerinin eksikliklerinin üstesinden gelmek için tersine mühendislik yazılım programları kullanılarak yenilikçi bilgisayar destekli 3B ölçüm teknikleri ortaya çıkmıştır. Bu teknik, 3B bilgi toplamak ve ölçümler yapmak için protezin veya restorasyonun, destek diş dokusu ve destek dişe simante edilmiş nihai restorasyonun taranmasını içermektedir. Marjinal ve internal uyumu değerlendirmek için analiz yazılımı içinde kesitler alınır ve veriler elde edilir. Bu sistemin avantajlarından biri, ölçümlerin tekrar tekrar yapılabilmesi, mikro-bilgisayarlı tomografinin aksine radyasyona maruz kalmayı içermemekte ve restorasyona veya destek dişe zarar vermeden gerçekleştirilebilmesidir. Bununla birlikte, veri çakıştırmaları hatalı ölçümlere yol açabilmektedir (Schaefer ve diğerleri, 2012). Tarama sisteminin hata payı doğrudan sonuçlara yansımaktadır (Luthardt

ve diğerleri, 2004). Bu yöntem hem iki boyutlu hem de üç boyutlu ölçümlere izin vermektedir (Son ve diğerleri, 2019). Abutmentin veya dışın tüm yüzey morfolojisini yakalayabilmekte ve internal aralık dağılımının doğru bir şekilde gözlenmesini kolaylaştırmaktadır (Liu ve diğerleri, 2018). Önceki araştırmalar bu yaklaşımın hassasiyetini ve güvenilirliğini vurgulamıştır (Kim ve diğerleri, 2014; Luthardt ve diğerleri, 2003). Ayrıca, bu yöntemle restorasyon uyumu değerlendirilirken 30.000 kadar noktayı ölçebildiği ortaya konulmuştur (Moldovan ve diğerleri, 2011). Bu teknik hem kron hem de çok üyeli restorasyonlarda uygulanabilmektedir (Son ve diğerleri, 2019; Holst ve diğerleri, 2011).

a. Tersine Mühendislik Yazılımları

Tersine mühendislik fiziksel modellerden geometrik modellerin oluşturularak nesnenin yeniden tasarlanması ve boyutsal analizinin yapılabilmesi için sistemli bir yaklaşım olarak ifade edilmektedir (Eren ve diğerleri, 2018). Tersine mühendislik işlemlerinde nesnenin optik veya lazer cihazıyla taranmasının ardından veriler tarama cihazıyla ortak çalışan bir programa gönderilir. Bu nokta bulutu verileri dijital ortamda düzenlendikten sonra ürünün modeli oluşturulur. Hızlı prototiplemeyle üretim yapılarak tersine mühendislik işlemleri tamamlanmış olur. Tersine yazılım programlarına Geomagic Control X (3D Systems Inc., Oqton, San Francisco, Amerika), GOM Inspect (GOM, Braunschweig, Almanya) örnek olarak verilebilir (Cappella ve diğerleri, 2019).

Tersine mühendislik yazılımları diş hekimliği alanında alınan dijital ölçülerin bilgisayar ortamında üst üste çakıştırılarak, bu veriler arasındaki yer değiştirme miktarının belirlenmesinde kullanılır. Ölçü materyallerinin ve dijital tarayıcıların doğruluğunun ölçülmesinde ve hassasiyet karşılaştırmalarında bu yazılımlar kullanılmaktadır. Doğruluğu test edilmek istenen objeden elde edilen görüntüler, kontrol grubu olarak belirlenen ve hassasiyeti yüksek bir tarayıcıyla elde edilen görüntüler ile karşılaştırılmaktadır ve bunun sonucunda ortaya çıkan sapma miktarı ile objenin etkinliği değerlendirilebilmektedir (Andriessen ve diğerleri, 2014). Ayrıca tersine mühendislik yazılımları yardımıyla, elde edilen görüntülerden kesitler alınıp, her kesitin istenilen bölgesinin kalınlığı tespit edilebilmekte, üç boyutlu olarak incelenebilmektedir. Türkçeye karekök ortalama olarak çevrilen “Root Mean Square” yüzeyler üzerindeki sapma miktarlarının büyüklüğünün ölçülmesinde kullanılan istatistiksel bir ölçüttür. 3B yazılım kullanılarak, CAD tasarımı ve CAM ile üretilen nesnelerin dijital verileri birbirlerine en yakın konumda hizalanır ve bu iki

verinin 3B modellerinin tüm nokta bulutlarının uzaklıklarının ortalaması, karekök ortalamayı (RMS) hesaplamak için kullanılır. Negatif veya pozitif değerler alamaz. Hesaplanan RMS'nin birimi ölçümü yapılan nesnenin ölçüm birimi ile aynıdır (Kang ve diğerleri, 2018).

Dental deviasyon çalışmalarında RMS hesaplaması kullanılarak yapılan sapma ölçümleri tercih edilmiştir (Çakmak ve diğerleri, 2022b; Yılmaz ve diğerleri, 2022; Wang ve diğerleri, 2019). Ancak deviasyon ve sapma analizi için ortalama sapma, mutlak ortalama veya yüzdelik dilimin kullanılması gibi alternatif yöntemler de kullanılabilir Lerner ve diğerleri, 2021).

2.3.2 Termomekanik Yaşlandırma

Restoratif materyallerin değerlendirilmesi, oral kavitede gerçekleşen dinamik koşullar altında performanslarının kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını gerektirmektedir (Çebi Gül, 2023). Nem ve pH seviyelerindeki değişimler, okluzal kuvvetlerin tekrar tekrar uygulanması gibi faktörler bu materyallerin uzun ömürlülüğünü ve işlevselliğini önemli ölçüde etkilemektedir (Surdacka ve diğerleri, 2007). İn-vivo çalışmalar dental restorasyonların uzun süreli davranışları hakkında çok değerli bilgiler sunmaktadır. Ancak, yüksek maliyetler ve deneysel değişkenlerin standardize edilmesindeki doğal karmaşıklıklar zorluklara sebep olmaktadır. Sonuç olarak, ağız ortamını taklit etmek için tasarlanan in-vitro test metodolojileri, restoratif materyal özelliklerini etkili bir şekilde değerlendirmenin bir yolu olarak önem kazanmıştır. Dental restorasyonların yorulmaya bağlı başarısızlığı sıklıkla çiğneme sırasında döngüsel yüklemenin neden olduğu strese bağlanmaktadır (Özer ve diğerleri, 2023). Döngüsel yüklemeyi taklit etmek için kullanılan cihazlardan biri de çiğneme simülatörleridir.

2.3.2.1 Çiğneme simülatörü

Çiğneme simülatörleri, yükleme sıklığı, kuvvet büyüklüğü, döngü sayısı, ıslak/kuru döngü, termal döngü, antagonist materyal özellikleri ve hem yatay hem de dikey hareketler gibi değişkenleri içeren, ağız ortamının karmaşık biyomekanik ve biyokimyasal koşullarını taklit etmek için kullanılan çok önemli araçlardır (Bulut ve Atsü, 2016; Kayalı ve Kahramanoğlu, 2020). Çift eksenli çiğneme simülatörleri, termal döngü yeteneklerine ek olarak hem dikey hem de yatay düzlemlerde kuvvet verme kapasiteleri nedeniyle in-vitro araştırmalarda

yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu simülatörler, plastik bir tutucu içinde sabitlenmiş numunelerin çeşitli materyal ve çaplardan oluşan antagonist uçlarla döngüsel temasa maruz bırakılmasıyla çalışmaktadır. Hareketler, fizyolojik çiğneme modellerini taklit etmek için bilgisayar aracılığıyla hassas bir şekilde kontrol edilebilmektedir (Wassel ve diğerleri, 1994; Steiner ve diğerleri, 2009).

İn-vitro testlerde uygulanan termomekanik yaşlandırma, termal ve mekanik streslerin restoratif materyaller üzerindeki kümülatif etkilerini taklit etmektedir (Frankenberger ve diğerleri, 2021). Termomekanik yaşlandırma için tasarlanmış çok işlevli bir çiğneme simülatörü, 5°C ile 55°C arasında termal döngü ile birlikte 49 N'luk dikey bir okluzal kuvvet uyguladığında sırasıyla 2000 µm ve 1000 µm'lik yatay ve dikey hareketler, düzenli çiğneme alışkanlıklarıyla iki yıllık ağız içi kullanımı simüle etmek için 400.000 döngü boyunca uygulanabilmektedir (Gul ve diğerleri, 2025; Alharbi ve diğerleri, 2016; Corbani ve diğerleri, 2020; Atria ve diğerleri, 2022). Bu hareketler, kontrollü sıcaklık değişiklikleri ve döngüsel yükleme ile birlikte, materyalin yorulmaya karşı direncinin kapsamlı bir şekilde değerlendirmesini sağlamaktadır (Saadi ve diğerleri, 2022). Bu simülasyonlarda kullanılan ve tipik olarak 50 N civarında olan dikey yük, normal çiğneme fonksiyonuna sahip sağlıklı bireylerde gözlemlenen ortalama yüke karşılık gelmektedir (Saadi ve diğerleri, 2022). Genellikle yüz binlere ulaşan döngü sayısı, uzun bir süre boyunca çiğnemenin kümülatif etkisini temsil etmektedir (Ashiga ve diğerleri, 2019). Araştırmacılar bu parametreleri dikkatli bir şekilde kontrol ederek restoratif materyallerin uzun vadeli performansı hakkında bilgiler edinebilmekte ve potansiyel başarısızlık nedenlerini belirleyebilmektedirler (Güntekin, 2022).

2.3.3 Aşınma Direnci

Aşınma, yüzeyler temas halinde hareket ettiğinde meydana gelen doğal bir süreçtir. Aşınma miktarını belirleyen önemli bir faktör, yüzeylerin hareket halinde olduğu süredir. Hastalar doğal dişlerini uzun yıllar kullandıkça, aşınma potansiyeli daha büyümekte ve giderek artan bir klinik sorun haline gelmektedir. Klinisyenler ağız içerisinde kullanacakları materyallerin özelliklerini ve dayanımlarını önceden bilmek ve materyal seçimini buna göre yapmak istemektedirler (Mair ve diğerleri, 1996). Dental materyallerin incelenmesinde sadece materyallerin aşınma direnci değil, karşıt dişler üzerindeki olası etkisi de göz önünde bulundurulmalıdır (Gündoğan, 2024). Yeni restoratif materyallerin tekrarlanan yüklemeler

altında aşınma direncinin değerlendirilmesi, doğal dişlerle karşılaştırılabilir klinik performansın sağlanması için gereklidir (Yoon ve diğerleri, 2013).

Aşınmış yüzeylerin mikrotopografik analizi, aşınma miktarını değerlendirirken farklı parametreleri ortaya çıkarabilir (Grau ve diğerleri, 2018). Aşınma alanı ve derinliği, klinik aşınmayı dikey olarak iki ve bir boyutta ölçmek için potansiyel parametrelerdir. Oklüzal faktörlere bağlı olan ve zamanla değişen, bazı dezavantajları olan dolaylı aşınma ölçümlerini temsil ederler (Grau ve diğerleri, 2018). Aşınmanın dinamik kalitesi gerçeği göz önüne alındığında, aşınma alanı her zaman aktif aşınmayı temsil etmez. Derinliğin boyutu, nerede ve hangi yönden ölçüldüğüne bağlıdır, bu nedenle iyi bir seçim değildir (Grau ve diğerleri, 2018).

Diş aşınmasını ölçmede en geçerli yöntem, üç boyutlu modelin avantajlarından yararlanılabilen hacimdeki değişikliğin belirlenmesidir (DeLong ve diğerleri, 2006; Kim ve diğerleri, 2018). Çiğneme parametrelerinin kontrol edildiği ve zamanla sabit kaldığı yapay ağız ortamında hacmin zamanla ilişkisi hakkında özel klinik ve in vitro çalışmalar mevcuttur (Peters ve diğerleri, 1999). Modern 3B tarama ekipmanı, örnek yüzeyinin doğrudan görüntülenmesine izin verdiğinden, aşınma artık tek boyutlu olarak derinlik veya iki boyutlu olarak alan olarak tahmin edilmek yerine 3B olarak hacim kaybı olarak tanımlanmaktadır (Grau ve diğerleri, 2018).

Ağız içi yüklemeyi taklit etmek için çiğneme simülatörleri kullanılabilir. Sonrasında ise gerçekleşen aşınma miktarını değerlendirmek için pek çok yöntem kullanılmaktadır. Lazer tarayıcılar bu yöntemlerden biridir.

2.3.3.1 Lazer tarayıcılar

Aşınma ölçümü için kullanılan lazer tarayıcılar temaslı ve temassız tarayıcılar olarak ikiye ayrılırlar. Temaslı tarayıcılarda oklüzal yüzeylerin düzensiz topografik profilini çıkarmak için küresel prob uçları kullanılmaktadır. Bu tarayıcıların çözünürlüğü, tipik olarak 0,1 mm veya daha büyük bir çapa sahip olan ucunun boyutuyla sınırlıdır. Kontak profilleme sistemlerinin başlıca avantajları arasında, renk veya şeffaflık gibi yüzey özelliklerindeki değişikliklere karşı duyarsız olmaları ve nispeten düşük maliyetlerle iyi doğruluk sağlamaları yer almaktadır. Bununla birlikte, dezavantajları arasında daha yavaş tarama

sürelerine sahip olmaları ve sert yüzeylere duyulan gereksinim yer almaktadır (DeLong, 2006; Gündoğan, 2024).

Temassız tarayıcılar ise dörde ayrılır:

Temassız profillemeye sistemlerinde, temaslılardan farklı olarak yüzeye temas eden bir prob ucu kullanmak yerine, ölçümler için bir ışık kaynağı veya mikroskop kullanılmaktadır. En önemli avantajları yüzey temasından kaçınmalarıdır. Ancak doğru ölçümler için opak, diffüz bir yansıtıcı bir yüzeye ihtiyaç duyarlar (DeLong, 2006; Gündoğan, 2024).

a. Nokta Tarayıcılar:

Nokta tarayıcıların çözünürlüğü tipik olarak 0,025 milimetre (mm)'den daha az ayrıntılara odaklanabilmektedir (DeLong, 2006; Gündoğan, 2024).

b. Çizgi Lazer Tarayıcılar:

Çizgi lazer sistemlerinde yüzeyler üzerlerine düz bir çizgi yansıtılarak taranmaktadır. Bir dijital kamera bu çizginin yüzey boyunca hareket ederken görüntülerini yakalamaktadır. (DeLong, 2006; Gündoğan, 2024).

c. Alan Tarayıcıları:

Alan tarayıcılar, tüm yüzeyi aynı anda görüntüleyerek çizgi tarayıcılardan ayrılmaktadır. Yüzey noktalarını ölçmek için üçgenleme, faz kaydırma, moire saçak deseni veya enformetre gibi teknikler kullanırlar. Çizgi ve alan tarayıcılar nokta tarayıcılardan önemli ölçüde daha hızlı olsa da tek bir nokta kadar keskin odaklanamadıkları için daha düşük çözünürlüğe sahiptirler (DeLong, 2006; Gündoğan, 2024).

d. Hacim Tarayıcılar:

Hacim tarayıcıları Bilgisayarlı Tomografi (BT) tabanlıdır. Çözünürlükleri, birkaç μm 'den yüzlerce μm 'e kadar değişebilen vokselle boyutuna bağlıdır. Hacim tarayıcılarının önemli bir avantajı, gölgelenme artefaktlarının bir sorun olmamasıdır. Ancak, daha pahalıdır ve radyasyon yayarlar (DeLong, 2006; Gündoğan, 2024).

2.3.3.2 3B lazer tarama yöntemi

3B lazer tarama yönteminde restoratif bir model taranır ve elde edilen 3B görüntü bir bilgisayara aktarılır. Tersine yazılım mühendislik programları aşınma alanlarını analiz eder ve aşınmamış model ile aşınmış modeli karşılaştırarak aşınma miktarını belirler. Bu sistem sanal model üzerinde 10 µm kadar küçük aşınmaları tespit edebilmekte ve kısa sürede doğru sonuçlar üretmektedir (Mehl, 1997).

3B lazer tarama yöntemi, gelecekteki çalışmalar için 3B bir veri tabanının oluşturulmasına ve depolanmasına olanak tanımaktadır. Doğruluğu ve nicel yetenekleri nedeniyle sıklıkla kullanılmaktadır (Perry, 2000). Günümüzde ağız içi tarayıcıların doğruluk hassasiyetlerinin 20 µm'a kadar düşmesiyle ağız içi tarayıcılar da aşınma değerlendirilmesinde kullanılabilmektedir (Gul ve diğerleri, 2025; Diken Turksayar ve diğerleri, 2024).

2.3.4 Kırılma Dayanımı

Dayanım, materyale uygulanan bir yük altında deformasyona uğramadan karşı koyduğu en yüksek gerilim derecesi olarak tanımlanmaktadır. Dayanıklılık, baskın olan gerilim cinsine göre çekme, basma ve makaslama dayanımı gibi isimler alır. Çekme gerilimi, kütleyi uzatmak veya esnetmek isteyen bir yükün oluşturduğu deformasyona karşı koyan kuvvete denmektedir. Makaslama gerilimi bir kütleyi diğerinin üzerinden kaydırmaya ya da çevirme hareketine oluşan gerilimdir. Sıkışma gerilimi ise kütlenin kendisini kısaltmaya zorlayan ya da sıkıştırmaya çalışan bir yüke karşı koyan iç kuvvetlerin meydana getirdiği gerilimdir (Oh ve diğerleri, 2000). Kırılma dayanıklılığının incelendiği cihazlarda uygulanan kuvvet restorasyona dik veya açılı olacak şekilde uygulanabilmektedir (Keshvad ve diğerleri, 2011). Materyalin dayanım değerlerini aşan baskı durumlarında materyalde değişimler gözlemlenir. Restorasyonların maruz kaldığı çigneme kuvvetlerinin çoğu basma kuvveti şeklinde olduğu için yapılan restorasyonların klinik başarısının değerlendirilmesinde bu gerilim tipi göz önünde bulundurulmaktadır (Can, 2014; O'Brien, 2002; Zaimoğlu, 2011).

Kırılma dayanımı testi dental materyallerin mekanik özellikleri hakkında nicel veriler vermektedir. Başarısızlığın ortaya çıktığı nokta, kritik stres yoğunluk faktörü olarak tanımlanır (Saridag ve diğerleri, 2013). Bu veriler farklı materyallerin ve restorasyon tiplerinin performansını karşılaştırmak için kullanılabilir. Araştırmacıların ve klinisyenlerin farklı dental materyallerin ve restorasyon tasarımlarının mekanik dayanıklılığını ve

güvenilirliğini değerlendirmelerine olanak tanır (Miyazaki ve Hotta, 2011). Ayrıca bu test, bir restorasyonun tasarımındaki potansiyel zayıf noktaların belirlenmesine yardımcı olarak klinik uygulamadan önce iyileştirmeler yapılmasına olanak sağlayabilir (Miyazaki ve Hotta, 2011). Bu deney yöntemiyle in-vitro çalışmalarla desteklenip kabul görmüş materyaller ile yeni restoratif materyallerin performansı karşılaştırılabilir ve materyalin in-vivo kullanılabilirliği değerlendirilebilir (Chitmongkolsuk ve diğerleri, 2002).



3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışma TLP2023-5 proje koduyla Altınbaş Üniversitesi Projesi (BAP) ile desteklenmiştir. Çalışmada kullanılacak periodontal ve ortodontik sebeplerle çekilmiş insan dişleri için Altınbaş Üniversitesi Sağlık Bilimleri Bilimsel Araştırma Etik Kurulundan 2024/38 protokol numarasıyla etik kurul onayı alınmıştır. Çalışmanın laboratuvar aşamaları ve çalışmada uygulanan testler, Altınbaş Üniversitesi Sağlık Yerleşkesi Sert Doku Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

3.1 ÖRNEKLERİN ELDE EDİLMESİ

3.1.1 Güç Analizi

Yapılan power analizi sonucunda %80 güç ve %5 yanılma düzeyinde istatistiksel önemliliği test edebilmek için, etki boyutu:0,652 ve standart sapmasının 14,1 olması durumunda tespit edilen örneklem sayısı her grup için minimum $n=8$ örnek olarak saptandı. Örneklem genişliği hesaplamaları G*Power 3.1.9.4 (Franz Faul, Universität Kiel, Kiel, Almanya) paket programında yapıldı. Güç analizi sonucu, bu çalışma için toplamda 36 adet periodontal ve ortodontik sebeplerle çekilmiş, sağlam, çürüksüz mandibular büyük azı dişi kullanılmasına karar verildi ($n=12$).

3.1.2 Dişlerin Hazırlanması

Dişlerin üzerindeki diş taşları ve yumuşak doku kalıntıları kavitrone ve polisaj fırçaları ile uzaklaştırıldı, ardından dişler dikkatlice su ile temizlendi. Sonrasında dişler distile su içinde saklandı. Dişler biyolojik genişliği taklit etmek amacıyla mine-sement birleşiminin 2 mm altına kadar yerleştirilen akrilik rezin (Akrodent, Türkiye) ile 1 cm yarıçapında ve 3 cm uzunluğunda plastik silindir bloklar içine gömüldü. Her bir dişin pulpa odasını açmak için morfolojisini takip eden yuvarlak elmas frez (DIMEI Piranha, Çin) kullanıldı. Ardından dişlere kök kanal tedavisi uygulandı.

Kök kanal tedavisini standardize etmek için endomotor kanal eğesi (EndoArt Smart Gold, Incidental, Türkiye) kullanıldı. Tüm dişler aynı operatör tarafından aynı sırayla tedavi edildi: mezial kanallar için master eğe olarak 25/0,4, distal kanallar için master eğe olarak 30/0,4 kullanıldı. Her eğe kullanıldıktan sonra irrigant olarak sodyum hipoklorit kullanıldı. Mezial

kanallar için 25/0,4, distal kanallar için ise 30/0,4 boyutunda açılı güta perka (Royva dental, Guangdong, Çin) kullanıldı. Kanal dolgu patı olarak rezin bazlı bir pat (Sealart, Dentac T-endo, Türkiye) kullanıldı ve ardından fazla güta perkayı çıkarmak için sıcak bir kondansatör kullanıldı. Kanal ağızlarına 7. jenerasyon bağlayıcı ajan (Ruby SE Bond, Rubydent, İnci Dental, Türkiye) aplikatör yardımıyla kaviteye hafifçe ovalama hareketi ile 20 saniye boyunca uygulandı, adezivin birikmesini önleyecek şekilde 5 sn hava ile yayıldı ve sonrasında ışık cihazı (LED F, Woodpecker Medical Instrument Co., Guilin, Çin) ile 20 saniye ışınladı. Ardından akışkan kompozitle (Rubyflow, Rubydent, İnci Dental, Türkiye) kanal ağızları kapatılarak 20 saniye ışık cihazı (LED F, Woodpecker Medical Instrument Co., Guilin, Çin) ile polimerize edildi.

3.1.3 Kavite Preparasyonu

Endodontik tedavinin ardından dişlere, elmas frezlerle (Sevük Universal Inley-Onley Hazırlama Seti, Intensiv, Lugano, İsviçre) endokron preparasyonu uygulandı (Şekil 3.1). Dişlerin marjın preparasyon tasarımı, sement-mine sınırının 3 mm yukarısından, 2 mm okluzal redüksiyonla ve 8 derecelik açıyla 4 mm pulpa odasına uzanan bir retansiyon kavitesi hazırlanacak şekilde ayarlandı. Aksiyal duvar kalınlığı $2\pm0,5$ mm olarak ayarlandı ve preparasyonun tüm iç hat açıları yuvarlatılıp ve düzleştirildi. Kavite tabanının ve iç yüzeylerin paralelliği ayarlanarak homojen yüzeyler elde edildi (Şekil 3.2). Preparasyonların derinliği bir periodontal sond (Hu-Friedy, Şikago, Amerika) kullanılarak ölçüldü.



Şekil 3.1: Sevük
Universal Inley-Onley
Hazırlama Seti.



Şekil 3.2: Kavite Preparasyonu.

3.2 ENDOKRON RESTORASYONLARIN ÜRETİMİ

Endokron preparasyonu hazırlanan 36 adet diş restore edilmek üzere rastgele olarak her grupta 12 adet (n=12) diş olacak şekilde 3 gruba ayrıldı. Çalışmada kullanılan endokron materyallerinin isimleri, üretim teknikleri, grupları, içerikleri ve üretici firmaları Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1: Çalışmamızda Kullanılan Materyal İsimleri, Üretim Teknikleri, Grupları, İçerikleri Ve Üretici Firmalar.

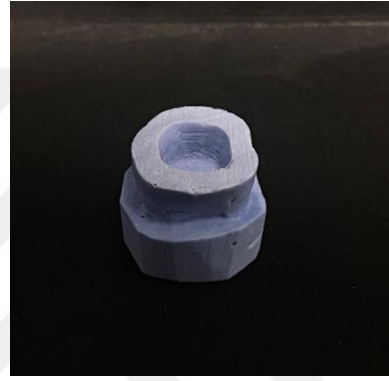
Materyal	Üretim Tekniği	Materyal Grubu	İçerik	Üretici Firma
VarseoSmile TriniQ	Eklemleri	Seramik Doldurucu Hibrit Rezin	4,4'-izopropilidifenol, etoksillenmiş ve 2-metilprop-2enoik asidin esterleşme ürünleri, silanize dental cam, metil benzoilformat, difenil (2,4,6-trimetilbenzoil), fosfin oksit, inorganik doldurucu maddeler (toplam içeriği kütlece %30-50) (partikül boyutu 0,7 µm).	Bego GmbH & Co, Almanya
Cerasmart 270	Eksiltmeli	Rezin Nanoseramik	%71 silika ve baryum cam nanopartiküller 20 nm silika, 300 nm baryum, cam nanopartikül %29, Bis-MEPP, UDMA ve DMA polimerleri.	GC Corp., Tokyo, Japonya
Gradia Plus	Konvansiyonel	Nanohibrit İndirekt Kompozit	Baryum cam seramik (%65 to 75), metakrilat monomer (%15 to 25), silika (%1 to 5), pigment, başlatıcı, %1-5 BisGMA, %5-10 TEGDMA, %1-5 UDMA	GC Corp., Tokyo, Japonya

3.2.1 Dijital ve Konvansiyonel Yöntem ile Ölçü Alınması

Eklemeli ve eksiltmeli teknik ile bilgisayar destekli tasarım ve üretimin yapılacağı gruplardaki örneklerin ölçüsü, ağız içi tarayıcı (Trios4, 3Shape, Kopenhag, Danimarka) kullanılarak elde edildi (Şekil 3.3). Konvansiyonel teknik ile üretimi yapılacak endokron preparasyonlarının ölçüsü geleneksel yöntem olan A tipi silikon (Variotime Easy Putty ve Light Flow, Kulzer Mitsui Chemicals, Hanau, Almanya) materyali kullanılarak çift aşamalı ölçü yöntemi ile alındı. Sonrasında tip 3 alçı (Denstone 3, Türkiye) döküldü ve modeller elde edildi (Şekil 3.4).



Şekil 3.3: Trios 4
(3Shape, Kopenhag,
Danimarka) Ağız İçi
Tarayıcı.



Şekil 3.4: Geleneksel Ölçü ile
Oluşturulan Alçı Model.

3.2.2 Endokron Tasarımı

Eklemeli ve eksiltmeli teknik grubundaki tüm örneklerin taramaları STL formatında dışa aktarım yapılarak 3B tasarım yazılım programı (Exocad DentalCAD; exocad GmbH, Almanya) kullanılarak her biri için endokron tasarımı oluşturuldu. Mandibular molar dişlerin standart kron boyutları (7-7.5 mm) göz önünde bulundurularak, marjinal kenar-tüberkül tepesi arası 4,4 mm uzunluğunda tasarımlar planlandı. Dijital modeller üzerinde restorasyonun kenar sınırları tanımlandı ve mandibular ikinci molar diş anatomik formu uygulandı. Çalışmamızda siman aralığı 60 µm olarak ayarlandı. Bu parametrelerle 24 adet

standart endokron restorasyonu tasarlandı. Tasarımı yapılan endokronlar STL (standard triangle language) formatında kaydedildi (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Exocad 3B Tasarım Programıyla Endokron Tasarımlarının Oluşturulması.

3.2.3 Eklemeli Teknik ile Endokron Restorasyonların Üretimi

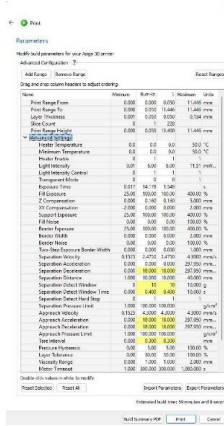
Eklemeli grupta yer alan 12 adet örnek DLP tekniği ile, 385 nm dalga boyu, 62 µm piksel çözünürlük, 119 × 67 × 75 mm (X, Y, Z) yapım hacmi (build volume) ile VarseoSmile TriniQ (Bego, Bremen, Almanya) daimi restorasyon reçinesi (Şekil 3.6) kullanılarak firma talimatlarına uygun olarak 50 µm hassasiyet ve 0° açıyla 3B baskı cihazında (Asiga Max 2 (Asiga SPS Teknoloji, Sydney, Avustralya) üretildi (Şekil 3.7). 3B baskı cihazı kullanım öncesinde üreticinin tavsiyelerine göre kalibre edildi (Şekil 3.8). Endokron STL verileri, yazıcıya aktarılarak baskı süreci gerçekleştirildi (Şekil 3.9).



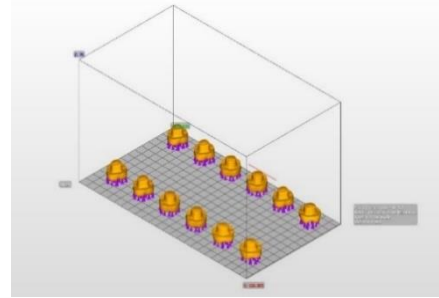
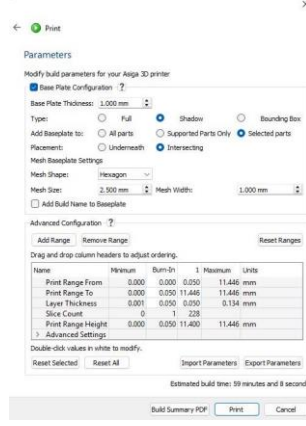
Şekil 3.6: VarseoSmile TriniQ 3B Baskı Reçinesi.



Şekil 3.7: Asiga Max 2 Yazıcı.



Şekil 3.8: Kullanılan Yazıcı Baskı Ayarları.



Şekil 3.9: Endokron STL

Verilerinin Baskı Yapılmak

Üzere Programa Yerleştirilmesi.

Baskı sürecinin sonlanması ardından restorasyonlar baskı tablasından spatül yardımı ile dikkatlice uzaklaştırıldı. 3B baskı ile elde edilen örnekler bölmeli plastik kaba yerleştirildi. Bu kabın her bölmesine %99'luk izopropil alkol solüsyonu ilave edilerek ultrasonik banyoda (Sultan Pro-Sonic 600, Englewood, Amerika) 2x3 dk boyunca temizleme işlemi gerçekleştirildi (Şekil 3.10). Etanol banyosundan alınan örnekler nazıkçe kurulandı. Sonraki adım olarak restorasyonlar post-kürleme işlemi için Bego Otoflash G171 (NK Optik GmbH, Almanya) ünitesine yerleştirildi ve 2000 atım oto flaşta iki kere kürleme işlemine tabi tutularak son işlem uygulandı (Şekil 3.11).



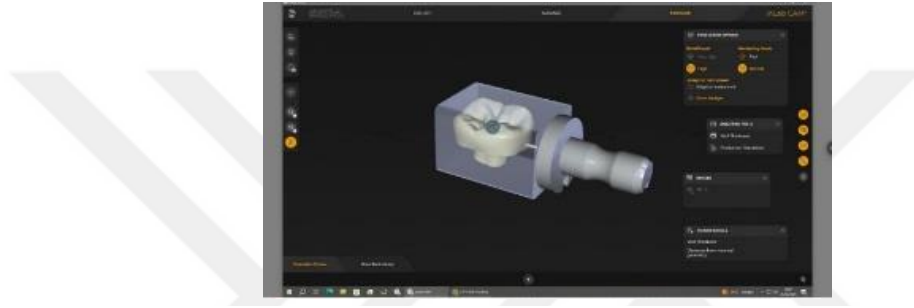
Şekil 3.10: Sultan Pro-Sonic 600 Ultrasonik Banyo.



Şekil 3.11: Bego Otoflash G171.

3.2.4 Eksiltmeli Teknik ile Endokron Restorasyonların Üretimi

Eksiltmeli grup için 12 adet örnek, kazıma cihazına (Cerec MC XL, Sirona Dental Systems, Bensheim, Almanya) yerleştirilen Cerasmart 270 (GC Corp., Tokyo, Japonya) bloklardan tek tek üretildi (Şekil 3.12). Blokların kazıma işlemleri için su altında özel frezler (Cylinder Pointed Bur 12S-Step Bur 12S, Sirona Dental Systems, Bensheim, Almanya) kullanılarak yapıldı (Şekil 3.13). Kazıma işlemi bittikten sonra bloklar frezeleme bölgesinden alındı. Tüm örneklerin üzerindeki tijlerin bulunduğu alan elmas frez yardımıyla düzleştirildi ve örnekler hazır hale getirildi (Şekil 3.14).



Şekil 3.12: Sirona Kazıma Programında Endokron Tasarımının Cerasmart 270 Bloklara Yerleştirilmesi.



Şekil 3.13: Cerec MC XL Kazıma Cihazında Cerasmart 270 Blokların Kazınması.



Şekil 3.14: Eksiltmeli Üretim Tekniğiyle Üretilen Endokron.

3.2.5 Konvansiyonel Yöntem ile Endokron Restorasyonların Üretimi

Geleneksel yöntem ile alınan silikon ölçünün ardından elde edilen alçı modellere rezinin kolay ayrılmasını sağlayacak bir bariyer oluşturmak amacıyla alçı kaplama solüsyonu (Xilgum sep fluid, Lascod, İtalya) ile uygulandı. Gradia Plus (GC Corp., Tokyo, Japonya) indirekt kompozit rezin (Şekil 3.15), mandibular ikinci molar morfolojisine uygun olacak şekilde 2 mm kalınlıklarda tabakalama yöntemi ile preparasyona yerleştirildi. Her tabakadan sonra laboratuvar polimerizasyon cihazında (GC Labolight Duo, Tokyo, Japonya) 10 saniye step-modda polimerizasyon işlemi uygulandı (Şekil 3.16). İndirekt kompozit rezinin tabakalanması ve morfolojinin işlenmesi adımlarının ardından post-kürleme işlemi için hazırlanan restorasyonlar tekrardan laboratuvar polimerizasyon cihazına yerleştirilerek 3 dakika full modda ışık uygulamasına tabi tutuldu. Tüm endokron üretim süreci aynı kişi tarafından gerçekleştirildi.



Şekil 3.15: Gradia Plus İndirekt Laboratuvar Kompoziti.



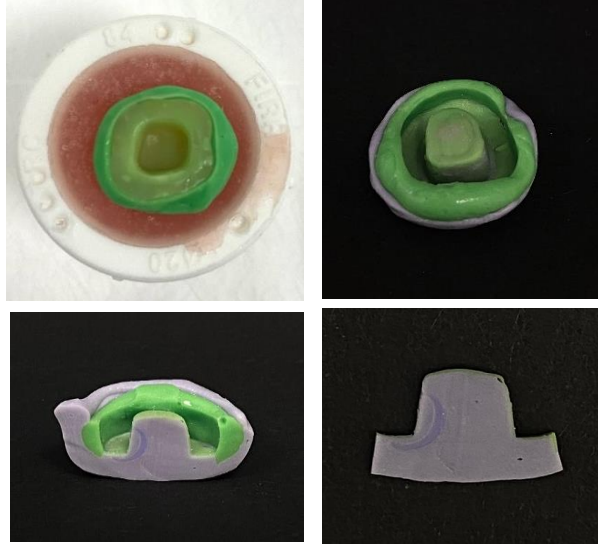
Şekil 3.16: GC Labolight Duo Dental Laboratuvar Polimerizasyon Cihazı.

3.3 İNTERNAL VE MARJİNAL ADAPTASYON ÖLÇÜMÜ

Bu tez çalışmasında internal ve marjinal adaptasyonun değerlendirilmesinde konvansiyonel ve üç dijital yöntem uygulanarak dört farklı test değerlendirmesi yapıldı.

3.3.1 Silikon Replika Tekniği ile Adaptasyon Değerlendirmesi

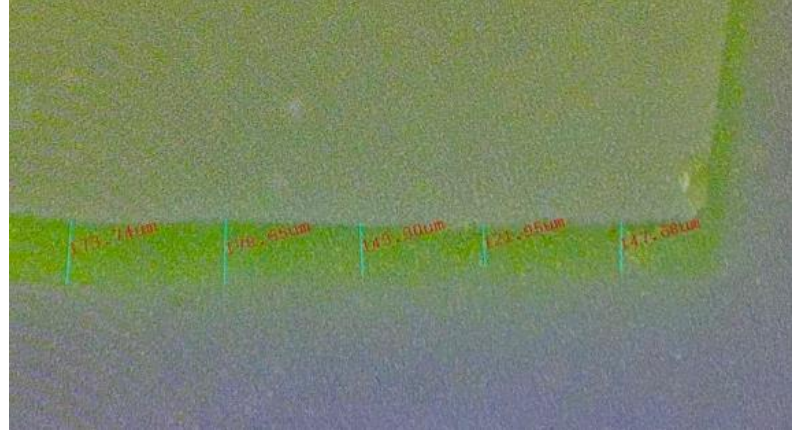
Siman aralığını simüle etmek ve restorasyonu preparasyona geçici olarak simante etmek amacıyla light body bir silikon materyal (Variotime, Kulzer, Almanya) bir karıştırma tabancası kullanılarak karıştırıldı ve endokron preparasyonlarına uygulandı. Restorasyon, preparasyondan uzaklaştırıldıktan sonra üstüne heavy body silikon materyali (Variotime, Kulzer, Almanya) yerleştirildi (Şekil 3.17). Her örnekten ikişer tane silikon elde edilmiş olup mesiobukkal ve bukkolingual olarak birer kesit oluşturuldu (Şekil 3.17). Marjinal boşluk stereomikroskop (SMZ745T, Nikon, Japonya) altında 40x büyütme ile incelendi (Şekil 3.18). İnternal ve marjinal aralık ölçümleri, her bir numune yüzeyi pulpa tabanı, aksiyal duvar, marjinal kenar olmak üzere 10 ölçüm alınarak gerçekleştirildi (Şekil 3.19). Tutarlı mesafeler sağlamak için görüntüler kalibre edildi. Stereomikroskopta bulunan ölçüm yazılımı, ortalama mikrometre değerlerini hesaplamak ve bu ölçüm noktalarındaki mesafe değerlerini bulmak için kullanıldı. Mesafe değerleri mikrometre (μm) cinsinden kaydedildi.



Şekil 3.17: Silikon Replika Tekniğiyle Ölçüm Yapılabilmesi İçin Kesitlerin Hazırlanması.



Şekil 3.18: Nikon SMZ745T Stereomikroskop.



Şekil 3.19: Stereomikroskopta Aralık Ölçümlerinin Yapılması.

3.3.2 Üçlü Tarama Protokol Yöntemi ile Adaptasyon Değerlendirmesi

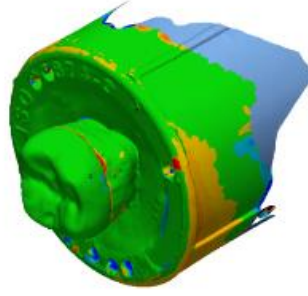
İnternal ve marjinal adaptasyon değerlendirilmesinde kullanılan ikinci yöntem ise dijital bir protokol olan üçlü tarama (Molinero-Mourelle, 2024; Sabatini ve diğerleri, 2024) tekniğidir. Öncelikle her örnek diş için toplam üç tarama olacak şekilde: 1) prepare edilmiş diş, 2) endokron restorasyonun iç ve dış yüzeyi ve 3) prepare edilmiş dişe simante edilen endokron restorasyonu; ağız içi tarayıcıyla (Primescan, Sirona Dental Systems, Bensheim, Almanya) tarandı (Şekil 3.20). Sonrasında STL formatında dışa aktarıldı.



Şekil 3.20: Sirona Primescan Ağız İçi Tarayıcı.

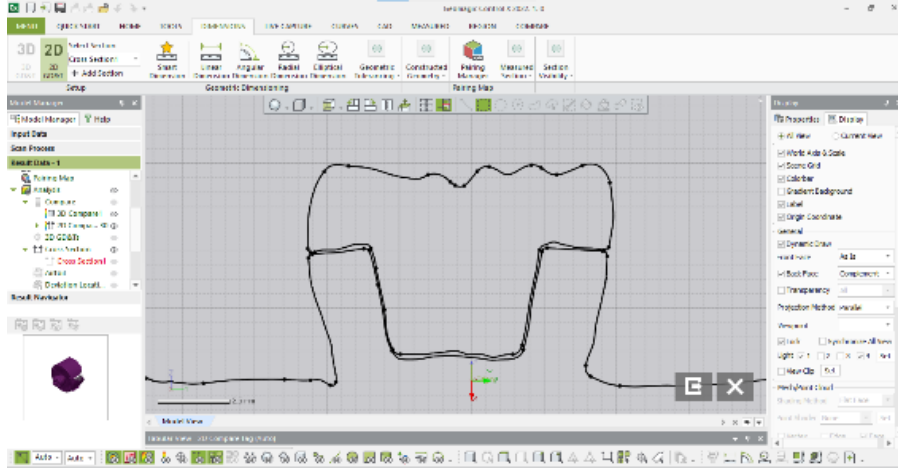
Sürecin ilk adımı, 3B analiz yazılım programı (Geomagic Control X, 3D Systems Inc., Oqton, San Francisco, Amerika) kullanılarak initial alignment ve best fit alignment algoritmaları ile restorasyon iç ve dış yüzeyi, prepare edilmiş diş ve prepare edilmiş dişe simante edilen endokron restorasyonu STL dosyalarının en doğru biçimde karşılaştırılmasıdır.

Bu amaçla her STL dosyası, silindirik ve düzlemsel referans bölgeleri oluşturularak uzamsal koordinat sisteminde birbirlerine göre ayarlandı ve STL formatında dışa aktarıldı. Sonrasında uzamsal koordinatları belirlenmiş prepare edilmiş diş simante edilen endokron restorasyonu referans olarak alınarak, uzamsal koordinatları belirlenmiş prepare edilmiş diş ve restorasyon iç ve dış yüzeyi; measured data olarak içe aktarıldıktan sonra yazılım programı tarafından hepsi otomatik olarak karşılaştırıldı (Şekil 3.21). Bu adımlar her bir örnek için tekrarlandı.

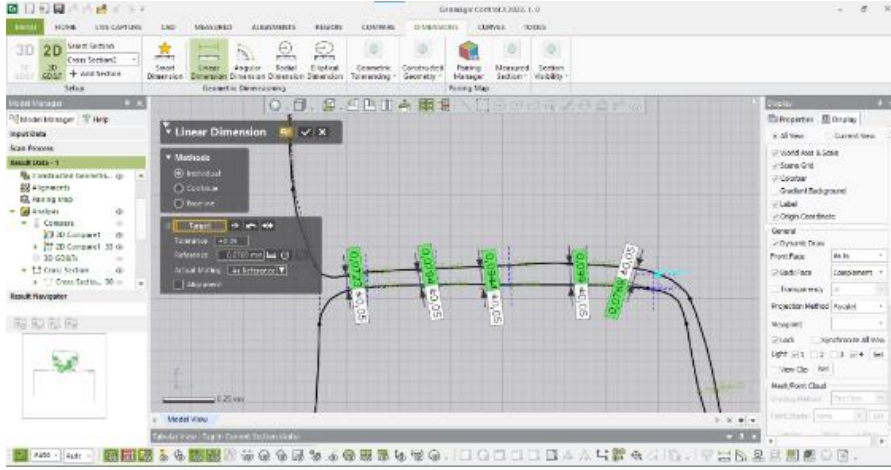


Şekil 3.21: Endokron, Prapere edilmiş ve Prepare Edilmiş
Dişe Simante Edilen Endokronun Çakıştırılması.

Çakıştırmalar tamamlandıktan sonra, referans datayı bukkopalatinal ve meziodistal yönlerde ayıran 2 dik düzlem oluşturmak için yazılım programının 2D compare tool sekmesi kullanıldı (Şekil 3.22). Pulpa tabanı, aksiyal duvar ve marjinal duvardan prepare edilmiş diş ve restorasyon iç ve dış yüzey STL dosyalarının herbirinden 20 adet nokta seçildi ve lineer dimension seçeneğinden her bölge için 10 adet uzaklık ölçümü yapıldı (Şekil 3.23). Bu işlem bukkopalatinal ve mesiodistal olarak her iki kesit için de tekrarlandı.



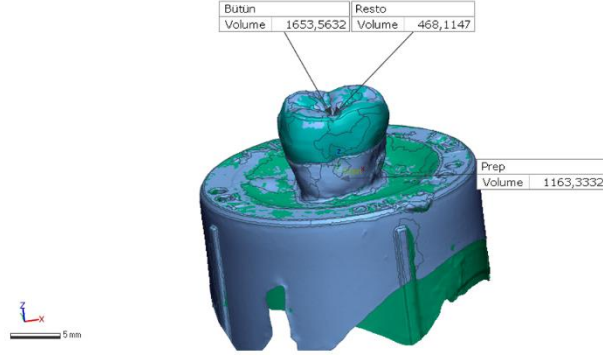
Şekil 3.22: Geomagic Control X Programında Kesit Alınması.



Şekil 3.23: Geomagic Control X Programında Aralık Ölçümlerinin Gerçekleştirilmesi.

3.3.3 3B Analiz Programı ile Siman Aralığı Hacimlerinin Hesaplanması

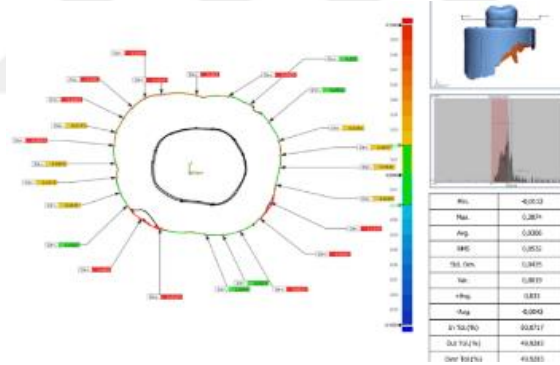
3B olarak hacimsel anlamda adaptasyonu değerlendirebilmek adına aynı yazılımla restorasyon ve prepare edilmiş diş arasındaki siman boşluğu mm^3 olarak referans datadan, prepare edilmiş diş ve restorasyon hacmi çıkarılarak hacim mm^3 şeklinde ölçüldü (Şekil 3.24).



Şekil 3.24: Geomagic Control X Programında Hacim Hesaplanması.

3.3.4 Yüzey Çakıştırma Yöntemi ile Elde Edilen Marjinal Sapma Değerlerinin Elde Edilmesi

Ayrıca 2D compare tool sekmesi kullanılarak restorasyonla prepare edilmiş dişin birleştiği marjinal birleşim yeri, her örneğin Z aksı kesitinden 25 sapma değeri noktası seçilerek bu noktalardaki marjinal uyumları kaydedildi (Şekil 3.25).

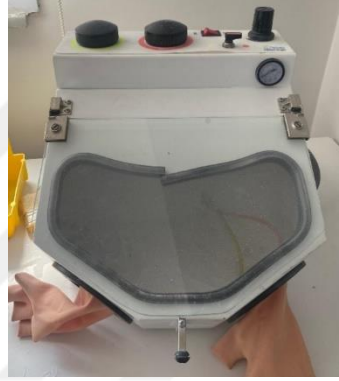


Şekil 3.25: Geomagic Control X Programında Marjinal Kesitten Sapma Değer Noktalarının Elde Edilmesi.

Tüm ölçümler bir şablon olarak kaydedildi ve standardizasyon için her bir endokronun internal ve marjinal adaptasyon değerlendirmesi için kullanıldı. Tüm ölçümler tek bir operatör tarafından gerçekleştirildi.

3.4 ÖRNEKLERİN SİMANTASYON VE BİTİM-CİLA İŞLEMLERİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Simantasyon öncesi restorasyon iç yüzeyleri, firma tavsiyelerine göre 50 mikron alüminyum oksit partikülleriyle (Rachel kum, Türkiye) 1,5 cm uzaklıktan 1,5 bar basınçla kumlama işlemine (Kalem Kumlama Cihazı, Star Dental, Türkiye) tabi tutuldu (Şekil 3.26). Restorasyon iç yüzeyindeki alüminyum oksit partiküllerin uzaklaştırılması amacıyla restorasyonlar %96 etanol ile ultrasonik banyo (Sultan Pro-Sonic 600, Englewood, Amerika) işlemine tabi tutuldu (Şekil 3.10). Sonrasında endokron restorasyonları kurutularak simantasyon için hazır hale getirildi.

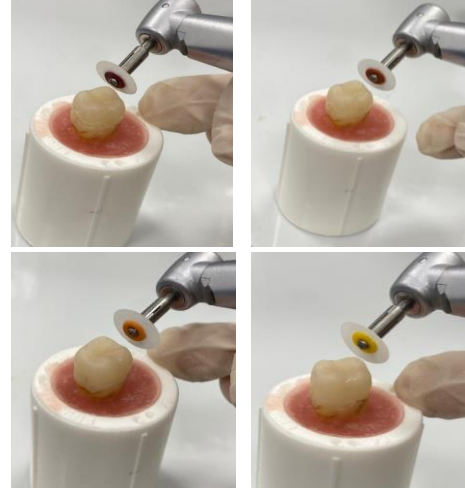


Şekil 3.26: Star Dental Kalem Kumlama Cihazı.

Önerilen firma talimatlarına göre, Primer (Tooth primer, Panavia V5, Kuraray, Japonya) dişin pulpa tabanı, aksiyel duvarı ve marjinal yüzeyine uygulanıp 20 saniye bekletildi ve ardından kurulandı. Seramik primeri (Ceramic Primer, Panavia V5, Kuraray, Japonya) ise restorasyon iç yüzeyine uygulandı ve kurutuldu. Her restorasyona tek bir tip dual-cure rezin siman (Panavia V5 Paste, Kuraray, Japonya) uygulandı (Şekil 3.27). Preparasyona yerleştirilen restorasyondan taşan rezin simanlar temizlenip ışık cihazı (LED F, Woodpecker Medical Instrument Co., Guilin, Çin) ile polimerize edildi. Sonrasında, alüminyum oksit disklerle (OptiDisc, Kerr, İsviçre) kalın grenden (80 μ m) ince grene (10 μ m) olacak şekilde bitim ve cilalama işlemine tabi tutuldu (Şekil 3.28).



Şekil 3.27: Endokronların Adeziv Simantasyonu.



Şekil 3.28: Diskler ile Bitim-Cıla İşlemlerinin Gerçekleştirilmesi.

3.5 AŞINMA DİRENCİ DEĞERLENDİRMESİ

Aşınma direnci karşılaştırması yapmak için, simantasyon öncesinde ağız içi tarayıcı (Primescan, Sirona Dental Systems, Bensheim, Almanya) ile her diş taranarak referans dijital veriler elde edildi.

3.5.1 Çiğneme Simülatörü ile Termomekanik Yaşlandırma

Tüm örnekler bir çiğneme simülatörü (MOD Dental, Ankara, Türkiye) ile döngüsel dinamik yorulma yüklemesine tabi tutuldu. Örneklerin termomekanik yaşlandırılması için özel olarak tasarlanmış çok akslı çiğneme simülatöründe 49 N dikey okluzal kuvvet, 5°-55° termal döngü, 1000 µm dikey-2000 µm yatay hareket, düzenli çiğneme ile 400.000 döngü (Gul ve diğerleri, 2025; Alharbi ve diğerleri, 2016; Corbani ve diğerleri, 2020; Atria ve diğerleri, 2022) gerçekleştirildi (Şekil 3.29).



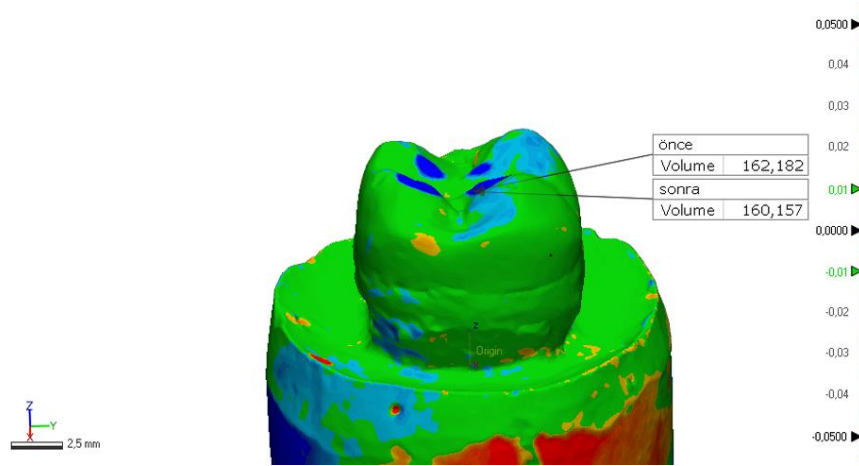
Şekil 3.29: Çiğneme Simülatörü
(MOD Dental, Ankara, Türkiye).

3.5.2 Aşınma Direnci Değerlendirmesi için Son Tarama Yapılması

Tüm örnekler, termomekanik yaşlandırmadan sonra aşınma direnci karşılaştırması için bir ağız içi tarayıcı (Primescan, Sirona Dental Systems, Bensheim, Almanya) kullanılarak tarandı. Elde edilen dijital veriler bir 3B analiz yazılım programı (Geomagic Control X, 3D Systems Inc., Oqton, San Francisco, Amerika) ile değerlendirildi.

3.5.3 3B Analiz Yazılım Programı ile Aşınma Hacmi Hesaplanması

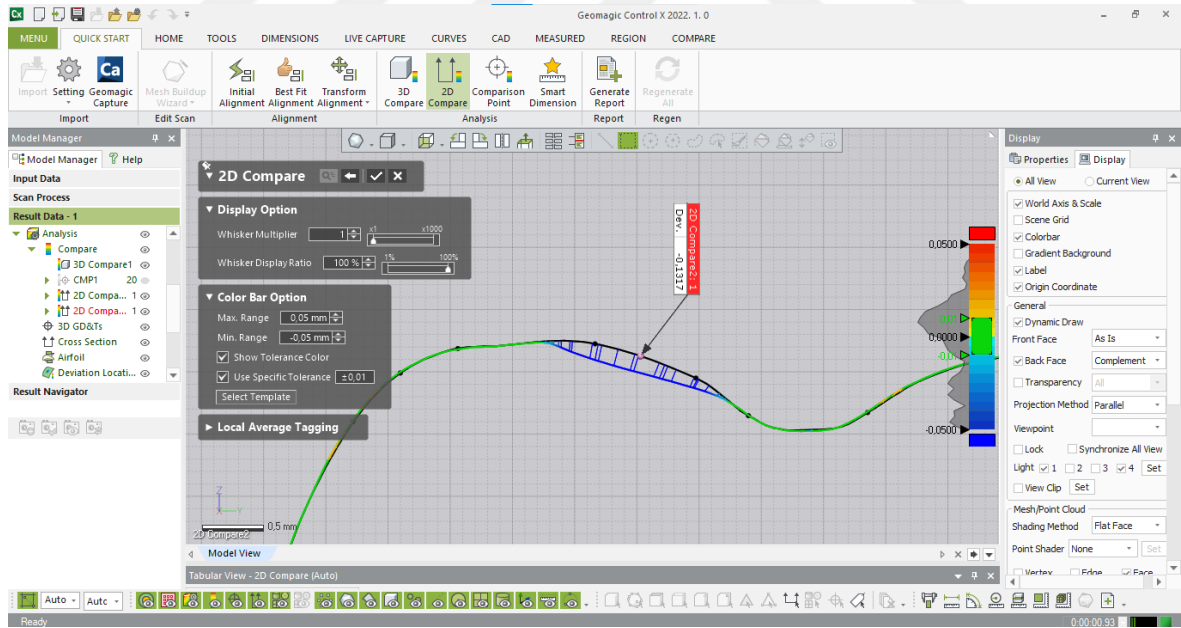
Aşınma hacim kaybı (mm^3), yaşlandırma öncesi ve sonrası taramaların bir 3B analiz yazılım programı (Geomagic Control X, 3D Systems Inc., Oqton, San Francisco, Amerika) ile karşılaştırılmasıyla otomatik olarak hesaplanarak elde edildi. İlk olarak okluzal yüzeylerdeki aşınmış alanlar “3D Compare Tool” kullanılarak maksimum ve minimum sapma değerleri $+50 \mu\text{m}$ ve $-50 \mu\text{m}$ olarak ayarlanmıştır ve tolerans aralığı $+10 \mu\text{m}$ ve $10 \mu\text{m}$ olarak ayarlandı. Her bir aşınmış alan, her iki veri setinde de manuel olarak kırıldı ve mutlak hacim farkı bu değerler arasındaki farkın hesaplanmasıyla belirlendi (Şekil 3.30).



Şekil 3.30: Geomagic Control X Programı ile Hacim Değişimi Hesaplanması.

3.5.4 3B Analiz Yazılım Programı ile Aşınma Derinliği Hesaplanması

Hacim kaybı ölçümlerinden sonra, aşınmış alanı kapsayan bir düzlem oluşturuldu ve maksimum aşınma derinliği, bu düzlem ile z eksenindeki aşınmış alan arasındaki en yüksek mesafe tanımlanarak en derin bölgedeki mesafeler her bir dış için kaydedildi (Şekil 3.31).



Şekil 3.31: Geomagic Control X Programı ile Maksimum Aşınma Derinliği Ölçülmesi.

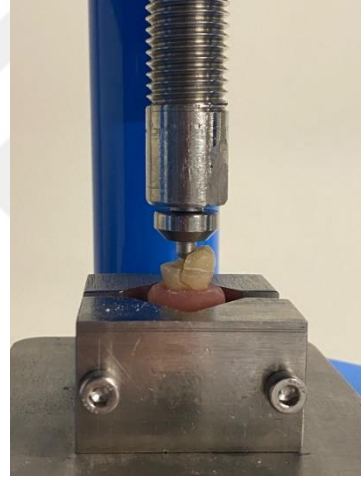
3.6 KIRILMA DAYANIMI DEĞERLENDİRİLMESİ

3.6.1 Kırılma Dayanımı Testi

Kırılma dayanımı karşılaştırması için örnekler universal test cihazı (MOD Dental, Ankara, Türkiye) (Şekil 3.32) kullanılarak test edildi. Örneklerin uzun eksenleri yer düzlemine dik olacak şekilde ayarlandı ve test edilen her bir örnek anahtar yardımıyla düzeneğe sabitlendi. Sabitlenen örneklere 5 mm çapında paslanmaz çelik yuvarlak yük cisimciği ile santral fossa üzerinden okluzal düzleme dik olacak şekilde 1 mm /dk hız ile örnekler kırılıncaya kadar kuvvet uygulandı (Şekil 3.34). Uygulanan yüke karşı kırılma anındaki değerler Newton (N) cinsinden kaydedildi.



Şekil 3.32: Universal Test Cihazı (MOD Dental, Ankara, Türkiye).



Şekil 3.33: Universal Test Cihazı ile Kırılan Örnek.

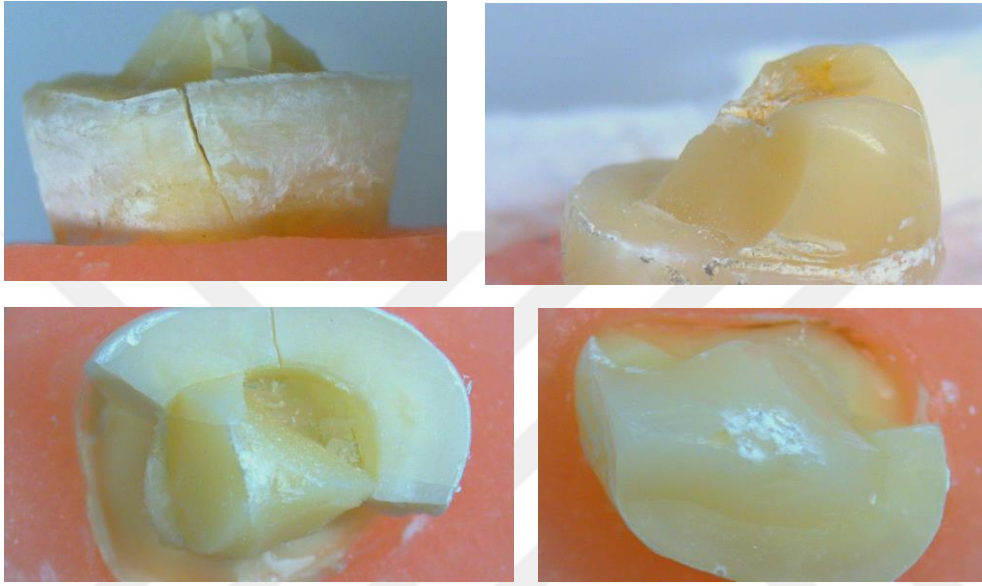
3.6.2 Kırık Tiplerinin Değerlendirilmesi

Kırılma dayanımı testi sonrası tüm örnekler stereomikroskop (SMZ745T, Nikon, Japonya) altında incelendi (Şekil 3.35). Kırılma tipleri Burke sınıflamasına göre değerlendirildi. Bu sınıflamaya göre:

- Tip I: Endokron restorasyonda minimal kırılma veya çatlak (tamir edilebilir başarısızlık)
- Tip II: Endokron restorasyonun yarısından az kırılma (tamir edilebilir başarısızlık)
- Tip III: Endokron restorasyonun yarısından kırılma (mine-sement birleşiminin üzerinden) (kabul edilebilir başarısızlık)

d. Tip IV: Endokron restorasyonun yarısından fazlasının ve dişin kırılması (Mine-Sement birleşiminin altından) (katastrofik başarısızlık)

Bu sınıflamaya göre mine-sement sınırının üzerinde oluşan kırıklar restore edilebilir olarak; mine-sement sınırının altında kalan ve köke kadar uzanan kırıklar restore edilemez olarak sınıflandırılmaktadır (Gresnigt ve diğerleri 2016).



şekil 3.34: Stereomikroskop ile örneklerin İncelenmesi.

3.7 İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Çalışmada elde edilen bulgular değerlendirilirken, istatistiksel analizler için IBM SPSS Statistics 22 programı kullanılmıştır. Çalışma verileri değerlendirilirken tanımlayıcı istatistiksel metotlar (Ortalama, Standart Sapma, Medyan, Minimum, Maksimum, Yüzde) kullanılmıştır. Parametrelerin normal dağılıma uygunluğu Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro Wilks testleri ile değerlendirilmiştir. Normal dağılım gösteren parametrelerin gruplar arası karşılaştırmalarında Oneway Anova testi ve farklılığa neden çıkan grubun tespitinde Tukey HSD testi ve Bonferroni düzeltmesi kullanılmıştır. Normal dağılım göstermeyen parametrelerin gruplar arası karşılaştırmalarında Kruskal Wallis testi ve farklılığa neden çıkan grubun tespitinde Dunn's test kullanılmıştır. Anlamlılık $p < 0,05$ düzeyinde değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR

4.1 İNTERNAL VE MARJİNAL ADAPTASYON TEST BULGULARI

4.1.1 Silikon Replika Tekniği Kullanılarak Yapılan Adaptasyon Testi Bulguları

Konvansiyonel, eksiltmeli ve 3B yazıcı kullanılarak eklemeli teknik ile farklı materyallerden üretilen endokron restorasyonların silikon replika tekniği kullanılarak yapılan internal ve marjinal adaptasyon testi sonuçları, her grubun aralık değerlerinin ortalamaları, standart sapmaları ve medyan değerleri Tablo 4.1’de gösterilmektedir.

Tablo 4.1: Silikon Replika Tekniği Kullanılarak Farklı Bölgelerden (Pulpa Tabanı, Aksiyel Duvar, Marjinal Kenar Ve İnternal Aralık) Elde Edilen Adaptasyon Testleri Sonucu Grupların Ortalamaları, Standart Sapmaları, Medyan Ve p Değerleri.

Ölçüm Bölgeleri	Cerasmart 270	VarseoSmile TriniQ	Gradia Plus	p
	Ort±SS	Ort±SS	Ort±SS	
	Medyan (25P-75P)	Medyan (25P-75P)	Medyan (25P-75P)	
Pulpa tabanı	192,31±49,59 ^a	161,38±28,13 ^b	135,38±65,81 ^c	0,001*
	177,21 (157,53-224,52)	166,07 (142,23-178,8)	129,63 (101,72-157,53)	
Aksiyel duvar	109,46±30,22 ^a	110,67±26,98 ^a	81,76±25,25 ^b	0,001*
	108,11 (87,58-128,15)	106,17 (93,12-127,02)	78,1 (64,82-96,15)	
Marjinal kenar	150,52±44,88 ^a	127,21±37,79 ^b	129,57±47,78 ^b	0,001*
	141,64 (116,45-179,28)	124,46 (98,37-155,18)	121,63 (92,66-152,91)	
İnternal aralık	150,89±30,16 ^a	136,03±19,85 ^b	108,35±37,07 ^c	0,001*
	147,27 (127,71-170,48)	135,08 (121,22-148,74)	105,09 (86,92-122,97)	

Kruskal Wallis Test

Ort: Ortalama; SS: Standart Sapma

** işareti satırlardaki istatistiksel farklılıkları gösterir (p<0,05).*

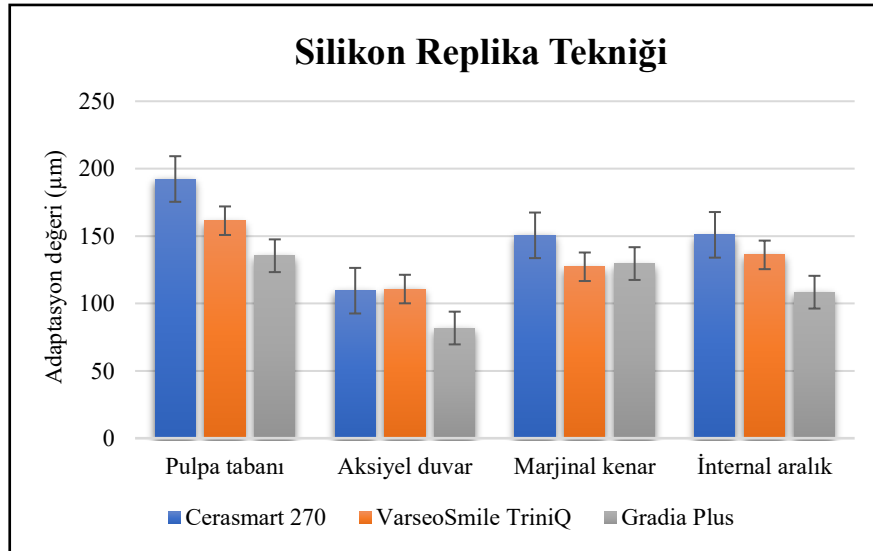
Farklı harfler gruplar arası farklılığı göstermektedir (p<0,05).

Silikon replika tekniği ile pulpa tabanındaki aralık değeri ölçümleri açısından gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p:0,007; p<0,05). Anlamlılığın hangi gruplardan kaynaklandığının tespiti için yapılan post hoc analizler sonucunda; Cerasmart 270 grubunun pulpa tabanındaki aralık değerleri, VarseoSmile TriniQ (p:0,001) ve Gradia Plus (p:0,001) gruplarından anlamlı şekilde yüksek bulunmuştur (p<0,05). VarseoSmile TriniQ grubunun pulpa tabanındaki aralık değerleri, Gradia Plus (p:0,001) grubundan anlamlı şekilde yüksek bulunmuştur (p<0,05) (Şekil 4.1).

Silikon replika tekniği ile aksiyel duvardaki aralık değeri ölçümleri açısından gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p:0,001$; $p<0,05$). Gradia Plus grubunun aksiyel duvardaki aralık değerleri, Cerasmart 270 ($p:0,001$) ve VarseoSmile TriniQ ($p:0,001$) gruplarından anlamlı şekilde düşük bulunmuştur ($p<0,05$). VarseoSmile TriniQ ve Cerasmart 270 grupları arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p>0,05$) (Şekil 4.1).

Silikon replika tekniği ile marjinal kenardaki aralık değeri ölçümleri açısından gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p:0,001$; $p<0,05$). Cerasmart 270 grubunun marjinal kenardaki aralık değerleri, VarseoSmile TriniQ ($p:0,001$) ve Gradia Plus ($p:0,001$) gruplarından anlamlı şekilde yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). VarseoSmile TriniQ ve Gradia Plus grupları arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p>0,05$) (Şekil 4.1).

Silikon replika tekniği ile internal aralık değeri ölçümleri açısından gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p:0,007$; $p<0,05$). Cerasmart 270 grubunun internal aralık değerleri, VarseoSmile TriniQ ($p:0,001$) ve Gradia Plus ($p:0,001$) gruplarından anlamlı şekilde yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). VarseoSmile TriniQ grubunun internal aralık değerleri, Gradia Plus ($p:0,001$) grubundan anlamlı şekilde yüksek bulunmuştur ($p<0,05$) (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: Silikon Replika Tekniği Kullanılarak Farklı Bölgelerden (Pulpa Tabanı, Aksiyel Duvar, Marjinal Kenar Ve İnternal Aralık) Elde Edilen Adaptasyon Testi Değerleri (Değerler µm Cinsindendir).

4.1.2 Üçlü Tarama Protokolü Tekniği Kullanılarak Yapılan Adaptasyon Testi Bulguları

Konvansiyonel, eksiltmeli ve 3B yazıcı kullanılarak eklemeli teknik ile farklı materyallerden üretilen endokron restorasyonların üçlü tarama protokolü kullanılarak yapılan internal ve marjinal adaptasyon testi sonuçları, her grubun aralık değerlerinin ortalamaları, standart sapmaları ve medyan değerleri Tablo 4.2’de gösterilmektedir.

Tablo 4.2: Üçlü Tarama Protokolü Tekniği Kullanılarak Farklı Bölgelerden (Pulpa Tabanı, Aksiyel Duvar, Marjinal Kenar Ve İnternal Aralık) Elde Edilen Adaptasyon Testleri Sonucu Grupların Ortalamaları, Standart Sapmaları, Medyan Değerleri Ve p Değerleri.

Ölçüm Bölgeleri	Cerasmart 270	VarseoSmile TriniQ	Gradia Plus	p
	Ort±SS	Ort±SS	Ort±SS	
	Medyan (25P-75P)	Medyan (25P-75P)	Medyan (25P-75P)	
Pulpa tabanı	158,38±48,26 ^a 148,65 (121-200,65)	116,34±31,45 ^b 111,25 (96,03-137,93)	67,65±43,34 ^c 63,6 (34,75-91,03)	0,001*
Aksiyel duvar	63,97±28,63 ^a 62,75 (43,8-80,8)	80,41±30,01 ^b 75,7 (60,28-95,78)	51,02±39,33 ^c 40,05 (24,3-63,98)	0,001*
Marjinal kenar	115,95±47,39 ^a 107,95 (81,48-147,48)	92,52±42,56 ^b 90,25 (56,45-121,78)	64,98±50,86 ^c 52,8 (23-92,15)	0,001*
İnternal aralık	111,18±33,16 ^a 105,55 (86,3-136,74)	98,37±22,9 ^b 96,08 (82,75-113,51)	59,33±28,58 ^c 55,78 (38,19-72,73)	0,001*

Kruskal Wallis Test

Ort: Ortalama; SS: Standart Sapma

** işareti satırlardaki istatistiksel farklılıkları gösterir (p<0,05).*

Farklı harfler gruplar arası farklılığı göstermektedir (p<0,05).

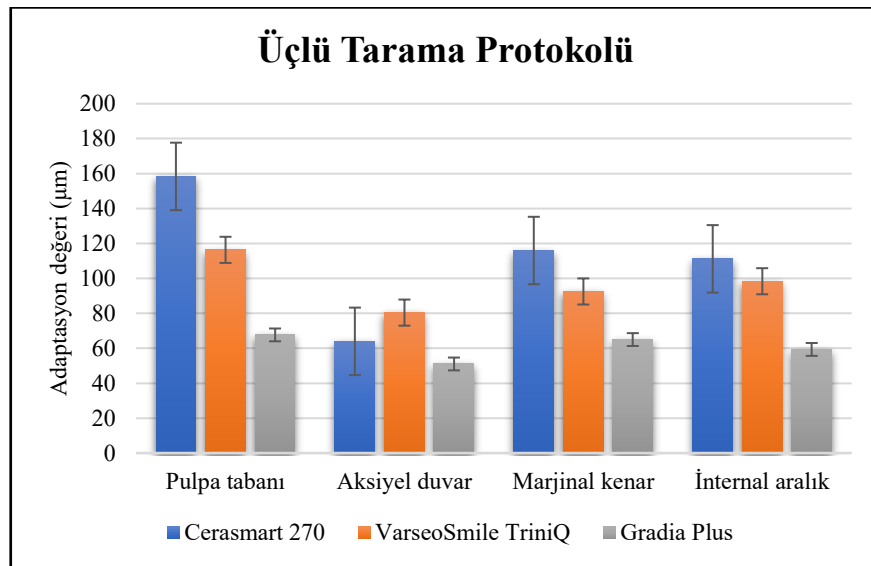
Üçlü tarama protokolü ile pulpa tabanındaki aralık değeri ölçümleri açısından gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p:0,001; p<0,05). Anlamlılığın hangi gruplardan kaynaklandığının tespiti için yapılan post hoc analizler sonucunda; Cerasmart 270 grubunun pulpa tabanındaki aralık değerleri, VarseoSmile TriniQ (p:0,001) ve Gradia Plus (p:0,001) gruplarından anlamlı şekilde yüksek bulunmuştur (p<0,05). VarseoSmile TriniQ grubunun pulpa tabanındaki aralık değerleri, Gradia Plus (p:0,001) grubundan anlamlı şekilde yüksek bulunmuştur (p<0,05) (Şekil 4.2).

Üçlü tarama protokolü ile aksiyel duvardaki aralık değeri ölçümleri açısından gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p:0,001; p<0,05). VarseoSmile

TriniQ grubunun aksiyel duvardaki aralık değerleri, Cerasmart 270 ($p:0,001$) ve Gradia Plus ($p:0,001$) gruplarından anlamlı şekilde yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Cerasmart 270 grubunun aksiyel duvardaki aralık değerleri, Gradia Plus ($p:0,001$) grubundan anlamlı şekilde yüksek bulunmuştur ($p<0,05$) (Şekil 4.2).

Üçlü tarama protokolü marjinal kenardaki aralık değeri ölçümleri açısından gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p:0,001$; $p<0,05$). Cerasmart 270 grubunun marjinal kenardaki aralık değerleri, VarseoSmile TriniQ ($p:0,001$) ve Gradia Plus ($p:0,001$) gruplarından anlamlı şekilde yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). VarseoSmile TriniQ grubunun marjinal kenardaki aralık değerleri, Gradia Plus ($p:0,001$) grubundan anlamlı şekilde yüksek bulunmuştur ($p<0,05$) (Şekil 4.2).

Üçlü tarama protokolü internal aralık değeri ölçümleri açısından gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p:0,001$; $p<0,05$). Cerasmart 270 grubunun internal aralık değerleri, VarseoSmile TriniQ ($p:0,008$) ve Gradia Plus ($p:0,001$) gruplarından anlamlı şekilde yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). VarseoSmile TriniQ grubunun internal aralık değerleri, Gradia Plus ($p:0,001$) grubundan anlamlı şekilde yüksek bulunmuştur ($p<0,05$) (Şekil 4.2).



Şekil 4.2: Üçlü Tarama Protokolü Kullanılarak Farklı Bölgelerden (Pulpa Tabanı, Aksiyel Duvar, Marjinal Kenar Ve İnternal Aralık) Elde Edilen Adaptasyon Testi Değerleri (Değerler μm Cinsindendir).

4.1.3 3B Analiz Programı ile Hacim Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Konvansiyonel, eksiltmeli ve 3B yazıcı kullanılarak eklemeli teknik ile farklı materyallerden üretilen endokron restorasyonların 3B analiz programı kullanılarak hesaplanan siman aralığı hacim sonuçları, her grubun ortalamaları ve standart sapmaları Tablo 4.3'te gösterilmektedir.

Tablo 4.3: 3B Analiz Programı Kullanılarak Elde Edilen Siman Aralığı Hacim Değerleri
Ortalamaları, Standart Sapmaları Ve p Değeri.

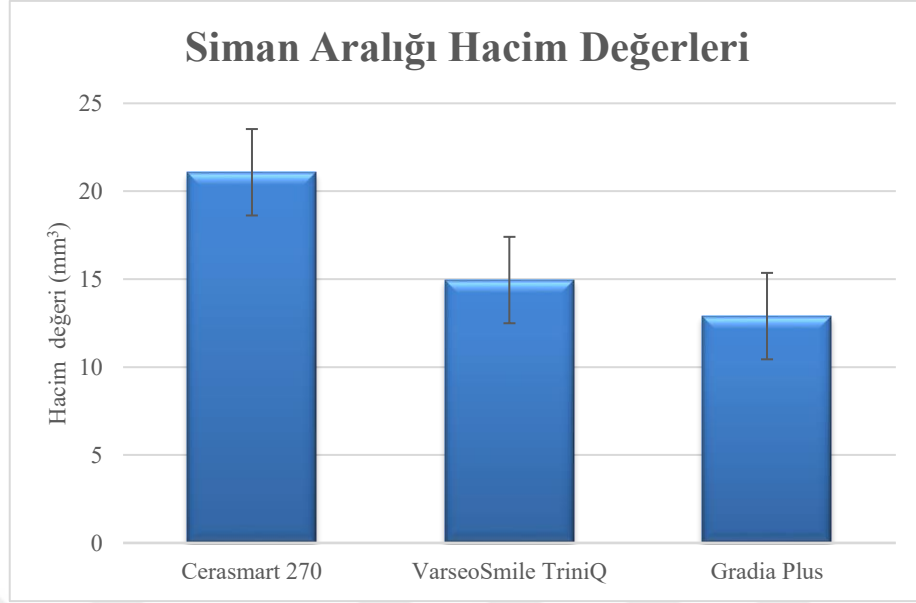
	Hacim
	Ort±SS
Cerasmart 270	21,08±7,52 ^a
VarseoSmile TriniQ	14,95±6,03 ^b
Gradia Plus	12,90±4,31 ^b
p	0,007*

Oneway ANOVA Test

**p<0,05*

Sütündeki farklı harfler gruplar arası farklılığı göstermektedir.

Siman aralığı hacim değerleri açısından gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p:0,007; p<0,05). Anlamlılığın hangi gruplardan kaynaklandığının tespiti için yapılan post hoc analizler sonucunda; Cerasmart 270 grubunun siman hacmi değerleri, VarseoSmile TriniQ (p:0,049) ve Gradia Plus (p:0,007) gruplarından anlamlı şekilde yüksek bulunmuştur (p<0,05). VarseoSmile TriniQ ve Gradia Plus grupları arasında hacim değerleri açısından anlamlı bir farklılık bulunmamıştır (p>0,05) (Şekil 4.3).



Şekil 4.3: 3B Analiz Programı Kullanılarak Elde Edilen Siman Aralığı Hacmi Test Değerleri (Değerler mm³ Cinsindendir).

4.1.4 Yüzey Çakıştırma Yöntemi ile Elde Edilen Marjinal Sapma Değerlerinin İncelenmesi

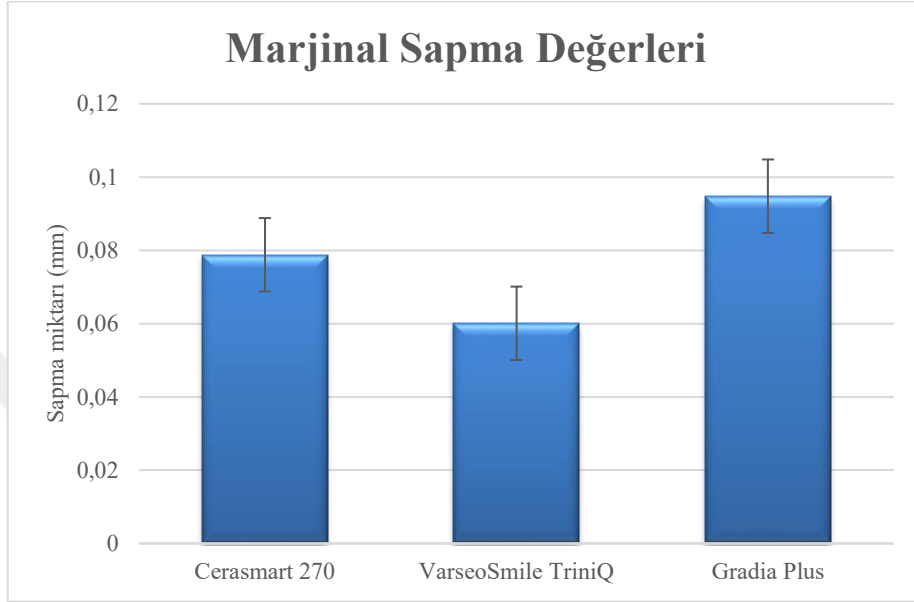
Konvansiyonel, eksiltmeli ve 3B yazıcı kullanılarak eklemeli teknik ile farklı materyallerden üretilen endokron restorasyonların yüzey çakıştırma yöntemi ile elde edilen marjinal sapma değeri sonuçları, her grubun ortalamaları, standart sapmaları ve medyan değerleri Tablo 4.4'te gösterilmektedir.

Tablo 4.4: Yüzey Çakıştırma Yöntemi Kullanılarak Elde Edilen Marjinal Sapma Değerleri Ortalamaları, Standart Sapmaları, Medyan Değerleri Ve p Değeri.

Marjinal Sapma Değeri		
	Ort±SS	Medyan
Cerasmart 270	0,0788±0,15 ^a	0,028 (0,013-0,072)
VarseoSmile TriniQ	0,0601±0,07 ^a	0,025 (0,011-0,090)
Gradia Plus	0,0948±0,15 ^b	0,032 (0,016-0,107)
<i>p</i>	<i>0,027*</i>	
<i>Kruskal Wallis Test</i>	<i>*p<0,05</i>	
<i>Farklı harfler gruplar arası farklılığı göstermektedir.</i>		

Marjinal sapma değeri ölçümleri açısından gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p:0,027; p<0,05). Anlamlılığın hangi gruplardan kaynaklandığının tespiti için

yapılan post hoc analizler sonucunda; Gradia Plus grubunun marjinal sapma değerleri, Cerasmart 270 ($p:0,020$) ve VarseoSmile TriniQ ($p:0,020$) gruplarından anlamlı şekilde düşük bulunmuştur ($p<0,05$). VarseoSmile TriniQ ve Cerasmart 270 grupları arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p>0,05$) (Şekil 4.4).



Şekil 4.4: Yüzey Çakıştırma Yöntemi İle Elde Edilen Marjinal Sapma Test Değerleri (Değerler mm Cinsindendir).

4.2 AŞINMA DEĞERLERİ BULGULARI

Çalışmanın aşınma miktarı bulguları aşınma hacmi ve aşınma derinliği değerleri incelenmesi olmak üzere 2 bölümde değerlendirilmiştir.

4.2.1 Aşınma Derinliği Bulguları

Konvansiyonel, eksiltmeli ve 3B yazıcı kullanılarak eklemeli teknik ile farklı materyallerden üretilen endokron restorasyonların termomekanik yaşlandırma sonrası her grubun aşınma derinliği ortalamaları, standart sapmaları ve medyan değerleri Tablo 4.5'te gösterilmektedir.

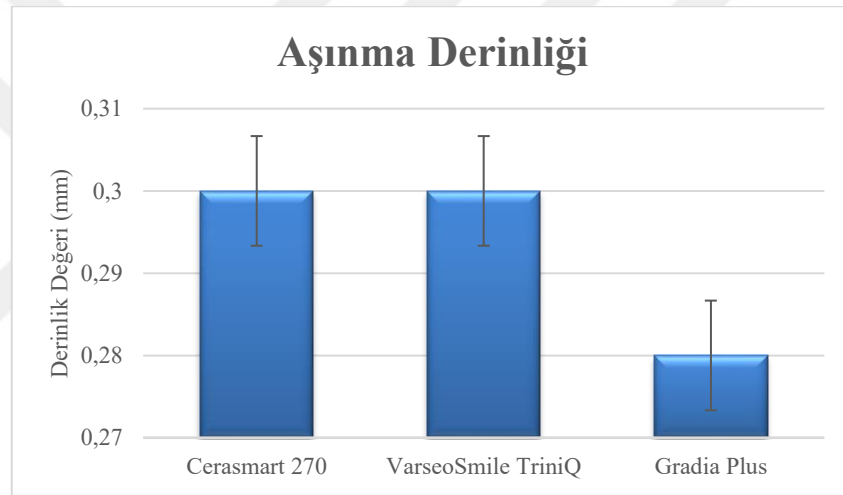
Tablo 4.5: Aşınma Derinlikleri Ortalamaları, Standart Sapmaları, Medyan Değerleri Ve p Değeri.

	Aşınma Derinliği		
	Ort±SS	Min-Max (Medyan)	p
Cerasmart 270	0,30±0,11	0,16-0,47 (0,26)	0,883
VarseoSmile TriniQ	0,30±0,09	0,13-0,43 (0,33)	
Gradia Plus	0,28±0,07	0,22-0,45 (0,26)	

One-Way Anova Testi

Ort: Ortalama; SS: Standart Sapma

Aşınma derinlikleri ölçümleri açısından gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p:0,883$; $p>0,05$). Aşınma derinliği test değerleri karşılaştırılması Şekil 4.5te gösterilmektedir.



Şekil 4.5: Aşınma Derinlikleri Test Değerleri (Değerler mm Cinsindendir).

4.2.2 Aşınma Hacmi Bulguları

Konvansiyonel, eksiltmeli ve 3B yazıcı kullanılarak eklemeli teknik ile farklı materyallerden üretilen endokron restorasyonların termomekanik yaşlandırma sonrası her grubun aşınma hacmi değerlerinin ortalamaları, standart sapmaları ve medyan değerleri Tablo 4.6'da gösterilmektedir.

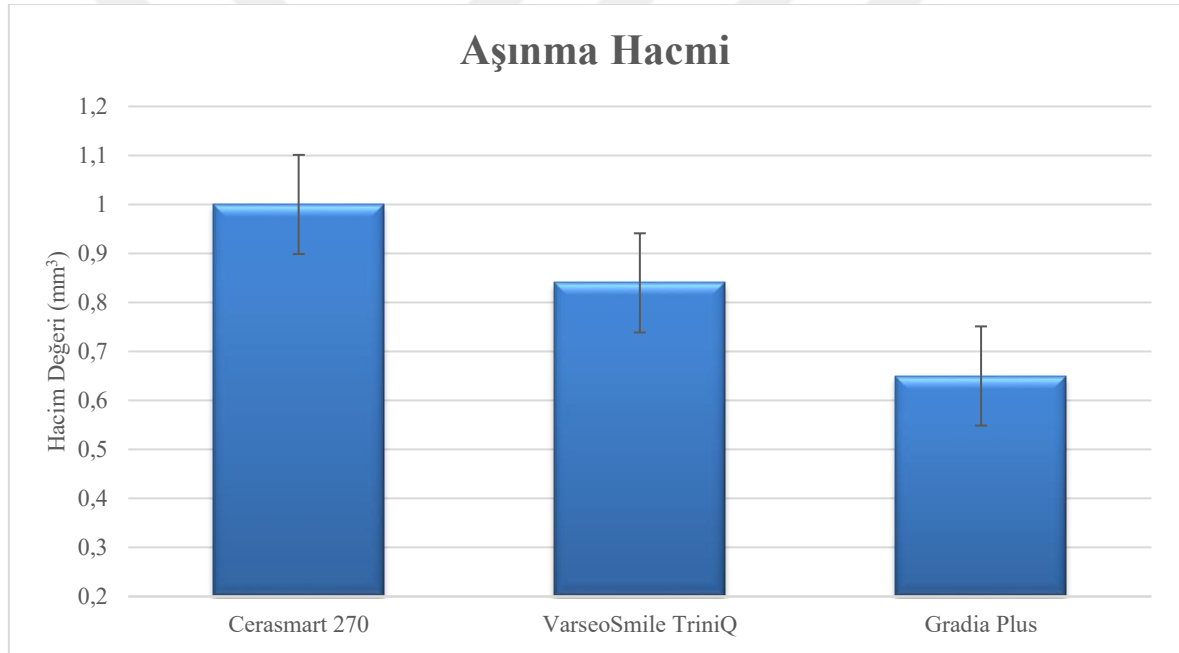
Tablo 4.6: Aşınma Hacmi Ortalamaları, Standart Sapmaları, Medyan Değerleri Ve p Değeri.

Aşınma Hacmi			
	Ort±SS	Min-Max (Medyan)	p
Cerasmart 270	1,00±0,87	0,01-2,65 (0,81)	0,465
VarseoSmile TriniQ	0,84±0,7	0,2-2,02 (0,51)	
Gradia Plus	0,65±0,35	0,06-1,28 (0,6)	

Oneway ANOVA Test

Ort: Ortalama; SS: Standart Sapma

Aşınma hacmi değerleri karşılaştırıldığında gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p:0,465$; $p>0,05$). Aşınma hacmi test değerleri karşılaştırılması Şekil 4.6'da gösterilmektedir.



Şekil 4.6: Aşınma Hacmi Test Değerleri (Değerler mm³ Cinsindendir).

4.3 KIRILMA BULGULARI

Çalışmanın kırılma bulguları, ortalama kırılma dayanımı değerleri ve kırık tiplerinin dağılımlarının incelenmesi olmak üzere 2 bölümde değerlendirilmiştir.

4.3.1 Kırılma Dayanımı Test Bulguları

Konvansiyonel, eksiltmeli ve 3B yazıcı kullanılarak eklemeli teknik ile farklı materyallerden üretilen endokron restorasyonların termomekanik yaşlandırma sonrası kuvvet uygulanan

örneklerin kırıldığı noktadaki Newton değerleri ölçüm sonuçları, her grubun ortalamaları, standart sapmaları ve medyan değerleri Tablo 4.7’de gösterilmektedir.

Tablo 4.7: Farklı Üretim Teknikleriyle Farklı Materyallerden Üretilen Endokron Restorasyonların Yaşlandırma Sonrası Ortalama Kırılma Dayanımı Değerleri, Standart Sapmaları, Medyan Değerleri Ve p Değeri.

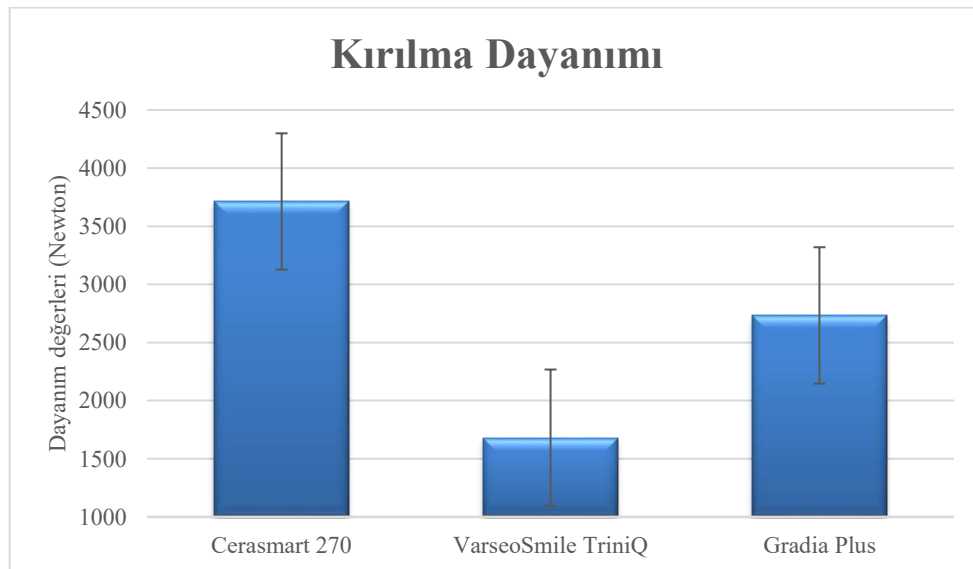
	Kırılma Dayanımı		p
	Ort±SS	Min-Max (Medyan)	
Cerasmart 270	3712,7±583,72 ^a	2800,67-4836,37 (3708,86)	0,001*
VarseoSmile	1681,31±234,18 ^b	1280,3-2051,1 (1701,2)	
TriniQ			
Gradia Plus	2732,94±651,69 ^c	1305,3-3662,5 (2685,35)	

Oneway ANOVA Test

Ort: Ortalama; SS: Standart Sapma

**p<0,05*

Kırılma dayanımı açısından gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p:0,001; p<0,05). VarseoSmile TriniQ grubunun kırılma dayanımı, Cerasmart 270 (p:0,001) ve Gradia Plus (p:0,001) gruplarından anlamlı şekilde düşük bulunmuştur (p<0,05). Cerasmart 270 grubunun kırılma dayanımı, Gradia Plus grubundan anlamlı şekilde yüksek bulunmuştur (p:0,001; p<0,05) (Şekil 4.7).



Şekil 4.7: Kırılma Dayanımı Test Değerleri.

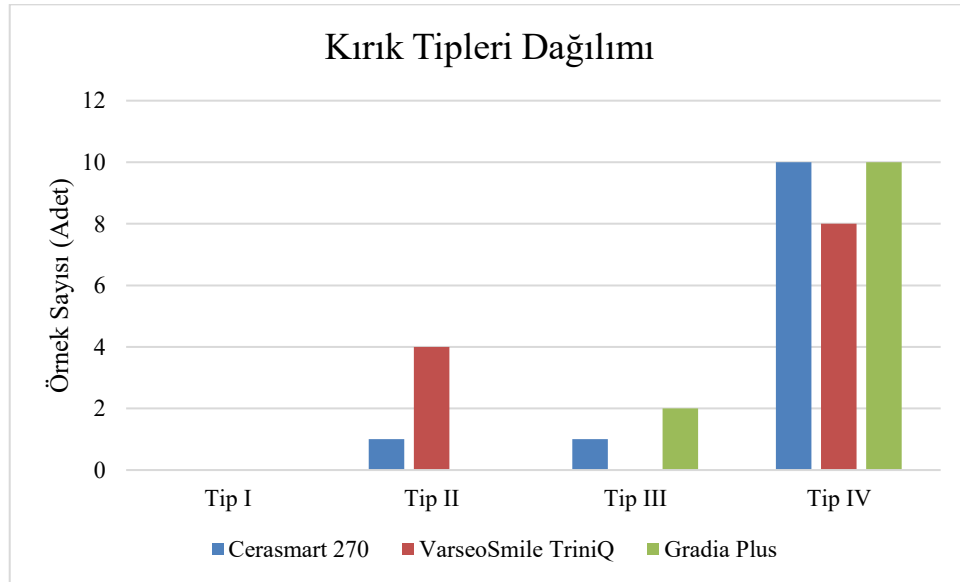
4.3.2 Kırık Tipleri Dağılım Bulguları

Konvansiyonel, eksiltmeli ve 3B yazıcı kullanılarak eklemeli teknik ile farklı materyallerden üretilen endokron restorasyonların termomekanik yaşlandırma sonrası kırılan örneklerin Burke sınıflamasına göre kırık tiplerinin dağılımı Tablo 4.8’de gösterilmektedir.

Tablo 4.8: Kırık Tiplerinin Burke Sınıflamasına Göre Dağılımı (Değerler Adet Cinsindendir).

	Kırık Tipleri Dağılımı			
	Tip I	Tip II	Tip III	Tip IV
Cerasmart 270	0	1	1	10
VarseoSmile TriniQ	0	4	0	8
Gradia Plus	0	0	2	10

Örnekler kırılma testi sonrası stereomikroskop altında incelenmiştir ve kırık tipleri Burke sınıflamasına göre ayrılmıştır (Gresnigt ve diğerleri, 2016). Cerasmart 270 endokron örneklerinin universal test cihazında kırılması sonucunda %83,3 Tip IV, %8,3 Tip III, %8,3’i Tip II şeklinde kırık gözlenmiştir. VarseoSmile TriniQ endokron örneklerinin %66,6’sında Tip IV kırık gözlenirken, %33,3’ünde Tip II kırık gözlenmiştir. Gradia Plus endokron örneklerinde %83,3 Tip IV, %16,6 Tip III kırık görülmüştür. Kırık tiplerinin dağılımlarının karşılaştırılması Şekil 4.8’de gösterilmektedir.



Şekil 4.8: Kırık Tiplerinin Burke Sınıflamasına Göre Dağılımı.

5. TARTIŞMA

Protetik diş hekimliğinde, çürük, travma veya diğer faktörler nedeniyle büyük madde kaybı olan dişlerin üstün uyum ve mekanik özellikleri olan restorasyonlar ile tedavi edilmesi oldukça önemli bir konudur. Bu hedefe ulaşmak için, dijital diş hekimliği teknolojisiyle birlikte geliştirilen birçok materyal ve üretim tekniği kullanılmaktadır.

Günümüz diş hekimliğinde dijital teknolojiye gelişmelerle birlikte restorasyon üretiminde farklı üretim teknikleri ve materyaller kullanıma sunulmuştur. Yeni üretim teknikleri ve geleneksel yöntemler arasında hangi tekniğin daha güvenilir performans sergilediğini bilmek klinisyen için oldukça önemlidir. Çalışmamızda farklı teknikler (eklemeli, eksiltmeli ve konvansiyonel) ile üretilen endokron restorasyonların internal ve marjinal adaptasyonları, aşınma dirençleri ve kırılma dayanımları incelenmiştir.

İnternal adaptasyon restorasyonların başarısı için oldukça önemli bir faktördür. Protetik restorasyonlarda zayıf internal adaptasyonun kullanılan materyallerin ömrünü olumsuz etkileyebileceği yaygın olarak kabul edilmektedir. İnternal adaptasyondaki herhangi bir bozulma siman kalınlığının artmasına, rotasyonel stabilitenin bozulmasına, retansiyonun azalmasına ve kırılma direncinin düşmesine neden olabilir (Wettstein ve diğerleri, 2008).

Restorasyonların internal adaptasyonu fotoğraflama, bilgisayar destekli uzamsal analiz, mikro-BT, silikon replika tekniği, üçlü tarama protokolü gibi pek çok yöntemle değerlendirilebilir (Ayres ve diğerleri, 2024). Silikon replika yöntemi, ağız ortamında kullanım kolaylığı ve alternatif yöntemlere kıyasla daha düşük maliyet gibi önemli avantajları nedeniyle hem in-vitro hem de in-vivo çalışmalar için sıklıkla tercih edilmektedir. Bu çalışmada, daha maliyetsiz, kullanımı basit, hassas ve hassasiyet kaybı olmadan hızla tekrarlanabilen silikon replika tekniği kullanılmıştır. Ayrıca bu teknik dayanak dişe veya restorasyona zarar vermeyen bir tekniktir. Bununla birlikte, bu tekniğin bazı sınırlamaları vardır. Bu sınırlamalar arasında silikon ölçü materyali sertleştikten sonra oluşabilecek yırtık gibi deformasyonlar ve polimerizasyon büzülmesine bağlı boyutsal stabilite sorunlarından kaynaklanan ölçüm hataları yer almaktadır. Ayrıca yalnızca 2B ölçümler verebilen bu sistemde ölçümler sırasında standardizasyonu sağlamak zor olmaktadır (Son ve diğerleri, 2019). Ancak bazı çalışmalar silikon replika tekniğinin güvenilirliğinin yüksek olduğunu bildirmişlerdir (El Ghouli ve diğerleri, 2020; Ariganello ve diğerleri, 2018).

Birçok çalışmada, marjinal ve internal uyum geleneksel stereomikroskop ile silikon replika tekniği uygulanarak değerlendirilmiştir (Park ve diğerleri, 2016; Lee ve diğerleri, 2017; Mai ve diğerleri, 2017). Çalışmalar, sabit protezlerin marjinal uyumunu değerlendirmek için dayanak diş üzerinde 50'den fazla noktanın ölçülmesi gerektiğini bildirmiştir (Groten ve diğerleri, 2000). Örneğin, Su ve diğerleri (2016) silikon replika tekniğini kullanarak restorasyonların genel uyumunu değerlendirirken dayanak diş başına 16 nokta ölçmüştür (Su ve diğerleri, 2016). Rodiger ve diğerleri (2017) silikon replika tekniğini kullandıkları çalışmalarında zirkon kronların uyumunu değerlendirirken diş başına 64 nokta ölçmüşlerdir (Rodiger ve diğerleri, 2017). Benzer şekilde, Berrendero ve diğerleri (2016) silikon replika tekniği ile ürettikleri seramik kronların uyumunu değerlendirmiş ve diş başına 40 nokta ölçmüşlerdir (Berrendero e diğerleri, 2016). Çalışmamızda, silikon replika tekniği ile internal ve marjinal uyumu değerlendirmek için her bir restorasyon için 60 noktadan ölçüm yapılmıştır.

Çalışmamızda internal ve marjinal aralık değerlendirmesi için silikon replika tekniğinin yanı sıra dijital bir yöntem olan üçlü tarama tekniği de kullanılmıştır. Silikon replika yöntemi literatürde uyum değerlendirmesi için en yaygın kullanılan teknik olmasına rağmen, Boitelle ve diğerleri (2018) bu konuda kesin bir altın standart veya fikir birliği olmadığını vurgulamışlardır. Boitelle ve diğerleri (2018), bizim metodolojimize benzer şekilde silikon replika tekniği ve Holst'un üçlü tarama protokolünü kullanarak zirkonya altyapıların marjinal uyumunu hem 2B hem de 3B olarak incelemişlerdir. Dayanak dişi, altyapıyı ve altyapının modele simante edilmiş halini taramış ve ardından bu üç dijital veri kümesini Geomagic Inspect (3B Systems, North Carolina, ABD) programı ile üst üste karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar her iki yöntemin de marjinal uyumu değerlendirmek için geçerli olduğunu göstermekle birlikte üçlü tarama protokolünün daha tekrarlanabilir ve güvenilir olduğu sonucuna varmışlardır. Hasanzade ve arkadaşları (2023), CAD/CAM bloklarıyla kronlar üzerine yaptığı çalışmada hem silikon replika hem de üçlü tarama protokol tekniğini kullanarak teknik değerlendirmesi yapmıştır ve ikisinin de güvenilir sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir (Hasanzade ve diğerleri, 2023). Bizim çalışmamızda, ağız içi tarayıcı kullanarak hem 2B hem de 3B analizleri destekleyen Geomagic Control X 2020.1 yazılımı (3B Systems, North Carolina, ABD) ile üçlü tarama protokolü kullanıldı. Çalışmamızda hem silikon replika tekniğinde hem de üçlü tarama tekniğinde eksiltmeli teknikle üretilen endokronların marjinal ve internal uyumsuzluğu, eklemeli ve

konvansiyonel teknikle üretilen endokronlardan anlamlı şekilde daha yüksek bulunması, bu tekniklerin birbirlerini doğruladıklarını ve her iki yöntemin de güvenilir olabileceği sonucunu bize düşündürmektedir.

Dental restorasyonlarda zayıf internal adaptasyonun kullanılan materyallerin ömrünü olumsuz etkileyebileceği yaygın olarak kabul edilmektedir. Literatürde internal adaptasyon için farklı değerler bildirilmiştir (Guess ve diğerleri, 2014). Sistematik bir derlemede, 23 μm -406,5 μm arasında değişen internal aralık değerleri bildirilmiştir (Goujat ve diğerleri, 2019). Bazı çalışmalarda, 50-100 μm 'luk bir internal aralığın rezin simanın ideal performansı için yeterli olduğu bildirilirken (Alfaro ve diğerleri, 2015; Lins ve diğerleri, 2015; Mously ve diğerleri, 2014), 75-160 μm arasındaki aralığın, internal adaptasyon ve marjinal adaptasyon için kabul edilebilir olduğunu bildiren çalışmalar da mevcuttur (Boitelle ve diğerleri, 2014; Nawafleh ve diğerleri, 2013; El Ghoul ve diğerleri, 2020). Bizim çalışmamızın sonuçlarına göre, silikon replika tekniği ile ölçülen internal aralık değerleri ortalaması; Cerasmart 270 grubu için 150,89 μm , VarseoSmile TriniQ için 136,03 μm , Gradia Plus için 108,35 μm 'dur. Üçlü tarama tekniğine göre ölçülen internal aralık değerleri ortalaması; Cerasmart 270 grubu için 111,18 μm , VarseoSmile TriniQ için 98,37 μm , Gradia Plus için 59,33 μm 'dur. Çalışmamızda ölçülen internal aralık değerleri literatürde kabul edilen sınır değerler arasında bulunmuştur.

Birçok araştırmacı klinik olarak kabul edilebilir marjinal aralık üzerine çalışmalar yapmıştır (Nawafleh ve diğerleri, 2013; Moldovan ve diğerleri, 2011). McLean ve Von Fraunhofer (1971) tarafından 1.000'den fazla sabit restorasyon üzerinde yürütülen beş yıllık bir araştırmada, 80 μm 'dan daha az bir marjinal aralığın klinik koşullar altında tanımlanmasının zor olduğu ve 120 μm 'nin tolere edilebilir maksimum marjinal aralık olduğu sonucuna varmışlardır (McLean ve Von Fraunhofer, 1971). Benzer şekilde, Euan ve diğerleri (2014) 50-120 μm arasında değişen bir marjinal boşluğun klinik olarak kabul edilebilir olduğunu savunmuşlar, Boening ve diğerleri (2000) ise klinik olarak kabul edilebilir aralığın 100- 200 μm arasında olabileceğini bildirmişlerdir (Euan ve diğerleri, 2014; Boening ve diğerleri, 2000). Moldovan ve diğerleri (2006) tarafından yapılan bir başka çalışmada 100 μm 'lık bir boşluğun ideal olduğu ve kabul edilebilir aralığın 300 μm 'ye kadar olabileceği bildirilmiştir (Moldovan ve diğerleri, 2006). Bazı araştırmacılar ise internal ve marjinal adaptasyon için 75-160 μm arasındaki aralığı kabul edilebilir olarak değerlendirmişlerdir (Boitelle ve

diğerleri, 2014; Nawafleh ve diğerleri, 2013; El Ghoul ve diğerleri, 2020). Sabit restorasyonlar için klinik olarak kabul edilebilir marjinal aralığı kesin olarak belirlemek zordur ve bildirilen değerler 7,5 µm-206 µm arasında değişen geniş bir yelpazede farklılık göstermektedir (Nawafleh ve diğerleri, 2013). Değerlerdeki bu değişim öncelikle uyumu belirlemek için kullanılan yöntemlerdeki farklılıklara, takip edilen test parametrelerine ve test edilen materyallere bağlanabilir (Nawafleh ve diğerleri, 2013). Araştırma sonuçlarımıza göre, silikon replika tekniği ile ölçülen marjinal aralık değerleri ortalaması; Cerasmart 270 grubu için 150,52 µm, VarseoSmile TriniQ için 127,21 µm, Gradia Plus için 129,52 µm'dur. Üçlü tarama tekniğine göre ölçülen marjinal aralık değerleri ortalaması; Cerasmart 270 grubu için 115,95 µm, VarseoSmile TriniQ için 92,52 µm, Gradia Plus için 64,98 µm'dur. Çalışmamızda ölçülen marjinal aralık değerleri literatürde kabul edilen sınır değerler arasında bulunmuştur.

Çalışmamızda materyal grupları arasında hem silikon replika hem de üçlü tarama tekniği için en yüksek internal ve marjinal aralık değerleri Cerasmart 270 grubunda gözlenmiştir. Dijital yöntemler olan eklemeli ve eksiltmeli üretim tekniklerinin konvansiyonel tekniğe göre daha düşük uyum göstermesinin nedeni ölçü alımı sırasında kullanılan farklı teknikler olabilir. Çalışmamızda, konvansiyonel yöntemle oluşturulan indirekt kompozit rezin endokron restorasyonlar için alçı model oluşturulmak üzere A tipi silikon ölçü materyali kullanılmıştır. 3B baskı ve eksiltmeli üretim teknikleri ile oluşturulmuş restorasyonların sanal modelinin oluşturulmasında ağız içi tarayıcı kullanılmıştır.

Preparasyonu ölçüye doğru bir şekilde aktarmak, restorasyonun doğru bir şekilde preparasyona oturması ve uyumluluğu için çok önemlidir. Günümüzde, ölçü almak için hem dijital hem de konvansiyonel yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Polieter ve polivinil siloksan ölçü materyalleri, konvansiyonel teknikler arasında en çok tercih edilenleridir (Abduo ve Elseyoufi, 2018). Kuhr ve arkadaşları (2016), polieter ölçü materyali kullanılarak oluşturulan modeller ağız içi tarayıcı ile oluşturulan sanal modellere kıyasla daha az sapma gösterdiğini bildirmişlerdir (Kuhr ve diğerleri, 2016; Flügge ve diğerleri, 2013). Bu materyaller yüksek boyutsal stabilitesi ve doğruluğu ile bilinmekle birlikte, ölçü alımı ile alçı dökümü arasındaki süre ve dezenfeksiyon prosedürleri gibi faktörler ölçüm hassasiyetini etkileyebilir. Buna karşılık, dijital ölçümler bu faktörleri ortadan kaldırarak klinik sürenin

kısalması, hasta konforunun artması ve uzun vadeli maliyetlerin düşmesi gibi avantajlar sağlamaktadır (Abduo ve Elseyoufi, 2018).

Konvansiyonel ölçü teknikleri ile ağız içi tarayıcı sistemleri birçok çalışmada karşılaştırılmıştır (Rudolph ve diğerleri, 2016; Yang ve diğerleri 2015). Geleneksel prosedürlerde, ölçü materyalinin uygulanması ve çıkarılması sırasında yırtılma veya bozulma nedeniyle veya modeli oluşturmak için kullanılan alçı dökme işlemleri sırasında sık görülen hatalar meydana gelebilir (Ender ve diğerleri, 2016; Ender ve Mehl, 2015; Ender ve diğerleri, 2016). Son araştırmalar, tek diş taramaları için intraoral tarayıcılardan alınan ölçülerin, polivinil siloksan ve polieter materyallerle alınan ölçümlerle karşılaştırılabilir doğrulukta olduğunu göstermektedir (Lee ve diğerleri, 2017; Rudolph ve diğerleri, 2016; Yang ve diğerleri 2015). Ancak, tam ark taramaları söz konusu olduğunda, çalışmalar polivinil siloksan ölçü materyalinin ağız içi tarayıcılardan daha iyi performans gösterdiğini bildirmişlerdir (Ender ve Mehl, 2013, 2015; Ender ve diğerleri, 2016; Jeong ve diğerleri, 2016). Ağız içi tarayıcılardan ve geleneksel yöntemlerden elde edilen ölçümler arasında farklılıklar tespit edilmesine rağmen, bu boyutsal farklılıkların klinik önemi henüz belirlenmemiştir (Abduo ve Elseyoufi, 2018).

Dijital ve konvansiyonel ölçü alma yöntemlerinin adaptasyon üzerindeki etkisini inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır (Rippe ve diğerleri, 2017; Ludhardt ve diğerleri, 2012; Almeida ve diğerleri, 2014; Ueda ve diğerleri, 2015). Konvansiyonel ve dijital yöntemler kullanılarak üretilen onley restorasyonların marjinal uyumunun mikroskop altında incelendiği bir çalışmada, geleneksel yöntemlerle alçı model üzerinde teknisyen tarafından üretimi gerçekleştirilen onley restorasyonların, dijital ölçü ardından eksiltmeli yöntem ile üretilenlere göre daha düşük marjinal uyuma sahip olduğu bildirilmiştir (Garcia-Cuesta ve diğerleri, 2021). Aynı çalışmada her iki tekniğin klinik olarak kabul edilebilir değerlere sahip olduğu ve dijital yöntemlerin konvansiyonel yöntemlere göre daha üstün marjinal uyum sergiledikleri bildirilmiştir (Garcia-Cuesta ve diğerleri, 2021).

Rippe ve diğerleri (2017), ağız içi tarayıcı kullanılarak üretilen kronların marjinal adaptasyonlarını değerlendirmiş ve bunları silikon ölçü kullanılarak üretilenlerle karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda her iki yöntemin de karşılaştırılabilir ve kabul edilebilir sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir (Rippe ve diğerleri, 2017). Mehl ve arkadaşları (2009) ve Luthardt ve arkadaşları (2012) ağız içi tarayıcılarla veri toplamanın doğruluğunu

değerlendirmişler ve bu yöntemin doğruluğunun geleneksel tekniklerden daha düşük olduğunu bildirmişlerdir (Mehl ve diğerleri, 2009; Luthardt ve diğerleri, 2012). Almeida ve arkadaşları (2014) ve Seelbach ve arkadaşları (2013) ağız içi tarayıcılarla ve konvansiyonel olarak alınan ölçülerin doğruluğunun karşılaştırılabilir sonuçlar gösterdiğini bildirmişlerdir (Almeida ve diğerleri, 2014; Seelbach ve diğerleri, 2013). Buna karşılık Zarauz ve arkadaşları (2016) ve Ueda ve arkadaşları (2015) ağız içi tarayıcıların geleneksel yöntemlerden daha doğru olduğunu bildirmişlerdir (Zarauz ve diğerleri, 2016; Ueda ve diğerleri, 2015). Ağız içi tarayıcıların doğruluk hassasiyeti, çalışmamızın bulgularında konvansiyonel yöntem ile üretilen endokronların adaptasyonlarının daha iyi sonuçlar vermesinin nedenlerinden biri olabilir.

Birçok araştırmacı sabit restorasyonlarda klinik olarak kabul edilebilir marjinal aralık üzerine yaptığı çalışmaların sonucunda, aralık değerlerinin 7,5 µm ila 206 µm arasında değiştiğini ve ideal aralığın ne olduğunu belirlemenin zor olduğunu bildirmişlerdir (Nawafleh ve diğerleri, 2013; Moldovan ve diğerleri, 2011). Bu değişiklik öncelikle “uyum” tanımındaki tutarsızlığa, uyumu belirlemek için kullanılan yöntemlerdeki farklılıklara, takip edilen test parametrelerine ve incelenen materyallere bağlanabilir (Nawafleh ve diğerleri, 2013). Marjinal ve internal uyumu değerlendiren çalışmalarda gözlemlenen değerlerdeki farklılıkların ana nedeni, standartlaştırılmış bir ölçüm tekniğinin olmaması olabilir. Çalışmamızda silikon replika ve üçlü tarama tekniklerinde istatistiksel olarak benzer sonuçlar çıksa da ortalama mikron değerleri her iki teknikte farklılık göstermiştir. Silikon replika tekniğinde light body'nin çıkarılması sırasında yırtılma ve deformasyon faktörü, silikon ölçü materyalinin boyutsal stabilitesini koruması konusundaki zorluk gibi teknik aksaklıklar söz konusu olabilmektedir. Üçlü tarama protokolünde ise tarama doğruluğu, 3B yazılım programının en doğru şekilde çakıştırabilmesi için çok büyük önem arz etmektedir. Bu da yanıltıcı sonuçlara sebebiyet verebilmektedir (Çakmak ve diğerleri, 2023a).

Hassan ve arkadaşları (2021), belirlenen siman aralığının marjinal uyumsuzluktaki farklılıklar üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olduğunu ve siman aralığının 40 µm'den daha az tercih edilmesi durumunda restorasyonun oturmasını engelleyerek marjinal uyumsuzluğun artmasına neden olabileceğini belirtmişlerdir (Hassan ve diğerleri, 2021). Buna paralel olarak bazı çalışmalarda 50 µm siman aralığı kullanılmıştır (Taha ve diğerleri, 2018; El Damanhoury ve diğerleri, 2015). Hasanzade ve arkadaşları (2020), iki farklı ölçüm

teknikleriyle kronların marjinal ve internal uyumunu değerlendirdikleri çalışmalarında 60 µm siman aralığı bırakmışlardır (Hasanzade ve diğerleri, 2020). Bizim çalışmamızda, iyi bir marjinal sızdırmazlık sağlamak ve restorasyonun daha doğru bir şekilde oturmasına izin vermek için 60 µm siman aralığı bırakarak dizaynlar gerçekleştirilmiştir.

Klinik olarak başarılı ve uzun ömürlü dental restorasyonlar için üretim doğruluğu, internal uyum ve marjinal bütünlük çok önemlidir (Çakmak ve diğerleri, 2021; Çakmak ve diğerleri, 2024a; Çakmak ve diğerleri, 2024c). İyi oturan bir restorasyon mikro sızıntıyı, bakteriyel infiltrasyonu, sekonder çürükleri ve periodontal enflamasyonu azaltabilir (Pacquet ve diğerleri, 2023). Eklemeli teknikle üretilen restorasyonların üretim doğruluğunun baskı teknolojisine, maruz kaldığı enerji durumuna (exposure energy condition), katman kalınlığına, baskı yönüne, destek geometrisine, son işlem (post-processing) yöntemlerine ve reçinelerin viskozite, doldurucu boyutu ve doldurucu içeriği gibi materyal özelliklerine bağlı olduğu bildirilmiştir (Shim ve diğerleri, 2020; Alharbi ve diğerleri, 2016; Çakmak ve diğerleri, 2024b; Çakmak ve diğerleri, 2023a).

Araştırmacılar, SLA ve DLP teknikleri kullanılarak oluşturulan modelleri incelemiş ve karşılaştırmış, DLP'nin SLA'dan daha hassas sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir (Alenezi ve Yehya, 2023). Bu nedenle bizim çalışmamızda tek bir DLP yazıcı kullanılmasına karar verilmiştir.

Ryu ve arkadaşları (2020) çalışmalarında geçici restorasyonların 3B yazıcı ile üretiminde, 6 farklı basım yönü (120°, 135°, 150°, 180° (0°), 210°, 225°) seçerek marjinal ve internal uyumları silikon replika tekniği ile incelemişlerdir. Araştırmacıların sonuçlarına göre marjinal uyumun tüm basım yönlerinde klinik olarak izin verilebilir aralık olduğu gösterilmiştir. Buna rağmen internal uyum baskı yönüne bağlı olarak servikal ve oklüzal yüzeylerde farklılık göstermektedir. Araştırmacılar elde ettikleri sonuçlara göre marjinal ve internal uyumları göz önünde bulundurdıklarında, optimum basım yönünü 150° ve 180° (0°) olarak önermişlerdir (Ryu ve ark., 2020). Farag ve arkadaşları (2024) çalışmalarında 3B baskı teknolojisinin ve basım yönünün (0°, 45° ve 90° açılar) 3B baskılı daimi kronların marjinal doğruluğu üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında 60 mandibular molar kron üretmiş ve baskı teknolojisi ve açısına göre gruplara ayrılmışlardır. Kronların marjinal doğruluğu, kron marjinali ile abutment bitiş çizgisi arasındaki dikey mesafe ölçülerek değerlendirilmiştir. Çalışmalarının sonucunda, basım açısının 3B baskılı kronların marjinal

doğruluğunu etkilediğini hem SLA hem de DLP teknolojisi için 90° yapı açısının 0° ve 45°'ye göre daha yüksek marjinal uyumsuzluk sonuçları verdiğini ortaya koymuşlardır (Farg ve diğerleri, 2024). Bu sonuçlara paralel olarak çalışmamızda üretici tavsiyesine de uyularak 3B baskılı restorasyonların üretiminde 0° baskı yönü kullanılmıştır.

Literatürde 3B baskılı dental kompozit reçineler kullanılarak üretimi gerçekleştirilmiş restorasyonlarda doğruluk ve uyum araştırması yapan pek çok çalışma olmuştur (Çakmak ve diğerleri, 2024a; Çakmak ve diğerleri, 2023a). Bu çalışmalardan önemli bir kısmı yüksek üretim doğruluğu ve yeterli uyum bildirmişlerdir (Çakmak ve diğerleri, 2021; Çakmak ve diğerleri, 2024b; Molinero-Mourelle ve diğerleri, 2024; Çakmak ve diğerleri, 2023a). Ancak bizim çalışmamızda tüm grupların ortalama internal ve marjinal değerleri orijinal tasarım dosyasında belirlenen siman aralığından daha yüksek bulunmuştur. Eklemeli teknikle üretilen restorasyonların uyumu üzerine yapılan önceki çalışmalarda da benzer bulgular elde edilmiştir (Molinero-Mourelle ve diğerleri, 2024; Çakmak ve diğerleri, 2023a; Demirel ve diğerleri, 2023; Sabatini ve diğerleri, 2024) ve bu bulguların eklemeli üretim sırasındaki tabaka kalınlığı ayarı ile ilişkili olabileceği bildirilmiştir (Sabatini ve diğerleri, 2024). Katmanların tabaka tabaka birbiri üzerine eklenmesiyle ürün oluşturan 3B yazıcılar ile üretimin doğasında bulunan merdiven etkisi (staircase effect), son ürün doğruluğuna ve yüzey pürüzlülüğüne doğrudan etki eder (You ve diğerleri, 2020). Daha düşük katman kalınlığı ayarları, ürünün doğruluğunu, yüzey pürüzlülüğünü ve adaptasyonunu iyileştirmeye fayda sağlarken, işlem süresini ise arttırır (You ve diğerleri, 2020). Mevcut teknoloji ile bu etki tamamen ortadan kaldırılamaz, ancak katman kalınlığı düşürülerek azaltılabilir. Çalışmamızda 3B baskı restorasyonlar, firma talimatlarına uygun olarak tabaka kalınlığı 50 µm olarak üretilmiştir.

Eksiltmeli teknik ile üretilmiş restorasyonların marjinal adaptasyonu, kazıma frezlerinin keskinliği ve çapı, kazınan materyallerin sertliği, dayanak tasarımı, siman aralığı ayarı gibi işlemeye bağlı üretim doğruluğu faktörlerinden etkilenebilir (Hasanzade ve diğerleri, 2020). Suksuphan ve diğerleri (2024), restorasyonların frezelenmesinden sonra frez uçlarının ortalama aşındırma yüzdelерinin %100'den %25'e düştüğünü gözlemlemiştir (Suksuphan, 2024). Çalışmamızda eksiltmeli restorasyon üretim sürecinde aynı tarayıcı, aynı tasarım program, aynı siman aralığı ve yeni takım frezler kullanılarak üretim doğruluğunun en az şekilde etkilenmesine dikkat edilmiştir.

CAD/CAM restorasyonların marjinal adaptasyonunun materyale bağılı olduğu (Oguz ve ark, 2021; El Ghoul ve diğerleri, 2020) ve her materyalin kimyasal ve mikroyapısal özelliklerinin CAD/CAM üretiminin doğruluğunu ve hassasiyetini etkilediği öne sürülmüştür (Hasanzade ve diğerleri, 2020). El Ghoul ve diğerleri (2020) seramik ve rezin içerikli bloklar arasında önemli farklılıklar gözlemlemiş olup, sertlik ve adaptasyon arasında negatif bir ilişki saptamıştır. Bu sonuç, mekanik özellikler ve yapısal bileşenlerle işlenebilirlik arasında ilişki kuran önceki çalışmalarla paralel bulunmuştur. (El Ghoul ve diğerleri, 2020; Coldea ve diğerleri, 2013; Goujat ve diğerleri, 2018). Öte yandan, diğer çalışmalar rezin içerikli materyallerin düşük kırılgenlığı nedeniyle daha iyi işlenebilirlik ve adaptasyona sahip olduğunu bildirmişlerdir (Awada ve diğerleri, 2015; De Paula ve diğerleri, 2017; Rippe ve diğerleri, 2017).

Suksuphan ve arkadaşlarının (2024) çalışmasında 3B baskılı yöntemi ile üretilen kronlar eksiltmeli üretim yöntemiyle elde edilen kronlara göre daha düşük marjinal aralık değerleri göstermiştir (Suksuphan ve diğerleri, 2024). Bu çalışma ile benzer şekilde Dönmez ve arkadaşlarının (2022) yaptığı çalışmada implant destekli 3B baskılı kompozit kronların (Saremco Print, Crowntec) frezeleme tekniğı kullanılarak üretilenlere göre (Cerasmart, Vita Enamic ve Brilliant Crios) daha iyi marjinal adaptasyona sahip olduğu (Donmez ve diğerleri, 2022) bildirilmiştir. Ayrıca Kakinuma ve arkadaşları, marjinal boşlukları temsil etmek için lazer mikroskobu ile sadece bukkio-lingual kesitli simante edilmiş kronları değerlendirdikleri çalışmalarında 3B baskılı rezin kompozit kronların, freze kronlara (Cerasmart) göre daha az marjinal aralıkla daha yüksek doğruluk gösterdiğini bildirmişlerdir (Kakinuma ve diğerleri, 2022). Buna karşılık, Suksuphan ve arkadaşları (2024) mikro-CT kullanılarak her kronun bukkio-lingual ve mesio-distal bölgelerinden kırk değerlendirme (toplam 3600 nokta) ile marjinal adaptasyonu değerlendirdikleri çalışmalarında frezeleme işlemiyle üretilmeyen veya sınırlı olan andırkatlar veya girintiler içeren karmaşık şekillerin üretiminde eklemeli üretimin avantajlı olduğunu gözlemlemişlerdir (Suksuphan ve diğerleri, 2024). Bununla birlikte, yapı yönü, katman kalınlığı, x-y çözünürlüğü, ışığa maruz kalma süresi, son işlem ve baskı materyalleri gibi çeşitli baskı parametreleri protezlerin doğruluğunu etkilemektedir (Alharbi ve diğerleri, 2017). Bu faktörleri değiştirerek 3B baskılı restorasyonların marjinal adaptasyonunu karşılaştırmalı olarak inceleyen daha çok çalışmaya ihtiyaç vardır. Bizim çalışmamızda 2B ölçümlerde hem marjinal hem de internal uyumda, eksiltmeli üretim

yöntemiyle üretilen endokronların, eklemeli teknikle üretilen endokronlardan daha uyumsuz sonuçlar gösterdiği görülmektedir.

Literatürde adaptasyonu daha ayrıntılı olarak analiz etmek ve aralık ölçümlerini daha iyi karşılaştırabilmek için servikal, aksiyal ve pulpal olmak üzere 3 farklı bölgeden ölçüm yapılabileceği belirtilmiştir (Shin ve diğerleri, 2017; Gaintantzopoulou ve diğerleri, 2016; El Ghouli ve diğerleri, 2020, Saker ve diğerleri 2024). El Ghouli (2020) 4 farklı CAD/CAM bloğun internal ve marjinal adaptasyonlarını değerlendirdiği çalışmasında en büyük aralığın tüm test gruplarında pulpal duvarda, en küçük aralık değerlerinin ise aksiyal duvarda gözlemlendiğini bildirmiştir (El Ghouli ve diğerleri, 2020; Saker ve diğerleri, 2024). Bizim çalışmamızda da önceki çalışmalara benzer olarak sonuçlar üç bölgeye ayrılarak değerlendirilmiş ve diğer çalışmalara paralel olarak en yüksek aralık miktarlarının pulpa tabanında, en düşük aralık miktarlarının ise aksiyal duvarda olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmamızda eksiltmeli teknikle Cerasmart 270 materyalinden üretilen endokron grubunun pulpa tabanı aralık değerleri, VarseoSmile TriniQ ve Gradia Plus gruplarından anlamlı şekilde yüksek bulunmuştur. En düşük aralık değeri ise konvansiyonel teknikle Gradia Plus materyalinden üretilen endokron grubunda gözlenmiştir. Tarayıcının sınırlı optik derinliği sebebiyle derin pulpa tabanının zor taranması ve preparasyonun konverjans açısının küçük olması, bu sonuçlara sebebiyet vermiş olabilir (El Ghouli ve diğerleri, 2020; Kokubo ve diğerleri, 2005). Gaintantzopoulou ve arkadaşları (2016) tarafından yapılan bir çalışmada endokronların pulpa derinliği ve pulpa taban geometrisinin karmaşıklığı arttıkça uyumsuzluğun arttığı ve bu uyumsuzlukların, tarama hatalarının ve CNC freze teknolojisiyle karmaşık duvarların kazıma zorluğunun bir sonucu olduğu söylenmiştir (Gurpinar ve diğerleri, 2022; Gaintantzopoulou ve diğerleri, 2016; Soliman ve diğerleri, 2022). 5 eksenli kazıma cihazı ve daha hassas üretim yapabilen 3B baskı gibi üretim teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte, klinik olarak kabul edilebilir aralık üst sınırının yeniden gözden geçirileceği öngörülmektedir (Gurpinar ve diğerleri 2022; Abualsaud ve diğerleri, 2022; Al Hamad ve diğerleri, 2021; Soliman ve diğerleri, 2022).

Gurpinar ve arkadaşları (2022), endokron pulpa derinliğinin 5 mm'ye kadar uzatılmasının dijital iş akışının tarama doğruluğunu etkilediğini ve derin pulpal derinliklerde daha iyi doğruluk sonuçları için Primescan (Sirona) gibi en modern tarama cihazları ile birlikte yapılması gerektiğini bildirmişlerdir (Gurpinar ve diğerleri, 2022). Endokronların doğruluğu

ve adaptasyonu diş tipi ve formuna bağlı olabilir. Topkara ve arkadaşları (2022) alışmalarında mandibular endokronların maksiller endokronlardan daha iyi adaptasyon gösterdiğini bildirmişlerdir (Topkara ve diğerleri, 2022). Bizim alışmamızda mandibular molarlarda 4 mm pulpal derinlikli endokron preparasyonları uygulanmıştır.

Literatürde 3B analizlerle internal ve marjinal uyum değerlendirmesi yapan çok az sayıda çalışma bulunmaktadır (Kakkaki ve diğerleri, 2018; şahiner ve diğerleri, 2022). Bu sınırlama, siman hacminin tarayıcı ve Geomagic yazılımı gerektiren l tarama protokolü ve mikro-BT yöntemi kullanılarak yalnızca mm³ cinsinden doğru bir şekilde llebilmesinden kaynaklanmaktadır. Shivaraman (2023) tarafından yapılan yakın tarihli bir araştırmada, Bego Varseosmile Crown Plus materyaliyle 3B baskı ve zirkonya materyalleri ile eksiltmeli teknik kullanılarak kronlar üretilmiş ve marjinal uyumları değerlendirilmiştir. 3B sanal yazılım aracılığıyla geometrik hacim farklılıklarını analiz eden alışma, 3B baskı ile elde edilmiş kronların frezelenmiş zirkonya kronlarla karşılaştırılabilir marjinal uyum sergilediğini göstermiştir (Shivaraman, 2023). Bizim alışmamızda 3B analiz programı olan Geomagic yazılımı ile hacim lme tekniği kullanarak siman hacmi 3B olarak mm³ cinsinden lld. Siman hacim verileri değerlendirildiğinde, çalışmamızda belirlenen 2B marjinal ve internal aralık değerleriyle paralel olarak en yüksek hacim değeri eksiltme yöntemle Cerasmart 270 materyalinden üretilen endokron grubunda gözlenmiştir.

Çalışmamızda diğer çalışmalardan farklı olarak 3B tasarım programı ile restorasyon-diş preparasyonun bitim sınırının deviasyonu hesaplanmıştır. Yüzey akıştırma yöntemi ile elde edilen marjinal sapma değerleri karşılaştırıldığında, Gradia Plus grubunun marjinal sapma değerleri, Cerasmart 270 ve VarseoSmile TriniQ gruplarından yüksek bulunmuştur. Bunun sebebi konvansiyonel olarak el hassasiyetiyle tabaka tabaka kompozit uygulanarak üretilen endokronlarda marjinal sınırın, dijital teknolojiler olan eklemeli ve eksiltmeli üretimde kullanılan cihazlara nazaran daha düzensiz üretilmesi olabilir.

Eklemeli, eksiltmeli ve konvansiyonel üretim teknikleri farklı restorasyon eşitleri üzerinde karşılaştırılarak literatürde araştırılmıştır. Karasan ve diğerleri (2022) konvansiyonel, eklemeli ve eksiltmeli teknikleri kullanarak üç üyeli sabit geçici protezler üzerinde internal ve marjinal uyumu değerlendirdikleri çalışmalarında, internal uyumun en iyi eklemeli teknikle, en kötü ise konvansiyonel teknikle üretilen restorasyonlarda olduğunu bildirmişlerdir (Karasan ve diğerleri, 2022). Marjinal uyum ölçümlerinde ise, konvansiyonel

yöntemin diğer gruplara göre daha düşük performans sergilediğini ortaya koymuşlardır (Karasan ve diğerleri, 2022). Sidhom ve diğerleri (2022) üç üyeli sabit protezler üzerinde yaptıkları çalışmada eksiltmeli ve 3B baskı yöntemlerini kullanarak geçici köprüler üretmişlerdir. Bu yöntemlerin marjinal uyumunu karşılaştırmışlar ve 3B baskıyla üretilen geçici köprülerin eksiltmeli teknikle üretilen köprülerden daha iyi marjinal uyum sergilediğini bulmuşlardır (Sidhom ve diğerleri, 2022).

Günümüzde, 3B yazıcı teknolojisi restorasyonların oluşturulmasında giderek daha fazla kullanılmaktadır. Ahlholm ve arkadaşları (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, eksiltmeli yöntemle ve 3B yazıcı kullanılarak üretimi gerçekleştirilen inley ve onley restorasyonların marjinal ve internal adaptasyonu değerlendirilmiştir. Bu çalışmada mikro-CT ve silikon replika yöntemi kullanılmış ve 3B yazıcı ile üretilen restorasyonların üstün marjinal ve internal adaptasyon değerleri gösterdiği bildirilmiştir (Ahlholm ve diğerleri, 2019).

Eftekhar ve arkadaşları (2018) tarafından yapılan ayrı bir çalışmada, geleneksel ölçü ve üretim teknikleri kullanılarak yapılan onley restorasyonların, 3B yazıcı ile yapılanlara göre daha iyi marjinal adaptasyon sergilediği bildirilmiştir. Yazarlar, bu farklılığı 3B baskıda kullanılan tekniklerin ve ekipmanın baskıların doğruluğu üzerindeki etkisine bağlamıştır (Eftekhar ve diğerleri, 2018).

Farjood ve arkadaşları (2017), geleneksel ve 3B baskı yöntemleri kullanılarak tam metal kronların marjinal ve internal uyumlarını karşılaştırdıkları çalışmalarında, geleneksel yöntemlerle üretilen kronların, 3B baskı ile üretilenlere kıyasla daha düşük marjinal ve internal uyum değerleri sergilediklerini bildirmişlerdir. Yazarlar, bu farklılıkların materyallerdeki farklılıklar ve restorasyonların karmaşık geometrisi ile ilişkili olabileceğini öne sürmüşlerdir (Farjood ve diğerleri, 2017).

Polatoğlu ve arkadaşlarının (2022) yaptıkları tez çalışmasında, 3B yazıcıyla üretilen modellerden yapılan restorasyonlar ile geleneksel iş akışında konvansiyonel alçı modellerden yapılan restorasyonların gösterdiği marjinal ve internal uyum değerlerinde bir fark bulmamışlar ve mevcut literatüre dayanarak, 3B yazıcılarla üretimin geleneksel yöntemlere pratik bir alternatif olabileceği sonucuna varmışlardır (Polatoğlu, 2022).

Literatürdeki marjinal ve internal uyum çalışmaları, rezin bazlı materyallerin farklı üretim teknikleri üzerinde olduğu kadar zirkon ve seramik gibi farklı materyaller kullanılarak da

gerçekleştirilmiştir. Alenezi ve arkadaşları (2021) SLA, DLP ve eksiltmeli üretim yöntemleri kullanılarak üretilen seramik onleylerin marjinal uyumunu inceledikleri çalışmalarında, gruplar arasında anlamlı bir fark olmadığını ve tüm yöntemlerin 59-84 µm arasında ortalama marjinal aralık değerleri gösterdiğini bildirmişlerdir (Alenezi ve diğerleri, 2021). Tüm seramik onleylerin marjinal aralık değerlerinin klinik olarak kabul edilebilir seviyelerde olduğu sonucuna varmışlardır (Alenezi ve diğerleri, 2021). Refaie ve arkadaşları (2023) 3B baskı ve eksiltmeli tekniklerle üretilen monolitik zirkon kronların marjinal ve internal uyumunu değerlendirdikleri çalışmada, her iki üretim tekniğinin de klinik olarak kabul edilebilir sonuçlar sergilediğini, ancak eksiltmeli üretim yönteminin 3B baskı yöntemine göre daha üstün bir marjinal ve internal uyum gösterdiğini belirtmişlerdir (Refaie ve diğerleri, 2023). Bizim çalışmamızda sadece rezin bazlı daimi restorasyon materyalleri kullanılmıştır.

Protetik diş hekimliğinde kullanılan materyallerin mekanik ve fiziksel özellikleri restorasyonların uzun dönem başarısını direkt olarak etkilemektedir. Restorasyon materyalleri ağız içerisinde pek çok etkiye maruz kalmaktadırlar ve bu etkilere başarılı bir şekilde karşı koyabilmeleri için yüksek sertlik değerlerine sahip olmaları gerekmektedir. Materyalin sertliği; kalıcı yüzey değişikliğine karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır. Materyallerin yüzey sertliği dayanım, aşınma direnci ve orantılı sınır gibi pek çok faktör tarafından etkilenen kompleks bir mekanik özelliktir (Zuccari ve diğerleri, 1997).

Eklemeli olarak üretilen rezinlerin okluzal yüzey aşınması ve kırılma direnci üzerine yapılan çalışmalar diş veya implant destekli protezlere odaklanırken (Zimmermann ve diğerleri, 2020; Suksuphan ve diğerleri, 2023; Diken Turksayar ve diğerleri, 2023; Diken ve diğerleri, 2022; Rosentritt ve diğerleri, 2023; Güven ve diğerleri, 2023; Corbani ve diğerleri, 2020; Zimmermann ve diğerleri, 2019; Schulz ve diğerleri, 2023; Corbani ve diğerleri, 2021; Donmez ve diğerleri, 2022; Lei ve diğerleri, 2024; Mayer ve diğerleri, 2021) inley, onley, endokron gibi indirekt restorasyonların üzerine yapılan çalışmalar daha çok restorasyonların üretim doğruluğunu ve uyumunu araştırmıştır (Cantó-Navés ve diğerleri, 2023; Çakmak ve diğerleri, 2024b; Alenezi ve diğerleri, 2023). Resin bazlı endokronların uygulanabilirliğini detaylandırmak için farklı materyallerde uzun vadeli davranışlarını değerlendirmek önemlidir. Böyle bir durumda eksiltmeli teknikle üretilen rezin matriks seramik materyallere

kıyasla daimi kullanım için endike olan eklemeli teknik ile üretilen rezinler hakkında bilgi eksikliği vardır. Bu nedenle bizim çalışmamızda eklemeli, eksiltmeli ve konvansiyonel üretim yöntemleri ile farklı materyallerden üretilen endokronların termomekanik yaşlandırma sonrasında okluzal yüzey aşınması ve kırılma dayanımları değerlendirildi.

İndirekt restorasyonlarda kullanılacak materyalin aşınma davranışının doğal dişe benzer olması gerektiği göz önünde bulundurulmalıdır (Diken Turksayar ve diğerleri, 2023). Restorasyonların aşırı aşınması, mekanik komplikasyonların yanı sıra estetik komplikasyonlara da yol açabilir. (Guven ve diğerleri, 2023). Resin bazlı bir materyalin aşınmasının elastik modülüsü, sertliği ve doldurucu içeriği ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Zaim ve diğerleri, 2022).

Genel olarak, eksiltmeli üretim tekniğiyle kullanılan CAD/CAM kompozit materyaller düşük bükülme modülüsü ve yüksek bükülme dayanımı sergiler (Alharbi ve diğerleri, 2016; Sulaiman ve diğerleri, 2020). Bu, kırılma gerçekleşmeden önce daha fazla elastik deformasyona uğrayarak artan kuvvete dayanmalarını sağlar. Bizim çalışmamızda kullanılan materyallerin firmaların belirttikleri bükülme dayanımları; Cerasmart 270 246 MPa, Gradia Plus 160 MPa, VarseoSmile TriniQ 120 MPa şeklindedir. Elastik modülüsleri ise CeraSmart 270 için 9600 MPa, VarseoSmile TriniQ için 3600 MPa'dır. Materyallerin elastik modülüsü gibi temel özellikleri, aşınma ve kırılma davranışını anlamak için kritik öneme sahiptir. Elastik modülüs, materyale uygulanan kuvvetlere karşı direncini etkileyen temel bir parametredir. Yüksek elastik modülüse sahip materyaller daha fazla rijitlik ve daha az elastik deformasyon sergilerken, düşük elastik modülüs aşınma mekanizmasını ve kırılma mekanizmasını doğrudan etkileyebilecek daha fazla enerji emilimi sağlayabilir (Lim ve diğerleri, 2020). Öte yandan diş hekimliği uygulamalarında kullanımı oldukça yeni olan 3B baskı teknolojisine ait materyallerin aşınma ve kırılma davranışları hakkında çok az bilgi bulunmaktadır (Della ve diğerleri, 2021). Estetik, aşınma, kırılma dayanımı ve boyutsal doğruluk, 3B baskı ile üretimi kısıtlayan başlıca mevcut klinik sınırlamalardır (Della ve diğerleri, 2021). Bu nedenle, bu çalışmada endokronlardaki aşınma ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Döngüsel yükleme ile termal yaşlandırma yöntemi, restoratif materyallerin özelliklerini değerlendirmek için gerekli olan ve en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. 2000 yılında, ağız boşluğundaki klinik koşulları simüle etmek için ısı döngü ve mekanik yükleme

kullanan farklı bir sistem önerilmiştir. 50.000 döngü oklüzal yükleme ve 8000 siklus termal döngünün ağız boşluğunda 6-8 haftalık işlevi simüle edeceği bildirilmiştir (Ehrenberg ve diğerleri, 2000; Stawarczyk ve diğerleri, 2011). Bizim çalışmamızda uyguladığımız 49 N dikey oklüzal kuvvet, 5-55° termal döngü, 1 mm dikey, 2 mm yatay hareket, 1,53 Hz ve 2 yıllık çiğnemeyi taklit edecek şekilde 400.000 siklus ile termomekanik yaşlandırma yöntemi çalışmalarda çok sık kullanılmaktadır (Dikova, 2019; McLaren ve diğerleri, 2015; Sailer ve diğerleri, 2015, Gul ve diğerleri, 2025).

Yüzey aşınmasında, oluşan aşınma partikülleri aşınma mekanizmasını önemli ölçüde etkilemektedir. Aşınma partikülleri genel olarak iki gövdeli ve üç gövdeli aşınma olarak ikiye ayrılır. İki gövdeli aşınma, temas halindeki iki yüzeyin doğrudan sürtünme ile aşınması olarak tanımlanır. Bu durumda temas yüzeylerinden biri diğerine göre hareket ederken sürtünme kuvvetlerinin etkisiyle materyal kaybı meydana gelir. Bu, çiğneme simülatöründe kronlar üzerinde meydana gelen aşınma türüdür. Üç gövdeli aşınmada, aşınma partikülleri bu iki yüzey arasında “üçüncü bir cisim” olarak hareket eder ve hem temas yüzeyleri hem de kendi yapıları üzerinde aşındırıcı bir etki yaratır (Rabinowicz ve diğerleri, 2013; Zheng ve diğerleri, 2022). Aşınma partikülleri yüzeyler arasında bir bariyer görevi görerek daha karmaşık bir sürtünme ve aşınma modeli oluşturur. Bu parçacıklar yüzeylerde çiziklere, oluklara veya materyal kayıplarına neden olabilir. Özellikle materyal bağlanma özelliklerinin zayıf olduğu durumlarda bu aşınma mekanizması daha belirgin hale gelir. Bu, simülatörün restorasyon ile teması sonucu ortaya çıkan aşındırıcı partiküllerin neden olduğu hasar mekanizmasıdır. Literatürde bu mekanizma üzerine yapılan çalışmalarda, üç gövdeli aşınmanın aşınma oranlarını artırabileceği ve daha karmaşık yüzey deformasyonlarına neden olabileceği belirtilmiştir (Rabinowicz ve diğerleri, 2013; Zheng ve diğerleri, 2022). Bu bağlamda, aşınma partiküllerinin oluşumu ve bu partiküllerin iki veya üç gövdeli aşınma mekanizmalarına etkisi, üretim yöntemleri arasındaki farkların anlaşılmasında kritik bir parametre olarak öne çıkmaktadır. Eksiltmeli yöntem ile üretilen homojen materyallerde iki gövdeli aşınma mekanizması daha belirgin iken, 3B baskı ile katmanlı olarak üretilen materyallerde üç gövdeli aşınma etkisi daha fazla gözlemlenebilmektedir (Gul ve diğerleri, 2025). Ayrıca bu mekanizmalar materyal seçiminde ve üretim yöntemlerinin optimizasyonunda yol gösterici olabilir (Rabinowicz ve diğerleri, 2013; Zheng ve diğerleri, 2022).

Üretim yönteminde intergranüler bağların gücü aşınma üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Okluzal yüzeylerde mikro partiküllerin hareketi sonucunda yüzeyde abrazyon meydana gelir. Materyalin mikro yorgunluk sonucunda oluşan bölgesel deformasyonu nedeniyle yüzeyinde oluşan oluklar veya partikül dökülmeleri aşınmaya neden olur (Kruzic ve diğerleri, 2018; Grippo ve diğerleri, 2004). Üretim yöntemlerine bağlı aşınma mekanizmalarının genel olarak değerlendirildiği Kessler ve arkadaşlarının (2020) çalışmasında hem eksiltmeli üretim hem de 3B baskı yöntemlerindeki aşınma mekanizmalarının benzer olduğu görülmüştür (Kessler ve diğerleri, 2020). Gül ve arkadaşlarının (2025) 7 farklı (frezeleme yöntemi ile 3 farklı disk (Grandio Voco, breCAM HIPC ve Shofu HC) ve 3B baskı yöntemi ile 4 farklı daimi kompozit rezin (Nexdent C&B MFH, Permanent Bridge Saremco, VarseoSmile Crownplus, Şenertek P Crown)) materyal grubunu karşılaştırdıkları çalışmanın sonuçları incelendiğinde en yüksek ve en düşük aşınma değerlerinin 3B yazıcılar ile üretilen kronlarda olduğu görülmüştür. Eksiltmeli üretim yöntemindeki aşınma değerleri incelendiğinde ise bu aşınma miktarlarının 3B yazıcılarda bulunan değerler arasında kaldığı görülmüştür (Gül ve diğerleri, 2025). 3B yazıcıda katman katman üretim yapılması, her katman arasında ayrı bir bağ oluşmasına neden olmaktadır. Katmanlar arasındaki bağın değişmesi ise aşınma mekanizmasının değişmesine neden olmaktadır. Eksiltmeli üretim yöntemindeki aşınmanın birbirine yakın olmasının sebebinin ise materyallerin frez takımıyla aynı standartlarda homojen şekilde üretilmesinden kaynaklandığı düşünülmüştür (Gül ve diğerleri, 2025).

Eklemleri olarak üretilen rezinlerin termomekanik yaşlandırma sonrası okluzal yüzey aşınması, dişlerin veya implantların restorasyonu için hem daimi protezleri içeren çalışmalarda araştırılmıştır (Diken Turksayar ve diğerleri, 2023; Rosentritt ve diğerleri, 2023; Güven ve diğerleri, 2023) hem de geçici (Rosentritt ve diğerleri, 2023; Lei ve diğerleri, 2024; Mayer ve diğerleri, 2021). Dinamik yükleme işlemi yapılan çalışmalarda, çiğneme kuvvetleri, frekansları, döngü sayılarının her çalışmada farklı uygulanmalarına bağlı olarak çalışma verilerinin karşılaştırılmasında zorluklar gözlemlenmektedir (Mohandes ve diğerleri, 2007). Gül (2023) CAD/CAM blok ve 3B baskı daimi rezinlerin aşınma değerlerini karşılaştırdıkları tez çalışmasında 400.000 siklus termomekanik yaşlandırma sonrası 0,06-0,14 mm³ arasında aşınma değerleri bulunmuşlardır. Turksayar ve arkadaşları (2024), 7 mm yatay hareket ve 1,2 milyon siklusa tabi tuttıkları CAD/CAM blok ve 3B baskı daimi rezinlerin aşınma hacimlerini inceledikleri çalışmalarında, aşınma hacimlerini 0,36-0,43

mm³ arasında bulmuştur. Daimi restorasyonlarda kullanılan rezinlerin 0,43-0,70 mm³ arasında değişen hacim kaybına sahip olduğu bildirilmiştir (Diken Turksayar ve diğerleri, 2023; Guven ve diğerleri, 2023). Mayer ve arkadaşları (2021) çalışmasında, 3 üyeli sabit geçici köprü protezlerinde, kullanılan rezin materyallerin 0,13-0,17 mm³ arasında değişen hacim kaybı sergilediğini bildirmişlerdir (Mayer ve diğerleri, 2021). Buna ek olarak, daimi ve geçici restorasyonlar için üretilen rezinler arasında aşınma derinliği açısından önemli bir fark bildirilmemiştir (Rosentritt ve diğerleri, 2023). Bizim çalışmamızda tüm gruplarda 0,65-1,00 mm³ arasında hacim kaybı bulurken, aşınma hacmi ve derinliği arasında anlamlı bir fark gözlenmemiştir.

Güven ve arkadaşları (2024) daimi 3B reçine materyali (Tera Harz TC-80DP, Graphy), geçici 3B reçine materyali (FREEPRINT temp, Detax) ve CAD/CAM kazıma bloktan (Tetric CAD, Ivoclar Vivadent) ürettikleri onleylerin aşınma değerlerini karşılaştırdıkları çalışmada, 1,2 milyon siklus termomekanik yaşlandırma sonrasında okluzal yüzeyde en düşük aşınmayı eksiltmeli teknikle üretilen onleyde, en yüksek aşınmayı ise 3B daimi reçinesiyle eklemeli teknikle üretilen onleyde gözlemlemişlerdir. Aynı çalışmada daimi 3B rezinden üretilen onley örnekler okluzal yüzeylerinde en geniş aşınma alanına sahipken, kazıma bloktan üretilen örneklerin en küçük aşınma alanına sahip olduğu bulunmuştur (Guven ve diğerleri, 2024). Kazıma bloktan üretilen onleylerin, daimi ve geçici 3B reçineden üretilen onleyle kıyasla daha yüksek aşınma direnci göstermesi, bloklardaki yüksek inorganik doldurucu içeriğin varlığına ve blokların önceden polimerize edilmiş olmasına bağlanabilir (Diken Turksayar ve diğerleri, 2023).

Büyük doldurucu partikül boyutu, yüksek sürtünme katsayıları ile ilişkilendirilir (Heintze ve diğerleri, 2019). Rezin içerikli kompozit materyallerdeki doldurucuların boyutu, şekli ve sertliği, doldurucu ile polimer matriksi arasındaki bağın kalitesi ve polimerin polimerizasyon dinamiklerinin tümü aşınma özellikleri üzerinde bir etkiye sahiptir (Heintze ve diğerleri, 2019); Heintze ve diğerleri, 2007). Daha küçük doldurucu partiküllerine sahip kompozit rezinler daha güçlü bir şekilde sıkıştırılırlar ve sonuç olarak polimer matrisi doğrudan aşınma sürecinde daha az etkilenir (Sumino ve diğerleri, 2013). Doldurucu boyutundaki bir artışın sürtünme katsayısında ve temas kuvvetlerinde bir artışa yol açabileceği bildirilmiştir (Turssi ve diğerleri, 2005). Bayne ve arkadaşları (1992), büyük partiküllerin varlığının teorik olarak restoratif materyalin daha fazla aşınmasına neden olabileceğini bildirmişlerdir (Bayne ve

diğerleri, 1992). Restorasyon çiğneme kuvvetlerine maruz kaldığında gerilim, doldurucu partikülleri boyunca yayılır. Bu, partiküllerin yüzeyden kolayca ayrılmasına, dolayısıyla organik matriksin açığa çıkmasına ve aşınmanın hızlanmasına neden olur (Cao ve diğerleri, 2013). Doldurucu boyutunun artmasıyla aşınma sonrası yüzeyde kalan boşluk boyutlarını da artırabilir (Heintze ve diğerleri, 2007). Materyallerin aşınmasıyla yüzeyden ayrılan parçacıkların aşındırıcı etkisiyle aşınma miktarında artış görülebilir (Wendler ve diğerleri, 2020).

3B baskı kompozitleri, onları CAD/CAM kompozitlerden ayıran özel viskozite gereksinimlerine sahiptir. Her pozlama döngüsünden sonra, reçinenin platform ile fiçı arasındaki boşluk arasında akabilmesini sağlamak için yapı platformu yükseltilir. Viskozite, dolgu maddelerinin miktarı ile arttırıldığında, yerçekimi ve yüzey gerilimi artık düzgün bir yüzey üretemeyecek ve nesnenin eksik basılmasına neden olacaktır. Bu sebeple malzemeyi akışkan tutmak amacıyla dolgu maddelerinin toplam hacmi yani inorganik yüzde çok daha düşük seviyelerde kalmaktadır (Kessler ve diğerleri, 2019). Çalışmalarda 3B grubunda meydana gelen yüksek aşınma bazı üretim zorlukları ile açıklanabilir (Kruzic ve diğerleri, 2018).

Güntekin (2022) üç farklı CAD/CAM kompozit ve bir 3B baskı daimi kron reçinesi ile yaptığı tez çalışmasında Cerasmart materyalinin aşınmasının Grandio Block ve FormLabs 3B yazıcı rezininden düşük çıkma sebebini, Cerasmart materyalinin özel olarak tasarlanmış nano-seramik matrisinin yüksek mukavemet ve kuvvet emici olmasına bağlamıştır (Güntekin, 2022). Ayrıca Cerasmart'ın doldurucu miktarı kütle olarak %71'dir. Yüksek bir inorganik faz, bir materyalin su emme eğilimini azaltır, bu da yüzey sertliğini artırır ve dolayısıyla materyalin aşınma direnci de artar (Grau ve diğerleri, 2018; Liebermann ve diğerleri, 2016). Güntekin (2022) çalışmasında Cerasmart'ın doldurucu partiküllerinin çok küçük ve dar boyut dağılımına sahip olduğunu, aşınma sonrası alınan SEM görüntülerinde ise oldukça pürüzsüz bir yüzey sergilediğini söylemiştir. Bunun da aşınma direncini arttırmış olabileceği belirtmiştir (Güntekin, 2022) Çalışmamızda kullanılan Cerasmart 270 materyalinin doldurucu oranı %71 olmakla birlikte VarseoSmile TriniQ materyalinin doldurucu miktarı ise %30-50'dir. VarseoSmile TriniQ grubunun doldurucu miktarı Cerasmart 270'ten düşük olmasına rağmen aşınma değerleri açısından çalışmamızda bulunan fark, istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Materyaldeki molekül boyutunun küçülmesi moleküller arası mesafeyi azaltır ve bu da materyali aşınmaya dirençli kılar (Oouchi ve diğerleri, 2021; Barkmeier ve diğerleri, 2017). Ayrıca büyük boyutlu moleküller yüzeyden kolay ayrılır ve bu da matriksin açığa çıkmasına sebep olur. 3B rezin grubunda ise belirgin şekilde daha büyük olan partikül boyutu aşınmayı artıracaktır. Ayrıca partiküller arası boşluğun fazla oluşu da bu durumu şiddetlendirecektir (Oouchi ve diğerleri, 2021). Fakat 3B baskı sürecindeki kütleme, dalga boyu, katman kalınlığı, baskı yönü ve destek çubuklarının yerleşimi gibi parametrelerin de ilgili kompozitlerin mekanik ve fiziksel özelliklerini etkilediği bilinmektedir (Della Bona ve diğerleri, 2021). Bu yüzden 3B grubunun aşınma davranışı yalnızca partikül boyutu ve inorganik içerik yüzdesi ile açıklanamaz. Bizim çalışmamızda üç grubun arasındaki aşınma derinliği ve aşınma hacmi değerleri arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Park ve arkadaşları (2018) yaptıkları çalışmada eksiltmeli, eklemeli ve konvansiyonel üretim teknikleriyle kullanılan materyallerin aşınma dayanımını değerlendirmişlerdir (Park ve diğerleri, 2018). Üç tip rezin materyaliyle C&B (NextDent), Vipiblock (VIPI), Jet™ (Lang Dental Mfg.) örnekler hazırlamışlardır. Zirkonya ve Co-Cr alaşımından iki çeşit aşındırıcı yapılmıştır. Örnekler, dikey ve yatay hareketlerle 30.000 çigneme döngüsü için 5 kg yükü 1,5 ay termomekanik olarak yaşlandırılmışlardır. 3B baskı rezini, eksiltmeli yöntem ile üretim ve geleneksel rezinlerle karşılaştırıldığında maksimum derinlik kaybı veya aşınma hacim kaybı açısından önemli bir fark göstermemiştir (Park ve diğerleri, 2018). Aşındırıcılara bağlı olarak maksimum derinlik kaybı veya aşınma hacim kaybında önemli bir fark ortaya çıkmamıştır. SEM görüntülemelerinde, 3B baskılı rezin, metal aşındırıcıya tabi tutulduğunda çatlaklar ve katmanlar arası bağlarda ayrılma görülmüştür. Sonuçlar, 3B baskı için kullanılan rezin materyallerinin dental kullanım için yeterli aşınma dayanımı sağladığını düşündürmüştür (Park ve diğerleri, 2018).

Rosentritt ve arkadaşları (2023), eksiltmeli (Multicolour (Voco), Structur CAD(Voco)) ve 3B baskı ile (P Pro Crown& Bridge (Straumann Cares), Provisional Crown&Bridge (Voco), Temp CB Resin (FormlabsDental), VareoSmile Crown (Bego), VareoSmile Crown plus (Bego), VareoSmile Crown plus (Vareso, Bego)) kron üretimi gerçekleştirilen toplam 8 farklı materyalin aşınma miktarlarını karşılaştırdıkları çalışmalarında, üretim yöntemleri arasında herhangi bir fark gözlemlenmemişlerdir. Bu sonuç eksiltmeli üretim yöntemi ve 3B baskı ile üretilmiş kronların kullanılabilirliğini bir kez daha göstermiştir (Rosentritt ve

diğerleri, 2023). Bizim çalışmamızda da gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı maksimum aşınma derinliği ve aşınma hacmi değerleri bulunmamıştır.

Eklemeli olarak üretilen rezinlerin aşınmasına ilişkin çalışmaların azlığı göz önüne alındığında, daha fazla in-vitro ve in-vivo çalışmaya ihtiyaç bulunmaktadır. Bu çalışmalar hem mevcut bulguları hem de önceki araştırmaların bulgularını temel alarak farklı restorasyon tasarımlarındaki aşınma modellerini spesifik olarak incelemelidir (Diken Turksayar ve diğerleri, 2023; Rosentritt ve diğerleri, 2023; Guven ve diğerleri, 2023; Lei ve diğerleri, 2024; Mayer ve diğerleri, 2021; Guven ve diğerleri, 2024).

Restoratif materyalin kırılması, indirekt restorasyonlarda en sık gözlenen başarısızlık nedenlerinden biri olarak bildirilmiştir (Abduo ve diğerleri, 2018). Bu nedenle, materyaller okluzal yüklere karşı koyabilmelidir. Endokron üretiminde kullanılan materyalin yanı sıra, diş anatomisi ve tipi (Krishan ve diğerleri, 2014), kalan diş yapısı miktarı (Teixeira ve diğerleri, 2016), restorasyonların doğruluğu ve adaptasyonu (Mostafavi ve diğerleri, 2022) ve restorasyon tasarımı (Ahmed ve diğerleri, 2022; Vianna ve diğerleri, 2018) gibi bu restorasyonların kırılma direncini belirleyen çeşitli faktörler vardır.

Bir materyalin performansı, dayanıklılığı ile yakından ilgilidir. Bir materyalin ağız ortamında kullanılmadan önce dayanıklılığını değerlendirmek için, ağız içinde maruz kalacağı kuvvetleri taklit eden mekanik testler yapılır. Seramik ve kompozit gibi materyallerin mekanik özellikleri genellikle basma testleri ile değerlendirilir (Sakaguchi ve diğerleri, 2012). Bu çalışmada, basma testi ile kırılma direncini belirlemek için bir universal test cihazı (MOD Dental, Ankara, Türkiye) kullanılmıştır.

Kırılmaya neden olmak için gereken kuvveti, kuvvet uygulama noktasının boyutu ve keskinliği, kuvvetin açısı ve ilgili materyalin mekanik özellikleri gibi çeşitli faktörler etkileyebilir (Quinn ve diğerleri, 2015). Kırılma dayanımı testleri sırasında uygulanan kuvvet değişkenlik gösterebilir. Araştırmalar, daha yüksek yükleme hızlarının yanıltıcı sonuçlara yol açabileceğini, çünkü çatlakların siman ve restorasyon materyalleri içinde oluşması ve yayılması için yeterli zaman olmayabileceğini göstermiştir (Zortürk ve diğerleri, 2008). 0,5-1 mm/dk yükleme hızının güvenilir olduğu, 1 mm/dk üzerindeki hızların ise yanlış sonuçlara yol açabileceği bildirilmiştir (Sadighpour ve diğerleri, 2006; Yıldız ve diğerleri, 2013; Scherrer ve diğerleri, 1999). Araştırmamızda, universal test cihazında

örneklerin okluzal yüzeyine 90 derecelik açıyla uygulanan 5 mm çapında paslanmaz çelik uç 1 mm/dk yükleme hızıyla santral fossa merkezine uygulanmıştır.

Literatürdeki önceki çalışmalar eklemeli ve eksiltmeli olarak üretilen rezinlerin kırılma dayanımını karşılaştırmış ve farklı sonuçlar bulunmuştur (Zimmerman ve diğerleri, 2020; Suksuphan ve diğerleri, 2023; Diken Turksayar ve diğerleri, 2023; Diken ve diğerleri, 2022; Rosentritt ve diğerleri, 2023; Corbani ve diğerleri, 2020; Zimmermann ve diğerleri, 2019; Schulz ve diğerleri, 2023; Corbani ve diğerleri, 2021; Donmez ve diğerleri, 2022; Mayer ve diğerleri, 2021). Bazı çalışmalarda eksiltmeli olarak üretilen restorasyonlar için önemli ölçüde daha yüksek kırılma dayanımı değerleri bildirilmiştir (Güven ve diğerleri, 2025; Zimmerman ve diğerleri, 2020; Suksuphan ve diğerleri, 2023; Diken Turksayar ve diğerleri, 2023; Diken ve diğerleri, 2022; Rosentritt ve diğerleri, 2023; Mayer ve diğerleri, 2021). Başka çalışmalarda termomekanik yaşlandırma öncesi ve sonrası eklemeli ve eksiltmeli olarak üretilen daimi restorasyonlar için kullanılan rezin materyaller arasında benzer kırılma direnci değerleri bulunmuştur (Zimmermann ve diğerleri, 2019; Corbani ve diğerleri, 2021; Donmez ve diğerleri, 2022). Bununla birlikte, bazı çalışmalarda eklemeli olarak üretilen daimi restorasyonların termomekanik yaşlandırma sonrası kırılma direnci, eksiltmeli olarak üretilenlerden daha yüksek bulunmuştur (Corbani ve diğerleri, 2020; Corbani ve diğerleri, 2021). Schulz ve arkadaşları (2023), daimi ve geçici restorasyonlar için rezinlerde eklemeli olarak üretilen 3 üyeli sabit köprülerin kırılma direncine ilişkin yakın zamanda yapılan bir araştırmada, test edilen farklı materyallere rağmen test grupları arasında anlamlı bir fark olmadığı bildirilmişlerdir (Schulz ve diğerleri, 2023).

Güven ve arkadaşlarının (2024) daimi 3B reçine (Tera Harz TC-80DP), geçici 3B reçine (FREEPRINT temp) ve kazıma bloktan (Tetric CAD) üretilen onleylerin termomekanik yaşlandırma sonrasında kırılma dayanımlarını karşılaştırdıkları çalışmada, eksiltmeli teknikle üretilen grup en yüksek kırılma dayanımına ve en düşük başarısızlık oranına sahip bulunmuştur. Bu bulguların test edilen rezinlerin materyal tipindeki farklılıktan ve üretim yönteminden kaynaklanmış olabileceği belirtilmiştir (Güven ve diğerleri, 2024). Bizim çalışmamızda en yüksek kırılma dayanımının eksiltmeli teknikle üretilen Cerasmart 270 grubunda, en düşük kırılma dayanımının ise eklemeli teknikle üretim grubu olan VarseoSmile TriniQ’te olduğu gözlenmiştir.

Gül (2023) yaptığı tez çalışmasında gerçekleştirilen basma testi sonucunda eksiltmeli yöntem ile üretilen örneklerde daha yüksek kırılma kuvvet değerleri elde edilirken, 3B baskı yöntemiyle üretilen restorasyonlardan elde edilen değerler daha düşük çıkmıştır (Gül, 2023). Eksiltmeli üretim yönteminin daha yüksek sonuçlar vermesinin en önemli nedeninin üretilen disklerin tüm yüzey boyunca homojen davranış göstermesi olduğunu bildirilmiştir (Gül, 2023). 3B baskıda ise elastik bölgede absorbe edilen enerjinin katmanlar arasındaki bağlantıya bağlı olarak değişebileceği belirtilmiştir (Gül, 2023). Bizim çalışmamızda da bu literatürle uyumlu şekilde en yüksek kırılma direnci eksiltmeli teknik ile üretimi gerçekleştirilen Cerasmart 270 endokron grubunda gözlenmiştir.

Endokron preparasyon tasarımları açısından, endokron pulpal uzantılarının kırılma direnci üzerindeki etkisini değerlendirmek için yürütülen laboratuvar çalışmaları mevcuttur (Gong ve diğerleri, 2022; Dartora ve diğerleri, 2018). Çalışmalarında ferrule bitim preparasyon tasarımı yapan araştırmacılar mevcuttur (Ahmed ve diğerleri, 2022; Einhorn ve diğerleri, 2019; Farghal ve diğerleri, 2024) ve ferrule tasarımının varlığı, lateral olarak uygulanan streslere karşı karşılıklı bir destek görevi görerek kırılma direncini artırabildiğini belirtmişlerdir (Ahmed ve diğerleri, 2022; Einhorn ve diğerleri, 2019). Mostafavi ve arkadaşları (2022), endokron dizaynında pulpal uzantının artırılmasının endokronların kırılma direncini artırdığını bildirmişlerdir (Mostafavi ve diğerleri, 2022). Bizim çalışmamızda 4 mm pulpa derinliğine sahip, butt marjin bitim sınırı olan endokron dizaynları tasarlanmıştır.

Dental restorasyonların önemli amaçlarından biri de çiğneme sırasında oluşan kuvvetlere karşı stabilizeyi korumaktır (Claus ve diğerleri, 1989). Kiliaridis ve arkadaşları (1993), maksimum ısırma kuvvetlerinde cinsiyet farklılıkları olduğunu; erkeklerde ortalama 807 Newton, kadınlarda ise 650 Newton olduğunu söylemektedir (Kiliaridis ve diğerleri, 1993). Sonuç olarak çalışmalar, dental restorasyonlarda kullanılan materyallerde başarılı klinik sonuçlar elde etmek için en az 1000 Newton basınç dayanımına sahip olması gerektiğini ortaya koymaktadır (Puschmann ve ark, 2009). Bizim çalışmamızda kırılma dayanımı değerlerinin ortalamaları Cerasmart 270 grubu için 3712 N, VarseoSmile TriniQ grubu için 1681 N, Gradia Plus grubu için 2732 N bulunmuştur. Bu endokron restorasyonların en yüksek intraoral çiğneme kuvvetlerine dayanabileceğini göstermektedir. Bu nedenle,

endokronların klinik ortamlarda endodontik tedavi sonrası önemli koronal materyal kaybı yaşayan büyük molar dişler için güvenilir bir alternatif olduğu söylenebilir.

Zheng ve He (2021) çalışmalarında endodontik tedavi uyguladıkları çekilmiş mandibular molar dişlere 5 farklı CAD/CAM materyali (Vita Suprinity, IPS e.max CAD, Vita Enamic, Lava Ultimate, and Grandio blok) ile endokron uygulayarak sonlu elemanlar analiz yöntemi ile biyomekanik açıdan materyalleri karşılaştırmışlardır (Zheng ve He, 2021). Çalışmalarında örneklere 5000 termal siklus uygulanmış ve 6 mm küre şeklindeki uçla universal test cihazında aksiyel yönde sıkıştırma kuvveti uygulayarak kırma testi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda en yüksek kırılma dayanımı değerini Grandio blok materyal grubunda (3808 ± 607 N) gözlemlemişlerdir (Zheng ve He, 2021). Bu sonuca sebep olarak, Grandio blok materyalinin dentine yakın elastik modülüs ve yüksek reziliens özellikleri ile yüksek bükülme mukavemetine sahip olduğunu ve böylece materyalin kırılmadan önce daha fazla çiğneme kuvvetini absorbe edebilmesi olduğunu belirtmişlerdir (Zheng ve He, 2021). Bizim çalışmamızda da eksiltmeli yöntem ile üretilen endokronlar için benzer bir kırılma dayanımı değerleri bulunmuştur.

Literatürde uygun kütleme ve bitirme gibi işlem sonrası prosedürlerin 3B baskılı restorasyonların fiziksel özelliklerini geliştirdiği belirtilmiştir (Alkhateeb ve diğerleri, 2023). Unkovskiy ve arkadaşları (2018), kütleme işleminin 3B baskılı materyallerin mekanik dayanımını önemli ölçüde artırdığını ve bunun klinik performansları için kritik önem taşıdığını bildirmişlerdir (Unkovskiy ve diğeri, 2018). Hem bağlanma kalitesini hem de tabaka kalınlığını optimize etmek, 3B baskılı restorasyonların başarısı için zorunludur (Unkovskiy ve diğerleri, 2018). Çalışmamızda 3B baskı grubuna firma talimatları doğrultusunda literatürle uyumlu, standart bir kütleme prosedürü uygulanmıştır.

Restorasyonun kalınlığı aynı zamanda kırılma direnci, bükülme dayanımı ve aşınma davranışı gibi mekanik özelliklerini de etkiler (Gul ve diğerleri, 2025). 3B üretim tekniğinde tabaka kalınlığı ve ek ısı/ışık işlemleri materyallerin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir (Alshamrani ve diğerleri, 2022). Çalışmamızdaki tüm grupların kalınlıkları eşit olarak değerlendirilmiş olup, literatürle birlikte değerlendirildiğinde yeterli kalınlıkta oldukları ve bunun yüksek kırılma dayanımlarını açıklayan faktörlerden biri olduğu düşünülmüştür (Gul ve diğerleri, 2025).

Kırık oluşumu hem direkt hem de indirekt restorasyonlarda başarısızlığa yol açan başlıca nedenlerden biridir. Yapılan tedavinin başarısını belirleyen faktörlerden bir diğeri kırılma dayanım kuvvetinin yanı sıra restorasyonda oluşan kırık tipidir (Morimoto ve Rebello de Sampaio, 2016; Laske ve Opdam, 2019).

Kırılma dayanımı testinden sonra, kırık tipi dağılımları incelenmiştir. Tip IV kırık, endokron restorasyonun yarısından fazlasının ve dişin kırılmasıdır. Oluşan kırık mine-sement birleşiminin altına uzanır ve katastrofik başarısızlık olarak tanımlanır. Çalışmamızda mine-sement sınırının üzerindeki başarısızlıklar 'Restore edilebilir' olarak değerlendirilirken, mine-sement sınırının altında, köke kadar uzanan başarısızlıklar 'Restore edilemez' olarak değerlendirilmiştir. Bizim çalışmamızda en fazla gözlenen kırık tipi her üç grupta da (Cerasmart 270: %83,3; VarseoSmile TriniQ: %66,6; Gradia Plus: %83,3) Tip IV kırık tipidir. Bunun nedeni, kuvveti dik olarak uygulamamızdan ve restorasyon-adeziv siman ve dentin arasındaki elastik modülüs farklılıklarından kaynaklanıyor olabilir (Biacchi ve Basting, 2012).

Restorasyon ve tabakalar arasındaki bağlanma kalitesi gibi faktörler, 3B baskılı restorasyonların klinik performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Yetersiz adezyon mikro sızıntıya, sekonder çürüklere ve sonuç olarak restorasyonun başarısızlığına yol açabileceğinden, bağlanma gücü restorasyonun uzun dönem başarısı için oldukça önemlidir (Gul ve diğerleri, 2025). Lim ve arkadaşları (2020), farklı yüzey işlemlerinin ve rezin siman türlerinin 3B baskılı rezin materyaller ile kompozit rezin arasındaki bağlanma gücü üzerindeki etkisini incelemiş ve belirli yüzey işlemlerinin bağlanma dayanımını önemli ölçüde artırdığı sonucuna varmışlardır (Kapos ve diğerleri, 2014; Lim ve diğerleri, 2020). Çalışmamızda tek tip yüzey işlemi ve rezin siman kullanılarak standardizasyon sağlamak amaçlanmıştır.

Bu çalışmadaki standardizasyon birçok yöntemle sağlanmıştır. Bunlardan biri, değişkenlikleri azaltmak amacıyla molar dişlerin mümkün olduğunca tek tip boyutlarda seçilmesidir (Pedrollo ve diğerleri, 2017; El-Farag ve diğerleri, 2023). Bu çalışmada kullanılan butt marjin tasarım, endokronların iç yüzeyini yeniden oluşturmada frez sınırlamalarını azaltmaktadır. Ayrıca rezin simanın kolaylıkla çıkmasına izin vererek sınırlı marjinal boşluklarla tüm endokronların düzgün oturmasını ve internal uyumunu sağlamaktadır (Einhorn ve diğerleri, 2019). Preparasyonlar aynı operatör tarafından, aynı

inley-onley kesim frez takımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir ve manuel hataları ortadan kaldırmak için hassas bir CAD/CAM tarayıcı ve kazıma cihazı kullanılmıştır. Tüm silikon replikalar, doğrudan dik bir perspektiften farklılıkları gözlemlemek için aynı pozisyonda kesilmiştir. Böylece, sadece test edilen farklı materyallere odaklanarak marjinal ve internal uyumu karşılaştırmak mümkün olmuştur.

İn-vivo ölçümler yapmak, in vitro ölçümler yapmaktan daha zordur. İn-vitro ortam standartlaştırılmış ve optimize edilmiş koşullar sağlarken, in-vivo ortamda bu koşullara ulaşmak nadiren mümkündür (Surdacka ve diğerleri, 2007). Bunun nedeni dışın ağızdaki konumu, belirli alanların sınırlı erişilebilirliği ve görünürlüğü, standart prosedürlerden sapmalar gibi faktörlerdir. Ayrıca bitim sınırının konumu, hasta uyumu veya kan, nem, tükürük, sıcaklık varlığı gibi faktörler de sonuçları etkileyebilir (Surdacka ve diğerleri, 2007). Çalışmamızda farklı üretim teknikleriyle üretilen endokronların internal ve marjinal uyumlarını, aşınma ve kırılma dayanımlarını değerlendirirken standartlaştırılmış parametreleri elde etmek için çalışmamız in-vitro koşullar altında gerçekleştirilmiştir.

Çalışmamızda, ağız içi tarayıcı kullanılarak alınan dijital ölçülerle ilişkili potansiyel hataları değerlendirme fırsatımız olmamıştır. Ulaşılması zor posterior bölgelerde veya sınırlı ağız açıklığı ile çalışılmamıştır. Ölçü materyallerinin ani sıcaklık değişikliklerden etkilendiği bilinmesine rağmen, bizim çalışmamızda tüm geleneksel ölçüler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Bu sınırlamalar dikkate alındığında, sonuçlar gerçek klinik ortamını tam olarak temsil etmemekle birlikte klinik uygulamalar için bir rehber olarak hizmet etmesi amaçlanmıştır.

Çeşitli üretim tekniklerinin adaptasyon, aşınma ve kırılma dayanımını inceleyen birçok çalışma yapılmış olsa da yeni materyallerin üretilmesi ve üretim teknolojilerinin geliştirilmesiyle elde edilen restorasyonların adaptasyon değerlerini anlamaya ve mekanik davranışlarını incelemeye yönelik yeni araştırmalara ihtiyaç vardır.

6. SONUÇ

Farklı teknikler ile üretilen (konvansiyonel, eksiltmeli ve 3B yazıcı kullanılarak eklemeli teknik ile) endokron restorasyonların internal ve marjinal adaptasyonları, aşınma dirençleri ve kırılma dayanımlarının incelendiği bu in-vitro çalışmanın sınırlamaları dahilinde aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- a. Kullanılan üretim tekniği endokron restorasyonların internal ve marjinal adaptasyonunu etkilemektedir.
- b. Eklemeli, eksiltmeli ve konvansiyonel yöntem ile üretilen endokronların internal ve marjinal adaptasyonları klinik olarak kabul edilebilir aralıktadır.
- c. Kullanılan üretim tekniği endokron restorasyonların kırılma dayanımlarını etkilemektedir.
- d. Farklı üretim teknikleriyle üretilen endokronlar arasında, en yüksek kırılma dayanımına sahip grup eksiltmeli teknik; en düşük kırılma dayanımına sahip grup eklemeli teknik ile üretilen gruptur.
- e. Her üç teknik ile üretilmiş endokronların hepsi klinik olarak kabul edilebilir kırılma dayanımı değerleri göstermektedir.
- f. Kullanılan üretim tekniği endokron restorasyonların aşınma değerlerini etkilememektedir.

REFERANSLAR

- Abdeen, L., Chen, Y., Kostagianni, A., Finkelman, M., Papathanasiou, A., Chochlidakis, K., ve Papaspyridakos, P. (2022). Prosthesis accuracy of fit on 3d-printed casts versus Stone Casts: A comparative study in the anterior maxilla. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 34(8), 1238–1246. <https://doi.org/10.1111/jerd.12954>
- Abduo, J., Lyons, K., ve Bennamoun, M. (2014). Trends in computer-aided manufacturing in prosthodontics: A review of the available streams. *International Journal of Dentistry*, 2014, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2014/783948>
- Abduo, J., ve Elseyoufi, M. (2018). Accuracy of Intraoral Scanners: A Systematic Review of Influencing Factors. *The European journal of prosthodontics and restorative dentistry*, 26(3), 101–121. https://doi.org/10.1922/EJPRD_01752Abduo21
- Abduo, J., ve Sambrook, R. J. (2018). Longevity of ceramic onlays: A systematic review. *Journal of esthetic and restorative dentistry : official publication of the American Academy of Esthetic Dentistry ... [et al.]*, 30(3), 193–215. <https://doi.org/10.1111/jerd.12384>
- Abualsaud, R., ve Alalawi, H. (2022). Fit, Precision, and Trueness of 3D-Printed Zirconia Crowns Compared to Milled Counterparts. *Dentistry journal*, 10(11), 215. <https://doi.org/10.3390/dj10110215>
- Aghadazeh Mohandesi, J., Rafiee, M. A., Barzegaran, V., ve Shafiei, F. (2007). Compressive fatigue behavior of dental restorative composites. *Dental materials journal*, 26(6), 827–837. <https://doi.org/10.4012/dmj.26.827>
- Ahlholm, P., Sipilä, K., Vallittu, P., Kotiranta, U., ve Lappalainen, R. (2019). Accuracy of inlay and onlay restorations based on 3D printing or milling technique - a pilot study. *The European journal of prosthodontics and restorative dentistry*, 27(2), 56–64. https://doi.org/10.1922/EJPRD_01814Ahlholm09
- Ahmed, M. A. A., Kern, M., Mourshed, B., Wille, S., ve Chaar, M. S. (2022). Fracture resistance of maxillary premolars restored with different endocrown designs and

materials after artificial ageing. *Journal of prosthodontic research*, 66(1), 141–150.
https://doi.org/10.2186/jpr.JPR_D_20_00082

Akbaba, A. ve Akbulut, E. (2021). 3 Boyutlu Yazıcılar ve Kullanım Alanları. *ETÜ Sentez İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*. Sayı: 3, 19-46.

Al Hamad, K. Q., Al-Rashdan, R. B., Al-Rashdan, B. A., ve Baba, N. Z. (2021). Effect of Milling Protocols on Trueness and Precision of Ceramic Crowns. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists*, 30(2), 171–176. <https://doi.org/10.1111/jopr.13245>

Alaçam T. Endodonti, Özyurt Matbaacılık, Ankara, 2012.

Alagöz, L. G., ve Ulusoy, N. (2017). Effect of Endocrown Restorations with Different CAD/CAM Materials: 3D Finite Element and Weibull Analyses. In *BioMed Research International* (Vol. 2017, p. 1). Hindawi Publishing Corporation. <https://doi.org/10.1155/2017/5638683>

Alajmi, B., Karobari, M. I., ve Aldowah, O. (2022). Treatment of a large through and through periapical lesion using guided tissue regeneration: A case report of 2 years follow-up. In *Clinical Case Reports* (Vol. 10, Issue 10). Wiley. <https://doi.org/10.1002/ccr3.6405>

Alammar, A., Kois, J. C., Revilla-León, M., ve Att, W. (2022). Additive Manufacturing Technologies: Current Status and Future Perspectives [Review of Additive Manufacturing Technologies: Current Status and Future Perspectives]. *Journal of Prosthodontics*, 31, 4. Wiley. <https://doi.org/10.1111/jopr.13477>

Alamouh, R. A., Silikas, N., Salim, N. A., Al-Nasrawi, S., ve Satterthwaite, J. D. (2018). Effect of the Composition of CAD/CAM Composite Blocks on Mechanical Properties. In *BioMed Research International* (Vol. 2018, p. 1). Hindawi Publishing Corporation. <https://doi.org/10.1155/2018/4893143>

Albelasy, E. H., Hamama, H. H., Tsoi, K., ve Mahmoud, S. H. (2020). Fracture resistance of CAD/CAM occlusal veneers: A systematic review of laboratory studies [Review of Fracture resistance of CAD/CAM occlusal veneers: A systematic review of

- laboratory studies]. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials/Journal of Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 110, 103948. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.103948>
- Alenezi, A., ve Yehya, M. (2023). Evaluating the Accuracy of Dental Restorations Manufactured by Two CAD/CAM Milling Systems and Their Prototypes Fabricated by 3D Printing Methods: An In Vitro Study. *The International journal of prosthodontics*, 36(3), 293–300. <https://doi.org/10.11607/ijp.7633>
- Alfaify, A., Saleh, M., Abdullah, F. M., ve Al-Ahmari, A. (2020). Design for Additive Manufacturing: A Systematic Review [Review of Design for Additive Manufacturing: A Systematic Review]. *Sustainability*, 12(19), 7936. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/su12197936>
- Alfaro, D. P., Ruse, N. D., Carvalho, R. M., ve Wyatt, C. C. (2015). Assessment of the internal fit of lithium disilicate crowns using micro-ct. *Journal of Prosthodontics*, 24(5), 381–386. <https://doi.org/10.1111/jopr.12274>
- Al-Fodeh, R. S., Al-Johi, O. S., Alibrahim, A., Al-Dwairi, Z. N., Husain, N. A., ve Özcan, M. (2023). Fracture strength of endocrown maxillary restorations using different preparation designs and materials. In *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials/Journal of mechanical behavior of biomedical materials* (Vol. 148, p. 106184). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2023.106184>
- Alghauli, M. A., Alqutaibi, A. Y., Wille, S., ve Kern, M. (2024). The physical-mechanical properties of 3D-printed versus conventional milled zirconia for dental clinical applications: A systematic review with meta-analysis [Review of The physical-mechanical properties of 3D-printed versus conventional milled zirconia for dental clinical applications: A systematic review with meta-analysis]. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials/Journal of Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 156, 106601. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2024.106601>
- Alharbi, N., Osman, R., ve Wismeijer, D. (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.
<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.12.002>

Alharbi, N., Wismeijer, D., ve Osman, R. B. (2017). Additive Manufacturing Techniques in Prosthodontics: Where Do We Currently Stand? A Critical Review. The International journal of prosthodontics, 30(5), 474–484.
<https://doi.org/10.11607/ijp.5079>

Alkhateeb, R. I., Algaoud, H. S., Aldamanhori, R. B., Alshubaili, R. R., Alalawi, H., ve Gad, M. M. (2023). Fracture Load of 3D-Printed Interim Three-Unit Fixed Dental Prostheses: Impact of Printing Orientation and Post-Curing Time. Polymers, 15(7), 1737. <https://doi.org/10.3390/polym15071737>

Almeida e Silva, J. S., Erdelt, K., Edelhoff, D., Araújo, É., Stimmelmayer, M., Vieira, L. C., ve Güth, J. F. (2014). Marginal and internal fit of four-unit zirconia fixed dental prostheses based on digital and conventional impression techniques. Clinical oral investigations, 18(2), 515–523. <https://doi.org/10.1007/s00784-013-0987-2>

Alqarni, H., AlHelal, A., Kattadiyil, M. T., ve Goodacre, C. J. (2019). Selective implant scan body modification to restore severely tilted adjacent implants: A completely digital workflow. In Journal of Prosthetic Dentistry (Vol. 123, Issue 1, p. 38). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.04.012>

Alshamrani, A. A., Raju, R., ve Ellakwa, A. (2022). Effect of Printing Layer Thickness and Postprinting Conditions on the Flexural Strength and Hardness of a 3D-Printed Resin. BioMed research international, 2022, 8353137. <https://doi.org/10.1155/2022/8353137>

Alshawaf, B., Weber, H., Finkelman, M., Rafie, K. E., Kudara, Y., ve Papaspyridakos, P. (2018). Accuracy of printed casts generated from digital implant impressions versus stone casts from conventional implant impressions: A comparative in vitro study. In Clinical Oral Implants Research (Vol. 29, Issue 8, p. 835). Wiley. <https://doi.org/10.1111/clr.13297>

- Althaqafi K. A. (2025). Performance of direct and indirect onley restorations for structurally compromised teeth. *The Journal of prosthetic dentistry*, 133(6), 1513–1519. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2023.07.041>
- Anadioti, E., Musharbash, L., Blatz, M. B., Papavasiliou, G., ve Kamposiora, P. (2020). 3D printed complete removable dental prostheses: a narrative review. *BMC oral health*, 20(1), 343. <https://doi.org/10.1186/s12903-020-01328-8>
- Andriessen, F. S., Rijkens, D. R., van der Meer, W. J., ve Wismeijer, D. W. (2014). Applicability and accuracy of an intraoral scanner for scanning multiple implants in edentulous mandibles: a pilot study. *The Journal of prosthetic dentistry*, 111(3), 186–194. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2013.07.010>
- Anusavice, K. J. (2003). Seven secrets to Discovery. *Journal of Dental Research*, 82(6), 413–414. <https://doi.org/10.1177/154405910308200601>
- Ariganello, M. B., Guadarrama Bello, D., Rodriguez-Contreras, A., Sadeghi, S., Isola, G., Variola, F., ve Nanci, A. (2018). Surface nanocavitation of titanium modulates macrophage activity. *International journal of nanomedicine*, 13, 8297–8308. <https://doi.org/10.2147/IJN.S185436>
- Ashiga, H., Takei, E., Magara, J., Takeishi, R., Tsujimura, T., Nagoya, K., ve Inoue, M. (2019). Effect of attention on chewing and swallowing behaviors in healthy humans. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42422-4>
- Atria, P. J., Bordin, D., Marti, F., Nayak, V. V., Conejo, J., Benalcázar Jalkh, E., Witek, L., ve Sampaio, C. S. (2022). 3D-printed resins for Provisional Dental Restorations: Comparison of mechanical and biological properties. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 34(5), 804–815. <https://doi.org/10.1111/jerd.12888>
- Attar, E. A., Alshali, S., ve Haimed, T. S. A. (2023). A Comparative Study of the Marginal Fit of Endocrowns Fabricated From Three Different Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing (CAD/CAM) Ceramic Materials: An In Vitro Study. In Cureus. Cureus, Inc. <https://doi.org/10.7759/cureus.40081>

- Awada, A., ve Nathanson, D. (2015). Mechanical properties of resin-ceramic CAD/CAM restorative materials. *The Journal of prosthetic dentistry*, 114(4), 587–593. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.04.016>
- Ayres, A. A., Cuschieri, L. A., Bianchi, D. r. A., Pradíes, G., ve Cortes, A. (2024). Advantages and Drawbacks of Different Methods to Measure Marginal Gaps in Fixed Dental Prostheses: A Scoping Review [Review of Advantages and Drawbacks of Different Methods to Measure Marginal Gaps in Fixed Dental Prostheses: A Scoping Review]. *Journal of Dentistry*, 105400. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.105400>
- Azeem, R. A., ve Sureshbabu, N. M. (2018). Clinical performance of direct versus indirect composite restorations in posterior teeth: A systematic review. [Review of Clinical performance of direct versus indirect composite restorations in posterior teeth: A systematic review.]. *PubMed*, 21(1), 2. National Institutes of Health. https://doi.org/10.4103/jcd.jcd_213_16
- Azmy, E., Al-Kholy, M. R. Z., Fattouh, M., Kenawi, L. M. M., ve Helal, M. A. (2022). Impact of Nanoparticles Additions on the Strength of Dental Composite Resin. In *International Journal of Biomaterials* (Vol. 2022, p. 1). Hindawi Publishing Corporation. <https://doi.org/10.1155/2022/1165431>
- Bae, E. J., Jeong, I. D., Kim, W. C., ve Kim, J. H. (2017). A comparative study of additive and subtractive manufacturing for dental restorations. *The Journal of prosthetic dentistry*, 118(2), 187–193. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.11.004>
- Bahadır, H. S., Bulut, A., ve Yılmaz, B. (2024). Effect of preparation design on the fracture resistance and fracture patterns of 3D printed one-piece endodontic crowns. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 132(3), 592. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2024.06.004>
- Baino, F., ve Verné, E. (2017). Production and Characterization of Glass-Ceramic Materials for Potential Use in Dental Applications: Thermal and Mechanical Properties, Microstructure, and In Vitro Bioactivity. In *Applied Sciences* (Vol. 7, Issue 12, p. 1330). Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/app7121330>

- Bajraktarova-Valjakova, E., Korunoska-Stevkovska, V., Kapusevska, B., Gigovski, N., Bajraktarova-Misevska, C. and Grozdanov, A. (2018) Contemporary Dental Ceramic Materials, a Review: Chemical Composition, Physical and Mechanical Properties, Indications for Use. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 24, 1742-1755. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2018.378>
- Bakır, M. (2018). *Seramik ve Rezin İçerikli Farklı CAD/CAM Laminate Veneer Restorasyonlarda Bağlanma Direncinin Değerlendirilmesi. (Doktora Tezi). Dicle Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.*
- Barazanchi, A., Li, K. C., Al-Amleh, B., Lyons, K., ve Waddell, J. N. (2017). Additive Technology: Update on Current Materials and Applications in Dentistry. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists*, 26(2), 156–163. <https://doi.org/10.1111/jopr.12510>
- Barazanchi, A., Li, K. C., Al-Amleh, B., Lyons, K., ve Waddell, J. N. (2016). Additive Technology: Update on Current Materials and Applications in Dentistry [Review of Additive Technology: Update on Current Materials and Applications in Dentistry]. *Journal of Prosthodontics*, 26(2), 156. Wiley. <https://doi.org/10.1111/jopr.12510>
- Barkmeier, W. W., Dentistry, G., Takamizawa, T., Dentistry, O., ve Miyazaki, M. (2017). Influence of Thermal Cycling on Flexural Properties and Simulated Wear of Computer-aided Design/ Computer-aided Manufacturing Resin Composites. *Operative Dentistry*, 101–110. <https://doi.org/10.2341/16-046-L>
- Basu, B., ve Balani, K. (2011). *Ceramics: Definition and Characteristics* (p. 1). <https://doi.org/10.1002/9781118037300.ch1>
- Bayne, S. C., Taylor, D. F., ve Heymann, H. O. (1992). Protection hypothesis for composite wear. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 8(5), 305–309. [https://doi.org/10.1016/0109-5641\(92\)90105-l](https://doi.org/10.1016/0109-5641(92)90105-l)
- Berrendero, S., Salido, M. P., Valverde, A., Ferreiroa, A., ve Pradíes, G. (2016). Influence of conventional and digital intraoral impressions on the fit of CAD/CAM-fabricated all-ceramic crowns. *Clinical oral investigations*, 20(9), 2403–2410. <https://doi.org/10.1007/s00784-016-1714-6>

- Beuer, F., Schweiger, J., ve Edelhoff, D. (2008). Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations [Review of Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations]. *BDJ*, 204(9), 505. Springer Nature. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2008.350>
- Biacchi, G. R., ve Basting, R. T. (2012). Comparison of fracture strength of endocrowns and glass fiber post-retained conventional crowns. *Operative dentistry*, 37(2), 130–136. <https://doi.org/10.2341/11-105-L>
- bin Irfan, U., Aslam, K., ve Nadim, R. (2015). A review on CAD CAM in dentistry. *Journal of the Pakistan Dental Association*, 24(3).
- Bindl, A., Richter, B., ve Mörmann, W. H. (2005). Survival of ceramic computer-aided design/manufacturing crowns bonded to preparations with reduced macroretention geometry. *The International journal of prosthodontics*, 18(3), 219–224.
- Bindl, A., ve Mörmann, W. H. (1999). Clinical evaluation of adhesively placed Cerec endo-crowns after 2 years--preliminary results. *The journal of adhesive dentistry*, 1(3), 255–265.
- Blaser, P. K., Lund, M. R., Cochran, M. A., ve Potter, R. H. (1983). Effect of designs of Class 2 preparations on resistance of teeth to fracture. *Operative dentistry*, 8(1), 6–10.
- Blatz, M. B., ve Conejo, J. (2019). The Current State of Chairside Digital Dentistry and Materials [Review of The Current State of Chairside Digital Dentistry and Materials]. *Dental Clinics of North America*, 63(2), 175. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2018.11.002>
- Boening, K. W., Wolf, B. H., Schmidt, A. E., Kästner, K., ve Walter, M. H. (2000). Clinical fit of Procera AllCeram crowns. *The Journal of prosthetic dentistry*, 84(4), 419–424. <https://doi.org/10.1067/mpr.2000.109125>
- Boitelle, P., Mawussi, B., Tapie, L., ve Fromentin, O. (2014). A systematic review of CAD/CAM fit restoration evaluations. *Journal of oral rehabilitation*, 41(11), 853–874. <https://doi.org/10.1111/joor.12205>

- Boitelle, P., Tapie, L., Mawussi, B., ve Fromentin, O. (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. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2017.01.026>
- Borella, P. S., Alvares, L. A. S., Ribeiro, M. T. H., Moura, G. F., Soares, C. J., Zancopé, K., Mendonça, G., Rodrigues, F. P., ve Neves, F. D. das. (2023). Physical and mechanical properties of four 3D-printed resins at two different thick layers: An in vitro comparative study. In *Dental Materials* (Vol. 39, Issue 8, p. 686). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2023.06.002>
- Bóveda, C., ve Kishen, A. (2015). Contracted endodontic cavities: the foundation for less invasive alternatives in the management of apical periodontitis. *Endodontic Topics*, 33(1), 169. <https://doi.org/10.1111/etp.12088>
- Bozoğulları, H. N., ve Temizci, T. (2023). Evaluation of the Color Stability, Stainability, and Surface Roughness of Permanent Composite-Based Milled and 3D Printed CAD/CAM Restorative Materials after Thermocycling. In *Applied Sciences* (Vol. 13, Issue 21, p. 11895). Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/app132111895>
- Breschi, L., Mazzoni, A., Ruggeri, A., Cadenaro, M., Di Lenarda, R., ve De Stefano Dorigo, E. (2008). Dental adhesion review: aging and stability of the bonded interface. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 24(1), 90–101. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2007.02.009>
- Bulut, A., ve Atsü, S.S. (2016). Diş hekimliğinde restoratif materyallerin yaşlandırma işlemleri ve çiğneme simülatörleri. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 26(1), 180–6.
- Burzynski, J. A., Firestone, A. R., Beck, F. M., Fields, H. W., ve Deguchi, T. (2018). Comparison of digital intraoral scanners and alginate impressions: Time and patient satisfaction. In *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* (Vol. 153, Issue 4, p. 534). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2017.08.017>

- Calheiros, F. C., Daronch, M., Rueggeberg, F. A., ve Braga, R. R. (2008). Degree of conversion and mechanical properties of a BisGMA:TEGDMA composite as a function of the applied radiant exposure. *Journal of biomedical materials research. Part B, Applied biomaterials*, 84(2), 503–509. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.30897>
- Can G, Ersoy E, Aksu L. (2014). *Diş Hekimliğinde Maddeler Bilgisi*. 2. Basım, s.251- 284, Yurtmim Yayıncılık.
- Cantó-Navés, O., Michels, K., Figueras-Alvarez, O., Fernández-Villar, S., Cabratosa-Termes, J., ve Roig, M. (2023). In Vitro Comparison of Internal and Marginal Adaptation between Printed and Milled Onleys. *Materials*, 16(21), 6962. <https://doi.org/10.3390/ma16216962>
- Cao L, Zhao X, Gong X, Zhao S (2013). An in vitro investigation of wear resistance and hardness of composite resins. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine* 6: 423–430.
- Cappella, A., Gibelli, D., Cellina, M., Mazzarelli, D., Oliva, A. G., De Angelis, D., Sforza, C., ve Cattaneo, C. (2019). Three-dimensional analysis of sphenoid sinus uniqueness for assessing personal identification: a novel method based on 3D-3D superimposition. *International journal of legal medicine*, 133(6), 1895–1901. <https://doi.org/10.1007/s00414-019-02139-5>
- Carlos, R. B., Nainan, M. T., Pradhan, S., Sharma, R., Benjamin, S., ve Rose, R. (2013). Restoration of Endodontically Treated Molars Using All Ceramic Endocrowns. In *Case Reports in Dentistry* (Vol. 2013, p. 1). Hindawi Publishing Corporation. <https://doi.org/10.1155/2013/210763>
- Ceren N, Turp V, Emir F, Akgüngör G, Ayyıldız S, Şen D. (2016). Nanoceramics and Hybrid Materials Used in CAD/CAM Systems. *Aydın Dent J*. 2016;2(3):55– 62.
- Ciobanu, P., Manziuc, M., Buduru, S., ve Dudea, D. (2023). Endocrowns – a literature review [Review of Endocrowns – a literature review]. *Medicine and Pharmacy Reports*, 96(4), 358. <https://doi.org/10.15386/mpr-2581>

- Coelho Segundo, Â. R. T., Saraiva, S. H., de Castro, C., Sesma, N., Bohner, L., Andretti, F. L., ve Coachman, C. (2023). CAD-CAM natural restorations- Reproducing nature using a digital workflow. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1111/jerd.13028>.
- Coldea A, Swain M V., Thiel N. Mechanical properties of polymer-infiltratedceramic-network materials. *Dent Mater.* 2013;29(4):419–26. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2013.01.002>
- Corbani, K., Hardan, L., Eid, R., Skienhe, H., Alharbi, N., Ozcan, M., & Salameh, Z. (2021). Fracture Resistance of Three-unit Fixed Dental Prostheses Fabricated with Milled and 3D Printed Composite-based Materials. *The journal of contemporary dental practice*, 22(9), 985–990.
- Corbani, K., Hardan, L., Skienhe, H., Özcan, M., Alharbi, N., ve Salameh, Z. (2020). Effect of material thickness on the fracture resistance and failure pattern of 3D-printed composite crowns. *International journal of computerized dentistry*, 23(3), 225–233.
- Cortés-Sandoval, G., Martínez-Castañón, G. A., Patiño-Marín, N., Martínez-Rodríguez, P. R., ve Loyola-Rodríguez, J. P. (2015). Surface roughness and hardness evaluation of some base metal alloys and denture base acrylics used for oral rehabilitation. In *Materials Letters* (Vol. 144, p. 100). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2015.01.035>
- Coşkun, E. (2018). CAD/CAM Teknolojisiyle Üretilen Farklı Tam Seramik İnlay/Onley Restorasyonların Marjinal Uyumlarının ve Klinik Başarılarının İn Vivo Olarak Değerlendirilmesi. (Doktora Tezi). Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Coy, H. D. (1954). An evaluation of acrylic resin as a restorative material. In *The Journal of the American Dental Association* (Vol. 48, Issue 3, p. 266). Elsevier BV. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1954.0054>
- Çakmak, G., Agovic, D., Donmez, M. B., Kahveci, Ç., de Paula, M. S., Schimmel, M., ve Yilmaz, B. (2023a). Effect of number of supports and build angle on the fabrication and internal fit accuracy of additively manufactured definitive resin-ceramic hybrid

crowns. Journal of dentistry, 134, 104548.
<https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104548>

Çakmak, G., Cuellar, A. R., Donmez, M. B., Abou-Ayash, S., Lu, W. E., Schimmel, M., ve Yilmaz, B. (2024a). Effect of printing layer thickness on the trueness of 3-unit interim fixed partial dentures. The Journal of prosthetic dentistry, 131(4), 718–725.
<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2022.04.015>

Çakmak, G., Cuellar, A. R., Donmez, M. B., Schimmel, M., Abou-Ayash, S., Lu, W.-E., ve Yilmaz, B. (2021). Effect of Printing Layer Thickness on the Trueness and Margin Quality of 3D-Printed Interim Dental Crowns. Applied Sciences, 11(19), 9246.
<https://doi.org/10.3390/app11199246>

Çakmak, G., Donmez, M. B., Cuellar, A. R., Kahveci, Ç., Schimmel, M., ve Yilmaz, B. (2022a). Additive or subtractive manufacturing of crown patterns used for pressing or casting: A trueness analysis. Journal of dentistry, 124, 104221.
<https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104221>

Çakmak, G., Donmez, M. B., de Paula, M. S., Akay, C., Fonseca, M., Kahveci, Ç., Abou-Ayash, S., & Yilmaz, B. (2025b). Surface roughness, optical properties, and microhardness of additively and subtractively manufactured CAD-CAM materials after brushing and coffee thermal cycling. Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists, 34(1), 68–77.
<https://doi.org/10.1111/jopr.13796>

Çakmak, G., Rusa, A. M., Donmez, M. B., Akay, C., Kahveci, Ç., Schimmel, M., ve Yilmaz, B. (2024b). Trueness of crowns fabricated by using additively and subtractively manufactured resin-based CAD-CAM materials. The Journal of prosthetic dentistry, 131(5), 951–958. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2022.10.012>

Çakmak, G., Rusa, A. M., Dönmez, M. B., Akay, C., Kahveci, Ç., Schimmel, M., ve Yılmaz, B. (2022b). Trueness of crowns fabricated by using additively and subtractively manufactured resin-based CAD-CAM materials. Journal of Prosthetic Dentistry. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2022.10.012>

- Çakmak, G., Steigmeier, D., Güven, M. E., Yılmaz, D., Schimmel, M., Yoon, H. I., ve Yılmaz, B. (2024c). Fabrication Trueness, Intaglio Surface Adaptation, and Marginal Integrity of Resin-Based Onley Restorations Fabricated by Additive and Subtractive Manufacturing. *The International journal of prosthodontics*, 37(7), 99–107. <https://doi.org/10.11607/ijp.8802>
- Çevik, P., Schimmel, M., ve Yılmaz, B. (2022). New generation CAD-CAM materials for implant-supported definitive frameworks fabricated by using subtractive technologies [Review of New generation CAD-CAM materials for implant-supported definitive frameworks fabricated by using subtractive technologies]. *BioMed Research International*, 2022, 1. Hindawi Publishing Corporation. <https://doi.org/10.1155/2022/3074182>
- Çoban Gündoğan Z. (2024). Üç Boyutlu Yazıcı ile Üretilen Farklı Daimi Restorasyon Reçinelerinin Renk Özelliklerinin Ve Aşınma Dirençlerinin Karşılaştırılması. (Uzmanlık Tezi). Bezmialem Vakıf Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, İstanbul.
- Dartora, N. R., de Conto Ferreira, M. B., Moris, I. C. M., Brazão, E. H., Spazin, A. O., Sousa-Neto, M. D., Silva-Sousa, Y. T., ve Gomes, E. A. (2018). Effect of Intracoronaral Depth of Teeth Restored with Endocrowns on Fracture Resistance: In Vitro and 3-dimensional Finite Element Analysis. *Journal of endodontics*, 44(7), 1179–1185. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2018.04.008>
- Davidovsky, A. G. (2020). The Aging, Biodegradation and Toxic Effects of the Polymer Biomedical Implants in Dental Practice. In *Key engineering materials* (Vol. 869, p. 259). Trans Tech Publications. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.869.259>
- Davidowitz, G., ve Kotick, P. G. (2011). The Use of CAD/CAM in Dentistry. In *Dental Clinics of North America* (Vol. 55, Issue 3, p. 559). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2011.02.011>
- Dawood, A., Marti, B. M., Sauret-Jackson, V., ve Darwood, A. (2015). 3D printing in dentistry [Review of 3D printing in dentistry]. *BDJ*, 219(11), 521. Springer Nature. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2015.914>

- de Oliveira, G. U., Mondelli, R. F. L., Charantola Rodrigues, M., Franco, E. B., Ishikiriama, S. K., ve Wang, L. (2012). Impact of filler size and distribution on roughness and wear of composite resin after simulated toothbrushing. *Journal of Applied Oral Science*, 20(5), 510–516. <https://doi.org/10.1590/S1678-77572012000500003>
- Della Bona, A., Cantelli, V., Britto, V. T., Collares, K. F., ve Stansbury, J. W. (2021). 3D printing restorative materials using a stereolithographic technique: a systematic review. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 37(2), 336–350. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2020.11.030>
- Della Bona, A., Cantelli, V., Britto, V. T., Collares, K. F., ve Stansbury, J. W. (2021a). 3D printing restorative materials using a stereolithographic technique: a systematic review. *Dental Materials*, 37(2), 336–350. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2020.11.030>
- DeLong R. (2006). Intra-oral restorative materials wear: rethinking the current approaches: how to measure wear. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 22(8), 702–711. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2006.02.003>
- Demirci, F., Bahce, E., ve Baran, M. C. (2022). Mechanical analysis of three-unit metal-free fixed dental prostheses produced in different materials with CAD/CAM technology. *Clinical oral investigations*, 26(9), 5969–5978. <https://doi.org/10.1007/s00784-022-04623-6>
- Demirel, M., Diken Türksayar, A. A., ve Donmez, M. B. (2023). Fabrication trueness and internal fit of hybrid abutment crowns fabricated by using additively and subtractively manufactured resins. *Journal of dentistry*, 136, 104621. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104621>
- Desimone JM, Ermoshkin A, Ermoshkin N.: Continuous liquid interphase printing. Patent WO 2014/126837A2. PCT/US2014/015506
- Dewan, H. (2023). Clinical Effectiveness of 3D-Milled and 3D-Printed Zirconia Prosthesis—A Systematic Review and Meta-Analysis [Review of Clinical Effectiveness of 3D-Milled and 3D-Printed Zirconia Prosthesis—A Systematic

- Review and Meta-Analysis]. *Biomimetics*, 8(5), 394. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/biomimetics8050394>
- D'haese, R., Vrombaut, T., Roeykens, H., ve Vandeweghe, S. (2022). In Vitro Accuracy of Digital and Conventional Impressions for Full-Arch Implant-Supported Prostheses. *Journal of clinical medicine*, 11(3), 594. <https://doi.org/10.3390/jcm11030594>
- Dhoum, S. (2018). Indirect Posterior Restoration: Composite Inlays. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 5(1). <https://doi.org/10.26717/bjstr.2018.05.0001147>
- Dickie, J., ve McCrosson, J. (2014). Post removal techniques part 1. In *Dental Update* (Vol. 41, Issue 6, p. 490). Mark Allen Group. <https://doi.org/10.12968/denu.2014.41.6.490>
- Diken Türksayar, A. A., Donmez, M. B., Olcay, E. O., Demirel, M., ve Demir, E. (2022). Effect of printing orientation on the fracture strength of additively manufactured 3-unit interim fixed dental prostheses after aging. *Journal of dentistry*, 124, 104155. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104155>
- Diken Türksayar, A. A., Demirel, M., Donmez, M. B., Olcay, E. O., Eyüboğlu, T. F., ve Özcan, M. (2024). Comparison of wear and fracture resistance of additively and subtractively manufactured screw-retained, implant-supported crowns. *The Journal of prosthetic dentistry*, 132(1), 154–164. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2023.06.017>
- Dikova TJSSMD. (2019). Production of high-quality temporary crowns and bridges by stereolithography;5(1):33-8.
- Dimri, A., Srivastava, N., Rana, V., ve Kaushik, N. (2021). Minimally invasive endodontics: A Review [Review of Minimally invasive endodontics: A Review]. *International Journal of Applied Dental Sciences*, 7(2), 33. <https://doi.org/10.22271/oral.2021.v7.i2a.1188>
- Dirxen, C., Blunck, U., ve Preissner, S. (2013). Clinical performance of a new biomimetic double network material. *The open dentistry journal*, 7, 118–122. <https://doi.org/10.2174/1874210620130904003>

- Donmez, M. B., ve Okutan, Y. (2022). Marginal gap and fracture resistance of implant-supported 3D-printed definitive composite crowns: An in vitro study. *Journal of dentistry*, 124, 104216. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104216>
- dos Santos, R. L., de Sampaio, G. A., de Carvalho, F. G., Pithon, M. M., Guênes, G. M., ve Alves, P. M. (2014). Influence of degree of conversion on the biocompatibility of different composites in vivo. *The journal of adhesive dentistry*, 16(1), 15–20. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a29704>
- Drago, C. (2006). Two new clinical/laboratory protocols for CAD/CAM implant restorations. In *The Journal of the American Dental Association* (Vol. 137, Issue 6, p. 794). Elsevier BV. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2006.0292>
- Duret, F., ve Preston, J. D. (1991). CAD/CAM imaging in dentistry. *Current opinion in dentistry*, 1(2), 150–154.
- Eftekhari Ashtiani, R., Nasiri Khanlar, L., Mahshid, M., ve Moshaverinia, A. (2018). Comparison of dimensional accuracy of conventionally and digitally manufactured intracoronar restorations. *The Journal of prosthetic dentistry*, 119(2), 233–238. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2017.03.014>
- Egbo, M. (2020). A fundamental review on composite materials and some of their applications in biomedical engineering [Review of A fundamental review on composite materials and some of their applications in biomedical engineering]. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 33(8), 557. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.07.007>
- Ehrenberg, D. S., ve Weiner, S. (2000). Changes in marginal gap size of provisional resin crowns after occlusal loading and thermal cycling. *The Journal of prosthetic dentistry*, 84(2), 139–148. <https://doi.org/10.1067/mpr.2000.108027>
- Einhorn, M., DuVall, N., Wajdowicz, M., Brewster, J., ve Roberts, H. (2019). Preparation Ferrule Design Effect on Endocrown Failure Resistance. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists*, 28(1), e237–e242. <https://doi.org/10.1111/jopr.12671>

- El Ghouli, W. A., Özcan, M., Ounsi, H., Tohme, H., ve Salameh, Z. (2020). Effect of different CAD-CAM materials on the marginal and internal adaptation of endocrown restorations: An in vitro study. *The Journal of prosthetic dentistry*, 123(1), 128–134. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.10.024>
- El-Damanhoury, H. M., Haj-Ali, R. N., ve Platt, J. A. (2015). Fracture resistance and microleakage of endocrowns utilizing three CAD-CAM blocks. *Operative dentistry*, 40(2), 201–210. <https://doi.org/10.2341/13-143-L>
- El-Farag, S. A. A., Elerian, F. A., Elsherbiny, A. A., ve Abbas, M. H. (2023). Impact of different CAD/CAM materials on internal and marginal adaptations and fracture resistance of endocrown restorations with: 3D finite element analysis. In *BMC Oral Health* (Vol. 23, Issue 1). BioMed Central. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03114-8>
- Elsaka S. E. (2014). Bond strength of novel CAD/CAM restorative materials to self-adhesive resin cement: the effect of surface treatments. *The journal of adhesive dentistry*, 16(6), 531–540. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a33198>
- Emami MM, Barazandeh F, Yaghmaie F. (2014). Scanning-projection based stereolithography: method and structure. *Sens Actuators A Phys* 2014;218:116-124. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2014.08.002>
- Ender, A., & Mehl, A. (2015). In-vitro evaluation of the accuracy of conventional and digital methods of obtaining full-arch dental impressions. *Quintessence international* (Berlin, Germany : 1985), 46(1), 9–17. <https://doi.org/10.3290/j.qi.a32244>
- Ender, A., Attin, T., & Mehl, A. (2016). In vivo precision of conventional and digital methods of obtaining complete-arch dental impressions. *The Journal of prosthetic dentistry*, 115(3), 313–320. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.09.011>
- Ender, A., ve Mehl, A. (2013). Accuracy of complete-arch dental impressions: a new method of measuring trueness and precision. *The Journal of prosthetic dentistry*, 109(2), 121–128. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(13\)60028-1](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(13)60028-1)

- Eren, O., Sezer, H. K., ve Börklü, H. R. (2018). Tersine Mühendislik Tasarımı: Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Lisans Öğrencileri İçin Teknik Seçmeli Ders. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 2(3), 1-11.
- Euán, R., Figueras-Álvarez, O., Cabratosa-Termes, J., ve Oliver-Parra, R. (2014). Marginal adaptation of zirconium dioxide copings: influence of the CAD/CAM system and the finish line design. *The Journal of prosthetic dentistry*, 112(2), 155–162. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2013.10.012>
- Farag, E., Sabet, A., Ebeid, K., ve El Sergany, O. (2024). Build angle effect on 3D-printed dental crowns marginal fit using digital light-processing and stereo-lithography technology: an in vitro study. *BMC oral health*, 24(1), 73. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-03851-4>
- Farghal, A., Dewedar, K., Abdelaziz, M. H., Saker, S., Hassona, M., Algabri, R., ve Alqutaibi, A. Y. (2024). Effect of ceramic materials and tooth preparation design on computer-aided design and computer-aided manufacturing endocrown adaptation and retentive strength: An in vitro study. *Clinical and experimental dental research*, 10(1), e843. <https://doi.org/10.1002/cre2.843>
- Farjood, E., Vojdani, M., Torabi, K., & Khaledi, A. A. (2017). Marginal and internal fit of metal copings fabricated with rapid prototyping and conventional waxing. *The Journal of prosthetic dentistry*, 117(1), 164–170. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.04.010>
- Fasbinder D. J. (2006). Clinical performance of chairside CAD/CAM restorations. *Journal of the American Dental Association* (1939), 137 Suppl, 22S–31S. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2006.0395>
- Flügge, T. V., Schlager, S., Nelson, K., Nahles, S., & Metzger, M. C. (2013). Precision of intraoral digital dental impressions with iTero and extraoral digitization with the iTero and a model scanner. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 144(3), 471–478. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2013.04.017>

- Forero, J. S. Á., Torán, M. M., ve Estrada, M. D. R. (2018). Design of an Anatomical Simulator for Medical Training. A 3D Printing Project of Industrial Designers and Medical Students. In *International Journal on Integrating Technology in Education* (Vol. 7, Issue 1, p. 13). <https://doi.org/10.5121/ijite.2018.7102>
- Frankenberger, R., Winter, J., Dudek, M.-C., Naumann, M., Amend, S., Braun, A., Krämer, N., ve Roggendorf, M. J. (2021). Post-Fatigue Fracture and Marginal Behavior of Endodontically Treated Teeth: Partial Crown vs. Full Crown vs. Endocrown vs. Fiber-Reinforced Resin Composite. *Materials*, 14(24), 7733. <https://doi.org/10.3390/ma14247733>
- Fusayama, T., ve Maeda, T. (1969). Effect of pulpectomy on dentin hardness. *Journal of dental research*, 48(3), 452–460. <https://doi.org/10.1177/00220345690480032201>
- Gad, M. M., Alghamdi, R., Al-Ghamdi, R., Al-Jefri, A., Akhtar, S., Khan, S. Q., Alalawi, H., & Al-Qarni, F. D. (2023). Wear and Fracture Resistance of 3D-Printed Denture Teeth: An In Vitro Comparative Study. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists*, 32(2), 170–177. <https://doi.org/10.1111/jopr.13521>
- Gaintantzopoulou, M. D., ve El-Damanhoury, H. M. (2016). Effect of Preparation Depth on the Marginal and Internal Adaptation of Computer-aided Design/Computer-assisted Manufacture Endocrowns. *Operative dentistry*, 41(6), 607–616. <https://doi.org/10.2341/15-146-L>
- Gao, Wei & Zhang, Yunbo & Nazzetta, Diogo & Ramani, Karthik & Cipra, Raymond. (2015). RevoMaker: Enabling Multi-directional and Functionally-embedded 3D printing using a Rotational Cuboidal Platform. 437-446. 10.1145/2807442.2807476.
- García-Cuesta, C., Faus-Llácer, V., Zubizarreta-Macho, Á., Botello-Torres, R., & Faus-Matoses, V. (2021). A comparison of the marginal adaptation of composite overlays fabricated with silicone and an intraoral scanner. *Journal of clinical and experimental dentistry*, 13(5), e473–e478. <https://doi.org/10.4317/jced.58140>

- Geurtsen, W., ve García-Godoy, F. (1999). Bonded restorations for the prevention and treatment of the cracked-tooth syndrome. *American Journal of Dentistry*, 12(6), 266-270.
- Giordano, R. (2006). Materials for chairside CAD/CAM–produced restorations. In *The Journal of the American Dental Association* (Vol. 137, p. 14). Elsevier BV. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2006.0397>
- Gong, Q., Huang, L., Luo, J., Zhang, Y., Meng, Q., Quan, J., ve Tong, Z. (2022). The practicability of different preparation of mandibular molar restored by modified endocrown with intracanal extension: Computational analysis using finite element models. *Computer methods and programs in biomedicine*, 226, 107178. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2022.107178>
- Goujat, A., Abouelleil, H., Colon, P., Jeannin, C., Pradelle, N., Seux, D., & Grosogeat, B. (2019). Marginal and internal fit of CAD-CAM inlay/onlay restorations: A systematic review of in vitro studies. *The Journal of prosthetic dentistry*, 121(4), 590–597.e3. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.06.006>
- Gracis S, Thompson VP, Ferencz JL, Silva NRFA, Bonfante EA. (2015). A New Classification System for All-Ceramic and Ceramic-like Restorative Materials. *Int J Prosthodont.*;28(3):227–35. <https://doi.org/10.11607/ijp.4244>
- Grau, A., Stawarczyk, B., Roos, M., Theelke, B., ve Hampe, R. (2018). Reliability of wear measurements of CAD-CAM restorative materials after artificial aging in a mastication simulator. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 86, 185–190. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2018.06.030>
- Gresnigt, M. M., Özcan, M., van den Houten, M. L., Schipper, L., ve Cune, M. S. (2016). Fracture strength, failure type and Weibull characteristics of lithium disilicate and multiphase resin composite endocrowns under axial and lateral forces. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 32(5), 607–614. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2016.01.004>
- Grippio, J. O., Simring, M., ve Schreiner, S. (2004). Attrition, abrasion, corrosion and abfraction revisited: a new perspective on tooth surface lesions. *Journal of the*

- American Dental Association (1939), 135(8), 1109–1165.
<https://doi.org/10.14219/jada.archive.2004.0369>
- Groten, M., Axmann, D., Pröbster, L., ve Weber, H. (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. [https://doi.org/10.1016/s0022-3913\(00\)70087-4](https://doi.org/10.1016/s0022-3913(00)70087-4)
- Grzebieluch, W., Mikulewicz, M., ve Kaczmarek, U. (2021). Resin Composite Materials for Chairside CAD/CAM Restorations: A Comparison of Selected Mechanical Properties. *Journal of healthcare engineering*, 2021, 8828954.
<https://doi.org/10.1155/2021/8828954>
- Guess, P. C., Vagkopoulou, T., Zhang, Y., Wolkewitz, M., & Strub, J. R. (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.
<https://doi.org/10.1016/j.jdent.2013.10.002>
- Guessasma, S., Zhang, W., Zhu, J., Belhabib, S., ve Nouri, H. (2015). Challenges of additive manufacturing technologies from an optimisation perspective. In *International Journal for Simulation and Multidisciplinary Design Optimization* (Vol. 6). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/smdo/2016001>
- Gul, B. C., Demirci, F., Baki, N., Bahce, E., ve Özcan, M. (2025). Mechanical analysis of 3D printed dental restorations manufactured using different resins and validation with FEM analysis. *BMC oral health*, 25(1), 131. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-05384-2>
- Gupta, P., ve Shetty, H. (2016). Nanotechnology: Its Role in Restorative Dentistry and Endodontics. In *Research and reviews: journal of pharmaceutics and nanotechnology* (Vol. 4, Issue 1). <https://www.rroij.com/open-access/nanotechnology-its-role-in-restorative-dentistry-and-endodontics-.pdf>
- Gupta, R., Thakur, S., Pandey, N. K., Roopa, B., ve Fares, K. T. (2021). Endocrown – A Paradigm Shift in Rehabilitation. *Contemporary Clinical Dentistry*, 12(2), 195.
https://doi.org/10.4103/ccd.ccd_557_20

- Gurpinar, B., ve Tak, O. (2022). Effect of pulp chamber depth on the accuracy of endocrown scans made with different intraoral scanners versus an industrial scanner: An in vitro study. *The Journal of prosthetic dentistry*, 127(3), 430–437. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.08.034>
- Gutmann J. L. (1992). The dentin-root complex: anatomic and biologic considerations in restoring endodontically treated teeth. *The Journal of prosthetic dentistry*, 67(4), 458–467. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(92\)90073-j](https://doi.org/10.1016/0022-3913(92)90073-j)
- Gül B. Ç. (2023). Üç Boyutlu Yazıcı ile Farklı Rezinlerden Üretilen Dental Restorasyonların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. (Uzmanlık Tezi). İnönü Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dekanlığı, Malatya.
- Güntekin, N. (2022). Çiğneme Simülatöründe Yaşlandırma Sonrası, 3 Boyutlu Baskı Cihazı Kullanılarak Üretilen Kompozit Numunelerin, Farklı CAD CAM Kompozit Materyaller ile Yüzey Özellikleri Açısından Karşılaştırılması. (Uzmanlık Tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Konya.
- Güven, M. E., Çakmak, G., Dönmez, M. B., ve Yılmaz, B. (2023). Evaluation of Dimensional Stability and Occlusal Wear of Additively and Subtractively Manufactured Resin-Based Crowns after Thermomechanical Aging. *Applied Sciences*, 13(21), 11849. <https://doi.org/10.3390/app132111849>
- Güven, M. E., Donmez, M. B., Tezcan, A. N., Yoon, H. I., Yılmaz, B., ve Çakmak, G. (2024). Performance and durability of additively and subtractively manufactured resin-based onley restorations after thermomechanical aging. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists*, 10.1111/jopr.14005. Advance online publication. <https://doi.org/10.1111/jopr.14005>
- Haralur, S. B., Alamri, A. A., Alshehri, S. A., Alzahrani, D. S., ve Alfarsi, M. A. (2020). Influence of Occlusal Thickness and Radicular Extension on the Fracture Resistance of Premolar Endocrowns from Different All-Ceramic Materials. In *Applied Sciences* (Vol. 10, Issue 8, p. 2696). Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/app10082696>

- Hasanzade, M., Moharrami, M., ve Alikhasi, M. (2020). How adjustment could affect internal and marginal adaptation of CAD/CAM crowns made with different materials. *The journal of advanced prosthodontics*, 12(6), 344–350. <https://doi.org/10.4047/jap.2020.12.6.344>
- Hassan, Amr ve Hamdi, Kareem ve Ashraf, · ve Ali, I ve Al-Zordk, Walid ve Salah, · ve Mahmoud, Salah. (2023). Clinical performance comparison between lithium disilicate and hybrid resin nano-ceramic CAD/CAM onley restorations: a two-year randomized clinical split-mouth study. *Odontology*. 112. 3. 10.1007/s10266-023-00841-w.
- Hassan, L. A., ve Goo, C. L. (2021). Effect of cement space on marginal discrepancy and retention of CAD/CAM crown. *Dental materials journal*, 40(5), 1189–1195. <https://doi.org/10.4012/dmj.2020-408>
- Hassanpour, M., Narongdej, P., Alterman, N., Moghtadernejad, S., ve Barjasteh, E. (2024). Effects of Post-Processing Parameters on 3D-Printed Dental Appliances: A Review. *Polymers*, 16(19), 2795. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/polym16192795>
- Hayashi, M., ve Yeung, C. A. (2003). Ceramic inleys for restoring posterior teeth. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 1, CD003450. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003450>
- Heintze SD, Zellweger G, Zappini G (2007). The relationship between physical parameters and wear of dental composites. *Wear* 263: 1138–1146.
- Heintze, S. D., Reichl, F. X., & Hickel, R. (2019). Wear of dental materials: Clinical significance and laboratory wear simulation methods -A review. *Dental materials journal*, 38(3), 343–353. <https://doi.org/10.4012/dmj.2018-140>
- Helfer, A. R., Melnick, S., ve Schilder, H. (1972). Determination of the moisture content of vital and pulpless teeth. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology*, 34(4), 661–670. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(72\)90351-9](https://doi.org/10.1016/0030-4220(72)90351-9)

- Hervás-García, A., Martínez-Lozano, M. A., Cabanes-Vila, J., Barjau-Escribano, A., ve Fos-Galve, P. (2006). Composite resins. A review of the materials and clinical indications. *Medicina oral, patologia oral y cirugía bucal*, 11(2), E215–E220.
- Hornbeck L: Digital micromirror device. US Patent No. 5061.049. 2009
- Hwangbo, N.-K., Nam, N.-E., Choi, J. H., ve Kim, J. (2021). Effects of the Washing Time and Washing Solution on the Biocompatibility and Mechanical Properties of 3D Printed Dental Resin Materials. In *Polymers* (Vol. 13, Issue 24, p. 4410). Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/polym13244410>
- Imtiaz, T., Ganesh, S. B., ve Somasundaram, J. (2022). Surface roughness changes of two composite resin restorative materials after thermocycling. In *Journal of Advanced Pharmaceutical Technology amp Research* (Vol. 13). Medknow. https://doi.org/10.4103/japtr.japtr_255_22
- International Organization for Standardization. ISO/ASTM 52900:2015 (ASTM F2792). Additive manufacturing—general principles and terminology. <https://www-iso-org.offcampus.lib.washington.edu/standard/69669.html?browse=tc>. 07/2019
- Ishida, Y., Miura, D., Miyasaka, T., ve Shinya, A. (2020). Dimensional Accuracy of Dental Casting Patterns Fabricated Using Consumer 3D Printers. In *Polymers* (Vol. 12, Issue 10, p. 2244). Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/polym12102244>
- Jain, S., Jindal, N., Agarwal, R., ve Mittal, N. (2021). Modern perspective of indirect restorations: Two case reports. *International Journal of Applied Dental Sciences*, 7(1), 245. <https://doi.org/10.22271/oral.2021.v7.i1d.1140>
- Jeong, I.-D., Lee, J.-J., Jeon, J.-H., Kim, J.-H., Kim, H.-Y., ve Kim, W.-C. (2016). Accuracy of complete-arch model using an intraoral video scanner: An in vitro study. *The Journal of prosthetic dentistry*, 115(6), 755-759.
- Jiménez, M., Romero, L., Domínguez, I. A., Escudero, M. del M. E., ve Somonte, M. D. (2019). Additive Manufacturing Technologies: An Overview about 3D Printing

Methods and Future Prospects. Complexity, 2019(1).
<https://doi.org/10.1155/2019/9656938>

Jockusch, J., ve Özcan, M. (2020). Additive manufacturing of dental polymers: An overview on processes, materials and applications. In *Dental Materials Journal* (Vol. 39, Issue 3, p. 345). Japanese Society for Dental Materials and Devices.
<https://doi.org/10.4012/dmj.2019-123>

Jockusch, J., ve Özcan, M. (2020). Additive manufacturing of dental polymers: An overview on processes, materials and applications. In *Dental Materials Journal* (Vol. 39, Issue 3, p. 345). Japanese Society for Dental Materials and Devices.
<https://doi.org/10.4012/dmj.2019-123>

Joda, T., ve Brägger, U. (2016). Patient-centered outcomes comparing digital and conventional implant impression procedures: a randomized crossover trial. *Clinical oral implants research*, 27(12), e185–e189.

Joo, H.-S., Park, S.-W., Yun, K., ve Lim, H. (2016). Complete-mouth rehabilitation using a 3D printing technique and the CAD/CAM double scanning method: A clinical report. In *Journal of Prosthetic Dentistry* (Vol. 116, Issue 1, p. 3). Elsevier BV.
<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.01.007>

Kakinuma, H., Izumita, K., Yoda, N., Egusa, H., ve Sasaki, K. (2022). Comparison of the accuracy of resin-composite crowns fabricated by three-dimensional printing and milling methods. *Dental materials journal*, 41(6), 808–815.
<https://doi.org/10.4012/dmj.2022-074>

Kamara, S., ve Faggiani, K. S. (2021). What Materials Does Additive Manufacturing Use? (p. 65). <https://doi.org/10.1002/9781119750529.ch4>

Kang, Park, Kim, ve Kim. (2018). Accuracy of provisional crowns made using stereolithography apparatus and subtractive technique. *Journal of Advanced Prosthodontics*, 10(5), 354–360. <https://doi.org/10.4047/jap.2018.10.5.354>

Karasan, D., Legaz, J., Boitelle, P., Mojon, P., Fehmer, V., ve Sailer, I. (2022). Accuracy of Additively Manufactured and Milled Interim 3-Unit Fixed Dental Prostheses. *Journal*

- of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists, 31(S1), 58–69. <https://doi.org/10.1111/jopr.13454>
- Kashkari, A., Yilmaz, B., Brantley, W. A., Schricker, S. R., ve Johnston, W. M. (2019). Fracture analysis of monolithic CAD-CAM crowns. *Journal of esthetic and restorative dentistry : official publication of the American Academy of Esthetic Dentistry ... [et al.]*, 31(4), 346–352. <https://doi.org/10.1111/jerd.12462>
- Kassis, C., Khoury, P., Mehanna, C. Z., Baba, N. Z., Bou Chebel, F., Daou, M., ve Hardan, L. (2021). Effect of Inleys, Onleys and Endocrown Cavity Design Preparation on Fracture Resistance and Fracture Mode of Endodontically Treated Teeth: An In Vitro Study. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists*, 30(7), 625–631. <https://doi.org/10.1111/jopr.13294>
- Kayalı, F., ve Kahramanoğlu, E. (2020). Comparison of Fracture Resistance Between Two Monolithic and One Veneered Zirconia Materials on Molar Crowns After Thermomechanical Fatigue. *Clinical and experimental health sciences*, 10(3), 320–326. <https://doi.org/10.33808/clinexphealthsci.783438>
- Kern, M., Douglas, W. H., Fechtig, T., Strub, J. R., ve Delongt, R. (2023). Fracture strength of all-porcelain, resin-bonded bridges after testing in an artificial oral environment. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030057129390160R>
- Keshvad, A., Hooshmand, T., Asefzadeh, F., Khalilinejad, F., Alihemmati, M., ve Van Noort, R. (2011). Marginal gap, internal fit, and fracture load of leucite-reinforced ceramic inleys fabricated by CEREC inLab and hot-pressed techniques. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists*, 20(7), 535–540. <https://doi.org/10.1111/j.1532-849X.2011.00745.x>
- KEßLER, A., Hickel, R., ve Ilie, N. (2021). In vitro investigation of the influence of printing direction on the flexural strength, flexural modulus and fractographic analysis of 3D-printed temporary materials. *Dental materials journal*, 40(3), 641–649. <https://doi.org/10.4012/dmj.2020-147>
- Kessler, A., Hickel, R., ve Reymus, M. (2020). 3D Printing in Dentistry-State of the Art. *Operative dentistry*, 45(1), 30–40. <https://doi.org/10.2341/18-229-L>

- Kessler, A., Reymus, M., Hickel, R., ve Kunzelmann, K. H. (2019a). Three-body wear of 3D printed temporary materials. *Dental Materials*, 35(12), 1805–1812. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2019.10.005>
- Khanlar, L. N., Rios, A. S., Tahmaseb, A., ve Zandinejad, A. (2021). Additive Manufacturing of Zirconia Ceramic and Its Application in Clinical Dentistry: A Review [Review of Additive Manufacturing of Zirconia Ceramic and Its Application in Clinical Dentistry: A Review]. *Dentistry Journal*, 9(9), 104. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/dj9090104>
- Khatiri, C. A., Stansbury, J. W., Schultheisz, C. R., ve Antonucci, J. M. (2003). Synthesis, characterization and evaluation of urethane derivatives of Bis-GMA. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 19(7), 584–588. [https://doi.org/10.1016/s0109-5641\(02\)00108-2](https://doi.org/10.1016/s0109-5641(02)00108-2)
- Kihara, H., Hatakeyama, W., Komine, F., Takafuji, K., Takahashi, T., Yokota, J., Oriso, K., ve Kondo, H. (2019). Accuracy and practicality of intraoral scanner in dentistry: A literature review [Review of Accuracy and practicality of intraoral scanner in dentistry: A literature review]. *Journal of Prosthodontic Research*, 64(2), 109. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2019.07.010>
- Kim, D.-Y., Kim, J.-H., Kim, H.-Y., ve Kim, W.-C. (2018). Comparison and evaluation of marginal and internal gaps in cobalt–chromium alloy copings fabricated using subtractive and additive manufacturing. *Journal of prosthodontic research*, 62(1), 56–64.
- Kim, K. B., Kim, J. H., Kim, W. C., ve Kim, J. H. (2014). Three-dimensional evaluation of gaps associated with fixed dental prostheses fabricated with new technologies. *The Journal of prosthetic dentistry*, 112(6), 1432–1436. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2014.07.002>
- Kim, S. H., Park, Y. S., Kim, M. K., Kim, S., ve Lee, S. P. (2018). Methods for quantitative measurement of tooth wear using the area and volume of virtual model cusps. *Journal of periodontal & implant science*, 48(2), 124–134. <https://doi.org/10.5051/jpis.2018.48.2.124>

- Kocaağaoğlu, H., Albayrak, H., Cinel Sahin, S., ve Gürbulak, A. G. (2019). Evaluation of marginal adaptation in three-unit frameworks fabricated with conventional and powder-free digital impression techniques. *The journal of advanced prosthodontics*, 11(5), 262–270. <https://doi.org/10.4047/jap.2019.11.5.262>
- Kocaağaoğlu, H., Kılınç, H. I., ve Albayrak, H. (2017). Effect of digital impressions and production protocols on the adaptation of zirconia copings. *The Journal of prosthetic dentistry*, 117(1), 102–108. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.06.004>
- Kocaağaoğlu, H., Kılınç, H. İ., Albayrak, H., ve Kara, M. (2016). In vitro evaluation of marginal, axial, and occlusal discrepancies in metal ceramic restorations produced with new technologies. *The Journal of prosthetic dentistry*, 116(3), 368–374. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.03.013>
- Kokubo, Y., Nagayama, Y., Tsumita, M., Ohkubo, C., Fukushima, S., ve Vult von Steyern, P. (2005). Clinical marginal and internal gaps of In-Ceram crowns fabricated using the GN-I system. *Journal of oral rehabilitation*, 32(10), 753–758. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2005.01506.x>
- Krishan, R., Paqué, F., Ossareh, A., Kishen, A., Dao, T., ve Friedman, S. (2014). Impacts of conservative endodontic cavity on root canal instrumentation efficacy and resistance to fracture assessed in incisors, premolars, and molars. *Journal of endodontics*, 40(8), 1160–1166. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.12.012>
- Kruth, J.P., Leu, M.C. and Nakagawa, T. (1998) Progress in Additive Manufacturing and Rapid Prototyping. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 47, 525-540. [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)63240-5](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)63240-5)
- Kruzic, J. J., Arsecularatne, J. A., Tanaka, C. B., Hoffman, M. J., ve Cesar, P. F. (2018). Recent advances in understanding the fatigue and wear behavior of dental composites and ceramics. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 88, 504–533. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2018.08.008>
- Kuhr, F., Schmidt, A., Rehmann, P., ve Wöstmann, B. (2016). A new method for assessing the accuracy of full arch impressions in patients. *Journal of Dentistry*, 55, 68-74.

- Lambert, D. L. (2006). Conservative Aesthetic Solutions for the Adolescent and Young Adult Utilizing Composite Resins. In *Dental Clinics of North America* (Vol. 50, Issue 1, p. 87). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2005.09.007>
- Larson, T. D., Douglas, W. H., ve Geistfeld, R. E. (1981). Effect of prepared cavities on the strength of teeth. *Operative dentistry*, 6(1), 2–5.
- Laske, M., N. J. M. Opdam, E. M. Bronkhorst, J. C. C. Braspenning and M. Huysmans (2019). "Risk Factors for Dental Restoration Survival: A Practice Based Study." *J Dent Res* 98(4): 414-422.
- Laurent, M., Scheer, P., Dejoui, J., ve Laborde, G. (2008). Clinical evaluation of the marginal fit of cast crowns--validation of the silicone replica method. *Journal of oral rehabilitation*, 35(2), 116–122. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2003.01203.x>
- Lecocq, G. (2016). Intraoral digital scanner: selection and integration in clinics. In *Journal of Dentofacial Anomalies and Orthodontics* (Vol. 19, Issue 4, p. 402). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/odfen/2018115>
- Lee, B., Oh, K. C., Haam, D., Lee, J.-H., ve Moon, H. (2018). Evaluation of the fit of zirconia copings fabricated by direct and indirect digital scanning procedures. In *Journal of Prosthetic Dentistry* (Vol. 120, Issue 2, p. 225). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2017.08.003>
- Lee, J. (2014). Accelerated techniques for a post and core and a crown restoration with intraoral digital scanners and CAD/CAM and rapid prototyping. In *Journal of Prosthetic Dentistry* (Vol. 112, Issue 5, p. 1024). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2014.04.019>
- Lee, J.-J., Jeong, I.-D., Park, J.-Y., Jeon, J.-H., Kim, J.-H., ve Kim, W.-C. (2017). Accuracy of single-abutment digital cast obtained using intraoral and cast scanners. *The Journal of prosthetic dentistry*, 117(2), 253-259.
- Lee, K., ve Hong, C.-U. (2002). The effect of sandwich technique using flowable composite resin base on the microleakage in class II cavities of molar. In *The Journal of Korean*

- Academy of Conservative Dentistry (Vol. 27, Issue 5, p. 502). Korean Academy of Conservative Dentistry. <https://doi.org/10.5395/jkacd.2002.27.5.502>
- Lee, W. S., Lee, D. H., ve Lee, K. B. (2017). Evaluation of internal fit of interim crown fabricated with CAD/CAM milling and 3D printing system. *The journal of advanced prosthodontics*, 9(4), 265–270. <https://doi.org/10.4047/jap.2017.9.4.265>
- Lei, B., Xiong, H., ve Chen, K. (2024). Comparison of wear and marginal fitness of 3D-printed deciduous molar crowns: An in vitro study. *Dental materials journal*, 43(2), 227–234. <https://doi.org/10.4012/dmj.2022-143>
- Lerner, H., Nagy, K., Pranno, N., Zarone, F., Admakin, O., ve Mangano, F. (2021). Trueness and precision of 3D-printed versus milled monolithic zirconia crowns: An in vitro study. *Journal of dentistry*, 113, 103792. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103792>
- Levi, H. (2018). Changing the way we manufacture – AM in technical ceramics. In *Metal Powder Report* (Vol. 73, Issue 6, p. 314). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.mprp.2018.03.047>
- Li, R. W. K., Chow, T. W., ve Matinlinna, J. (2014). Ceramic dental biomaterials and CAD/CAM technology: State of the art [Review of Ceramic dental biomaterials and CAD/CAM technology: State of the art]. *Journal of Prosthetic Research*, 58(4), 208. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2014.07.003>
- Liebermann, A., Wimmer, T., Schmidlin, P. R., Scherer, H., Löffler, P., Roos, M., ve Stawarczyk, B. (2016). Physicomechanical characterization of polyetheretherketone and current esthetic dental CAD/CAM polymers after aging in different storage media. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 115(3), 321-328.e2. <https://doi.org/10.1016/J.PROSDENT.2015.09.004>
- Lim, N. K., ve Shin, S. Y. (2020). Bonding of conventional provisional resin to 3D printed resin: the role of surface treatments and type of repair resins. *The journal of advanced prosthodontics*, 12(5), 322–328. <https://doi.org/10.4047/jap.2020.12.5.322>
- Lin, W., Harris, B. T., Pellerito, J. S., ve Morton, D. (2018). Fabrication of an interim complete removable dental prosthesis with an in-office digital light processing three-

- dimensional printer: A proof-of-concept technique. In *Journal of Prosthetic Dentistry* (Vol. 120, Issue 3, p. 331). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2017.12.027>
- Lindemuth, J. S., ve Hagge, M. S. (2000). Effect of Universal Testing Machine Crosshead Speed on the Shear Bond Strength and Bonding Failure Mode of Composite Resin to Enamel and Dentin. In *Military Medicine* (Vol. 165, Issue 10, p. 742). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/milmed/165.10.742>
- Lins, L., Bemfica, V., Queiroz, C., ve Canabarro, A. (2015). In vitro evaluation of the internal and marginal misfit of CAD/CAM zirconia copings. *The Journal of prosthetic dentistry*, 113(3), 205-211.
- Lins, L., Bemfica, V., Queiroz, C., ve Canabarro, A. (2015). In vitro evaluation of the internal and marginal misfit of CAD/CAM zirconia copings. *The Journal of prosthetic dentistry*, 113(3), 205-211.
- Liu, Y., Ye, H., Wang, Y., Zhao, Y., Sun, Y., ve Zhou, Y. (2018). Three-Dimensional Analysis of Internal Adaptations of Crowns Cast from Resin Patterns Fabricated Using Computer-Aided Design/Computer-Assisted Manufacturing Technologies. *The International journal of prosthodontics*, 31(4), 386–393. <https://doi.org/10.11607/ijp.5678>
- Lu, Y., Hu, P., Zhao, Y., Lue, Q. T., Nie, Z., Yan, M., ve He, Z. (2021). Handcrafted digital light processing apparatus for additively manufacturing oral-prosthesis targeted nano-ceramic resin composites. In *Science and Engineering of Composite Materials* (Vol. 28, Issue 1, p. 315). De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/secm-2021-0031>
- Luthardt, R. G., Bornemann, G., Lemelson, S., Walter, M. H., ve Hüls, A. (2004). An innovative method for evaluation of the 3-D internal fit of CAD/CAM crowns fabricated after direct optical versus indirect laser scan digitizing. *The International journal of prosthodontics*, 17(6), 680–685.
- Luthardt, R. G., Kühmstedt, P., ve Walter, M. H. (2003). A new method for the computer-aided evaluation of three-dimensional changes in gypsum materials. *Dental materials*

: official publication of the Academy of Dental Materials, 19(1), 19–24.
[https://doi.org/10.1016/s0109-5641\(02\)00013-1](https://doi.org/10.1016/s0109-5641(02)00013-1)

Luthardt, R. G., Loos, R., ve Quaas, S. (2005). Accuracy of intraoral data acquisition in comparison to the conventional impression. *International journal of computerized dentistry*, 8(4), 283–294.

Lyu, J., Yang, X., Li, Y., Tan, J., ve Liu, X. (2023). Dimensional accuracy and clinical adaptation of monolithic zirconia crowns fabricated with the nanoparticle jetting technique. Elsevier BV.

Lyu, J., Yang, X., Li, Y., Tan, J., ve Liu, X. (2023). Dimensional accuracy and clinical adaptation of monolithic zirconia crowns fabricated with the nanoparticle jetting technique. In *Journal of Prosthetic Dentistry*. Elsevier BV.
<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2023.04.008>

Maffei, S., De Paepe, R., Troyano, F., Brüschi, M., Marais, B., Lusty, S., Medzin, R., Bladen, M., Llobell, P., Johnson, L., Thie, C., Colella, L., Pamplona, J. A., Ibraimi, D., ve Galle, D. (n.d.). GRADIATM PLUS from GC.

Magne, P. Composite resins and bonded porcelain: the post amalgam era? (2006). *Journal of Californian Dental Association*, 34(2), 135-147.
<https://doi.org/10.1080/19424396.2006.12222182>

Magne, P., ve Belser, U. C. (2003). Porcelain versus composite inlays/ onleys: Effects of mechanical loads on stress distribution, adhesion, and crown flexure. *International Journal Periodontics and Restorative Dentistry*, 23(6), 543-555.

Mahesh B, Vandana G, Sanjay P, Jaykumar G, Deepika C, Aatif N. (2015). Endocrown: conservative treatment modality for restoration of endodontically treated teeth—A case report. *Endodontol*, 27: 188-191.

Mai, H. N., Lee, K. B., ve Lee, D. H. (2017). Fit of interim crowns fabricated using photopolymer-jetting 3D printing. *The Journal of prosthetic dentistry*, 118(2), 208–215. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.10.030>

- Mainjot, A. K., Dupont, N. M., Oudkerk, J. C., Dewael, T. Y., ve Sadoun, M. J. (2016). From Artisanal to CAD-CAM Blocks: State of the Art of Indirect Composites.
- Maldonado, P., Dönmez, M. B., Güven, M. E., Schimmel, M., Revilla-León, M., Çakmak, G., ve Yilmaz, B. (2024). Digital analysis of fabrication accuracy and fit in additively and subtractively manufactured implant-supported fixed complete dentures. In *Journal of Dentistry* (Vol. 150, p. 105332). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.105332>
- Mandić, V. N., Par, M., Marović, D., Rakić, M., Tarle, Z., ve Sever, E. K. (2023). Blue Laser for Polymerization of Bulk-Fill Composites: Influence on Polymerization Kinetics. In *Nanomaterials* (Vol. 13, Issue 2, p. 303). Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/nano13020303>
- Mangano, F., Gandolfi, A., Luongo, G., ve Logozzo, S. (2017). Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature. *BMC oral health*, 17(1), 149.
- Marinis, A., Papaspyridakos, P., Sicilia, E., Bernardes, S. R., Touloumi, F., Chochlidakis, K., ve Weber, H. (2021). Digital Workflow for Double Complete Arch Zirconia Prostheses Utilizing a Novel Scan Body. In *Journal of Prosthodontics* (Vol. 31, Issue 1, p. 4). Wiley. <https://doi.org/10.1111/jopr.13417>
- Mauricio, C. E. (2015). CAD/CAM Technology and Fabrication of Ceramic Inlay for an Endodontically Treated Tooth. *Journal of Dentistry and Oral Care*, 1(2), 1. <https://doi.org/10.15436/2379-1705.15.0094>
- Mayer, J., Stawarczyk, B., Vogt, K., Hickel, R., Edelhoff, D., ve Reymus, M. (2021). Influence of cleaning methods after 3D printing on two-body wear and fracture load of resin-based temporary crown and bridge material. *Clinical oral investigations*, 25(10), 5987–5996. <https://doi.org/10.1007/s00784-021-03905-9>
- McLaren, E. A., Figueira, J., ve Goldstein, R. E. (2015). Vonleys: a conservative esthetic alternative to full-coverage crowns. *Compendium of continuing education in dentistry* (Jamesburg, N.J. : 1995), 36(4), 282–289.

- McLean, J. W., ve von Fraunhofer, J. A. (1971). The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. *British dental journal*, 131(3), 107–111.
- Mehl, A., Ender, A., Mörmann, W., ve Attin, T. (2009). Accuracy testing of a new intraoral 3D camera. *International journal of computerized dentistry*, 12(1), 11–28.
- Mehl, A., Gloger, W., Kunzelmann, K. H., ve Hickel, R. (1997). A new optical 3-D device for the detection of wear. *Journal of dental research*, 76(11), 1799–1807. <https://doi.org/10.1177/00220345970760111201>
- Mehl, A., Kunzelmann, K. H, Folwaczny, M., ve Hickel, R. (2004). Stabilization effects of CAD/CAM ceramic restorations in extended MOD cavities. *Journal of Adhesive Dentistry*, 6(3), 239-245.
- Mendonça, A. F. de, Mendonça, M. F. de, White, G. S., Sara, G., ve Littlefair, D. (2016). Total CAD/CAM Supported Method for Manufacturing Removable Complete Dentures (Vol. 2016, p. 1). Hindawi Publishing Corporation.
- Meng, Q., Zhang, Y., Chi, D., Gong, Q., ve Tong, Z. (2021). Resistance Fracture of Minimally Prepared Endocrowns Made By Three Types of Restorative Materials: A 3D Finite Element Analysis. In Research Square (Research Square). Research Square (United States). <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-765368/v1>
- Meşe, İ. (2018). Endodontik Tedavili Dişlere Yapılan Monolitik Zirkonya Restorasyonların Kırılma Dayanımlarının Karşılaştırmalı Olarak Değerlendirilmesi. (Doktora Tezi). İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Michaud, P. L., ve Dort, H. (2024). Do onleys and crowns offer similar outcomes to posterior teeth with mesial-occlusal-distal preparations? A systematic review. *Journal of esthetic and restorative dentistry : official publication of the American Academy of Esthetic Dentistry ... [et al.]*, 36(2), 295–302. <https://doi.org/10.1111/jerd.13114>
- Miyazaki, T., ve Hotta, Y. (2011). CAD/CAM systems available for the fabrication of crown and bridge restorations [Review of CAD/CAM systems available for the fabrication of crown and bridge restorations]. *Australian Dental Journal*, 56, 97. Wiley. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2010.01300.x>

- Moldovan, O ve Rudolph, Heike ve Bornemann, G ve Luthardt, Ralph. (2006). Internal and external fit of CAM-made zirconia bridge frameworks-a pilotstudy. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*. 61. 38.
- Moldovan, O., Luthardt, R. G., Corcodel, N., ve Rudolph, H. (2011). Three-dimensional fit of CAD/CAM-made zirconia copings. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 27(12), 1273–1278. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2011.09.006>
- Molinero-Mourelle, P., Limones, A., Güven, M. E., Fonseca, M., Peutzfeldt, A., Yilmaz, B., ve Cakmak, G. (2024). Manufacturing Accuracy, Intaglio Surface Adaptation, and Survival of Additively and Subtractively Manufactured Definitive Resin Crowns After Cyclic Loading: An In Vitro Study. *The International journal of prosthodontics*, 37(7), 175–185. <https://doi.org/10.11607/ijp.8976>
- Monzon, Mario ve Paz Hernández, Rubén ve Pei, Eujin ve Ortega, F. ve Suárez, Luis ve Ortega, Zaida ve Alemán, María ve Plucinski, T. ve Clow, N.. (2017). 4D printing: processability and measurement of recovery force in shape memory polymers. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 89. 10.1007/s00170-016-9233-9.
- Moon, W., Kim, S.-H., Lim, B., Park, Y., Kim, R. J., ve Chung, S. H. (2021). Dimensional Accuracy Evaluation of Temporary Dental Restorations with Different 3D Printing Systems. In *Materials* (Vol. 14, Issue 6, p. 1487). Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/ma14061487>
- Morimoto, S., F. B. Rebello de Sampaio, M. M. Braga, N. Sesma and M. Özcan (2016). "Survival Rate of Resin and Ceramic Inlays, Onlays, and Overlays: A Systematic Review and Meta-analysis." *J Dent Res* 95(9): 985-994.
- Mostafavi, A. S., Allahyari, S., Niakan, S., ve Atri, F. (2022). Effect of Preparation Design on Marginal Integrity and Fracture Resistance of Endocrowns: A Systematic Review. *Frontiers in dentistry*, 19, 37. <https://doi.org/10.18502/fid.v19i37.11250>
- Motta, A. B., Pereira, L. C., Duda, F. P., ve Anusavice, K. J. (2014). Influence of substructure design and occlusal reduction on the stress distribution in metal ceramic

- complete crowns: 3D finite element analysis. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists*, 23(5), 381–389. <https://doi.org/10.1111/jopr.12119>
- Mously, H. A., Finkelman, M., Zandparsa, R., ve Hirayama, H. (2014). Marginal and internal adaptation of ceramic crown restorations fabricated with CAD/CAM technology and the heat-press technique. *The Journal of prosthetic dentistry*, 112(2), 249-256.
- Mörmann, W. H., Bindl, A., Lüthy, H., ve Rathke, A. (1998). Effects of preparation and luting system on all-ceramic computer-generated crowns. *The International journal of prosthodontics*, 11(4), 333–339.
- Nandy, J., Sarangi, H., ve Sahoo, S. (2019). A review on direct metal laser sintering: Process features and microstructure modeling. *Lasers in Manufacturing and Materials Processing*, 6(3), 280-316.
- Nawafleh, N. A., Mack, F., Evans, J., Mackay, J., ve Hatamleh, M. M. (2013). Accuracy and reliability of methods to measure marginal adaptation of crowns and FDPs: a literature review. *Journal of Prosthodontics*, 22(5), 419-428.
- Ngo, T., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K., ve Hui, D. (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges [Review of Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges]. *Composites Part B Engineering*, 143, 172. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.02.012>
- O'Brien WJ. *Dental Materials and their selection*. (2002). 3rd edition, p.28-31, Quintessence Publishing Co. Illinois.
- Oğuz, Ece ve Kilicarslan, Mehmet ve Özgür, Merve ve Orhan, Kaan ve Shujaat, Sohaib. (2021). Comparison of Marginal Adaptation of Different Resin-Ceramic CAD/CAM Crowns: An In Vitro Study. *Journal of Advanced Oral Research*. 10.1177/2320206820975971.

- Oğuzhan, A. (2023). Üç Boyutlu Yazıcı ile Üretilen İndirekt Restorasyonların Marjinal Adaptasyon ve Bağlanma Dayanımının İncelenmesi. (Uzmanlık Tezi). Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, İzmir.
- Oh, J.-H. (2018). Recent advances in the reconstruction of cranio-maxillofacial defects using computer-aided design/computer-aided manufacturing [Review of Recent advances in the reconstruction of cranio-maxillofacial defects using computer-aided design/computer-aided manufacturing]. *Maxillofacial Plastic and Reconstructive Surgery*, 40(1). Springer Science+Business Media. <https://doi.org/10.1186/s40902-018-0141-9>
- Oh, S. C., Dong, J. K., Lüthy, H., ve Schärer, P. (2000). Strength and microstructure of IPS Empress 2 glass-ceramic after different treatments. *The International journal of prosthodontics*, 13(6), 468–472.
- Oouchi, H., Takamizawa, T., Tamura, T., Ishii, R., Tsujimoto, A., Miyazaki, M., ve Kitahara, N. (2021). Flexural properties and wear behavior of computer-aided design/computer-aided manufacturing resin blocks. *Dental materials journal*, 40(4), 979–985. <https://doi.org/10.4012/dmj.2020-381>
- Othman, A., Sandmair, M., Alevizakos, V., ve See, C. von. (2023). The fracture resistance of 3D-printed versus milled provisional crowns: An in vitro study. In *PLoS ONE* (Vol. 18, Issue 9). Public Library of Science. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0285760>
- Ozer, N. E., Sahin, Z., Yikici, C., Duyan, S., ve Kilicarslan, M. A. (2024). Bacterial adhesion to composite resins produced by additive and subtractive manufacturing. *Odontology*, 112(2), 460–471. <https://doi.org/10.1007/s10266-023-00862-5>
- Öztürk, E., ve Karabıyık, M. (2019). Chairside Restorations of Maxillary Anterior Teeth with CAD/CAM Porcelain Laminate Veneers Produced by Digital Workflow: A Case Report with a Step to Facilitate Restoration Design. In *Case Reports in Dentistry* (Vol. 2019, p. 1). Hindawi Publishing Corporation. <https://doi.org/10.1155/2019/6731905>

- Pacquet, W., Tapie, L., Mawussi, B., ve Boitelle, P. (2023). Volumetric and dimensional accuracy assessment of CAD-CAM-manufactured dental prostheses from different materials. *The Journal of prosthetic dentistry*, 129(1), 150–159. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.05.024>
- Panitvisai, P., ve Messer, H. H. (1995). Cuspal deflection in molars in relation to endodontic and restorative procedures. *Journal of endodontics*, 21(2), 57–61. [https://doi.org/10.1016/s0099-2399\(06\)81095-2](https://doi.org/10.1016/s0099-2399(06)81095-2)
- Park, G. S., Kim, S. K., Heo, S. J., Koak, J. Y., ve Seo, D. G. (2019). Effects of Printing Parameters on the Fit of Implant-Supported 3D Printing Resin Prosthetics. *Materials (Basel, Switzerland)*, 12(16), 2533. <https://doi.org/10.3390/ma12162533>
- Park, J. M., Ahn, J. S., Cha, H. S., ve Lee, J. H. (2018). Wear Resistance of 3D Printing Resin Material Opposing Zirconia and Metal Antagonists. *Materials (Basel, Switzerland)*, 11(6), 1043. <https://doi.org/10.3390/ma11061043>
- Park, J. Y., Jeong, I. D., Lee, J. J., Bae, S. Y., Kim, J. H., ve Kim, W. C. (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. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.03.012>
- Pedrollo Lise, D., Van Ende, A., De Munck, J., Umeda Suzuki, T. Y., Cardoso Vieira, L. C., ve Van Meerbeek, B. (2017). Biomechanical behavior of endodontically treated premolars using different preparation designs and CAD/CAM materials. *Journal of dentistry*, 59, 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2017.02.007>
- Perry, R., Kugel, G., Kunzelmann, K. H., Flessa, H. P., ve Estafan, D. (2000). Composite restoration wear analysis: conventional methods vs. three-dimensional laser digitizer. *Journal of the American Dental Association (1939)*, 131(10), 1472–1477. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2000.0060>
- Peters, M. C., DeLong, R., Pintado, M. R., Pallesen, U., Qvist, V., ve Douglas, W. H. (1999). Comparison of two measurement techniques for clinical wear. *Journal of dentistry*, 27(7), 479–485. [https://doi.org/10.1016/s0300-5712\(99\)00027-5](https://doi.org/10.1016/s0300-5712(99)00027-5)

- Petropoulou, A., Dimitriadi, M., Zinelis, S., Sarafianou, A., ve Eliades, G. (2020). Surface Characteristics and Color Stability of Gingiva-Colored Resin Composites. *Materials*, 13(11), 2540. <https://doi.org/10.3390/ma13112540>
- Peutzfeldt A. (1997). Resin composites in dentistry: the monomer systems. *European journal of oral sciences*, 105(2), 97–116. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.1997.tb00188.x>
- Peutzfeldt, A., Sahafi, A., ve Flury, S. (2011). Bonding of restorative materials to dentin with various luting agents. *Operative dentistry*, 36(3), 266–273. <https://doi.org/10.2341/10-236-L>
- Polatoğlu, Selin. (2022). İndirekt Kompozit Rezin Restorasyonların Marjinal ve İnternal Uyumunun Üç Boyutlu Olarak İncelenmesi, Uzmanlık Tezi, Kırıkkale Üniversitesi.
- Porto, T., Roperto, R., Akkus, A., Akkus, O., Porto-Neto, S., Teich, S., Lang, L., ve Campos, E. (2016). Mechanical properties and DIC analyses of CAD/CAM materials. *Journal of clinical and experimental dentistry*, 8(5), e512–e516. <https://doi.org/10.4317/jced.53014>
- Puckett, A. D., Fitchie, J. G., Kirk, P. C., ve Gamblin, J. (2007). Direct composite restorative materials. *Dental clinics of North America*, 51(3), 659–vii. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2007.04.003>
- Quinn G. D. (2015). On edge chipping testing and some personal perspectives on the state of the art of mechanical testing. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 31(1), 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2014.08.378>
- Rabinowicz E. (2013). *Friction and wear of materials*. 2nd ed. Wiley-Interscience.
- Reeh, E. S., Douglas, W. H., ve Messer, H. H. (1989). Stiffness of endodontically-treated teeth related to restoration technique. *Journal of dental research*, 68(11), 1540–1544. <https://doi.org/10.1177/00220345890680111401>

- Reeh, E. S., Messer, H. H., ve Douglas, W. H. (1989). Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures. *Journal of endodontics*, 15(11), 512–516. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(89\)80191-8](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(89)80191-8)
- Refaie, A., Fouda, A., Bourauel, C., ve Singer, L. (2023). Marginal gap and internal fit of 3D printed versus milled monolithic zirconia crowns. *BMC oral health*, 23(1), 448. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03184-8>
- Revilla-León, M., Gohil, A., Barmak, A. B., Gómez-Polo, M., Pérez-Barquero, J. A., Att, W., ve Koïs, J. C. (2022). Influence of ambient temperature changes on intraoral scanning accuracy. In *Journal of Prosthetic Dentistry* (Vol. 130, Issue 5, p. 755). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2022.01.012>
- Revilla-León, M., Meyers, M. J., Zandinejad, A., ve Özcan, M. (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 : official publication of the American Academy of Esthetic Dentistry*, 31(1), 51–57. <https://doi.org/10.1111/jerd.12438>
- Revilla-León, M., Mostafavi, D., Methani, M. M., ve Zandinejad, A. (2021). Manufacturing accuracy and volumetric changes of stereolithography additively manufactured zirconia with different porosities. In *Journal of Prosthetic Dentistry* (Vol. 128, Issue 2, p. 211). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.06.021>
- Revilla-León, M., Sadeghpour, M., ve Özcan, M. (2020). An update on applications of 3D printing technologies used for processing polymers used in implant dentistry. *Odontology*, 108(3), 331–338. <https://doi.org/10.1007/s10266-019-00441-7>
- Revilla-León, M., ve Özcan, M. (2018). Additive Manufacturing Technologies Used for Processing Polymers: Current Status and Potential Application in Prosthetic Dentistry [Review of Additive Manufacturing Technologies Used for Processing Polymers: Current Status and Potential Application in Prosthetic Dentistry]. *Journal of Prosthodontics*, 28(2), 146. Wiley. <https://doi.org/10.1111/jopr.12801>
- Revilla-León, M., ve Özcan, M. (2019). Additive Manufacturing Technologies Used for Processing Polymers: Current Status and Potential Application in Prosthetic

- Dentistry. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists*, 28(2), 146–158. <https://doi.org/10.1111/jopr.12801>
- Reymus, M., Fabritius, R., Keßler, A., Hickel, R., Edelhoff, D., ve Stawarczyk, B. (2020). Fracture load of 3D-printed fixed dental prostheses compared with milled and conventionally fabricated ones: the impact of resin material, build direction, post-curing, and artificial aging-an in vitro study. *Clinical oral investigations*, 24(2), 701–710. <https://doi.org/10.1007/s00784-019-02952-7>
- Richert, R., Goujat, A., Venet, L., Vigié, G., Viennot, S., Robinson, P., Farges, J., Fages, M., ve Ducret, M. (2017). Intraoral Scanner Technologies: A Review to Make a Successful Impression [Review of Intraoral Scanner Technologies: A Review to Make a Successful Impression]. *Journal of Healthcare Engineering*, 2017, 1. Hindawi Publishing Corporation. <https://doi.org/10.1155/2017/8427595>
- Rippe, M. P., Monaco, C., Volpe, L., Bottino, M. A., Scotti, R., ve Valandro, L. F. (2017). Different Methods for Inlay Production: Effect on Internal and Marginal Adaptation, Adjustment Time, and Contact Point. *Operative dentistry*, 42(4), 436–444.
- Rivera, E. M., ve Yamauchi, M. (1993). Site comparisons of dentine collagen cross-links from extracted human teeth. *Archives of oral biology*, 38(7), 541–546. [https://doi.org/10.1016/0003-9969\(93\)90118-6](https://doi.org/10.1016/0003-9969(93)90118-6)
- Roberson T, Heymann HO, Swift Jr EJ. (2006). *Sturdevant's art and science of operative dentistry*: Elsevier Health Sciences.
- Rocca GT, Bouillaguet S. (2008). Alternative treatments for the restoration of non-vital teeth. *Rev Odont Stomat* 37:259-272, 2008.
- Rosentritt, M., Rauch, A., Hahnel, S., ve Schmidt, M. (2023). In-vitro performance of subtractively and additively manufactured resin-based molar crowns. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 141, 105806. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2023.105806>
- Rödiger, M., Heinitz, A., Bürgers, R., ve Rinke, S. (2017). Fitting accuracy of zirconia single crowns produced via digital and conventional impressions-a clinical comparative

- study. *Clinical oral investigations*, 21(2), 579–587. <https://doi.org/10.1007/s00784-016-1924-y>
- Rudolph, H., Salmen, H., Moldan, M., Kuhn, K., Sichwardt, V., Wöstmann, B., ve Luthardt, R. G. (2016). Accuracy of intraoral and extraoral digital data acquisition for dental restorations. *Journal of Applied Oral Science*, 24, 85-94.
- Ruse, N. D., ve Sadoun, M. (2014). Resin-composite Blocks for Dental CAD/CAM Applications [Review of Resin-composite Blocks for Dental CAD/CAM Applications]. *Journal of Dental Research*, 93(12), 1232. SAGE Publishing. <https://doi.org/10.1177/0022034514553976>
- Ryu, J. E., Kim, Y. L., Kong, H. J., Chang, H. S., ve Jung, J. H. (2020). Marginal and internal fit of 3D printed provisional crowns according to build directions. *The journal of advanced prosthodontics*, 12(4), 225–232. <https://doi.org/10.4047/jap.2020.12.4.225>
- Saadi, A. S. A., El-Damanhoury, H. M., ve Khalifa, N. (2022). 2D and 3D Wear Analysis of 3D Printed and Prefabricated Artificial Teeth. In *International Dental Journal* (Vol. 73, Issue 1, p. 87). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.identj.2022.10.002>
- Sabatini, G. P., Dönmez, M. B., Çakmak, G., Demirel, M., Al-Haj Husain, N., Sesma, N., Yoon, H. I., ve Yilmaz, B. (2024). Additive manufacturing trueness and internal fit of crowns in resin modified with a commercially available ceramic composite concentrate. *The Journal of prosthetic dentistry*, 132(6), 1323.e1–1323.e8. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2024.09.005>
- Sadighpour, Leyla ve Farideh, Geramipannah ve Raeesi, B.. (2005). In Vitro Mechanical Tests for Modern Dental Ceramics. *J Dent (Tehran)*. 3.
- Sailer, I., Makarov, N. A., Thoma, D. S., Zwahlen, M., ve Pjetursson, B. E. (2015). All-ceramic or metal-ceramic tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs)? A systematic review of the survival and complication rates. Part I: Single crowns (SCs). *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 31(6), 603–623. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.02.011>

- Sakaguchi, R. L. (2012, Kasım 30). Craig's restorative dental materials. Google Books. https://books.google.com/books/about/Craig_s_Restorative_Dental_Materials.html?id=P1wTdCEHo5EC Sakaguchi RL, Powers JM. Craig's restorative. Dental Materials. 2012:161-98.
- Saridag, S., Sevimay, M., ve Pekkan, G. (2013). Fracture resistance of teeth restored with all-ceramic inlays and onlays: an in vitro study. *Operative dentistry*, 38(6), 626–634. <https://doi.org/10.2341/12-211-L>
- Schaefer, O., Watts, D. C., Sigusch, B. W., Kuepper, H., ve Guentsch, A. (2012). Marginal and internal fit of pressed lithium disilicate partial crowns in vitro: a three-dimensional analysis of accuracy and reproducibility. *Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials*, 28(3), 320–326. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2011.12.008>
- Scherrer S S, Denry I L, Wiskott H A (1998). Comparison of three fracture toughness testing techniques using a dental glass and a dental ceramic. *Dent Mater J*, 14(4): 246-255.
- Scherrer, S. S., Kelly, J. R., Quinn, G. D., ve Xu, K. (1999). Fracture toughness (K_{IC}) of a dental porcelain determined by fractographic analysis. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 15(5), 342–348. [https://doi.org/10.1016/s0109-5641\(99\)00055-x](https://doi.org/10.1016/s0109-5641(99)00055-x)
- Schmohl, L., Roesner, A. J., Fuchs, F., Wagner, M., Schmidt, M. B., Hahnel, S., Rauch, A., ve Koenig, A. (2022). Acid Resistance of CAD/CAM Resin Composites. *Biomedicines*, 10(6), 1383. <https://doi.org/10.3390/biomedicines10061383>
- Schneider, L. F., Cavalcante, L. M., ve Silikas, N. (2010). Shrinkage Stresses Generated during Resin-Composite Applications: A Review. *Journal of dental biomechanics*, 2010, 131630. <https://doi.org/10.4061/2010/131630>
- Schulz, A. C., Othman, A., Ströbele, D. A., Wagner, J., Mosch, R., ve von See, C. (2023). Fracture strength test of digitally produced ceramic-filled and unfilled dental resin restorations via 3d printing: An in vitro study. *Journal of clinical and experimental dentistry*, 15(2), e118–e124. <https://doi.org/10.4317/jced.60173>

- Schweiger, J., Edelhoff, D., ve Güth, J. (2021). 3D Printing in Digital Prosthetic Dentistry: An Overview of Recent Developments in Additive Manufacturing [Review of 3D Printing in Digital Prosthetic Dentistry: An Overview of Recent Developments in Additive Manufacturing]. *Journal of Clinical Medicine*, 10(9), 2010. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/jcm10092010>
- Sedrez-Porto, J. A., Rosa, W. L., da Silva, A. F., Münchow, E. A., ve Pereira-Cenci, T. (2016). Endocrown restorations: A systematic review and meta-analysis. *Journal of dentistry*, 52, 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2016.07.005>
- Seelbach, P., Brueckel, C., ve Wöstmann, B. (2013). Accuracy of digital and conventional impression techniques and workflow. *Clinical oral investigations*, 17(7), 1759–1764. <https://doi.org/10.1007/s00784-012-0864-4>
- Shim, J. S., Kim, J. E., Jeong, S. H., Choi, Y. J., ve Ryu, J. J. (2020). Printing accuracy, mechanical properties, surface characteristics, and microbial adhesion of 3D-printed resins with various printing orientations. *The Journal of prosthetic dentistry*, 124(4), 468–475. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.05.034>
- Shin, Y., Park, S., Park, J. W., Kim, K. M., Park, Y. B., ve Roh, B. D. (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. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.03.025>
- Shivaraman, V. (2023). In vitro comparison of marginal and internal fit of 3B printed definitive crowns and CAD CAM milled crowns (Doctoral dissertation, University of British Columbia)
- Sidhom, M., Zaghloul, H., Mosleh, I. E., ve Eldwakhly, E. (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. <https://doi.org/10.3390/polym14071285>
- Signore, A., Benedicenti, S., Covani, U, ve Ravera, G. (2007). A 4 to 6-year retrospective clinical study of cracked teeth restored with bonded indirect resin composite onlays.

International Journal of Prosthodontics, 20(6), 609-616.
[https://doi.org/10.1308/13557610878589116933\(5\), 484-487.alqa](https://doi.org/10.1308/13557610878589116933(5), 484-487.alqa)

- Singer, L., Fouda, A. M., ve Bourauel, C. (2023). Biomimetic approaches and materials in restorative and regenerative dentistry: review article [Review of Biomimetic approaches and materials in restorative and regenerative dentistry: review article]. BMC Oral Health, 23(1). BioMed Central. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-02808-3>
- Skorulska, A., Piszko, P. J., Rybak, Z., Szymonowicz, M., ve Dobrzyński, M. (2021). Review on Polymer, Ceramic and Composite Materials for CAD/CAM Indirect Restorations in Dentistry—Application, Mechanical Characteristics and Comparison [Review of Review on Polymer, Ceramic and Composite Materials for CAD/CAM Indirect Restorations in Dentistry—Application, Mechanical Characteristics and Comparison]. Materials, 14(7), 1592. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/ma14071592>
- Solanki, V., Patel, S. S., Shah, S. J., Patel, B. N., ve Ruparelia, N. K. (2021). Stamp technique to restore occlusal anatomy of the posterior tooth: A case report. IP Indian Journal of Conservative and Endodontics, 6(1), 64. <https://doi.org/10.18231/j.ijce.2021.014>
- Soliman, M., Alzahrani, G., Alabdualataif, F., Eldwakhly, E., Alsamady, S., Aldegheishem, A., ve Abdelhafeez, M. M. (2022). Impact of Ceramic Material and Preparation Design on Marginal Fit of Endocrown Restorations. Materials (Basel, Switzerland), 15(16), 5592. <https://doi.org/10.3390/ma15165592>
- Son, K., Lee, S., Kang, S. H., Park, J., Lee, K. B., Jeon, M., ve Yun, B. J. (2019). A Comparison Study of Marginal and Internal Fit Assessment Methods for Fixed Dental Prostheses. Journal of clinical medicine, 8(6), 785. <https://doi.org/10.3390/jcm8060785>
- Spagnuolo, G., ve Sorrentino, R. (2020). The Role of Digital Devices in Dentistry: Clinical Trends and Scientific Evidences. In Journal of Clinical Medicine (Vol. 9, Issue 6, p. 1692). Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/jcm9061692>

- Spitznagel, F. A., Boldt, J., Gierthmuehlen, P. C. (2018). CAD/CAM Ceramic Restorative Materials for Natural Teeth. *Journal of dental research*, 97(10), 1082–1091. <https://doi.org/10.1177/0022034518779759>
- Sriram, S., Shankari, V., ve Chacko, Y. (2018). Computer Aided Designing/Computer Aided Manufacturing in Dentistry (CAD/ CAM) – A Review [Review of Computer Aided Designing/Computer Aided Manufacturing in Dentistry (CAD/ CAM) – A Review]. *International Journal of Current Research and Review*, 10(20), 20. Radiance Research Academy. <https://doi.org/10.31782/ijcrr.2018.10205>
- Stawarczyk, B., Egli, R., Roos, M., Ozcan, M., ve Hämmerle, C. H. (2011). The impact of in vitro aging on the mechanical and optical properties of indirect veneering composite resins. *The Journal of prosthetic dentistry*, 106(6), 386–398. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(11\)60153-4](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(11)60153-4)
- Steiner, M., Mitsias, M. E., Ludwig, K., ve Kern, M. (2009). In vitro evaluation of a mechanical testing chewing simulator. *Dental Materials*, 25(4), 494–499. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2008.09.010>
- Strub, Joerg ve Rekow, E ve Witkowski, Siegbert. (2006). Computer-aided design and fabrication of dental restrations Current systems and future possibilities. *Journal of the American Dental Association* (1939). 137. 1289-96. [10.14219/jada.archive.2006.0389](https://doi.org/10.14219/jada.archive.2006.0389).
- Su, T. S., ve Sun, J. (2016). Comparison of marginal and internal fit of 3-unit ceramic fixed dental prostheses made with either a conventional or digital impression. *The Journal of prosthetic dentistry*, 116(3), 362–367. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.01.018>
- Suksuphan, P., Krajangta, N., Didron, P. P., Wasanapiarnpong, T., ve Rakmanee, T. (2024). 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. https://doi.org/10.2186/jpr.JPR_D_23_00089

- Sulaiman T. A. (2020). Materials in digital dentistry-A review. *Journal of esthetic and restorative dentistry : official publication of the American Academy of Esthetic Dentistry*, 32(2), 171–181. <https://doi.org/10.1111/jerd.12566>
- Sumino, N., Tsubota, K., Takamizawa, T., Shiratsuchi, K., Miyazaki, M., Latta, M. A. (2013). Comparison of the wear and flexural characteristics of flowable resin composites for posterior lesions. *Acta odontologica Scandinavica*, 71(3-4), 820–827. <https://doi.org/10.3109/00016357.2012.734405>
- Surdacka, A., Strzykała, K., ve Rydzewska, A. (2007). Changeability of Oral Cavity Environment. *European Journal of Dentistry*, 1(1), 14. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1698305>
- Sürmen, H. K. (2019). Eklemeli imalat (3B Baskı): Teknolojiler ve uygulamalar. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 24(2), 373–392. <https://doi.org/10.17482/uumfd.519147>
- Swackhamer, C., ve Bornhorst, G. M. (2019). Fracture properties of foods: Experimental considerations and applications to mastication. In *Journal of Food Engineering* (Vol. 263, p. 213). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.07.002>
- Swartz, D. B., Skidmore, A. E., ve Griffin, J. A. (1983). Twenty years of endodontic success and failure. In *Journal of Endodontics* (Vol. 9, Issue 5, p. 198). Elsevier BV. [https://doi.org/10.1016/s0099-2399\(83\)80092-2](https://doi.org/10.1016/s0099-2399(83)80092-2)
- Şahiner, B. (2022), Farklı Ölçü Teknikleri ile Üretilen Zirkonya Köprü Protezlerinin Marjinal Uyum ve Mekanik Dayanımlarının Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- Taha, D., Spintzyk, S., Schille, C., Sabet, A., Wahsh, M., Salah, T., ve Geis-Gerstorfer, J. (2017). Fracture resistance and failure modes of polymer infiltrated ceramic endocrown restorations with variations in margin design and occlusal thickness. In *Journal of Prosthodontic Research* (Vol. 62, Issue 3, p. 293). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2017.11.003>

- Taormina, G., Sciancalepore, C., Messori, M., ve Bondioli, F. (2018). 3D printing processes for photocurable polymeric materials: technologies, materials, and future trends. *Journal of applied biomaterials & functional materials*, 16(3), 151–160. <https://doi.org/10.1177/2280800018764770>
- Tasaka, A., Matsunaga, S., Odaka, K., Ishizaki, K., Ueda, T., Abe, S., Yoshinari, M., Yamashita, S., ve Sakurai, K. (2018). Accuracy and retention of denture base fabricated by heat curing and additive manufacturing. In *Journal of Prosthodontic Research* (Vol. 63, Issue 1, p. 85). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2018.08.007>
- Tebianian, M., Aghaie, S., Jafari, N. R., Hosseini, S. R. E., Pereira, A. B., Fernandes, F. A. O., Farbakhti, M., Chen, C., ve Huo, Y. (2023). A Review of the Metal Additive Manufacturing Processes [Review of A Review of the Metal Additive Manufacturing Processes]. *Materials*, 16(24), 7514. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/ma16247514>
- Teixeira, E. S., Rizzante, F. A., Ishikiriama, S. K., Mondelli, J., Furuse, A. Y., Mondelli, R. F., ve Bombonatti, J. F. (2016). Fracture strength of the remaining dental structure after different cavity preparation designs. *General dentistry*, 64(2), 33–36.
- Tian, Y., Chen, C., Xu, X., Wang, J., Hou, X., Li, K., Lu, X., Shi, H., Lee, E. S., Jiang, H. B. (2021). A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications. *Scanning*, 2021, 9950131. <https://doi.org/10.1155/2021/9950131>
- Tomita, Y., Uechi, J., Konno, M., Sasamoto, S., Iijima, M., ve Mizoguchi, I. (2018). Accuracy of digital models generated by conventional impression/plaster-model methods and intraoral scanning. In *Dental Materials Journal* (Vol. 37, Issue 4, p. 628). Japanese Society for Dental Materials and Devices. <https://doi.org/10.4012/dmj.2017-208>
- Topkara, C., ve Keleş, A. (2022). Examining the adaptation of modified endocrowns prepared with CAD-CAM in maxillary and mandibular molars: A microcomputed tomography study. *The Journal of prosthetic dentistry*, 127(5), 744–749. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.12.003>

- Tordiglione, L., Franco, M. D., ve Bosetti, G. (2016). The Prosthetic Workflow in the Digital Era. In *International Journal of Dentistry* (Vol. 2016, p. 1). Hindawi Publishing Corporation. <https://doi.org/10.1155/2016/9823025>
- Tsai, Y. L., Petsche, P. E., Anusavice, K. J., ve Yang, M. C. (1998). Influence of glass-ceramic thickness on Hertzian and bulk fracture mechanisms. *The International journal of prosthodontics*, 11(1), 27–32.
- Tsujimoto, A., Jurado, C., Villalobos-Tinoco, J., Barkmeier, W., Fischer, N., Takamizawa, T., Latta, M., ve Miyazaki, M. (2019). Wear resistance of indirect composite resins used for provisional restorations supported by implants. *The journal of advanced prosthodontics*, 11(4), 232–238. <https://doi.org/10.4047/jap.2019.11.4.232>
- Tumbleston, J. R., Shirvanyants, D., Ermoshkin, N., Janusiewicz, R., Johnson, A. R., Kelly, D. ve Samulski, E. T. (2015). Continuous liquid interface production of 3D objects. *Science*, 2397. doi:10.1126/science.aaa2397
- Turker, I., Kursoglu, P. (2021). Wear evaluation of CAD-CAM dental ceramic materials by chewing simulation. *The journal of advanced prosthodontics*, 13(5), 281–291. <https://doi.org/10.4047/jap.2021.13.5.281>
- Turssi CP, Ferracane JL, Vogel K (2005). Filler features and their effects on wear and degree of conversion of particulate dental resin composites. *Biomaterials* 26: 4932–4937.
- Tüylek, Z. (2023). *Biyomedikal Alanında Hızla İlerleyen Üretim Teknolojisi: 3B Yazıcılar*. A. Ateş (Ed.), *Her Yönüyle Mühendislik ve Mimarlık Araştırmaları* (s.111-144). Klaipeda: SRA Academic Publishing
- Tzimas, K., Tsiafitsa, M., Gerasimou, P., ve Tsitrou, E. (2018). Endocrown restorations for extensively damaged posterior teeth: clinical performance of three cases. In *Restorative Dentistry & Endodontics* (Vol. 43, Issue 4). Korean Academy of Conservative Dentistry. <https://doi.org/10.5395/rde.2018.43.e38>
- Ueda, K., Beuer, F., Stimmelmayer, M., Erdelt, K., Keul, C., ve Güth, J. F. (2016). Fit of 4-unit FDPs from CoCr and zirconia after conventional and digital impressions.

Clinical oral investigations, 20(2), 283–289. <https://doi.org/10.1007/s00784-015-1513-5>

Unkovskiy, A., Bui, P. H., Schille, C., Geis-Gerstorfer, J., Huettig, F., ve Spintzyk, S. (2018). Objects build orientation, positioning, and curing influence dimensional accuracy and flexural properties of stereolithographically printed resin. Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials, 34(12), e324–e333. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2018.09.011>

Uzgur, R., Ercan, E., Uzgur, Z., Çolak, H., Yalçın, M., & Özcan, M. (2018). Cement Thickness of Inlay Restorations Made of Lithium Disilicate, Polymer-Infiltrated Ceramic and Nano-Ceramic CAD/CAM Materials Evaluated Using 3D X-Ray Micro-Computed Tomography. Journal of prosthodontics: official journal of the American College of Prosthodontists, 27(5), 456–460. <https://doi.org/10.1111/jopr.12521>

van Noort R. (2012). The future of dental devices is digital. Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials, 28(1), 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2011.10.014>

Venkat, R., Chander, Ng., ve Vasantakumar, M. (2013). Comprehensive Analysis of Repair/Reinforcement Materials for Polymethyl Methacrylate Denture Bases: Mechanical and Dimensional Stability Characteristics. In The Journal of Indian Prosthodontic Society (Vol. 13, Issue 4, p. 439). Springer Science+Business Media. <https://doi.org/10.1007/s13191-012-0249-z>

Vervack, V., Johansson, C., Coster, P. D., Fokkinga, W. A., Papia, E., ve Vandeweghe, S. (2023). 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. <https://doi.org/10.1111/jerd.13187>

Vianna, A. L. S. V., Prado, C. J. D., Bicalho, A. A., Pereira, R. A. D. S., Neves, F. D. D., ve Soares, C. J. (2018). Effect of cavity preparation design and ceramic type on the stress distribution, strain and fracture resistance of CAD/CAM onlays in molars.

Journal of applied oral science : revista FOB, 26, e20180004.
<https://doi.org/10.1590/1678-7757-2018-0004>

- Vij, A., ve Reddy, A. (2020). Using digital impressions to fabricate space maintainers: A case report. In *Clinical Case Reports* (Vol. 8, Issue 7, p. 1274). Wiley.
<https://doi.org/10.1002/ccr3.2848>
- Vlagos, K., Salazar, D., Reale, A., Sukotjo, C., Clarke, S., Campbell, S. D., ve Rodriguez, A. E. (2021). Implementation of a Single-Tooth Pre-Doctoral CAD/CAM Dentistry Curriculum at UIC: History, Description, SWOT Analysis, and Quantitative Evaluation. In *Education Sciences* (Vol. 11, Issue 6, p. 301). Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/educsci11060301>
- Wakefield CW, Kofford KR. Advances in restorative materials. *Dental clinics of North America*. 2001;45(1):7-29.
- Wang, S., ve Qiu, Y. (2022). Synthesis of SiO₂ Nanoparticle Epoxy Resin Composite and Silicone-Containing Epoxy Resin for Coatings [Review of Synthesis of SiO₂ Nanoparticle Epoxy Resin Composite and Silicone-Containing Epoxy Resin for Coatings]. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2022, 1. Hindawi Publishing Corporation. <https://doi.org/10.1155/2022/8227529>
- Wang, W., Yu, H., Liu, Y., Jiang, X., ve Gao, B. (2019). Trueness analysis of zirconia crowns fabricated with 3-dimensional printing. *The Journal of prosthetic dentistry*, 121(2), 285–291. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.04.012>
- Wassell, R. W., McCabe, J. F., ve Walls, A. W. (1994). A two-body frictional wear test. *Journal of dental research*, 73(9), 1546–1553.
<https://doi.org/10.1177/00220345940730091001>
- Wendler M, Kaizer MR, Belli R, Lohbauer U, Zhang Y (2020). Sliding contact wear and subsurface damage of CAD/CAM materials against zirconia. *Dental Materials* 36: 387–401.
- Wettstein, F., Sailer, I., Roos, M., ve Hämmerle, C. H. (2008). Clinical study of the internal gaps of zirconia and metal frameworks for fixed partial dentures. *European journal*

of oral sciences, 116(3), 272–279. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.2008.00527.x>

- Whitworth, J., Walls, A. W. G., ve Wassell, R. W. (2002). Crowns and extra-coronal restorations: Endodontic considerations: the pulp, the root-treated tooth and the crown [Review of Crowns and extra-coronal restorations: Endodontic considerations: the pulp, the root-treated tooth and the crown]. *BDJ*, 192(6), 315. Springer Nature. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.4801365>
- Wilson, K. S., Zhang, K., ve Antonucci, J. M. (2005). Systematic variation of interfacial phase reactivity in dental nanocomposites. *Biomaterials*, 26(25), 5095–5103. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2005.01.008>
- Winter, W., ve Karl, M. (2012). Dehydration-induced shrinkage of dentin as a potential cause of vertical root fractures. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 14, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2012.05.008>
- Wong, K.V., Hernandez, A. (2012). A Review of Additive Manufacturing. *ISRN Mechanical Engineering*, Vol 2012 (2012), Article ID 208760, 10 pages.. *ISRN Mechanical Engineering*. 2012. 10.5402/2012/208760.
- Wu, Y., Qi, H., Wang, D., Liao, M., Zhang, Y., Zhang, J., ve Xie, H. (2023). Evaluation of custom posts and cores fabricated by two digital technologies in core and post space dimensions. In *Journal of Prosthodontics* (Vol. 33, Issue 6, p. 593). Wiley. <https://doi.org/10.1111/jopr.13742>
- Yan, X. and Gu, P. (1996) A Review of Rapid Prototyping Technologies and Systems. *Computer-Aided Design*, 28, 307-318. [http://dx.doi.org/10.1016/0010-4485\(95\)00035-6](http://dx.doi.org/10.1016/0010-4485(95)00035-6)
- Yang, S.-Y., Koh, Y., ve Kim, H. (2023). Digital Light Processing of Zirconia Suspensions Containing Photocurable Monomer/Camphor Vehicle for Dental Applications. In *Materials* (Vol. 16, Issue 1, p. 402). Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/ma16010402>

- Yang, X., Lv, P., Liu, Y., Si, W., ve Feng, H. (2015). Accuracy of digital impressions and fitness of single crowns based on digital impressions. *Materials*, 8(7), 3945-3957.
- Yao, J., Li, J., Wang, Y., ve Huang, H. (2014). Comparison of the flexural strength and marginal accuracy of traditional and CAD/CAM interim materials before and after thermal cycling. In *Journal of Prosthetic Dentistry* (Vol. 112, Issue 3, p. 649). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2014.01.012>
- Yavuz, E., ve Yılmaz, S. (2021). Diş Hekimliğinde Yeni ve Hızla İlerleyen Üretim Teknolojisi: 3 Boyutlu Yazıcılar. *Akdeniz Tıp Dergisi*, 7(2), 197-205.
- Yen, H. H., ve Stathopoulou, P. G. (2018). CAD/CAM and 3D-printing Applications for Alveolar Ridge Augmentation. In *Current Oral Health Reports* (Vol. 5, Issue 2, p. 127). Springer Science+Business Media. <https://doi.org/10.1007/s40496-018-0180-4>
- Yeşil Duymuş, Z., ve Özdoğan, A. (2018). Dental Seramiklerin Dayanıklılıklarının Değerlendirilmesinde Kullanılan Bükülme Dayanımı Testleri. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 28(4), 625-628. <https://doi.org/10.17567/ataunidfd.474169>
- Yildiz, C., Vanlioğlu, B. A., Evren, B., Uludamar, A., ve Ozkan, Y. K. (2013). Marginal-internal adaptation and fracture resistance of CAD/CAM crown restorations. *Dental materials journal*, 32(1), 42–47. <https://doi.org/10.4012/dmj.2012-148>
- Yılmaz, B., Marques, V. R., Donmez, M. B., Cuellar, A. R., Lu, W. E., Abou-Ayash, S., ve Çakmak, G. (2022). Influence of 3D analysis software on measured deviations of CAD-CAM resin crowns from virtual design file: An in-vitro study. *Journal of dentistry*, 118, 103933. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103933>
- Yin, R., Jang, Y. S., Lee, M. H., ve Bae, T. S. (2019). Comparative Evaluation of Mechanical Properties and Wear Ability of Five CAD/CAM Dental Blocks. *Materials (Basel, Switzerland)*, 12(14), 2252. <https://doi.org/10.3390/ma12142252>
- Yoon, T.-H., Madden, J. C., ve Chang, W. (2013). A technique to restore worn denture teeth on a partial removable dental prosthesis by using ceramic onlays with CAD/CAM

- technology. In *Journal of Prosthetic Dentistry* (Vol. 110, Issue 4, p. 331). Elsevier BV. [https://doi.org/10.1016/s0022-3913\(13\)60385-6](https://doi.org/10.1016/s0022-3913(13)60385-6)
- You, S. G., You, S. M., Lee, B. I., Kim, D. Y., ve Kim, J. H. (2022). Effect of layer thickness setting on the adaptation of stereolithography apparatus-fabricated metal frameworks for removable partial dentures: An in vitro study. *The Journal of prosthetic dentistry*, 127(2), 276–281. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.06.041>
- Zaim, B., Serin Kalay, T., ve Purcek, G. (2022). Friction and wear behavior of chairside CAD-CAM materials against different types of antagonists: An in vitro study. *The Journal of prosthetic dentistry*, 128(4), 803–813. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.09.024>
- Zaimoğlu A, Can G. Sabit Protezler. (2022). 2. Basım, s.255-282, Ankara Üniversitesi Dişhekimliği Yayınları.
- Zarauz, C., Valverde, A., Martinez-Rus, F., Hassan, B., ve Pradies, G. (2016). Clinical evaluation comparing the fit of all-ceramic crowns obtained from silicone and digital intraoral impressions. *Clinical oral investigations*, 20(4), 799–806. <https://doi.org/10.1007/s00784-015-1590-5>
- Zarone, F., Sorrentino, R., Apicella, D., Valentino, B., Ferrari, M., Aversa, R., ve Apicella, A. (2006). Evaluation of the biomechanical behavior of maxillary central incisors restored by means of endocrowns compared to a natural tooth: a 3D static linear finite elements analysis. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 22(11), 1035–1044. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2005.11.034>
- Zheng, Yong ve Bashandeh, Kian ve Shakil, Ahmad ve Jha, Swarn ve Polycarpou, Andreas. (2021). Review of dental tribology: Current status and challenges. *Tribology International*. 166. 107354. [10.1016/j.triboint.2021.107354](https://doi.org/10.1016/j.triboint.2021.107354).
- Zheng, Z., Y. He, W. Ruan, Z. Ling, C. Zheng, Y. Gai, W. Yan (2021). "Biomechanical behavior of endocrown restorations with different CAD CAM materials: A 3D finite element and in vitro analysis." *J Prosthet Dent* 125(6): 890-899.

- Ziada, S., Chebil, M., Zokkar, N., ve Bhourri, L. (2017). Indirect Composite Resin İnleys-Onleys: A Clinical Report. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 6(12), 1475. <https://doi.org/10.21275/art20178983>
- Zimmer, S., Göhlich, O., Rüttermann, S., Lang, H., Raab, W. H., ve Barthel, C. R. (2008). Long-term survival of Cerec restorations: a 10-year study. *Operative Dentistry*, Veneziani, M. (2017). Posterior indirect adhesive restorations: Updated indications and the Morphology Driven Preparation Technique. *International Journal of Esthetic Dentistry*, 12(2), 204-230.
- Zimmermann, M., Ender, A., Attin, T., ve Mehl, A. (2020). Fracture load of three-unit full-contour fixed dental prostheses fabricated with subtractive and additive CAD/CAM technology. *Clinical oral investigations*, 24(2), 1035–1042. <https://doi.org/10.1007/s00784-019-03000-0>
- Zimmermann, M., Ender, A., Egli, G., Özcan, M., ve Mehl, A. (2019). Fracture load of CAD/CAM-fabricated and 3D-printed composite crowns as a function of material thickness. *Clinical oral investigations*, 23(6), 2777–2784. <https://doi.org/10.1007/s00784-018-2717-2>
- Zortürk, Y. D. D. M., Yağcı, D. F., Kılınç, D. H. İ., Gümüş, D. H. Ö., (2008). Üç Farklı Siman Ajanının Turkom Ceratın Tam Seramik Kronların Vertikal Kırılma Direnci Üzerine Etkisi. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 2008(2), 47-52.
- Zuccari, A. G., Oshida, Y., Miyazaki, M., Fukuishi, K., Onose, H., ve Moore, B. K. (1997). Reinforcement of acrylic resins for provisional fixed restorations. Part II: Changes in mechanical properties as a function of time and physical properties. *Bio-medical materials and engineering*, 7(5), 345–355.

EKLER

EK A

A.1 ETİK KURUL ONAY YAZISI

Evrak Tarih ve Sayısı: 12.11.2024-77209

ALTINBAŞ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ BİLİMSEL ARAŞTIRMA ETİK KURULU

Sayı: 32
Konu: Prof. Dr. Burçin Büyüknaldı

Tarih: 3.11.2024

Sayın Prof. Dr. Burçin Büyüknaldı
Altınbaş Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi

İlgi: Altınbaş Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dekanlığının 16.10.2024 tarihli yazısı ile
Altınbaş Üniversitesi Sağlık Bilimleri Bilimsel Araştırma Etik Kurulunun 2024/38 sayılı yazısı.

Sorumlu araştırmacılığını üstlendiğiniz ve yardımcı araştırmacılığını Diş Hekimi Serra Nur Beydili'nin yaptığı 2024/38 dosya numaralı "Eklemeli ve kazıma teknikle üretilen endokuronların internal adaptasyon ve termodinamik yaşlandırma sonrası aşınma ve kırılma dayanımının değerlendirilmesi" başlıklı çalışma, kurulumuzun 31 Ekim 2024 tarih ve 5 sayılı toplantısında görüşülerek etik yönden uygun bulunmuş olup, tutanaklar ekte sunulmuştur.

Bilgilerinize sunarım.

Prof. Dr. Mustafa Aydın BARLAS

Sağlık Bilimleri Bilimsel Araştırma

Etik Kurul Başkanı

E-imzalıdır

Eki: Altınbaş Üniversitesi Sağlık Bilimleri Bilimsel Araştırma Etik Kurulu Karar Formu

ALTINBAŞ ÜNİVERSİTESİ SAĞLIK BİLİMLERİ BİLİMSEL ARAŞTIRMA ETİK KURULU KARAR FORMU

BAŞVURU BİLGİLERİ	ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI	Eklemeli ve kazıma teknikle üretilen endokuronların internal adaptasyon ve termodinamik yaşlandırma sonrası aşınma ve kırılma dayanımının değerlendirilmesi.							
	ARAŞTIRMA PROTOKOL KODU	2024/38							
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACI UNVANI/ADI/SOYADI	Prof. Dr. Burçin Büyüknaldı (Diş Hekimi Serra Nur Beydili)							
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ UZMANLIK ALANI	Protetik Diş Tedavisi							
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ BULUNDUĞU MERKEZ	Altınbaş Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi							
	ARAŞTIRMANIN TÜRÜ	Anket	☐						
		Bilimsel araştırma	☒						
ARAŞTIRMAYA KATILAN MERKEZLER	TEK MERKEZ ☒	ÇOK MERKEZLİ ☐	ULUSAL ☒	ULUSLARARASI ☐					
DEĞERLENDİRİLEN BELGELER									
1	İNDEKS	☒	DİĞER:						
2	AKADEMİK KURUL / KURUM KARARI	☒							
3	OLGU RAPOR FORMU	☒							
4	BAŞVURU FORMU	☒							
5	HASTA TAKİP FORMU ÖRNEĞİ	☐							
6	BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU ÖRNEĞİ	☒							
7	ARAŞTIRMA BÜTÇESİ	☒							
8	DESTEKLEYEN KURULUŞ	☐							
9	LİTERATÜR ÖRNEĞİ	☒							
10	TAAHHÜTNAME	☒							
11	İZİN BELGELERİ	☒							
12	ÖZGEÇMİŞLER	☒							
KARAR BİLGİLERİ	Karar No: 5	Tarih: 31.10.2024							
	Yukarıda bilgileri verilen araştırma başvuru dosyası ile ilgili belgeler araştırmanın gerekece, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş, gerçekleştirilmesinde etik ve bilimsel salınca bulunmadığına toplanmaya katılan Sağlık Bilimleri Bilimsel Araştırma Etik Kurul üye tam sayısının salt çoğunluğu ile karar verilmiştir.								
ALTINBAŞ ÜNİVERSİTESİ SAĞLIK BİLİMLERİ BİLİMSEL ARAŞTIRMA ETİK KURULU									
Unvanı/Adı/Soyadı	Uzmanlık Alanı	Kurumu	Cinsiyet	Araştırma ile ilişkisi *	Katılım **	İmza			
Prof. Dr. Mustafa Aydın BARLAS (ETİK KURUL BAŞKANI)	Farmakoloji	Altınbaş Üniversitesi	E	K	E	H	E	H	e-imzalıdır
Prof. Dr. Hatun Hanzade DOĞAN	Tıp Etiği	Altınbaş Üniversitesi	E	K	E	H	E	H	e-imzalıdır
Prof. Dr. Nuray Yılmaz Altıntaş	Ağız Diş ve Çene Cerrahisi	Altınbaş Üniversitesi	E	K	E	H	E	H	e-imzalıdır
Prof. Dr. Mehmet Soy	İç Hastalıkları	Altınbaş Üniversitesi	E	K	E	H	E	H	e-imzalıdır
Doç. Dr. Şükriye Karadayı	Adli Bilimler	Altınbaş Üniversitesi	E	K	E	H	E	H	e-imzalıdır
Dr. Öğr. Üyesi Emir RUŞEN	Nöroloji	Altınbaş Üniversitesi	E	K	E	H	E	H	e-imzalıdır
Dr. Öğr. Üyesi Gaye HAFEZ	Farmakoloji	Altınbaş Üniversitesi	E	K	E	H	E	H	e-imzalıdır
Dr. Öğr. Üyesi Arzu Temizyürek	Fizyoloji	Altınbaş Üniversitesi	E	K	E	H	E	H	e-imzalıdır

* :Araştırma ile ilişkisi

** :Toplantıda Bulunma