



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı
Protetik Diş Tedavisi

[Doktora Tezi]

**FARKLI AĞIZ İÇİ TARAYICILARDAN ALINAN ÖLÇÜLERDE PREPARASYON
TASARIMININ ÖLÇÜ DOĞRULUĞUNA ETKİSİ**

Mehmet GÖZEN
ORCID: 0009-0002-0570-8131

Danışman

Doç. Dr. Ceyda AKIN
ORCID: 0000-0001-9704-3100

Bu tez çalışması Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 24DR24002 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Konya – 2026



ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanması, yürütülmesi ve sonuçlandırılması sürecinde bilgi, deneyim ve değerli görüşleriyle her aşamada yol gösteren, sabrı ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Ceyda Akın'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Doktora eğitimime katkılarından dolayı değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Ali Rıza Tunçdemir'e, Sayın Doç. Dr. Emine Begüm Büyükerkmen'e, Sayın Doç. Dr. Mehmet Gökberkkaan Demirel'e, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Meryem Erdoğan'a

Tez çalışmama katkılarından dolayı Sayın Doç. Dr. Mehmet Esad Güven'e,

Meslek ve eğitim hayatıma katkıları ve yol göstericiliği ile desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Neslihan Güntekin'e

Doktora eğitiminin en başından bu zorlu yolu birlikte yürüdüğüm desteğiyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan arkadaşım Yusuf Kamil Şeker'e,

Doktora eğitim esnasında tanışmaktan mutluluk duyduğum Protetik Diş Tedavisi Anabilimdalı personeline,

Eğitim hayatım boyunca ve özellikle doktora tez sürecinin zorlu ve yoğun aşamalarında, sabrı, anlayışı ve koşulsuz desteğiyle her zaman yanımda olan; varlığı, desteği ve motivasyonu bu süreci daha güçlü ve kararlı bir şekilde tamamlamamda büyük paya sahip olan annem Semra Gözen'e,

Akademik yolculuğum boyunca bana her zaman güvenen, desteğini ve inancını hiçbir zaman esirgemeyen; sağladığı manevi güç ve teşvik, bu çalışmanın tamamlanmasında önemli bir dayanak olan babam Mustafa Gözen'e,

Bu süreçte her zaman yanımda olan, anlayışı, sabrı ve içten desteğiyle bana güç veren; zorlayıcı dönemlerde gösterdiği anlayış ve moral desteği, tez sürecini daha sağlıklı ve motive bir şekilde sürdürmeme katkı sağlayan kardeşim Gamze Gözen'e

Sonsuz teşekkürlerimi, sevgi ve saygılarımı sunarım.

Mehmet GÖZEN

Şubat 2026

İÇİNDEKİLER

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR	iii
TEZ ONAY SAYFASI	vi
TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU	vii
BİLİMSEL ETİK BEYANNAMESİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
KISALTMALAR	x
TABLolar LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Preparasyon Prensipleri	5
2.1.1. Diş yapısının korunması	5
2.1.2. Retansiyon ve rezistans.....	6
2.1.3. Yapısal dayanıklılık	6
2.1.4. Marjinal uyum.....	6
2.1.5. Periodonsiyumun korunması	7
2.2. Bitim Marjini Şekilleri.....	7
2.2.1. Vertikal bitim marjini çeşitleri.....	7
2.2.2. Horizontal bitim marjini çeşitleri.....	8
2.3. Dijital Ölçü Yöntemleri	10
2.3.1. Laboratuvar ortamında kullanılan ağız dışı tarayıcılar	11
2.3.2. Klinik kullanıma yönelik ağız içi tarayıcılar	12
2.4. Dijital Ölçüm Sistemlerinde Hassasiyeti Etkileyen Değişkenler	20
2.4.1. Cihaz kaynaklı faktörler.....	20
2.4.2. Operatör kaynaklı	30
2.4.3. Hastaya bağlı klinik faktörler	32
2.5. Taramada Meydana Gelen Hatalar	35
2.5.1. Taramada meydana gelen boşluklar	36
2.5.2. Tarama görüntüleri birleştirmesi	38
2.5.3. Yumuşak dokuya bağlı meydana gelen hatalar	39
2.5.4. Yetersiz tarama güvenilirliği	39
2.5.5. Tarama gürültüsü	39
2.5.6. Komşu yüzey mesafesi	40

2.5.7. Bitiş hattı belirsizliği.....	41
2.6. İntraoral Tarayıcıların Doğruluk Analizi.....	41
2.6.1. Hizalama yöntemleri.....	42
2.6.2. Değerlendirme kriterleri	43
3. MATERYAL METOD.....	45
3.1. Referans Model Tasarımı ve Üretimi	45
3.2. Dijital Tarama Süreci.....	49
3.3. Tersine Mühendislik ve Analiz Yöntemi.....	50
3.4. İstatistiksel Analiz	53
4. BULGULAR	55
4.1. Tekli Etkileşimler	55
4.1.1. Tarayıcılar.....	55
4.1.2. Basamak tipi	56
4.1.3. Gingival seviye	57
4.2. İkili Etkileşimler	57
4.2.1. Basamak tipi - tarayıcı etkileşimi	57
4.2.2. Gingival seviye - tarayıcı etkileşimi	59
4.2.3. Basamak tipi - gingival seviye etkileşimi	60
4.3. Üçlü Etkileşimler	61
5. TARTIŞMA.....	65
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	77
6.1. Sonuç	77
6.2. Öneriler.....	77
7. KAYNAKLAR.....	79
8. EKLER	91
8.1. EK 1 Etik Kurul Kararı.....	91

TEZ ONAY SAYFASI

Necmettin Erbakan Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ Anabilim Dalı Doktora Öğrencisi **Mehmet Gözen'in** “**Farklı Ağız İçi Tarayıcılardan Alınan Ölçülerde Preparasyon Tasarımının Ölçü Doğruluğuna Etkisi**” başlıklı tezi tarafımızdan incelenmiş; amaç, kapsam ve kalite yönünden Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Konya / 02.02.2026

Tez Danışmanı Doç. Dr. Ceyda Akın
Necmettin Erbakan Üniversitesi
Diş Hekimliği Fakültesi

Jüri Üyesi Doç. Dr. Emine Begüm Büyükerkmen
Necmettin Erbakan Üniversitesi
Diş Hekimliği Fakültesi

Jüri Üyesi Doç. Dr. Zeynep Taştan Eroğlu
Necmettin Erbakan Üniversitesi
Diş Hekimliği Fakültesi

Jüri Üyesi Prof. Dr. Serhan Akman
Selçuk Üniversitesi
Diş Hekimliği Fakültesi

Jüri Üyesi Prof. Dr. Müjde Sevimay
Antalya Bilim Üniversitesi
Diş Hekimliği Fakültesi

Yukarıdaki tez, Necmettin Erbakan Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 12/02/2026 tarih ve 03/08 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hasibe VURAL

Enstitü Müdürü

TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Farklı Ağız İçi Tarayıcılardan Alınan Ölçülerde Preparasyon Tasarımının Ölçü Doğruluğuna Etkisi başlıklı tez çalışmamın toplam 77 sayfalık kısmına ilişkin, 12.02.2026 tarihinde tez danışmanım tarafından **Turnitin** adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %5 olarak belirlenmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

1. Tez kabul sayfası hariç
2. Tez çalışması orijinallik raporu sayfası hariç
3. Bilimsel etik beyannamesi sayfası hariç
4. Ön söz hariç
5. İçindekiler hariç
6. Simgeler ve kısaltmalar hariç
7. Materyal ve metot hariç
8. Kaynaklar hariç
9. Alıntılar dahil
10. 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Necmettin Erbakan Üniversitesi Tez Çalışması Orijinallik Raporu Uygulama Esaslarını inceledim ve tez çalışmamın, bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranının (%20) altında olduğunu ve intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

12.02.2026

Mehmet Gözen

Doç. Dr. Ceyda Akın

BİLİMSEL ETİK BEYANNAMESİ

Bu tezin tamamının kendi çalışmam olduğunu, planlanmasından yazımına kadar tüm aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini, tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez hazırlama kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel kurallara uygun olarak atıf yapıldığını ve bu kaynakların kaynaklar listesine eklendiğini beyan ederim.

02.02.2026

Mehmet Gözen

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

- ° Derece
- °K Kelvin Derece
- µm Mikrometre
- °C Santigrat Derece
- % Yüzde



KISALTMALAR

AI : (Artificial Intelligence) Yapay Zeka

BOPT : (Biologically Oriented Preparation Technique) Biyolojik Olarak Yönlendirilmiş Preparasyon Tekniği

CAD : (Computer-Aided Design) Bilgisayar Destekli Tasarım

CAM : (Computer-Aided Manufacturing) Bilgisayar Destekli Üretim

C : Chamfer

DLP : (Digital Light Processing) Dijital Işık İşleme

FPS : (Frames Per Second) Saniye Başına Kare

HD : (Hausdorff Distance) Hausdorff Mesafesi

ICP : (Iterative Closest Point) Yinelemeli En Yakın Nokta Algoritması

IPA : (Isopropyl Alcohol) İzopropil Alkol

IOS : (Intraoral Scanner) Ağız İçi Tarayıcı

ISO : (International Organization for Standardization) Uluslararası Standardizasyon Örgütü

LCD : (Liquid Crystal Display) Sıvı Kristal Görüntüleme

M : Medit

MAD : (Median Absolute Deviation) Medyan Mutlak Sapma

MDP : Metal Destekli Porselen

P : Primescan

RS : (Rounded Shoulder) Yuvarlatılmış Shoulder

S : Shoulder

SS : Standart Sapma

SLA : (Stereolithography) Stereolitografi Yöntemi

SB : Subgingival

SPR : Supragingival

T3 : Trios 3

T5 : Trios 5

UV : (Ultraviolet) Ultraviyole

TABLULAR LİSTESİ

Tablo No	Sayfa No
Tablo 2.1. Güncel ağız içi tarayıcı sistemlerinin teknik özelliklerinin karşılaştırılması.....	19
Tablo 2.2. Tarayıcı hassasiyetini etkileyen faktörlerin sınıflandırılması	37
Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan cihazlar	50
Tablo 4.1. Tarayıcılara göre RMS değerleri	55
Tablo 4.2. Tarayıcıların marjinal MAD değerleri	56
Tablo 4.3. Basamak tipine göre RMS değerleri	56
Tablo 4.4. Basamak tiplerine göre marjinal MAD değerleri.....	57
Tablo 4.5. Gingival marjin seviyesine göre RMS değerleri.....	57
Tablo 4.6. Gingival seviyeye göre marjinal MAD değerleri.....	57
Tablo 4.7. Preparasyon RMS değerleri tarayıcı basamak tipi etkileşimi	58
Tablo 4.8. Marjin RMS değerleri tarayıcı basamak tipi etkileşimi	59
Tablo 4.9. Preparasyon RMS değerleri tarayıcı gingival seviye etkileşimi	60
Tablo 4.10. Marjin RMS değerleri tarayıcı gingival seviye etkileşimi	60
Tablo 4.11. Preparasyon RMS değerleri gingival seviye basamak etkileşimi	61
Tablo 4.12. Marjin RMS değerleri gingival seviye basamak etkileşimi	61
Tablo 4.13. Preparasyon RMS değerleri	62
Tablo 4.14. Marjin RMS değerleri	63

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil No	Sayfa No
Şekil 2.1. Shoulderless ve edgeless preparasyonlar ve karşılaştırılması.....	8
Şekil 2.2. Konfokal görüntüleme çalışma prensibinin şematik gösterimi.....	22
Şekil 2.3. Triangülasyon yöntemi çalışma prensibi	23
Şekil 2.4. Yapılandırılmış ışıkla triangülasyon yönteminin çalışma prensibi.....	24
Şekil 2.5. Farklı ağız içi tarayıcılar için üretici tarafından önerilen tarama paternleri.....	31
Şekil 2.6. Gerçeklik ve tekrarlanabilirlik kavramlarının görsel gösterimi	42
Şekil 3.1. Çalışma tasarımının şematik gösterimi	45
Şekil 3.2. Molar diş çıkarıldıktan sonra tasarım programına aktarılan stl model	46
Şekil 3.3. Subgingival shoulder marjin	46
Şekil 3.4. Subgingival rounded shoulder marjin	47
Şekil 3.5. Subgingival chamfer marjin	47
Şekil 3.6. Supragingival shoulder marjin	47
Şekil 3.7. Supragingival rounded shoulder marjin	47
Şekil 3.8. Supragingival chamfer marjin.....	48
Şekil 3.9. Model üretiminde kullanılan üç boyutlu yazıcı ve kütleme cihazı	48
Şekil 3.10. Üç boyutlu yazıcı kullanılarak elde edilen rezin modeller	49
Şekil 3.11. Ağız içi tarayıcı kullanılarak elde edilen stl görüntüsü.....	51
Şekil 3.12. 3Shape D2000 referans tarayıcı kullanılarak elde edilen referans taraması stl görüntüsü.....	51
Şekil 3.13. Marjin bölgesinin segmente ayrılması	52
Şekil 3.14. Preparasyon tamamının segmente ayrılması	52
Şekil 3.15. Best fit alignment yöntemi kullanılarak modellerin karşılaştırılması	53

ÖZET

Necmettin Erbakan Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü
Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı
Protetik Diş Tedavisi
[Doktora Tezi]

FARKLI AĞIZ İÇİ TARAYICILARDAN ALINAN ÖLÇÜLERDE PREPARASYON TASARIMININ ÖLÇÜ DOĞRULUĞUNA ETKİSİ

Mehmet GÖZEN

Konya-2026

Amaç: Bu in vitro çalışmada, farklı marjinal dişeti seviyeleri (supragingival ve subgingival) ile bitim hattı tasarımlarının (shoulder, chamfer ve rounded shoulder) çeşitli ağız içi tarayıcıların (intraoral scanner, IOS) dijital ölçüm doğruluğu üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. **Gereç ve Yöntem:** Altı standart tam kron preparasyon modeli, Rhinoceros 8 yazılımında 2 mm oklüzal indirgeme, toplam 10° taper (her duvar için 5°) ve 1 mm marjin genişliği olacak şekilde tasarlanmıştır. İki farklı marjin seviyesi (1 mm supragingival, 1 mm subgingival) ve üç farklı bitim hattı tipi (shoulder, chamfer, rounded shoulder) kombinasyonu ile altı model elde edilmiştir. Modeller, LCD tabanlı reçine yazıcı (Pionext DJ89 Plus, Çin) kullanılarak 10 µm katman kalınlığında üretilmiş ve tarama öncesi 24 saat boyunca sabit sıcaklıkta stabilize edilmiştir. Her model dört farklı IOS sistemiyle (Trios 3, Trios 5, Primescan, Medit i700) on iki kez taranarak toplam 288 veri seti elde edilmiştir. Referans taramalar masaüstü tarayıcı (3Shape D2000, Danimarka) ile yapılmış, elde edilen veriler Geomagic Control X yazılımında best-fit alignment yöntemiyle hizalanmıştır. Marjinal bölge ve preparasyon yüzeyleri ayrı ayrı analiz edilmiş, sapmalar RMS (Root Mean Square) değeri ile nicel olarak değerlendirilmiştir. İstatistiksel analizler Jamovi 2.6.26 yazılımında Robust ANOVA ve Bonferroni düzeltmeli post-hoc testleriyle yapılmış, anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edilmiştir. **Bulgular:** Tarayıcı tipi, bitim hattı tasarımı ve marjin seviyesi tarama doğruluğunu anlamlı şekilde etkilemiştir ($p < 0,001$). En düşük RMS değerleri Primescan ($14,9 \pm 0,49 \mu\text{m}$) ve Medit i700 ($15,2 \pm 0,85 \mu\text{m}$) ile elde edilirken, Trios 3 ($20,0 \pm 0,61 \mu\text{m}$) ve Trios 5 ($19,0 \pm 0,59 \mu\text{m}$) daha yüksek sapma göstermiştir. Rounded shoulder tasarımları hem preparasyon yüzeyi ($12,7 \pm 0,50 \mu\text{m}$) hem de marjin bölgesinde ($14,0 \pm 0,66 \mu\text{m}$) en yüksek doğruluğu sunmuştur. Subgingival gruplarda RMS değerleri supragingival gruplara kıyasla anlamlı derecede yüksek bulunmuştur ($p < 0,001$). Üçlü etkileşim analizi (tarayıcı tipi \times marjin seviyesi \times bitim hattı) anlamlı farklılık göstermiştir ($p < 0,05$); özellikle subgingival shoulder kombinasyonları, tüm sistemlerde en yüksek sapmaları oluşturmuştur (örneğin Medit i700: $31,03 \pm 3,51 \mu\text{m}$). **Sonuç:** Dijital ölçüm doğruluğu; kullanılan tarayıcı teknolojisi, bitim hattı geometrisi ve marjin seviyesinden önemli ölçüde etkilenmektedir. Rounded shoulder ve supragingival preparasyonlar, özellikle optik erişimin kısıtlandığı subgingival bölgelerde, chamfer ve shoulder tasarımlarına kıyasla daha yüksek doğruluk göstermiştir. Primescan (hibrit sistem) ve Medit i700 (yapılandırılmış ışık) tarayıcılar en doğru sonuçları vermiştir. Marjinal analizde RMS değerlerinin genel yüzey analizine göre daha yüksek olması, segmentasyon temelli bölgesel analizlerin lokal sapmaları tespit etmede daha güvenilir ve detaylı sonuçlar sunduğunu göstermiştir. **Klinik Önemi:** Subgingival shoulder preparasyonlar, dijital ölçüm doğruluğu açısından en fazla hata eğilimi gösteren kombinasyondur. Bu nedenle supragingival seviyede rounded shoulder veya chamfer tasarımlarının tercih edilmesi, marjinal doğruluğu artırarak CAD/CAM restorasyonlarının uzun dönem başarısını desteklemektedir.

Anahtar Kelimeler: Ağız içi tarayıcı, Doğruluk, Preparasyon.

ABSTRACT

Necmettin Erbakan University, Graduate School of Health Sciences
Department of Prosthodontics
Prosthodontics
[Doctoral Thesis]

EFFECT OF PREPARATION DESIGN ON ACCURACY OF IMPRESSIONS OBTAINED FROM DIFFERENT INTRAORAL SCANNERS

Mehmet GÖZEN

Konya-2026

Purpose: This in vitro study aimed to evaluate the effects of marginal gingiva level (supragingival and subgingival) and finish line design (shoulder, chamfer, and rounded shoulder) on the digital impression accuracy of different intraoral scanners (IOS). **Materials and Methods:** Six standardized full crown preparation models were designed in Rhinoceros 8 with 2 mm occlusal reduction, 10° total taper (5° per wall), and a 1 mm margin width. Two gingival margin levels (1 mm supragingival and 1 mm subgingival) and three finish line designs (shoulder, chamfer, rounded shoulder) were combined to create six test models. Models were fabricated using an LCD-based resin 3D printer (Pionext DJ89 Plus, China) with a 10 µm layer thickness and stabilized for 24 h before scanning. Each model was scanned twelve times with four IOS systems (Trios 3, Trios 5, Primescan, and Medit i700), yielding 288 datasets. Reference scans were obtained using a desktop scanner (3Shape D2000, Denmark). The datasets were aligned using the best-fit method in Geomagic Control X (3D Systems, USA). Marginal and preparation surface deviations were quantified by the Root Mean Square (RMS) method. Data were statistically analyzed in Jamovi 2.6.26 using robust ANOVA and Bonferroni-adjusted post-hoc tests ($p < 0.05$). **Results:** Scanner type, finish line design, and gingival margin level significantly affected scan accuracy ($p < 0.001$). Primescan ($14.9 \pm 0.49 \mu\text{m}$) and Medit i700 ($15.2 \pm 0.85 \mu\text{m}$) yielded the lowest RMS values, whereas Trios 3 ($20.0 \pm 0.61 \mu\text{m}$) and Trios 5 ($19.0 \pm 0.59 \mu\text{m}$) showed higher deviations. Rounded shoulder designs demonstrated the highest accuracy for both preparation ($12.7 \pm 0.50 \mu\text{m}$) and margin regions ($14.0 \pm 0.66 \mu\text{m}$), followed by chamfer and shoulder types. Subgingival preparations ($20.2 \pm 0.58 \mu\text{m}$) exhibited significantly higher RMS values than supragingival ones ($14.4 \pm 0.33 \mu\text{m}$). A significant three-way interaction was found among scanner, finish line design, and gingival level ($p < 0.05$), with subgingival shoulder combinations showing the highest deviations—especially for Medit i700 ($31.03 \pm 3.51 \mu\text{m}$) and Trios 3 ($26.83 \pm 0.59 \mu\text{m}$). **Conclusions:** Digital impression accuracy is significantly influenced by scanner technology, finish line geometry, and marginal level. Rounded shoulder and supragingival preparations demonstrated superior trueness compared to chamfer and shoulder forms, particularly in subgingival regions where optical access is limited. Hybrid (Primescan) and structured-light (Medit i700) scanners achieved the most accurate results. In the marginal analysis, RMS values were higher compared to the overall surface evaluation, indicating that segmentation-based regional analysis provides more reliable and detailed results for identifying localized deviations. **Clinical Significance:** Subgingival shoulder preparations pose the greatest challenge for digital impression accuracy. Rounded shoulder or chamfer designs at supragingival levels are recommended to enhance marginal precision and ensure long-term clinical success of CAD/CAM restorations.

Keywords: Accuracy, Intraoral scanner, Preparation.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Dijital diş hekimliğinde intraoral tarayıcılar (IOS), konvansiyonel ölçü yöntemlerine alternatif olarak giderek daha fazla kullanılmaktadır. Hasta konforunun artması, klinik süreçlerin hızlanması ve dijital iş akışlarıyla uyumluluk gibi avantajları nedeniyle IOS sistemleri, sabit protetik restorasyonlardan implant üstü protezlere kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir (Dhull vd., 2024; Eggmann & Blatz, 2024; Revilla-León, Sicilia, vd., 2023; Revilla-León vd., 2022). Bununla birlikte, taramaların doğruluğu; kullanılan cihazın teknolojisine, operatörün deneyimine, klinik koşullara ve preparasyon tasarımına bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir (Ender, Attin, vd., 2016; Güth vd., 2016)

Diş hekimliğinde, özellikle marjinal bölgelerde sağlanan doğruluk kritik bir parametredir. Marjinal uyumun yetersizliği, sekonder çürük, periodontal irritasyon ve restorasyonun uzun dönem başarısızlığı gibi olumsuz klinik sonuçlara yol açabilmektedir (Alkadi, 2023; Oh vd., 2020). Bu nedenle marjin bölgesinin dijital taramalarla doğru kaydedilmesi, biyolojik uyum ve protetik restorasyonların ömrü açısından temel bir gereklilik olarak görülmektedir.

Marjin seviyesinin tarama doğruluğu üzerindeki etkisi, literatürde önemli bir tartışma konusudur. Subgingival marjinler, yumuşak doku ve sınırlı görüş hattı nedeniyle optik erişimi zorlaştırırken; supragingival marjinlerde görüş hattı kısıtlamaları daha az belirgindir (Bernauer vd., 2020; Ferrari Cagidiaco vd., 2021; Ferrari vd., 2018; Nedelcu vd., 2018; K. Son & Lee, 2021). Bunun yanında, gingival seviyeye ek olarak kullanılan retraksiyon yöntemleri, tarayıcıların yazılım algoritmalarının marjin çizgisini tanımlama kapasitesini doğrudan etkileyebilmektedir (Sanda vd., 2021).

Bitim hattı tasarımı da IOS sistemlerinin performansını etkileyen bir diğer faktördür. Shoulder, chamfer ve rounded shoulder gibi farklı basamak tipleri; optik yansıma, ışık geçiş açısı ve yazılımın yüzeyleri yorumlama biçimini değiştirebilmektedir. Özellikle shoulder preparasyonların keskin kenar geometrisi nedeniyle hata riskini artırabildiği, chamfer ve rounded shoulder tasarımlarının ise daha akıcı geçişler sunarak tarayıcı algoritmaları açısından daha avantajlı olabileceği belirtilmektedir (Auskalnis vd., 2024; CEYLAN vd., 2024; Falih & Majeed, 2023; Gunel vd., 2023).

Protetik diş hekimliğinde kullanılan bitim hattı tasarımları, seçilecek restorasyon materyali ve klinik endikasyonlara göre farklılık göstermektedir. Shoulder preparasyonlar, genellikle metal desteksiz seramik kronlarda ve özellikle porselenin kırılma riskini azaltmak amacıyla tercih edilmektedir; keskin kenar ve geniş marjinal destek sağlamaları bu restorasyonlarda avantaj oluşturmaktadır (Shillingburg, 2022; Shillingburg vd., 1973). Chamfer tasarımı ise metal seramik restorasyonlarda ve tam metal kronlarda sıkça uygulanmakta olup, daha az diş dokusu kaybı sağlaması ve oklüzal kuvvetlerin dağılımında uygun sonuçlar vermesi nedeniyle klinikte yaygın olarak kullanılmaktadır. Rounded shoulder preparasyonlar, shoulder'a benzer biçimde seramik restorasyonlarda tercih edilmekle birlikte, keskin kenar yerine daha yuvarlatılmış geçişler sunarak hem marjinal dayanıklılığı artırmakta hem de biyolojik uyum açısından daha elverişli bir profil sağlamaktadır (Rosenstiel, 2016). Bu nedenle farklı basamak tipleri, restoratif materyal ve klinik endikasyonlara göre farklı avantajlar sunmakta ve dijital taramaların doğruluk düzeylerini de doğrudan etkileyebilmektedir.

IOS sistemlerinin kullandıkları optik teknolojiler doğruluk ve tekrarlanabilirlik üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Konfokal görüntüleme, triangülasyon ve hibrit sistemler farklı avantajlar sunmakta olup, bu teknolojiler arasındaki farklar özellikle marjinal bölgelerdeki veri toplama kapasitesini etkilemektedir (Baldi vd., 2023; Ferrari Cagidiaco vd., 2021; Ferrari vd., 2018; Nedelcu vd., 2018; Revilla-León vd., 2023; Revilla-León vd., 2024; Sindhu vd., 2023; K. Son & Lee, 2021; Y.-T. Son vd., 2022). Literatürde farklı tarayıcıların performanslarını karşılaştıran çalışmalar, cihazlar arasında doğruluk değerleri açısından anlamlı farklılıklar olabileceğini ortaya koymuştur (Ali & Majeed, 2024; Borbola vd., 2024; Guzelce Sultanoğlu & Keleş, 2024).

İntraoral taramaların doğruluğunu etkileyen faktörler çok boyutlu bir yapı sergilemektedir. Bu faktörler genel olarak cihaz ve yazılım kaynaklı, operatör kaynaklı ve hasta kaynaklı etkenler olarak sınıflandırılabilir (Revilla-León, Sicilia, vd., 2023; Revilla-León vd., 2022). Cihaz teknolojisi, kalibrasyon sıklığı, yazılımın veri işleme algoritmaları ve tarayıcı başlığı boyutu gibi teknik unsurlar taramanın temel doğruluğunu belirlerken; operatörün deneyimi, tarama yolu seçimi ve uygulama becerisi doğruluk üzerinde önemli rol oynamaktadır (Ender, Attin, vd., 2016; Ender & Mehl, 2013). Ayrıca hastaya bağlı faktörler arasında dişin konumu, ark morfolojisi, mevcut restorasyonlar, ağız içi nem ve tükürük varlığı gibi klinik koşullar yer almaktadır (Güth vd., 2016). Tarama sürecinin aşamaları da önemlidir: tarama öncesi cihaz kalibrasyonu ve strateji planlaması, tarama sırasında seçilen hareket paterni ve

sabitlik, tarama sonrasında ise yazılımın eksik alanları yeniden işleme başarısı doğruluk üzerinde belirleyici olmaktadır (Alkadi, 2023; Oh vd., 2020; Revilla-León, Sicilia, vd., 2023). Etki düzeyine göre incelendiğinde ise marjin seviyesi, tarama yolu, ağız içi nem ve tarayıcı teknolojisi gibi değişkenlerin yüksek etkili olduğu; ortam ışık koşulları, tarayıcı başlığı boyutu ve tarama alanı uzunluğunun orta düzeyde etkili olduğu bildirilmektedir. Buna karşın kalibrasyon sıklığı veya gün içi sıcaklık değişimleri gibi etkenler görece daha düşük düzeyde etki göstermektedir (Agustín-Panadero vd., 2023).

Bu çalışmanın boş hipotezi, marjin seviyesi, bitim hattı tasarımı ve intraoral tarayıcı tipleri arasında tarama doğruluğu açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmayacağı yönündedir.





2. GENEL BİLGİLER

2.1. Preparasyon Prensipleri

Doğal dişler üzerine uygulanan sabit restorasyonların başarısı, doğru endikasyon ve uygun diş preparasyonu gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Diş preparasyonu, diş yüzeyinin restoratif materyal ile değiştirilmesini sağlayan bir aşındırma sürecidir ve diş sert dokularının geri dönüşümü olmayan kaybına yol açar. Bu işlemin başarısı, restorasyonun fonksiyonel ve estetik performansını belirlerken, uzun vadeli klinik prognozu da doğrudan etkilemektedir (Ates & Yesil Duymus, 2016; Rosenstiel, 2016). Özellikle minimal invaziv yaklaşımlar benimsenmeli ve çevre dokulara en az zarar verecek şekilde uygulanmalıdır.

Ölçü tekniklerindeki gelişmelerin yanı sıra üretilen yeni materyallerin preparasyonun geometrisinin ayrıntılarına ilişkin kendi talepleri olmasına rağmen, preparasyonun temel şekli yıllar içinde önemli ölçüde değişmemiştir. Temel biyomekanik prensipler ve preparasyon kuralları halen geçerliliğini korumaktadır (Goodacre, 2004; Miyazaki vd., 2009; Podhorsky vd., 2015). Diş preparasyonunun doğruluğu, kenar uyumu ve restorasyonun başarısı açısından kritik bir rol oynar. Klinik çalışmalarda, diş preparasyonu geometrisinin objektif değerlendirmesi yeterince yapılmadığı için, klinisyenlerin farklı konum ve şekildeki dişlerde preparasyon miktarını doğru tahmin etmesi zorlaşmaktadır (Tiu vd., 2015a).

Diş preparasyonunun biyolojik, mekanik ve estetik özellikleri karşılaması gerekmektedir. Preparasyon prensipleri:

Diş yapısının korunması

Retansiyon ve rezistans

Yapısal dayanıklılık

Marjinal uyum

Periodonsiyumun korunması şeklinde 5 ana başlıkta değerlendirilebilir.

2.1.1. Diş yapısının korunması

Diş preparasyonunda en önemli öncelik, dişin sağlamlığını ve biyolojik bütünlüğünü koruyarak gereksiz doku kaybını önlemektir. Restorasyon için yeterli alan sağlanırken mümkün olan en az diş dokusunun uzaklaştırılması gereklidir. Aşırı preparasyon, dentin ve mine yapısını zayıflatarak dişin kırılma haline gelmesine neden olabilir (Podhorsky vd., 2015; Whitworth vd.,

2002). Bunun aksine, yetersiz preparasyon, kronun yetersiz kalınlıkta olmasına ve mekanik olarak dayanıksız hale gelmesine yol açabilir (Hey vd., 2017; Marghalani, 2014). Özellikle seramik restorasyonlarda, yeterli malzeme kalınlığının sağlanması için optimal preparasyon büyük önem taşır (Goodacre vd., 2001; Podhorsky vd., 2015).

2.1.2. Retansiyon ve rezistans

Preparasyonun şekli, kronun yerinde kalmasını sağlayan tutuculuk ve direnç mekanizmalarına uygun olmalıdır. Tutuculuk, kronun oklüzal yönde çekilmesini önlerken, direnç formu lateral ve eğimli kuvvetler altında restorasyonun yer değiştirmesine engel olur (Rosenstiel, 2016; Shillingburg, 2022). Optimal tutuculuk ve direnç sağlamak için preparasyon duvarlarında 10 - 22 derece arasında bir koniklik önerilmektedir (Goodacre vd., 2001; Shillingburg, 2022). Ayrıca, preparasyon yüksekliğinin yeterli olması, dikey tutuculuğun artırılması açısından önemlidir (Bowley vd., 2013; Tanyeri & Sen, 2021). Kısa klinik kronlarda, tutuculuğu artırmak amacıyla yardımcı girinti ve oluklar eklenebilir (Rosenstiel, 2016; Shillingburg, 2022).

2.1.3. Yapısal dayanıklılık

Restorasyonun başarısı için, restoratif malzemenin gerektirdiği minimum kalınlık sağlanmalıdır. Metal restorasyonlar genellikle daha ince olabilirken (0,5-1,5 mm), porselen veya zirkonya restorasyonlar daha fazla malzeme kalınlığı gerektirir (1,0-2,0 mm) (Bowley vd., 2013; Tanyeri & Sen, 2021). Yeterli oklüzal ve aksiyal redüksiyon yapılmazsa, kron kırılğan hale gelir veya oklüzal kuvvetlere karşı dayanıksız olur. Aynı zamanda, preparasyonun pürüzsüz ve yuvarlatılmış köşe açlarına sahip olması, restorasyonun adaptasyonunu iyileştirir ve stres konsantrasyonunu azaltır. (Gracis vd., 2016; Shillingburg, 2022)

2.1.4. Marjinal uyum

Preparasyonun marjin bölgesi, kronun kenar uyumunu doğrudan etkileyen kritik bir faktördür (Goodacre vd., 2001; Nassar & Abo El-Mal, 2024). Keskin ya da düzensiz marjinler, kronun tam oturmasını engelleyebilir ve zamanla mikrosızıntıya neden olarak sekonder çürük oluşumunu teşvik edebilir (Bowley vd., 2013). Kullanılan restoratif malzemeye bağlı olarak farklı marjin tasarımları tercih edilir. Metal restorasyonlar için genellikle knife edge marjin, porselen restorasyonlar için ise shoulder marjin önerilmektedir (Limkangwalmongkol vd., 2007; Yüksel & Zaimoğlu, 2011). Rounded shoulder marjin, shoulder marjin ile benzer olup, kenar geçişi daha yuvarlatılmıştır. Bu tasarım, porselen destekli restorasyonlar için uygundur, çünkü keskin köşeleri ortadan kaldırarak kırılğanlığı azaltır ve daha iyi marjinal adaptasyon sağlayarak mikrosızıntıyı ve sekonder çürük riskini azaltır (Eftekhari Ashtiani vd., 2015;

Maghrabi vd., 2011). Knife edge marjinler ise genellikle tam metal kronlar için kullanılır. Porselen gibi kırılğan malzemeler için yeterli destek sağlayamayabilir (Limkangwalmongkol vd., 2009). Preparasyon sırasında, marjinlerin düzgün ve keskin olmayan şekilde oluşturulması, restorasyonun biyolojik uyumu için önemlidir (Eftekhar Ashtiani vd., 2015; Memarpour vd., 2016; Rosenstiel, 2016; Schriwer vd., 2017). Marjinal açıklık 100 µm'ye kadar klinik olarak kabul edilebilirdir. Zayıf uyumlar çürük, periodontal problemler, restorasyon başarısızlıkları gibi bir çok soruna sebebiyet verebilir (Goodacre, 2004; Minyé vd., 2018; Nassar & Abo El-Mal, 2024; Tiu vd., 2016).

2.1.5. Periodonsiyumun korunması

Kron marjinlerinin yerleşimi (supragingival , epigingival ve subgingival), periodontal sağlık üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Araştırmalar, her marjin tipinin de benzer plak birikimi ve diş eti sağlığını sürdürebileceğini, ancak subgingival marjinlerin artan cep derinliği, çekilme ve inflamasyon gibi olumsuz etkilerle ilişkili olduğunu göstermektedir (Guarnieri vd., 2019; M vd., 2017; Paniz vd., 2020). Subgingival marjinler biyolojik genişliği ihlal edebilir, bu da periodontal müdahaleleri gerektirebilir (Tucker vd., 2022). Restorasyon malzemesinin tam seramik ya da metal destekli porselen (MDP) olmasının periodontal sağlık üzerinde belirleyici bir etkisi olmadığı, ancak marjin yerleşiminin büyük rol oynadığı belirtilmektedir (Aboelsaad vd., 2012).

2.2. Bitim Marjini Şekilleri

Bitim sınırı ve konumu kron restorasyonlarda başarı için en önemli faktörlerden biridir. Restorasyonun dayanımı, estetiği ve periodontal uyumu gibi bir çok faktör üzerine etkilidir. Kron restorasyonlar için evrensel tek bir bitiş çizgisi yoktur. Kullanılacak restorasyon, estetik beklenti ve periodontal sağlık marjin seçiminde etkili olan faktörlerdendir (Şentürk, 2024). Vertikal ve horizontal olarak ikiye ayrılmaktadır.

2.2.1. Vertikal bitim marjini çeşitleri

Horizontal marjine göre daha konservatif bir yaklaşımdır (Adu-Ampomah vd., 2023; Limkangwalmongkol vd., 2007). Konservatif bir preparasyon olmasının yanında uygulayıcı tarafından pratik olması ve retansiyonunun iyi olması tercih edilebilirliğini arttırmaktadır. Siman temizlenmesinin zor olması marjinlerde incelen restorasyonlara bağlı kırılmalar ise dezavantajlarını oluşturmaktadır (Labno & Drobnik, 2020; Paniz vd., 2017).

Shoulderless vertikal preparasyon

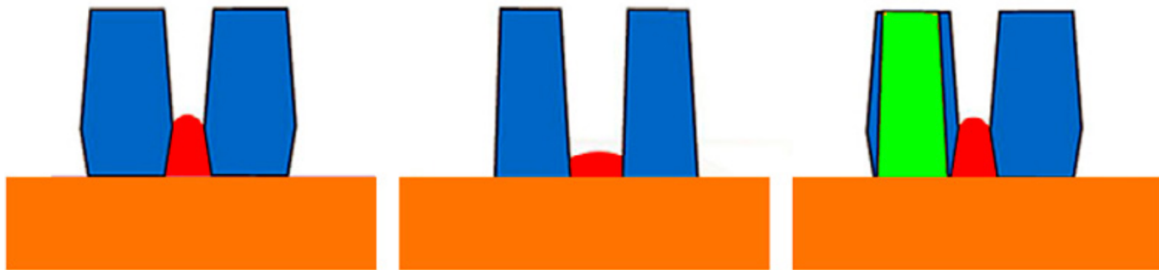
Feather edge, knife edge ve chisel edge olarak da bilinmektedir. Bu isimlendirmeler artan konikliğe bağlı olarak değişmektedir. Araştırmacılar uzun yıllar boyunca diş dokusuna en

koruyucu yaklaşım olduğunu ve en az marjinal uyumsuzluk gösterdiğini belirtmektedir (Limkangwalmongkol vd., 2007). Tarihte diş yapısını restore etmek için Scharp's kronları kullanılmıştır ve bu yumuşak alaşım sayesinde paralel olmayan preparasyonlar bile mümkün olmuştur. Günümüzde ise modern laboratuvar teknolojilerinin uygulanması ve shoulderless preparasyonun birçok dezavantajı nedeniyle bu yöntem neredeyse tamamen bırakılmıştır (Piemjai, 2001).

Edgeless vertikal preparasyon

Döner gingival küretaj (gingitaj) yöntemi, ilk olarak Vick Pollard ve Rex Ingraham tarafından geliştirilmiş, daha sonra Di Febo, Carnevale ve en son olarak Ignazio Loi tarafından daha da geliştirilmiştir (Loi & Di Felice, 2013). Bu yöntem, "biyolojik olarak yönlendirilmiş preparasyon tekniği" (BOPT) olarak da bilinmektedir. BOPT tekniği, küçük çaplı bir kanamaya yol açsa da yalnızca oral sulküler epitel ile sınırlıdır. Araştırma sonuçlarına göre, bu yeni epitel daha kalın olup yeni protez restorasyonuna sıkı bir şekilde tutunur; ancak bunun sağlanabilmesi için son derece hassas, pürüzsüz ve cilalı geçici ve nihai restorasyonların üretilmesi gerekmektedir (Wahsh & Taha, 2020).

BOPT tekniği, monolitik zirkonya kronların planlandığı protetik restorasyonlarda ve bitim hattının çok ince ve hassas olabildiği durumlarda endikedir. Aynı zamanda, kısa dişlerde daha paralel bir preparasyon sayesinde gelişmiş retansiyon sağlamak için ve mandibular kesici dişlerde, shoulder bitim hattı oluşturmanın dişin kron kısmının neredeyse tamamen kaldırılmasına neden olacağı durumlarda da kullanılabilir (Labno & Drobnik, 2020).



Şekil 2.1. Shoulderless ve edgeless preparasyonlar ve karşılaştırılması (Labno & Drobnik, 2020)

2.2.2. Horizontal bitim marjini çeşitleri

Klinik ve anatomik kron boyunun birbiri ile uyumlu periodontal sağlığın iyi olduğu durumlarda tercih edilmektedir (Loi & Di Felice, 2013). Konturun ideal olması, materyalin marjın bölgesinde yeterli kalınlıkta olmasını sağlayarak kırılma direncini arttırması, biyolojik genişliği koruması, marjın sınırlarının belirginliğiyle laboratuvar iletişimini kolaylaştırması

gibi avantajlara sahiptir (Labno & Drobnik, 2020). Diş dokusundan fazla madde kaldırılması, vertikal preparasyona göre komplike bir preparasyon olması gibi dezavantajları bulunmaktadır (Ichim vd., 2006; Labno & Drobnik, 2020). Chamfer ve shoulder olmak üzere iki ana çeşide sahiptir.

Shoulder bitim marjini

Düz (regular), eğimli (beveled), yuvarlatılmış (rounded), eğimli yuvarlatılmış (bevel rounded) gibi çeşitli modifikasyonlara sahiptir. Tam seramik ve MDP restorasyonlar için bu basamak tipi geçmişten günümüze başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Goodacre vd., 2001; Labno & Drobnik, 2020; Nassar & Abo El-Mal, 2024). Birçok seramik seramik materyal kullanımı shoulder ile ilişkilendirilmektedir (Quinn vd., 2012; Tiu vd., 2015b). Farklı tam seramik restorasyonların marjinal uyumunu inceleyen bir çalışmada, rounded shoulder marjinin iyi bir marjinal uyum sağladığı ve tüm tam seramik materyallerle kullanılabileceği belirtilmiştir (Şentürk, 2024).

Düz shoulder

90°'lik keskin bir kenara sahip shoulder marjini net bir sonlandırma çizgisi oluşturur. Güçlü destek sağlamak, seramik ve metal destekli restorasyonlarda iyi kenar uyumu sunmak, kırılma riskini azaltmak gibi avantajlara sahiptir. Fazla diş dokusunun kaldırılmasına bağlı olarak zayıf dişlerde uygulanması sakıncalı olabilmektedir. Tam seramik ve MDP restorasyonlar kullanım alanlarındandır (Naqash, 2018).

Eğimli shoulder

Düz shoulder'a ek olarak eğimli bir kenara sahiptir. Genellikle 45° eğimli olur. Metal restorasyonlarda marjin adaptasyonunu artırır. Dişin kırılma direncini yükseltir. Marjin sızıntısını azaltabilir. Seramik restorasyonlar için yeterli destek sunamaz ve uygulama sırasında fazla eğim verilirse marjinal uyumsuzluk oluşabilir. MDP restorasyonlarda tercih edilir (Shih vd., 2011).

Yuvarlatılmış shoulder

Keskin kenarlar yerine iç açısı yuvarlatılmış bir shoulder modifikasyonudur. Stresin eşit dağılmasını sağlar. Bu tasarım, stresin daha eşit dağılmasını sağlayarak seramik materyallerde kırılma riskini azaltır. Bu nedenle tam seramik ve zirkonya esaslı restorasyonlar için en uygun bitiş çizgilerinden biri olarak kabul edilir. Ancak MDP restorasyonlarda, metal altyapının marjinal bölgede porseleni yeterince destekleyebilmesi için dik bir omuz formuna gereksinim duyulur. Yuvarlatılmış shoulder tasarımları, bu bölgede metal kalınlığını azaltarak marjinal

deformasyon ve uyumsuzluk riskini artırabilir (Jalalian & Aletaha, 2011; Rosenstiel, 2016; Shillingburg, 2022).

Eğimli yuvarlatılmış shoulder

Yuvarlatılmış iç açığa ek olarak eğimli bir kenar içerir. Hem metal hem de seramik restorasyonlarda denge sağlar, dayanıklılığı artırır. Kenar uyumu ve restorasyon dayanıklılığı dengelidir. Teknik olarak hazırlanması zordur, yanlış uygulanırsa marjin sızıntısı oluşabilir. Hem seramik hem de metal destekli seramik restorasyonlarda kullanılabilir. Yüksek dayanıklılık gerektiren vakalarda tercih edilebilir (Hegde vd., 2024).

Chamfer bitim marjini

Düz, eğimli gibi çeşitli modifikasyonları bulunmaktadır. Daha çok tam metal, preslenmiş tam seramik, CAD/CAM restorasyonlarda tercih edilmektedir (Goodacre vd., 2001; Labno & Drobnik, 2020). Diş hekimlerinin tek üye kron preparasyonunda tercih ettikleri marjinlerin değerlendirildiği bir çalışmada chamfer ve derin chamfer marjinin deneyimli hekimler tarafından shoulder marjine göre daha çok tercih edildiği gösterilmiştir (Minyé vd., 2018). Yapılan bir çalışmada derin chamfer marjinin, shoulder marjine göre zirkonya restorasyonların mekanik performansını arttırdığı görülmüştür (Gavara vd., 2023; Yadav vd., 2023).

Düz chamfer

Hafif eğimli ve yuvarlatılmış bir kenar oluşturur. Düz ve belirgin bir sonlanma çizgisine sahiptir. Diş dokusunun korunmasını amaçlar. Kenar uyumu iyi olması nedeniyle sızıntı riski düşüktür. Stresi eşit dağıtarak kırılma riskini azaltır. Keskin kenar belirginliği az olabilir. Seramik restorasyonlar için ideal desteği sağlayamayabilir. MDP ve tam seramik restorasyonlarda tercih edilebilir (Jalalian & Aletaha, 2011).

Eğimli chamfer

Düz chamfer'a ek olarak eğimli bir kenara sahiptir. Açığı genellikle 45° civarındadır. Metal restorasyonların marjin uyumunu iyileştirir. Dayanıklılığı artırarak kırılma riskini düşürür. Diş eti uyumu iyidir ve biyolojik uyumluluk sağlar. Fazla eğim verildiğinde restorasyon kenarlarının kırılmasına neden olabileceğinden tam seramik restorasyonlar için uygun değildir. MDP restorasyonlarda tercih edilir (Jalalian & Aletaha, 2011; Naqash, 2018).

2.3. Dijital Ölçü Yöntemleri

Diş hekimliğinde dijital ölçü yöntemleri ağız içi ve laboratuvar tarayıcılar olarak iki kısma ayrılır. Ağız içi tarayıcılar, oral kaviteden üç boyutlu dijital veriler oluşturarak

konvansiyonel ölçü yöntemlerinde meydana gelen bozulmaların önüne geçilmesini sağlar. Laboratuvar tarayıcıları ise geleneksel ölçülerden veya alçı modellerden alınan verileri dijitalleştirerek CAD/CAM sistemlerine aktarılmasını sağlar. CAD/CAM sistemlerine entegre olmaları sayesinde klinik ve laboratuvar arasında uyumu arttırarak iş akışında süreklilik sağlar (Benli & Gökçen-Rohlig, 2020; Çağlar vd., 2015).

2.3.1. Laboratuvar ortamında kullanılan ağız dışı tarayıcılar

Laboratuvar tarayıcıları (3Shape D-Series, Medit T710, Dental Wings, Zirkozahn, vb.), tükürük, hareket ve ortam ışığı gibi değişkenlere maruz kalmaz. Bu durum ağız içi tarayıcılara göre daha tutarlı sonuçlar elde edilmesini sağlar (Piedra-Cascón vd., 2021). Otomatik döner tabla ve çok eksenli tarama gibi özellikleri sayesinde operatör müdahalesine gerek kalmadan taramalar gerçekleştirilebilir (Valigi vd., 2017). Tarayıcının sahip olduğu teknolojiye göre doğruluk değişmekle birlikte ortalama 20-50 µm düzeyinde trueness ve precision değerlerine sahiptirler ve klinik restorasyonlar için yeterli doğruluk sağlarlar (L. C. Chen & Xu, 2005; González de Villaumbrosia vd., 2016; Trpčić vd., 2023).

3Shape D-Series (3Shape, Danimarka)

3Shape'in D-Serisi laboratuvar tarayıcıları (D2000, D1000, D750 vb.), beyaz LED ışık ve yapılandırılmış ışık teknolojisine dayalı yüksek doğruluklu masaüstü tarayıcılardır. Özellikle D2000 modeli, aynı anda iki model tarayabilme özelliği ile dikkat çekmektedir. Yüksek hızda tam ark taramaları yaklaşık 25 saniyede tamamlayabilmekte ve doğruluk 5–7 µm düzeyindedir. 3Shape Dental System CAD yazılımı ile entegre çalışmakta olup, sabit protez, implant üstü restorasyon ve ortodonti uygulamalarında yaygın kullanılmaktadır (3Shape A/S, 2023a).

Medit T-Series (Medit, Güney Kore)

Medit T310, T510 ve T710 modellerini kapsayan T-Serisi laboratuvar tarayıcıları, yapılandırılmış ışık ve dört yüksek çözünürlüklü kamera kombinasyonu ile çalışmaktadır. Özellikle T710 modeli tam ark taramasını yalnızca 8 saniyede tamamlayabilmekte ve 4 µm doğruluk değeri sunmaktadır. Hareketli tarama tablası sayesinde 180° ve 360° açılardan otomatik tarama yapabilmekte, açık veri formatlarını desteklemektedir. Medit Link yazılımı üzerinden dijital iş akışına kolayca entegre edilebilmektedir (Medit Corp., 2023b).

Dental Wings scanners (Dental Wings/Straumann, Kanada)

Dental Wings masaüstü tarayıcıları, LED yapılandırılmış ışık teknolojisi ile çalışmakta ve yüksek çözünürlüklü kamera sistemiyle donatılmıştır. DWOS CAD yazılımı ile entegre olarak sabit protez, implant üstü protez ve ortodontik vakalarda güvenilir tarama imkânı sunar.

Renkli tarama desteği sayesinde yumuşak doku ve materyal ayırt etme avantajı sağlamaktadır. Doğruluk değerleri 7–10 µm aralığındadır (Dental Wings Inc., 2022).

Zirkonzahn S-Series (Zirkonzahn, İtalya)

Zirkonzahn'ın S400, S600+ ve S600 modellerini içeren masaüstü tarayıcı serisi, lazer triangülasyon veya yapılandırılmış ışık prensiplerini kullanmaktadır. S600 ARTI modeli, sanal artikülasyon entegrasyonu sayesinde eklem hareketlerini dijital ortamda simüle edebilmektedir. Bu tarayıcılar sabit protez ve implant üstü restorasyonlarda yüksek hassasiyet sunmakta olup, doğruluk değerleri yaklaşık 9 µm düzeyindedir (Zirkonzahn GmbH, 2023).

2.3.2. Klinik kullanıma yönelik ağız içi tarayıcılar

Ağız içi tarayıcılar, diş hekimliğinde dijital dönüşümün temelini oluşturan ve geleneksel ölçü yöntemlerine modern bir alternatif sunan cihazlardır. Bu tarayıcılar, yapılandırılmış ışık, konfokal görüntüleme veya triangülasyon gibi farklı tarama teknolojileri kullanarak ağız içinin 3 boyutlu modellerini oluşturur ve verileri anlık olarak yazılıma aktarır. Böylece dijital tasarım sistemleriyle entegre çalışarak restoratif, ortodontik ve implant tedavileri daha hızlı, hassas ve konforlu bir şekilde gerçekleştirebilir (de Freitas vd., 2024; Revilla-León vd., 2024).

IOS sistemlerinin başlıca avantajları arasında hastalar için daha konforlu bir ölçü alma deneyimi, kısa işlem süresi ve dijital ortamda kolayca işlenebilmesi yer almaktadır. Ayrıca restorasyon üretiminde hata payını azaltarak daha yüksek uyumlu restorasyonlar üretilmesine olanak tanır (Dhull vd., 2024).

Bununla birlikte, sistemin hassasiyeti birçok değişkenden etkilenebilir. Bunlar; cihaz kaynaklı (tarayıcı teknolojisi, yazılım algoritmaları, kalibrasyon durumu, başlık boyutu, çözünürlük, tarama mesafesi, odak derinliği vb.), operatör kaynaklı (deneyim, tarama yolu, açı, süresi vb.) ve hastaya bağlı (ağız yapısı, tükürük, restoratif materyaller, preparasyon şekli vb.) faktörler olarak sınıflandırılabilir.

Yazılım güncelliği ve veri işleme algoritmaları doğrudan doğruluğu etkilerken, ortam sıcaklığı ve aydınlatma gibi çevresel faktörler de ışık iletimini bozarak veri kaybına yol açabilir. Ayrıca, derinleştirilmiş implantlar, subgingival marjinler ve şeffaf yüzeyli restorasyonlarda tarama doğruluğu belirgin şekilde azalabilmektedir (Haddadi vd., 2018; Kwon vd., 2023; Revilla-León vd., 2022; Yılmaz vd., 2021). Özellikle dişsiz vakalarda ve tam ark taramalarında, tarama doğruluğu azalabilir ve operatörün deneyiminden etkilenebilir. IOS teknolojisinin yüksek başlangıç maliyetleri ve öğrenme eğrisi, cihaz kullanımının yaygınlaşmasını

yavaşlatabilmektedir. Buna rağmen dünya genelinde IOS kullanım oranları hızla artmaktadır (Eggmann & Blatz, 2024; Kwon vd., 2023).

Güncel literatürde, kullanım sıklığı ve kullanıcı memnuniyetine ilişkin yapılan anket çalışmalarında, intraoral tarayıcıların klinik rutinde hızla benimsendiği bildirilmektedir. Uluslararası bir çalışmada 1000'in üzerinde katılımcıdan elde edilen veriler, kullanıcıların %75'inden fazlasının günlük klinik pratiklerinde IOS kullandığını ve Medit ile Dentsply Sirona sistemlerinin en çok tercih edilen markalar olduğunu ortaya koymuştur. Araştırmacılar, dijital ölçü teknolojisinin artık evrensel bir standart haline geldiğini ve dijital iş akışlarının diş hekimliğinde hızla yayılacağını vurgulamıştır (Al-Hassiny vd., 2023).

Ağız içi tarayıcılar, geleneksel ölçü alma yöntemlerine göre daha yüksek doğruluk, kısa işlem süresi ve konfor artışı gibi birçok avantaj sağlamaktadır. Kullandıkları tarama teknolojilerine göre farklı sınıflara ayrılırlar (Tablo 2.1). Bu teknolojiler cihazın performansını, kullanım alanını ve tarama hassasiyetini doğrudan etkilerler(Gültekin & Akçin, 2024).

Trios 3 (3Shape, Danimarka)

Trios 3, paralel konfokal görüntüleme teknolojisini kullanan, video tabanlı bir intraoral tarayıcıdır. Dakikada yaklaşık 1000 fps (frame per second) hızla veri toplayarak, hem sabit hem de hareketli yüzeylerin yüksek hızda taranmasına olanak tanır. Bu teknoloji, derinlik algısını yapılandırılmış desen projeksiyonu yerine odak düzlemlerindeki netlik farklarına göre hesaplar. Tarayıcı, farklı odak seviyelerine yönlendirilen çoklu paralel ışın demetlerinden yalnızca odak düzleminde net yansıma verenleri sensör tarafından algılar. Böylece, ışık saçılımı veya yansıma kaynaklı gürültüler en aza indirilir ve yüksek çözünürlüklü yüzey topografyası elde edilir. Trios 3'ün beyaz LED ışık kaynağı ve sensörü, yüzey detaylarını homojen şekilde aydınlatıp yakalayarak pudra kullanımına gerek kalmadan doğru ölçüm sağlar. Üretici verilerine göre sistemin doğruluk değeri ortalama 6,9 µm düzeyindedir. Trios 3 ayrıca otomatik renk yakalama özelliğiyle renk bilgilerini aynı anda kaydederek dijital modelleme ve estetik planlama süreçlerine katkı sağlar. Tarayıcıdan elde edilen veriler, 3Shape Dental System yazılımı ile doğrudan entegre çalışarak CAD/CAM tasarım sürecine aktarılabilir. Klinik ve laboratuvar çalışmalarında, Trios 3 sisteminin yüksek tekrarlanabilirlik ve yüzey ayrıntı çözünürlüğü sunduğu; özellikle kısa köprü ve tek kron uygulamalarında stabil ölçüm doğruluğu gösterdiği bildirilmiştir (3Shape A/S, 2022).

Trios 5 (3Shape, Danimarka)

Trios 5, önceki nesil Trios 3 modeline göre daha kompakt ve ergonomik tasarıma sahip olup, geliştirilmiş optik sistem ve yapay zekâ destekli görüntü işleme algoritmaları ile donatılmıştır. Tarayıcı, paralel konfokal görüntüleme teknolojisini temel alır ve derinlik bilgisini, farklı odak düzlemlerinden yansıyan ışığın netlik farklarını analiz ederek oluşturur. Bu sistemde herhangi bir yapılandırılmış desen projeksiyonu kullanılmaz; bunun yerine çoklu odak düzlemlerine yönlendirilen paralel ışık demetleri, yüzey topografyasının yüksek doğrulukla kaydedilmesini sağlar. Trios 5'te kullanılan beyaz LED ışık kaynağı ve sensör, enerji verimliliği ve homojen aydınlatma açısından optimize edilmiştir. Trios 5'in en dikkat çeken özelliklerinden biri, yapay zeka tabanlı hareket düzeltme algoritmasıdır. Bu sistem, kullanıcı el hareketlerinden kaynaklanan mikro titreşimleri ve açısal kaymaları telafi ederek veri setindeki bozulmaları azaltır. Ayrıca "Smart Tip" adı verilen yeni tarama ucunda, tamamen kapalı optik pencere tasarımı sayesinde çapraz kontaminasyon riski minimuma indirilmiştir. Üretici verilerine göre Trios 5'in doğruluk değeri 4–6 µm aralığındadır ve klinik uygulamalarda Trios 3'e kıyasla daha hızlı ve sessiz bir veri işleme performansı sunar. Bunun yanında, daha düşük güç tüketimi ve kablosuz bağlantı desteğiyle kullanıcı konforu artırılmıştır (3Shape A/S, 2023b).

Primescan (Dentsply Sirona, Almanya)

Dentsply Sirona, önceki nesil Omnicam tarayıcısında kullanılan aktif triangülasyon prensibini geliştirerek, Primescan modelinde konfokal mikroskopisi ile birleştirilmiş hibrit bir tarama sistemi geliştirmiştir. Bu sistem, aynı anda hem yüksek frekanslı kontrast analizi hem de dinamik derinlik örnekleme prensiplerini kullanarak üç boyutlu veri oluşturur. Primescan, yüzeye gönderilen ışık ışınlarının farklı odak düzlemlerinden yansımalarını analiz ederek derinlik bilgisini elde eder. Geniş alan taramalarında aktif triangülasyon devreye girerken, marjinal bölgeler, fissürler ve subgingival alanlarda konfokal mikroskopisi mekanizması daha yüksek çözünürlüklü veri toplar. Bu kombinasyon, hem tarama hızını hem de yüzey ayrıntı doğruluğunu artırır. Cihaz, mavi LED ışık kaynağı ve yüksek yoğunluklu projektör sistemi sayesinde geniş görüş açısında homojen aydınlatma sağlar. Bu sistem, özellikle mine ve dentin gibi optik olarak karmaşık yüzeylerde yansıma kaynaklı veri kayıplarını azaltır. Primescan'ın yüksek çözünürlüklü sensörleri ve titreşim algılama sensörleri, tarama sırasında oluşabilecek el hareketlerinden kaynaklanan hataları minimize eder. Ayrıca, Primescan yazılımı gelişmiş veri füzyonu algoritmalarıyla her bir tarama görüntüsünü birleştirerek son derece ayrıntılı 3D modeller oluşturur. Üretici tarafından bildirilen doğruluk değeri ≤ 5 µm olarak belirtilmiştir.

Bu değer, tam çene taramaları dahil olmak uzere klinik düzeyde yüksek hassasiyet standardını temsil eder [72, 73]. (Dentsply Sirona, 2022, 2023).

Medit i700 (Medit Corp., Güney Kore)

Medit i700, faz kaydırmalı yapılandırılmış ışık ve aktif trianglasyon prensiplerini kullanan, video tabanlı bir intraoral tarayıcıdır. Cihaz, yüzey üzerine belirli desenlerde yapılandırılmış ışık (grid veya şerit formunda) projekte eder ve bu desenlerin yüzey topografisine göre deformasyonunu analiz ederek üç boyutlu verileri oluşturur. Sistemde kullanılan beyaz LED ışık kaynağı, yüksek yoğunluklu ve homojen aydınlatma sağlar. Kullanıcı arayüzü üzerinden mavi beyaz ışık spektrumunun yoğunluğu ayarlanabilir, bu da farklı yüzey yansıtıcılıklarına sahip materyallerde adaptif spektral kontrol imkânı sunar. Medit i700, iki adet sensör içeren stereo kamera sistemi ile çalışır; derinlik bilgisi, bu iki kamera arasındaki optik eksen farkına göre hesaplanır. Yaklaşık 70 fps hızında veri toplayabilen sistem, gerçek zamanlı model rekonstrüksiyonu sırasında hem yüksek kare hızını hem de düşük veri kaybını bir arada sunar. Kompakt gövde yapısı, açık kaynak yazılım desteği ve kablosuz bağlantı seçenekleri ile klinik kullanım kolaylığı sağlar. Üretici verilerine göre cihazın doğruluk değeri ortalama 11,2 m düzeyindedir. Medit i700, klinik ve laboratuvar çalışmalarda, özellikle tam ark taramalarda stabil performansı ve kullanıcı dostu arayüzü ile öne çıkmaktadır (Medit Corp., 2023a).

iTero Element 2 (Align Technology, Amerika)

iTero Element 2, paralel konfokal görüntüleme prensibini kullanan, video tabanlı bir intraoral tarayıcıdır. Sistem, LED ve düşük yoğunluklu lazer ışık kombinasyonu ile farklı odak düzlemlerinden gelen yansımaları analiz ederek üç boyutlu yüzey verisini oluşturur. Bu teknoloji, yüzeye herhangi bir pudra uygulanmasına gerek kalmadan yüksek znrlkl ve doğru dijital ölçümler alınmasına olanak tanır. Paralel konfokal prensipte, cihaz aynı anda birden fazla odak düzleminde veri toplayabilir. Her bir ışık demeti yalnızca odak düzleminde net bir yansıma oluşturduğunda algılanır; bu sayede sistem, yüzey topografyasını odak netliğine dayalı olarak hesaplar. iTero Element 2'nin bu yapısı, özellikle derin preparasyon bölgelerinde ve subgingival marjinlerde veri kaybını azaltır. Üretici verilerine göre cihaz, 6000 fps görüntü yakalama hızına sahiptir. Bu yüksek hız, gerçek zamanlı tarama akışı ve model oluşturma sürecinde hem hız hem de tekrarlanabilirlik avantajı sağlar. Cihaz, kompakt form faktörü ve ergonomik tarama ucuyla klinik uygulamalarda uzun süreli kullanımda kullanıcı konforunu artırır. iTero Element 2 sisteminde kullanılan gelişmiş optik sensörler, hem beyaz LED hem de lazer diyot kaynaklı aydınlatmayı senkronize ederek karmaşık ışık yönlendirmesi olmadan

yüksek hassasiyetli tarama yapılmasına olanak tanır. Üreticiye göre cihaz, yüksek doğruluk ve tekrarlanabilirlik düzeyine sahip olup, özellikle tek diş ve kısmi ark taramalarında klinik referans düzeyinde performans sergilemektedir (Align Technology Inc., 2023).

Virtuo Vivo (Dental Wings/Straumann, Kanada)

Virtuo Vivo, multimodül stereoskopik görüntüleme prensibine dayanan, video tabanlı bir intraoral tarayıcıdır. Sistem, her biri 120 fps hızında veri toplayabilen iki bağımsız optik modül içerir. Bu modüller, aynı yüzeyin farklı açılardan görüntülerini kaydederek stereoskopik derinlik hesaplaması yapar. Böylece, üç boyutlu topografik veriler yüksek doğrulukla elde edilir. Tarayıcı, pudrasız çalışma prensibine sahiptir ve yüzey üzerine herhangi bir opaklaştırıcı madde uygulanmasını gerektirmez. Cihazın beyaz LED aydınlatma sistemi homojen ışık dağılımı sağlarken, renkli sensörleri sayesinde doğal renkte dijital modeller oluşturulur. Üreticiye göre Virtuo Vivo, kompakt ve kalem benzeri bir gövde yapısına sahiptir ve bu sayede uzun süreli kullanımlarda ergonomik avantaj sağlar. Ayrıca sistem, açık veri aktarımı özelliği veri dışı aktarımına olanak tanıyarak CAD/CAM yazılımlarıyla yüksek uyumluluk gösterir. Cihazın yazılım altyapısı, tarama verilerini gerçek zamanlı olarak işleyen Dental Wings DWOS platformuna entegredir. Bu yazılım, otomatik hizalama, renk dengeleme ve yüzey gürültüsü azaltma algoritmaları sayesinde hızlı veri rekonstrüksiyonu sağlar. Virtuo Vivo'nun tam ark taramalarda yüksek stabilite ve renk doğruluğu sunduğu, laboratuvar ve klinik ortamlar arasında veri bütünlüğü açısından güçlü performans sergilediği belirtilmiştir (Straumann Group, 2023).

Planmeca Emerald S (Planmeca, Finlandiya)

Planmeca Emerald S, faz kaydırmalı yapılandırılmış ışık ve aktif triangülasyon prensiplerini kullanan, video tabanlı bir intraoral tarayıcıdır. Cihaz, yeşil LED ışık kaynağı ile yüzeye belirli desenler projekte eder; bu desenlerin yüzeydeki deformasyonlarını analiz ederek üç boyutlu veri oluşturur. Derinlik hesaplaması, iki sensör arasındaki açı farkına dayalı triangülasyon prensibiyle desteklenir. Yeşil LED dalga boyu yansıma ve parlamayı azaltarak parlak mine veya metal yüzeylerde veri kaybını en aza indirir. Emerald S ayrıca, RGB sensörleri sayesinde gerçek renk tarama yapabilir ve renk uyumlu dijital modeller üretir. Tarama süreci boyunca, tarayıcının otomatik buğu önleme teknolojisi, optik pencerede yoğuşmayı engelleyerek kesintisiz veri yakalama sağlar. Cihazın kompakt ve hafif tasarımı, uzun süreli klinik kullanımda ergonomi avantajı sunar. Planmeca'nın CAD/CAM ekosistemiyle tam entegre çalışması sayesinde, taranan veriler doğrudan dijital tasarım ve üretim sürecine aktarılabilir. Literatürde bildirilen doğruluk değeri yaklaşık 10 µm düzeyindedir. Bu değer,

Emerald S'in hem kısmi hem de tam ark dijital ölçümlerde klinik olarak kabul edilebilir yüksek doğruluk sağladığını göstermektedir (Planmeca Oy, 2025a, 2025b).

Carestream CS 3800 (Carestream Dental, Amerika)

Carestream CS 3800, paralel konfokal prensibine dayalı, video tabanlı bir intraoral tarayıcıdır. Sistem, LED ışık kaynağıyla yüzeye farklı odak düzlemlerinden ışık gönderir ve yalnızca odak düzleminde net yansıma oluşturan ışığı algılayarak derinlik bilgisini hesaplar. Böylece, yapılandırılmış desen projeksiyonuna gerek kalmadan yüksek çözünürlüklü üç boyutlu topografik veri elde edilir. CS 3800'ün optik sistemi, renkli sensör yapısı sayesinde doğal renkleri yüksek doğrulukla kaydeder. Tarama hızı yaklaşık 60 fps olup, geniş görüş alanı ve yüksek kare hızının kombinasyonu sayesinde tam ark taramalarda hızlı veri toplama olanağı sunar. Cihazın kablosuz tasarımı, hareket özgürlüğü sağlayarak kullanıcı ergonomisini artırır. Ayrıca otomatik ısınma önleme teknolojisi ve hafif gövde yapısı, uzun süreli klinik kullanımda konfor sağlar. Üretici verilerine göre sistemin doğruluk değeri 10 – 20 µm aralığındadır. CS 3800, Carestream'in CS Imaging ve CS ScanFlow yazılımlarıyla tam entegre çalışmakta olup, hızlı veri işleme ve CAD/CAM ortamlarına doğrudan aktarım imkânı sunar (Carestream Dental, 2025; Carestream Dental LLC, 2022).

Helios 600 (Midmark, Çin)

Helios 600, faz kaydırmalı yapılandırılmış ışık prensibini kullanan, ekonomik segmentte konumlandırılmış bir intraoral tarayıcıdır. Sistem, LED tabanlı ışık kaynağıyla yüzey üzerine belirli desenlerde yapılandırılmış ışık projekte eder ve bu desenlerin yüzey topografisine göre deformasyonunu analiz ederek üç boyutlu dijital verileri oluşturur. Tarayıcı, iki adet sensör ile stereo görüntüleme yaparak derinlik bilgisini triangülasyon prensibiyle hesaplar. Cihazın entegre yapay zekâ destekli görüntü işleme algoritmaları, veri yakalama sırasında gürültü azaltımı ve yüzey detaylarının iyileştirilmesini sağlar. Helios 600, kompakt ve hafif yapısıyla klinik kullanımda pratiklik sunar. Cihazın dahili fan sistemi, uzun süreli taramalarda buğu oluşumunu önleyerek kesintisiz veri yakalamayı mümkün kılar. Ayrıca, otomatik kalibrasyon sistemi sayesinde her açılışta manuel kalibrasyon gerektirmez. Üreticiye göre cihazın doğruluk değeri yaklaşık 15 – 20 µm aralığındadır. Helios 600, özellikle ekonomik fiyat/performans dengesi ve kullanıcı dostu arayüzü sayesinde dijital diş hekimliği alanında yeni başlayan klinikler için uygun bir seçenek olarak konumlanmıştır (Eighteenth / Institute of Digital Dentistry, 2022).

Cerec Omnicam (Dentsply Sirona, Almanya)

CEREC Omnicam, aktif triangölasyon prensibine dayanan, video tabanlı bir intraoral tarayıcıdır. Dentsply Sirona'nın Primescan modelinden önce piyasaya sürülmüş olup, sistemin önceki neslini temsil etmektedir. Tarayıcı, yüzeye belirli desenlerde LED ışık projekte eder ve bu desenlerin yüzey topografisine göre deformasyonunu analiz ederek üç boyutlu veri oluşturur. Omnicam, beyaz LED ışık kaynağı ile çalışır ve yansımaları analiz eden sensör aracılığıyla yüzey verilerini toplar. Tarama sistemi, yüzeyden yansıyan ışık ışınlarının giriş ve algılama açıları arasındaki farkı ölçerek derinlik bilgisini hesaplar. Bu yöntem, özellikle tek diş ve kısmi ark taramaları için yüksek hız ve yeterli doğruluk sağlamaktadır. Cihaz, renkli tarama desteği sunar ve pudrasız çalışma prensibi sayesinde kullanıcıya pratiklik sağlar. Tarama verileri, CEREC Chairside CAD/CAM yazılımına doğrudan entegre edilerek restorasyon tasarımı için kullanılabilir. Literatürde bildirilen doğruluk değerleri 15 – 20 µm aralığındadır. Primescan'e kıyasla daha dar görüş alanına ve daha düşük veri yoğunluğuna sahip olsa da, Omnicam kısa mesafeli ve tek diş restorasyonlarında halen klinik olarak geçerli doğruluk düzeyleri sunmaktadır. (Dentsply Sirona, 2019, 2021).

Tablo 2.1. Güncel ağız içi tarayıcı sistemlerinin teknik özelliklerinin karşılaştırılması

Tarayıcı	Üretici	Işık Kaynağı	Tarama Teknolojisi	Konfokal Sistem	Triangülasyon	Stereo Kamera	Derinlik Algılama
Trios 3/4/5	3Shape	LED	Konfokal	Evet	Yok	-	Odak netliği (konfokal)
iTero Element 2/5	Align Technology	Kırmızı-Beyaz LED / Lazer	Konfokal	Evet	Yok	-	Paralel lazer ışınları üzerinden odaklama
Medit i500/i700	Medit	LED (Ayarlanabilir)	Yapılandırılmış ışık Stereo kamera (triangülasyon)	Yok	Evet	+	Kamera açısı farkı
Planmeca Emerald S	Planmeca	LED	Yapılandırılmış ışık Aktif optik triangülasyon	Yok	Evet	-	Kamera-projektör açısı
CEREC Primescan	Dentsply Sirona	Mavi LED + Projektör	Hibrit (Konfokal mikroskopi Aktif triangülasyon)	Evet	Evet	-	Derinlik sensörü + yapılandırılmış ışık kombinasyonu
CEREC Omnicam	Dentsply Sirona	LED	Aktif optik triangülasyon	Yok	Evet	-	Kamera-projektör açısı (triangülasyon)
Virtuo Vivo	Straumann / Dental Wings	LED	Multimodül stereoskopi	Yok	Yok	+	Stereo kamera (iki modül, 120 fps)
Helios 600	Eighteeth	LED	Yapılandırılmış ışık Yapay zekâ algoritmaları	Yok	Yok	-	Işık projeksiyonu + yazılım temelli derinlik

2.4. Dijital Ölçüm Sistemlerinde Hassasiyeti Etkileyen Değişkenler

Hassasiyet, çevresel ve operatöre bağlı birçok değişkenden etkilenmektedir. Faktörler farklı şekilde sınıflandırılabilir. Etkene bağlı, tarama süreci ve doğruluğa etkisi şeklinde 3 farklı ana başlıkta değerlendirilebilir. Bu çalışmada etkene bağlı faktörler üzerinden sınıflandırma esas alınmıştır.

2.4.1. Cihaz kaynaklı faktörler

Tarayıcı teknolojisi, cihazın kalibrasyon durumu, yazılımın veri işleme algoritması, tarayıcı başlığının boyutu ve ideal tarama mesafesi gibi parametreler tarama doğruluğunda rol oynamaktadır. Bu unsurlar, sistemin donanım yazılım yapısına bağlı olarak tarayıcının optik kapasitesini ve veri hassasiyetini etkiler. Yazılım algoritmalarının yüzey tanıma kabiliyeti CAD/CAM uyumunu doğrudan etkileyebilir. Ayrıca ortam koşulları özellikle aydınlatma, sıcaklık ve nem gibi dış etkenler optik sistemlerin ışık iletimi ve yansıma kalitesini değiştirerek tarama doğruluğunu etkiler. Bu değişkenler, genellikle cihaz üreticisine özgü teknik sınırlılıklar içerdiğinden, operatörün doğrudan müdahale edemediği sistemsel bileşenler olarak kabul edilir (Mai vd., 2023; Piedra-Cascón vd., 2023; Revilla-León, Sicilia, vd., 2023).

Tarayıcı teknolojisi

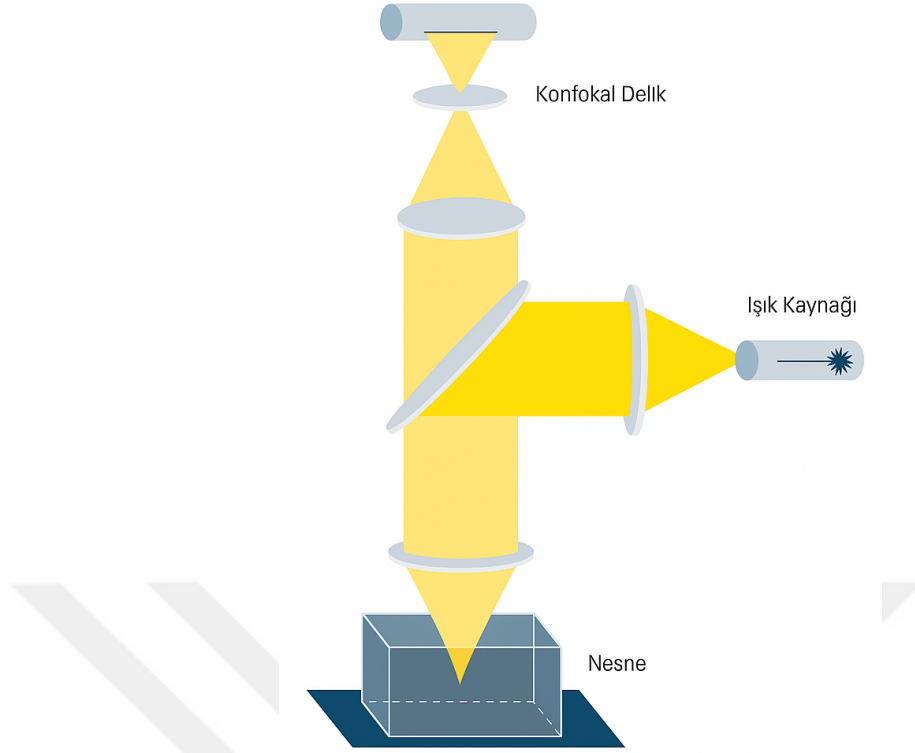
IOS sistemlerinde kullanılan görüntüleme teknolojisi türü ne olursa olsun, tüm sistemler belirli bir ışık kaynağının yansımalarını kaydederek bireysel görüntüler veya video kareleri oluşturur. Bu görüntüler, yazılım tarafından noktaların tanınması sonrasında birleştirilir. Optik sensörler aracılığıyla elde edilen çoklu nokta kümeleri daha sonra birbirleriyle hizalanır ve üçgen ağ yapısı şeklinde temsil edilen bir yüzey modeline dönüştürülür.

Üç boyutlu bir taramadaki mesh kavramı, yüzeylerin bilgisayar grafikleri aracılığıyla yazılım ortamında nasıl temsil edildiğini ifade eder. Bir ağ, tepe noktaları ve üçgenlerden oluşur; ayrıca bu noktaların üçgenleri nasıl oluşturduğu ve üçgenlerin birbirine nasıl bağlandığı hakkında bilgi içerir. IOS sistemleri arasında ağ yoğunluğu ve ağ kalitesi açısından farklılıklar bulunabilir. Ayrıca, IOS yazılımlarında kullanılan algoritmalar da farklı ağ yoğunluklarında dosyalar üretebilir. Daha yüksek ağ yoğunluğu, genellikle yüzey detaylarının daha iyi yeniden üretimini ve analizlerde daha yüksek doğruluk elde edilmesini sağlar (Logozzo vd., 2014; Richert vd., 2017).

Günümüzde farklı tarama teknolojilerini kullanan çok sayıda IOS sistemi piyasada mevcuttur. Her bir sistem, donanım özellikleri ve yazılım algoritmaları tarafından belirlenen kendine özgü avantajlara ve sınırlılıklara sahiptir. Uygun bir IOS seçimini yönlendirmek

amacıyla; ilk satın alma maliyeti, aylık abonelik giderleri, tarama hızı, tarayıcı ucu boyutu, kullanım kolaylığı, çürük tespit özelliğinin varlığı, yazılım yetenekleri, kablosuz bağlantı seçeneği ve üretici desteği gibi çeşitli kriterler tanımlanmıştır. Ancak, bu değişkenlerin tümü tarayıcının doğruluğu ile dengelenmelidir; çünkü doğruluk, dijital ölçünün güvenilirliğini belirler ve dolayısıyla dijital olarak üretilen restorasyonların kalite ve uyumunu doğrudan etkiler (Revilla-León, Gohil, vd., 2023; Revilla-León vd., 2020).

Dijital taramada kullanılan teknolojilerden biri olan konfokal görüntüleme, iki alt tipe ayrılır: klasik konfokal ve paralel konfokal sistemler. Klasik konfokal sistemde, lazer ışığı yüzeyin tek bir noktasına odaklanır ve yalnızca odak düzleminden yansıyan ışık dedektöre ulaşır. Bu prensipte, hedef yüzey küçük bir açıklığa sahip bir filtreden geçirilen lazer ışığıyla aydınlatılır; odak dışında kalan yansımalar ise elimine edilir. Böylece yalnızca net odak düzlemine ait görüntü kaydedilir (Şekil 2.2). Farklı konfokal düzlemlerden elde edilen iki boyutlu görüntüler birleştirilerek üç boyutlu yapı yeniden oluşturulur. Bu yöntem yüksek çözünürlük ve derinlik seçiciliği sağlasa da, sistemin karmaşık yapısı ve uzun tarama süresi dezavantaj oluşturmaktadır (Carter, 2013; Senkutvan. R. S vd., 2024). Çok noktalı konfokal sistemlerde ise aynı anda birden fazla noktadan veri toplanabilir. Bu durum daha hızlı tarama yapılmasına olanak tanırken, yüksek işlem gücü gereksinimi gibi bir dezavantaj da doğurur (Risi vd., 2014; Rouse vd., 2010). Bu teknoloji, iTero Element serisi, 3Shape Trios serisi ve Carestream tarayıcılar verilebilir (Canullo vd., 2024; Jabri vd., 2021; Osman & Alharbi, 2023; Sindhu vd., 2023).

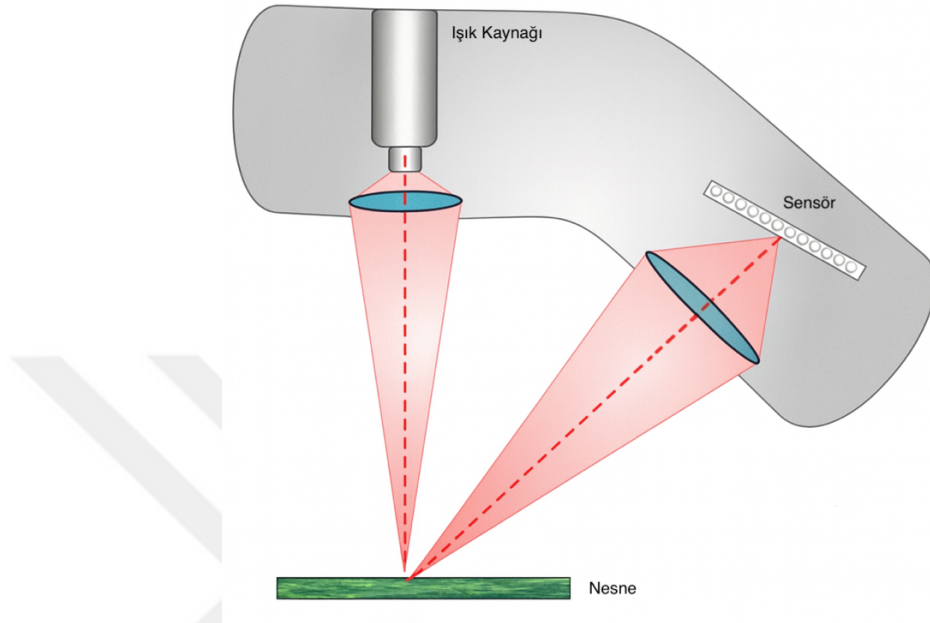


Şekil 2.2. Konfokal görüntüleme çalışma prensibinin şematik gösterimi (Carl Zeiss Microscopy GmbH, 2025)

Bir diğer temel dijital tarama prensibi olan triangülasyon, ışığın belirli bir açıyla yüzeye yansıtılması ve yansıyan ışığın bir sensör tarafından algılanarak mesafenin hesaplanması esasına dayanır. Bu yöntemde, ışık kaynağı, sensör ve nesne yüzeyi üçgenin üç köşesini oluşturur. Lazer ışığı, yüzeye belirli bir açıyla gönderilir ve yüzeyden yansıyan ışığın sensöre ulaşma açısı ölçülerek, Pythagoras teoremi yardımıyla ışığın kaynaktan yüzeye ve sensöre olan mesafesi hesaplanır. Bu sayede, nesnenin yüzey geometrisi üç boyutlu olarak yeniden oluşturulur (Şekil 2.3). CEREC sistemlerinde uzun süredir kullanılan bu teknik, projeksiyon açısı ve yansıma açısının bilindiği durumlarda yüksek doğrulukta veri elde edilmesine olanak tanır. Bununla birlikte, ışığın yüzeyden düzensiz yansımaları önlemek ve veri kalitesini artırmak amacıyla, yüzeye ince bir radyopak pudra tabakası uygulanması gerekebilir.

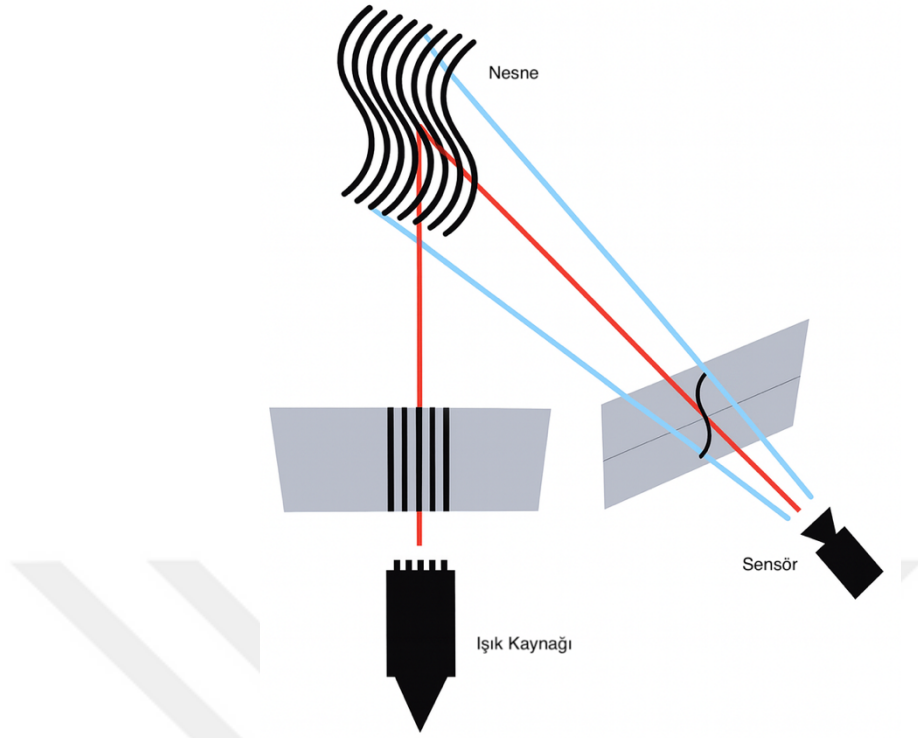
Triangülasyon teknolojisi kendi içinde çeşitli alt tiplere ayrılır. Temel Aktif Triangülasyon sistemlerinde ışık kaynağı ve kamera sabit açılarla konumlandırılır; yansıyan ışığın açısına göre yüzey şekli belirlenir. Bu sistemler uygun maliyetli ve yeterli hassasiyet sağlasa da, parlak veya translüens yüzeylerde doğruluk kaybı yaşanabilir (Dutton vd., 2020; Senkutvan. R. S vd., 2024; Shimizu vd., 2017). Medit i500/i700, Planmeca Emerald ve Primescan gibi tarayıcılarda bu prensip kullanılmaktadır (Ciocan vd., 2024; Falih & Majeed, 2023; Michelinakis vd., 2020; Vag vd., 2023). Lazer Taramalı Triangülasyon yönteminde ise

lazer ışığı nokta veya çizgi halinde yüzeye gönderilir ve yansıyan ışığın açısı ölçülerek 3D veriler elde edilir. Bu yöntem yüksek hassasiyet sunmasına rağmen maliyetlidir ve yüzey yansımalarına duyarlıdır. Bu teknoloji genellikle laboratuvar tipi tarayıcılarda tercih edilir (Aubretton vd., 2013; Hasanuddin vd., 2015; Mezei & Kovács, 2018).



Şekil 2.3. Triangülasyon yöntemi çalışma prensibi (Almustafa, 2016)

Yapılandırılmış ışıkla triangülasyon, yüzeye özel desenlerin (örneğin şerit veya nokta desenlerinin) projekte edilmesi ve bu desenlerin deformasyonlarının kamera ile analiz edilmesi prensibine dayanır (Şekil 2.3). Bu yöntem geniş alanlarda hızlı ve ayrıntılı veri sağlar. Ancak çevresel ışık koşullarından etkilenebilir ve yüksek hesaplama gücü gerektirir. Teknik olarak triangülasyonun bir alt türü olmasına rağmen, bazı üreticiler ve yayıncılar tarafından ayrı bir teknoloji sınıfı olarak da sunulmaktadır (Keeratitivittayanun vd., 2011; Meza vd., 2020).



Şekil 2.4. Yapılandırılmış ışıkla triangülasyon yönteminin çalışma prensibi (ML6, 2023)

Aktif dalga cephesi örnekleme tekniği, tek mercekli görüntüleme sisteminden elde edilen üç boyutlu verilerin, ana optik sistemin odak dışı durumuna göre derinlik hesaplamasına dayanır. Bu prensipte, yüzeyin farklı odak düzlemlerinden elde edilen çoklu görüntüler analiz edilerek üç boyutlu yapı yeniden oluşturulur. True Definition ve Lava Chairside Oral Scanner sistemleri, bu yöntemi kullanan video yakalama teknolojileriyle donatılmıştır. Bu sistemlerde, yüksek çözünürlüklü bir video kamera, lens düzleminde yer alan üç küçük kamera aracılığıyla dış yüzeyinin üç farklı görüntüsünü eş zamanlı olarak kaydeder. Kameraların arkasında yer alan sensör, yansıyan ışık enerjisini elektriksel sinyallere dönüştürür. Elde edilen üç boyutlu veriler, video sekansı boyunca gerçek zamanlı olarak modellenir ve iki farklı açıdan alınan veriler arasındaki mesafeler hesaplanarak dijital model oluşturulur. Bu teknoloji, yüksek doğruluk ve veri fazlalığı sağlamasının yanı sıra, 3M ESPE firmasının geliştirdiği yenilikçi görüntü işleme algoritmaları ve aktif dalga cephesi örnekleme yöntemi sayesinde üç boyutlu modelin gerçek zamanlı olarak yeniden yapılandırılmasına olanak tanır. Tarama öncesinde, konum referansı olarak işlev görmek üzere yüzeye ince bir pudra tabakası uygulanması önerilmektedir (Senkutvan. R. S vd., 2024).

Bernardini ve Rushmeier (2002), farklı fiziksel prensiplere dayalı tarama yöntemlerinin tümünde, benzer teknik sınırlılıkların bulunduğunu belirtmektedir. Özellikle görüş hattı

kısıtları, taranan yüzeyin optik özelliklerinden kaynaklanan yansıma hataları ve çoklu taramaların birleştirilmesinde ortaya çıkan sorunlar, elde edilen modelin doğruluğunu doğrudan etkilemektedir. Bu sınırlılıklar, dental uygulamalarda subgingival bölgeler gibi optik erişimin güç olduğu alanlarda daha belirgin hale gelmektedir (Bernardini & Rushmeier, 2002).

Cihaz kalibrasyonu ve stabilizasyonu

iTero Element ve 3Shape A/S firmasına ait Trios 5 modelleri dışında kalan tüm IOS sistemleri manuel kalibrasyon gerektirmektedir. Bu sistemlerin dışında kalan tüm IOS cihazları için, üretici firmalar tarafından belirlenmiş özel kalibrasyon cihazları ve protokolleri kullanılmaktadır (3Shape A/S, 2023b; Align Technology Inc., 2023).

IOS yazılımları, genellikle son kalibrasyondan geçen süreye veya belirli sayıda tarama işlemi tamamlanmasına bağlı olarak, kullanıcılara kalibrasyon yapılması gerektiğini bildiren uyarılar üretir. Ancak, yalnızca bu yazılım uyarılarına güvenmek yeterli değildir. Dijital veri toplama işlemlerine başlamadan önce, diş hekimlerinin günlük kalibrasyon prosedürlerini klinik rutinlerine dahil etmeleri, sistem doğruluğunun ve ölçüm güvenilirliğinin korunması açısından önemlidir.

Ağız içi tarayıcılarda uzun süreli kullanım veya yoğun klinik aktivite sonucunda, cihazın optik bileşenlerinde ve mekanik modüllerinde mikroskobik düzeyde aşınmalar, hizalama kaymaları ve ışık şiddeti düşüşleri meydana gelebilmektedir. Bu değişiklikler, sistemin ışık demetini algılama doğruluğunu azaltarak tarama verilerinde geometrik sapmalara yol açar. Bu nedenle, üretici önerilerine uygun aralıklarla yapılan düzenli kalibrasyon, cihazın ölçüm doğruluğunu ve tekrarlanabilirliğini korumak açısından kritik öneme sahiptir (Rehmann vd., 2017).

Kalibrasyon işlemi, cihazın optik sensörleri, projeksiyon açıları ve referans mesafe ölçüm sistemleri arasındaki küçük sapmaları telafi eder. Bu sayede, kullanıcı tarafından fark edilmeyen doğruluk kayıpları giderilerek ölçüm hassasiyeti yeniden optimum düzeye getirilebilir. Özellikle aktif optik sistemlerde, kalibrasyonun etkisi daha belirgindir; çünkü bu sistemlerde yansıma açısındaki küçük değişimler bile mesafe hesaplamalarını etkileyebilmektedir.

Son yıllarda geliştirilen model tabanlı otomatik kalibrasyon protokolleri, cihazın kendi içinde oluşturduğu referans geometrileri kullanarak doğruluk ayarını yazılım düzeyinde optimize edebilmekte ve 15 µm seviyesinde ölçüm hassasiyeti sağlayabilmektedir (S. Chen,

2023). Bununla birlikte, bazı çalışmalarda kalibrasyon öncesi ve sonrası doğruluk farkının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı da bildirilmiştir. Ancak bu sonuçlar genellikle kısa süreli kullanım veya düşük tarama hacmine sahip cihazlarda gözlenmiştir (Struthers vd., 2023). Uzun süreli veya yoğun kullanım senaryolarında, düzenli kalibrasyonun doğruluk üzerindeki olumlu etkisinin belirginleştiği ve en yüksek veri bütünlüğünün çoğunlukla kalibre edilmiş cihazlarla elde edildiği gösterilmiştir (Struthers vd., 2023).

Yazılımın veri işleme yöntemi, güncelliği

İntraoral tarayıcıların doğruluğu yalnızca donanımsal bileşenlere değil, aynı zamanda kullanılan yazılımın veri işleme yöntemine ve güncelliğine de bağlıdır. Yazılım, tarama sırasında elde edilen ham verilerin birleştirilmesi, filtrelenmesi ve yüzey oluşturulması süreçlerini yönetir. Bu nedenle yazılımın algoritmik kapasitesi, nihai modelin geometrik doğruluğunu doğrudan etkileyen bir unsurdur.

Haddani ve ark. (2018), Tarafından yapılan bir çalışmada aynı cihazın farklı yazılım sürümleriyle yapılan taramalar arasında doğruluk farklılığı olduğu görülmüştür. Eski yazılım sürümleri, tarama verilerindeki parazitleri yeterince filtreleyemeyebilir ya da daha az hassas olabilir bundan dolayı da tarama doğruluğu etkilenebilir (Haddadi vd., 2018). Bunların yanı sıra yazılımın veriyi işleme şekli tarayıcıdan alınan verinin doğruluğuna doğrudan etkilidir (Alkadi, 2023). Bu parametreler, özellikle tam ark taramalarında ve dişsiz bölge içeren vakalarda belirleyici öneme sahiptir. Çünkü veri birleştirme hataları, özellikle geniş alanlarda küçük geometri hatalarının birikmesine yol açar (Faur vd., 2023; Gómez-Polo vd., 2021; Revilla-León vd., 2021).

Güncel ve yüksek işlem kapasitesine sahip yazılımlar, bu sorunları azaltmak için yapay zekâ destekli hizalama, kenar tespiti ve adaptif yeniden örnekleme yöntemleri kullanmaktadır. Bu tür algoritmalar, her bir tarama segmentini referans noktalara göre optimize ederek, özellikle tam ark taramalarda toplam hata oranını azaltmaktadır.

Tarayıcı başlığı boyutu

Tarama cihazlarının tarama başlığı boyutu, ağırlığı, optik konfigürasyonu ve veri işleme hızı, intraoral taramaların doğruluğunu etkileyen önemli tasarım parametreleridir. Piyasada bulunan intraoral tarayıcı modelleri, farklı tarama başlığı ölçülerine sahip olup, bu boyutlar özellikle erişim kolaylığı ve kullanım ergonomisi açısından farklı avantajlar sunmaktadır. Ancak aynı cihaz için birden fazla tarayıcı başlığı boyutu sunan üretici sayısı oldukça sınırlıdır.

Küçük tarayıcı başlığına sahip cihazlar, sınırlı ağız açıklığına sahip hastalarda, özellikle posterior bölgelerde daha rahat erişim sağlayarak operatörün çalışma konforunu artırmaktadır. Bununla birlikte, literatürde küçük tarama başlıklarının genellikle daha düşük doğruluk sergilediği bildirilmiştir. Bu durumun temel nedeni, küçük başlıklı sistemlerin daha dar görüş alanına sahip olması ve bu nedenle tarama sırasında daha fazla görüntü birleştirme işlemi gerektirmesidir. Görüntülerin sayısının artması, hizalama hatalarının kümülatif olarak birikmesine ve global doğruluğun azalmasına yol açabilir. Buna karşın, daha geniş tarama başlığına sahip cihazlar, her karede daha fazla veri noktası toplayabildikleri için daha az birleşim işlemi gerektirir ve genellikle daha stabil doğruluk sunar. Ancak büyük tarama uçları, arka bölgelerde ve sınırlı ağız açıklığı olan vakalarda erişim zorluğu yaratabilir. Bu durum, tarama stratejisinin seçimini doğrudan etkiler. Küçük başlıklı tarayıcılarda daha sık yön değişimi, daha kısa segment taramaları veya aşamalı tarama yolları tercih edilmektedir. Bu da operatörün deneyimine bağlı olarak doğruluk üzerinde değişken etkiler yaratabilir (An, Langas, vd., 2024; Hayama vd., 2018).

Tarama mesafesi ve odak derinliği

Tarayıcının yüzeye olan mesafesi, elde edilen optik verinin kalitesini ve doğruluğunu doğrudan etkileyen kritik parametrelerden biridir. Tarama sırasında tarayıcı ucunun yüzeye olan mesafesi arttıkça, sensöre geri dönen ışık şiddeti azalır ve bu da sinyal gürültü oranını düşürerek ölçüm doğruluğunu olumsuz etkiler. Özellikle optik sistemin ışık kaynağı ile sensör arasındaki geometrik açı büyüdükçe, yansıyan ışığın dedektöre ulaşma verimi azalır ve veri kaybı meydana gelir. Bu durum, nokta bulutunda düzensizliklere ve yüzey modellemede deformasyonlara yol açabilir.

Literatürde, farklı tarama mesafelerinde yapılan çalışmalarda, cihaz tipine göre optimum mesafelerin değişmekle birlikte, genel olarak artmış mesafenin doğruluk üzerinde negatif etki yarattığı raporlanmıştır. Özellikle triangülasyon prensibine dayalı sistemlerde bu etkinin daha belirgin olduğu, çünkü ölçümün iki ışın arasındaki açı farkına dayandığı ve mesafe uzadıkça küçük sapmaların büyük geometrik hatalara yol açtığı bildirilmiştir (Button vd., 2024; Rotar vd., 2022; Sezer & Bahadır Sezer, 2024; Zhu vd., 2025).

Odak derinliği de doğruluk üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Tarama işlemi sırasında sadece odak düzlemi içinde kalan noktalar net olarak algılanabilir; bu düzlemin dışında kalan bölgelerde görüntü bulanıklaşır ve veri eksikliği oluşur. Sabit odak aralığına sahip tarayıcılarda, bu sınırın dışına çıkıldığında sistem otomatik odaklama yapamadığı için yüzey

noktalarında sapmalar meydana gelir. Kwon ve ark. (2023), tarafından yapılan çalışmada tarayıcıya entegre edilen yeni bir genişletilmiş odak derinliği teknolojisinin, farklı yükseklik ve derinliğe sahip yüzeylerde bile yüksek doğrulukta veri elde edilmesini sağladığı gösterilmiştir. Bu teknoloji, özellikle posterior bölgelerdeki diş morfolojisi ve oklüzal girintiler gibi topografik farklılıkların bulunduğu alanlarda, ışığın yeniden odaklanmasını sağlayarak tarama verimini artırmaktadır (Kwon vd., 2023).

Silip yeniden tarama

Tarama sırasında eksik ya da hatalı alanların silinerek yeniden taranması gerekebilir. Yapılan çalışmalarda silip yeniden taramanın doğruluk üzerine etkisi tarayıcıya, alanın büyüklüğüne ve tarama şekline göre değişmektedir. Reich ve ark. (2021), tarafından farklı tarayıcılarla yapılan silip yeniden tarama işlemi sonrası anlamlı bir farklılık görülmemiştir (Reich vd., 2021). Bunun aksine literatürde yapılan çalışmalarda daha büyük alana sahip bölgenin silinip yeniden taranmasının ölçü doğruluğu ve tekrarlanabilirliğini azalttığı görülmüştür. Benzer şekilde silip yeniden tarama sırasında komşu bölgelerin kilitlememesi sonucu mevcut taramanın üzerine yeni veri bindirilmesinin tarama doğruluğunu azalttığı görülmektedir (Faur vd., 2023; Gómez-Polo vd., 2021; Revilla-León, Sicilia, vd., 2023; Revilla-León vd., 2021). Genel olarak çalışmalardaki hata oranları incelendiğinde ise sapma miktarlarının klinik olarak kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu görülmüştür (Faur vd., 2023).

Tarayıcı çözünürlük kapasitesi

Tarayıcıların çözünürlük kapasitesi, optik sistemin birim alanda toplayabildiği veri noktasının sayısını ifade eder ve ölçümün detay düzeyini belirleyen önemli bir parametredir. Ancak yüksek çözünürlük kapasitesi, her zaman doğrudan daha yüksek doğruluk anlamına gelmemektedir. Yüksek çözünürlükte yapılan taramalarda, sistemin topladığı nokta sayısı artmakta ve bu durum yüzey detaylarının daha keskin şekilde kaydedilmesini sağlamaktadır. Bu, özellikle marjinal hatların, keskin kenarların ve oklüzal morfolojinin görsel netliğini artırır. Ancak literatürde bildirildiği üzere, çözünürlük artışı genellikle doğruluk üzerinde anlamlı bir fark yaratmamakta, daha çok tekrarlanabilirliği olumlu yönde etkilemektedir (Chiu vd., 2020; Medina-Sotomayor vd., 2018). Bunun nedeni, yüksek çözünürlük modlarında sistemin aynı bölgeyi çok daha fazla veri noktasıyla örneklemesi ve bu sayede tekrar edilen taramalarda ölçüm varyansını azaltmasıdır. Öte yandan, aşırı veri yoğunluğu, işlemci yükünü artırarak veri işleme süresinin uzamasına ve bazı durumlarda fazla örneklemeden kaynaklanan gürültü artışına neden olabilir. Ayrıca uzun mesafelerde veya geniş yüzey alanlarında yüksek

çözünürlükle tarama yapmak, sistemin veri birleştirme sürecini zorlaştırabilir. Bu durum, özellikle tam ark taramalarda, bireysel segmentlerin hizalanmasında hata birikimine yol açarak doğruluk kaybına neden olabilmektedir (Amornvit vd., 2021).

Ortam sıcaklığı

İntraoral tarayıcıların çalışma performansı, yalnızca optik ve yazılımsal faktörlere değil, aynı zamanda çevresel koşullara da bağlıdır. Özellikle ortam sıcaklığı, sistemin optik bileşenleri ve sensör stabilitesi üzerinde doğrudan etkili olup, ölçüm doğruluğunu önemli ölçüde değiştirebilir. Tarayıcı üreticileri genellikle cihazların optimal çalışma sıcaklığını oda sıcaklığı aralığı (yaklaşık 20–25 °C) olarak belirtmektedir. Bu aralığın dışındaki sıcaklıklarda yapılan taramalarda, özellikle 29 °C ve üzeri sıcaklıklarda, tarama doğruluğunda belirgin bozulmalar rapor edilmiştir. Bu bozulmaların başlıca nedenlerinden biri, yüksek sıcaklığın lazer ışını veya yapılandırılmış ışık projeksiyonunun yönelme açısını etkilemesidir. Sıcaklık artışı, optik elemanlarda termal genleşmeye yol açarak, ışığın geçiş yolunu ve sensöre ulaşma açısını değiştirebilir. Bu durum, tarayıcı sisteminin kalibrasyon dengesini bozarak yanlış derinlik hesaplamalarına neden olur. Aynı zamanda yüksek sıcaklıklarda oluşan optik distorsiyon, özellikle geniş alan taramalarında veri sapmalarını artırabilir. Buna ek olarak, elektronik sensörlerin sıcaklığa karşı duyarlılığı da doğruluk kaybında rol oynamaktadır.

Yüksek ısı, sensörlerdeki karanlık akım seviyesini yükselterek görüntüde gürültü oluşmasına neden olur. Bu gürültü, tarama sırasında oluşturulan 3D noktaların konum hatasını artırarak RMS değerlerinde yükselmeye yol açabilir. Bu nedenle, özellikle yaz aylarında, doğrudan güneş ışığına maruz kalan veya yetersiz iklimlendirmeye sahip ortamlarda yapılan dijital ölçümler doğruluk açısından risk taşımaktadır. Tarama işlemlerinin mümkünse stabil ortam sıcaklığında (22 ± 2 °C) yapılması, cihazın aşırı ısınmasını önleyecek şekilde kısa aralıklarla dinlendirilmesi ve gerekirse kalibrasyonun sıcaklık değişimlerinden sonra tekrarlanması önerilmektedir (Revilla-León, Gohil, vd., 2023).

Ortam aydınlatması

Ortam aydınlatması hem doğruluğu hem de tarama süresini etkiler. 1000 lux optimum aydınlatma seviyesi olarak belirlenmiştir. Tarayıcıya bağlı olarak farklı ışık şiddetlerinde doğruluk değişmektedir. 10.000 lux üzeri ışıklar tarama doğruluğunu azaltmasına rağmen farklı tarama teknolojisine sahip tarayıcılarda tarama doğruluğuna etkisi daha az olmaktadır (Revilla-León vd., 2020). Tarama doğruluğunun bölgesel taramaya göre daha düşük olduğu tam ark taramalarda yüksek ışık seviyeleri hata payını daha da arttırmaktadır (Ma vd., 2023; Ochoa-López vd., 2022). Işık şiddetinin yanı sıra renk sıcaklığı da tarama doğruluğuna etki

etmektedir. Sıcak tonlarda (3900 °K) ölçü doğruluğu artarken, mavi tonlu soğuk ışıklarda tarama doğruluğu azalmaktadır(Arakida vd., 2018). Bu nedenle, tarama yapılacak ortamın aydınlatması optimize edilmelidir.

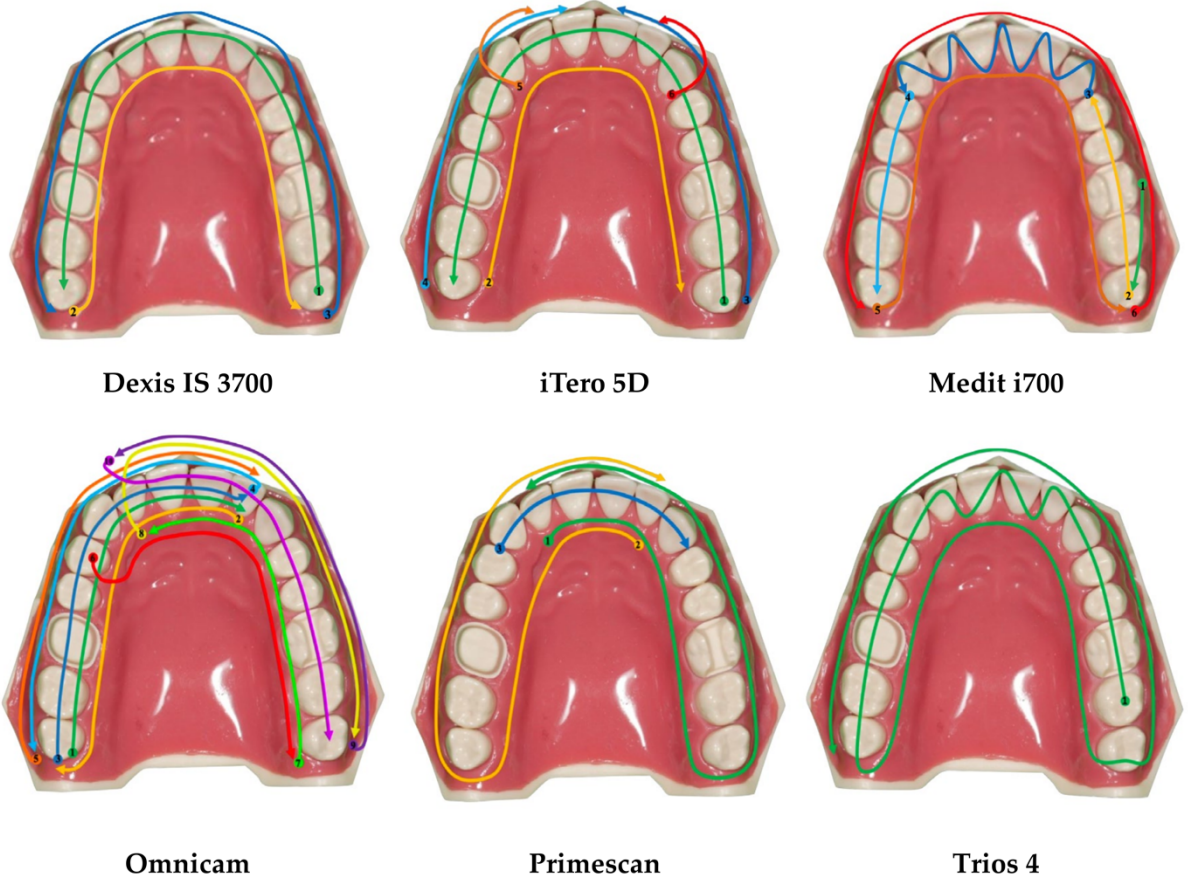
2.4.2. Operatör kaynaklı

Tarama yolu ve uygulaması

Tarama doğruluğunu etkileyen operatör kaynaklı faktörlerden biri de tarama şekli ve uygulanan stratejidir. Optimum sonuçların elde edilebilmesi için tarama sırasında belirli protokollere uyulması büyük önem taşır.

Tarayıcı ağız içinde hareket ettirilirken sabit bir hız ve sabit bir mesafe korunmalı, cihazın ucu mümkün olduğunca dik açığa yakın konumda tutulmalı ve ani yön değişikliklerinden kaçınılmalıdır. Ayrıca tarama sırasında eksik kalan bölgeler, işlem sonunda geri dönülerek tamamlanmalıdır. Üretici firmalar, her tarayıcı modeli için özel tarama yolları ve yön protokolleri önermektedir. Bu stratejiler, cihazın kullandığı optik sistemin veri toplama biçimine göre değişiklik gösterir. Örneğin, konfokal sistemlerde paralel hatlar boyunca sistematik bir ilerleme önerilirken, yapılandırılmış ışık sistemlerinde sürekli dairesel veya zikzak hareketler veri örtüşmesini artırabilir.

Literatürde, üretici tarafından önerilen tarama stratejilerinin genellikle yüksek doğruluk ve tekrarlanabilirlik sağladığı; ancak bazı çalışmalarda farklı stratejilerin de benzer hatta daha iyi sonuçlar verebildiği rapor edilmiştir. Özellikle operatör deneyimiyle geliştirilen özel tarama yollarının, üretici protokollerine kıyasla belirli klinik senaryolarda daha verimli sonuçlar sağladığı bildirilmiştir. Ayrıca, tarama stratejisinin seçimi, tarayıcı başlığı boyutu, optik erişim açısı ve diş diziliminin topografik özellikleri ile birlikte değerlendirilmelidir. Uygun olmayan tarama açısı veya mesafe, tarayıcı yazılımının görüntü birleştirme algoritmalarında sapmalara yol açabilir. Bu nedenle tarama yönünün kesintisiz ve örtüşen şekilde planlanması, veri sürekliliğinin sağlanması açısından kritik öneme sahiptir. (Giuliodori vd., 2023).



Şekil 2.5. Farklı ağız içi tarayıcılar için üretici tarafından önerilen tarama paternleri (Giuliodori vd., 2023)

Operatör deneyimi ve hakimiyeti

Operatörün deneyimi, intraoral tarayıcıların doğruluk ve tekrarlanabilirlik performansını etkileyen önemli insan faktörlerinden biridir. Bu etkinin derecesi; kullanılan tarayıcı teknolojisine, taranan bölgenin genişliğine, diş dizilimindeki boşluklara ve klinik koşullara göre değişiklik göstermektedir. Yapılan çalışmalarda, operatör deneyiminin özellikle tekrarlanabilirlik üzerinde daha belirgin bir etkiye sahip olduğu, doğruluk üzerindeki etkinin ise daha sınırlı olduğu bildirilmiştir (Sezer & Bahadır Sezer, 2024; Thomas & Jain, 2023).

Deneyimsiz kullanıcılar, genellikle tarama yolunu optimize edememekte, aşırı veya yetersiz örtüşen görüntüler oluşturabilmekte ve bu durum veri birleştirme hatalarına yol açmaktadır. Buna karşılık, deneyimli operatörler; tarayıcının ideal odak mesafesini, tarama hızını ve yön değişim açılarını daha doğru ayarlayabildikleri için, özellikle karmaşık anatomik bölgelerde daha düşük RMS değerleri elde etmektedir. Özellikle tam ark veya dişsiz vakalarda deneyimli operatörlerin hem daha kısa sürede hem de daha yüksek doğrulukla tarama yaptığı raporlanmıştır. Bu durum, geniş alan taramalarında biriken hizalama hatalarının azaltılmasına katkı sağlar. Ayrıca, sistematik eğitimler ve tekrar eden pratiklerle operatör performansında

belirgin bir iyileşme gözleendiği; yaklaşık 10–15 tekrarlı tarama sonrasında ölçüm doğruluğunun anlamlı biçimde arttığı bildirilmektedir (Resende vd., 2021; Zarauz vd., 2023).

Tarama süresi ve açısı

Tarama süresi, doğruluk üzerine doğrudan etkili olmayabilir, Yılmaz ve ark. (2021), tarafından yapılan parsiyel ark taramalarının tam arklara kıyasla daha kısa sürede tamamlandığı buna rağmen benzer düzeyde doğruluk sağladığı görülmüştür. Bu da sürenin kısaltmasının her zaman doğruluk kaybı anlamına gelmediğini ortaya koyar (Yılmaz vd., 2021). Ayrıca, Treesh ve ark. (2018), farklı tarama teknolojilerini karşılaştırdıkları araştırmalarında, tarama süresinin kullanılan sistemin veri toplama hızı ve görüntü birleştirme algoritmasına bağlı olarak değiştiğini bildirmiştir. Çalışmada, kısa sürede tamamlanan taramalarda, özellikle yüksek kare hızına sahip sistemlerde daha düşük RMS değerleri elde edilmiştir. Bu sonuç, hızlı veri yakalama kapasitesine sahip sistemlerin hem işlem süresini kısalttığını hem de hata birikimini azalttığını ortaya koymaktadır (Treesh vd., 2018).

Tarama süresine ek olarak, tarama açısı da doğruluk üzerinde etkili bir faktördür. Ağız içi tarama sırasında ışığın yüzeye ulaşma açısı, geri yansıyan ışığın sensöre ulaşma verimliliğini belirler. Button ve ark. yapmış oldukları çalışmada 15° ve 45° açılarda yapılan taramalarda daha geniş tarama alanı ve daha düşük hata oranı elde etmişlerdir. 0° ve 30° açılarda ise daha düşük tarama alanı ve daha yüksek RMS değerleri raporlanmıştır (Button vd., 2024).

2.4.3. Hastaya bağlı klinik faktörler

Dişin konumu, diastema, ark genişliği, dişsiz bölge uzunluğu

Tarama alanının genişliği, tarayıcı doğruluğu ve tekrarlanabilirliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Tarama mesafesi uzadıkça, sistemde biriken hizalama hataları artmakta ve buna bağlı olarak doğruluk değerleri düşmektedir. Bu durum, özellikle tam ark taramalarda belirgin hale gelmektedir. Literatürde, tam ark taramalarının, kısa veya yarım ark taramalara kıyasla anlamlı derecede daha düşük doğruluk gösterdiği bildirilmektedir (Y. Chen, Zhai, Watanabe, vd., 2022). Benzer şekilde köprü restorasyonlarda dişsiz alanın büyüklüğü arttıkça doğruluk da azalmaktadır (Elkhodary, 2021). Bu farkın temel nedenlerinden biri hareket artefaktlarının artmasıdır. Tarama ilerledikçe yazılımın ardışık görüntüleri birleştirmesinde küçük sapmalar oluşur ve bu sapmalar özellikle posterior bölgelerde birikerek toplam ölçüm hatasını artırır. Bu nedenle, posterior bölgelerde elde edilen 3D noktaların konum doğruluğu, anterior bölgelere kıyasla daha düşüktür.

Dişsiz bölge uzunluğu da tarama doğruluğunu doğrudan etkileyen bir faktördür. Dişsiz alan uzadıkça, tarayıcının yüzey referans noktaları azalır ve sistemin görüntüleri doğru bir şekilde hizalaması zorlaşır. Özellikle köprü tipi restorasyonlarda, pontik uzunluğunun artması veya tam dişsiz kavislerde implant sayısının az olması, global hizalama hatalarını artırır. Tam ark taramalarda posterior bölgelerde doğruluğun az olması hem optik sınırlamalardan hem de yazılımın görüntü işleme sırasında meydana gelen hatalardan kaynaklanmaktadır (Güth vd., 2016). İmplant taramalarında da dişle benzer şekilde implantlar arası mesafe ve ark uzunluğu arttıkça doğruluk azaltmaktadır (Y.-J. Zhang vd., 2021).

Ağız içi nem, tükürük ve kan varlığı

Tükürük, kan ve nem intraoral taramanın doğruluğunu doğrudan etkileyen biyolojik faktörlerdendir. Taramanın doğruluğu için başlangıçta iyi bir nem kontrolü sağlanması gerekmektedir. Nem kontrolünün yetersizliği, özellikle implant taramaları sırasında daha belirgin hale gelmektedir. Metal scan body'ler, tükürük veya kanla kaplandığında hem yüksek yansıtıcılığa hem de düzensiz yüzey saçılımına neden olur. Bu durum hem tarama süresini uzatır hem de veri noktalarının bozulmasına yol açar. Ayrıca kanın içeriğindeki proteinler, ışığın soğurulmasına neden olarak sensörün optik geri dönüş sinyalini zayıflatır (Gómez-Polo vd., 2022). Tükürük veya kanla kaplı yüzeylerde, ışık huzmesi yüzeyden düzenli bir şekilde yansımak yerine farklı yönlerde saçılır. Bu da sensöre ulaşan geri sinyalin zayıflamasına ve yüzey noktalarının yanlış algılanmasına neden olur. Literatürde, ıslak yüzey koşullarında elde edilen RMS değerlerinin kuru yüzeylere kıyasla %10 - 15 oranında arttığı, yani doğruluğun anlamlı düzeyde azaldığı bildirilmiştir (Camcı & Salmanpour, 2020).

Neme bağlı tarama hatası, taranan dişlerin veya diş eti boşluklarının yüzeyinde aşırı tükürük veya kan bulunmasından kaynaklanır. IOS yazılım programı bu alanda bir içbükeylik oluşturur. Nem tarama hatası da dahil olmak üzere tüm tarama hataları, ağız içi dijital taramalar renksiz görüntüleme modunda yakalandığında daha kolay görselleştirilebilir (Şekil 8C,D). Bu nedenle, mümkün olduğunda renksiz görüntüleme modu önerilir. Diş hekimliği literatüründe, taranan yüzeyin neminin IOS'ların doğruluğunu azalttığı bildirilmiştir (Y. Chen, Zhai, Li, vd., 2022; Revilla-León vd., 2023). Taranan yüzeyi mümkün olduğunca kurutmak ve alanı izole etmek, dijitalleştirme prosedürünü kolaylaştırabilir ve nem tarama hatalarının görülme sıklığını en aza indirebilir.

Teknoloji açısından bakıldığında, triangülasyon tabanlı sistemler, ölçüm için ışığın iki açı arasındaki yansıma farkını kullandıklarından yansıma ve parlamalara karşı duyarlıdır. Buna

karşın, konfokal sistemler, yalnızca odak düzleminden gelen yansımaları algıladığı için belirli bir ölçüde daha az etkilenir. Bununla birlikte, Sindhu ve ark. (2023) tarafından yapılan bir çalışmada nem ve ağız açıklığı gibi klinik koşullar altında triangülasyon sistemlerinin, paralel konfokal mikroskopi sistemlerine göre daha yüksek doğruluk ve daha az sapma gösterdiğini bildirilmiştir (Sindhu vd., 2023).

Mevcut restorasyonların türü ve optik özellikleri

Tarama doğruluğu, restoratif materyalin optik özellikleri, yüzey topografyası, uygulanan yüzey işlemleri ve geometrik tasarımı gibi çoklu faktörlerden etkilenmektedir. Restoratif materyalin yansıtıcılık ve translüsensi özellikleri, özellikle optik tarayıcıların ışık algılama mekanizmasını doğrudan etkilemektedir. Yüksek parlaklığa veya ayna benzeri yüzey yansımalarına sahip materyaller, lazer veya LED ışığının yüzeyden düzenli yansımaya neden olarak sensör tarafından toplanan geri yansıma miktarını azaltabilir; bu da veri kaybına ve nokta bulutunda hatalara yol açar. Bu nedenle, yüksek doğruluk için yansıyan yüzeylerden kaçınılmalı ve mat veya hafif polisajlanmış yüzeyler tercih edilmelidir (Revilla-León vd., 2022).

Saydamlığı fazla olan restorasyonlarda ışığın materyal içinden geçerek kırılması ve saçılması, optik derinlik ölçümünü bozarak tarama doğruluğunu düşürür [140]. Özellikle cam seramikler ve yüksek translüsens zirkonyalarda bu etki belirgindir. Bu tür materyallerde, ışığın bir kısmı alt tabakalardan veya iç yapısal kusurlardan yansiyarak optik gürültü oluşturur; bu durum konfokal veya triangülasyon tabanlı sistemlerde derinlik hesaplamalarını olumsuz etkiler. Bu nedenle, bazı araştırmalarda opak veya renkleştirilmiş yüzeylerin geçici olarak pudralanmasının tarama doğruluğunu artırabildiği bildirilmiştir (Jun-Ho Cho vd., 2023). Bununla birlikte, restorasyon üzerindeki geometrik karmaşıklık ve mikrodetay yoğunluğu da doğruluk üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Keskin kenar, iç açığı veya derin oluk gibi bölgelerde ışığın düzgün yansımaması, tarama sisteminin o alanlarda yeterli nokta verisi toplayamamasına neden olur. Dolayısıyla, kenar detayları ve kompleks morfolojiler arttıkça, tarama doğruluğunun azaldığı gösterilmiştir (de Andrade vd., 2024).

Preparasyon morfolojisi ve marjin tasarımı

Preparasyon şekli, aksiyel duvar açısı, yüksekliği, oklüzal morfolojisi tarama doğruluğunu etkilemektedir. Yapılan çalışmalar yükseklik ve açı arttıkça ölçü doğruluğunun arttığını göstermiştir (Ashraf vd., 2020; Z. Zhang vd., 2024). İnley, onlay gibi restorasyonlarda doğruluk ekstrakoronal restorasyonlara göre daha düşük olmaktadır (Ashraf vd., 2020). Oklüzal

morfolojinin yuvarlatılmış olması ve preparasyonun keskin kenar içermemesinin tarayıcı doğruluğunu arttırdığı gözlemlenmiştir (Gunel vd., 2023).

Marjin seviyesinin dijital ölçü doğruluğuna etkisi belirgindir. Subgingival marjinler ölçüm doğruluğunu azaltabilirken, supragingival marjinler daha güvenilir sonuçlar verebilir. Subgingival marjinler, tarayıcının görüş alanını kısıtladığı için ölçü doğruluğunu azaltmaktadır (Ercoli vd., 2021). Tarama derinliğinin artmasının yanı sıra çevre dokulardan daha çok nem ve kan geleceği için de tarama doğruluğunda azalma meydana gelebilir.

Marjin şekli, restorasyonun kenar uyumu ve genel ölçü kalitesinde belirleyici bir faktördür. Günel ve ark. (2023), tarafından yapılan çalışmada chamfer bitiş çizgisi dijital ölçülerde en düşük marjinal hata oranı göstermiştir. Oklüzal anatomilerin yuvarlatılmış olması da keskin sınırlara göre daha az sapmaya sebep olmuştur (Gunel vd., 2023).

Farklı basamak tasarımlarının subgingival alanda doğruluklarının karşılaştırıldığı çalışmada yuvarlatılmış shoulder basamağın yeterli retraksiyon sağlandığında en yüksek doğruluk gösterdiği görülmüştür, bunun yanı sıra retraksiyon genişliği 0,3 – 0,4 mm değilse tarayıcıların marjin sınırını doğru algılayamadığı görülmüştür (Ciou & He, 2024). Supragingival ve 0,5 mm subgingival marjinlerde dijital ölçülerin doğruluğu konvansiyonel yöntemlere göre daha yüksektir buna rağmen marjin derinleştikçe ve sulkus açıklığı 0,2 mm altına düştüğünde hiçbir tarayıcının marjini net biçimde tarayamadığı bulunmuştur (Koulivand vd., 2020; Ryakhovskiy & Kostyukova, 2016).

2.5. Taramada Meydana Gelen Hatalar

Tarama hataları, intraoral dijital tarama elde etmek için gerekli olan iki unsur, yani IOS'u kullanan operatör ve taranan hastanın intraoral koşulları temelinde sınıflandırılabilir. Bu nedenle, IOS kullanılarak kaydedilen dijital taramalarda operatör ve hasta ile ilgili tarama hataları mevcuttur. Tarama hatalarının çoğunu düzeltmenin iki yolu vardır: kesme ve yeniden tarama prosedürlerini kullanmak veya taramayı silip yeni bir tarama elde etmek. Ancak, bu tarama hatalarını düzeltmenin en doğru yolu literatürde henüz analiz edilmemiştir. Klinisyenler, tarama hatasına neden olan taramanın konumunu ve kapsamını, taramayı yakalamak için kullanılan IOS'un işlevlerini ve intraoral dijital taramanın amacını değerlendirmelidir (Gómez-Polo vd., 2021, 2023; Guo vd., 2024; Revilla-León, Sicilia, vd., 2023; Revilla-León vd., 2021).

Geleneksel yöntemlerde olduğu gibi, diş hekimleri IOS kullanılarak elde edilen intraoral taramayı ve tarama hatalarının varlığını değerlendirebilmeli ve tespit edebilmelidir. Bu tarama

hataları, yeni bir dijital tarama alınması gerektiğini de gösterebilir. Ancak, bazı tarama hataları IOS'ların mevcut donanım ve yazılım sınırlamalarından kaynaklanmaktadır. Tarama hatalarını belirlemek ve bu tarama hatalarının nedenini anlamak, IOS'u uygun şekilde kullanmak, başarılı sonuçlar elde etmek ve IOS'ları özel muayenehanelerde etkili bir şekilde uygulamak için kritik bir süreçtir.

2.5.1. Taramada meydana gelen boşluklar

Mesh deliği tarama hatası, IOS'u kullanan operatörün kasıtsız olarak bıraktığı dijital taramadaki bir delik veya eksik bilgidir. Mesh deliği tarama hatası, diş hazırlıkları veya implant tarama gövdeleri dahil olmak üzere intraoral dijital taramada farklı boyutlarda ve konumlarda olabilir. Bu eksik bilgi, intraoral dijital taramada mesh içinde bir delik olarak görselleştirilir; bu nedenle operatör bu tarama hatasını kolayca tespit edebilir.

Bu tarama hatası, taramanın çok hızlı yapılması, deneyimsiz operatörler tarafından IOS'un verimsiz bir şekilde hareket ettirilmesi ve sınırlı tarama erişilebilirliği dahil olmak üzere IOS'un yetersiz kullanımını nedeniyle oluşur.

Mesh deliği tarama hataları, yeniden tarama prosedürleri ile doldurulabilir veya düzeltilebilir. Ancak, önceki çalışmalar, yeniden tarama tekniklerinin, özellikle mevcut tarama yeniden taramadan önce kilitlemediğinde, IOS'ların tarama doğruluğunu azalttığını göstermiştir. Bununla birlikte, tüm IOS'lar mevcut taramayı kilitleyip çakışmayı önleme

Tablo 2.2. Tarayıcı hassasiyetini etkileyen faktörlerin sınıflandırılması

Etkene Göre	Tarama Sürecine Göre	Doğruluğa Etki Düzeyine Göre
<p>Cihaz ve Yazılım Kaynaklı</p> <ul style="list-style-type: none">•Tarama Teknolojisi•Cihaz Kalibrasyonu ve stabilizasyonu•Yazılımın veri işleme yöntemi•Tarayıcı başlığı boyutu•Tarama mesafesi ve odak derinliği•Yeniden tarama ve verileri birleştirme şekli•Ortam sıcaklığı•Ortam aydınlatması <p>Operatör Kaynaklı</p> <ul style="list-style-type: none">•Tarama yolu ve uygulaması•Operatör deneyimi ve hakimiyeti•Tarama uzunluğu, açısı ve mesafe <p>Hasta Kaynaklı</p> <ul style="list-style-type: none">•Dişin konumu•Diastema ve interdental mesafe•Ark genişliği•Damak morfolojisi•Ağız içi nem, tükürük ve kan varlığı•Mevcut restorasyonların türü ve optik özellikleri•Preparasyon morfolojisi ve marjin tasarımı•Dişsiz bölgeler•İmplant pozisyonu, derinliği ve scan body özellikleri	<p>Tarama öncesi</p> <ul style="list-style-type: none">•Cihaz kalibrasyonunun yapılmış olması•Tarayıcının bulunduğu ortamın sıcaklığı ve aydınlatma koşulları•Hastanın ağız içi durumunun değerlendirilmesi (marjin, restorasyonlar vb.)•Tarama stratejisinin önceden planlanması <p>Tarama sırası</p> <ul style="list-style-type: none">•Seçilen tarama paterni ve tarayıcı hareket tekniği•Tarama mesafesi, açısı ve sabitlik•Ağız içi nem, tükürük ve kan•Operatör becerisi <p>Tarama sonrası</p> <ul style="list-style-type: none">•Yazılımın veri işleme algoritması•Eksik alanların yeniden taranması	<p>Yüksek Etki</p> <ul style="list-style-type: none">•Marjin seviyesi (Özellikle subgingival)•Tarama yolu•Ağız içi nem ve tükürük•Preparasyon şekli•Tarayıcı teknolojisi•Preparasyon <p>Orta Etki</p> <ul style="list-style-type: none">•Ortam ışık şiddeti ve renk sıcaklığı•Tarayıcı başlığı boyutu•Tarama alanı uzunluğu•Diş konumu <p>Düşük Etki</p> <ul style="list-style-type: none">•Kalibrasyon sıklığı•Gün içi sıcaklık değişimleri•Mesh yoğunluğu•Operatör deneyimi

özelliğine sahip değildir. Operatör, kullanılan IOS'un performansını ve sonuçlarını en üst düzeye çıkarmak amacıyla, seçilen IOS programının araçlarını bilmelidir. Mesh delikleri, eksik bilgileri doldurmadan veya yeniden tarama prosedürleri uygulamadan olduğu gibi bırakılabilir. Bu durumlarda, IOS programı genellikle matematiksel hesaplamalar kullanarak mesh deliklerini kapatır; ancak, mesh deliğinde oluşturulan yüzey, hastanın gerçek yüzeyini temsil etmeyebilir. Klinisyen, taramanın amacına ve taramada bulunan mesh deliği tarama hatalarının sayısına, konumuna ve çapına bağlı olarak yeniden tarama veya mesh deliğini bırakma seçeneklerinden birini seçmelidir. Mesh deliği tarama hatasını, önceden var olan bir taramada bir veya daha fazla mesh deliğinin kasıtlı olarak oluşturulduğu kesme prosedürlerinden ayırmak önemlidir. Bu mesh deliği, diş hazırlığı veya ISB gibi ek bilgileri yakalamak için yeniden taranır (Gómez-Polo vd., 2021, 2023; Guo vd., 2024; Revilla-León, Sicilia, vd., 2023; Revilla-León vd., 2021).

2.5.2. Tarama görüntüleri birleştirilmesi

Farklı tarama yollarında ortak bilgi olmadan verilerin alındığı tarama alanının bir bölümünde meydana gelen ve birleştirme işlemleri sırasında kusur oluşturan bir tarama hatasıdır. Bu tarama hatası genellikle, merkezi ve yan kesici dişlerin kesici kenarı veya implant tarama gövdeleri kenarları gibi taranan geometrinin kenarında ani ve düzensiz bir sınır olarak görülür. Yetersiz tarama modeli veya tarama alanındaki hareketli doku nedeniyle ortaya çıkabilir.

IOS, yeniden tarama tekniklerini uygulamadan önce mevcut taramayı kilitlemeye izin verdiğinde, kesme ve yeniden tarama prosedürleri önerilebilir. Kesme prosedürü, mevcut taramada (ön tarama) kasıtlı olarak bir delik açmak anlamına gelir. Önceki çalışmalar, yeniden tarama tekniklerinin IOS doğruluğunu azalttığını, ayrıca yeniden taranan deliğin sayısı ve çapı ne kadar yüksekse IOS doğruluğunun o kadar düşük olduğunu ortaya koymuştur (Gómez-Polo vd., 2023; Guo vd., 2024; Revilla-León, Sicilia, vd., 2023; Revilla-León vd., 2021). Bu nedenle, kesme teknikleri kullanıldığında oluşturulan delik ne kadar küçükse, doğruluk o kadar iyi olur. Dolayısıyla, kesme yöntemlerini uygulayan operatörler mümkün olan en küçük ağ deliğini oluşturmalıdır.

Taramanın amacı diş destekli restorasyonlar yapmak olduğunda, kesme tekniği kullanılarak mevcut taramadan eski restorasyon çıkarılır ve ardından silinen bölge yeniden taranarak restore edilecek dişin preparasyonu kaydedilir (Valenti vd., 2023). Ancak, kesme işlemleri sırasında operatör bitiş çizgisinin nerede olduğunu bilmez. Bu nedenle, bazen

oluşturulan delik yeterince büyük olmaz ve diş hazırlığı tarandığında bitiş çizgisi oluşturulan ağ deliğinin sınırından daha apikalde bulunur ve bu da tarama hatasına neden olur. Bu hatayı düzeltmek için önerilen prosedür, kesme prosedürünü yeniden yapmak ve diş hazırlıklarını yeniden taramaktır.

2.5.3. Yumuşak dokuya bağlı meydana gelen hatalar

Yumuşak doku (yanak veya dil) veya operatörün parmağının taranan dişlerin yüzeyine yapışmasıyla oluşan bir tarama hatasıdır. Doku tarama hatası, ağız içi tarama yapılırken yetersiz retraksiyon nedeniyle oluşur ve bu nedenle yumuşak doku veya operatörün parmağı taranan dişlere yapışır.

Farklı IOS'ların yazılım programlarında, temizleme işlevi de dahil olmak üzere farklı yapay zeka (AI) tabanlı uygulamalar hayata geçirilmiştir. Bu AI tabanlı uygulamalar sayesinde, doku veya parmaklar ağız içi dijital taramadan otomatik olarak kaldırıldığından, doku tarama hatası önemli ölçüde en aza indirgenmiştir (Revilla-León vd., 2024).

2.5.4. Yetersiz tarama güvenilirliği

Bazı IOS yazılım programları, elde edilen verilerin güvenilir olup olmadığını renkli görselleştirme göstergesi ile belirten güvenilirlik aracına sahiptir. Güvenilir olmayan veriler, yetersiz veya eksik kayıtlı verilerin bulunduğu tarama alanı olarak yorumlanır ve IOS'u kullanan operatöre ek veri elde etmesinin önerildiğini belirtir. Medit'in tüm IOS'ları, güvenilirlik işlevini IOS yazılım programlarına entegre etmiştir. Bu programda, taramanın kırmızı rengi güvenilir olmayan verileri, yeşil rengi ise güvenilir verileri gösterir. Güvenilirlik tarama hatası, yalnızca güvenilirlik işlevine sahip IOS'larda görülebilir ve bu işlev şu anda yalnızca Medit'in IOS'larında mevcuttur. Güvenilirlik tarama hatası, intraoral taramayı kaydeden operatör tarafından kolayca tespit edilebilir. Bu tarama hatası, intraoral tarama elde edilirken kontrol edilmelidir. Veri elde edilmesi, veriler güvenilir hale geldikçe veya tarama kırmızıdan yeşile döndükçe önerilen tarama modeline göre gerçekleştirilir (Revilla-León vd., 2025).

2.5.5. Tarama gürültüsü

Tarama gürültüsü hatası, intraoral dijital taramanın bir alanında görülebilen yüzey pürüzlülüğü olarak tanımlanır (Mehl vd., 2009). Bu yüzey pürüzlülüğü gerçek değildir, yani taranan yüzeyde taranan dişlerde bu doku yoktur. Tarama gürültüsü hatası, yetersiz ortam aydınlatma koşulları, mevcut restorasyonlar ve/veya taranan yüzeyin nemi gibi yetersiz tarama

koşullarından kaynaklanabilir (Dupagne vd., 2022; Mehl vd., 2009). Tarama gürültüsü hatasını düzeltmek için yeni bir intraoral dijital tarama elde etmek ve taramayı optimize etmek gerekir.

Yeterli ortam aydınlatması veya tarama yardımcılarının kullanılması gibi koşullar [9]. Diş hekimliği literatüründe, restoratif malzemelerin IOS doğruluğunu azalttığı gösterilmiştir. Parlaklığı en aza indirmek ve tarama prosedürünü kolaylaştırmak için ağız içi tarama tozu kullanılması önerilir (Revilla-León vd., 2023).

2.5.6. Komşu yüzey mesafesi

Diş hekimliği literatüründe, iki komşu diş arasındaki mesafenin azalması veya sınırlı olması veya bir diş preparasyonu ile komşu diş arasındaki mesafenin azalması, IOS'un doğruluğunu azaltan bir faktör olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, önceki çalışmalar diş preparasyonu ile komşu diş arasındaki sınırlı alanın yarattığı tarama hatasını tanımlamıştır. Bu tarama hatası, diş preparasyonu ile komşu dişi birbirine bağlayan anomalilerin veya köprülerin varlığını içerir ve köprü veya çapraz bağlantı tarama hatası olarak adlandırılmıştır (Akl vd., 2023; Ammoun vd., 2020; Baldi vd., 2023; Chun vd., 2017; de Freitas vd., 2024; Ferrari vd., 2018; Huang vd., 2021; S.-A. Son vd., 2022).

Sınırlı sayıda diş hekimliği literatürü, iki komşu diş arasındaki boşlukların IOS doğruluğu üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. İki komşu diş arasındaki boşluğun boyutu ve kullanılan IOS teknolojisi ve sistemine bağlı olarak IOS doğruluğunu farklı şekilde etkiler. Diş preparasyonu ile komşu dişler arasındaki mesafe de IOS doğruluğunu etkiler (Akl vd., 2023; Chun vd., 2017; de Freitas vd., 2024).

Ancak, bu tarama hatalarını en aza indirmek ve IOS doğruluğunu en üst düzeye çıkarmak için optimal diş arası mesafe, farklı IOS teknolojileri ve sistemleri arasında değişiklik göstermektedir (Baldi vd., 2023; Chun vd., 2017; Huang vd., 2021; S.-A. Son vd., 2022). Dişler arası boşlukların farklı IOS teknolojileri ve sistemlerinin tarama doğruluğu üzerindeki etkisini daha ayrıntılı olarak değerlendirmek için çalışmalar yapılması gerekmektedir. Köprü tarama hatası, IOS'ların donanım ve yazılım sınırlamalarıyla ilişkili olabilir; bu nedenle, köprü tarama hatalarını düzeltmek zor olabilir. Varsa, IOS teknolojisi ve sistemine dayalı köprü tarama hatalarını en aza indirmek için stratejileri daha ayrıntılı olarak değerlendirmek üzere çalışmalar yapılması gerekmektedir.

2.5.7. Bitiş hattı belirsizliği

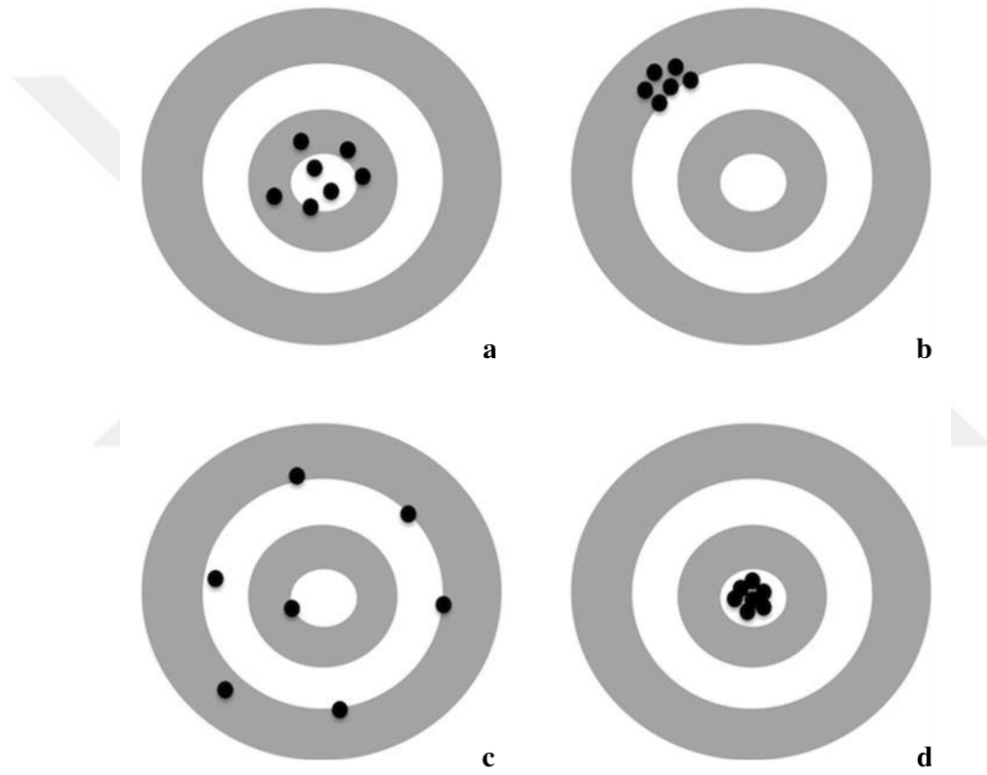
Bulanık bitiş çizgisi tarama hatası, IOS kullanılarak kaydedilen diş preparasyonunun belirsiz ve net olmayan bitiş çizgisi olarak tanımlanabilir. Bulanık bitiş çizgisi tarama hatası, yetersiz yakalanan veriler ve/veya yetersiz yumuşak doku yönetimi nedeniyle ortaya çıkabilir. Diş hekimliği literatüründe, farklı IOS'lar arasında bitiş çizgisinin belirginliği ve ağ yoğunluğu açısından farklılıklar olduğu bildirilmiştir (Mandelli vd., 2017; Nedelcu vd., 2018). Ağ yoğunluğu ne kadar yüksekse, yüzey detaylarının yeniden üretimi de o kadar yüksek olur (Asar vd., 2022). IOS teknolojisi ve sisteminin etkisi ile yakalanan verilerin IOS'ların bitiş çizgisi belirginliği ve doğruluğu üzerindeki güvenilirliğini daha ayrıntılı olarak değerlendirmek için çalışmalar yapılmalıdır. Önceki çalışmalar, bitiş çizgisinin konumu ve pozisyonunun IOS doğruluğu üzerindeki etkisini ortaya koymuştur (Baldi vd., 2023; Ferrari vd., 2018; Jin-Young Kim vd., 2021; Revilla-León vd., 2023; Revilla-León vd., 2024; K. Son & Lee, 2021; S.-A. Son vd., 2022). Bitiş çizgisi diş eti hizasında veya diş eti oluğunda yer aldığı zaman, yeterli yumuşak doku yönetimi ile bitiş çizgisinin açığa çıkarılması çok önemlidir. Çift retraksiyon kordonu tekniği gibi yumuşak doku yönetimi yöntemleri kullanılarak bitiş çizgisinin açığa çıkarılması, bulanık bitiş çizgisi tarama hatasının görülme sıklığını en aza indirir.

2.6. İntraoral Tarayıcıların Doğruluk Analizi

Dijital ölçü sistemlerinin performansını değerlendirmede kullanılan en temel kavramlardan biri doğruluktur. ISO 5725-1 standardına göre accuracy (doğruluk), ölçüm sonuçlarının gerçek değere ne kadar yakın olduğunu gösteren trueness (gerçeklik) ve tekrar edilen ölçümler arasındaki tutarlılığı ifade eden precision (tekrarlanabilirlik) olmak üzere iki alt bileşenden oluşur (Şekil 2.6) (ISO 5725-1, 2023). IOS sistemler, karmaşık üç boyutlu geometrilerden veri topladıkları için, bu iki bileşenin ayrı ayrı değerlendirilmesi dijital ölçü güvenilirliği açısından büyük önem taşır. Literatürde doğruluk ölçümü genellikle, tarayıcıdan elde edilen test verisinin yüksek çözünürlüklü bir referans tarama ile karşılaştırılması yoluyla yapılır (Ender & Mehl, 2013; ISO 12836, 2015). Bu karşılaştırmalarda, iki tarama verisi genellikle best-fit alignment algoritması kullanılarak hizalanır ve yüzeyler arasındaki farklar hesaplanır. Elde edilen sapmalar genellikle RMS, ortalama mutlak hata (MAD) veya 3B renk haritaları ile görselleştirilerek değerlendirilir (Ender & Mehl, 2013; Güth vd., 2013; Revilla-León vd., 2022).

RMS değerinin düşük olması, tarama verisinin referansa yakınlığını, dolayısıyla yüksek doğruluğu temsil eder. Buna karşın, aynı modelin birden fazla taraması arasındaki RMS farklarının düşük olması yüksek tekrarlanabilirliğin göstergesidir. Bu iki parametrenin birlikte

değerlendirilmesi, intraoral tarayıcıların genel doğruluk performansını anlamada en güvenilir yöntem olarak kabul edilir (Güth vd., 2013; Mizumoto vd., 2020; Revilla-León vd., 2022). Şekil 2.6’da, (a) yüksek doğruluk ve düşük tekrarlanabilirlik, (b) yüksek tekrarlanabilirlik ve düşük doğruluk, (c) düşük doğruluk ve düşük tekrarlanabilirlik, (d) ise hem yüksek doğruluk hem de yüksek tekrarlanabilirlik durumları şematik olarak gösterilmektedir. Son yıllarda, Geomagic Control X, CloudCompare gibi tersine mühendislik yazılımlarının gelişmesiyle, marjinal bölge gibi kritik anatomik alanlarda lokal doğruluk analizleri de yapılabilmektedir (Dutton vd., 2020). Böylece, yalnızca global RMS değerleri değil, belirli bölgelerdeki hata dağılımları da değerlendirilebilmektedir.



Şekil 2.6. Gerçeklik ve tekrarlanabilirlik kavramlarının görsel gösterimi

2.6.1. Hizalama yöntemleri

Doğruluk analizinde en kritik aşamalardan biri, test modeli ile referans modelin hizalanmasıdır. Doğru bir hizalama yapılmadığında, sapma değerleri gerçek geometrik farkları değil, hatalı konumlandırmayı yansıtabilir. Bu nedenle hizalama yöntemi, doğruluk sonuçlarını doğrudan etkileyen bir parametre olarak değerlendirilir (Ender & Mehl, 2013; ISO 12836, 2015).

En sık kullanılan yöntem olan best-fit alignment, çoğunlukla yinelemeli en yakın nokta (ICP) algoritmasına dayanır. Bu algoritma, iki modeldeki nokta bulutlarını yinelemeli olarak

karşılaştırır ve toplam karesel farkı minimize edecek şekilde konumlandırır (Rusinkiewicz & Levoy, 2002). ICP'nin en önemli avantajı yüksek tekrarlanabilirlik ve tüm yüzey geometrisini dikkate almasıdır; ancak modelde eksik veriler veya lokal deformasyonlar bulunuyorsa, algoritma bu bölgeleri yanlış eşleştirebilir ve özellikle marjinal alanlardaki lokal sapmaları maskeleyebilir (Güth vd., 2013). Alternatif olarak landmark tabanlı hizalama yöntemi, belirlenmiş üç veya daha fazla anatomik referans noktasına dayanır ve kullanıcı bu noktaları manuel olarak tanımlayarak hizalama yapar (Mizumoto vd., 2020). Bazı araştırmalarda kombine (bütün + lokal) hizalama yöntemi kullanılarak iki aşamalı bir süreç uygulanır: önce bütün hizalama ile yaklaşık konumlandırma yapılır, ardından lokal ICP veya ince hizalama ile tamamlanır (Dutton vd., 2020; Rusinkiewicz & Levoy, 2002). Bu yaklaşım, farklı eksenlerde veya yönlerde toplanan verilerde konum hatalarını minimize eder.

2.6.2. Değerlendirme kriterleri

Doğruluk değerlendirmesinde amaç, test modelinin referans modele geometrik olarak ne kadar yakın olduğunu belirlemektir. Bu analiz hem nicel hem de nitel yöntemlerle gerçekleştirilir ve birbirini tamamlayıcı niteliktedir. Nicel analizlerde, iki model arasındaki farklar sayısal olarak ifade edilirken; nitel analizlerde bu farkların yüzey üzerindeki dağılımı görsel olarak değerlendirilir. En sık kullanılan nicel parametre, RMS değeridir. RMS, her noktanın referans modele olan dik mesafe farkının karesinin ortalamasının karekökü alınarak hesaplanır ve yüzeyin genel doğruluk düzeyini yansıtır. RMS değeri ne kadar düşükse, modelin referansa o kadar yakın olduğu kabul edilir. Bunun yanı sıra MAD ve Hausdorff Distance (HD) gibi ek parametreler, doğruluğun farklı yönlerini ortaya koyar. HD maksimum lokal sapmayı; MAD ise uç değerlerin etkisini azaltarak genel eğilimi temsil eder. RMS ve standart sapma birlikte değerlendirildiğinde, hem trueness hem de precision bileşenleri hakkında genel bir bilgi elde edilebilir (Ender & Mehl, 2013; Güth vd., 2013; ISO 5725-1, 2023; ISO 12836, 2015).

Nicel analizlere ek olarak, nitel yöntemler model doğruluğunun yüzey üzerindeki dağılımını görselleştirir. Bu amaçla en sık kullanılan araç üç boyutlu renk haritalarıdır. Renk skalasında $\pm 10 \mu\text{m}$ sapmalar yeşil, pozitif sapmalar (fazlalık) kırmızı, negatif sapmalar (eksiklik) mavi tonlarla gösterilir. Böylece yüzey üzerindeki sapma yoğunluğu ve yönü kolayca analiz edilebilir. Ayrıca, sapma histogramları kullanılarak noktasal farkların dağılımı istatistiksel olarak incelenir. Histogram eğrisinin merkezinin $0 \mu\text{m}$ 'e yakın olması yüksek doğruluğu, dağılımın dar olması ise yüksek tekrarlanabilirliği gösterir. Bazı durumlarda kesitsel analiz kullanılarak belirli bir düzlemdeki doğrusal farklar iki boyutlu grafiklerle sunulur. Bu görsel yaklaşımlar, özellikle marjinal hat, oklüzal yüzey ve aksiyel duvar gibi bölgelerde optik

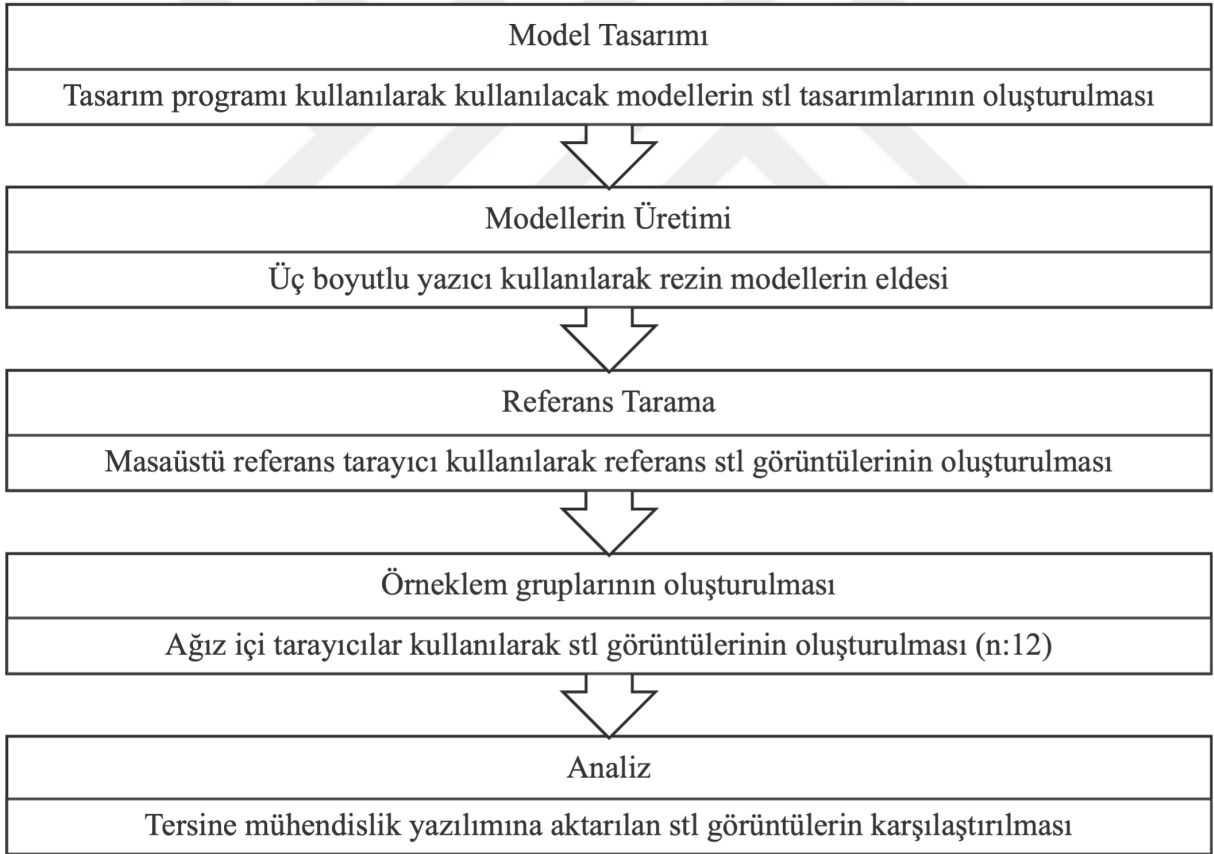
erişim kısıtlamalarının veya yüzey morfolojisinin hatalara nasıl yansıdığıının yorumlanmasını sağlar (Dutton vd., 2020; Revilla-León, Sicilia, vd., 2023; Revilla-León vd., 2022).



3. MATERYAL METOD

Bu projenin bilimsel etik açısından uygun olduğuna Necmettin Erbakan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi İlaç ve Tıbbi Cihaz Dışı Araştırmalar Etik Kurulu'nun 26.09.2024 tarihinde yapılan 2024/481 sayılı toplantısında oy birliği ile karar verilmiştir (Bkz. EK-A).

Güncel ağız içi tarayıcı sistemlerinin etkinliğinin değerlendirilmesi amacı ile bu tez çalışmasında, marjin seviyesi (supragingival ve subgingival) ile basamak tipi (shoulder, chamfer, rounded shoulder) parametrelerinin tarama doğruluğuna etkisini değerlendirmek üzere toplam altı adet tam kron preparasyon modeli tasarlanmış ve dört farklı dijital tarayıcı (Primescan, Medit i700, Trios 3, Trios 5) ile çoklu taramalar gerçekleştirilmiştir ve ölçüm doğruluğu (accuracy), ISO 5725-1 standardına göre 'trueness' ve 'precision' parametreleri üzerinden değerlendirilmiştir. (Şekil 3.1).



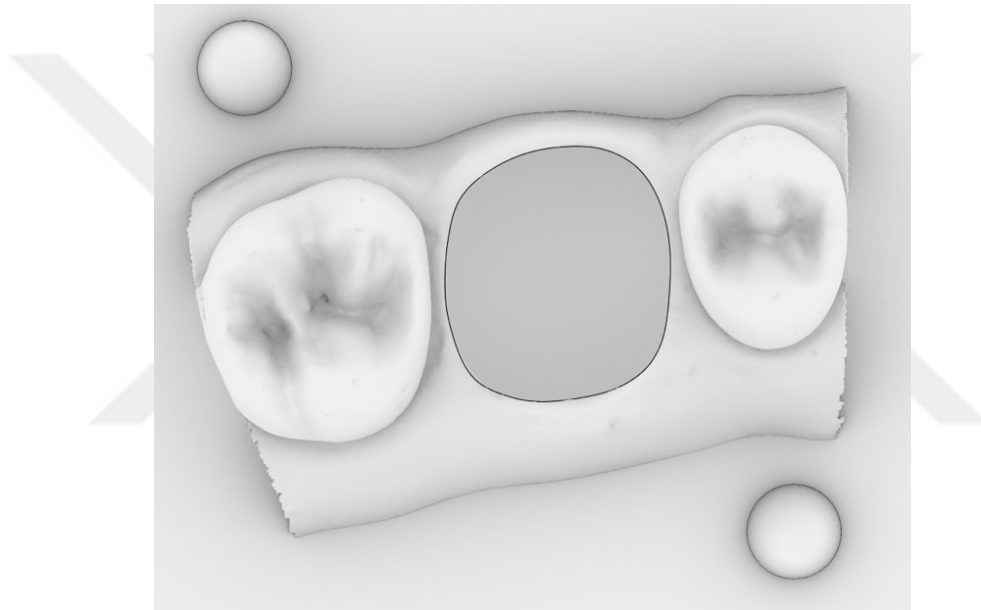
Şekil 3.1. Çalışma tasarımının şematik gösterimi

3.1. Referans Model Tasarımı ve Üretimi

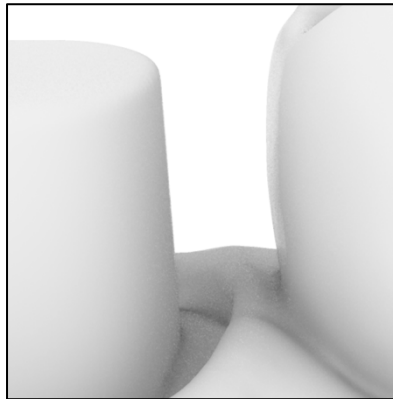
Referans model tasarımı, Frasaco model (Frasaco GmbH, Tettngang, Almanya) üzerinde üst birinci molar diş çıkarılarak masaüstü tarayıcı (3Shape D2000, 3Shape, Danimarka) kullanılarak tarama alınmıştır (Ateşalp İleri & Büyükerkmen, 2025; Guo vd., 2024; Meneghetti vd., 2023). Komşu dişler dışındaki alanlar şekil 3.2.'deki gibi kesildikten sonra STL

(Standard Tessellation Language) dosyası Rhinoceros 8 (McNeel, ABD) tasarım programına aktarılarak, klinik şartları yansıtacak şekilde üst birinci molar diş temel alınarak, iki farklı marjin seviyesi (supragingival ve subgingival) ve üç farklı basamak tipi (shoulder, chamfer ve rounded shoulder) kombinasyonları doğrultusunda toplam altı adet model oluşturulmuştur (Şekil 3.3-8).

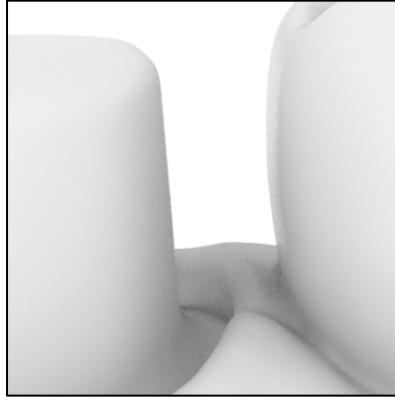
Herbir modelde standardizasyonu sağlamak amacıyla oklüzal yüzeyde 2 mm indirgeme, her duvar için 5° olmak üzere toplamda 10° toplam oklüzal konverjans açısı, marjin genişliği ise 1 mm olarak oluşturulmuştur. Marjin konumu supragingival modellerde dişetinden 1mm koronal, subgingival modelde ise 1 mm apikalde oluşturulmuştur.



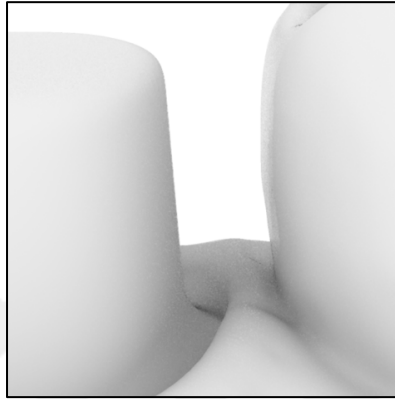
Şekil 3.2. Molar diş çıkarıldıktan sonra tasarım programına aktarılan stl model



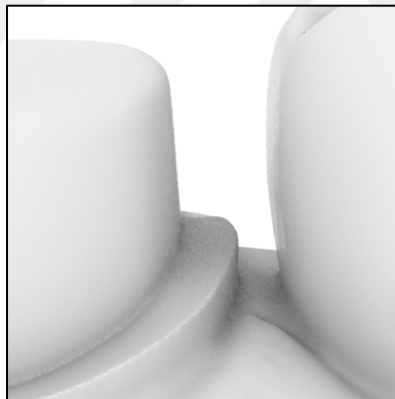
Şekil 3.3. Subgingival shoulder marjin



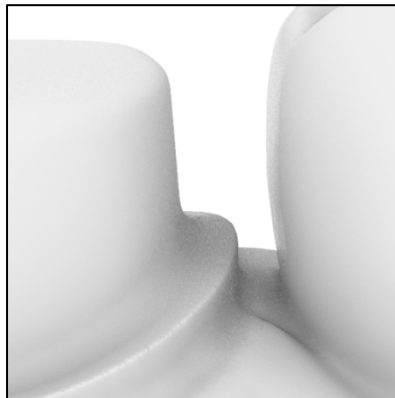
Şekil 3.4. Subgingival rounded shoulder marjin



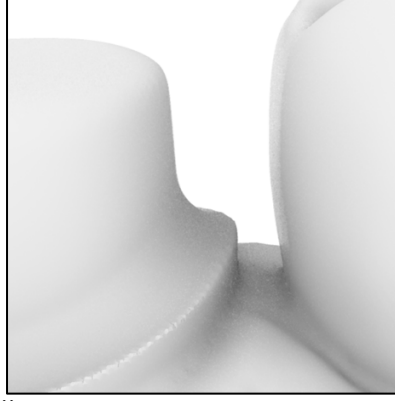
Şekil 3.5. Subgingival chamfer marjin



Şekil 3.6. Supragingival shoulder marjin

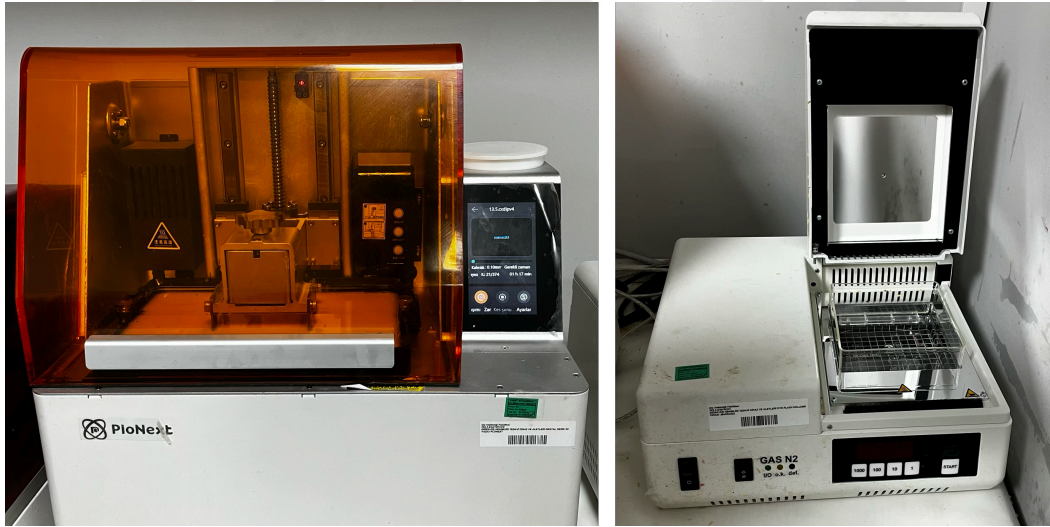


Şekil 3.7. Supragingival rounded shoulder marjin

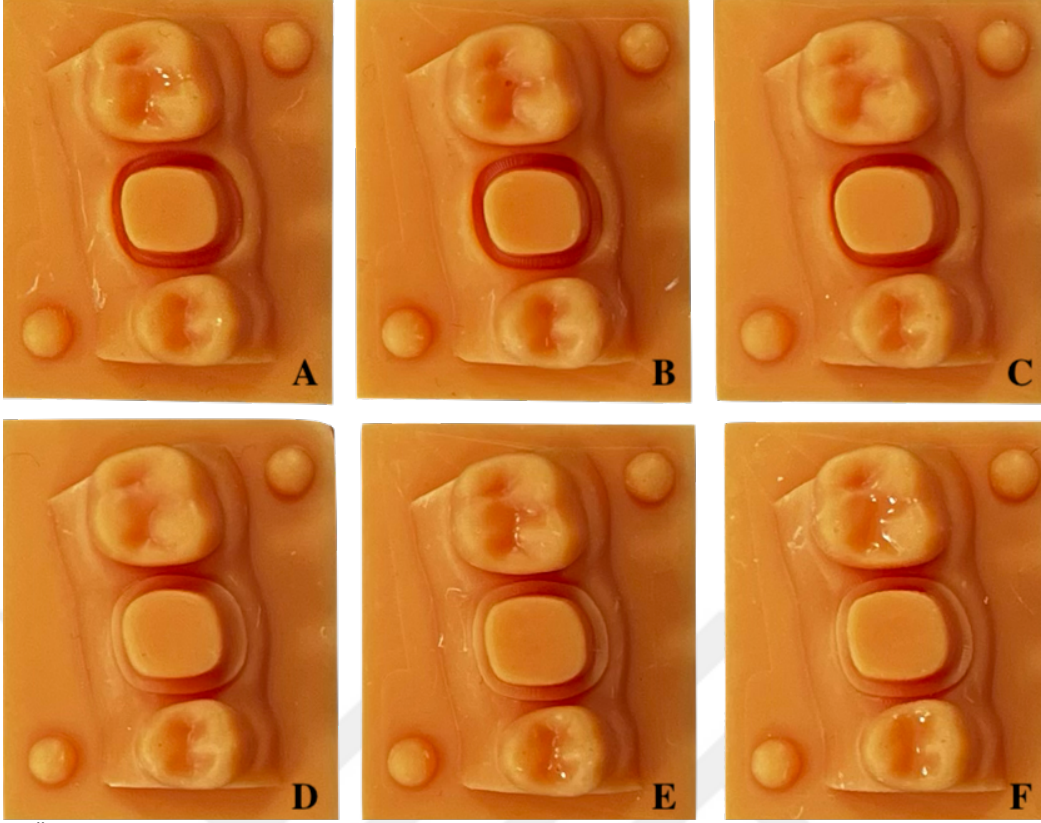


Şekil 3.8. Supraringival chamfer marjin

Hazırlanan dijital modeller, üretim için LCD tabanlı reçine 3D yazıcı (DJ89 Plus, Pionext, Çin) kullanılarak üretilmiştir. Yazıcı, 10 µm katman kalınlığında üretim yapacak şekilde ayarlanmıştır. Üretim işlemini takiben, modeller 90 saniye süreyle %99 saflıkta IPA (izopropil alkol) içerisinde temizlenmiş ve üretici talimatlarına uygun olarak UV (Ultraviyole) kürleme cihazında (Pionext UV-02, Pionext, Çin) 5 dakika boyunca post processing işlemine tabi tutulmuştur. Boyutsal stabiliteyi sağlamak ve reçine bağlı büzülmeleri minimize etmek amacıyla modeller, ölçüm öncesi 24 saat boyunca sabit sıcaklık (23°), nem koşullarında karanlık bir ortamda bekletilmiştir. Çalışmada kullanılan cihazlar tablo 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Model üretiminde kullanılan üç boyutlu yazıcı ve kürleme cihazı



Şekil 3.10. Üç boyutlu yazıcı kullanılarak elde edilen rezin modeller (A: SBRS, B: SBS, C: SBC, D: SPC, E: SPS, F: SPRS)

3.2. Dijital Tarama Süreci

Her bir model, dört farklı dijital ağız içi tarayıcı sistemi ile bağımsız olarak 12 tekrar olacak şekilde taranmış olup, toplamda 6 model (SBS, SBC SBRS, SPS, SPC, SPRS) x 4 tarayıcı (Trios 3, Trios 5, Primescan, Medit i700) x 12 tekrar = 288 dijital tarama gerçekleştirilmiştir (n: 12). Her bir tarayıcı, üretici firmaların önerdiği kalibrasyon prosedürleri doğrultusunda tarama öncesinde kalibre edilmiş ve tüm işlemler tek bir deneyimli operatör tarafından gerçekleştirilerek operatöre bağlı değişkenlik en aza indirilmiştir.

Tarama işlemlerinde referans modellerin elde edilmesi amacıyla, yüksek hassasiyete sahip endüstriyel bir masaüstü tarayıcı olan 3Shape D2000 (3Shape, Danimarka) kullanılmıştır. Bu sistem, ISO 12836 standardına göre 5 mikron altında doğruluk sunan ölçüm kapasitesi ile yüksek hassasiyet gerektiren uygulamalar için idealdir.

Tüm taramalar, dış ışık kaynaklarından ve yansımadan etkilenmeyecek şekilde benzer oda şartları içerisinde gerçekleştirilmiştir. Bu ortamda, yansıma, gölgeleme ve optik hata kaynaklı sapmalar minimize edilmiştir.

Her tarama arasında modellerin fiziksel bütünlüğünü ve boyutsal stabilitesini korumak amacıyla, numuneler sabit sıcaklık ve nem koşullarında hava geçirmez kutularda muhafaza edilmiştir.

Elde edilen tüm taramalar STL formatında dışa aktarılmış ve ileri analizler için tersine mühendislik yazılımına aktarılmıştır.

Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan cihazlar

Ürün Adı	Üretici Firma
Trios 3 (intraoral tarayıcı)	3Shape A/S, Kopenhag, Danimarka
Trios 5 (intraoral tarayıcı)	3Shape A/S, Kopenhag, Danimarka
Medit i700 (intraoral tarayıcı)	Medit Corp., Seul, Güney Kore
Primescan (intraoral tarayıcı)	Dentsply Sirona, Bensheim, Almanya
Trios D2000 (masaüstü laboratuvar tarayıcısı)	3Shape A/S, Kopenhag, Danimarka
Rhinoceros 3D (üç boyutlu tasarım yazılımı)	Robert McNeel & Associates, Seattle, ABD
Geomagic Control X (analiz yazılımı)	3D Systems Inc., Rock Hill, ABD
Pionext LCD 3D Printer (model yazıcısı)	Pionext Technology, Çin
Pionext UV-02 (kütleme cihazı)	Pionext Technology, Çin

3.3. Tersine Mühendislik ve Analiz Yöntemi

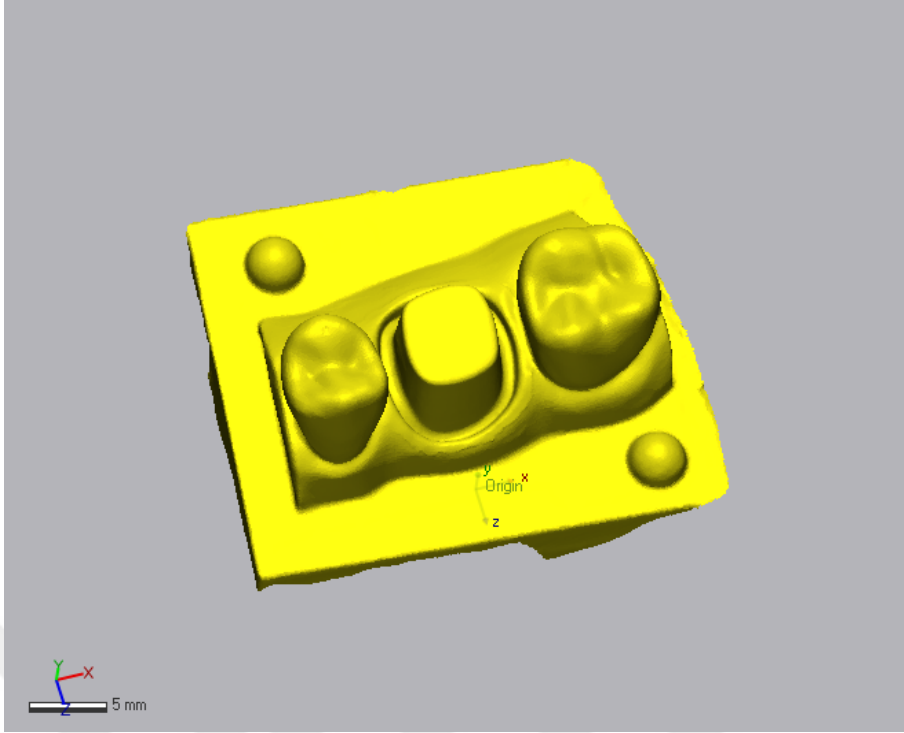
Tüm ağız içi tarayıcılardan elde edilen tarama verileri, STL formatında dışa aktarılmıştır. Veriler, üç boyutlu yüzey karşılaştırmaları yapmak üzere, tersine mühendislik yazılımı olan Geomagic Control (3D Systems, ABD) programına aktarılmıştır (Şekil 3.9).

Her bir tarama verisi, aynı modelin 3Shape D2000 masaüstü tarayıcı ile elde edilen referans taramasıyla birebir karşılaştırılmıştır (Şekil 3.10). Karşılaştırmalar iki ana parametre üzerinden değerlendirilmiştir:

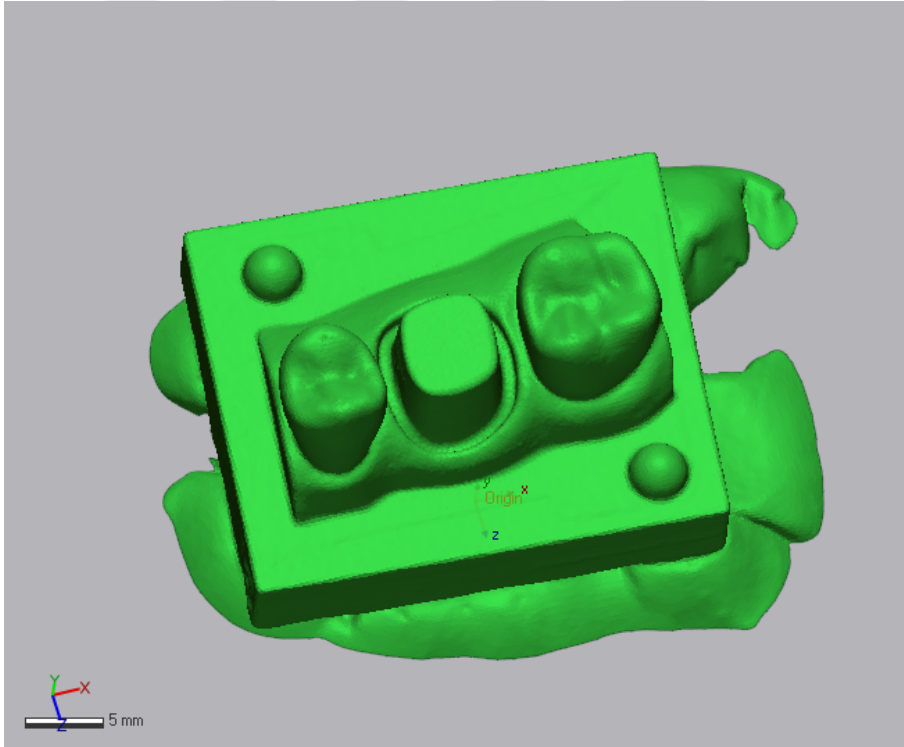
Marjin sınırı değerlendirilmesi: Her modelin marjin hattı referans model ile karşılaştırılarak lokal geometrik sapmalar değerlendirilmiştir. Özellikle marjinal geçişlerin doğruluğu, estetik ve biyolojik uyum açısından kritik olduğundan ayrı ayrı raporlanmıştır (Şekil 3.11).

Genel kron değerlendirilmesi: Tüm preparasyon yüzeyi, oklüzal ve servikal alanlar dahil olmak üzere üç boyutlu yüzey olarak analiz edilmiştir (Şekil 3.12).

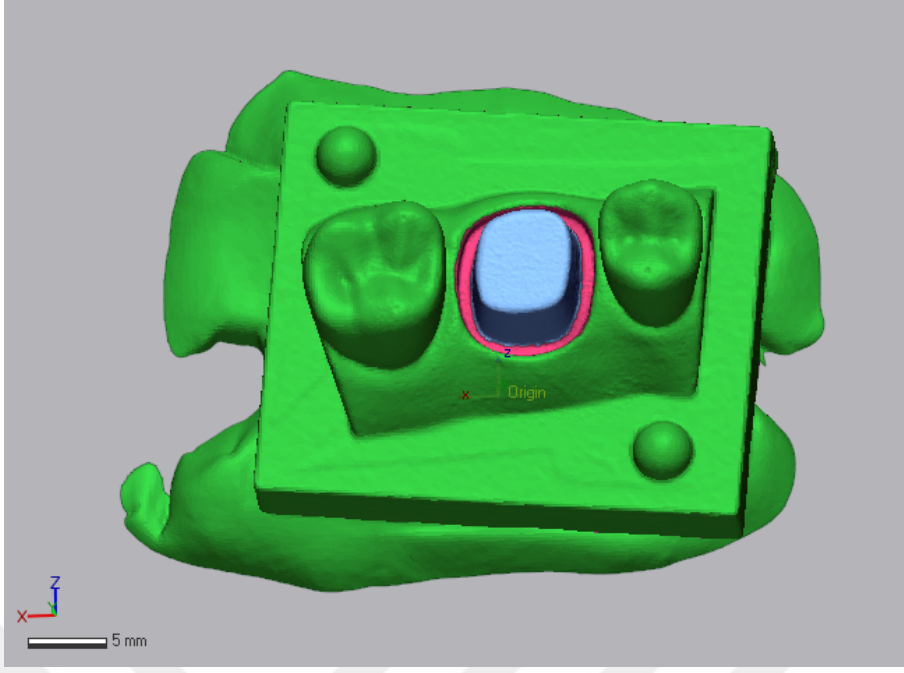
Bu karşılaştırma sürecinde, yazılımın best fit alignment özelliği kullanılarak taramalar geometrik olarak hizalanmıştır. Bu algoritma, yüzeyler arasında en az sapmayı sağlayacak şekilde uzamsal eşleştirme yapar ve analizce karşılaştırmalı değerlendirme için temel oluşturur (Şekil 3.13).



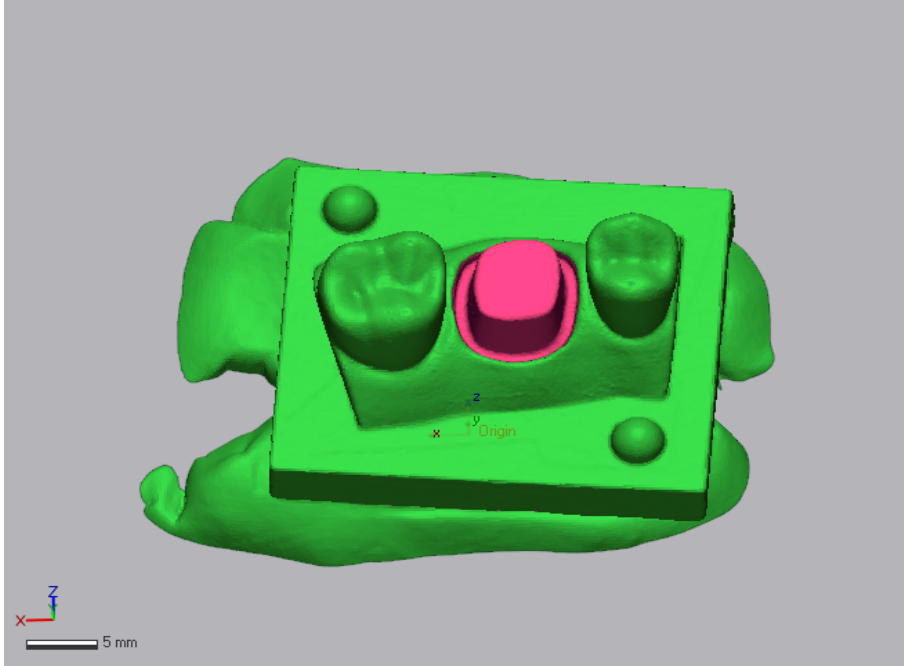
Şekil 3.11. Ağız içi tarayıcı kullanılarak elde edilen stl görüntüsü



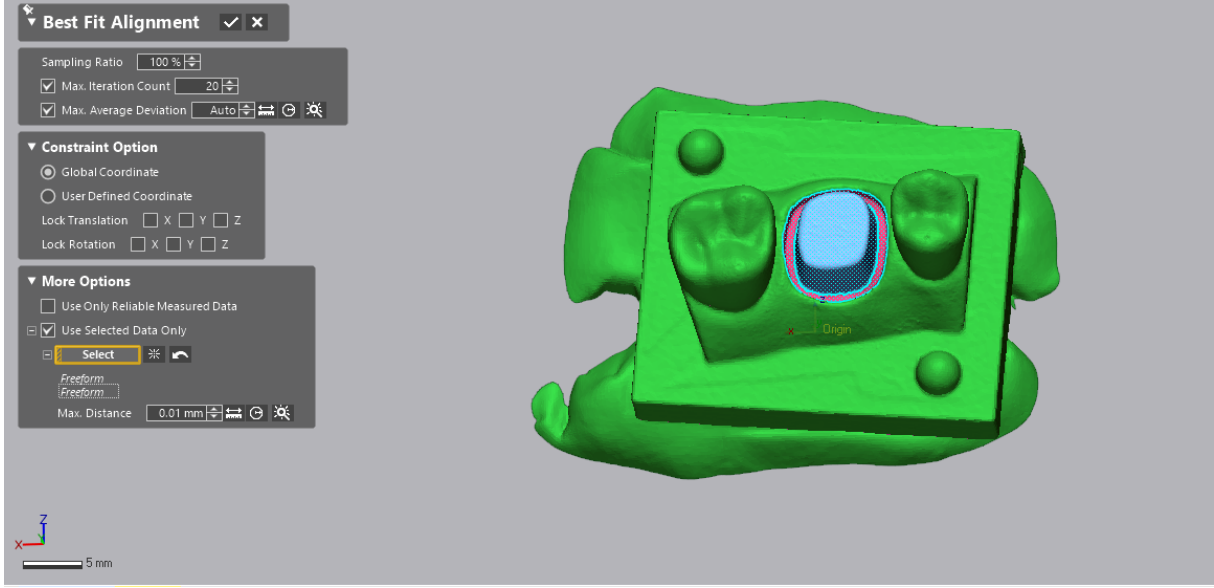
Şekil 3.12. 3Shape D2000 referans tarayıcı kullanılarak elde edilen referans taraması stl görüntüsü



Şekil 3.13. Marjin bölgesinin segmente ayrılması



Şekil 3.14. Preparasyon tamamının segmente ayrılması



Şekil 3.15. Best fit alignment yöntemi kullanılarak modellerin karşılaştırılması

Analiz sonucunda elde edilen farklar, RMS değeri ile sayısallaştırılmıştır. Denklem 3.1.'de de görüldüğü gibi RMS değeri, her bir noktanın referans yüzeye olan mesafesinin karelerinin ortalamasının karekökü alınarak hesaplanır ve genel tarama doğruluğunu nesnel olarak ifade etmektedir.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{ref})^2}$$

(3.1. Rms değerinin hesaplanması için kullanılan formül)

Burada x_i , ölçülen tarama noktasını; x_{ref} , referans modeldeki karşılık gelen noktayı ifade eder. RMS değeri arttıkça tarama ile referans arasında sapma artar, dolayısıyla düşük RMS değerleri daha yüksek doğruluk anlamına gelir.

Tüm ölçüm ve analizler, tek bir uzman araştırmacı tarafından gerçekleştirilmiş ve analiz sürecinin tekrarlanabilirliğini sağlamak amacıyla tüm hizalama ve ölçüm adımları sabit protokollere bağlanmıştır.

3.4. İstatistiksel Analiz

Verilerin istatistiksel analizi Jamovi (ver 2.6.26, The Jamovi Project, Sydney, Australia) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz öncesinde değişkenlerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro Wilk testi ile değerlendirilmiştir. Normal dağılım göstermeyen verilerde, varyans homojenliği varsayımını gerektirmemesi ve çok faktörlü tasarımlarda daha güvenilir sonuçlar vermesi nedeniyle Robust ANOVA uygulanmıştır.

Gruplar arasında anlamlı farklılık saptandığında, farkın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek amacıyla Bonferroni düzeltmeli post hoc testleri kullanılmıştır. Nicel veriler, uç değerlerin etkisini azaltmak ve merkezi eğilimi daha doğru temsil etmek için Budanmış ortalama \pm Standart hata biçiminde ifade edilmiştir.

İntraoral tarayıcıların ölçüm tekrarlanabilirliği (precision), marjinal RMS değerlerinin medyan mutlak sapması (Median Absolute Deviation, MAD) kullanılarak değerlendirildi. Her bir koşul için 12 tekrarlı tarama gerçekleştirilmiş ve aynı koşul altında elde edilen marjinal RMS değerleri arasındaki saçılım hesaplanmıştır. MAD, her bir ölçümün grup medyanından olan mutlak sapmalarının medyanı olarak tanımlanmış olup, uç değerlere ve normal dağılmayan verilere karşı dayanıklı (robust) bir değişkenlik ölçütü sunmaktadır. Bu nedenle, ölçümlerin tekrarlanabilirliğini değerlendirmede standart sapmaya kıyasla daha güvenilir bir yaklaşım olarak tercih edilmiştir. Verilerin parametrik test varsayımlarını sağlamaması nedeniyle, grup karşılaştırmalarında non-parametrik istatistiksel yöntemler kullanılmıştır. Tüm analizlerde istatistiksel anlamlılık düzeyi $p < 0,050$ olarak kabul edilmiştir.

4. BULGULAR

Bu çalışmada, farklı dijital tarayıcı sistemlerinin (Medit i700 [M], Primescan [P], Trios3 [T3], Trios5 [T5]), üç farklı bitiş çizgisi tasarımının (Shoulder [S], Chamfer [C], Rounded Shoulder [RS]) ve iki farklı gingival marjin seviyesinin (Supragingival [SP], Subgingival [SB]) dijital tarama doğruluğu üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Değerlendirme kriteri olarak, hem preparasyon yüzeyinin tamamı hem de basamak yüzeyi RMS değerleri esas alınmış, veriler %5 budanmış ortalama ile analiz edilmiştir.

Elde edilen bulgular aşağıda etkileşim düzeylerine göre farklı başlıklar altında sunulmuştur.

4.1. Tekli Etkileşimler

4.1.1. Tarayıcılar

Tarayıcı ana etkisi, hem preparasyon yüzeyi hem de marjin çizgisi RMS değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,001$). Preparasyon yüzeyinde, en düşük RMS değerleri P ($14,9 \pm 0,49 \mu\text{m}$) ve M ($15,2 \pm 0,85 \mu\text{m}$) tarayıcılarında kaydedilmiş, bu değerler T 3 ($20,0 \pm 0,61 \mu\text{m}$) ve T 5 ($19,0 \pm 0,59 \mu\text{m}$) ile karşılaştırıldığında anlamlı düzeyde daha düşüktür. Marjin çizgisi bölgesinde de benzer bir dağılım gözlenmiş; en düşük RMS değerleri P ($17,5 \pm 0,59 \mu\text{m}$) ve M ($18,1 \pm 1,22 \mu\text{m}$) gruplarında, en yüksek değerler ise T 3 ($22,0 \pm 0,69 \mu\text{m}$) ve T 5 ($20,3 \pm 0,61 \mu\text{m}$) sistemlerinde tespit edilmiştir. Bu bulgular, tarayıcı performanslarının özellikle detaylı anatomik alanlarda daha belirgin biçimde ayrıştığını göstermektedir (Tablo 4.1).

Tablo 4.1. Tarayıcılara göre RMS değerleri

Tarayıcı	Preparasyon Yüzeyi Ortalama \pm SS (μm)	Marjin Çizgisi Ortalama \pm SS (μm)
M	$15,2 \pm 0,85^A$	$18,1 \pm 1,22^{ac}$
P	$14,9 \pm 0,49^A$	$17,5 \pm 0,59^a$
T 3	$20,0 \pm 0,61^B$	$22,0 \pm 0,69^b$
T 5	$19,0 \pm 0,59^B$	$20,3 \pm 0,61^{bc}$

Veriler ortalama \pm standart sapma olarak gösterilmiştir. Farklı büyük harfler (A, B) preparasyon yüzeyinde, farklı küçük harfler (a, b, c) marjin çizgisinde gruplar arası anlamlı farkı ($p < 0,05$) göstermektedir. Aynı harfi paylaşan değerler arasında fark yoktur. (M: Medit i700, P: Primescan T3: Trios 3, T5: Trios 5)

Tarayıcıların marjinal ölçümlerdeki precision değerleri MAD kullanılarak değerlendirildiğinde, tarayıcılar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulundu ($p < 0,05$). P grubu en düşük MAD değerini ($0,29 \mu\text{m}$) gösterirken, T 3 ($1,80 \mu\text{m}$) ve T 5 ($1,82 \mu\text{m}$) benzer precision değerleri sergilemiştir. M grubu ise en yüksek MAD değeri ($2,39 \mu\text{m}$) ile en fazla ölçüm varyasyonunu göstermiştir. Post-hoc analizler, P grubunun M grubuna göre anlamlı

derecede daha düşük MAD değerine sahip olduğunu, T 3 ve T 5 gruplarının ise her iki tarayıcı ile kısmen örtüşen sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur (Tablo 4.2).

Tablo 4.2. Tarayıcıların marjinal MAD değerleri

Tarayıcı	Medyan Mutlak Sapma (μm)
M	2,39 ^b
T 3	1,80 ^{ab}
T 5	1,82 ^{ab}
P	0,29 ^a

Farklı intraoral tarayıcı sistemlerinin marjinal RMS ölçümlerine ait tekrarlanabilirlik değerleri medyan mutlak sapma (MAD) kullanılarak sunulmuştur. İstatistiksel analiz sonucunda tarayıcılar arasında precision açısından anlamlı fark saptanmıştır ($p < 0,05$). Aynı sütunda farklı üst simgelerle (a, b) gösterilen gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmaktadır. (M: Medit i700, P: Primescan T3: Trios 3, T5: Trios 5)

4.1.2. Basamak tipi

Basamak tipi, hem preparasyon yüzeyi hem de marjin çizgisi RMS değerleri üzerinde anlamlı bir etkiye sahiptir ($p < 0,001$). Preparasyon yüzeyinde, en düşük RMS değeri RS basamak tipinde ölçülmüştür ($12,7 \pm 0,50 \mu\text{m}$), bu değer S tipine ($21,1 \pm 0,49 \mu\text{m}$) kıyasla anlamlı düzeyde daha düşüktür. C basamak tipi ise ($18,1 \pm 0,43 \mu\text{m}$) bu iki uç geometri arasında yer almakta olup, her iki basamaktan da anlamlı düzeyde farklılık göstermektedir ($p < 0,001$). Marjin bölgesinde de benzer bir eğilim gözlenmiştir. En düşük RMS değeri yine RS tasarımında elde edilmiştir ($14,0 \pm 0,66 \mu\text{m}$), bunu sırasıyla C ($20,6 \pm 0,49 \mu\text{m}$) ve S ($23,0 \pm 0,51 \mu\text{m}$) basamak tipleri izlemiştir. Bu sonuçlar, daha keskin ve belirgin kenarlara sahip hazırlıkların, özellikle marjin bölgesinde tarama doğruluğunu olumsuz etkilediğini göstermektedir (Tablo 4.3).

Tablo 4.3. Basamak tipine göre RMS değerleri

Basamak Tipi	Preparasyon Yüzeyi Ortalama \pm SS (μm)	Marjin Çizgisi Ortalama \pm SS (μm)
RS	$12,7 \pm 0,50^A$	$14,0 \pm 0,66^a$
C	$18,1 \pm 0,43^B$	$20,6 \pm 0,49^b$
S	$21,1 \pm 0,49^C$	$23,0 \pm 0,51^c$

Veriler ortalama \pm standart sapma olarak gösterilmiştir. Farklı büyük harfler (A, B, C) preparasyon yüzeyinde, farklı küçük harfler (a, b, c) marjin çizgisinde gruplar arası anlamlı farkı ($p < 0,05$) göstermektedir. Aynı harfi paylaşan değerler arasında fark yoktur. (RS: Rounded shoulder, C: Chamfer, S: Shoulder)

Basamak tiplerine göre marjinal ölçümlerin precision değerleri MAD kullanılarak değerlendirilmiştir. En düşük MAD değeri S basamak tipinde ($0,55 \mu\text{m}$) gözlenirken, bunu C basamak tipi ($0,89 \mu\text{m}$) ve RS basamak tipi ($1,47 \mu\text{m}$) izlemiştir. Ancak Kruskal–Wallis testi sonuçlarına göre basamak tipleri arasında marjinal ölçümlerin precision değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p > 0,05$) (Tablo 4.4).

Tablo 4.4. Basamak tiplerine göre marjinal MAD değerleri

Basamak Tipi	Medyan Mutlak Sapma (μm)
S	0,55 ^a
C	0,89 ^a
RS	1,47 ^a

Basamak tipi faktörüne göre marjinal RMS ölçümlerinin tekrarlanabilirlik değerleri karşılaştırılmıştır. Kruskal–Wallis testi sonucunda basamak tipleri arasında precision açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır ($p > 0,05$). (RS: Rounded shoulder, C: Chamfer, S: Shoulder)

4.1.3. Gingival seviye

Gingival marjın seviyesi, hem preparasyon yüzeyi hem de marjın çizgisi RMS değerleri üzerinde anlamlı bir etkiye sahiptir ($p < 0,001$). SB grubunda, preparasyon yüzeyi için RMS değeri $20,2 \pm 0,58 \mu\text{m}$, marjın çizgisi için ise $21,23 \pm 0,71 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüş ve her iki değer de SP grubuna kıyasla anlamlı düzeyde daha yüksek bulunmuştur ($14,4 \pm 0,33 \mu\text{m}$ ve $16,48 \pm 0,37 \mu\text{m}$). Bu bulgular, subgingival yerleşimli preparasyonların dijital tarama doğruluğunu belirgin şekilde azalttığını ve marjın seviyesinin tarayıcı performansı açısından kritik bir değişken olduğunu göstermektedir (Tablo 4.5).

Tablo 4.5. Gingival marjın seviyesine göre RMS değerleri

Marjın Seviyesi	Preparasyon Yüzeyi Ortalama \pm SS (μm)	Marjın Çizgisi Ortalama \pm SS (μm)
SP	$14,4 \pm 0,33^A$	$16,48 \pm 0,37^a$
SB	$20,2 \pm 0,58^B$	$21,23 \pm 0,71^b$

Veriler ortalama \pm standart sapma olarak gösterilmiştir. Farklı büyük harfler (A, B) preparasyon yüzeyinde, farklı küçük harfler (a, b) marjın çizgisinde gruplar arası anlamlı farkı ($p < 0,05$) göstermektedir. Aynı harfi paylaşan değerler arasında fark yoktur. (SP: Supragingival, SB: Subgingival)

Gingival seviyeye göre preparasyonların marjinal ölçümlerine ait precision değerleri MAD kullanılarak değerlendirilmiştir. SB marjın seviyesinde daha düşük MAD değeri ($0,52 \mu\text{m}$) elde edilirken, SPR marjın seviyesinde bu değer belirgin şekilde arttığı ($1,31 \mu\text{m}$) gözlenmiştir. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda gingival seviye faktörünün marjinal ölçümlerin tekrarlanabilirliği üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir ($p < 0,05$) (Tablo 4.6).

Tablo 4.6. Gingival seviyeye göre marjinal MAD değerleri

Marjın Seviyesi	Medyan Mutlak Sapma (μm)
SB	0,52 ^a
SPR	1,31 ^b

Marjın seviyesinin preparasyonların marjinal ölçümlerdeki tekrarlanabilirlik değerleri karşılaştırılmıştır. Gingival seviye faktörünün precision üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olduğu belirlenmiştir ($p < 0,05$). (SP: Supragingival, SB: Subgingival)

4.2. İkili Etkileşimler

4.2.1. Basamak tipi - tarayıcı etkileşimi

Preparasyon düzeyinde, M ve P tarayıcılarının basamak tipi etkileşimleri incelendiğinde, tarayıcı bazında anlamlı bir fark gözlemlenmemiştir ($p > 0,05$). Bununla birlikte M grubunda RS basamak tipi ($9,43 \pm 0,53 \mu\text{m}$), C ($16,12 \pm 1,35 \mu\text{m}$) ve S ($20,62 \pm 1,15 \mu\text{m}$)

tiplerine göre anlamlı düzeyde daha düşük RMS değeri göstermiştir ($p < 0,05$). C ve S arasında ise anlamlı fark saptanmamıştır ($p > 0,05$). P grubunda da benzer şekilde RS tipi ($11,16 \pm 0,66 \mu\text{m}$), C ve S tiplerine göre anlamlı olarak daha düşük RMS değeri göstermiştir ($p < 0,05$) (Tablo 4.7).

T3 ve T5 tarayıcılarında da basamak tipi etkileşimleri tarayıcı bazında anlamlı fark oluşturmamıştır ($p > 0,05$). T3'te RS tipi ($15,41 \pm 1,02 \mu\text{m}$), C ($20,89 \pm 0,41 \mu\text{m}$) ve S ($23,49 \pm 0,76 \mu\text{m}$) tiplerine göre anlamlı olarak daha düşük RMS değerine sahiptir ($p < 0,05$); ancak C ve S arasında fark saptanmamıştır ($p > 0,05$). Trios 5 tarayıcısında ise üç basamak tipi arasında anlamlı farklar gözlemlenmiştir ($p < 0,05$). En düşük RMS değeri RS ($15,2 \pm 0,99 \mu\text{m}$) tipinde elde edilirken, bunu C ($19,06 \pm 0,42 \mu\text{m}$) ve S ($22,7 \pm 0,75 \mu\text{m}$) izlemiştir.

Basamak tipleri tarayıcı bazında karşılaştırıldığında; C için en düşük RMS değeri P grubunda ($15,79 \pm 0,4 \mu\text{m}$) gözlemlenmiş olup M ile arasında anlamlı fark bulunmamıştır ($p > 0,05$). M, T3 ($20,89 \pm 0,41 \mu\text{m}$) ve T5 ($19,06 \pm 0,42 \mu\text{m}$) ile karşılaştırıldığında anlamlı farklılık göstermemiştir ($p > 0,05$), ancak P grubu, T3 ve T5 grubuna kıyasla anlamlı olarak daha düşük RMS değerine sahiptir ($p < 0,05$).

RS grubunda en düşük RMS değeri M grubunda ($9,43 \pm 0,53 \mu\text{m}$) kaydedilmiş olup, P ($11,16 \pm 0,66 \mu\text{m}$) ile arasında anlamlı fark gözlemlenmemiştir ($p > 0,05$). Her iki tarayıcı da T3 ($15,41 \pm 1,02 \mu\text{m}$) ve T5 ($15,2 \pm 0,99 \mu\text{m}$) gruplarına kıyasla anlamlı derecede daha düşük RMS değerleri sağlamıştır ($p < 0,05$). T3 ile T5 arasında RS tipinde anlamlı fark bulunmamıştır ($p > 0,05$).

S grubunda, preparasyon düzeyinde en düşük RMS değeri P grubunda ($17,52 \pm 0,69 \mu\text{m}$) elde edilmiş olup M ($20,62 \pm 1,15 \mu\text{m}$) ile arasında anlamlı fark saptanmamıştır ($p > 0,05$). T3 ($23,49 \pm 0,76 \mu\text{m}$) ve T5 ($22,7 \pm 0,75 \mu\text{m}$) ise diğer iki tarayıcıya göre anlamlı olarak daha yüksek RMS değerleri üretmiştir ($p < 0,05$).

Tablo 4.7. Preparasyon RMS değerleri tarayıcı basamak tipi etkileşimi

Tarayıcı \ Basamak	M Ortalama \pm SS (μm)	P Ortalama \pm SS (μm)	T 3 Ortalama \pm SS (μm)	T 5 Ortalama \pm SS (μm)
C	$16,12 \pm 1,35^{ABCDE}$	$15,79 \pm 0,4^B$	$20,89 \pm 0,41^{DG}$	$19,06 \pm 0,42^{ADE}$
RS	$9,43 \pm 0,53^F$	$11,16 \pm 0,66^{CF}$	$15,41 \pm 1,02^{BE}$	$15,2 \pm 0,99^B$
S	$20,62 \pm 1,15^{ADG}$	$17,52 \pm 0,69^{ABE}$	$23,49 \pm 0,76^G$	$22,7 \pm 0,75^G$

Veriler ortalama \pm standart sapma olarak gösterilmiştir. Farklı büyük harfler (A–G) aynı sütun ve satır içindeki gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farkları ($p < 0,05$) göstermektedir. Aynı harfi paylaşan değerler arasında fark yoktur. (M: Medit i700, P: Primescan T3: Trios 3, T5: Trios 5; C: Chamfer, RS: Rounded Shoulder, S: Shoulder)

Marjin analizinde, T3 tarayıcısında RS tipi ($17,1 \pm 1,45 \mu\text{m}$) yine en düşük RMS değerini sunarken, C grubu ($22,7 \pm 0,36 \mu\text{m}$), S grubuna ($25,4 \pm 0,45 \mu\text{m}$) göre anlamlı düzeyde daha düşük bulunmuştur ($p < 0,05$) (Tablo 4.8).

Trios 5 tarayıcısında ise marjin bölgesinde benzer şekilde RS ($16,4 \pm 1,36 \mu\text{m}$) tipi en düşük RMS değerine sahip olmuştur. Chamfer ($20,5 \pm 0,42 \mu\text{m}$) ile RS arasında anlamlı fark bulunmazken ($p > 0,05$), S grubu ($23,1 \pm 0,4 \mu\text{m}$) anlamlı olarak en yüksek RMS değerini göstermiştir ($p < 0,05$).

C için yapılan marjin analizinde Trios 3 ve Trios 5 arasında da anlamlı fark saptanmıştır ($p < 0,05$).

S basamak tipinde P grubu ($20,0 \pm 0,53 \mu\text{m}$) yine en düşük RMS değerini sağlarken, M ($24,9 \pm 1,93 \mu\text{m}$) ile arasında anlamlı fark gözlemlenmemiştir ($p > 0,05$). Benzer şekilde M, T3 ve T5'e kıyasla anlamlı farklılık göstermemiştir ($p > 0,05$).

Tablo 4.8. Marjin RMS değerleri tarayıcı basamak tipi etkileşimi

Tarayıcı \ Basamak	M Ortalama \pm SS (μm)	P Ortalama \pm SS (μm)	T 3 Ortalama \pm SS (μm)	T 5 Ortalama \pm SS (μm)
C	$20,1 \pm 1,94^{ABCDE}$	$19,2 \pm 0,33^{AB}$	$22,7 \pm 0,36^C$	$20,5 \pm 0,42^{AB}$
RS	$10,3 \pm 0,72^F$	$12,7 \pm 1,06^{EF}$	$17,1 \pm 1,45^{ABE}$	$16,4 \pm 1,36^{BE}$
S	$24,9 \pm 1,93^{ACD}$	$20 \pm 0,53^{AB}$	$25,4 \pm 0,45^D$	$23,1 \pm 0,4^C$

Veriler ortalama \pm standart sapma olarak gösterilmiştir. Farklı büyük harfler (A–F) aynı sütun ve satır içinde istatistiksel olarak anlamlı farkları ($p < 0,05$) göstermektedir. Aynı harfi paylaşan değerler arasında fark yoktur. (M: Medit i700, P: Primescan, T3: Trios 3, T5: Trios 5; C: Chamfer, RS: Rounded Shoulder, S: Shoulder)

4.2.2. Gingival seviye - tarayıcı etkileşimi

Preparasyon düzeyinde, SB grupta en düşük RMS değeri P grubunda ($17,3 \pm 0,22 \mu\text{m}$) elde edilmiştir; bu değer M ($18,9 \pm 1,2 \mu\text{m}$) ile karşılaştırıldığında anlamlı fark göstermemektedir ($p > 0,05$). Aynı grupta T 3 ($22,7 \pm 0,5 \mu\text{m}$) ve T 5 ($22 \pm 0,43 \mu\text{m}$) kendi aralarında anlamlı farklılık göstermezken ($p > 0,05$), her iki tarayıcı da P ve M grubuna kıyasla anlamlı düzeyde daha yüksek RMS değerleri sergilemiştir ($p < 0,05$). SPR grupta da benzer bir eğilim gözlenmiş; en düşük RMS değerleri Medit ($12,2 \pm 0,73 \mu\text{m}$) ve Primescan ($12,3 \pm 0,12 \mu\text{m}$) tarayıcılarında ölçülmüş, bu iki tarayıcı arasında anlamlı fark bulunmamıştır ($p > 0,05$). Buna karşılık T 3 ($17,1 \pm 0,2 \mu\text{m}$) ve T 5 ($16 \pm 0,28 \mu\text{m}$) grupları, M ve P grubuna göre anlamlı olarak daha yüksek RMS değerleri üretmiştir ($p < 0,05$). Ayrıca SB ve SPR grupları karşılaştırıldığında, tüm tarayıcılarda subgingival grupta daha yüksek RMS değerleri ölçülmüştür ($p < 0,05$)(Tablo 4.9).

Tablo 4.9. Preparasyon RMS değerleri tarayıcı gingival seviye etkileşimi

Gingival seviye	Tarayıcı	M	P	T 3	T 5
		Ortalama ± SS (µm)	Ortalama ± SS (µm)	Ortalama ± SS (µm)	Ortalama ± SS (µm)
SB		18,9 ± 1,2 ^A	17,3 ± 0,22 ^A	22,7 ± 0,5 ^B	22 ± 0,43 ^B
SP		12,2 ± 0,73 ^D	12,3 ± 0,12 ^D	17,1 ± 0,2 ^C	16 ± 0,28 ^C

Veriler ortalama ± standart sapma olarak gösterilmiştir. Farklı büyük harfler (A–D) aynı sütun ve satır içinde istatistiksel olarak anlamlı farkları ($p < 0,05$) göstermektedir. Aynı harfi paylaşan değerler arasında fark yoktur. (M: Medit i700, P: Primescan, T3: Trios 3, T5: Trios 5; SP: Supragingival, SB: Subgingival)

Marjin düzeyindeki analizlerde, SB grupta P ($19,9 \pm 1,18 \mu\text{m}$) anlamlı düzeyde en düşük RMS değerine sahiptir ($p < 0,05$). Diğer tarayıcılar arasında anlamlı fark gözlemlenmemiştir ($p > 0,05$). SPR grubunda en düşük RMS değeri M ($13,4 \pm 0,73 \mu\text{m}$) ile kaydedilmiş olup, bu değer P ($14,6 \pm 0,12 \mu\text{m}$) ile anlamlı farklılık göstermemektedir ($p > 0,05$). Bununla birlikte M ve P, T 3 ($19,6 \pm 0,28 \mu\text{m}$) ve T 5 ($18,1 \pm 0,33 \mu\text{m}$) gruplarına göre anlamlı düzeyde daha düşük RMS değerleri sunmuştur ($p < 0,05$). T 3 ile T 5 arasında ise anlamlı fark bulunmamıştır ($p > 0,05$)(Tablo 4.10).

Tablo 4.10. Marjin RMS değerleri tarayıcı gingival seviye etkileşimi

Gingival seviye	Tarayıcı	M	P	T 3	T 5
		Ortalama ± SS (µm)	Ortalama ± SS (µm)	Ortalama ± SS (µm)	Ortalama ± SS (µm)
SB		24 ± 2,21 ^A	19,9 ± 1,18 ^B	23,9 ± 1,26 ^A	22,1 ± 1,07 ^{AB}
SP		13,4 ± 0,73 ^C	14,6 ± 0,12 ^C	19,6 ± 0,28 ^B	18,1 ± 0,33 ^{BC}

Veriler ortalama ± standart sapma olarak gösterilmiştir. Farklı büyük harfler (A–C) aynı sütun ve satır içinde istatistiksel olarak anlamlı farkları ($p < 0,05$) göstermektedir. Aynı harfi paylaşan değerler arasında fark yoktur. (M: Medit i700, P: Primescan, T3: Trios 3, T5: Trios 5; SP: Supragingival, SB: Subgingival)

4.2.3. Basamak tipi - gingival seviye etkileşimi

Preparasyon düzeyinde, hem SB hem de SPR gruplarda en düşük RMS değerleri RS basamak tipinde gözlemlenmiştir (SB: $16,3 \pm 0,59 \mu\text{m}$; SPR: $9,49 \pm 0,27 \mu\text{m}$), ve her iki durumda da C (SB: $20,33 \pm 0,41 \mu\text{m}$, SPR: $15,61 \pm 0,56 \mu\text{m}$) ve S (SB: $24,08 \pm 0,61 \mu\text{m}$, SPR: $18,32 \pm 0,45 \mu\text{m}$) gruplarına göre anlamlı düzeyde daha düşüktür ($p < 0,05$). En yüksek RMS değerleri her iki gingival seviyede de S grubunda ölçülmüştür (Tablo 4.11).

Tablo 4.11. Preparasyon RMS değerleri gingival seviye basamak etkileşimi

Gingival Seviye	Basamak	Ortalama ± SS (µm)
SB	C	20,33 ± 0,41 ^A
	RS	16,3 ± 0,59 ^B
	S	24,08 ± 0,61 ^D
SP	C	15,61 ± 0,56 ^B
	RS	9,49 ± 0,27 ^C
	S	18,32 ± 0,45 ^E

Veriler ortalama ± standart sapma olarak gösterilmiştir. Farklı büyük harfler (A–E) aynı sütun ve satır içinde istatistiksel olarak anlamlı farkları ($p < 0,05$) göstermektedir. Aynı harfi paylaşan değerler arasında fark yoktur. (C: Chamfer, RS: Rounded Shoulder, S: Shoulder; SP: Supragingival, SB: Subgingival)

Marjin düzeyinde de RS grubu SB ($19,15 \pm 0,69 \mu\text{m}$) ve SPR ($9,36 \pm 0,24 \mu\text{m}$) gruplarında en düşük değeri sunmuştur ($p < 0,05$). C ve S grupları arasında her iki seviyede anlamlı fark bulunmamıştır (SB: C: $22,45 \pm 0,65 \mu\text{m}$, S: $25,09 \pm 0,89 \mu\text{m}$; SPR: C: $18,71 \pm 0,67 \mu\text{m}$, S: $18,32 \pm 0,45 \mu\text{m}$) ($p > 0,05$)(Tablo 4.12).

Tablo 4.12. Marjin RMS değerleri gingival seviye basamak etkileşimi

Gingival Seviye	Basamak	Ortalama ± SS (µm)
SB	C	22,45 ± 0,65 ^{AB}
	RS	19,15 ± 0,69 ^C
	S	25,09 ± 0,89 ^A
SP	C	18,71 ± 0,67 ^C
	RS	9,36 ± 0,24 ^D
	S	18,32 ± 0,45 ^C

Veriler ortalama ± standart sapma olarak gösterilmiştir. Farklı büyük harfler (A–D) aynı sütun ve satır içinde istatistiksel olarak anlamlı farkları ($p < 0,05$) göstermektedir. Aynı harfi paylaşan değerler arasında fark yoktur. (C: Chamfer, RS: Rounded Shoulder, S: Shoulder; SP: Supragingival, SB: Subgingival)

4.3. Üçlü Etkileşimler

SB seviyesinde, S basamak tipinde en yüksek RMS değerleri tüm tarayıcı sistemlerinde gözlenmiştir. Bu durum özellikle M ($23,42 \pm 2,1 \mu\text{m}$), T3 ($26,67 \pm 0,56 \mu\text{m}$) ve T5 ($25,93 \pm 0,61 \mu\text{m}$) tarayıcılarında belirgindir. P sisteminde ise aynı seviyede nispeten daha düşük RMS değeri ($20,48 \pm 0,25 \mu\text{m}$) elde edilmiştir. C basamak tipi SB seviyede yüksek değerlere sahipken (M = $21,74 \pm 1,16 \mu\text{m}$; T3 = $21,88 \pm 0,6 \mu\text{m}$; T5 = $20,73 \pm 0,28 \mu\text{m}$), RS tasarımında tüm sistemlerde RMS değerlerinin belirgin şekilde düştüğü görülmüştür (M = $11,72 \pm 0,55 \mu\text{m}$; P = $14,04 \pm 0,13 \mu\text{m}$). Bu bulgular SB seviyede S tasarımının dijital ölçüm doğruluğunu olumsuz etkilediğini, RS formunun ise en düşük sapmaları sunduğunu göstermektedir (Tablo 4.13).

SP seviyesinde, RMS değerleri genel olarak SB'ye göre daha düşüktür. RS tipi tüm tarayıcılarda en düşük RMS değerlerini göstermiştir (M = $7,45 \pm 0,06 \mu\text{m}$; T3 = $11,12 \pm 0,09 \mu\text{m}$; T5 = $11,04 \pm 0,12 \mu\text{m}$). Buna karşın S tipi, özellikle T3 ve T5'te ($20,49 \pm 0,25 \mu\text{m}$; $19,72 \pm 0,41 \mu\text{m}$) yine yüksek sapma değerleriyle öne çıkmıştır. C tasarımında P ve T3 sistemleri

benzer doğruluk göstermiştir. Genel eğilim incelendiğinde, SP seviyesinde hem basamak formunun hem de tarayıcı sisteminin RMS değerleri üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu, RS tipi ile en iyi trueness ve precision değerlerinin elde edildiği belirlenmiştir.

Tablo 4.13. Preparasyon RMS değerleri

Gingival Seviye	Basamak	M Ortalama ± SS (µm)	P Ortalama ± SS (µm)	T 3 Ortalama ± SS (µm)	T 5 Ortalama ± SS (µm)
SB	C	21,74 ± 1,16 ^{ABC}	17,39 ± 0,28 ^A	21,88 ± 0,6 ^B	20,73 ± 0,28 ^B
	RS	11,72 ± 0,55 ^D	14,04 ± 0,13 ^G	19,83 ± 0,35 ^B	19,54 ± 0,42 ^B
	S	23,42 ± 2,1 ^{ABCF}	20,48 ± 0,25 ^B	26,67 ± 0,56 ^C	25,93 ± 0,61 ^C
SP	C	10,91 ± 0,43 ^D	14,22 ± 0,24 ^G	19,86 ± 0,49 ^B	17,43 ± 0,3 ^A
	RS	7,45 ± 0,06 ^E	8,32 ± 0,1 ^H	11,12 ± 0,09 ^D	11,04 ± 0,12 ^D
	S	18,36 ± 1,11 ^{ABFG}	14,56 ± 0,22 ^{FG}	20,49 ± 0,25 ^B	19,72 ± 0,41 ^B

Veriler ortalama ± standart sapma olarak gösterilmiştir. Farklı büyük harfler (A–H) aynı sütun ve satır içinde istatistiksel olarak anlamlı farkları ($p < 0,05$) göstermektedir. Aynı harfi paylaşan değerler arasında fark yoktur. (M: Medit i700, P: Primescan, T3: Trios 3, T5: Trios 5; C: Chamfer, RS: Rounded Shoulder, S: Shoulder; SP: Supragingival, SB: Subgingival)

SB seviyesinde marjinal bölgedeki RMS değerleri genel olarak preparasyon yüzeylerine kıyasla daha yüksektir. S tipi marjinde tüm sistemlerde en yüksek RMS değerleri raporlanmıştır (M = 31,03 ± 3,51 µm; T3 = 26,83 ± 0,59 µm; T5 = 22,82 ± 0,73 µm), bu da bu basamak formunun marjinal doğruluğu olumsuz etkilediğini göstermektedir. RS tasarımı ise aynı seviyede en düşük RMS değerlerini üretmiştir (M = 13,22 ± 0,69 µm; T5 = 22,4 ± 0,41 µm), özellikle P sisteminde (17,29 ± 0,24 µm) istikrarlı doğruluk elde edilmiştir. C tipi SB seviyede orta düzey RMS değerleri göstermiştir (ör. M = 27,92 ± 1,67 µm; P = 20,48 ± 0,26 µm)(Tablo 4.14).

SP seviyesinde genel olarak RMS değerleri düşüş göstermiştir. RS tipi en düşük marjinal sapmaları sunmuş (M = 7,58 ± 0,12 µm; P = 8,19 ± 0,08 µm; T5 = 10,67 ± 0,09 µm), C ve S tipleri ise daha yüksek RMS değerleri sergilemiştir. Özellikle S tipi SP seviyede T3 (24,12 ± 0,42 µm) ve T5 (23,42 ± 0,43 µm) sistemlerinde belirgin doğruluk düşüşü göstermiştir. Bu bulgular, SB seviyeye kıyasla SP’de marjinal doğruluğun arttığını ve RS tasarımının her iki seviyede de daha stabil performans sunduğunu göstermektedir.

Tablo 4.14. Marjin RMS değerleri

Gingival Seviye	Basamak	M Ortalama \pm SS (μm)	P Ortalama \pm SS (μm)	T 3 Ortalama \pm SS (μm)	T 5 Ortalama \pm SS (μm)
SB	C	27,92 \pm 1,67 ^{ABC}	20,48 \pm 0,26 ^F	21,49 \pm 0,52 ^{AFHI}	21,16 \pm 0,92 ^{ABFGHIJ}
	RS	13,22 \pm 0,69 ^D	17,29 \pm 0,24 ^G	23,49 \pm 0,55 ^{ABHJ}	22,4 \pm 0,41 ^{ABHIJ}
	S	31,03 \pm 3,51 ^{ABCFGHIJ}	22,2 \pm 0,25 ^{AH}	26,83 \pm 0,59 ^C	22,82 \pm 0,73 ^{ABFGHIJ}
SP	C	12,78 \pm 0,57 ^D	17,96 \pm 0,16 ^G	23,82 \pm 0,54 ^{ABHJ}	20,29 \pm 0,42 ^{FI}
	RS	7,58 \pm 0,12 ^E	8,19 \pm 0,08 ^K	10,97 \pm 0,15 ^D	10,67 \pm 0,09 ^D
	S	20,08 \pm 1,08 ^{FGHIJ}	17,67 \pm 0,23 ^G	24,12 \pm 0,42 ^{BJ}	23,42 \pm 0,43 ^{ABHJ}

Veriler ortalama \pm standart sapma olarak gösterilmiştir. Farklı büyük harfler (A–K) aynı sütün ve satır içinde istatistiksel olarak anlamlı farkları ($p < 0,05$) göstermektedir. Aynı harfi paylaşan değerler arasında fark yoktur. (M: Medit i700, P: Primescan, T3: Trios 3, T5: Trios 5; C: Chamfer, RS: Rounded Shoulder, S: Shoulder; SP: Supragingival, SB: Subgingival)

Sonuç olarak, SPR preparasyonlar, SB olanlara kıyasla daha yüksek ölüm doğruluğu sağlamaktadır. Basamak tipleri açısından değerlendirildiğinde, RS tasarımı özellikle SPR seviyede daha başarılı sonuçlar verirken, S tasarımı özellikle SB düzeyde dijital ölüm doğruluğunu olumsuz etkilemiştir. Tarayıcılar arasında ise genel olarak M ve P, daha düşük RMS değerleri ile diğer sistemlere kıyasla daha yüksek ölüm doğruluğu sunmuştur.



5. TARTIŞMA

Bu çalışmada test edilen boş hipotez, marjin seviyesi, bitiş çizgisi tasarımı ve intraoral tarayıcı tipi arasında tarama doğruluğu açısından anlamlı bir farklılık olmayacağı yönündeydi. Ancak elde edilen bulgular, bu hipotezin reddedilmesine yol açmıştır. Bulgularımız, gerek marjin seviyesi gerekse bitiş çizgisi tasarımı ve kullanılan intraoral tarayıcı tiplerinin dijital tarama doğruluğunu istatistiksel olarak anlamlı şekilde etkilediğini göstermektedir. Özellikle subgingival preparasyonlarda shoulder tipi basamak tasarımlarında RMS sapmalarının daha yüksek olduğu görülmüştür.

Güncel literatür, farklı intraoral tarayıcıların (IOS) doğruluk performanslarında belirgin farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır. Borbola ve arkadaşları (2024), yedi farklı ağız içi tarayıcı (Aoralscan3, Emerald S, Helios 600, iTero Lumina, Medit i700, Primescan ve Trios 5) ile tam ark sabit restorasyonlarda dijital ölçü doğruluğunu virtual-fit yöntemi kullanarak karşılaştırmıştır. Dört üst çene modelinde, her tarayıcıyla on iki tekrar yapılmış ve CAD ortamında iki farklı siman boşluğu ayarıyla (70 µm ve 70+20 µm) tam ark sabit restorasyon tasarımları oluşturulmuştur. Tasarımlar referans endüstriyel tarama üzerine çakıştırılarak marjinal ve internal boşluklar ölçülmüş, hassasiyet ise ortalama mutlak hata değerleriyle değerlendirilmiştir. Bulgulara göre, Medit i700, Primescan, Emerald S ve Trios 5 tarayıcılarının marjinal ve internal boşluk değerleri klinik kabul edilebilir sınırlar içerisinde bulunmuş, Lumina ve Aoralscan3 tarayıcılarının doğruluklarının yazılım ve deneyimle gelişebileceği, Helios 600'ün ise tam ark restorasyonlar için uygun olmadığı sonucuna varılmıştır (Borbola vd., 2024).

Ali ve Majeed'in (2024) in vitro çalışmasında, dört farklı ağız içi tarayıcının (Primescan, Medit i700 wireless, Trios 5 ve Helios 600) doğruluğu (trueness) ve bunun monolitik zirkonya kronların marjinal ve internal uyumu üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Maksiller sol birinci premolar diş, 1,5–2 mm okluzal redüksiyon, 4 mm aksiyel yükseklik, 6° taper ve 0,8 mm chamfer bitim çizgisi ile hazırlanmış, referans tarayıcı olarak inEos X5 kullanılmıştır. Bulgulara göre en yüksek trueness değerleri Primescan ($13,29 \pm 2,55$ µm) ve Medit i700 ($16,06 \pm 2,44$ µm) tarayıcılarında elde edilirken, Trios 5 ($19,01 \pm 3,39$ µm) ve Helios 600 ($19,86 \pm 1,88$ µm) daha düşük doğruluk göstermiştir. Bu farklılık, üretilen kronların uyumuna da yansımış; Primescan ($34,52 \pm 7,32$ µm) ve Medit i700 ($39,82 \pm 4,42$ µm) en düşük RMS sapmalarını sunarken, Helios 600 kronlarında RMS $42,44 \pm 3,97$ µm'ye ulaşmıştır. Marjinal aralıklar açısından Primescan ($41,41$ µm) ve Medit i700 ($42,31$ µm) en düşük değerleri verirken, Helios

600 (49,96 μm) en yüksek değeri göstermiştir. İnternal boşluklarda da benzer bir eğilim gözlenmiş, en düşük değer Primescan'de (117,07 μm), en yüksek değer Helios 600'de (124,41 μm) bulunmuştur. Çalışmanın istatistiksel analizinde IOS doğruluğu ile kronların marjinal ve internal uyumu arasında orta düzeyde pozitif korelasyon rapor edilmiştir ($r \approx 0,43-0,55$; $p < 0,05$) (Ali & Majeed, 2024).

Bizim çalışmamızda da benzer şekilde Medit i700 ve Primescan tarayıcılarının daha yüksek doğruluk değerleri sunduğu, Trios'un ise bu gruba kıyasla daha düşük doğruluk gösterdiği bulunmuştur. Bu durumun, Medit i700'de kullanılan yapılandırılmış ışık stereo kamera (triangölasyon) görüntüleme teknolojisi ile Primescan'de triangölasyon ve konfokal prensiplerin hibrit olarak birleştirilmesinden kaynaklandığı düşünölmektedir. Bu optik yaklaşımlar, özellikle derin ve ulaşılması güç bölgelerde daha yoğun veri toplanmasını sağlamakta, yazılım algoritmalarının eksik alanları daha az interpolasyonla doldurmasına olanak tanımaktadır. Dolayısıyla tarayıcıların kullandığı temel tarama teknolojisi, elde edilen doğruluk farklılıklarının en önemli sebeplerinden biri olarak değerlendirilebilir.

Literatürde bir çok dişeti seviyesinin değerlendirildiği çalışma bulunmaktadır (An, Mickesh, vd., 2024; Bernauer vd., 2020; Ciou & He, 2024; Ferrari Cagidiaco vd., 2021; Koulivand vd., 2020; Nedelcu vd., 2018; Revilla-León vd., 2024; Y.-T. Son vd., 2022; Sorrentino vd., 2024; Zarone vd., 2025). Bu çalışmalar arasında metodoloji açısından büyük farklılıklar olsa da, çalışmaların çoğunda supragingival bitiş çizgisinin, epigingival veya subgingival bitiş çizgisine kıyasla daha yüksek doğruluk sağladığı bildirilmiştir. Retraksiyon ve ortam koşulları sonucu belirgin biçimde etkilemektedir. Retraksiyon yoksa, $> 0,5$ mm subgingival derinlikte marjinal doğruluk çoğu kez >100 μm 'a yükselirken; retraksiyon kord kullanımıyla tüm derinliklerde ≤ 100 μm düzeyine inmiş ve truenesste %90 iyileşme sağlanmıştır (Y.-T. Son vd., 2022). Retraksiyon genişliği açısından, in-vitro bir parametre çalışması $\geq 0,3$ mm'yi "kabul edilebilir", $\geq 0,4$ mm'yi "yüksek kaliteli" kayıt için eşik olarak önermiş; epigingival koşulda her iki IOS (Primescan ve Trios 3) için de $\geq 0,4$ mm'nin gerekli olduğunu, subgingivalde yüksek kalitenin yalnız Primescan + $\geq 0,4$ mm ile sağlanabildiğini göstermiştir (Ciou & He, 2024).

Revilla-León ve ark. (2024) tarafından yapılan çalışmada, bitiş çizgisinin apikal konumunun IOS doğruluğu üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu bildirilmiş ve özellikle 0,5 mm subgingival seviyede trueness değerlerinin diğer konumlara göre anlamlı biçimde düştüğü vurgulanmıştır. Ayrıca, farklı IOS sistemleri arasında da belirgin performans farklılıkları

saptanmıştır; TRIOS 5 ve Medit i700 sistemleri preparasyon yüzeyinde en yüksek doğruluğu sağlarken, marjin bölgesinde Medit i700 ve Primescan daha iyi sonuçlar vermiştir. Revilla-León ve ark. (2024) çalışmasında da belirtildiği gibi, klinik açıdan ölçülen 17–59 µm aralığındaki farkların restorasyon uyumuna etkisi belirsiz olsa da, marjinin apikal konumu arttıkça doğrulukta azalma eğilimi meydana gelmektedir (Revilla-León vd., 2024).

Bu çalışmada olduğu gibi, bizim çalışmamızda da marjin seviyesi dijital ölçüm doğruluğu üzerinde belirleyici bir faktör olarak öne çıkmıştır. Her iki çalışmada da supragingival marjinler, subgingival marjinlere kıyasla anlamlı derecede daha düşük hata değerleri göstermiştir. Bu bulgular, odak uzaklığı, görüş alanı, ışık yansımaları ve optik erişim gibi sistem özelliklerinin yanı sıra, özellikle subgingival alanlardaki optik gölgelenmenin ölçüm doğruluğunu olumsuz etkileyebileceğini göstermektedir. Benzer şekilde, bizim çalışmamızda da supragingival marjinlerin hem marjinal çizgi hem de preparasyon yüzeyinde daha düşük RMS sapmalarıyla temsil edildiği, subgingival bölgelerde ise trueness değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. Bu durum, tarama teknolojisinin (konfokal veya yapılandırılmış ışık temelli sistemler) ve marjin geometrisinin etkileşimiyle açıklanabilir.

Literatürde yer alan bitiş çizgisi tasarısının incelendiği çalışmalar değerlendirildiğinde shoulder chamfer rounded shoulder ve vertikal tasarımların öne çıktığı görülmektedir (Bernauer vd., 2020; Ciou & He, 2024; Gunel vd., 2023; Rizonaki vd., 2022; Verniani vd., 2023). Çoğu çalışma preparasyon tasarımındaki keskin açılarının doğruluğu azalttığını bildirmiştir (Gunel vd., 2023).

Çalışmamızda elde edilen bulgular, basamak tipinin dijital ölçüm doğruluğu üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle rounded shoulder basamak tipi, chamfer ve diğer tasarımlara kıyasla daha düşük hata değerleri ile daha yüksek doğruluk göstermiştir. Bu bulgu, Auskalis ve ark. (2024) tarafından gerçekleştirilen in vitro çalışma ile paralellik göstermektedir. Auskalis ve ark. (2024) in vitro çalışmasında, dört farklı bitim çizgisi tasarımının (vertikal, dar chamfer 0,4 mm, geniş chamfer 0,8 mm ve rounded shoulder 0,8 mm) dijital ölçü doğruluğu değerlendirilmiştir. Preparasyonlar ISO 12836:2015 standardına uygun olarak hazırlanmış; hem epigingival hem de 0,5 mm subgingival marjin konumları test edilmiştir. Ayrıca hem anterior (maksiller santral) hem de posterior (maksiller molar) diş morfolojileri değerlendirilmiştir. Tüm preparasyonlar Trios 4 intraoral tarayıcı ile taranmış, elde edilen STL verileri üzerinden Asiga ve NextDent DLP yazıcılarında 3D baskı modeller üretilmiştir. Referans tarayıcı olarak ALTERA 10.7.6 (Nikon) koordinat ölçüm cihazı (CMM,

LC15Dx lazer başlık) kullanılmış; hem IOS taramalarının preparasyon doğruluğu hem de üretilen baskı modellerin doğruluğu bu referans verilerle karşılaştırılmıştır. Bulgulara göre tüm gruplar klinik olarak kabul edilebilir sınırlar içinde kalmıştır ($<150 \mu\text{m}$). En düşük RMS sapmaları rounded shoulder preparasyonda $26\text{--}28 \mu\text{m}$ ve geniş chamfer preparasyonda $30\text{--}34 \mu\text{m}$ olarak bulunmuştur. Buna karşılık, dar chamfer ($0,4 \text{ mm}$) için RMS değerleri $42\text{--}48 \mu\text{m}$, vertikal preparasyon için ise $55 - 60 \mu\text{m}$ aralığında ölçülmüştür. Subgingival marjinlerde RMS değerleri epigingival konuma kıyasla ortalama $10 - 15 \mu\text{m}$ daha yüksek çıkmış, özellikle dar chamfer ve vertikal tasarımlarda doğruluk belirgin şekilde azalmıştır. Anterior dişlerde RMS değerleri posterior dişlere kıyasla ortalama $5\text{--}8 \mu\text{m}$ daha düşük bulunmuştur. Ayrıca kullanılan üç boyutlu yazıcı teknolojileri arasında anlamlı fark görülmüş; Asiga cihazı NextDent'e kıyasla ortalama yaklaşık $8\text{--}12 \mu\text{m}$ daha düşük RMS değerleri sağlamıştır. Yazarlar, rounded shoulder ve geniş chamfer tasarımlarının marjin belirginliği sayesinde tarama doğruluğunu artırdığını, vertikal ve dar chamfer preparasyonlarının ise özellikle subgingival bölgede yazılım interpolasyonuna daha fazla ihtiyaç duyduğu için doğruluğu azalttığını belirtmiştir.

Bizim çalışmamızda ise subgingival marjinlerde özellikle belirli tarayıcılarla hata değerlerinin arttığı gözlenmiş, bu durumun Auskalis ve ark. (2024) çalışmasında kullanılan model tasarımı ve simüle edilmiş diş eti retraksiyon miktarından farklılık göstermesinden kaynaklanabileceği düşünülmüştür. Bu karşılaştırma, gingival seviyenin tek başına doğruluk üzerinde her zaman belirleyici olmayabileceğini, ancak özellikle dijital taramalarda bitim hattı tasarımının kritik bir faktör olduğunu göstermektedir (Auskalis vd., 2024).

Rizonaki ve ark. (2022) tarafından yürütülen çalışmada, farklı bitiş çizgisi tasarımlarının (rounded shoulder, chamfer ve feather-edge) lityum disilikat CAD-CAM kronların marjinal ve internal uyumu üzerindeki etkisini mikro-bilgisayarlı tomografi (micro-CT) yöntemiyle değerlendirmiştir. Çalışmanın sonuçlarında, bitiş çizgisi tasarımının hem marjinal hem de internal uyum üzerinde belirgin etkiler yarattığını ve rounded shoulder tipi preparasyonun en düşük marjinal boşluk değerlerine ($23 \pm 14 \mu\text{m}$), vertikal tasarımının ise en düşük internal boşluk değerlerine ($111 \pm 14 \mu\text{m}$) sahip olduğunu göstermiştir (Rizonaki vd., 2022).

Falih ve Majeed'in (2023) in vitro çalışmasında, sekiz farklı ağız içi tarayıcının (Medit i700, Planmeca Emerald S, CEREC Primescan, Trios 3, CS3600, Medit i500, Heron 3Disc ve CEREC Omnicam) üç farklı bitim çizgisi tasarımında (chamfer, shoulder ve vertikal) dijital ölçü doğruluğu değerlendirilmiştir. Çalışmada maksiller sağ birinci molar sanal olarak 2 mm okluzal redüksiyon, $1,5 \text{ mm}$ aksiyel redüksiyon, 6° taper ve 1 mm marjinal genişlik ile

hazırlanmış, preparasyonlar supragingival seviyede planlanmıştır. Her basamak tipi için ayrı modeller yüksek çözünürlüklü üç boyutlu yazıcı ile üretilmiş, referans veriler Medit T710 laboratuvar tarayıcısı ile elde edilmiştir. Tüm IOS taramaları bu referans veri seti ile üst üste çakıştırılmış ve RMS sapmaları üzerinden trueness değerleri hesaplanmıştır. Bulgular, tüm tarayıcıların klinik olarak kabul edilebilir sınırlar içinde olduğunu göstermiş, ancak en yüksek doğruluk Medit i700’de elde edilmiştir (chamfer 12 µm, shoulder 16 µm, vertikal 15 µm). Bitim çizgileri karşılaştırıldığında, chamfer tasarımı en yüksek doğruluğu sağlamış, shoulder ve vertikal tasarımlar ise nispeten daha yüksek sapmalar göstermiştir.

Falih ve Majeed’in (2023), yaptığı çalışma yalnızca supragingival marjinleri içermektedir. Bizim çalışmamızda ise hem supragingival hem de subgingival gruplar yer almakta, ayrıca Falih ve Majeed’in (2023) çalışmasından farklı olarak rounded shoulder grubu da değerlendirilmektedir. Bulgularımızda, supragingival gruplar için chamfer tasarımının shoulder’a göre daha iyi trueness değerleri verdiği görülmüş, bu durum Falih ve Majeed’in chamfer lehine bulgularıyla örtüşürken, rounded shoulder grubunun eklenmesi farklı bir tasarım tipinin doğruluk açısından nasıl konumlandığını ortaya koymuştur (Falih & Majeed, 2023).

Revilla-León ve ark. (2025), yaptıkları çalışmada apikal bitim hattı konumunun IOS doğruluğu üzerinde belirgin etkiler oluşturduğunu göstermiş; özellikle 0,5 mm subgingival seviyelerde hem preparasyon yüzeyinde hem de marjin bölgesinde en yüksek sapmaların gözlemlendiğini bildirmiştir. Çalışmada preparasyon yüzeyine ait RMS değerleri, 2 mm supragingival grupta 18–26 µm, 1 mm supragingival grupta 19–24 µm, epigingival konumda 20–35 µm, 0,5 mm subgingival konumda ise 17–27 µm aralığında değişmiştir; bu değerler içinde özellikle Primescan’ın 0 mm (35 µm) ve –0,5 mm (27 µm) koşullarında belirgin sapmalar görüldüğü rapor edilmiştir. Marjin bölgesinde ise doğruluk daha kritik düzeyde etkilenmiş ve RMS değerleri 2 mm supragingival için 43–47 µm, 1 mm supragingival için 36–39 µm, epigingival için 33–59 µm, 0,5 mm subgingiva için 29–45 µm aralığında kaydedilmiştir; özellikle Primescan’ın epigingival konumda 59 µm ile en yüksek marjinal hata değerini gösterdiği belirtilmiştir. Bu sonuçlar, marjinin derinleştikçe optik erişimin azalması, ışığın yumuşak dokular tarafından soğrulması ve sensöre ulaşan sinyal-gürültü oranının düşmesi nedeniyle tarayıcıların üç boyutlu noktaları güvenilir şekilde yakalama kapasitesinin azaldığını göstermektedir. Ayrıca tarayıcılar arasında anlamlı farklılıklar saptanmış; i700 cihazı hem preparasyon (19–24 µm) hem marjin bölgesinde (36–43 µm) en düşük RMS değerlerini sunarak en yüksek trueness performansını sergilerken, TRIOS 5 preparasyon yüzeyinde (18–23 µm) başarılı sonuçlar vermiş, Primescan ise özellikle marjinde yüksek doğruluk göstermiştir (39–47

µm). Bu veriler bir arada değerlendirildiğinde, marjin seviyesinin apikal yönde ilerlemesinin IOS doğruluğunu sistematik biçimde azalttığı ve özellikle subgingival marjin içeren klinik senaryolarda tarayıcı seçimi, doku yönetimi ve tarama protokolü standardizasyonunun dijital ölçüm doğruluğu açısından kritik olduğu anlaşılmaktadır (Revilla-León vd., 2025).

Bizim çalışmamızda da benzer şekilde subgingival konumda supragingival seviyelere kıyasla RMS değerinin anlamlı biçimde arttığı gözlenmiştir. Bu durum, Revilla-León ve ark.'nın marjin bölgesinde 59 µm'ye kadar ulaşan hatalar bildirmesiyle örtüşmektedir. Ayrıca çalışmamızda Medit i700 ve Primescan'ın marjinal alanı diğer tarayıcılara göre daha iyi yakaladığı; Trios tarayıcıların ise özellikle supragingival chamfer yüzeylerinde daha stabil sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu eğilim, Revilla-León ve ark.'nın i700'ün her iki bölgede de en düşük RMS değerlerini verdiğini rapor etmesi ile uyumludur. Marjin ve preparasyon yüzeyleri ayrı ayrı incelendiğinde de bizim çalışmamıza benzer şekilde marjin bölgesinde elde edilen rms değerlerinin preparasyon yüzeyine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Genel olarak her iki çalışma birlikte değerlendirildiğinde, marjin seviyesinin apikal yönde ilerlemesinin, yüzey geometrisi ile tarayıcı teknolojisinin etkileşerek tarama doğruluğunu sistematik olarak düşürdüğü anlaşılmaktadır. Bu nedenle, özellikle subgingival marjin içeren klinik preparasyonlarda, uygun tarayıcı seçimi, doku yönetimi ve segmentasyon temelli analiz yöntemlerinin kullanılması doğruluk açısından kritik önem taşımaktadır.

Chamfer basamak tasarımında subgingival konumda başlangıçta 1 mm olarak planlanan dişeti marjin mesafesi preparasyonun bitimine doğru azalmakta ve belirli bölgelerde 0,5 mm'nin altına düşebilmektedir. Literatürde bu eşik kritik kabul edilmektedir; çünkü komşu dişe 0,5 mm'den daha yakın aproksimal mesafelerde intraoral tarayıcıların marjin tanımlama başarısının belirgin biçimde azaldığı, konvansiyonel ölçü + laboratuvar taramasında ise bu sınırın yaklaşık 0,6 mm'ye çıktığı bildirilmiştir (Ciou & He, 2024; Ferrari vd., 2018; Keeling vd., 2017; Kim vd., 2024; S.-A. Son vd., 2022).

Bu durum, optik sistemlerin görüş hattı kısıtı ve yazılım interpolasyon algoritmaları ile açıklanmaktadır. Supragingival konumda böyle bir dişeti kaynaklı kısıtlama olmamasına rağmen chamfer geometrisinin eğimli ve daha belirsiz geçişli yapısı, ışık huzmelerinin sensöre optimal açıyla dönmesini engeller. Nitekim üç boyutlu tarama literatüründe de yüzey normalinin tarayıcıya olan açısı büyüdükçe ölçüm hatalarının arttığı ve yazılımın bu bölgeleri sürekli yüzey olarak yorumlayarak marjin belirginliğini düşürdüğü bildirilmiştir. Buna karşılık rounded shoulder tasarımı daha geniş ve keskin bir kırılma hattı sunduğu için tarayıcı yazılımı

tarafından marjin sınırı daha kolay tanımlanabilmekte, bu da supragingivalde chamfer'a kıyasla daha düşük RMS hata değerleri ile sonuçlanmaktadır (Bernardini & Rushmeier, 2002; Ferrari vd., 2018).

Supragingival seviyede özellikle chamfer marjinin yuvarlatılmış shoulder bitim hattına göre daha düşük doğruluk göstermesi, intraoral tarayıcıların yüzey verilerini toplama ve üç boyutlu modele dönüştürme prensibiyle yakından ilişkilidir. İntraoral tarayıcılar, yüzeyden yansıyan ışığı analiz ederek çok sayıda referans noktası elde eder ve bu noktaları üçgen ağ formunda birleştirerek yüzey geometrisini yeniden oluşturur. Bu yeniden yapılandırma sürecinde her üçgen, üç adet noktanın birleştirilmesiyle tanımlanır ve bu noktalar arasındaki bağlantılar düzlemsel bir yaklaşım sergiler.

Chamfer marjin gibi yuvarlak yüzeyler geometrik olarak sürekli eğrilik değişimine sahip yüzeylerdir. Tarayıcı tarafından oluşturulan üçgen ağlar ise bu sürekli eğriliği sınırlı sayıda düzlemsel yüzeyle temsil etmeye çalışır. Bu durumda, üçgenlerin kenarları yuvarlak konturu tam olarak izleyemez ve lokal düzleştirmeler meydana gelir. Özellikle noktaların üst veya alt yönde sapmasıyla, yüzeyin gerçek eğrisine kıyasla dijital modelde mikro düzeyde deformasyonlar oluşabilir. Bu deformasyonlar, özellikle marjinal geçişlerin optik olarak karmaşık olduğu bölgelerde, RMS değerlerinin artmasına neden olur.

Buna karşın, yüzeyin keskin kenarları belirli bir ölçüde yuvarlatılmış ve düz yüzeylerin çoğunlukta olduğu durumlarda (örneğin rounded shoulder tasarımlarda), tarayıcılar referans noktaları daha homojen biçimde dağıtarak yüzeyi daha kararlı şekilde yeniden oluşturabilir. Bunun nedeni, tarama algoritmalarının ani eğrilik değişimlerinde (örneğin keskin shoulder kenarlarında) veri kaybına eğilimli olması, oysa yuvarlatılmış geçişlerde ışığın daha kontrollü yansıma göstermesidir.

Chamfer geometrilerinde ise benzer şekilde, marjinal çizgi yüzeyinin sürekli eğimli karakteri, tarayıcı sisteminin odak düzlemini korumasını zorlaştırabilir. Dolayısıyla gözlenen farklar, tarama teknolojisinin yüzey topografyasını düzlemsel ağlarla temsil etme kapasitesi, yansıma özellikleri ve mesh çözünürlüğü ile ilişkilidir. Nokta yoğunluğunun artırılması veya tarama yazılımının lokal eğrilik uyarlamalı) algoritmalarla desteklenmesi, bu sapmaların azaltılmasında etkili olabilir.

Agustin-Panadero ve ark. (2023) in vitro koşullarda farklı restoratif materyallerin (doğal diş, zirkonya, lityum disilikat ve nanoseramik rezin) ve değişen yüzey nemlilik düzeylerinin

(kuru, düşük, orta, yüksek) intraoral tarama doğruluğu üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Çalışmada hem materyal türü hem de nemlilik miktarı trueness ve precision değerlerini anlamlı biçimde etkilemiş; özellikle orta ve yüksek nem gruplarında RMS hata değerlerinin belirgin şekilde arttığı rapor edilmiştir. Kuru ve düşük nem koşullarında doğal diş, zirkonya ve lityum disilikat benzer doğruluk seviyeleri sunarken nanoseramik rezin daha düşük performans göstermiş; yüksek nem koşullarında ise lityum disilikat grubu en yüksek doğruluğu sağlamıştır. Bu sonuçlar, yüzey materyalinin optik özellikleri ile birlikte nemin ışığın yansıma ve saçılmasını değiştirerek IOS sistemlerinin veri toplama sürecine doğrudan müdahale ettiğini göstermektedir. Benzer şekilde Lim ve ark. (2021), PMMA, zirkonya, altın ve Co-Cr kronların dijital ve konvansiyonel ölçü yöntemleriyle elde edilen doğruluğunu karşılaştırmış ve özellikle PMMA kronların intraoral taramalarda tekrarlanabilirlik (precision) açısından kabul edilebilir seviyede sonuçlar sunduğunu bildirmiştir (Lim vd., 2021).

Bizim çalışmamızda kullanılan PMMA modeller, seramik esaslı materyallere kıyasla daha düşük translüensiye sahip olup homojen yüzey yapıları sayesinde in vitro ortamda daha stabil yansıma özellikleri göstermiştir. Bu nedenle elde edilen RMS sapmaları, klinik senaryolara kıyasla daha düşük olmuştur ve tekrarlanan ölçümlerde daha yüksek tutarlılık sağlanmıştır.

Her ne kadar çalışmada kullanılan PMMA modellerde yumuşak doku bulunmadığından klasik anlamda bir geometrik görüş hattı kısıtlılığı beklenmese de, subgingival konumlandırılmış preparasyonlarda marjin hattı derinliği ve duvar eğimi, tarayıcı ışınının doğrudan ulaşabileceği alanı daraltmıştır. Bu durum, özellikle marjin sınırlarının sensörün görüş alanı dışında kalmasına yol açarak lokal geometrik görüş hattı kısıtlılığı oluşturmuştur.

Bununla birlikte, modellerin DLP/LCD tabanlı 3D baskı yöntemiyle üretilmiş olması nedeniyle yüzeyler genel olarak mat veya yarı-mat karakterdedir. Katmanlı üretim sürecinin oluşturduğu mikro pürüzlülük, yüzeyde ışığın daha difüz yansımasına olanak tanımış ve optik olarak tarama için elverişli bir yapı sağlamıştır. Ancak marjinal bölgelerdeki eğimli yüzeyler ve dar görüş açıları bu optik avantajı sınırlayarak tarayıcı sensörünün veri toplayamadığı küçük lokal alanların oluşmasına neden olmuştur. Klinik koşullarda ise mevcut tükürük, kan, dişeti dokusu, subgingival marjin konumları ve sınırlı görüş hattı gibi faktörler tarama doğruluğunu negatif yönde etkileyerek PMMA modellerde elde edilenden daha yüksek RMS sapmalarına yol açacaktır. Dolayısıyla, laboratuvar ortamında elde edilen doğruluk değerlerinin klinik uygulamalara doğrudan genellenmesi yanıltıcı olabilir. Özellikle subgingival marjin varlığında,

nem ve doku engelleri ile birleşen görüş hattı kısıtları, klinik doğruluk değerlerini belirgin şekilde düşürebilir. (Agustín-Panadero vd., 2023; Bernardini & Rushmeier, 2002; Ferrari vd., 2018).

Literatürde tarayıcı doğruluğunu değerlendirmek için farklı metodlar kullanılmıştır: kenar eğriliği (Keeling vd., 2017), teğet mesafesi (Ciou & He, 2024), kenar açısı farkı (Ciou & He, 2024; Ibraheem & Abdullah, 2020), silikon ölçü materyali kullanılarak kenar ve iç uyumsuzluklar (Koulivand vd., 2020), bilgisayarlı tomografi görüntüleme (Rizonaki vd., 2022), stereomikroskop ile doğrudan ölçüm (Euán vd., 2014; Sadid-Zadeh vd., 2020), RMS formülü kullanılarak (Ammoun vd., 2020; Baldi vd., 2023; Bernauer vd., 2020; Dutton vd., 2020; Ender, Zimmermann, vd., 2016; Gunel vd., 2023; Jin-Young Kim vd., 2021; Lim vd., 2021; Nedelcu vd., 2018; Park vd., 2020; K. Son & Lee, 2021; S.-A. Son vd., 2022) veya hizalanmış dosyalar arasındaki doğrusal ölçümler (An, Mickesh, vd., 2024; Ferrari Cagidiaco vd., 2021). En sık kullanılan yöntem RMS ölçümü olmakla birlikte bizim çalışmamızda da marjinal ve genel preparasyon doğruluğunu ayrı ayrı değerlendirebilmek amacıyla modeller segmentlere ayrılmış ve her segment, referans modellerle Best - Fit Alignment yöntemiyle hizalanarak analiz edilmiştir. Bu yöntem, yalnızca global RMS değerlerine dayalı geleneksel karşılaştırmalara kıyasla, lokal morfolojik farklılıkların daha ayrıntılı biçimde incelenmesine olanak sağlamıştır.

Benzer bir yaklaşım Dutton ve ark. (2019) tarafından da benimsenmiş; araştırmacılar sekiz farklı intraoral tarayıcıdan elde ettikleri verileri Geomagic Control X yazılımında 14 farklı segmente ayırarak değerlendirmiştir. Söz konusu çalışmada, yüzeyin optik özellikleri (yansıtıcılık, translusensi ve doku homojenliği) tarama doğruluğu üzerinde anlamlı etkiler oluşturmuş; özellikle translusent materyallerde (örneğin lityum disilikat ve enamel benzeri yüzeyler) ışığın saçılması nedeniyle trueness değerlerinde belirgin azalma bildirilmiştir. Dutton ve ark., bu sapmaların özellikle aktif triangülasyon prensibiyle çalışan tarayıcılarda daha belirgin olduğunu, paralel konfokal sistemlerin ise yüzey çeşitliliğine karşı daha stabil sonuçlar verdiğini vurgulamıştır (Dutton vd., 2020).

Bizim çalışmamızda da segmentasyon yaklaşımı, marjinal bölgelerdeki mikrojeometrik farklılıkların lokal olarak belirlenmesine olanak tanımış; bu yönüyle marjinal geçişlerin ölçüm doğruluğunu global RMS ortalamalarına göre daha duyarlı biçimde ortaya koymuştur. Dolayısıyla segmentasyon temelli analizlerin, marjinal bölgeye özgü doğruluk değerlendirmelerinde referans yöntem olarak kabul edilebileceği sonucuna varılabilir.

Tam seramik restorasyonların uzun dönem başarısı, marjinal bölgede yeterli materyal kalınlığı sağlanması ve preparasyon tipinin biyomekanik özelliklerle uyumlu olmasıyla doğrudan ilişkilidir. Literatürde, tam seramik kronlarda genellikle shoulder veya rounded shoulder basamak tiplerinin önerildiği, bu tasarımların porselenin servikal bölgede yeterli kalınlıkta desteklenmesine ve kırılma riskinin azalmasına katkı sağladığı bildirilmektedir (Donovan, 2008; Shillingburg, 2022). Özellikle rounded shoulder, keskin kenarların yuvarlatılması sayesinde stres dağılımını homojen hale getirmekte ve CAD/CAM üretim sürecine daha uyumlu bir preparasyon şekli sunmaktadır (Pál vd., 2025; Yu vd., 2019).

Çalışmamızda subgingival preparasyonlarda rounded shoulder marjinlerin en yüksek doğruluk göstermesi, estetik bölgelerde hem restorasyon dayanımı hem de dijital ölçü doğruluğu açısından rounded shoulder marjinlerin tercih edilmesi gerektiği sonucuna varılabilir. Buna karşılık, posterior bölgede, estetik beklentilerin daha düşük olduğu klinik durumlarda MDP ya da tam metal tercih edilebildiği bilinmektedir (Shillingburg, 2022). Bu bölgelerde genellikle supragingival preparasyon daha biyolojik uyumlu ve klinik açıdan pratiktir. Çalışmamızda supragingival konumda subgingivale kıyasla daha yüksek doğruluk göstermesi, estetik beklentinin az olması ve diş yapısının korunmasının sağlanması amacıyla daha az preparasyon yapmak tercih edilebilir. Dolayısıyla, posterior bölgelerde supragingival chamfer basamak tasarımı, hem biyolojik hem de dijital doğruluk açısından uygun bir seçenek olarak öne çıkmaktadır.

Çalışmamızda, preparasyonun tamamı incelendiğinde elde edilen RMS değerlerinin, yalnızca marjinal bölgeye ait RMS değerlerinden daha düşük olduğu görülmüştür. Bu durum, ölçüm kapsamına geniş ve düzgün yüzeylerin dahil edilmesinin hata dağılımını dengelemesiyle açıklanabilir. Oklüzal ve aksiyal yüzeylerde tarama sırasında görüş kısıtlarının daha az olması ve ışığın yüzeyden daha homojen şekilde yansması, bu bölgelerdeki sapmaların düşük kalmasına neden olmuştur. Dolayısıyla marjindeki yüksek RMS değerleri, daha geniş yüzeylerle birlikte ortalama alındığında nispeten düşük bir toplam RMS sonucu vermiştir. Bu bulgular, tarama doğruluğunun yalnızca tüm preparasyon üzerinden değerlendirilmesinin yanıltıcı olabileceğini göstermektedir. Genel RMS değerleri klinik açıdan kabul edilebilir sınırlar içinde olsa bile, marjinal bölgede ortaya çıkan daha yüksek lokal sapmalar restorasyonun marjinal uyumunu ve dolayısıyla uzun dönem başarısını tehlikeye atabilir. Bu nedenle, dijital taramaların değerlendirilmesinde yalnızca global doğruluk ölçütleri değil, marjinal bölgeye özgü analizlerin de yapılması önemlidir. Literatürde de vurgulandığı üzere, marjinal bölgedeki hata değerleri restorasyonun biyolojik uyumu, sekonder çürük riski ve

periodontal sağlık üzerinde doğrudan etkiye sahiptir (Goodacre, 2004; Minyé vd., 2018; Nassar & Abo El-Mal, 2024; Tiu vd., 2016). Bizim alışmamızda elde edilen sonuçlar da bu grşu desteklemekte ve klinik uygulamalarda marjinal uyumun her zaman öncelikli değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Dental 3D baskı teknolojileri arasında SLA (Stereolitografi yöntemi), DLP (Dijital ışık işleme) ve LCD (Sıvı Kristal Görüntüleme) sistemleri ne çıkmaktadır. SLA yazıcılar yüksek yüzey kalitesi ve doğruluk sağlasa da üretim süresi ve maliyet açısından dezavantajlıdır. DLP sistemleri hız ve doğruluk arasında dengeli bir performans sunarken, LCD yazıcılar uygun maliyet ve yüksek znrlk avantajıyla özellikle dental model üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çalışmamızda tercih edilen LCD tabanlı Pionext sistemi, hızlı üretim süreci ve yüksek znrlkl katman kalınlığı sayesinde margin detaylarının güvenilir şekilde elde edilmesini sağlamıştır. Yazıcı, 10 m katman kalınlığı ile yüksek znrlk sağlarken, dental model reçinesi boyutsal stabilitesi nedeniyle tercih edilmiştir. Ancak, literatürde LCD yazıcıların uzun dönem boyutsal stabilite açısından SLA ve DLP'ye kıyasla daha sınırlı olabileceği belirtilmiştir (Alharbi vd., 2017; Kim vd., 2018; Revilla-Len & zcan, 2019). Bu durum, çalışmamızın sınırlılıklarından biri olarak değerlendirilmelidir.

Ölüm öncesinde uygulanan 24 saatlik stabilizasyon süreci, reçine bazlı  boyutlu baskılarda önerilen bir yöntemdir. Bu sürede post polimerizasyon reaksiyonlarının tamamlanması ve termomekanik deformasyonların dengelenmesi hedeflenmektedir. Çalışmamızda da modellerin ölüm öncesinde 24 saat sabit sıcaklık ve nem koşullarında bekletilmesi, üretim sürecine bağlı büzülmelerin minimize edilmesini sağlamıştır. Bu yaklaşım, literatürdeki bulgularla da uyumludur. Cerbino ve ark. (2023), dört farklı reçineyle üretilen tam ark restorasyonları in vitro ortamda incelemiş ve en büyük boyutsal değişimlerin ilk 24 saatte meydana geldiğini, sonraki 7 günlük periyotta ise minimal ek değişiklikler gözlendiğini bildirmiştir (Cerbino vd., 2023). Dolayısıyla, lm öncesinde 24 saatlik stabilizasyonun, çalışmamızda elde edilen RMS değerlerinin üretim kaynaklı deformasyonlardan en az düzeyde etkilenmesini sağladığı dşnlmektedir.

Çalışmamız in vitro koşullarda gerçekleştirilmiş olup, kontrol altında tutulan ortam faktörleri doğruluğu yalnızca belirlenen değişkenler üzerinden değerlendirmemize olanak sağlamıştır. Ancak klinik ortamlarda tarama doğruluğunu etkileyebilecek tükürük varlığı, yumuşak doku hareketliliği, kanama, hasta kooperasyonu ve ışık koşulları gibi ek unsurların bir arada bulunması beklenmektedir. Bu faktörlerin marjin seviyesi ve basamak tipi ile birleşmesi,

kümülatif etki yaratarak RMS değerlerinin in vitro bulgularımıza kıyasla daha da artmasına yol açabilir. Dolayısıyla, klinik uygulamalarda dijital tarama doğruluğunu değerlendirirken çoklu faktörlerin eş zamanlı etkisi göz önünde bulundurulmalıdır.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuç

Genel olarak değerlendirildiğinde, çalışmamızın bulguları, dijital taramanın başarısının yalnızca kullanılan intraoral tarayıcıya değil, aynı zamanda preparasyon tasarımına ve marjin seviyesine de bağlı olduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlara göre, Medit i700 ve Primescan sistemleri gerek preparasyon yüzeyi gerekse marjin çizgisi ölçümlerinde en düşük RMS değerlerini sunarak en yüksek doğruluğu göstermiştir. Buna karşın Trios 3 ve Trios 5, anlamlı derecede daha yüksek RMS değerleri ile görece düşük doğrulukta kalmıştır. Özellikle Trios 3'ün, hem preparasyon hem de marjin bölgesinde en düşük performansı sergilemesi dikkat çekicidir.

Basamak tipi, dijital ölçüm doğruluğunu belirleyen kritik faktörlerden biri olarak öne çıkmıştır. Rounded shoulder tasarımı hem supragingival hem de subgingival seviyelerde en düşük RMS değerleri ile en yüksek doğruluğu sağlamıştır. Buna karşılık shoulder tipi, özellikle subgingival konumda en yüksek RMS değerlerini üretmiş ve dijital ölçüm doğruluğunu olumsuz etkilemiştir. Chamfer tipi ise bu iki uç tasarım arasında yer almakla birlikte, özellikle Primescan ile daha başarılı sonuçlar sunmuştur.

Supragingival preparasyonlar, subgingival preparasyonlara kıyasla anlamlı şekilde daha düşük RMS değerleri ile daha yüksek doğruluk sağlamıştır. Subgingival shoulder tasarımlarında hata oranlarının belirgin olarak arttığı gözlenmiştir.

Üçlü etkileşimlerde supragingival rounded shoulder kombinasyonu en yüksek doğruluğu gösterirken, subgingival shoulder kombinasyonu en yüksek hata oranlarıyla öne çıkmıştır. Bu durum, tarayıcı seçimi ne olursa olsun margin tasarımı ve konumunun dijital ölçüm doğruluğunda kritik rol oynadığını göstermektedir. Supragingival rounded shoulder kombinasyonu en yüksek doğruluğu sunarken, subgingival shoulder kombinasyonu en olumsuz sonuçları üretmiştir. Bu sonuçlar, literatürde tarayıcı doğruluğu, margin tasarımı ve gingival seviye arasındaki ilişkinin önemini vurgulayan önceki çalışmalarla uyumlu olup, özellikle tarayıcı - margin tipi - gingival seviye etkileşimini üçlü düzeyde incelemesi açısından literatüre yeni katkılar sağlamaktadır.

6.2. Öneriler

Bu çalışmadan elde edilen bulgular, dijital ölçüm doğruluğunun yalnızca kullanılan intraoral tarayıcı sistemine bağlı olmadığını; preparasyon tasarımı ve gingival marjin

seviyesinin de en az tarayıcı seçimi kadar belirleyici olduğunu ortaya koymuştur. Bu doğrultuda, klinik uygulamalarda dijital ölçü planlaması yapılırken marjin konumu ve basamak geometrisinin optik tarama sistemlerinin algılama kapasitesiyle uyumlu olacak şekilde değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Özellikle düşük RMS değerleri ile yüksek doğruluk sunan tarayıcı sistemlerinin, hassas marjinal adaptasyon gerektiren restorasyonlarda tercih edilmesi önerilmektedir.

Preparasyon tasarımı açısından değerlendirildiğinde, rounded shoulder basamak tipinin hem supragingival hem de subgingival seviyelerde daha yüksek ölçüm doğruluğu sağlaması, bu geometrinin dijital tarama için daha uygun bir morfoloji sunduğunu göstermektedir. Buna karşılık, özellikle subgingival konumlandırılmış shoulder preparasyonların belirgin ölçü hatalarına yol açtığı göz önünde bulundurulmalı; klinik olarak mümkün olan durumlarda supragingival marjin yerleşimi ve daha yumuşak geçişlere sahip basamak tasarımları tercih edilmelidir. Subgingival preparasyonun zorunlu olduğu vakalarda ise shoulder yerine rounded shoulder veya chamfer tasarımlarının kullanılması dijital ölçüm başarısını artırabilir.

Ayrıca, dijital ölçü sistemlerinin sınırlamaları dikkate alınarak derin subgingival marjinlerin kaydedilmesinde uygun yumuşak doku yönetimi, retraksiyon teknikleri ve tarama stratejilerinin uygulanması gereklidir. Bu yaklaşım, özellikle marjin çizgisinin net olarak algılanmasını sağlayarak restorasyonların marjinal uyumunu olumlu yönde etkileyebilir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, farklı klinik koşulların ve tarama protokollerinin marjin tasarımı ile etkileşiminin değerlendirilmesi, dijital ölçüm doğruluğunun daha kapsamlı anlaşılmasına katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak, dijital diş hekimliği uygulamalarında en yüksek doğruluğun elde edilebilmesi için tarayıcı seçimi, preparasyon geometrisi ve gingival marjin seviyesinin bütüncül bir yaklaşımla ele alınması gerekmektedir. Bu çalışmanın bulguları, supragingival konumlandırılmış rounded shoulder preparasyonların dijital ölçü açısından en öngörülebilir ve güvenilir yaklaşımı sunduğunu ortaya koymakta olup, klinik karar verme sürecinde bu kombinasyonun dikkate alınması önerilmektedir.

7. KAYNAKLAR

- 3Shape A/S. (2022). *TRIOS 3 Intraoral Scanner - Product Overview*. <https://www.3shape.com/en/scanners/trios-3>
- 3Shape A/S. (2023a). *3Shape D-Series Laboratory Scanners – Product Brochure*.
- 3Shape A/S. (2023b). *TRIOS 5 Wireless Intraoral Scanner - Specifications*. <https://www.3shape.com/en/scanners/trios-5>
- Aboelsaad, N., Rayyan, M., Osman, E., & Sby, B. (2012). An Update On The Effect Of Crown Margin Locations And Materials On Periodontal Health. *Egyptian dental journal*, 7.
- Adu-Ampomah, N. F., Ampofo, P. C., Nyako, A., Hewlett, S., Acheampong, A. O., Yabang, G. T. M., Ankoh, S., & Goka, R. (2023). An in Vitro Analysis to Evaluate Coronal Residual Dentine Thickness after Different Anterior Crown Preparations. *Open Journal of Stomatology*, 13(12), 442-449. <https://doi.org/10.4236/ojst.2023.1312037>
- Agustín-Panadero, R., Moreno, D. M., Pérez-Barquero, J. A., Fernández-Estevan, L., Gómez-Polo, M., & Revilla-León, M. (2023). Influence of type of restorative materials and surface wetness conditions on intraoral scanning accuracy. *Journal of Dentistry*, 134, 104521. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104521>
- Akl, M. A., Daifallah, K., Pérez-Barquero, J. A., Barmak, A. B., Wee, A. G., & Revilla-León, M. (2023). Influence of interdental spaces and the palate on the accuracy of maxillary scans acquired using different intraoral scanners. *Journal of Prosthodontics*, 32(S2), 125-134. <https://doi.org/10.1111/jopr.13748>
- Alharbi, N., Wismeijer, D., & Osman, R. (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>
- Al-Hassiny, A., Végh, D., Bányai, D., Végh, Á., Géczi, Z., Borbély, J., Hermann, P., & Hegedüs, T. (2023). User Experience of Intraoral Scanners in Dentistry: Transnational Questionnaire Study. *International Dental Journal*, 73(5), 754-759. <https://doi.org/10.1016/j.identj.2023.04.002>
- Ali, S., & Majeed, M. A. (2024). *Trueness of intraoral scanners: Its impact on the trueness and marginal and internal discrepancies of fabricated crowns (A comparative in vitro study)*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4401482/v1>
- Align Technology Inc. (2023). *iTero Element Digital Scanner – Brochure for General Practitioners*.
- Alkadi, L. (2023). A Comprehensive Review of Factors That Influence the Accuracy of Intraoral Scanners. *Diagnostics*, 13(21), 3291. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13213291>
- Almustafa, N. M. (2016). *The Use of CAD CAM for Fixed Partial Prostheses*. University of Dundee.
- Ammoun, R., Suprono, M. S., Goodacre, C. J., Oyoyo, U., Carrico, C. K., & Kattadiyil, M. T. (2020). Influence of Tooth Preparation Design and Scan Angulations on the Accuracy of Two Intraoral Digital Scanners: An in Vitro Study Based on 3-Dimensional Comparisons. *Journal of Prosthodontics*, 29(3), 201-206. <https://doi.org/10.1111/jopr.13148>
- Amornvit, P., Rokaya, D., & Sanohkan, S. (2021). Comparison of Accuracy of Current Ten Intraoral Scanners. *BioMed Research International*, 2021(1). <https://doi.org/10.1155/2021/2673040>
- An, H., Langas, E. E., & Gill, A. S. (2024). Effect of scanning speed, scanning pattern, and tip size on the accuracy of intraoral digital scans. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 131(6), 1160-1167. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2022.05.005>
- An, H., Mickesh, G. J., Cho, D., & Sorensen, J. A. (2024). Effect of finish line location and saliva contamination on the accuracy of crown finish line scanning. *Journal of Prosthodontics*, 33(1), 86-94. <https://doi.org/10.1111/jopr.13658>
- Arakida, T., Kanazawa, M., Iwaki, M., Suzuki, T., & Minakuchi, S. (2018). Evaluating the influence of ambient light on scanning trueness, precision, and time of intra oral scanner. *Journal of Prosthodontic Research*, 62(3), 324-329. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2017.12.005>
- Asar, N. V., Yun, S., Schwartz, S., & Turkyilmaz, I. (2022). Analysis of the relationship between the surface topography of prepared tooth surfaces and data quality of digital impressions from an intraoral scanner. *Journal of Dental Sciences*, 17(1), 545-550. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2021.07.013>

- Ashraf, Y., Sabet, A., Hamdy, A., & Ebeid, K. (2020). Influence of Preparation Type and Tooth Geometry on the Accuracy of Different Intraoral Scanners. *Journal of Prosthodontics*, 29(9), 800-804. <https://doi.org/10.1111/jopr.13202>
- Ates, S. M., & Yesil Duymus, Z. (2016). Influence of Tooth Preparation Design on Fitting Accuracy of CAD-CAM Based Restorations. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 28(4), 238-246. <https://doi.org/10.1111/jerd.12208>
- Ateşalp İleri, S., & Büyükerkmen, E. B. (2025). In vitro evaluation of the effect of auxiliary geometric device on measurement trueness and scanning time in full-arch implant impressions. *The Journal of Advanced Prosthodontics*, 17(4), 197. <https://doi.org/10.4047/jap.2025.17.4.197>
- Aubretou, O., Bajard, A., Verney, B., & Truchetet, F. (2013). Infrared system for 3D scanning of metallic surfaces. *Machine Vision and Applications*, 24(7), 1513-1524. <https://doi.org/10.1007/s00138-013-0487-z>
- Auskalnis, L., Akulauskas, M., Jegelevicius, D., & Rutkunas, V. (2024). Trueness of Crown Preparation Dies in Dental Models: An In Vitro Assessment of Digital and Analog Workflows. *International Journal of Prosthodontics*, 37(7), S89-S98. <https://doi.org/10.11607/ijp.8985>
- Baldi, A., Comba, A., Rozzi, D., Rocha Pereira, G. K., Valandro, L. F., Michelotto Tempesta, R., & Scotti, N. (2023). Does partial adhesive preparation design and finish line depth influence trueness and precision of intraoral scanners? *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 129(4), 637.e1-637.e9. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2023.01.017>
- Benli, M., & Gökçen-Rohlig, B. (2020). Bilgisayar Destekli Tasarım-Bilgisayar Destekli Üretim Sistemlerinin Farklı Dental Restorasyonların Kenar Ve İç Yüzey Uyumlarına Etkisinin Değerlendirilmesi: İn-Vitro Çalışma. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*. <https://doi.org/10.17567/ataunidfd.599380>
- Bernardini, F., & Rushmeier, H. (2002). The 3D Model Acquisition Pipeline. *Computer Graphics Forum*, 21(2), 149-172. <https://doi.org/10.1111/1467-8659.00574>
- Bernauer, S. A., Müller, J., Zitzmann, N. U., & Joda, T. (2020). Influence of Preparation Design, Marginal Gingiva Location, and Tooth Morphology on the Accuracy of Digital Impressions for Full-Crown Restorations: An In Vitro Investigation. *Journal of Clinical Medicine*, 9(12), 3984. <https://doi.org/10.3390/jcm9123984>
- Borbola, D., Mikolicz, A., Romanszky, L., Sersli, G., DeFee, M., Renne, W., & Vag, J. (2024). Complete-arch accuracy of seven intraoral scanners measured by the virtual-fit method. *Journal of Dentistry*, 149, 105281. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.105281>
- Bowley, J. F., Ichim, I. P., Kieser, J. A., & Swain, M. V. (2013). FEA Evaluation of the Resistance Form of a Premolar Crown. *Journal of Prosthodontics*, 22(4), 304-312. <https://doi.org/10.1111/j.1532-849X.2012.00949.x>
- Button, H., Kois, J. C., Barmak, A. B., Zeitler, J. M., Rutkunas, V., & Revilla-León, M. (2024). Scanning accuracy and scanning area discrepancies of intraoral digital scans acquired at varying scanning distances and angulations among 4 different intraoral scanners. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 132(5), 1044-1060. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2023.01.025>
- Camcı, H., & Salmanpour, F. (2020). Effect of saliva isolation and intraoral light levels on performance of intraoral scanners. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 158(5), 759-766. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2020.03.022>
- Canullo, L., Pesce, P., Caponio, V. C. A., Iacono, R., Luciani, F. S., Raffone, C., & Menini, M. (2024). Effect of auxiliary geometric devices on the accuracy of intraoral scans in full-arch implant-supported rehabilitations: An in vitro study. *Journal of Dentistry*, 145, 104979. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.104979>
- Carestream Dental. (2025). *CS 3800 Wireless Intraoral Scanner – Landing Page*.
- Carestream Dental LLC. (2022). *CS 3800 Family User and Installation Guide*.
- Carl Zeiss Microscopy GmbH. (2025). *LSM 900 for Materials – Confocal Microscope*. <https://www.zeiss.com/microscopy/en/products/light-microscopes/confocal-microscopes/lsm-900-for-materials.html>
- Carter, D. (2013). Confocal Microscopy. *Current Protocols Essential Laboratory Techniques*, 7(1). <https://doi.org/10.1002/9780470089941.et0904s07>

- Cerbino, V., Verniani, G., Bonadeo, G., & Ferrari Cagidiaco, E. (2023). Dimensional stability of 3D-printed fixed prosthetic restorations. *Journal of Osseointegration*, 15(1), 79-86. <https://doi.org/10.23805/JO.2023.15.01.05>
- CEYLAN, G., DEMİREL, M., DİKEN TÜRKSAVAR, A. A., EMİR, F., & DÖNMEZ, M. B. (2024). Farklı İntoraal Tarayıcıların İmplant Ölçü Hassasiyeti Üzerindeki Etkisinin Değerlendirilmesi. *ADO Klinik Bilimler Dergisi*, 13(1), 127-134. <https://doi.org/10.54617/adoklinikbilimler.1312447>
- Chen, L. C., & Xu, Z. Q. (2005). Innovative 3D Dental Measurement for Tooth Model Restoration. *Key Engineering Materials*, 295-296, 145-150. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.295-296.145>
- Chen, S. (2023). Calibration of Intraoral 3-D Measurement System With Using Consummated Model Combined With Highly Accurate Data Pairs. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 72, 1-13. <https://doi.org/10.1109/TIM.2023.3323007>
- Chen, Y., Zhai, Z., Li, H., Yamada, S., Matsuoka, T., Ono, S., & Nakano, T. (2022). Influence of Liquid on the Tooth Surface on the Accuracy of Intraoral Scanners: An In Vitro Study. *Journal of Prosthodontics*, 31(1), 59-64. <https://doi.org/10.1111/jopr.13358>
- Chen, Y., Zhai, Z., Watanabe, S., Nakano, T., & Ishigaki, S. (2022). Understanding the effect of scan spans on the accuracy of intraoral and desktop scanners. *Journal of Dentistry*, 124, 104220. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104220>
- Chiu, A., Chen, Y.-W., Hayashi, J., & Sadr, A. (2020). Accuracy of CAD/CAM Digital Impressions with Different Intraoral Scanner Parameters. *Sensors*, 20(4), 1157. <https://doi.org/10.3390/s20041157>
- Chun, J., Tahk, J., Chun, Y.-S., Park, J.-M., & Kim, M. (2017). Analysis on the Accuracy of Intraoral Scanners: The Effects of Mandibular Anterior Interdental Space. *Applied Sciences*, 7(7), 719. <https://doi.org/10.3390/app7070719>
- Ciocan, L. T., Vasilescu, V. G., Răuță, S.-A., Pantea, M., Pițuru, S.-M., & Imre, M. (2024). Comparative Analysis of Four Different Intraoral Scanners: An In Vitro Study. *Diagnostics*, 14(13), 1453. <https://doi.org/10.3390/diagnostics14131453>
- Ciou, W.-J., & He, W.-H. (2024). Identification of optimal gingival displacement widths, finish line depths, and preparation designs for digitally scanned single crowns: An in vitro study. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 132(6), 1285.e1-1285.e10. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2024.08.024>
- Çağlar, İ., Yeşil Duymuş, Z., & Ateş, S. M. (2015). Diş Hekimliğinde Kullanılan Ölçü Sistemlerinde Güncel Yaklaşımlar: Dijital Ölçü. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 10(10). <https://doi.org/10.17567/dfd.96167>
- de Andrade, G. S., Luz, J. N., Tribst, J. P. M., Chun, E. P., Bressane, A., Borges, A. L. S., & Saavedra, G. de S. F. A. (2024). Impact of different complete coverage onlay preparation designs and the intraoral scanner on the accuracy of digital scans. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 131(6), 1168-1177. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2022.05.001>
- de Freitas, B. N., Capel, C. P., Vieira, M. A., Barbin, G. F., Cardoso, L., & Tirapelli, C. (2024). Do intraoral scanning technologies affect the trueness of dental arches with crowding, diastema, and edentulous spaces? A clinical perspective. *Journal of Dentistry*, 149, 105285. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.105285>
- Dental Wings Inc. (2022). *Dental Wings Laboratory Scanners – DWOS Integration*.
- Dentsply Sirona. (2019). *CEREC Omnicam Intraoral Scanner Brochure*.
- Dentsply Sirona. (2021). *Digital Impressions with CEREC – Omnicam and Primescan*.
- Dentsply Sirona. (2022). *Primescan extratrademark Intraoral Scanner – Clinical Studies Overview (2019–2022)*. <https://www.dentsplysirona.com/primescan>
- Dentsply Sirona. (2023). *Primescan – The Intraoral Scanner for Dental Practices*. <https://www.dentsplysirona.com/en-us/categories/digital-impression/intraoral-scanners/primescan.html>
- Dhull, K. S., Nagar, R., Mathur, P., Shil, M., Jain, S., Dureha, R., & Kapoor, A. (2024). Intraoral Scanners: Mechanism, Applications, Advantages, and Limitations. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 16(Suppl 3), S1929-S1931. https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_1299_23
- Donovan, T. E. (2008). Factors Essential for Successful All-Ceramic Restorations. *The Journal of the American Dental Association*, 139, S14-S18. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2008.0360>

- Dupagne, L., Tapie, L., Lebon, N., & Mawussi, B. (2022). Comparison of the acquisition accuracy and digitizing noise of 9 intraoral and extraoral scanners: An objective method. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 128(5), 1032-1040. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.02.005>
- Dutton, E., Ludlow, M., Mennito, A., Kelly, A., Evans, Z., Culp, A., Kessler, R., & Renne, W. (2020). The effect different substrates have on the trueness and precision of eight different intraoral scanners. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 32(2), 204-218. <https://doi.org/10.1111/jerd.12528>
- Eftekhari Ashtiani, R., Farzaneh, B., Azarsina, M., Aghdashi, F., Dehghani, N., Afshari, A., & Mahshid, M. (2015). Microleakage of Four Dental Cements in Metal Ceramic Restorations With Open Margins. *Iranian Red Crescent Medical Journal*, 17(11). <https://doi.org/10.5812/ircmj.19611>
- Eggmann, F., & Blatz, M. B. (2024). The Core of Digital Dentistry: Intraoral Scanners. *Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, N.J. : 1995)*, 45(10), 503-507. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/39561342>
- Eighteenth / Institute of Digital Dentistry. (2022). *Helios 600 Intraoral Scanner Review*.
- Elkhodary, N. (2021). Effect of span length on the trueness of an intraoral scanner. (An in-vitro study). *Egyptian Dental Journal*, 67(3), 2605-2612. <https://doi.org/10.21608/edj.2021.78409.1655>
- 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., & 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)
- Ender, A., Zimmermann, M., Attin, T., & Mehl, A. (2016). In vivo precision of conventional and digital methods for obtaining quadrant dental impressions. *Clinical oral investigations*, 20(7), 1495-1504. <https://doi.org/10.1007/S00784-015-1641-Y>
- Ercoli, C., Tarnow, D., Poggio, C. E., Tsigarida, A., Ferrari, M., Caton, J. G., & Chochlidakis, K. (2021). The Relationships Between Tooth-Supported Fixed Dental Prostheses and Restorations and the Periodontium. *Journal of Prosthodontics*, 30(4), 305-317. <https://doi.org/10.1111/jopr.13292>
- Euán, R., Figueras-Álvarez, O., Cabratosa-Termes, J., & 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>
- Falih, M. Y., & Majeed, M. A. (2023). Trueness and Precision of Eight Intraoral Scanners with Different Finishing Line Designs: A Comparative In Vitro Study. *European Journal of Dentistry*, 17(04), 1056-1064. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1757568>
- Faur, A. B., Rotar, R. N., Adam, D., & Jivănescu, A. (2023). Rescanning of Digital Impressions' Mesh Holes: In Vivo and In Vitro Accuracy Evaluation of Three Different Scanning Protocols. *Applied Sciences*, 13(5), 2867. <https://doi.org/10.3390/app13052867>
- Ferrari Cagidiaco, E., Zarone, F., Discepoli, N., Joda, T., & Ferrari, M. (2021). Analysis of The Reproducibility of Subgingival Vertical Margins Using Intraoral Optical Scanning (IOS): A Randomized Controlled Pilot Trial. *Journal of Clinical Medicine*, 10(5), 941. <https://doi.org/10.3390/jcm10050941>
- Ferrari, M., Keeling, A., Mandelli, F., Lo Giudice, G., Garcia-Godoy, F., & Joda, T. (2018). The ability of marginal detection using different intraoral scanning systems: A pilot randomized controlled trial. *American journal of dentistry*, 31(5), 272-276.
- Gavara, S. G., Jain, S., Gupta, H., Sharma, S., Panwar, P., & Momin, M. S. (2023). Comparative Effect of No Finish Line, Heavy Chamfer, and Shoulder Marginal Designs on the Fracture Resistance of Zirconia (Circon) Ceramic Restoration: An In Vitro Study. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.39009>
- Giuliodori, G., Rappelli, G., & Aquilanti, L. (2023). Intraoral Scans of Full Dental Arches: An In Vitro Measurement Study of the Accuracy of Different Intraoral Scanners. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(6), 4776. <https://doi.org/10.3390/ijerph20064776>
- Gómez-Polo, M., Immorlano, M. G., Cascos-Sánchez, R., Ortega, R., Barmak, A. B., Kois, J. C., & Revilla-León, M. (2023). Influence of the dental arch and number of cutting-off and rescanning mesh holes on the accuracy of implant scans in partially edentulous situations. *Journal of Dentistry*, 137, 104667. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104667>

- Gómez-Polo, M., Ortega, R., Sallorenzo, A., Agustín-Panadero, R., Barmak, A. B., Kois, J. C., & Revilla-León, M. (2022). Influence of the surface humidity, implant angulation, and interimplant distance on the accuracy and scanning time of complete-arch implant scans. *Journal of Dentistry*, *127*, 104307. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104307>
- Gómez-Polo, M., Piedra-Cascón, W., Methani, M. M., Quesada-Olmo, N., Farjas-Abadia, M., & Revilla-León, M. (2021). Influence of rescanning mesh holes and stitching procedures on the complete-arch scanning accuracy of an intraoral scanner: An in vitro study. *Journal of Dentistry*, *110*, 103690. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103690>
- González de Villambrosia, P., Martínez-Rus, F., García-Orejas, A., Salido, M. P., & Pradíes, G. (2016). In vitro comparison of the accuracy (trueness and precision) of six extraoral dental scanners with different scanning technologies. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, *116*(4), 543-550.e1. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.01.025>
- Goodacre, C. J. (2004). Designing tooth preparations for optimal success. *Dental Clinics of North America*, *48*(2), 359-385. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2003.12.015>
- Goodacre, C. J., Campagni, W. V., & Aquilino, S. A. (2001). Tooth preparations for complete crowns: An art form based on scientific principles. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, *85*(4), 363-376. <https://doi.org/10.1067/mpr.2001.114685>
- Gracis, S., Thompson, V., Ferencz, J., Silva, N., & Bonfante, E. (2016). A New Classification System for All-Ceramic and Ceramic-like Restorative Materials. *The International Journal of Prosthodontics*, *28*(3), 227-235. <https://doi.org/10.11607/ijp.4244>
- Guarnieri, R., Di Nardo, D., Gaimari, G., Miccoli, G., & Testarelli, L. (2019). Influence of restorative margins position on one-stage laser-microgrooved implants-supported single screwed crowns: A clinical, biochemical, and microbiological analysis. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, *21*(1), 52-59. <https://doi.org/10.1111/cid.12693>
- Gunel, A., Guncu, M. B., Uzel, S. M., Aktas, G., Arikan, H., Reiss, N., & Turkyilmaz, I. (2023). Analysis of the impact of various finish line designs and occlusal morphologies on the accuracy of digital impressions. *Journal of Dental Sciences*, *18*(3), 1264-1271. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2023.02.017>
- Guo, J., Lu, Y., Li, R., Zhou, K., Ge, R., Zhao, D., Xia, S., & Wang, Y. (2024). Influence of repeated cut-off and rescanning on the trueness of the intraoral digital scans. *Journal of Dentistry*, *150*, 105153. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.105153>
- Guzelce Sultanoğlu, E., & Keleş, B. (2024). Comparison of the Accuracy and Precision of Digital Scans for Implant-Supported Maxillary Hybrid Prosthesis: An in vitro Study. *Nigerian Journal of Clinical Practice*, *27*(11), 1245-1251. https://doi.org/10.4103/njcp.njcp_112_24
- Gültekin, H., & Akçin, E. T. (2024). Digital Impression Technologies in Dentistry: Intraoral Scanners and Desktop Scanners. İçinde L. Karaağaçlıoğlu (Ed.), *Digital Prosthetic Dentistry / Dijital Protetik Diş Hekimliği* (ss. 1-11). Türkiye Klinikleri. <https://www.turkiyeklinikleri.com>
- Güth, J.-F., Edelhoff, D., Schweiger, J., & Keul, C. (2016). A new method for the evaluation of the accuracy of full-arch digital impressions in vitro. *Clinical Oral Investigations*, *20*(7), 1487-1494. <https://doi.org/10.1007/s00784-015-1626-x>
- Güth, J.-F., Keul, C., Stimmelmayer, M., Beuer, F., & Edelhoff, D. (2013). Accuracy of digital models obtained by direct and indirect data capturing. *Clinical Oral Investigations*, *17*(4), 1201-1208. <https://doi.org/10.1007/s00784-012-0795-0>
- Haddadi, Y., Bahrami, G., & Isidor, F. (2018). Effect of Software Version on the Accuracy of an Intraoral Scanning Device. *The International Journal of Prosthodontics*, *31*, 375-376. <https://doi.org/10.11607/ijp.5781>
- Hasanuddin, M. O., Permana, G. E., Akbar, I., & Wuryandari, A. I. (2015). 3D scanner for orthodontic using triangulation method. *2015 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI)*, 360-364. <https://doi.org/10.1109/ICEEI.2015.7352527>
- Hayama, H., Fueki, K., Wadachi, J., & Wakabayashi, N. (2018). Trueness and precision of digital impressions obtained using an intraoral scanner with different head size in the partially edentulous mandible. *Journal of Prosthodontic Research*, *62*(3), 347-352. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2018.01.003>
- Hegde, S., Deb, A., Almudarris, B. A., Chitumalla, R., Jaiswal, S., R, S., Nadiger, R. K., & Anehosur, G. V. (2024). Stress Distribution on Prepared Tooth With Shoulder and Radial Shoulder Margin to Receive

- Crowns of Three Different Materials: A Finite Element Analysis. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.55538>
- Hey, J., Schweyen, R., Kupfer, P., & Beuer, F. (2017). Influence of preparation design on the quality of tooth preparation in preclinical dental education. *Journal of Dental Sciences*, 12(1), 27-32. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2016.05.002>
- Huang, M.-Y., Son, K., & Lee, K.-B. (2021). Effect of distance between the abutment and the adjacent teeth on intraoral scanning: An in vitro study. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 125(6), 911-917. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.02.034>
- Ibraheem, A., & Abdullah, L. (2020). Evaluation of Post Cementation Marginal Seating of Monolithic Zirconia Crown Restorations Using Different Preparation Designs (A comparative in vitro study). *Indian Journal of Forensic Medicine & Toxicology*, 14, 787. <https://doi.org/10.37506/v14/i1/2020/ijfimt/192999>
- Ichim, I., Kuzmanovic, D. V., & Love, R. M. (2006). A finite element analysis of ferrule design on restoration resistance and distribution of stress within a root. *International Endodontic Journal*, 39(6), 443-452. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2006.01085.x>
- ISO 5725-1. (2023). *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results: Part 1: General principles and definitions* (Sayı ISO 5725-1:2023). <https://www.iso.org/standard/69418.html>
- ISO 12836. (2015). *Dentistry — Digitizing devices for CAD/CAM systems for indirect dental restorations — Test methods for assessing accuracy* (Sayı ISO 12836:2015). <https://www.iso.org/standard/68414.html>
- Jabri, M., Wu, S., Pan, Y., & Wang, L. (2021). An Overview on the Veracity of Intraoral Digital Scanning System and Utilization of iTero Scanner for Analyzing Orthodontic Study Models both In-Vivo and Ex-Vivo. *Nigerian Journal of Clinical Practice*, 24(1), 1-7. https://doi.org/10.4103/njcp.njcp_698_19
- Jalalian, E., & Aletaha, N. S. (2011). The effect of two marginal designs (chamfer and shoulder) on the fracture resistance of all ceramic restorations, Inceram: An in vitro study. *Journal of Prosthodontic Research*, 55(2), 121-125. <https://doi.org/10.1016/j.jpjor.2010.04.006>
- Jin-Young Kim, R., Benic, G. I., & Park, J.-M. (2021). Trueness of intraoral scanners in digitizing specific locations at the margin and intaglio surfaces of intracoronal preparations. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 126(6), 779-786. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.09.019>
- Jun-Ho Cho, Han, J.-S., & Yoon, H.-I. (2023). Effect of translucency of CAD-CAM ceramic restorative materials and scanning aid conditions on the accuracy of intraoral scans. *Journal of Dental Sciences*, 18(3), 1212-1218. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2023.03.017>
- Keeling, A., Wu, J., & Ferrari, M. (2017). Confounding factors affecting the marginal quality of an intra-oral scan. *Journal of Dentistry*, 59, 33-40. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2017.02.003>
- Keerativittayanun, S., Kondo, T., Sira-uksorn, P., Phatrapornant, T., & Sato, M. (2011). 3D scan of a color object using a color structured light pattern. *2011 IEEE 7th International Colloquium on Signal Processing and its Applications*, 460-463. <https://doi.org/10.1109/CSPA.2011.5759922>
- Kim, S.-Y., Shin, Y.-S., Jung, H.-D., Hwang, C.-J., Baik, H.-S., & Cha, J.-Y. (2018). Precision and trueness of dental models manufactured with different 3-dimensional printing techniques. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 153(1), 144-153. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2017.05.025>
- Kim, S.-Y., Son, K., Bihn, S. K., & Lee, K.-B. (2024). Effect of the Inter-Tooth Distance and Proximal Axial Wall Height of Prepared Teeth on the Scanning Accuracy of Intraoral Scanners. *Journal of Functional Biomaterials*, 15(5), 115. <https://doi.org/10.3390/jfb15050115>
- Koulivand, S., Ghodsi, S., Siadat, H., & Alikhasi, M. (2020). A clinical comparison of digital and conventional impression techniques regarding finish line locations and impression time. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 32(2), 236-243. <https://doi.org/10.1111/jerd.12527>
- Kwon, J.-M., Bae, S.-I., Kim, T., Kim, J. K., & Jeong, K.-H. (2023). Deep focus light-field camera for handheld 3D intraoral scanning using crosstalk-free solid immersion microlens arrays. *APL Bioengineering*, 7(3). <https://doi.org/10.1063/5.0155862>
- Labno, P., & Drobnik, K. (2020). Comparison of horizontal and vertical methods of tooth preparation for a prosthetic crown. *Journal of Pre-Clinical and Clinical Research*, 14(1), 25-28. <https://doi.org/10.26444/jpccr/116672>

- Lim, J.-H., Mangal, U., Nam, N.-E., Choi, S.-H., Shim, J.-S., & Kim, J.-E. (2021). A Comparison of Accuracy of Different Dental Restorative Materials between Intraoral Scanning and Conventional Impression-Taking: An In Vitro Study. *Materials*, 14(8), 2060. <https://doi.org/10.3390/ma14082060>
- Limkangwalmongkol, P., Chiche, G. J., & Blatz, M. B. (2007). Precision of Fit of Two Margin Designs for Metal-Ceramic Crowns. *Journal of Prosthodontics*, 16(4), 233-237. <https://doi.org/10.1111/j.1532-849X.2007.00186.x>
- Limkangwalmongkol, P., Kee, E., Chiche, G. J., & Blatz, M. B. (2009). Comparison of Marginal Fit between All-Porcelain Margin versus Alumina-Supported Margin on Procera® Alumina Crowns. *Journal of Prosthodontics*, 18(2), 162-166. <https://doi.org/10.1111/j.1532-849X.2008.00396.x>
- Logozzo, S., Zanetti, E. M., Franceschini, G., Kilpelä, A., & Mäkynen, A. (2014). Recent advances in dental optics – Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. *Optics and Lasers in Engineering*, 54, 203-221. <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2013.07.017>
- Loi, I., & Di Felice, A. (2013). Biologically oriented preparation technique (BOPT): a new approach for prosthetic restoration of periodontically healthy teeth. *The European journal of esthetic dentistry: official journal of the European Academy of Esthetic Dentistry*, 8(1), 10-23. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23390618>
- M, Dhanraj., P. B. D. S, Benita., Varma, Acu., & R. Jain, Ashish. (2017). Effect of Sub-gingival Margins Influencing Periodontal Health – A Systematic Review and Meta Analysis. *Biomedical and Pharmacology Journal*, 10(02), 739-747. <https://doi.org/10.13005/bpj/1163>
- Ma, Y., Guo, Y., Saleh, M. Q., & Yu, H. (2023). Influence of ambient light conditions on intraoral scanning: A systematic review. *Journal of Prosthodontic Research*, 68(2), JPR_D_23_00098. https://doi.org/10.2186/jpr.JPR_D_23_00098
- Maghrabi, A. A., Ayad, M. F., & Garcia-Godoy, F. (2011). Relationship of Margin Design for Fiber-Reinforced Composite Crowns to Compressive Fracture Resistance. *Journal of Prosthodontics*, 20(5), 355-360. <https://doi.org/10.1111/j.1532-849X.2011.00713.x>
- Mai, H.-N., Han, J.-S., Kim, H.-S., Park, Y.-S., Park, J.-M., & Lee, D.-H. (2023). Reliability of automatic finish line detection for tooth preparation in dental computer-aided software. *Journal of Prosthodontic Research*, 67(1), JPR_D_21_00344. https://doi.org/10.2186/jpr.JPR_D_21_00344
- Mandelli, F., Gherlone, E., Gastaldi, G., & Ferrari, M. (2017). Evaluation of the accuracy of extraoral laboratory scanners with a single-tooth abutment model: A 3D analysis. *Journal of Prosthodontic Research*, 61(4), 363-370. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2016.09.002>
- Marghalani, T. Y. (2014). Convergence angles of metal ceramic crowns prepared by dental students. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 112(5), 1250-1256. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2014.03.024>
- Medina-Sotomayor, P., Pascual-Moscardo, A., & Camps, I. (2018). Relationship between resolution and accuracy of four intraoral scanners in complete-arch impressions. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 0-0. <https://doi.org/10.4317/jced.54670>
- Medit Corp. (2023a). *Medit i700 Intraoral Scanner - Product Page*. <https://www.medit.com/products/i700>
- Medit Corp. (2023b). *Medit T-Series Laboratory Scanners – Product Information*.
- Mehl, A., Ender, A., Mörmann, W., & Attin, T. (2009). Accuracy testing of a new intraoral 3D camera. *International journal of computerized dentistry*, 12(1), 11-28.
- Memarpour, M., Derafshi, R., & Razavi, M. (2016). Comparison of microleakage from stainless steel crowns margins used with different restorative materials: An in vitro study. *Dental Research Journal*, 13(1), 7. <https://doi.org/10.4103/1735-3327.174689>
- Meneghetti, P. C., Li, J., Borella, P. S., Mendonça, G., & Burnett, L. H. (2023). Influence of scanbody design and intraoral scanner on the trueness of complete arch implant digital impressions: An in vitro study. *PLOS ONE*, 18(12), e0295790. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0295790>
- Meza, J., Vargas, R., Romero, L. A., Zhang, S., & Marrugo, A. G. (2020). What is the best triangulation approach for a structured light system? İçinde S. Zhang & K. G. Harding (Ed.), *Dimensional Optical Metrology and Inspection for Practical Applications IX* (s. 12). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2559119>
- Mezei, A., & Kovács, T. (2018). Curvature Adaptive 3D Scanning Transformation Calculation. *Periodica Polytechnica Electrical Engineering and Computer Science*, 62(4), 107-116. <https://doi.org/10.3311/PPee.11540>

- Michelinakis, G., Apostolakis, D., Tsagarakis, A., Kourakis, G., & Pavlakis, E. (2020). A comparison of accuracy of 3 intraoral scanners: A single-blinded in vitro study. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 124(5), 581-588. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.10.023>
- Minyé, H. M., Gilbert, G. H., Litaker, M. S., Mungia, R., Meyerowitz, C., Louis, D. R., Slootsky, A., Gordan, V. V., & McCracken, M. S. (2018). Preparation Techniques Used to Make Single-Unit Crowns: Findings from The National Dental Practice-Based Research Network. *Journal of Prosthodontics*, 27(9), 813-820. <https://doi.org/10.1111/jopr.12988>
- Miyazaki, T., Hotta, Y., Kunii, J., Kuriyama, S., & Tamaki, Y. (2009). A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dental Materials Journal*, 28(1), 44-56. <https://doi.org/10.4012/dmj.28.44>
- Mizumoto, R. M., Yilmaz, B., McGlumphy, E. A., Seidt, J., & Johnston, W. M. (2020). Accuracy of different digital scanning techniques and scan bodies for complete-arch implant-supported prostheses. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 123(1), 96-104. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.01.003>
- ML6. (2023). *Optical 3D Acquisition Methods: Structured Light, Stereo Vision, Time-of-Flight and LiDAR*. <https://www.ml6.eu/en/blog/optical-3d-acquisition-methods-a-comprehensive-guide-part-2>
- Naqash, T. A. (2018). Influence of Shoulder and Chamfer Margin Design on the Stress Distribution Pattern in Different All Ceramic Restorations by Three-Dimensional Finite Element Analysis. *Online Journal of Dentistry & Oral Health*, 1(3). <https://doi.org/10.33552/OJDOH.2018.01.000512>
- Nassar, H., & Abo El-Mal, E. (2024). In Vitro Evaluation of The Marginal Adaptation of Monolithic Ceramic Crowns Fabricated with Different Margin Designs Using Novel CAD/CAM Material After Thermomechanical Aging. *Egyptian Dental Journal*, 70(1), 575-585. <https://doi.org/10.21608/edj.2023.256264.2830>
- Nedelcu, R., Olsson, P., Nyström, I., & Thor, A. (2018). Finish line distinctness and accuracy in 7 intraoral scanners versus conventional impression: an in vitro descriptive comparison. *BMC Oral Health*, 18(1), 27. <https://doi.org/10.1186/s12903-018-0489-3>
- Ochoa-López, G., Cascos, R., Antonaya-Martín, J. L., Revilla-León, M., & Gómez-Polo, M. (2022). Influence of ambient light conditions on the accuracy and scanning time of seven intraoral scanners in complete-arch implant scans. *Journal of Dentistry*, 121, 104138. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104138>
- Oh, K. C., Park, J., & Moon, H. S. (2020). Effects of Scanning Strategy and Scanner Type on the Accuracy of Intraoral Scans: A New Approach for Assessing the Accuracy of Scanned Data. *Journal of Prosthodontics*, 29(6), 518-523. <https://doi.org/10.1111/jopr.13158>
- Osman, R. B., & Alharbi, N. M. (2023). Influence of scan technology on the accuracy and speed of intraoral scanning systems for the edentulous maxilla: An in vitro study. *Journal of Prosthodontics*, 32(9), 821-828. <https://doi.org/10.1111/jopr.13633>
- Pál, A., Papócsi, P., Kelemen, K., Golzio Navarro Cavalcante, B., Hegyi, P., Kerémi, B., Gede, N., Hermann, P., Géczi, Z., & Róth, I. (2025). Impact of finish line designs on the adaptation of ceramic fixed dental prostheses: a systematic review and network meta-analysis. *BMC Oral Health*, 25(1), 1085. <https://doi.org/10.1186/s12903-025-06433-0>
- Paniz, G., Nart, J., Gobbato, L., Mazzocco, F., Stellini, E., De Simone, G., & Bressan, E. (2017). Clinical Periodontal Response to Anterior All-Ceramic Crowns with Either Chamfer or Feather-edge Subgingival Tooth Preparations: Six-Month Results and Patient Perception. *The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, 37(1), 61-68. <https://doi.org/10.11607/prd.2765>
- Paniz, G., Zarow, M., Nart, J., Peña, M., Coltro, G., Tomasi, C., & Bressan, E. (2020). Dual-Center Cross-Sectional Analysis of Periodontal Stability Around Anterior All-Ceramic Crowns with a Feather-Edge or Chamfer Subgingival Preparation. *The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, 40(4), 499-507. <https://doi.org/10.11607/prd.4500>
- Park, J.-M., Kim, R. J.-Y., & Lee, K.-W. (2020). Comparative reproducibility analysis of 6 intraoral scanners used on complex intracoronal preparations. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 123(1), 113-120. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.10.025>
- Piedra-Cascón, W., Adhikari, R. R., Özcan, M., Krishnamurthy, V. R., Revilla-León, M., & Gallas-Torreira, M. (2023). Accuracy assessment (trueness and precision) of a confocal based intraoral scanner under twelve different ambient lighting conditions. *Journal of Dentistry*, 134, 104530. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104530>

- Piedra-Cascón, W., Methani, M. M., Quesada-Olmo, N., Jiménez-Martínez, M. J., & Revilla-León, M. (2021). Scanning accuracy of nondental structured light extraoral scanners compared with that of a dental-specific scanner. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 126(1), 110-114. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.04.009>
- Piemjai, M. (2001). Effect of seating force, margin design, and cement on marginal seal and retention of complete metal crowns. *The International journal of prosthodontics*, 14(5), 412-416. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12066634>
- Planmeca Oy. (2025a). *Planmeca Emerald S Intraoral Scanner – Product Brochure*.
- Planmeca Oy. (2025b). *Romexis CAD/CAM Software Module*.
- Podhorsky, A., Rehmann, P., & Wöstmann, B. (2015). Tooth preparation for full-coverage restorations—a literature review. *Clinical Oral Investigations*, 19(5), 959-968. <https://doi.org/10.1007/s00784-015-1439-y>
- Quinn, G. D., Hoffman, K., & Quinn, J. B. (2012). Strength and fracture origins of a feldspathic porcelain. *Dental Materials*, 28(5), 502-511. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2011.12.005>
- Rehmann, P., Scharwardt, V., & Wöstmann, B. (2017). Intraoral Scanning Systems: Need for Maintenance. *The International Journal of Prosthodontics*, 27-29. <https://doi.org/10.11607/ijp.4976>
- Reich, S., Yatmaz, B., & Raith, S. (2021). Do “cut out-rescan” procedures have an impact on the accuracy of intraoral digital scans? *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 125(1), 89-94. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.11.018>
- Resende, C. C. D., Barbosa, T. A. Q., Moura, G. F., Tavares, L. do N., Rizzante, F. A. P., George, F. M., Neves, F. D. das, & Mendonça, G. (2021). Influence of operator experience, scanner type, and scan size on 3D scans. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 125(2), 294-299. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.12.011>
- Revilla-León, M., Aragonese, R., Arroyo Valverde, E. M., Gómez-Polo, M., & Kois, J. C. (2025). Classification of Scanning Errors of Digital Scans Recorded by Using Intraoral Scanners. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 37(6), 1363-1371. <https://doi.org/10.1111/jerd.13419>
- Revilla-León, M., Fry, E., Zeitler, J. M., Li, J., Barmak, A. B., Kois, J. C., & Pérez-Barquero, J. A. (2025). Influence of apical finish line location of tooth preparations on the scanning accuracy of intraoral scanners with various focal lengths and scanning technologies. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 134(5), 1876-1885. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2024.05.034>
- Revilla-León, M., Gohil, A., Barmak, A. B., Gómez-Polo, M., Pérez-Barquero, J. A., Att, W., & Kois, J. C. (2023). Influence of ambient temperature changes on intraoral scanning accuracy. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 130(5), 755-760. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2022.01.012>
- Revilla-León, M., Gómez-Polo, M., Sailer, I., Kois, J. C., & Rokhshad, R. (2024). An overview of artificial intelligence based applications for assisting digital data acquisition and implant planning procedures. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 36(12), 1666-1674. <https://doi.org/10.1111/jerd.13249>
- Revilla-León, M., Jiang, P., Sadeghpour, M., Piedra-Cascón, W., Zandinejad, A., Özcan, M., & Krishnamurthy, V. R. (2020). Intraoral digital scans—Part 1: Influence of ambient scanning light conditions on the accuracy (trueness and precision) of different intraoral scanners. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 124(3), 372-378. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.06.003>
- Revilla-León, M., Kois, D. E., & Kois, J. C. (2023). A guide for maximizing the accuracy of intraoral digital scans: Part 2—Patient factors. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 35(1), 241-249. <https://doi.org/10.1111/jerd.12993>
- Revilla-León, M., & Özcan, M. (2019). Additive Manufacturing Technologies Used for Processing Polymers: Current Status and Potential Application in Prosthetic Dentistry. *Journal of Prosthodontics*, 28(2), 146-158. <https://doi.org/10.1111/jopr.12801>
- Revilla-León, M., Quesada-Olmo, N., Gómez-Polo, M., Sicilia, E., Farjas-Abadia, M., & Kois, J. C. (2021). Influence of rescanning mesh holes on the accuracy of an intraoral scanner: An in vivo study. *Journal of Dentistry*, 115, 103851. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103851>
- Revilla-León, M., Sicilia, E., Agustín-Panadero, R., Gómez-Polo, M., & Kois, J. C. (2023). Clinical evaluation of the effects of cutting off, overlapping, and rescanning procedures on intraoral scanning accuracy. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 130(5), 746-754. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.10.017>

- Revilla-León, M., Young, K., Sicilia, E., Cho, S.-H., & Kois, J. C. (2022). Influence of definitive and interim restorative materials and surface finishing on the scanning accuracy of an intraoral scanner. *Journal of Dentistry*, 120, 104114. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104114>
- Richert, R., Goujat, A., Venet, L., Viguie, G., Viennot, S., Robinson, P., Farges, J. C., Fages, M., & Ducret, M. (2017). Intraoral Scanner Technologies: A Review to Make a Successful Impression. *Içinde Journal of Healthcare Engineering* (C. 2017). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2017/8427595>
- Risi, M., Makhoulf, H., Rouse, A., Tanbakuchi, A., & Gmitro, A. (2014). Design and Performance of a Multi-Point Scan Confocal Microendoscope. *Photonics*, 1(4), 421-431. <https://doi.org/10.3390/photonics1040421>
- Rizonaki, M., Jacquet, W., Bottenberg, P., Depla, L., Boone, M., & De Coster, P. J. (2022). Evaluation of marginal and internal fit of lithium disilicate CAD-CAM crowns with different finish lines by using a micro-CT technique. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 127(6), 890-898. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.11.027>
- Rosenstiel, S. F. , L. M. F. , F. J. (2016). *Contemporary Fixed Prosthodontics* (5. bs). Mosby.
- Rotar, R. N., Faur, A. B., Pop, D., & Jivanescu, A. (2022). Scanning Distance Influence on the Intraoral Scanning Accuracy—An In Vitro Study. *Materials*, 15(9), 3061. <https://doi.org/10.3390/ma15093061>
- Rouse, A. R., Makhoulf, H., Tanbakuchi, A. A., & Gmitro, A. F. (2010). A multipoint scanner for high frame rate confocal microendoscopy. *Endoscopic Microscopy V*, 8. <https://doi.org/10.1117/12.842782>
- Rusinkiewicz, S., & Levoy, M. (2002). Efficient variants of the ICP algorithm. *Proceedings Third International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling*, 145-152. <https://doi.org/10.1109/IM.2001.924423>
- Ryakhovskiy, A. N., & Kostyukova, V. V. (2016). Comparative analysis of 3D data visibility of the prepared tooth finishing line on a synthetic jaw model, captured by international scanners in a laboratory conditions. *Stomatologiya*, 95(5), 39. <https://doi.org/10.17116/stomat201695539-46>
- Sadid-Zadeh, R., Li, R., Patel, R., Makowka, S., & Miller, L. M. (2020). Impact of Occlusal Intercuspal Angulation on the Quality of CAD/CAM Lithium Disilicate Crowns. *Journal of Prosthodontics*, 29(3), 219-225. <https://doi.org/10.1111/jopr.13016>
- Sanda, M., Miyoshi, K., & Baba, K. (2021). Trueness and precision of digital implant impressions by intraoral scanners: a literature review. *International Journal of Implant Dentistry*, 7(1), 97. <https://doi.org/10.1186/s40729-021-00352-9>
- Schriwer, C., Skjold, A., Gjerdet, N. R., & Øilo, M. (2017). Monolithic zirconia dental crowns. Internal fit, margin quality, fracture mode and load at fracture. *Dental Materials*, 33(9), 1012-1020. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2017.06.009>
- Senkutvan. R. S, Parthasarathy, L., Mahalakshmi. K, Balaji krishnan, Karthikeyan. M, & Jayaraj. R. (2024). Intraoral scanners in Orthodontics. *International Journal of Community Dentistry*, 12(1), 22-32. <https://doi.org/10.56501/intjcommunitydent.v12i1.1109>
- Sezer, T., & Bahadır Sezer, A. (2024). Effects of Operator Experience and Scanning Distance on Intraoral Scanner Accuracy. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Dis Hekimligi Dergisi (NEU Dent J)*, *Necmettin Erbakan*. <https://doi.org/10.51122/neudentj.2024.113>
- Shih, A., Flinton, R., Vaidyanathan, J., & Vaidyanathan, T. (2011). Effect of Margin Design and Processing Steps on Marginal Adaptation of Captex Restorations. *ISRN Dentistry*, 2011, 1-7. <https://doi.org/10.5402/2011/810565>
- Shillingburg. (2022). *Fundamentals of Fixed Prosthodontics* (5. bs). Quintessence Publishing.
- Shillingburg, H. T., Hobo, S., & Fisher, D. W. (1973). Preparation design and margin distortion in porcelain-fused-to-metal restorations. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 29(3), 276-284. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(73\)90007-3](https://doi.org/10.1016/0022-3913(73)90007-3)
- Shimizu, S., Shinya, A., Kuroda, S., & Gomi, H. (2017). The accuracy of the CAD system using intraoral and extraoral scanners for designing of fixed dental prostheses. *Dental Materials Journal*, 36(4), 402-407. <https://doi.org/10.4012/dmj.2016-326>
- Sindhu, J. S., Maiti, S., & Nallaswamy, D. (2023). Comparative analysis on efficiency and accuracy of parallel confocal microscopy and three-dimensional in motion video with triangulation technology-based intraoral scanner under influence of moisture and mouth opening – A crossover clinical trial. *The Journal of Indian Prosthodontic Society*, 23(3), 234-243. https://doi.org/10.4103/jips.jips_65_23

- Son, K., & Lee, K.-B. (2021). Effect of finish line locations of tooth preparation on the accuracy of intraoral scanners. *International journal of computerized dentistry*, 24(1), 29-40.
- Son, S.-A., Kim, J.-H., Seo, D.-G., & Park, J.-K. (2022). Influence of different inlay configurations and distance from the adjacent tooth on the accuracy of an intraoral scan. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 128(4), 680-687. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.12.044>
- Son, Y.-T., Son, K., & Lee, K.-B. (2022). Trueness of intraoral scanners according to subgingival depth of abutment for fixed prosthesis. *Scientific Reports*, 12(1), 20786. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-23498-x>
- Sorrentino, R., Ruggiero, G., Leone, R., Cagidiaco, E. F., Mauro, M. I. Di, Ferrari, M., & Zarone, F. (2024). Trueness and precision of an intraoral scanner on abutments with subgingival vertical margins: An in vitro study. *Journal of Dentistry*, 144, 104943. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.104943>
- Straumann Group. (2023). *Virtuo Vivo Intraoral Scanner – Product Information*.
- Struthers, M. W., Hoopes, W. L., Arnason, S. C., Sierra, D., & Vandewalle, K. S. (2023). Accuracy of an intraoral scanner based on sleeve type, decontamination, and calibration. *General dentistry*, 71(4), 48-53. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/37358583>
- Şentürk, A. (2024). Tam kronlar ve preparasyonda bitiş çizgisinin önemi. İçinde F. Akalatan (Ed.), *Sabit Protetik Restorasyonların Temeli: Diş Preparasyonu ve Ölçüde Güncel Yaklaşımlar* (1. bs, ss. 9-15). Türkiye Klinikleri.
- Tanyeri, Ş., & Sen, D. (2021). Oklüzo-Gingival Boyu Yetersiz Dişlere Yapılan Sabit Protezlerde Tutuculuğu Etkileyen Faktörler. *Aydın Dental Journal*, 7(2), 145-152.
- Thomas, A. A., & Jain, R. K. (2023). Influence of Operator Experience on Scanning Time and Accuracy with Two Different Intraoral Scanners - A Prospective Clinical Trial. *Turkish Journal of Orthodontics*, 36(1), 10-14. <https://doi.org/10.4274/TurkJOrthod.2022.2021.0220>
- Tiu, J., Al-Amleh, B., Waddell, J. N., & Duncan, W. J. (2015a). Clinical tooth preparations and associated measuring methods: A systematic review. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 113(3), 175-184. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2014.09.007>
- Tiu, J., Al-Amleh, B., Waddell, J. N., & Duncan, W. J. (2015b). Reporting numeric values of complete crowns. Part 1: Clinical preparation parameters. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 114(1), 67-74. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.01.006>
- Tiu, J., Lin, T., Al-Amleh, B., & Waddell, J. N. (2016). Convergence angles and margin widths of tooth preparations by New Zealand dental students. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 116(1), 74-79. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.01.003>
- Treesh, J. C., Liacouras, P. C., Taft, R. M., Brooks, D. I., Raiciulescu, S., Ellert, D. O., Grant, G. T., & Ye, L. (2018). Complete-arch accuracy of intraoral scanners. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 120(3), 382-388. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.01.005>
- Trpčić, M., Perišić, M. M., Lukačević, F., & Škec, S. (2023). Accuracy Analysis of Extraoral 3D Scanning in Dental Prosthetic. *Acta Stomatologica Croatica*, 57(4), 339-352. <https://doi.org/10.15644/asc57/4/5>
- Tucker, L., Melker, D., & Chasolen, H. (2022). COMBINING PERIO-RESTORATIVE PROTOCOLS TO MAXIMIZE FUNCTION. *BULLETIN OF STOMATOLOGY AND MAXILLOFACIAL SURGERY*, 22-27. <https://doi.org/10.58240/1829006X-2022.18.1-22>
- Vag, J., Stevens, C. D., Badahman, M. H., Ludlow, M., Sharp, M., Brenes, C., Mennito, A., & Renne, W. (2023). Trueness and precision of complete arch dentate digital models produced by intraoral and desktop scanners: An ex-vivo study. *Journal of Dentistry*, 139, 104764. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104764>
- Valenti, M., Valenti, A., Cortellini, D., Schmitz, J. H., & Canale, A. (2023). A modified scan technique for multiple abutment teeth using the trim and lock function. *Journal of Dentistry*, 129, 104406. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104406>
- Valigi, M. C., Logozzo, S., & Canella, G. (2017). *A New Automated 2 DOFs 3D Desktop Optical Scanner* (ss. 231-238). https://doi.org/10.1007/978-3-319-48375-7_25
- Wahsh, M., & Taha, D. (2020). IN VITRO EVALUATION OF THE MARGINAL INTEGRITY OF MONOLITHIC CERAMIC CROWNS UTILIZING DIFFERENT MACHINABLE BLOCKS

FABRICATED FOR MINIMALLY INVASIVE VERTICAL PREPARATION DESIGNS. *Egyptian Dental Journal*, 66(4), 2597-2606. <https://doi.org/10.21608/edj.2020.40995.1234>

- Whitworth, J. M., Walls, A. W. G., & Wassell, R. W. (2002). Crowns and extra-coronal restorations: Endodontic considerations: the pulp, the root-treated tooth and the crown. *British Dental Journal*, 192(6), 315-327. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.4801365>
- Yadav, P., Sharma, V., Paliwal, J., Meena, K. K., Madaan, R., & Gurjar, B. (2023). An In Vitro Comparison of Zirconia and Hybrid Ceramic Crowns With Heavy Chamfer and Shoulder Finish Lines. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.33940>
- Yilmaz, B., Rizzo Marques, V., Guo, X., Gouveia, D., & Abou-Ayash, S. (2021). The effect of scanned area on the accuracy and time of anterior single implant scans: An in vitro study. *Journal of Dentistry*, 109, 103620. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103620>
- Yu, H., Chen, Y., Cheng, H., & Sawase, T. (2019). Finish-line designs for ceramic crowns: A systematic review and meta-analysis. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 122(1), 22-30.e5. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.10.002>
- Yüksel, E., & Zaimoğlu, A. (2011). Influence of marginal fit and cement types on microleakage of all-ceramic crown systems. *Brazilian Oral Research*, 25(3), 261-266. <https://doi.org/10.1590/S1806-83242011000300012>
- Zarauz, C., Pradies, G. J., Chebib, N., Dönmez, M. B., Karasan, D., & Sailer, I. (2023). Influence of age, training, intraoral scanner, and software version on the scan accuracy of inexperienced operators. *Journal of Prosthodontics*, 32(S2), 135-141. <https://doi.org/10.1111/jopr.13785>
- Zarone, F., Ruggiero, G., Russo, L. Lo, Mastro Simone, A., & Sorrentino, R. (2025). In vitro assessment of an intraoral scanner accuracy on abutments with horizontal preparation geometries and subgingival margins. *Journal of Dentistry*, 153, 105492. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.105492>
- Zhang, Y.-J., Shi, J., Qian, S., Qiao, S., & Lai, H. (2021). Accuracy of full-arch digital implant impressions taken using intraoral scanners and related variables: A systematic review. *International journal of oral implantology*, 14 2, 157-179. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:234781148>
- Zhang, Z., Ming, X., Luo, Y., & Zhang, W. (2024). Effect of substrate material and abutment geometry on the accuracy of intraoral scanning: An in vitro study. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 132(1), 188.e1-188.e8. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2024.04.001>
- Zhu, J., Deng, X., Jin, C., Ma, L., & Huang, C. (2025). The accuracy of direct digital impressions of post spaces with different diameters and depths scanned by a wireless intraoral scanner. *Journal of Dentistry*, 154, 105599. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2025.105599>
- Zirkonzahn GmbH. (2023). *Zirkonzahn S-Series Laboratory Scanners – Product Brochure*.

8. EKLER

8.1. EK 1 Etik Kurul Kararı



T.C.

NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ DİŞ HEKİMLİĞİ
İLAÇ VE TIBBİ CİHAZ DIŞI ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU

Toplantı Sayısı: 44	Toplantı Tarihi: 26.09.2024
---------------------	-----------------------------

Karar Sayısı:2024/481: (Başvuru ID: 21148) N.E.Ü. Diş Hekimliği Fakültesi Klinik Bilimler Bölümü Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Doç. Dr. Ceyda AKIN'ın "**Farklı Ağız İçi Tarayıcılardan Alınan Ölçülerde Preparasyon Tasarımının Ölçü Doğruluğuna Etkisi**" başlıklı doktora tez çalışması ile ilgili başvurusu görüşüldü. Mehmet GÖZEN'in doktora tez çalışmasının N.E.Ü. Diş Hekimliği Fakültesi Klinik Bilimler Bölümü Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Doç. Dr. Ceyda AKIN'ın sorumluluğunda yürütülmesinin uygun olduğuna oybirliği ile karar verilmiştir.

Not: Çalışma ile ilgili gerekli izin ve yasal sorumluluk araştırmacıya aittir.

Sorumlu Araştırmacı: Doç. Dr. Ceyda AKIN

Yardımcı Araştırmacılar: Doktora Öğrencisi Mehmet GÖZEN



Prof. Dr. Bozkurt Kubilay IŞIK
Etik Kurulu Başkanı